

ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА

Милорад Јовановски

Наум Гапковски

Игор Пешевски

Биљана Аболмасов

Градежен факултет, 2012

ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА

Автори

Милорад Јовановски Наум Гапковски

Игор Пешевски

Универзитет "Св.Кирил и Методиј", Градежен факултет - Скопје

Биљана Аболмасов

Универзитет во Белград, Р Србија, Рударско-геолошки факултет

Рецезенти

Проф. д-р Никола Думурџанов

Проф. д-р Соња Лепиткова

Проф. д-р Васил Витанов

CIP - Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

624.1:55(075.8)

ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА / Милорад Јовановски ... [и др.] - Скопје :

Градежен факултет, 2012. - XXXVI, 602 стр. : илустр. ; 24 см

Автори: Милорад Јовановски, Наум Гапковски,

Игор Пешевски, Биљана Аболмасов.

Библиографија: стр. 597-602. - Содржи и: Анекс 1-8

ISBN 978-608-4510-13-0

1. Јовановски, Милорад [автор]

а) Инженерска геологија - Високошколски учебници

COBISS.MK-ID 92977930

Со одлука на Наставно научниот совет на Градежниот факултет во Скопје од 06. 09. 2012 год. овај ракопис е одобрен како основен универзитетски учебник по предметот Инженерска геологија на Градежниот факултет при Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“ - Скопје

© Сите права се заштитени. Трудот не смее да биде преведуван или копиран во целина или негови делови без писмена дозвола на издавачот

Лектура

Лидија Тантуровска

Техничка подготовка

ГЕОМАП, Скопје

Дизајн на корица

Филип Маркоски

Печати

Јофи скен -Скопје

Тираж

300 примероци

Според мислењето на Министерството за култура на Република Македонија за книгата Инженерска геологија се плаќа повластена даночна стапка

ЗА АВТОРИТЕ



Д-р Милорад Јовановски е професор по предметите инженерска геологија, општа геологија, применета хидрогеологија, механика на карпи, геотехнички истражувања, свлечишта и стабилност на косини и други при Градежниот факултет во Скопје. Одржувал настава на Рударско-геолошкиот факултет во Штип, Воената академија во Скопје и Интердисциплинарните судии по инженерство на животна средина во Скопје. Завршил Рударско-геолошки факултет во Штип, насока за геологија. Магистрирал на насока за геотехника при Рударско - геолошкиот факултет во Белград, Р Србија. Докторирал при Градежниот факултет во Скопје.

Член е на Друштвото за геотехника на Македонија, Македонското Геолошко друштво, Меѓународното друштво за механика на почви и геотехничко инженерство, Меѓународното друштво за механика на карпи и други стручни здруженија. Претседател е на одделението за геотехника при Комората на овластени архитекти и овластени инженери. Учествовал при истражување, проектирање и изведба скоро на сите значајни објекти во последните 25 години во Р Македонија. Како автор или коавтор, објавил трудови на SCI листата и над 150 трудови на меѓународни и национални собири. Еден е од авторите на книгата Општа геологија.



Наум Гапковски, долгогодишен професор по предметите инженерска геологија, хидрогеологија и механика на карпи при Градежниот факултет во Скопје, Рударско-геолошкиот факултет во Штип и Воената академија во Скопје. Завршил Рударско-геолошки факултет во Белград, поранешна СФР Југославија. Учествовал при истражување, проектирање и изведба скоро на сите значајни објекти во Р Македонија и некои капитални објекти во поранешна Југославија. Автор е на голем број научни и стручни трудови кои се публикувани во земјата и странство. Еден е од авторите на книгата Општа геологија.



М-р Игор Пешевски е асистент по предметите општа геологија, инженерска геологија, применета хидрогеологија, механика на карпи и подобрување на карпи при Градежниот факултет во Скопје. Завршил Рударско-геолошки факултет во Штип, насока за геологија. Магистрирал на насоката за геотехника при Градежниот факултет во Скопје. Активно учествува при истражување, проектирање и изведба на скоро сите значајни објекти во периодот од 2008 па наваму. Автор и коавтор е на голем број научни и стручни трудови кои се публикувани во земјата и странство.



Д-р Биљана Аболмасов одржува настава по предметите на прв, втор и трет циклус студии по предметите инженерска геодинамика 1 и 2, инженерска геологија, принципи на инженерската геологија и геолошки хазарди и управување со ризици на одделот за геотехника на Рударско-геолошкиот факултет при Универзитетот во Белград, Р Србија. Како автор или коавтор, објавила поголем број трудови на SCI листата и меѓународни собири. Председател е на комисијата С19 во меѓународното здружение за инженерска геологија и животна средина (IAEG). Представник е од Рударско-геолошкиот факултет и Србија во меѓународниот конзорциум за

свлечишта (ICL), а ко-координатор е и на Јадранско - балканската мрежа (AB ICL Network). Раководител е на повеќе проекти за технолошки развој финансирани од Министерството за образование, наука и технолошки развој на Р Србија.

ПРЕДГОВОР

Инженерската геологија е научно-практична дисциплина која има фундаментално значење за сите фази на истражување, проектирање, изведување и експлоатација на инженерските објекти. Ова произлегува од фактот, што, природната геолошка средина во интеракција со инженерските објекти и интервенции сочинува заеднички сложен систем, кој треба да биде стабилен и да функционира во временски период кој е споредлив со векот на траење на објектот.

Имајќи го предвид овој факт, направен е обид да се подготви учебник насловен како Инженерска геологија каде што би биле сублимирани постојните знаења од оваа област во светот и кај нас. Презентирираниот материјал главно е напишан според наставната програма по оваа предметна програма која ја слушаат студентите од сите насоки на Градежниот факултет во Скопје. Може да се каже, дека, оваа книга претставува и логичен продолжеток на книгата Општа геологија на двајца од авторите и на оваа книга.

За да се овозможи полесно следење на материјата, во рамките на учебникот се презентирани основите за други гранки од геологијата како: општата геологија, минералологијата, петрографијата, тектониката и хидрогеологијата.

Во сегашноста инженерската геологија речиси секогаш се разгледува како составен дел на геотехниката која, пак, е интердисциплинарна научна област, каде што интегрално се решаваат проблемите поврзани со инженерството на теренот.

Бидејќи предметните содржини по механика на карпите, механика на почвите и фундаирањето се слушаат на Градежниот факултет во рамките на различни студиски програми, дел од проблемите поврзани со механичкото однесување на теренот, физичко-механичките својства на карпестите маси и други геотехнички проблеми, во книгата се прикажани информативно.

Од друга страна, подетално се анализирани современите геолошки процеси и појави, условите за истражување, проектирање и изведувањето на работите, градежната употребливост на природните геолошки материјали и други инженерскогеолошки проблеми. При тоа, одредени поглавија го надминуваат обемот што е предвиден со наставните програми, со цел да се овозможи на инженерите во практиката да имаат повеќе можности за решавање на некои конкретни проблеми.

Со оглед дека учебници од ваков карактер се ретки на македонски јазик, авторите се трудеа да пронајдат соодветни стручни изрази кои се во согласност со македонскиот литературен јазик. Исто така, на повеќе места е употребена и терминологија која се смета за интернационално прифатена, а на одредени места се прикажани и англиските термини.

Со цел студентите да се насочат кон суштината од изложената материја, на крајот од секое поглавје се прикажани кратки прашања. Од друга страна, за сите што чувствуваат потреба од проширување на сознанијата за специфични делови од инженерската геологија, препорачана е и дополнителна литература. Во повеќе анекси се прикажани фактографски податоци, кои можат да помогнат корисно за различни намени.

Во рамките на книгата се приложени голем број фотографии, кои, ако не се поинаку означени, се подготвени од самите автори.

Авторите се надеваат дека материјалот, покрај како учебник, може корисно да послужи за стручните лица кои се занимаваат со проблемите поврзани со инженерството на теренот. Затоа, во рамките на учебникот се прикажани и некои примери од практиката, каде што е преточено долгогодишното искуство на

авторите коешто е добиено при: истражување, проектирање, изведба и експлоатација на најразновидни објекти од рударски и од градежен карактер.

Од овде произлегува, дека една од основните цели при составување на содржините во учебникот е пошироката стручна јавност да стекне увид во достигнувањата на инженерската геологија и на директен начин да се согледа нејзината примена при решавање на различни практични проблеми.

На крај, авторите изразуваат голема благодарност кон сите што помогнаа во издавање на книгата и кон рецензентите, кои, со своите видувања, дадоа голем придонес кон подобро обликување на содржините.

Од авторите

СОДРЖИНА

ПРЕДГОВОР

1 ОПШТО ЗА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА

ВОВЕД.....	1
РАЗВОЈ НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА.....	2
ПРЕДМЕТ НА ИСТРАЖУВАЊЕ НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА.....	4
ВРСКИ СО ДРУГИ НАУЧНИ ДИСЦИПЛИНИ.....	7
МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЊЕ ВО ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА.....	9

2 ОСНОВИ ЗА ГРАДБАТА НА ЗЕМЈАТА И НА ЗЕМЈИНАТА КОРА

ОПШТО.....	11
ФОРМА, ГРАДБА, СВОЈСТВА И СОСТАВ НА ЗЕМЈАТА.....	12
ФОРМА НА ЗЕМЈАТА.....	12
ГРАДБА НА ЗЕМЈАТА.....	13
ГЛОБАЛНИ ДВИЖЕЊА ВО ЗЕМЈИНАТА КОРА.....	16
ОСНОВИ ЗА ТЕКТОНИКА НА ПЛОЧИ.....	18
ДРУГИ СВОЈСТВА НА ЗЕМЈАТА.....	21
ХЕМИСКИ СОСТАВ НА ЗЕМЈАТА.....	21
ГРАВИТАЦИЈА.....	21
МАГНЕТИЗАМ НА ЗЕМЈАТА.....	22
РАДИОАКТИВНОСТ НА ЗЕМЈАТА.....	22
ТОПЛОТЕН РЕЖИМ НА ЗЕМЈАТА.....	22
НАДВОРЕШНИ СФЕРИ НА ЗЕМЈАТА.....	24
ГЕОЛОШКА ХРОНОЛОГИЈА НА ЗЕМЈИНАТА КОРА.....	25

3 ОСНОВИ НА МИНЕРАЛОГИЈАТА

ОПШТО ЗА МИНЕРАЛИТЕ.....	29
МОРФОЛОШКИ СВОЈСТВА НА МИНЕРАЛИТЕ.....	29
ФИЗИЧКИ СВОЈСТВА НА МИНЕРАЛИТЕ.....	32
БОЈА НА МИНЕРАЛИТЕ.....	32
БОЈА НА ГРЕБНАТИНА.....	32
ТВРДИНА НА МИНЕРАЛИТЕ.....	32
ЦЕПЛИВОСТ НА МИНЕРАЛИТЕ.....	33
ПРЕЛОМ НА МИНЕРАЛИТЕ.....	33
СЈАЈНОСТ НА МИНЕРАЛИТЕ.....	33
ПРОВИДНОСТ НА МИНЕРАЛИТЕ.....	34
СПЕЦИФИЧНА ТЕЖИНА НА МИНЕРАЛИТЕ.....	34
ДРУГИ ФИЗИЧКИ СВОЈСТВА НА МИНЕРАЛИТЕ.....	34
СИСТЕМАТИКА НА ПЕТРОГЕНИТЕ МИНЕРАЛИ.....	34
ПРИМАРНИ СИЛИКАТНИ МИНЕРАЛИ.....	35
ФЕЛДСПАТИ.....	35
ЛИСКУНИ.....	36
СЕКУНДАРНИ МИНЕРАЛИ ОД ГРУПАТА НА СИЛИКАТИ.....	36
КАОЛИНИ.....	37

ОКСИДИ.....	37
КВАРЦ.....	38
ОКСИДИ НА ЖЕЛЕЗО.....	38
ХИДРОКСИДИ.....	38
КАРБОНАТИ.....	39
СУЛФАТИ.....	39
СУЛФИДИ.....	40
4 ОСНОВИ НА ПЕТРОЛОГИЈАТА	
ОПШТО.....	41
СКЛОП НА КАРПИТЕ.....	42
МАГМАТСКИ КАРПИ.....	42
ПОСТАНОК И ГЕНЕТСКИ ВИДОВИ НА МАГМАТСКИ КАРПИ.....	42
НАЧИН НА ПОЈАВУВАЊЕТО НА МАГМАТСКИТЕ КАРПИ.....	43
ВУЛКАНИЗАМ.....	45
Основни елементи на вулканот.....	45
Поствулкански појави.....	48
СТРУКТУРА НА МАГМАТСКИТЕ КАРПИ.....	49
ТЕКСТУРИ НА МАГМАТСКИТЕ КАРПИ.....	51
ПОДЕЛБА НА МАГМАТСКИТЕ КАРПИ.....	52
ДЛАБИНСКИ МАГМАТСКИ КАРПИ.....	53
ВУЛКАНСКИ МАГМАТСКИ КАРПИ.....	55
ЖИЛНИ МАГМАТСКИ КАРПИ.....	58
ВУЛКАНСКИ КЛАСТИЧНИ КАРПИ.....	58
СЕДИМЕНТНИ КАРПИ.....	60
ПОСТАНОК НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ.....	60
РАСПАЌАЊЕ НА КАРПИТЕ.....	60
ТРАНСПОРТ НА МАТЕРИЈАЛОТ.....	60
СЕДИМЕНТАЦИЈА НА МАТЕРИЈАЛОТ.....	61
ДИЈАГЕНЕЗА.....	61
СОСТАВ И СКЛОП НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ.....	62
МИНЕРОЛОШКИ СОСТАВ НА СЕДИМЕНТИТЕ КАРПИ.....	62
СКЛОП НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ.....	62
НАЧИН НА ПОЈАВУВАЊЕ НА СЕДИМЕНТИТЕ КАРПИ.....	63
КОНКОРДАНЦИЈА И ДИСКОРДАНЦИЈА НА СЛОЕВИТЕ.....	64
ПОДЕЛБА НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ.....	66
ПОДЕЛБА НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ СПОРЕД ГЕНЕЗАТА.....	67
КЛАСТИЧНИ СЕДИМЕНТИ.....	68
Чакалести карпи.....	68
Песокливи карпи.....	70
Прашинести карпи.....	71
Глинести карпи.....	71
ХЕМИСКИ СЕДИМЕНТИ.....	74
ОРГАНОГЕНИ СЕДИМЕНТИ.....	75
ФЛИШНИ СЕДИМЕНТИ.....	77

МЕТАМОРФНИ КАРПИ.....	77
ОПШТИ ПОИМИ ЗА МЕТАМОРФИЗМОТ.....	77
СТРУКТУРИ И ТЕКСТУРИ НА МЕТАМОРФНИТЕ КАРПИ.....	80
ПОДЕЛБА НА МЕТАМОРФНИТЕ КАРПИ.....	80
МЕТАМОРФНИ КАРПИ СО ШКРИЛЕСТА ТЕКСТУРА.....	81
МАСИВНИ МЕТАМОРФНИ КАРПИ.....	83
5 ОСНОВИ НА ТЕКТНИКАТА	
ОПШТО.....	85
ТЕКТОНСКИ ДВИЖЕЊА.....	85
ТЕКТОНСКИ ПОРЕМЕТУВАЊА.....	87
ТАНГЕНЦИЈАЛНИ ПОРЕМЕТУВАЊА.....	87
ЕЛЕМЕНТИ И КЛАСИФИКАЦИЈА НА НАБОРИТЕ.....	88
РАДИЈАЛНИ ПОРЕМЕТУВАЊА.....	92
ВИДОВИ НА РАСЕДИ И НИВНА КЛАСИФИКАЦИЈА.....	94
Поим за активни раседи.....	96
навлаки и луспи.....	97
ДРУГИ НАБОРНИ И РУПТУРНИ СТРУКТУРИ.....	98
пукнатини.....	98
КЛИВАЖ И ФОЛИЈАЦИЈА.....	99
ЛИНЕАЦИЈА.....	99
ПРАКТИЧНО ЗНАЧЕЊЕ НА ТЕКТОНСКИТЕ ДВИЖЕЊА.....	99
6 ОПШТИ СТРУКТУРНИ СВОЈСТВА НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ	
ВОВЕД.....	101
ПОИМ ЗА ТЕРЕН, КАРПЕСТ МАСИВ, МОНОЛИТ И ПОЧВА.....	101
ПОИМ ЗА ЗОНА НА ИНТЕРАКЦИЈА.....	103
ПОИМ ЗА ХОМОГЕНОСТ И ХЕТЕРОГЕНОСТ.....	105
ПОИМ ЗА ИЗОТРОПИЈА И АНИЗОТРОПИЈА.....	107
ПРИРОДНА НАПРЕГНАТОСТ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ.....	109
ДИСКОНТИНУАЛНОСТ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ.....	111
ИСПУКАНОСТ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ.....	111
ГЕНЕТСКА КЛАСИФИКАЦИЈА НА ПУКНАТИНИТЕ.....	111
ПАРАМЕТРИ И КЛАСИФИКАЦИЈА НА ИСПУКАНОСТА.....	113
Параметри и класификација на поединечни пукнатини.....	114
Параметри и класификација на системи на пукнатини.....	117
Параметри и класификација на пукнатинската мрежа.....	118
Показатели на испуканоста на карпестата маса.....	119
Графичко претставување на елементите на дисконтинуалноста.....	123
7 ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ	
ВОВЕД.....	127
ФИЗИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ.....	127
ГРАНУЛОМЕТРИСКИ СОСТАВ.....	127

СПЕЦИФИЧНА ТЕЖИНА, ВОЛУМЕНСКА ТЕЖИНА, ПОРОЗНОСТ И ВЛАЖНОСТ НА КАРПИТЕ.....	128
ВОДОПРОПУСТЛИВОСТ НА КАРПИТЕ.....	133
КАПИЛАРНОСТ НА КАРПИТЕ.....	133
СПЕЦИФИЧНА ИЗДАШНОСТ И РЕТЕНЦИЈА.....	134
ПЛАСТИЧНОСТ.....	134
ЛЕПЛИВОСТ.....	136
БАБРЕЊЕ И СОБИРАЊЕ НА КАРПИТЕ.....	136
ТОПЛОТНИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ.....	138
МЕХАНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ.....	140
ЈАКОСТ НА КАРПИТЕ.....	140
ЈАКОСТ НА ПРИТИСОК.....	141
ЈАКОСТ НА ЗАТЕГАЊЕ.....	143
ЈАКОСТ НА СВИТКУВАЊЕ.....	144
ИНДЕКС НА ЈАКОСТ.....	144
ЈАКОСТ НА СМОЛКНУВАЊЕ.....	147
Јакост на смолкнување кај примероци на цврсти карпи.....	150
Јакост на смолкнување кај цврстоврзани карпести маси.....	151
Емпириски методи за проценка на јакоста на смолкнување.....	152
Јакост на смолкнување по должина на пукнатини.....	152
ДЕФОРМАБИЛНОСТ НА КАРПИТЕ.....	154
ЖИЛАВОСТ НА КАРПИТЕ.....	159
АБЕЊЕ НА КАРПИТЕ.....	159
ВПИВАЊЕ ВЛАГА И ОТПОРНОСТ КОН МРЗНЕЊЕ.....	161
ТВРДИНА.....	162
АБРАЗИВНОСТ.....	162
ТЕХНОЛОШКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ.....	163
8 ПОДЗЕМНИ ВОДИ	
ВОВЕД.....	169
ОПШТО ЗА ПОТЕКЛО НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ И ХИДРОЛОШКИ ЦИКЛУС ВО ПРИРОДАТА.....	172
ВИДОВИ НА ВОДИ ВО КАРПЕСТИТЕ МАСИ И ОСНОВНИ СВОЈСТВА.....	175
ОПШТО ЗА ФИЗИЧКИ И ХЕМИСКИ СВОЈСТВА НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ.....	176
ПОИМ ЗА ХЕМИСКИ АНАЛИЗИ НА ВОДИТЕ.....	177
АГРЕСИВНОСТ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ.....	178
МИНЕРАЛНИ ВОДИ.....	179
ХИДРОГЕОЛОГИЈА НА СЛОБОДНИТЕ ПОДЗЕМНИ ВОДИ.....	179
ХИДРОГЕОЛОШКА ФУНКЦИЈА НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ.....	180
ИЗДАНИ.....	182
ПОДЕЛБА НА ИЗДАНИТЕ.....	183
ИЗДАНИ ВО КАРСТНИ ТЕРЕНИ.....	188
ПРИХРАНУВАЊЕ И ПРАЗНЕЊЕ НА ИЗДАНИТЕ.....	188
ИЗВОРИ И СРОДНИ ХИДРОГЕОЛОШКИ ПОЈАВИ.....	190
ИЗВОРИ.....	190

ВИДОВИ ИЗВОРИ.....	190
ИЗДАШНОСТ НА ИЗВОРИТЕ.....	193
ПИШТЕВИНИ И ИЗДАНСКИ ОКА.....	195
ОСНОВИ ЗА ДИНАМИКА НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ.....	196
ОСНОВНИ ЗАКОНИ НА ДВИЖЕЊЕТО НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ.....	197
ФИЛТРАЦИСКИ ПАРАМЕТРИ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ.....	199
ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА НАСОКАТА И БРЗИНАТА НА ДВИЖЕЊЕТО НА ИЗДАНСКИТЕ ВОДИ.....	203
ИЗДАШНОСТ НА ИЗДАНСКИОТ ТЕК.....	205
ВРСКИ НА ПОДЗЕМНИТЕ СО ПОВРШИНСКИТЕ ВОДИ.....	206
ОПШТИ ИЗРАЗИ ЗА ПРЕСМЕТКА НА ДОТЕК НА ВОДА КОН ВОДОСОБИРНИ ОБЈЕКТИ.....	207
ПОИМ ЗА РАДИУС НА ВЛИЈАНИЕ.....	207
ДОТЕК НА ВОДА ВО ДУПНАТИНА ИЛИ БУНАР.....	209
РЕЗЕРВИ НА ПОДЗЕМНИ ВОДИ.....	211
ОПШТИ ПОИМИ ЗА БУНАРСКА КОНСТРУКЦИЈА.....	212
ОПШТИ ПОИМИ ЗА ЗАГАДУВАЊЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ.....	214
ОСНОВНИ НАЧИНИ НА ТРАНСПОРТ НА ЗАГАДУВАЧИ НИЗ ПОРОЗНА СРЕДИНА.....	215
НАЧИНИ НА ХИДРОСТАТИЧКО И ХИДРОДИНАМИЧКО ВЛИЈАНИЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ.....	216
9 СОВРЕМЕНИ ГЕОЛОШКИ ПРОЦЕСИ И ПОЈАВИ	
ВОВЕД.....	219
РАСПАЃАЊЕ НА КАРПИТЕ.....	220
КВАЛИТАТИВНИ И КВАНТИТАТИВНИ МЕТОДИ ЗА ОПИШУВАЊЕ НА СОСТОЈБАТА НА РАСПАДНАТОСТ.....	223
ЕРОЗИЈА.....	227
ГЕОЛОШКА АКТИВНОСТ НА ВЕТРОТ.....	227
ГЕОЛОШКА АКТИВНОСТ НА ПОВРШИНСКИТЕ ВОДИ.....	229
ПОВРШИНСКА ЕРОЗИЈА.....	229
Квантитативен начин за изразување на процесот на ерозија.....	231
Метод за проценка на продукција на ерозивен нанос.....	235
ГЕОЛОШКА ДЕЈНОСТ НА РЕКИТЕ.....	236
ЛЕДНИЧКА ЕРОЗИЈА.....	243
КАРСТНА ЕРОЗИЈА.....	244
МОРСКА И ЕЗЕРСКА АБРАЗИЈА.....	249
СУФОЗИЈА.....	253
ПРОЦЕНКА НА СУФОЗИЈАТА КАЈ ВОДОСОБИРНИ ОБЈЕКТИ.....	256
ЛОКАЛНИ ГЕОЛОШКИ ПРОЦЕСИ.....	257
ГЕНЕРАЛНА ПОДЕЛБА НА ПОМЕСТУВАЊАТА ВО ТЕРЕНОТ.....	257
СВЛЕКУВАЊЕ И СВЛЕЧИШТА.....	264
ГРАДБА НА СВЛЕЧИШТАТА И НИВНА КЛАСИФИКАЦИЈА.....	271
ПРИЧИНИ ЗА ПОЈАВА НА СВЛЕЧИШТАТА.....	273
МЕХАНИЗМИ НА ПОМЕСТУВАЊА КАЈ СВЛЕЧИШТАТА.....	275
ДИНАМИКА И ПРОГНОЗА НА РАЗВОЈ НА ПРОЦЕСОТ НА СВЛЕКУВАЊЕ.....	278
МЕТОДИ ЗА ПРОЦЕНКА НА СОСТОЈБАТА НА СТАБИЛНОСТ НА ТЕРЕНОТ.....	280
АНАЛИТИЧКО-НУМЕРИЧКИ МЕТОДИ ЗА АНАЛИЗА НА СТАБИЛНОСТ.....	281

Основни методи за анализа на стабилност во почвени маси.....	282
Основни методи за пресметка на стабилноста во цврсти карпести маси.....	285
Основни принципи за вршење на напонско-деформациските анализи.....	289
Повратни анализи.....	290
Концепт на анvelope на јакоста.....	291
Концепт на неутрална линија.....	291
Концепт на критично забрзување.....	292
ПРИНЦИПИ ЗА САНАЦИЈА НА СВЛЕЧИШТАТА.....	293
ОСНОВНИ ПРАВИЛА ПРИ САНАЦИЈА НА СВЛЕЧИШТА.....	294
ЕЛЕМЕНТИ ЗА ПРОЦЕНКА НА ФУНКЦИОНАЛНОСТА КАЈ САНАЦИОНИТЕ МЕРКИ.....	308
ПРИМЕРИ НА СВЛЕЧИШТА.....	310
Свлечиште „Градот“ - Кавадаречко.....	311
Свлечиште во акумулацијата Вајонт- Италија.....	312
Свлечиште во СИ дел од П. К. “Суводол”- Битола.....	314
Свлечиште „Рамина“ во градот Велес.....	317
Свлечиште „Завој“ Р Србија.....	318
Свлечиште „Росберг“ во Швајцарија.....	319
Свлечиште кај градот Франк во Канада.....	319
ОДРОНУВАЊЕ И ОДРОНИ.....	320
ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА ОДРОНИТЕ.....	320
Механизам на одронување.....	321
Основни методи за санација на одроните.....	325
ОСИПУВАЊЕ И СИПАРИШТА.....	331
Методи за санација на сипариштата.....	332
ТЕЧЕЊЕ И ТЕЧИШТА.....	334
СУВО ТЕЧЕЊЕ И СУВИ ТЕЧИШТА.....	335
КАМЕНО - СНЕЖНИ ЛАВИНИ.....	337
10 ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ПРОЦЕСИ И ПОЈАВИ	
ВОВЕД.....	339
ДЕФОРМАЦИИ НА ТЕМЕЛНАТА ОСНОВА НА ОБЈЕКТИТЕ.....	339
СЛЕГНУВАЊЕ И ТОНЕЊЕ НА ТЕРЕНОТ.....	342
СЛЕГНУВАЊА.....	342
ВЕШТАЧКИ ПРЕДИЗВИКАНИ СЛЕГНУВАЊА.....	345
ТОНЕЊЕ И ПРОЛОМИ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ.....	347
ДЕФОРМАЦИИ НА ИСКОПИ ЗА ТЕМЕЛНИ ЈАМИ И ДРУГИ ИСКОПИ.....	349
ИСПАЧУВАЊЕ, РАСПУКНУВАЊЕ НА ДНОТО НА ИСКОПИТЕ И ПРОДОР НА ПОДЗЕМНИ ВОДИ.....	350
ПОДЗЕМНИ ПРИТИСОЦИ И ГОРСКИ УДАР.....	351
ИСПАЧУВАЊЕ НА ДНОТО НА ИСКОП КАЈ ПОДЗЕМНИ ПРОСТОРИИ.....	352
11 СЕИЗМИЧНОСТ НА ТЕРЕНОТ	
ВОВЕД.....	353
ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА ЗЕМЈОТРЕСИТЕ.....	354
ВИДОВИ ЗЕМЈОТРЕСИ.....	355

ИНТЕНЗИТЕТ И МАГНИТУДА НА ЗЕМЈОТРЕСИТЕ.....	356
ИНДИРЕКТНИ ЕФЕКТИ ОД ЗЕМЈОТРЕСИТЕ.....	362
ЛИКВИФАКЦИЈА.....	363
ВЛИЈАТЕЛНИ ФАКТОРИ ЗА ОШТЕТУВАЊЕ НА ОБЈЕКТИТЕ ПРИ ЗЕМЈОТРЕС.....	369
ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ФАКТОРИ.....	370
ПОСТАПКИ ЗА СЕИЗМИЧКА МИКРОРЕОНИЗАЦИЈА.....	374
МЕТОДИ ЗА ПРЕСМЕТКА НА СЕИЗМИЧНОСТ НА ОСНОВНАТА КАРПА.....	375
МЕТОД ЗА СЕИЗМИЧКА МИКРОРЕОНИЗАЦИЈА ПО МЕДВЕДЕВ.....	376
ПРИРАСТ НА СЕИЗМИЧНОСТА СО АМПЛИФИКАЦИЈА.....	377
ОСНОВИ ЗА ДЕФИНИРАЊЕ НА СЕИЗМИЧКОТО ДЕЈСТВО ВРЗ ОБЈЕКТИТЕ.....	378
ВИДОВИ ОШТЕТУВАЊА НА ОБЈЕКТИТЕ ПРИ ЗЕМЈОТРЕС.....	381
12 КЛАСИФИКАЦИИ И ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ	
ВОВЕД.....	385
ОПШТИ ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ КЛАСИФИКАЦИИ.....	385
ЦВРСТО СВРЗАНИ КАРПИ.....	386
СЛАБО СВРЗАНИ КАРПИ.....	387
НЕСВРЗАНИ КАРПИ.....	387
КЛАСИФИКАЦИОНИ СИСТЕМИ КАЈ ПОЧВЕНИ МАТЕРИЈАЛИ.....	387
ОПИС НА ЦВРСТО ВРЗАНИТЕ КАРПИ СПОРЕД ПРЕПОРАКИ НА МЕЃУНАРОДНОТО ДРУШТВО ЗА МЕХАНИКА НА КАРПИТЕ.....	390
ГЕОТЕХНИЧКИ КЛАСИФИКАЦИИ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ.....	390
КЛАСИФИКАЦИИ ЗА ПРОЦЕНКА НА СТАБИЛНОСТ НА ПОДЗЕМНИ ОТВОРИ.....	391
RMR (ROCK MASS RATING) СИСТЕМ.....	391
КЛАСИФИКАЦИЈА СПОРЕД БАРТОН, ЛИЕН И ЛУНД (Q-СИСТЕМ).....	393
СПОРЕДБА МЕЃУ КЛАСИФИКАЦИИТЕ.....	394
КЛАСИФИКАЦИИ НА КАРПЕСТИ МАСИ КАКО РАБОТНА СРЕДИНА.....	395
КЛАСИФИКАЦИЈА ERMР (EXCAVATION ROCK MASS RATING).....	397
КЛАСИФИКАЦИИ ЗА ПРОЦЕНКА НА ОТПРОТ ПРИ РИПЕРУВАЊЕ.....	398
КЛАСИФИКАЦИЈА ЗА ПРОЦЕНКА НА СТАБИЛНОСТ НА КОСИНИ.....	400
ГЕОЛОШКИ ИНДЕКС НА ЈАКОСТ (GSI).....	400
ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ.....	404
ОСНОВНИ ФИЗИЧКИ МОДЕЛИ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ.....	404
КАРАКТЕРИСТИЧНИ ПРОЦЕСИ И ПОЈАВИ ЗА ОСНОВНИТЕ ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ГРУПИ НА КАРПЕСТИ МАСИ.....	407
КАРАКТЕРИСТИЧНИ ПРОЦЕСИ И ПОЈАВИ ЗА ЦВРСТО СВРЗАНИТЕ КАРПЕСТИ.....	407
ОСНОВНИ КРИТЕРИУМИ ЗА ПОДЕЛБА НА ДИСПЕРЗНИТЕ МАТЕРИЈАЛИ.....	411
КАРАКТЕРИСТИЧНИ ПРОЦЕСИ И ПОЈАВИ ЗА СЛАБО СВРЗАНИТЕ КАРПЕСТИ.....	411
КАРАКТЕРИСТИЧНИ ПРОЦЕСИ И ПОЈАВИ ЗА НЕСВРЗАНИТЕ КАРПЕСТИ МАСИ.....	414
ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА ЛЕДНИЧКИТЕ СЕДИМЕНТИ.....	416
ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА НЕКОИ ОРГАНОГЕНИ СЕДИМЕНТИ.....	417
ОСНОВИ ЗА СТАТИСТИЧКИ АНАЛИЗИ КАЈ КАРПЕСТИТЕ МАСИ.....	417
13 КАРПИТЕ КАКО ГРАДЕЖЕН МАТЕРИЈАЛ	
ВОВЕД.....	423
ПРЕГЛЕД НА МОЖНОСТИТЕ ЗА КОРИСТЕЊЕ НА КАРПИТЕ.....	425

ПРИМЕНА НА МАГМАТСКИТЕ КАРПИ КАКО ГРАДЕЖЕН МАТЕРИЈАЛ.....	425
ПРИМЕНА НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ.....	427
ПРИМЕНА НА МЕТАМОРФНИТЕ КАРПИ.....	428
ФОРМИ НА КОРИСТЕЊЕ НА КАРПИТЕ КАКО ГРАДЕЖЕН МАТЕРИЈАЛ.....	429
КРШЕН КАМЕН.....	430
ДРОБЕН КАМЕН.....	432
МЕЛЕН КАМЕН.....	432
ОБРАБОТЕН КАМЕН.....	433
КАМЕН ЗА ПОКРИВАЊЕ И ПОПЛОЧУВАЊЕ.....	434
КАРПИТЕ КАКО СУРОВИНИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ГРАДЕЖНИ МАТЕРИЈАЛИ.....	436
КАРПИТЕ КАКО СУРОВИНИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА АГРЕГАТ.....	437
КРИТЕРИУМИ ЗА ИЗБОР НА ГЕОЛОШКО-ГРАДЕЖЕН МАТЕРИЈАЛ.....	438
КВАЛИТЕТ НА ПРИРОДЕН МАТЕРИЈАЛ КАКО АГРЕГАТ ЗА БЕТОН.....	438
КВАЛИТЕТ НА ПРИРОДЕН МАТЕРИЈАЛ КАКО АГРЕГАТ ЗА АСФАЛТ.....	439
КРИТЕРИУМИ ЗА КВАЛИТЕТ НА МАТЕРИЈАЛ КАКО ДОЛНА НОСИВА ПОДЛОГА КАЈ ПАТИШТАТА.....	440
ОСНОВНИ КРИТЕРИУМИ ЗА ДЕФИНИРАЊЕ НА КВАЛИТЕТ НА МАТЕРИЈАЛ ЗА ПОПЛОЧУВАЊЕ.....	441
НАОЃАЛИШТА НА ГЕОЛОШКИ ГРАДЕЖНИ МАТЕРИЈАЛИ.....	442
КАМЕНОЛОМИ.....	444
НАОЃАЛИШТА НА ГЛИНА.....	447
НАОЃАЛИШТА НА ЧАКАЛ И ПЕСОК.....	448
14 МЕТОДИ НА ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА	
ВОВЕД.....	449
МЕТОДИ НА ТЕРЕНСКИТЕ ИСТРАЖУВАЊА.....	450
МЕТОДИ НА ДАЛЕЧИНСКА ДЕТЕКЦИЈА.....	450
МЕТОДИ НА ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКО КАРТИРАЊЕ.....	452
ГЕОЛОШКИ КАРТИ.....	452
ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ КАРТИ.....	454
ГЕОЛОШКИ ПРОФИЛ.....	457
БЛОКДИЈАГРАМ.....	460
ГЕОФИЗИЧКИ МЕТОДИ.....	461
ГЕОЕЛЕКТРИЧНИ МЕТОДИ.....	461
СЕИЗМИЧКИ МЕТОДИ.....	462
СЕИЗМИЧКИ МЕТОДИ НА ПРОЗРАЧУВАЊЕ НА ТЕРЕНОТ.....	466
ГЕОРАДАРСКИ МЕТОДИ.....	468
ДИРЕКТНИ ИСТРАЖНИ МЕТОДИ.....	469
МЕТОДИ НА ИСТРАЖНО ДУПЧЕЊЕ.....	470
ИСТРАЖНИ ЈАМИ, РАСКОПИ И БУНАРИ.....	475
СТАНДАРДЕН ПЕНЕТРАЦИСКИ ОПИТ.....	476
МЕТОДИ ЗА ТЕРЕНСКИ ИСПИТУВАЊА НА ЈАКОСТ И ДЕФОРМАБИЛНОСТ.....	479
ОПИТ НА СТАТИЧКА ПЕНЕТРАЦИЈА.....	479
ИСПИТУВАЊЕ НА ДЕФОРМАБИЛНОСТА СО ПРЕСИОМЕТАР.....	481
ТЕРЕНСКИ ИСПИТУВАЊА НА ДЕФОРМАБИЛНОСТА НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ.....	483
ТЕРЕНСКИ МЕТОДИ ЗА ДЕФИНИРАЊЕ НА ЈАКОСТА НА СМОЛКНУВАЊЕ.....	489

ПРОБНО ОПТОВАРУВАЊЕ.....	491
КОМБИНИРАНИ СТАТИЧКО - ДИНАМИЧКИ ИСТРАЖУВАЊА.....	492
МЕТОДИ НА НАБЉУДУВАЊЕ НА ТЕРЕНОТ.....	495
ИНКЛИНОМЕТАРСКИ МЕРЕЊА.....	495
ЕКСТЕНЗОМЕТАРСКИ МЕРЕЊА.....	498
МЕТОДИ НА МЕРЕЊЕ НА НИВО НА ПОДЗЕМНА ВОДА.....	500
ИСПИТУВАЊЕ НА ВОДОПРОПУСТНОСТ ВО ТЕРЕНСКИ УСЛОВИ.....	502
ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ФИЛТРАЦИОНИ ПАРАМЕТРИ СО ЦРПЕЊЕ НА ВОДА ОД ВОДОСОБИРНИ ОБЈЕКТИ.....	504
ПРОГРАМИРАЊЕ НА ОБЕМ И ВИД НА ИСТРАЖНИТЕ РАБОТИ.....	509
ПРЕПОРАКИ ЗА ПРОГРАМИРАЊЕ НА ИСТРАЖНИ РАБОТИ КАЈ БРАНИТЕ.....	511
ПРЕПОРАКИ ЗА ИСТРАЖУВАЊЕ НА УСЕЦИ, ТУНЕЛИ, НАСИПИ И КАНАЛИ.....	513
ПРОГРАМИРАЊЕ НА РАСПОРЕД, ДЛАБИНА И БРОЈ НА ДУПНАТИНИ ЗА ОБЈЕКТИ ОД ВИСОКОГРАДБАТА.....	517
ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ЗА ИСТРАЖУВАЊЕ НА МОСТОВИ, ВИЈАДУКТИ, НАДПАТНИЦИ И ПОДПАТНИЦИ.....	520
ПРИНЦИПИ ЗА ДЕФИНИРАЊЕ НА БРОЈОТ НА ДУПНАТИНИ КАЈ ДЕПОНИИ НА ЦВРСТ ОТПАД.....	522
ПРИКАЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОД ИСТРАЖУВАЊАТА И ИСПИТУВАЊАТА.....	522
ГЕОЛОШКА ГРАФИКА КАЈ ИСТРАЖНИ РАСКОПИ И ДУПНАТИНИ.....	522
ГЕОЛОШКА ГРАФИКА КАЈ ПОДЗЕМНИ ПРОСТОРИИ.....	524
ТЕКСТУАЛЕН ДЕЛ НА ГЕОЛОШКАТА ДОКУМЕНТАЦИЈА.....	525
ГЕОЛОШКА ДОКУМЕНТАЦИЈА И ГЕОГРАФСКИ ИНФОРМАЦИСКИ СИСТЕМИ.....	525
15 ПРИМЕНА НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА ВО ПРАКТИКАТА	
ВОВЕД.....	529
ПОИМ ЗА ГЕОЛОШКИ ХАЗАРД.....	529
ОСНОВНИ ФАЗИ НА ИСТРАЖУВАЊЕ И ПРОЕКТИРАЊЕ.....	534
ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА ПРИ ПЛАНИРАЊЕ НА ПРОСТОРОТ.....	537
ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ПЛАНИРАЊЕ НА ЛИНИСКИ ОБЈЕКТИ.....	542
ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ПЛАНИРАЊЕ НА СООБРАЌАЈНА ИНФРАСТРУКТУРА.....	543
ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ПЛАНИРАЊЕ НА ГАСОВОДИ, НАФТОВОДИ, КАНАЛСКИ И ВОДОВОДНИ МРЕЖИ.....	547
ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ПЛАНИРАЊЕ НА ДЕПОНИИ.....	548
ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ПЛАНИРАЊЕ НА ПОДЗЕМНИ ОБЈЕКТИ И РАБОТИ.....	552
ПОЈАВА НА ШТЕТНИ ГАСОВИ ПРИ ИЗВЕДБА НА ПОДЗЕМНИ РАБОТИ.....	561
ПОЈАВА НА ВИСОКИ ТЕМПЕРАТУРИ.....	561
ВЛИЈАНИЈА НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ.....	561
ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ПЛАНИРАЊЕ НА ПОВРШИНСКИ КОПОВИ И КАМЕНОЛОМИ.....	562
ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ИЗГРАДБА НА БРАНИ И ВЕШТАЧКИ АКУМУЛАЦИИ.....	564
ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ИЗГРАДБА НА ДРУГИ ВИДОВИ ОБЈЕКТИ.....	572
16 ГЕОТЕХНИЧКИ МЕЛИОРАЦИИ И ИНЖЕНЕРСКИ ТЕХНИКИ ЗА ИСКОП	
ВОВЕД.....	575
ОПШТО ЗА ИНЈЕКТИРАЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ.....	575
ОПШТО ЗА ИНЈЕКЦИСКИ СМЕСИ.....	577

ОПШТО ЗА ИНЈЕКЦИСКИ ЗАВЕСИ.....	578
СИДРЕЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ.....	580
ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ И МЕХАНИЗАМ НА ДЕЈСТВУВАЊЕ НА СИДРАТА.....	581
ПОДЕЛБА НА СИДРАТА.....	582
ПРИМЕНА НА ПРСКАН БЕТОН.....	585
ВЕШТАЧКО ЗАМРЗНУВАЊЕ.....	586
ДРЕНИРАЊЕ.....	587
ДРУГИ ПОСТАПКИ ЗА ПОДОБРУВАЊЕ.....	588
ОПШТО ЗА СПЕЦИЈАЛНИ ТЕХНИКИ НА МИНИРАЊЕ.....	589
РАДИУС НА ОПАСНА ЗОНА ОД СЕИЗМИЧКО ДЕЈСТВО НА ЕКСПЛОЗИВОТ.....	593
ЛИТЕРАТУРА.....	597
АНЕКС 1.....	I
АНЕКС 2.....	II
АНЕКС 3.....	VII
АНЕКС 4.....	XVIII
АНЕКС 5.....	XXIV
АНЕКС 6.....	XXVI
АНЕКС7.....	XXXI
АНЕКС8.....	XLI
ЗАДАЧИ.....	XLIX

1 ОПШТО ЗА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА

ВОВЕД

При дефинирање на полето за научни и практични истражувања во инженерската геологија, секогаш се поаѓа од неколку главни поставки, кои се неопходни за да се разбере целокупноста и сложеноста на сите геолошки процеси и нивните влијанија врз инженерските објекти и интервенции.

При тоа, секогаш треба да се има предвид дека и теренот и вештачките објекти, се на својствен начин, сложени системи, но дека се уште посложени и влијанијата меѓу нив.

На пример, целокупната Земјина топка претставува динамичен систем со восхитувачки релјефни форми, застапеност на разновидни материјали и голем број процеси и појави, кои се предмет на изучување на многубројни теоретско-практични научни дисциплини. Одговор на вечните прашањата поврзани со постанокот на Земјата како планета, континентите и океаните, огромните планински масиви, рамничарските предели, промените на површината на Земјата, појавата и развојот на животинскиот и растителниот свет и други прашања дава **геологијата** како наука за Земјата.

Од друга страна, во човековата историја се изведени грандиозни инженерски објекти кои се восхитувачки дела и сведоци на човековиот интелект. Трендот на изградба на објекти со сложени конструктивни решенија посебно е карактеристичен за крајот на дваесеттиот и почетокот на дваесет и првиот век. Примери за импресивни и бескрајно смели инженерски интервенции се изведбата на тунелите под каналот Ла Манш, под некои јапонски острови, премостувања на острови и крајбрежни делови со големи растојанија, изведба на подземни градови, значајни хидротехнички објекти, сообраќајници во тешки терени и други објекти, кои се во фаза на градење или се веќе реализирани. Постојат и многу значајни интервенции од рударски карактер на површина на земјата или во подземје. Ова значи дека инженерските градби и интервенции не е можно да бидат изведени без широки познавања на повеќе техничките науки, како што се градежништвото и рударството.

Тука, со право може да се каже дека една од позначајните научни дисциплини, каде што се врши интегрирање и поврзување на најзначајните аспекти при решавање на сложените проблеми за изведба на инженерските интервенции е **инженерската геологија**. Таа, како научно-стручна област на геологијата, тежнее да даде придонес во решавање на комплексните прашања на меѓусебното дејство, односно **интеракцијата** меѓу теренот, како **природна геолошка конструкција**, со **инженерските објекти**, како **вештачки конструкции**.

Значењето на инженерската геологија посебно се нагласува кога се има предвид дека за градба на вештачките објекти стојат на располагање терени со сè понеповолни инженерскогеолошки карактеристики, а инженерските интервенции имаат сè поголеми димензии и сè посложени конструктивни решенија.

Посебно вреди да се истакне фактот дека многубројните извршени анализи за рушењето на најразновидни објекти како: брани, мостови, тунели, згради и друго, несомнено укажуваат дека најголем дел од причините за рушење лежат во

недоволното познавање или несоодветното толкување на инженерскогеолошките услови за нивната изведба, а не во конструктивните решенија.

Од ова произлегува потребата градежните инженери да поседуваат потребни познавања од оваа област. Уште поважно да ги разбираат и да ги почитуваат инженерскогеолошките услови на теренот, кој е предвиден за градежни зафати, без разлика што инженерскогеолошките истражувања и испитувања ги вршат специјализирани организации и стручни лица.

Неопходно е правилно и навремено поставување на проектните видувања пред инженерите геолози, со сите задачи и цели кои треба да се постигнат при истражувањата и испитувањата на теренот. При тоа, како највисок императив се наметнува потребата од тесна соработка меѓу проектантите, инженерите што се занимаваат со инженерството на теренот и изведувачите во сите фази на истражување, проектирање и изведба на инженерски објекти и интервенции.

Целосното почитување на природните услови во градежништвото, рударството и инженерството на животната средина овозможува избор на најекономични и технички најоправдани варијанти решенија на објектите, а истовремено обезбедува нивна најголема стабилност и сигурна експлоатација. Само така, можат да се создадат услови за решавање на актуелната проблематика на заштита на природната средина, што е една од најчувствителните болни точки на денешницата.

Од овие факти произлегува значењето на инженерскогеолошката наука и сите предизвици поставени пред лицата што се занимаваат со инженерство на теренот.

РАЗВОЈ НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА

Инженерската геологија е научна дисциплина, која постепено се оформувала и развивала низ подолг временски период. Во почеток, тоа било поврзано со општите трендови на развој на геологијата.

За развојот на инженерската геологија посредно се заслужни класиците на геолошката наука, но и научници од другите области на природните науки. Според некои автори, сестраниот италијански научник, уметник и хуманист Леонардо да Винчи, бил првиот човек што се занимавал со примена на геологијата при решавање на некои инженерски проблеми (Џ. Нил, 2003).

За истакнување се научниците М. В. Ломоносов (1711-1765), Д. Гетон (1726-1797) и други. Можат да се споменат трудовите на Чарлс Лајел (1797-1875) „Основи на геологијата“ од 1830 година и Чарлс Дарвин (1809-1882) „Потеклото на видовите“ од 1833 година, со кои е зацврстена еволуционата идеја во биологијата и во геологијата.

До крајот на XVIII век, геологијата не постоела како самостојна наука иако за овој период е поврзан развојот на одделни дисциплини како што се: минералологија, петрографија и кристалографија. Веќе во 1780 година А. Г. Вернер го дефинира поимот геогнозија (гео - земја, gnosis - познавање или учење), кој може да се смета како синоним за геологија.

Значајна улога во развојот на одделните геолошки дисциплини одиграле А. П. Карпинскиј (1847-1936), Е. С. Федоров (1853-1919), Ф. Левинсон-Лесинг (1861-1939), А. Е. Ферсман (1883-1945) и други.

Со оглед дека при изведбата на различни објекти во градежништвото, геолошките услови често биле пресудни за изборот на техничкото решение, инженерите-градители, преку интуитивно размислување, решавале и голем број проблеми поврзани со геолошките услови. Тука треба да се истакне улогата на англискиот научник Вилијам Смит (1769-1839). Тој се смета за основач на

стратиграфијата и татко на геологијата во Англија. Особен придонес има дадено при решавање на проблеми на релативната старост кај седиментните карпи, бидејќи при изведбата на голем број канали, утврдил дека има определени закономерности во редоследот на создавање на слоевите на Земјата. Слична улога им се припишува на Луис Еванс (1700-1756) во Америка и на Пјер Кордие (1777-1862) во Франција. Заслуга за развојот на инженерската геологија имаат и инженерите како Кулон (1736-1806), Хајм, Лижон и други.

Инженерската геологија особено систематски е развивана на просторите на Русија и на поранешниот Советски Сојуз. Според П. Н. Панјуков, зачетоците на формирање на инженерската геологија, како самостојна наука во Русија, се поврзани за средината на XIX век. При градбата на железничките линии, за прв пат биле вршени систематски истражувања, во почеток од страна на инженери-градители, а потоа од геолози. Веројатно, веќе од тоа време започнала да се кристализира потребата од научен пристап и примена на геолошката наука при решавање на практичните проблеми. Значајна улога одиграле Ф. П. Саваренски (1881-1946), М. М. Филатов (1878-1942), А. Ф. Лебедев (1882-1936) и други. Треба да се истакне етапата на развој меѓу двете светски војни, кога всушност се поставени теоретските основи на инженерската геологија. Посебно е значајна улогата на К. Терцаги, Стини, Леџет, Ф. П. Саваренскиј, Бендел, И. В. Попов и други. Во тоа време, како синоним за инженерска геологија, се користеле термини како **практична геологија** или **техничка геологија** (Р. Јовановиќ, 1986). Генерално, се смета дека инженерската геологија во периодот од крајот на XIX и почетокот на XX, се развивала во два правци и тоа **геолошки** и **инженерско-градежен правец**. Во геолошката насока, под поимот инженерска геологија главно се подразбирала примена на геологијата како „...кратко излагање на основните прашања на геологијата кое е достапно за практичарите при решавање на инженерски задачи и примена на геологијата во градежништвото...“ (П. Н. Панјуков, 1965). Од друга страна, инженерско-градежната насока главно била насочена кон разгледување на чисто градежни задачи. Од оваа насока, подоцна е оформена механиката на почви, чиј основоположник е К. Терцаги. Во секој случај, инженерската геологија се смета како претходница на сите геотехнички дисциплини. По втората светска војна, за развојот на инженерската геологија придонеле трудовите на: Заруба, А. Десио, Ј. М. Сергеев, Л. Милер, П. Н. Панјуков, Гугел, Д. Дир и други.

Вреди да се истакне, дека, инженерската геологија се наметнала како неопходна научна дисциплина и во рударството. Таму е посебно значајно правилното дефинирање на условите за експлоатација на минералните сировини на површината на теренот или во подземјето. Овде треба да се истакне улогата на М. М. Протофаконов. Тој уште 1908 година ја разработил класификација на карпите според т.н. „коэффициент на јакост“ кој и ден-денес се употребува при решавање на некои проблеми во рударството и во градежништвото.

На просторите на Балканот, инженерскогеолошките истражувања се вршени од страна на австриски геолози за потребата на градба на железнички линии во Р. Словенија во дваесеттите години на XX век (М. Јањиќ, 1982). Пионерска улога има М. Луковиќ од Универзитетот во Белград, во тогашна, предвоена Југославија. Тој веќе од 1921 година почнал да одржува настава од инженерска геологија, а во 1933 година издал и учебник кој е еден од првите во светот.

За периодот по Втората светска војна е поврзан и развојот на инженерската геологија во Р. Македонија. Треба да се истакне дека предавањата по овој предмет започнале на Градежниот факултет во Скопје од 1949 година. Во

почеток, наставата е одржувана од страна на Благоја Филиповски, а нешто подоцна од Тодор Митров.

Практична реализација на систематски инженерскогеолошки истражувања е извршена во разните фази на проектирање на сите значајни објекти, како што се: мавровскиот хидросистем, браните: Тиквеш, Козјак, Калиманци, Турија и други. Посебно треба да се нагласи фактот дека при истражувањата на мавровскиот хидросистем во 1953 година за **прв пат во светот** е применета метода на испитување на деформабилноста на карпите со **радијална преса**. Оваа метода денес е еден од стандардните за теренско испитување на деформабилноста на карпите. Во склоп на поранешниот Геолошки завод на Македонија постоел Оддел за инженерска геологија и хидрогеологија, каде што во текот на шеесеттите и на седумдесеттите години од XX век се изработени инженерскогеолошката и хидрогеолошката карта на Македонија со размер 1: 200 000.

Значаен момент во развојот на инженерската геологија е формирањето на Меѓународното друштво за инженерска геологија (IAEG- International Association of Engineering Geology). Неговото формирање било иницирано на XXII и на XXIII меѓународен геолошки конгрес (1964 и 1968 година), а како посебна асоцијација постои од 1970 година. Тогаш е одржан и Првиот конгрес во Париз (Џ. Нил, 2003). Оваа асоцијација води сметка за систематизирање и за стандардизирање на методите на истражување на теренот, се грижи за развој на нови методи, ги координира членките на одделните државни здруженија, организира симпозиуми, конференции и други манифестации. Од 1997 година таа се нарекува Меѓународно друштво за инженерска геологија и животна средина (International Association of Engineering Geology and the Environment).

Во денешно време, инженерската геологија најчесто се разгледува во склопот на посебна научна област - **геотехника** и има повеќе допирни точки со останатите геотехнички дисциплини. Таа и понатаму претставува научна дисциплина во интензивен развој, со многубројни полиња на научен интерес.

Во Македонија, матично друштво, каде што се третираат проблемите на инженерската геологија е Друштвото за геотехника на Македонија. Ова друштво е член на Меѓународното друштво за механика на почвите и геотехничко инженерство (во оригинал: International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - ISSMGE).

ПРЕДМЕТ НА ИСТРАЖУВАЊЕ НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА

Како и секоја научна дисциплина и инженерската геологија има одредени фундаментални и едноставни појдовни принципи, од кои понатаму се развиваат сите нејзини полиња на истражување. Според Дејвид Прајс (2009), инженерската геологија своите анализи ги заснова на следните принципи:

- Сите инженерски работи се изведуваат на или во теренот;
- Теренот секогаш, на одреден својствен начин реагира при изведбата на конкретен инженерски објект или интервенција;
- Реакцијата на теренот („инженерското однесување на подлогата“) при секоја инженерска интервенција мора да биде прилагодена на тие инженерски интервенции.

Основно е да се знае, дека секогаш постои меѓусебно влијание или интеракција меѓу подлогата и објектот. При добро избрано решение и прилагоден објект кон карактеристиките на подлогата, интеракцијата се изразува како **соработка** меѓу двата системи. Во спротивно, објектот и теренот се во меѓусебен **конфликт**, којшто може да доведе до рушење на објектот или до лом во теренот,

односно до појава на нестабилност на системот во интеракција. Тука мора да се спомене дека, специфичноста на сите научни области, кои се занимаваат со изучување на геолошката средина, произлегува од самата суштина на природните материјали. Ако, на градежните материјали и на конструкциите, можеме однапред да им ги пропишеме својствата и да им го предвидиме однесувањето при различни влијанија, тоа не може да се рече за природната средина во која се одвива целокупната инженерска дејност. Природната средина речиси секогаш е недоволно позната, а нејзиното однесување тешко е предвидливо и полно со изненадување. Ова произлегува од фактот дека теренот е создаден во временски период мерлив со милиони години, при што поминал низ различни фази на развој. Трагите од сите влијанија низ геолошката историја се вклучени во сегашниот изглед, својствата и состојби на карпестите маси.

Познато е дека современото градежништво и расположивата техника овозможуваат изведување на инженерски работи во какви било инженерскогеолошки средини. Од друга страна, за обезбедување сигурност при изведувањето на работите, сочувување на стабилноста на теренот и објектите што се градат на него и во него, неопходно е детално познавање на инженерскогеолошките услови на теренот. Имајќи ги предвид овие ставови, доста јасно може да се дефинира предметот на истражување на инженерската геологија, иако низ научната и стручната литература се среќаваат повеќе дефиниции, согледувања, борба на мислења, изразени дури и со контрадикторни ставови. Во денешно време инженерската геологија најкратко се дефинира како **примена на геолошката наука при решавање на инженерски проблеми** (Пашек, 1974; Бел, 1992). Таа се смета како спој меѓу природните науки (пред сè геологијата) и техничките науки (како градежништвото и рударството). Често се среќава и дефиницијата според која инженерската геологија претставува научна дисциплина, која се занимава со изучување **на теренот како природна конструкција, како работна средина, како наоѓалишта на природни градежни материјали и како дел од човековата средина** (М. Јањик, 1982). При тоа, терминот природна конструкција се однесува на одреден распоред на карпести маси, кои имаат различни механички својства, а во склоп на теренот во статички смисол се однесуваат како една целина. Терминот работна средина во инженерски смисол се однесува на одреден волумен на карпести маси како во склопот на теренот со своите општи физички, структурни, механички и хидраулички својства, така и издвоени од склоп на теренот, на кои и во кои се изведуваат одредени работни операции (М. Јовановски, 2001). Работните операции се однесуваат на: копање, минирање, дупчење, дренирање, сидрење и друго. Покрај овие аспекти, инженерската геологија игра значајна улога при истражувањето и експлоатацијата на природните градежни материјали, урбанистичкото планирање и во рударството. Во последно време, посебно се потенцира нејзината улога при решавање на проблемите на заштитата на животната средина. Според статутот на IAEG од 1997 година, инженерската геологија е дефинирана како: „...наука која е посветена на истражување, изучување и решавање на инженерски проблеми и проблеми поврзани со заштита на околината, кои може да се појават како резултат на интеракцијата на геолошките услови и активностите поврзани со човечките влијанија, како и со предвидување на мерки за заштита или санација на геолошките хазарди...”.

Здружението на инженери-геолози во Соединетите Американски Држави (AEG - Association of Engineering Geologists) ја има усвоено следната дефиниција: „...Инженерската геологија е геолошка дисциплина која е надлежна за решавање на инженерски проблеми и заштита на средината и јавната сигурност, односно

дисциплина на применетата геологија, која се занимава со примена на геолошките податоци, техники и принципи за истражување на: а) природните почвени и карпести материјали, површинските и подземните флуиди и б) интеракцијата на материјалите и процесите со природната геолошката средина, со оглед дека геолошките фактори влијаат врз планирањето, проектирањето, изведбата, експлоатацијата и одржувањето на инженерските објекти, како и на заштитата и на зачувувањето на ресурсите на подземните води, што адекватно се осознаваат, се интерпретираат и се презентираат низ инженерската практика и сродните гранки..." (Џ. Нил, 2003). Ако се направи синтеза на наведените дефиниции, се наметнува едно општо прифатено гледиште, дека основна цел на инженерската геологија и геотехниката е да се дефинира **интеракцијата на природната геолошката средина и инженерската дејност**. Ова значи дека основен предмет на нејзино истражување е теренот до длабини за кои се очекува да бидат во **зона на идна интеракција**. Зоната на интеракција може да се дефинира како волумен до кој може да се почувствуваат ефектите од објектот врз околната средина. Теренот се дефинира како дел од литосферата во кој се чувствува меѓусебното влијание на човековата дејност и влијанието на атмосферата, хидросферата и биосферата (Л. Д. Бели, 1985). Како атрибути на теренот можат да се сметаат составот и градбата на карпестите маси, природната напонска состојба, структурните, физичките и хидрауличките својства, релјефот, климатско-хидрографските карактеристики и друго.

Во практиката може да се сретнат различни мислења околу предметот на истражување на инженерската геологија, приматот на одделните геотехнички дисциплини и други прашања од научен и од практичен интерес. Во зависност од проблемите што ги третира, некои автори направиле нејзина систематизација и поделба. На пример, П. Н. Пањуков (1965) предложил поделба на: инженерска петрографија, инженерска геодинамика, регионална инженерска геологија и специјална инженерска геологија.

Инженерската петрографија ги проучува физичките, механичките и технолошките својства на карпите и употребливоста на материјалите како геолошко-градежен материјал. **Инженерската геодинамика** ги изучува современите геолошки и инженерскогеолошки процеси и појави, кои се резултат на тие процеси, со цел да се одредат сите можни опасности од нивното влијание врз објектите и луѓето, заради соодветна заштита. **Регионалната инженерска геологија** ги проучува проблемите за одредување на условите на градба и експлоатација на разновидни објекти на пошироко регионално ниво, со цел да се овозможи рационално просторно планирање. **Специјалната инженерска геологија** ги разгледува научните и теоретските прашања поврзани со инженерскогеолошкото изучување за рационално проектирање при градба на населени места, индустриски и градежни објекти од високоградбата и нискоградбата, рударски, архитектонски и други објекти и условите за примена на геотехнички мелиорации, односно различни мерки за подобрување на состојбата на теренот. Бондарик (1981) го вовел и термин **физичка геологија**, кој се поистоветува со теоретскиот дел на инженерска геологија, со цел да се направи одредена разлика со нејзината практична страна. Без разлика на различните ставови, поради многубројните можни влијанија меѓу сите елементи на теренот и инженерските активности, очигледно е дека инженерската геологија има многу широко поле за истражување (Слика 1.1).

Сите аспекти на истражување во инженерската геологија се тесно поврзани, така што при решавање на конкретни проблеми е потребно соодветно внимание на секој проблем што може да влијае на стабилноста и сигурноста на објектот.



Слика 1.1 Поле на научен интерес и примена на инженерска геологија при решавање на инженерски проблеми (Пашек, 1974)

ВРСКИ СО ДРУГИ НАУЧНИ ДИСЦИПЛИНИ

Инженерската геологија има потреба од користење на знаења од сите фундаментални научни дисциплини, а посебно е поврзана со останатите дисциплини во геотехниката.

Геотехниката пак, се дефинира како „...примена на методите на науките: механика на почви, механика на карпи, инженерската геологија и сите сродни научни дисциплини во градежното инженерство и индустриските гранки кои се занимаваат со ископ и зачувување на квалитетите на животната средина...“ (според Бреди, 2004). Со еден збор, геотехниката ги обединува сите науки што се занимаваат со техниката или инженерството на теренот (Слика 1.2).



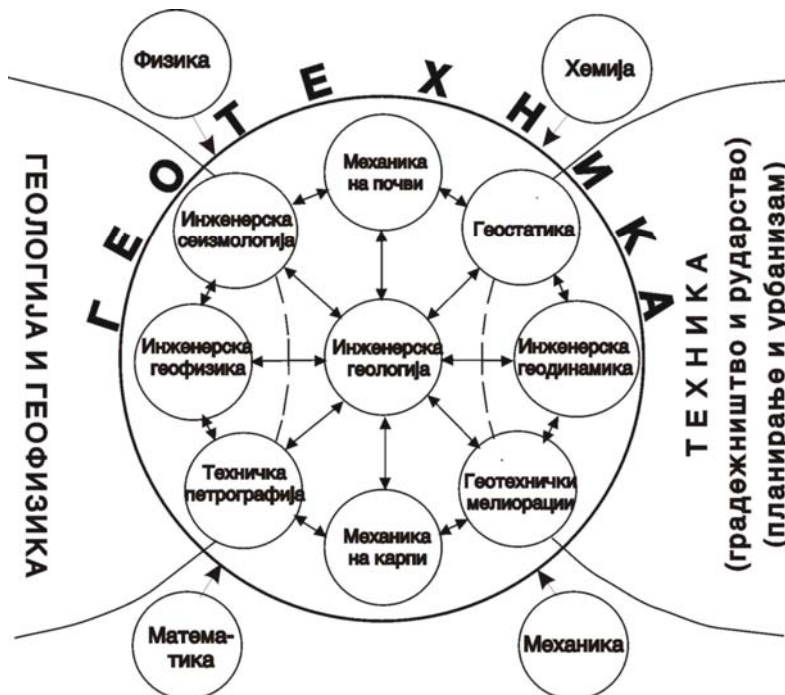
Слика 1.2 Приказ на различни геотехнички дисциплини (делумно модифицирано според Реутер Ф. и др., 1983)

Треба да се напомене дека инженерската геологија има многу важно место како предметна програма на факултети по: градежништво, рударство, геологија, студии по инженерство на животна средина и други научни полиња (Слика 1.3).



Слика 1.3 Место на инженерската геологија како предметна програма во различни научни полиња и врски со други дисциплини на базично и на експертско ниво (според Дејвид Грајс, 2009)

Поврзаноста на инженерската геологија со базичните и техничките науки е прикажана на Сликата 1.4.



Слика 1.4 Врски меѓу инженерската геологија со одделни научни дисциплини и врски со базичните науки (според Вујаниќ и др., 2005)

Специјалистите по инженерска геологија имаат многу значајна улога при истражување на теренот за потребите на градба на сите објекти од капитално значење како што се: брани, мостови, нуклеарни центри, аеродроми, високи згради, кули и друго. Инженерската геологија е неопходна и при утврдување на геолошките услови при проектирање на тунели, нафтоводи, канали, железнички линии и автопати, истражување и разработка на сите наоѓалишта на карпи и почви како градежни материјали, истражување за потреби на дефинирање на карактеристиките на површинските и подземните води, утврдување на геолошките хазарди, истражување на локации за депонии, урбанистички намени и друго.

Се гледа дека инженерите-геолози својата професионална кариера можат да ја реализираат на полиња на градежното или на рударското инженерство, во компании што се занимаваат со истражување на теренот, заштита на животната средина и други области. Произлегува, дека, инженерската геологија е на некој начин мост за полесно разбирање на експертите, кои се занимаваат со техничките и природните науки.

МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЊЕ ВО ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА

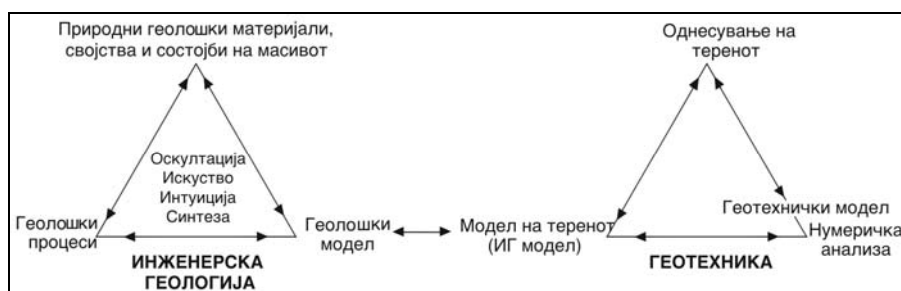
Инженерскогеолошките методи можат да се дефинираат како разработени постапки на еден систем, со кои се овозможува изучување на геолошката средина-теренот, преку собирање и анализирање на инженерскогеолошките податоци (Слика 1.5).



Слика 1.5 Методи на инженерскогеолошки истражувања (Е. М. Сергеев, 1984)

Регионално-генетските и историско геолошките методи имаат цел да го разјаснат влијанието на геолошката градба и генетските услови врз моменталната состојба на теренот, физичко-хемиските и механичките карактеристики на карпестите маси. Посебно значење имаат **експерименталните методи**, кои, зависно од карактерот на прилагањето на товарот се делат на **статички** и **динамички** методи, а се изведуваат во теренски или во лабораториски услови. **Методата на аналогија** го користи принципот на анализа на аналогни појави од други локалитети, со цел да се разрешат конкретни проблеми. **Методата на моделирање** е една од најраспространетите во инженерската геологија. При тоа, се користат различни постапки **на физичко** и **на**

математичко моделирање. Физичките модели се поедноставена физичка репродукција на вистинските услови во склоп на теренот. Во инженерската геологија е развиена методологијата на **инженерскогеолошко моделирање** по параметри, кои се од интерес за проектирање (Кујунџиќ, 1978). Како графички физички модели треба да се сметаат и сите геолошки, инженерскогеолошки и други карти, профили или какви било пресеци на теренот. Со математичките модели се тежнее да се дефинираат одредени својства и состојби на теренот со помош на аналитички врска или со **модел на напонско-деформациско однесување**. **Моделските испитувања** во вид на намалени физички модели можат да се вршат во **теренски** и во **лабораториски услови**. Во теренските испитувања припаѓаат **набљудувањата** или **оскултацијата** на изведени објекти во карпестите маси. **Аналитичко-теоретските методи** се многу значајни, бидејќи врз основа на резултатите од експерименталните методи, се овозможува воспоставување на аналитички врски меѓу одредени параметри и опишување на некој процес со математички јазик. Сите методи на истражување меѓусебно се многу поврзани (Слика 1.6).



Слика 1.6 Врски меѓу методите на истражување и анализа во инженерската геологија и геотехниката низ т.н. инженерскогеолошки и геотехнички триаголник (според Џ. Нил, 2003)

За потребите на инженерската геологија и геотехниката посебно се корисни регресионите методи, методот на конечни елементи и др. Во овој контекст, методите на сродните науки, како статистичките методи, математиката, информатиката, геодезијата, картографијата и други, во одреден случај имаат големо значење и за самата инженерска геологија.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Што е геологија?
- Што е инженерска геологија и како најкратко се дефинира?
- Што е основна цел на анализа во инженерската геологија и што се подразбира под терминот интеракција?
- Со кои научни дисциплини е поврзана инженерската геологија и кое е нејзиното место во геотехниката?
- Кои инженерски проблеми ги анализира инженерската геологија и кои методи на истражувања се применуваат за таа намена?

2 ОСНОВИ ЗА ГРАДБАТА НА ЗЕМЈАТА И НА ЗЕМЈИНАТА КОРА

ОПШТО

Ако се засноваме на фактот дека сите инженерски објекти или интервенции се изведуваат на површината или во внатрешноста на природната геолошка средина, јасно е дека глобалните процеси што довеле до сегашната состојба на Земјината кора имаат директно или индиректно влијание врз условите за градба. Од овие причини, неопходно е да се разберат основните процеси што довеле до создавање на Земјината кора.

Прашањата што се поврзани со проучување на условите за постанок на Земјата како планета, нејзиниот состав, структурата, историскиот развој на Земјината кора и сите процеси што се одвивале и се одвиваат во нејзината внатрешност и на нејзината површина ги проучува **геологијата**. Името доаѓа од грчките зборови **геа** - земја и **логос** - наука.

Таа е комплексна природна наука, која има голем број допирни точки со повеќе други научни дисциплини. Тие дисциплини можат да се општо теоретски, како: физика, хемија, географија, астрономија, или научно-практични, како: рударство, градежништво, геотехника, геодезија и други. Заради специфичностите и потребата од практична примена на фундаменталните науки при истражување на Земјата, во геологијата се издвоиле дисциплини како: геохемија, геофизика и други науки (Слика 2.1).



Слика 2.1 Врски на геологијата со други науки

Меѓу одделните геолошки дисциплини е невозможно да се повлечат остри граници, а поважни се следните:

- **Историска геологија**, која ги проучува развојните фази низ кои поминала Земјината кора и животот на неа во текот на нејзината долга геолошка историја;
- **Палеонтологија** е наука што ја проучува еволуцијата на изумрениот животински и растителен свет и врз основа на фосилизирани остатоци од тие организми врши одредување на геолошката старост на седиментните карпести маси и расчленување на геолошката историја на Земјината кора на ери, периоди, епохи, катови и поткатови, зони;
- **Минералологија** е наука за минералите, која ги проучува морфолошките, физичките и хемиските својства на минералите, како и начинот на нивниот настанок и нивната промена;

- **Петрологија** е наука за карпите, која го проучува начинот на настанокот на карпите, нивниот состав, својствата, преобразбата и нивната систематика;
- **Структурна геологија** е наука што врши: испитување, опис, анализа, класификација и генетска интерпретација на примарните и на секундарните (тектонските) структури во Земјината кора, ги проучува просторните и меѓусебните соодноси на карпите, нивните деформации и процесите што довеле до тоа;
- **Геоморфологија** е наука, која го проучува релјефот на површината на Земјата и условите за негов постанок;
- **Хидрогеологија** е наука за подземните води, која го проучува нивниот постанок, распространувањето, движењето, меѓусебното дејство на карпите и водата и објектите и разновидните хидрогеолошки појави;
- **Геоархеологија** е наука, која ги применува геолошките методи при археолошките истражувања;
- **Геоекологија** е наука, која ги применува геолошките методи при еколошките истражувања.

Тука се вбројува и **инженерската геологија**, која го проучува теренот како природна геолошка конструкција, како работна и како животна средина.

Сите гранки на геологијата се многу поврзани, а се користат за решавање на сложени теоретско-практични проблеми, поврзани со генезата на Земјата, па сè до решавање на конкретни инженерски проблеми.

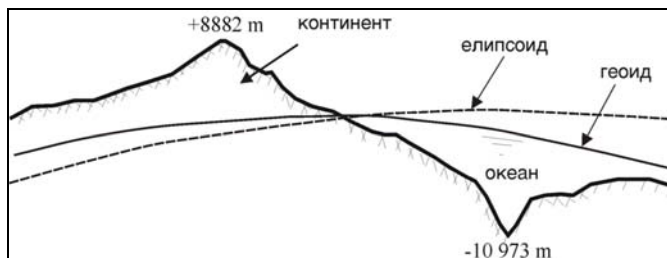
ФОРМА, ГРАДБА, СВОЈСТВА И СОСТАВ НА ЗЕМЈАТА

ФОРМА НА ЗЕМЈАТА

По својата форма Земјата е најблиску до малку сплесната топка или т.н. ротациски елипсоид. Кај ротацискиот елипсоид заради ротацијата, радиусот на екваторот е за околу 21.5 km подолг од радиусот на половите. Најзначајни се следните карактеристики на Земјата:

- Радиус на екваторот околу $6.378.338 \pm 53$ m;
- Радиус на половите околу $6.356.911 \pm 72$ m;
- Површина на Земјиниот елипсоид $510.100.937$ km²;
- Волумен на Земјата $1.083.819.780.000$ km³.

Земјата има нерамен релјеф кој отстапува од идеалната форма на елипсоид. Највисоките возвишенија на континентите достигнуваат висини од околу 8.8 километри над морето, а најдлабоките океански вдлабнатини до околу 11 километри (Слика 2.2).

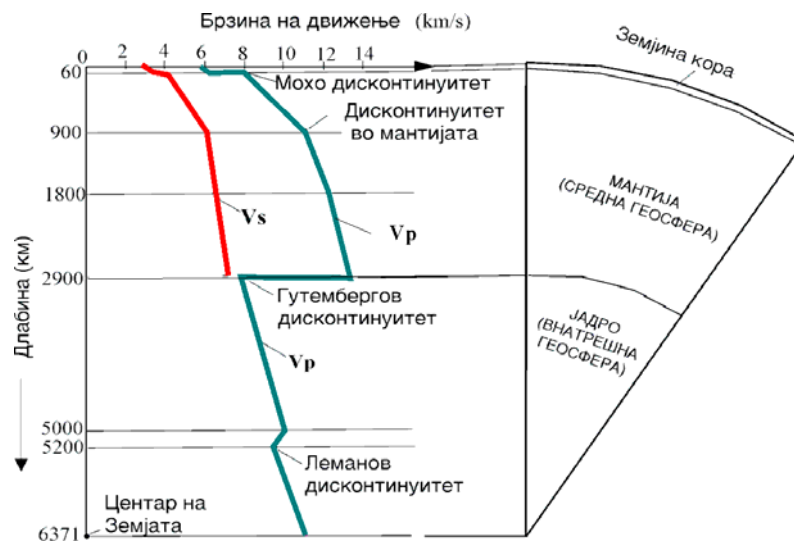


Слика 2.2 Однос меѓу површината на Земјата, геоидот и ротацискиот елипсоид

Во случај ако идеално замисленото ниво на површините на сите мориња и океани се прошири и преку континентите, би се добила форма на елипсоидното тело на Земјата, кое е наречено геоид (**геа** - земја, **еидос** - форма).

ГРАДБА НА ЗЕМЈАТА

Градбата на Земјата како планетоидно тело, е резултат на сложените процеси што се одвивале во внатрешноста и на површина на Земјата во текот на неколку милијарди години. Важно е да се спомене дека градбата на Земјата во подлабоките делови не може директно да се набљудува. Засега човекот директни набљудувања може да врши до длабочина од 3 250 m во рудникот на злато Ранбине во Јужна Африка. Со истражните и експлоатациските дупчења за нафта е достигната длабочина од 7-8 km. Постојат податоци дека најдлабоката дупнатина е издупчена на полуостровот Кола во Русија со длабочина над 12 km. Со природните геолошки процеси на одделни места се откриени профили на Земјата со длабини и од 10-15 km. Ваквите отворени профили се резултат на ерозија на теренот, тектонски движења и друго. Меѓутоа, сите овие длабини не претставуваат ниту 0,3 % од Земјиниот радиус. Затоа, податоците за составот, својствата и склопот за подлабоките делови на Земјата, се добиени на индиректен начин. За таа цел се применуваат многу сложени геофизички, сеизмолошки, астрономски и геохемиски испитувања. Од особена помош при дефинирање на градбата на Земјата се т.н. **сеизмички геофизички испитувања**. Со нив се дефинира брзината на простирањето на сеизмичките бранови, кои се делат главно на **надолжни** или **лонгитудинални** и **напречни** или **трансферзални бранови**. Со оглед дека брзините на движење на сеизмичките бранови зависат од густината и од еластичните карактеристики на средината низ кои тие поминуваат, со примена на ваквите испитувања е дојдено до сознание, дека Земјата нема хомогена, туку исклучително хетерогена градба. Имено, е докажано дека на некои длабини доаѓа до остра скоковита промена во брзината на простирањето на сеизмичките бранови. Овие зони на остро прекршување се наречени **дисконтинуитети** или **преломни површини** и се наречени според имињата на авторите што ги откриле (Слика 2.3).

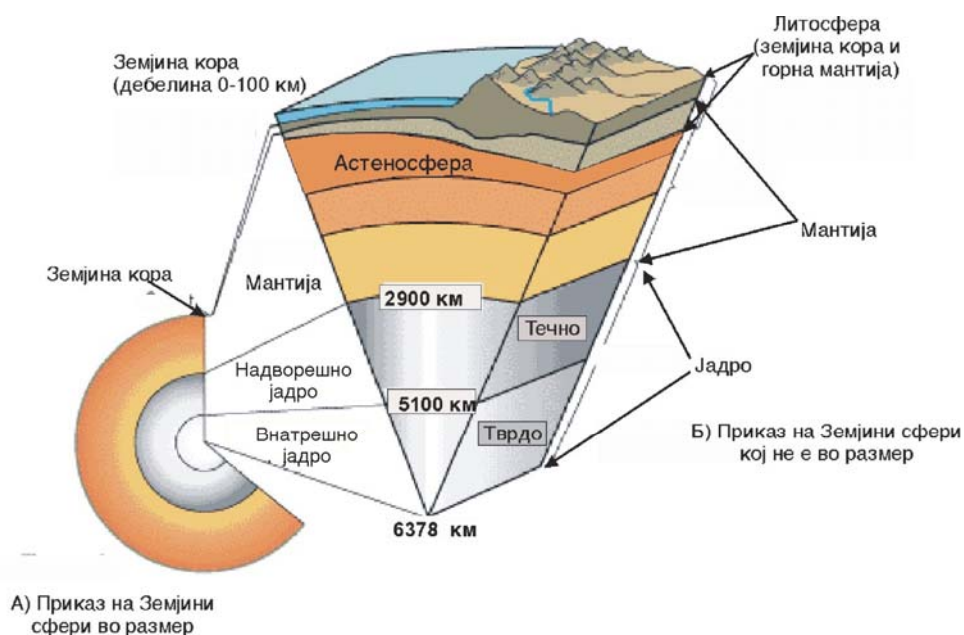


Слика 2.3 Графички приказ на промена на брзината на простирање на надолжните (V_p) и напречните (V_s) сеизмички бранови од површината до центарот на Земјата со главни дисконтинуитети (секторот од десна страна ја илустрира сферната градба на Земјата).

Современиот модел за градбата на Земјата тргнува од фактот дека во основа Земјата е составена од три глобални геосфери кои лежат непосредно една преку друга и тоа:

- надворешна геосфера која се нарекува Земјина кора;
- средна геосфера наречена обвивка или мантија;
- внатрешна геосфера или Земјино јадро.

Во научната јавност можат да се сретнат разлики во мислењата околу составот на одделните геосфери и во поглед на расчленувањето на средната геосфера (мантијата), но границите меѓу нив доста јасно се дефинирани (Слика 2.4).



Слика 2.4 Шематски приказ на Земјините сфери

Земјиното јадро го зафаќа централниот дел од Земјата од длабината 2900 до 6378 km. Се претпоставува дека е претежно составено од железо (Fe) и никел (Ni). За материјата во надворешното јадро се претпоставува дека се наоѓа во специфична течна состојба, додека во внатрешното јадро во специфична цврста состојба. **Мантијата (обвивката)** е средна геосфера, која го зафаќа делот на Земјата со просечна длабина од околу 100 до 2900 km. Надворешните граници на мантијата се релативно јасно дефинирани со споменатите дисконтинуитети, но нејзината внатрешност во поедини зони покажува разлики во: составот, густината, температурата, притисоците и физичката состојба на материјата. Некои автори ја делат мантијата на две подобвивки (горна и долна), додека други на три делови (горна, средна и долна мантија). Горната мантија е составена од **цврст дел** и од **астеносфера**. **Цврстиот дел** е поврзан со Земјината кора и заедно ја претставуваат литосферата. Се претпоставува дека овој цврст дел од горната мантија под континентите е изграден од перидотити со леќести тела од еклогити, додека под океаните е целосно изграден од хипотетична карпа наречена **пиролит**, составена од 25-33% базалт а остатокот од перидотит. **Астеносферата** претставува слој од пластична, слабо вискозна материја

податлива на деформации, по која се движат плејтектонските плочи од литосферата (Слика 2.5). Во **средната мантија** се застапени оксиди на железо, магнезиум и калциум и се претпоставува дека овде доаѓа до преоди на пироксени во гранати, на оливинот во спинел, без притоа да се менува хемискиот состав. **Долната мантија**, се претпоставува дека е составена од полиморфни мешавини, силно збиени магнезиско-железни силикати, евентуално и оксиди.



Слика 2.5 Шематски приказ на литосфера и астеносфера (преземено од Боев, 2001)

Земјината кора ја претставува надворешната цврста карпеста геосфера, која е и основен објект на изучувањето во геологијата. Сите геолошки, инженерскогеолошки процеси, појави, сета градежна и друга инженерска дејност, се поврзани за површинската зона на Земјината кора. Нејзината средна дебелина е 32 km, при што на континентите варира од 20 до 80 km, а во океаните од 5 до 15 km. Заедно со цврстиот дел од горната мантија ја гради литосферата (Слика 2.4). Според составот и физичките својства во рамките на Земјината кора се издвојуваат три типа и тоа **континентален, преоден и океански тип на кора**.

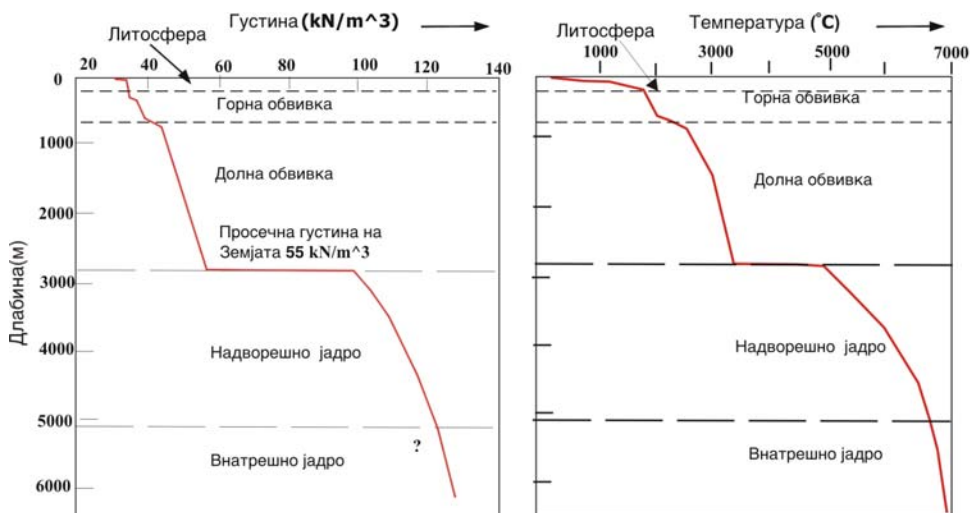
Континенталниот тип се состои од **седиментен, гранитен и базалтен слој**. Седиментниот слој е составен од седиментни и нискометаморфни карпи со максимална дебелина од 10 до 15 km. Во **гранитниот слој** се застапени гранити и високометаморфни карпи (гнајсеви) поради што се нарекува и гранитогнајсен слој. Неговата дебелина е главно од 30 до 40 km, при што најголемите дебелини се забележуваат во младите набрани планински масиви. Од хемиски аспект, главни состојки се алумосиликатите според кои и го добил името **сиал** (Si+Al). Доста е застапен и минералот кварц.

Базалтниот слој е најдолен дел на континенталната кора и е со променлива дебелина од 25 до 35 km. Најголема дебелина има во реоните на највисоките планински масиви и сиал зоната. Претежно е изградена од магматската карпа базалт, и од вулканогено-седиментни карпи. Во оваа зона превладуваат соединенијата на силициумот и магнезиумот, заради што и го добил името **сима зона** (Si+Mg). Во планинските области на континентите, каде што сиал-зоната е најдебела, сима-зоната се повиткува надолу. Затоа во овие делови литосферата е најдебела. По мислење на повеќе автори, континентите всушност претставуваат големи сиал-блокови, кои се делумно нурнати и „пливаат“ во долната погуста зона. Под дејство на центрифугалната и други сили, овие блокови се движат по неа.

Океанската Земјина кора е развиена на океанскиот простор и има дебелина од 10 до 12 km. Се состои од седиментен и базалтен слој.

Преодниот тип на Земјината кора се јавува во преодните делови на континентите и океаните, каде што гранитниот слој се редуцира и постепено исчезнува кон океаните.

Прикажаните главни геосфери покажуваат разлики во: густината, температурата, притисоците и физичката состојба на материјата (Слика 2.6).



Слика 2.6 Распределба на густина на масата и температури на Земјините сфери

Сликата е само една од можните илустрации што можат да се сретнат во литературата, но без разлика на различните видувања и интерпретации, разликите во физичките полиња на Земјата имаат големо влијание врз глобалните движења под Земјината кора.

ГЛОБАЛНИ ДВИЖЕЊА ВО ЗЕМЈИНАТА КОРА

Анализата на градбата на Земјината кора и Земјата како планета, но и речиси секојдневни појави на земјотреси, вулкански и други процеси, укажуваат дека Земјината кора е активен систем во постојано движење. Ова значи дека формирањето на Земјината кора сè уште не е завршено, односно некои нејзини делови повеќе или помалку се движат во хоризонтална или вертикална насока и во денешницата. Различните промени на Земјината кора се резултат на различни **внатрешни (ендогени)** и **надворешни (егозогени)** сили. Под нивно дејство, на површината на Земјата повеќекратно се формирале или ги „снемувало“ големите планински системи и океански депреси, кои во различни периоди од геолошката историја имале различен распоред. Посебно значење тука имаат **тектонските процеси**, кои се изучуваат во **геотектониката (тектонска геологија или тектоника)**. Геотектоника (од грчкиот збор **gea** - Земја, **tektonikon** - структура или градба) е геолошка наука, која ја проучува градбата и развојот на Земјината кора во регионални и планетарни димензии во текот нејзината долга геолошка историја. Основното практично значење на оваа наука се согледува во разјаснувањето и прогнозирањето на закономерностите на природните процеси и

структурните форми, кои се создаваат во Земјината кора. Геотектониката овозможува да се дефинира распоредот на карпестите маси во длабина, нивната просторна и меѓусебна положба во Земјината кора. Карпестите маси образуваат **геолошки тела** со различна геометрија и големина, кои се наречени **структурни форми на залегањето**. Структурните форми се фактографски материјал за моменталната состојба, врз база на што може да се донесе заклучок не само за современата градба на одреден дел на Земјината кора, туку и за движењата и преобразбите што се одвивале во геолошкото минато.

Сите сложени пореметувања на карпестите маси на Земјината кора се предизвикани со **тектонските движења**, поради што и се нарекуваат **тектонски пореметувања**. Според анализата на градбата на Земјината кора и Земјата како планета, тектоничарите дошле до заклучок дека тектонските пореметувања се одвиваат во дел од Земјата која е наречена **тектоносфера**, составена од горните делови на обвивката (мантијата) со вкупна длабина до околу 450 km. Таа претставува извор на тектонските движења и формирање на тектонските структури во самата Земјина кора, а подлабоките структури и процеси имаат свој одраз сè до површината на Земјата. Во крајна линија, сите манифестации на тектонската активност имаат големо практично значење, со оглед дека се одразени и на теренот кој е од интерес за инженерската дејност на човекот.

Покрај тектонските движења, во тектоносферата се јавуваат магматски, сеизмички, метаморфни процеси, радиоактивно распаѓање, ослободување на внатрешните напони и друго. Сите овие процеси во поголема или помала мера се пренесуваат во Земјината кора, што доведува до оформување на разни структури и деформации, појава на вертикални и хоризонтални поместувања на масите и друго. Овие манифестации можат да имаат локален, регионален или општопланетарен карактер. Под дејство на сите овие процеси, Земјината кора се деформира пасивно, следејќи ги деформациите на Земјината топка.

Според времето на постанокот, тектонските придвижувања обично се класифицираат во три категории и тоа:

- постари геолошки или палеотектонски движења;
- понови геолошки или неотектонски движења;
- современи тектонски движења.

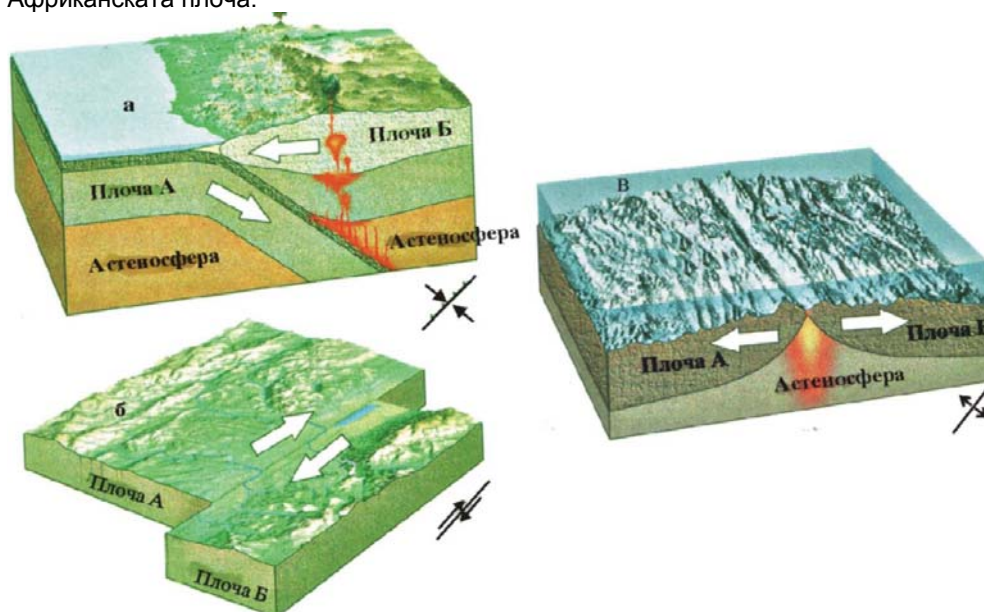
Тектонските движења, кои се јавуваат во неоген и квартал, се издвојуваат и се изучуваат како **нови** или **неотектонски движења**. Тие во значителна мера имаат влијание врз обликувањето и сегашниот релјеф на Земјината кора. Се манифестираат, главно, како осцилаторни движења со издигнување и спуштање на поедини делови од теренот, а се сврзани главно за мобилните геосинклинални области.

Современите тектонски движења ги опфаќаат сите движења и активности на Земјината кора во последните 6 000 години од развојот на Земјата. Овој период всушност се дефинира како историски период. Современите тектонски движења се манифестираат на два начина:

- вековни бавни вертикални и хоризонтални движења;
- краткотрајни скоковити, брзи сеизмички движења од вертикален и од хоризонтален тип.

Вековните движења не мора да се опасни за однесувањето на објектите, посебно ако се манифестираат во склоп на еден тектонски блок. Во овој контекст, посебно внимание се посветува на зоните од теренот во должина на кои се случуваат поместувања и во денешни дни и во должина на кои се врши ослободување на сеизмичка енергија во вид на земјотреси или неочекувани ерупции на вулканските апарати.

достига 2-3 km. Во централните делови обично (иако не секогаш) се наоѓа вдалбнат дел, кој се нарекува **рифтна долина**. Кај ваквите зони, слојот од цврсти карпи е најчесто со базалтен состав, а има мала дебелина. Покрај океанските, се среќаваат и **континентални рифтови зони**, кои со тек на геолошко време може да преминат во океански подрачја. Континенталните рифтови настануваат над **астеносферските дијапири** (зони на втиснување на топол материјал) и претставуваат т.н **топли точки**. Најпознат континентален рифт, каде што во денешен период се во тек процеси на раздвојување и раздробување на континентот Африка е Источно - африканскиот рифт. Пример за класично раздвојување е и зоната на Црвеното Море, каде се раздвојуваат Арабиската и Африканската плоча.



Слика 2.8 Основни видови на граници меѓу одделни плочи: а-подвлекување на плоча А под плоча Б (субдукција) б-горизонтален расед кој предизвикува хоризонтално поместување меѓу плочите в-раздвојување меѓу две плочи (рифт)

Под дејство на т.н. **конвекциони текови**, во рифтните долини постојано се изнесува топол материјал од астеносферата, кој се лади и создава нова океанска кора (Слика 2.9). Во зоната на нагорните струења се создава новата океанска кора, а на надолните доаѓа до нејзино уништување. При тоа, според некои автори, литосферата се однесува како пасивен „сплав“, кој е носен со конвекцискиот ток од зоната на рифтување (раздвојување) кон зоната на субдукција (деструкција). Постојат и мислења дека литосферата не се однесува пасивно во овој процес, туку постепено, со оддалечувањето од средноокенските гребени се задебелува, станува потешка и тоне под континентите и островските лакови. Зоните на придвижување на тектонските плочи со **субдукција** или **подвлекување на плочите** се карактеризираат со силни триења, каде што до длабини од околу 670 km веќе започнува топење на цврстите карпи и преминување во магма. Границата на подвлекување се карактеризира со појава на длабоки **океански грабени (trench)**. Зоната на судир се карактеризира со појава на силни земјотреси и се нарекува **Beniof - зона**. Судирот меѓу плочите може да биде на некој од следните начини:

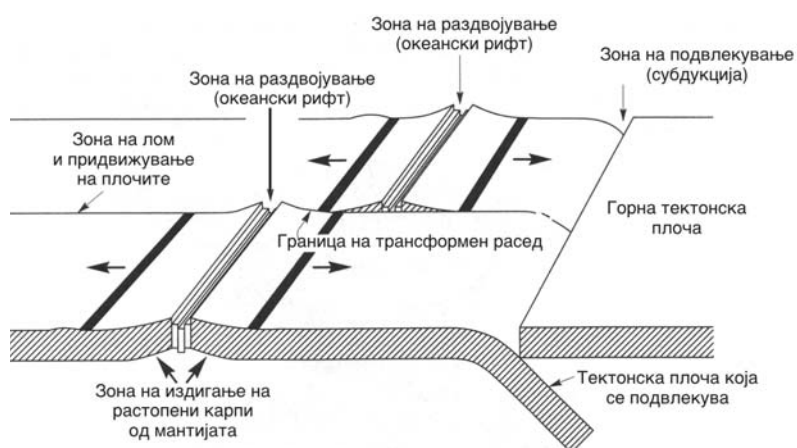
- океанска под океанска плоча;
- океанска под континентална плоча;
- судир без подвлекување со т.н. **колизија** на континентална со континентална плоча.



Слика 2.9 Приказ на конвекциски текови во астеносферата

Пример за подвлекување на океанска под океанска плоча се зоните на Тихиот Океан во Маријанската област, каде е констатирана и најголемата длабина на океанот и до 11 km. Пример за подвлекување на океанска под континентална плоча се западното крајбрежје на Северна и Јужна Америка, каде се создадени и високите планински венци како Андите, Кордилерите и др. Најпознат контакт на колизија на континентална со континентална плоча се зоните на планинските венци како што се: Хималаите, Алпите, Апалачките Планини, Урал и др. Се карактеризираат со силни земјотреси.

Поврзано со тектониката на плочи, треба да се споменат т.н. **трансформни раседи** кои се карактеризираат со специфични хоризонтални поместувања на плочите (Слика 2.10). Трансформните раседи можат да предизвикаат големи петролошки, структурни и топографски промени во градбата на Земјината кора. Поместувањата се паралелни или приближно паралелни со насоката на ширење на рифтот. Најпознат расед со доминантно хоризонтално поместување од тип на т.н. транскурентни раседи е **Сан Андреас** во Калифорнија.



Слика 2.10 Меѓусебни односи на зони на раздвојување, подвлекување и трансформни граници

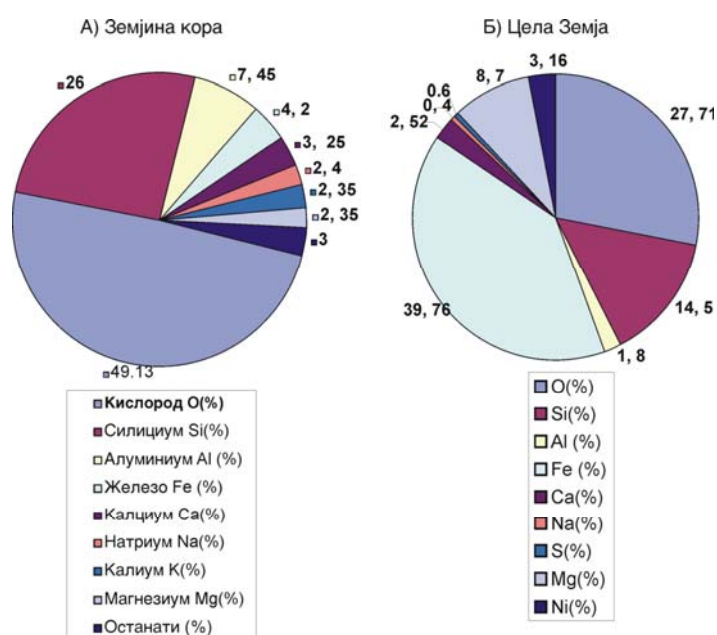
ОСНОВИ ЗА ГРАДБАТА НА ЗЕМЈАТА И НА ЗЕМЈИНАТА КОРА

Со оглед дека придвижувањето на плочите има континентален карактер, тоа има големо влијание врз **напонската состојба** на одделни делови од Земјината кора, односно врз правците на главните напрегања. Главните напрегања се многу значајни кај инженерските објекти (посебно во подземјето), а нивното правилно определување претставува една од најтешките задачи во геологијата и геотехниката воопшто.

ДРУГИ СВОЈСТВА НА ЗЕМЈАТА

ХЕМИСКИ СОСТАВ НА ЗЕМЈАТА

Според рускиот геохимичар А. Е. Ферсман, во составот на горниот дел на Земјината кора со 97% влегуваат само осум елементи, додека во целокупната Земјина маса само девет елементи учествуваат со 99% (Слика 2.11).



Слика 2.11 Застапеност на одделни елементи во градбата на Земјината кора и на Земјата според Ферсман (од Миловановиќ, 1949)

Хемизмот е особено значаен за сите минерали и карпи кои ја градат Земјината кора и во одредени случаи влијае на механичките и на другите својства на теренот.

ГРАВИТАЦИЈА

Земјината површина е под дејство на две меѓусебно спротивставени сили и тоа гравитацијата (Земјина тежа) и центрифугалната сила. Гравитацијата дејствува од периферијата кон центарот на Земјата. Центрифугалната сила се јавува како последица на ротацијата на Земјата и дејствува кон периферијата. Гравитацијата претставува способност на телата меѓусебно да се привлекуваат. Името доаѓа од грчкиот збор **гравис** што значи **тежок**. Ова својство е познато во физиката и е дефинирано од страна на Исак Њутн. Според него, силата на

ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА

привлекување е пропорционална на масите на самите тела кои меѓусебно се привлекуваат, а обратно пропорционална на квадратот на нивните растојанија:

$$F = k \frac{m_1 * m_2}{r^2}$$

Каде е: F - сила на привлекување; k-гравитациска константа;
m₁; m₂ - маса на телата; r - меѓусебна оддалеченост на телата.

Кога Земјата би се состоела од хомогена маса и би била без релјеф, сите точки од иста географска ширина би имале иста вредност на гравитацијата. Меѓутоа, различната градба, постоењето на разни подземни празнини и разликите во релјефот, предизвикуваат отстапувања од пресметковните вредности на гравитацијата во негативен или позитивен смисол. Овие отстапувања се нарекуваат **аномалии** и се користат при дефинирањето на геолошка градба на подлабоките делови од литосферата со помош на т.н. **гравиметриски геофизички методи**.

МАГНЕТИЗАМ НА ЗЕМЈАТА

Земјата претставува релативно слаб магнет, но сепак доволен да дејствува на магнетната игла на компасот и да побудува магнетички својства кај некои минерали во Земјината кора. Магнетните линии на Земјиниот магнетизам, кружејќи од јужниот кон северниот магнетен пол, ги пресечуваат површинските делови на литосферата и кај некои минерали и карпи побудуваат индуктивен магнетизам. На тој начин во површинскиот дел на литосферата настануваат локални магнетни патишта со различен интензитет, кој со своите магнетни полиња предизвикуваат локални аномалии од земјиниот магнетен пол. Линиите, кои ги поврзуваат точките со исти аномалии се нарекуваат **изоаномалии**. Одликата на некои минерали да создаваат свои магнетни полиња, се користи во геофизиката за детекција на корисни минерални сировини со помош на **метода на магнетометрија**.

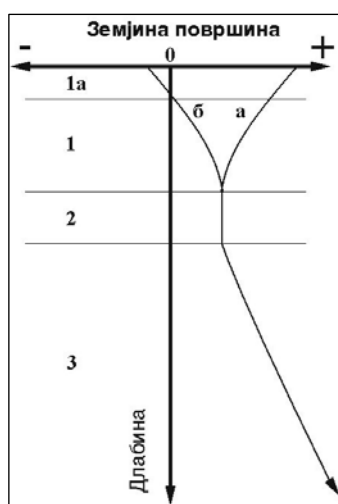
РАДИОАКТИВНОСТ НА ЗЕМЈАТА

Со многубројните испитувања на теренот, водата, воздухот, минералите и карпите, е утврдено присуство на радиоактивни материји во литосферата, хидросферата, атмосферата па и во живите организми. На одделни места се јавуваат и значајни концентрации на радиоактивни материји, кои и се експлоатираат како лежишта на минерални сировини. Главно радиоактивноста доаѓа од радиоактивните природни елементи, како уран (U²³⁸), торииум (Th²³²) и калиум (K⁴⁰).

ТОПЛОТЕН РЕЖИМ НА ЗЕМЈАТА

Земјата и Земјината кора се „загреваат“ од три извора. Едниот извор е Сонцето, кое со своите тоplotни зраци влијае на површинскиот дел од литосферата. Процесот на загревање од Сонцето се вика **инсолација**, а таа топлина се смета за надворешна топлина. Другиот извор е **внатрешна топлина**, која се наоѓа во внатрешноста на Земјата и води потекло од вжештено-гасовитата состојба во одделните делови на Земјата. Третиот извор на топлина е исто така внатрешен, поврзан е со процесите на **распаѓањето на радиоактивните елементи**. Сите извори на топлина условуваат сложен карактер на промена на температурата во карпестите маси и температурниот режим на Земјата и на Земјината кора. Од практичен аспект, најзначаен е најгорниот дел на Земјината кора, каде што се издвојуваат три основни температурни зони (Слика 2.12). На

самата Земјина површина е најактивно дејството на Сончевата топлина и температурните осцилации се најизразени. Се разликуваат: **вековни, годишни, сезонски, месечни и дневни** температурни осцилации. Дневните осцилации практично се чувствуваат до длабина од околу 1, 5 m, а годишните на длабина од 20-30 m. За средните (умерените) географски ширини е карактеристична кривата **а** за летниот период, кога се забележува намалување на температурата во длабина и кривата **б** за зимски период, кога се забележува зголемување на температурата во длабина. Во зимскиот период во зоната **1** се формира подзона



на мрзнење која е означена со **1a**. Нејзината дебелина зависи од климатските услови, видот на карпите и друго, и најчесто се движи од неколку сантиметри до околу 2 m.

Слика 2.12 Шема на распределба на температурите во Земјината кора: 1a - подзона на мрзнење во зимски период; 1 - зона на променливи температури со сезонски колебања и дебелина од 20-30 m; 2 - зона на постојани температури (неутрална зона со дебелина од 15-40 m); 3 - зона на прираст на температурите со среден геотермски степен од $1^{\circ}\text{C}/33\text{ m}$; за средно умерените географски ширини: а - за летниот и б - за зимскиот период.

Влијанието на **сезонските температурни** осцилации во длабина се намалува, при што од 15-40 m под површина на Земјата се протега зона на постојана температура или **неутрален температурен слој** (2). Овој слој одговара на средногодишната температура на воздухот на одреден локалитет и ја дефинира границата на влијанието на надворешната температура која делува на Земјата и внатрешната температура. Во зоната **3**, која се наоѓа под долната граница на зоната со постојана температура, како резултат на влијание на внатрешната топлина на Земјата температурата на карпестите маси во длабина незакономерно се зголемува.

Промената на температурата во длабина се изразува преку **геотермскиот степен** или **геотермскиот градиент**. Прирастот на температурата на секои 100 m длабина во зоната 3 се вика **геотермски градиент**. Длабината при која температурата се зголемува за 1°C се вика **геотермски степен**. Двете големини се одликуваат со незакономерна промена во длабина, а зависат пред сè од геолошките и структурните својства на теренот, топлопроводноста на карпите, карактерот на геохемиските реакции во карпите, присуството или отсуство на топли, врели или ладни пари во одредени делови на Земјината кора, концентрација на радиоактивните елементи, јаглен, постоење на млади активни вулкани и друго. Во Европа се усвојува дека геотермскиот степен е 32-33 m, Азија, Африка и Австралија е 23-27 m, а во Северна Америка е 39 m.

Овој просечен параметар (33 m за 1°C), може да се усвои за горните делови на Земјината кора, но тој не може да важи за подлабоките делови на Земјата. Ако се тргне од претпоставката дека температурата расте за 1°C на секои 33 m, тогаш таа во центарот на Земјата, на длабина од околу 6371 km би достигнала околу $200\ 000^{\circ}\text{C}$, што со ништо не е потврдено. Меѓутоа, познато е дека температурата

на топењето на минералите и карпите кои што ја градат Земјината кора изнесува од околу 1150-1700 ° C, што значи дека на длабина од 40-50 km, при температури од 1200-1500 ° C тие треба да се топат. Сепак, поради зголемените притисоци во длабина овие материјали остануваат често пати во тврдопластична состојба, со оглед дека се зголемува т.н. критична точка на топење на материјалите.

НАДВОРЕШНИ СФЕРИ НА ЗЕМЈАТА

Земјата како планетоидно тело се карактеризира со присуство на надворешните сфери и тоа: хидросфера, биосфера и атмосфера. Меѓу литосферата, хидросферата, биосферата и атмосферата постои меѓусебно дејство, што суштествено се одразува на составот и на градбата на горните зони од литосферата.

Атмосферата е гасна обвивка околу Земјата со дебелина преку 700 km. Горната граница на атмосферата се проценува дека се протега на висина од околу 3000 km. Атмосферата дејствува хемиски, физички и механички врз литосферата, регулирајќи ја распределбата на топлината и влагата. Има сложена градба и се состои од три потсфери и тоа **тропосфера, стратосфера и јоносфера**. Тропосферата се наоѓа непосредно над површината на Земјината кора и има најголема густина и најмала дебелина. Нејзината дебелина се движи од 6 km на половите, 15-18 km на екваторот, а кај умерените географски широчини околу 10-12 km. Таа содржи околу 80% од целокупната маса на атмосферата, а со тоа скоро и сета водена пареа. Стратосферата се распростира до висина од околу 80-90 km. Во оваа сфера нема водена пареа ниту воздушни струења. Температурата во средните слоеви понекогаш достигнува до +25 ° C, но во горните слоеви таа повторно започнува да опаѓа и се да спушта до околу -70°C до -80°C. Се претпоставува дека зголемувањето на температурата во средните слоеви е поврзано со зголемената содржина на озонот. Постоенењето на озонот, кој се оформува со дејството на сончевите ултравиолетови зраци на јаглерод - диоксидот, дури и во милионити делови од процентот, обезбедува сигурна заштита на Земјата од ултравиолетовите и други зрачења на Сонцето, кои се убивствени за животот воопшто. Во денешно време, веќе се познати опасни озонски дупки, каде е уништен овој заштитен слој. Јоносферата е најретка и најодалечена потсфера на атмосферата. Воздухот овде е многу јонизиран, често се набљудуваат поларни одблесоци (светлости), најчесто на висини од околу 400-500 km. Горната граница на оваа потсфера, која е многу разредена, не е јасно утврдена, затоа што таа постепено проаѓа во меѓупланетарно пространство. Во јоносферата на висина од околу 250-300 km се регистрирани највисоки температури во атмосферата, кои изнесуваат меѓу +500 до +600 °C.

Хидросферата претставува водна обвивка на Земјата, каде што се вклучени водите на океаните, морињата, езерата, реките, ледниците како и подземните води. Хидросферата не оформува континуален слој и се протега на 70,8% од Земјината површина. Средната дебелина се движи околу 3,8 km, а најголемите длабини изнесуваат до 11,52 km, во таканаречената Маријанска депресија кај Филипините во Тихиот Океан. Основниот дел на хидросферата со околу 94% го сочинува светскиот океан, каде се вклучени сите води на океаните и морињата, кои се меѓусебно водно поврзани. Во вкупниот волумен на хидросферата подземните води учествуваат со 4,12%, поларните и планинските ледници со 1,65%, додека езерата и реките само со 0,016%. Повеќе од 98% на сите водени резерви на Земјата ги сочинуваат солените води на океаните, морињата и друго. Општиот волумен на пресните или слатките води на Земјата изнесува 28 милиони km³. Ова значи дека тие претставуваат околу 2% од хидросферата. Делот од

слатките води кои се достапни за водоснабдување изнесува само 4,2 милиони km³ вода, или само 0,3% од волуменот на хидросферата. Хидросферата се одликува со голема подвижност и сила која ги преместува водите во сите услови на нејзино опстојување. Како резултат на тоа таа има исклучително голема и многузначна улога како **геолошки фактор** при развојот на Земјината површина. Од една страна, под дејство на хидросферата се врши интензивно разрушување на карпестите маси, но од друга, таа се јавува како фактор на изградбата на Земјата. Изградбата се овозможува со акумулирањето на разновидни талози во склоп на хидросферата со значителна дебелина, кои се движат и до неколку десетина километри.

Под поимот **биосфера** се подразбира сиот органски свет кој живее на Земјината кора, на копното, под земјата, во водите и во воздухот. Во денешно време е познато постоење на повеќе од 500 000 типа на различен растителен свет и преку 1 000.000 различни животински видови. Во геологијата, биосферата се разгледува како фактор кој има влијание врз процесите на разрушувањата и промените во Земјината кора. Факторите на разрушување се изразуваат преку дејството на корењата, подземниот живот, разните излучувања на материи од живиот свет и друго. Од друга страна, морските животни даваат материјал за оформување на некои седиментни карпи кои градат големи пространства на Земјината кора како варовниците, доломитите и други карпи.

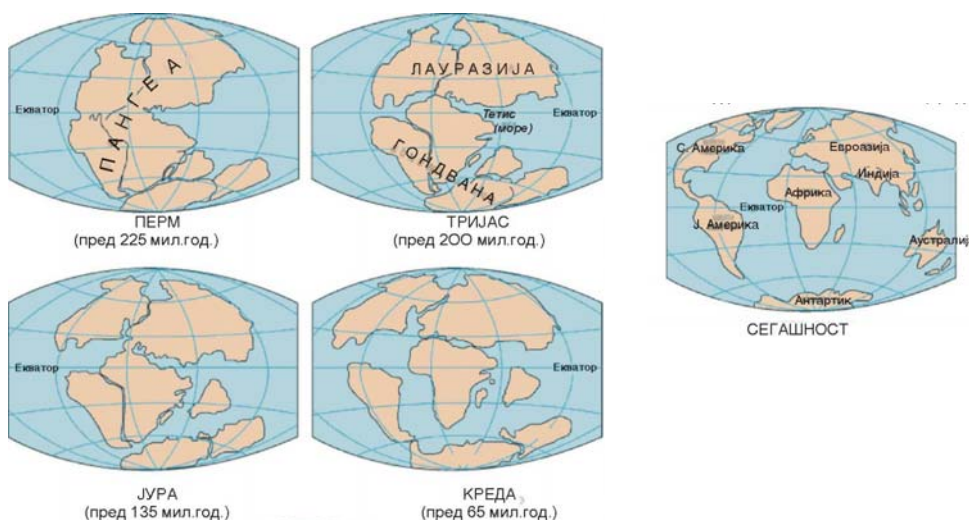
ГЕОЛОШКА ХРОНОЛОГИЈА НА ЗЕМЈИНАТА КОРА

Гранката на геологијата, која ја изучува хронологијата (**hronos** - време, **logos** - наука), историјата и законитостите на развитокот на Земјината кора, се нарекува **историска геологија**. Според податоци од геохемиските истражувања, Земјата како планета има старост од 4,5 до 5 милијарди години.

Од формирањето на првите цврсти карпи на Земјината кора и првите водени басени (океани и мориња) па сè до денешно време, Земјината кора претрпела многубројни сложени и големи промени во нејзиниот релјеф и нејзината градба. Сложените промени се изразуваат во вид на различен распоред на континетите и океаните, местоположбата на северниот и на јужниот пол, формирање на планини и долини и други релјефни форми, кои на различен начин се манифестирале во одделните геолошки периоди (Слика 2.13). На сликата е прикажан распоредот на морето и копното низ неколку главни геолошки периоди до денешен ден. Се гледа дека од крајот на палеозоик постоело едно заедничко копно (Пангеа) од кое подоцна, низ текот на многу милони години се диференцирани денешните континенти.

Првата Земјина кора била изградена само од зацврстени базични **магматски карпи**, кои се создавале со ладење и скаменување на магмата. Според истражувањата со најновите вселенски летала и посетата на Месечината, ваков вид на базична магматска кора се јавува и на другите терестрички планети, т.е. на Месечината, Меркур, Венера и Марс и сателитот на Јупитер Ио. Во почетокот на геолошката историја Земјината кора била многу тенка, а често била пробивана од магматските растопи. Во релјефот доминирале вулканските кратери, разновидни преломи, бразди и слично, какви што денес може да се набљудуваат на другите планети од Сончевиот систем. Подоцна, со пукањето, дробењето и дезинтеграцијата на првоформираните карпи, појава на кружењето на водата во природата, формирањето на површинските токови и дејствувањето на другите надворешни сили започнува да се формира и другата голема група карпи, кои се наречени **седиментни карпи**. Со зголемувањето на дебелината на Земјината кора и активирањето на тектонските движења, магматските и седиментните карпи

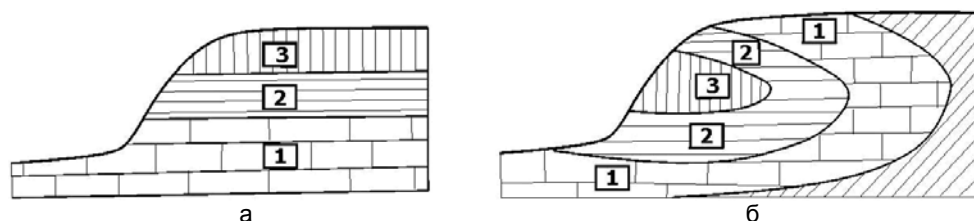
се спуштаат во подлабоките делови на Земјината кора, каде владеат зголемени притисоци и високи температури и под чие дејство се преобразуваат (**метаморфираат**), односно го менуваат составот и структурно-текстурните својства. На овај начин се создавани **метаморфните карпи**. Благодарение на повеќекратните тектонски движења (набирања и раседнувања), кои се вршеле во различни геолошки времиња, денес на површината на Земјината кора се достапни за директно разгледување и изучување сите литолошки видови на карпи со различна геолошка старост.



Слика 2.13 Распоред на морето и копното низ главните геолошки периоди (Киојс и Тилинг, 2001)

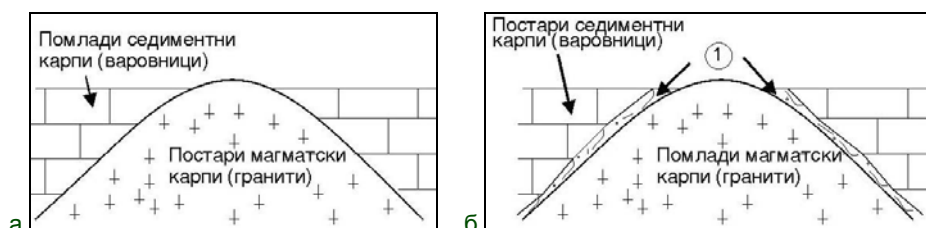
Определувањето на староста на карпите може да се врши главно на два начина во зависност од тоа дали се определува нивната апсолутна или релативна старост. **Апсолутната (или изотопската) старост** на карпите се определува преку брзината на радиоактивното распаѓање на некој радиоактивен елемент. Познато е дека радиоактивното распаѓање се одвива со точно определена брзина, која не може да се менува со какво било влијание. Најчесто, за определување на апсолутната старост на магматските и метаморфните карпи се користи метода K/Ar , која е заснована на принципот на распаѓање на K^{40} во Ca^{40} , а тој во Ar^{40} и метода Rb/Sr заснована на распаѓањето на Rb^{80} во Sr^{87} , **Релативната или геолошката старост** овозможува определување на староста на карпите и тоа едните во однос на другите. За определување на релативната старост се користат неколку методи како што се: стратиграфската, петрографска, тектонска и палеонтолошката метода. Од овие методи, најважна и најчесто применувана е палеонтолошката метода. Методата на **стратиграфска суперпозиција** (од зборовите **stratis - слој; grafos - опис**) се применува со задоволителна точност само за серија со непореметени слоеви во хоризонтална положба. При тоа се смета дека слоевите (карпите) кои лежат во долните делови, се геолошки постари од оние во горните делови (Слика 2.14).

Треба да се спомене дека стратиграфската метода сама по себе не е универзална. Имено, релативната старост на карпите може да се определи на два или неколку дела од Земјината кора, но податоците не треба меѓусебно да се споредуваат користејќи се само со оваа метода.



Слика 2.14 Просторна положба (залегање) на слоеви од различни карпи: а-слоеви во хоризонтална положба; б-пореметени во вид на полегнат набор; 1-геолошки најстари карпи; 2-геолошки помлади карпи; 3-геолошки најмлади карпи во серијата на слоеви

Петрографската метода е заснована на детално изучување на составот на карпите, кои ја градат Земјината кора. Успешно се користи за корелација на геолошките профили за помали површини, на кои во тек на некое геолошко време се задржани непроменети истоветни физичко-географски услови и при определувањето на релативната старост на магматските и седиментни карпи. На пример, ако се забележи многу изменет контакт меѓу варовници и гранити, со траги на т.н. **контактен метаморфизам** на варовниците, ова означува дека гранитите како магматски карпи се помлади од варовниците. Помладите гранити продреле низ варовниците, при тоа вршејќи измена (метаморфоза) во контактната зона. Ако вакви промени не се застапени, тогаш варовниците се наталожени по оладувањето и оцврстувањето на магматската интрузија и се геолошки помлади (Слика 2.15).



Слика 2.15. Можни односи меѓу магматски и седиментни карпи: а-наталожени седименти над геолошки постари магматски карпи; б-изменети постари седиментни карпи со појава на контактно-метаморфна зона (1) како резултат на втиснување на геолошки помлади магматски карпи (гранити)

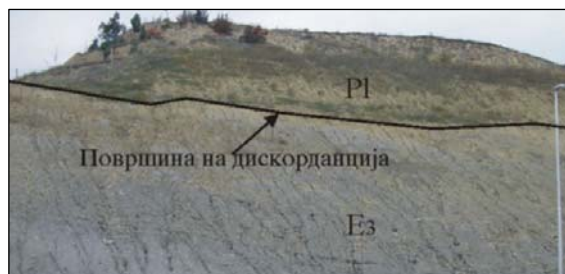
Палеонтолошката метода е заснована на фактот, дека геолошката историја на Земјината кора се одвивала паралелно со историјата на развојот на органскиот свет. **Релативната старост** на карпите на Земјината кора всушност се определува врз база на скаменетите остатоци на некогашните врсти на животни и растенија наречени **фосили**. Фосилите се сочувани во седиментните карпи, а биле карактеристични за поедини геолошки времиња (Слика 2.16). Сите фосили немаат исто значење при определување на релативната старост. Така, постојат организми кои живееле многу долг временски период, но многу малку се менувале во текот на своето постоење и се распространети на големи региони. Ваквите организми имаат остатоци во многу слоеви на Земјината кора со различна старост, па затоа немаат никакво значење при определувањето на староста на слоевите. Обратно, животните и растенијата кои живееле многу кратко, со минимален временски период во геолошката историја, но со широко распространение, се типични за одредени геолошки периоди и се нарекуваат **карактеристични фосили**. Најголеми временски единици во историјата на

Земјината кора се викаат **геолошки ери**. Во геолошката хронологија, тие се делат на помали временски единици-**периоди**. Периодите, пак, се делат на **епохи, катови, поткатови** и зони кои претставуваат најмали стратиграфски единици на слоевите (детали во Анекс 1 на книгата).



Слика 2.16. Пример фосили: а - амонит во горно - кредни седименти кај локалност Мочарник-Штип; б - заби од слон во горно - миоценски седименти кај локалност с. Вешје - Неготино

При неизменети физичко-географски услови, под седиментите со определена старост во длабина залегаат обично карпи со геолошки постари формации. Меѓутоа, ако во некој период разгледуваниот регион бил копно, имало прекин на седиментацијата кој се нарекува **хијатус**, при што се создава површина на т.н. **дискорданција** (Слика 2.17).



Слика 2.17. Пример за дискорданција меѓу плиоценски седименти (P1) и еоценски флишни седименти (E3) на косина, во близина на Неготино

При појава на хијатус, обично помладите седименти имаат различни својства на слоевите во однос на постарите слоеви во подлогата, што се гледа и од сликата 2.17.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Кои се основните геолошки дисциплини и што проучуваат?
- Каква е градбата на Земјата и кои се основните геосфери?
- Што е тектоносфера и што се подразбира под поимот тектонски движења?
- Што е тектоника на плочи, какви може да бидат границите меѓу тектонските плочи, со кои интензитети се придвижуваат и кои геолошки процеси се резултат на движење и контактите кај главните плочи?
- Што изучува геолошката хронологија, на каков начин може да се одреди староста на некои карпи во Земнината кора и што се фосили?
- Колку е стара Земјата како планета и кои се главните геолошки ери?

3 ОСНОВИ НА МИНЕРАЛОГИЈАТА

ОПШТО ЗА МИНЕРАЛИТЕ

Минералите се основна материјална компонента, која ја изградува Земјината кора. Името **минерал** доаѓа од латинскиот збор **минералис** (руда). По дефиниција тоа се природни неорганички тела, со повеќе или помалку постојан хемиски состав и со определени морфолошки, структурни и физички својства.

За изучувањето на **карпите**, е неопходно познавањето на таканаречените **петрогени минерали**. Овие минерали се значајни за составот на карпите и од нив најмногу зависат физичко-механичките својства и инженерското однесувања на карпите. Повеќе детали за карпите се прикажани во Главата 4.

Познати се неколку илјади минерали, но само 20-30 од нив се јавуваат како поважни петрогени минерали. За човештвото се многу значајни **рудните минерали**, кои детално се изучуваат во други геолошки дисциплини, а со соодветна технологија се прават и вештачки минерали, од кои се најпознати **синтетичките дијаманти**. Минералите по својот хемиски состав можат да бидат изградени само од еден хемиски елемент, а се викаат **самородни** или **слободни минерали**. Пример за ваков минерал е графитот кој е составен од јаглерод (C), потоа самородното злато (Au), сулфурот (S), бакарот (Cu) и други. Кога минералите се составени од два и од повеќе елементи се викаат **сложени минерали** или **хемиски соединенија**. Ќе споменеме некои од најчестите минерали во природата, како кварцот со хемиска формула SiO_2 , калцитот (CaCO_3), ортокласот ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) итн. Според начинот на настанок тие можат да бидат **примарни** и **секундарни**. Во **примарни** спаѓаат оние минерали кои настануваат непосредно со кристализација при ладењето на магматските растопи, што се нарекуваат **магматогени минерали** или минералите што настануваат со таложување и кристализација од топли или ладни раствори, кога соодветно се нарекуваат **хидротермални** и **хидатогени минерали**. Некои минерали настануваат со **преобразба (метаморфоза)** од порано создадени минерали, во процесот на создавање на т.н. метаморфни карпи во подлабоките делови на Земјината кора. Така настануваат **метаморфните минерали**. Сите примарни минерали настануваат истовремено со настанокот на самата карпа во која се наоѓаат. **Секундарните минерали** настануваат дополнително со распаѓање на минералите на Земјината површина или со влијание на различните раствори врз постоечките примарни минерали. Визуелното определување на минералите се врши врз основа на нивните морфолошки и физички својства, а за точно определување треба да се знае и хемискиот состав, структурните, оптичките и другите својства. За таа намена се користат микроскопски, хемиски и други видови анализи.

МОРФОЛОШКИ СВОЈСТВА НА МИНЕРАЛИТЕ

Под морфолошки својства на минералите се подразбираат оние својства што ја дефинираат нивната форма и начинот на појавување. Минералите во склоп на карпите низ Земјината кора можат да се појават во вид на **геометриски целосно правилни, делумно правилни**, па и **целосно неправилни** форми.

Геометриски правилните надворешни и внатрешни форми настануваат во случај кога кристализацијата на минералите се одвивала многу бавно и при постоење на слободен простор, т.е. кога имало време и простор за нивни правилен развиток. Правилните геометриски форми на минералите се викаат **кристали**. Неколку типични примери за кристали се прикажани на следните слики.



Слика 3.1 Кристали на минералот ортокласт во вид на близок (а) и единичен кристал (б), од локалитетот Звегор - Делчевско



Слика 3.2 Кристали на минералот флуорит во вид на коцки



Слика 3.3 Кристали на минералот калцит (CaCO_3): а - во вид на проѕирен примерок (исландски калцит), б - примерок со сино-бела боја

Името кристал потекнува од старогрчкиот збор **кристалос (скаменет мраз)**. Кај еден кристал разликуваме елементи, кои постојат и го оформуваат кристалот (**површини, рабови и темиња**) и замислени елементи, кои служат за определување на симетријата, ориентацијата во просторот и на формата на кристалот. Во замислените елементи спаѓаат елементите на симетријата (**центар, оска и рамнина на симетријата**) и кристалографските оски. Кај кристалите можат да се застапени три до четири оски во еден правоаголен координатен систем. Сите кристални системи имаат свои карактеристики кои детално се изучуваат во **кристалографијата**. Секоја од кристалните системи се карактеризира со одреден распоред меѓу оските и рамнините на симетрија. Така на пример, **тесералниот систем** се карактеризира со три замислени оски на симетрија, кои меѓусебно се под прав агол и се со иста должина. Наједноставната форма на овај систем е **коцката (хексаедар)**. Од друга страна, кај т.н. **триклиничен систем** нема центар на симетрија. Сите оски се поставени под различни агли и се со различна должина. Погolem број минерали се појавуваат секогаш во исти кристални форми со исти елементи на симетрија, што е последица на правилниот распоред на атомите во нивната кристална решетка. Поретко, оските се и неортогонални. Сите кристали можат да кристализираат во шест основни **кристални системи** (Слика 3.4).

Според некои автори, може да се издвои и седми **тригонален кристален систем**.

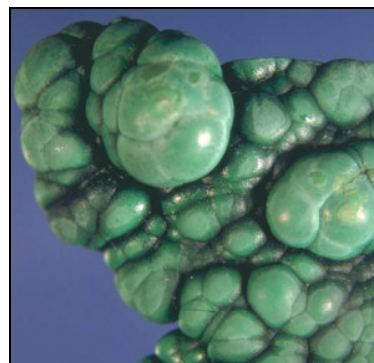
Ромбична $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$			Тесерална $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$		
Моноклинична $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma \neq 90^\circ$			Хексагонална $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$		
Триклинична $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$			Тетрагонална $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$		

Слика 3.4 Приказ на кристалографски системи

Најчест начин на појавувањето е во вид на **кристалеста форма**. Во вакви случаи, минералите се појавуваат во вид на зрна со **неправилна надворешна форма**, но со **правилан распоред** на атомите во нивните кристални решетки (Слика 3.5). Одреден број минерали имаат **неправилни надворешни форми** и **неправилна внатрешна градба**. Тие се викаат **аморфни минерали** или **минерали без форма**. Се појавуваат во вид на заоблени, гроздести, бубрежести, земјести или стаклести маси (Слика 3.6).

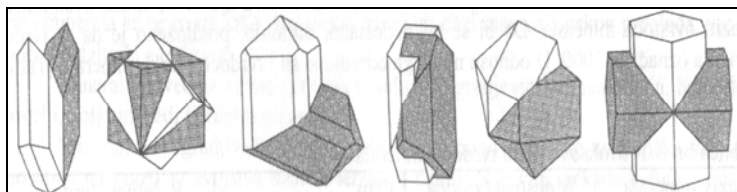


Слика 3.5 Кристална заедница (друза) од повеќе минерали



Слика 3.6 Аморфен минерал - малахит во бубрежеста форма

Кристалестите минерали, иако имаат неправилна надворешна форма, се со постојани физички и хемиски својства како и кај кристалите на истите минерали. На пример, минералот кварц може да се појави и како правилен кристал, кој кристализира во правилни хексагонални форми и како кристалест материјал со различна боја. Во одредени случаи, има и појава на близнење на кристалите (Слика 3.1-а и 3.7).



Слика 3.7 Можни појави на близнење кај кристалите

ФИЗИЧКИ СВОЈСТВА НА МИНЕРАЛИТЕ

Минералите се физички тела што се одликуваат со карактеристични физички својства, кои што се погодни за нивна првична визуелна детерминација. Од практична гледна точка, најважни се: **бојата на минералот, бојата на гребнатинката, тврдината, цепливоста, преломот, сјајноста, провидноста, специфичната тежина** и друго. Кај дел од минералите е доволно познавање само на едно карактеристично физичко својство, за тие да бидат точно детерминирани.

БОЈА НА МИНЕРАЛИТЕ

Бојата на минералите во основа е диктирана од нивниот хемиски состав. На пример, хемиските елементи како: кислород (O), силициум (Si), алуминиум (Al), магнезиум (Mg), калиум (K), натриум (Na) и други, диктираат светли бои (бела, светлосива, светлозелена, светлоцрвена и слично). Таквите минерали се викаат **светли** или **салски** минерали. Од друга страна, елементите како: железото (Fe), манганот (Mn), хромот (Cr), бакарот (Cu) и други, диктираат темни бои (сива, црвена, зелена, сина, кафеава, до наполно црна). Во тој случај тие се викаат **темни** или **фемски минерали**.

Петрогените минерали можат да бидат и **безбојни**, кога се хемиски целосно чисти и без примеси, што е најредок случај. Можат да бидат со постојана сопствена боја, за што најтипичен пример е сулфурот, кој има карактеристична жолта боја. Често се случува ист минерал да биде различно обоен, во зависност од примесите во неговата кристална решетка, кои се викаат **пигменти**, со што е отежната нивната детерминација.

БОЈА НА ГРЕБНАТИНА

Некои минерали се карактеризираат со карактеристична боја на гребнатината или правот, кој се добива со нивно гребнење. Ваквата боја често пати се разликува по нијанса, а понекогаш и по самата боја од минералната маса. На пример, гребнатината на минералот хематит (Fe_2O_3) секогаш е со црвена боја, додека самиот минерал може да има дури и темносива до црна боја на површината. Минералот пирит (FeS_2) дава црна боја на правот кога тој се толчи, додека бојата на минералната маса е секогаш златножолта.

ТВРДИНА НА МИНЕРАЛИТЕ

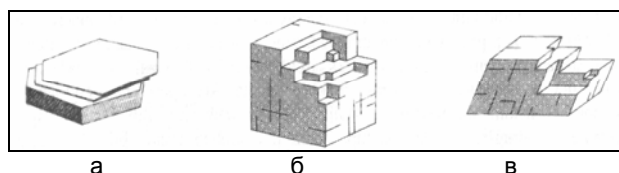
Тврдината на минералите е отпор што го даваат тие при гребнењето на нивните површини со некој тврд предмет. Постои **апсолутна** и **релативна тврдина** на минералите. Апсолутната тврдина се мери со специјални апарати наречени **склерометри** и **склероскопи**. За определување на релативната тврдина, во минералогиската се користи т.н. **Мосова (Mohs) скала** од десет реперни минерали, кои се основа за споредба на тврдината на сите други минерали (Табела 3.1). Во оваа скала секој од минералите со повисока тврдина ги гребе сите претходни минерали. Определувањето на тврдината на непознат минерал се врши со гребнење на преставниците од Мосовата скала, почнувајќи од најтврдиот минерал - **дијамантот**. Ако некој непознат минерал го гребе **кварцот**, а не го гребе топазот, тој има тврдина околу 7,5. Треба да се истакне дека минерал што е зафатен со процесите на распаѓањето, секогаш покажува помала тврдина во однос кога е во свежа состојба. Инаку, тврдината на минералите е многу значајна за определени технички својства на карпестиот масив, така што нејзиното изучување има и голема практична вредност.

Табела 3.1 Мосова скала за определување на релативната тврдина на минералите

Минерал	Степен на тврдина	Карактеристика
талк	1	лесно се гребе со нокт
гипс	2	се гребе со нокт
калцит	3	гребе алуминиум
флуорит	4	лесно се гребе со челик
апатит	5	се гребе со челик
фелдспат	6	гребе стакло
кварц	7	лесно гребе стакло
топаз	8	сече стакло
корунд	9	се гребе само со дијамант
дијамант	10	најтврд познат материјал

ЦЕПЛИВОСТ НА МИНЕРАЛИТЕ

Цепливоста е својство на минералите под дејство на сила (удар) да се издвојуваат на помали делови, кои се ограничени со рамни и мазни меѓусебно паралелни површини. Цепливоста е последица на специфичниот распоред на атомите во кристалната решетка. Затоа, ова својство е застапено само кај кристалните минерали, кои имаат различна кохезија во различни правци. Ако се поголеми тие разлики, цепливоста на минералите е поизразена. Според степенот на изразеност кај минералите разликуваме совршена, несовршена, јасна и слабоизразена цепливост, а има и минерали без цепливост. Цепливоста кај минералите го добива името и според кристалната површина со која е паралелна. Може да се разликува **базна, призматична, ромбоедарска, октаедарска, пирамидална** и друг вид на цепливост. Неколку типични случаи на цепливост се прикажани на Слика 3.8.



Слика 3.8 Примери за цепливост: (а) совршена базна цепливост кај минералот лискун; (б) јасно изразена цепливост по три површини кај минералите халит и кај калцит (в)

ПРЕЛОМ НА МИНЕРАЛИТЕ

Преломот е својство на минералите, кога при зголемен статички или динамички товар тие се издвојуваат во повеќе помали неправилни парчиња, кои се ограничени со различни преломни површини. Преломот е својствен за минерали каде што кохезијата (силата на внатрешно привлекување на атомите) е во сите правци приближно еднаква. Според изгледот на преломните површини, разликуваме **рамен, нерамен, школкаст, прачкаст, земјаст** и друг тип на прелом. Површината на преломот може да биде **мазна, рамна** или **рапава**.

СЈАЈНОСТ НА МИНЕРАЛИТЕ

Сјајноста е својство кога минералите покажуваат сјај на кристалните површини, на рамнините на цепливоста и на површините на преломот. Таа е

последица од одбивањето на светлосните зраци од овие површини. Ако се одбива поголем дел од светлината, што е случај кај рамните и мазните површини, сјајноста е поизразена. Според природата на одбиената светлина сјајноста, може да биде: **стаклеста, седефаста, металеста, свилеста, смолеста, мрсна и дијамантска**. Според интензитетот на одбиената светлина минералите можат да бидат **блескави, сјајни, светликави и минерали без сјајност** (темни минерали).

ПРОВИДНОСТ НА МИНЕРАЛИТЕ

Провидноста е својство на минералите низ својата маса појако или послабо да ги пропуштаат светлосните зраци. Таа во најголем дел зависи од апсорбирањето на светлосните зраци, потоа од дебелината, бојата и од свежината на минералите. Според степенот на провидноста, минералите можат да бидат провидни, просирни и непровидни. Провидните минерали скоро во целост ја пропуштаат светлината. Предметите или натписите што се набљудуваат низ нив сосема јасно се гледаат и кај подебели плочи на минералите. Кај минералот исландски калцит (Слика 3.2-а) при пропуштање на светлоста низ минералот настанува раздвојување на зраците од светлината во два зрака и се јавува ефект на т.н. двојно прекршување. Во овој случај, при читање на натписи низ минералот, тие се гледаат двојно. Просирните минерали апсорбираат значителен дел од светлосните зраци, така што низ нив предметите само се насираат. Кај непровидните минерали, светлината или сосема се апсорбира или целосно се одбива. Кај нив скоро воопшто нема пропуштање на светлосните зраци, па дури и во потенки плочки од 0,02 mm, тие се сосема непровидни.

СПЕЦИФИЧНА ТЕЖИНА НА МИНЕРАЛИТЕ

Специфичната тежина се дефинира како тежина на единица волумен на некој минерал без пори и шуплини. Се изразува во kN/m^3 , а се бележи обично со γ_s . Специфичната тежина на петрогените минерали варира помеѓу $\gamma_s = 21-43 \text{ kN/m}^3$, но во најголем број случаи има вредности $\gamma_s = 24-35 \text{ kN/m}^3$. Карбонатните, сулфатните минерали и силикатите на: калиум, натриум и алуминиум имаат вредности $\gamma_s < 30 \text{ kN/m}^3$. Силикатите на железо и на магнезиум имаат вредности $\gamma_s > 30 \text{ kN/m}^3$.

ДРУГИ ФИЗИЧКИ СВОЈСТВА НА МИНЕРАЛИТЕ

Минералите можат да се препознаат и по други физички својства. Карбонатните минерали лесно се препознаваат според реакцијата со разблажени киселини. Според вкусот се препознава **готварската сол**, по мирисот **каолинските минерали**. Некои сулфиди и фосфати при распаѓање или горење оддаваат мирис на сулфурен водород (H_2S), односно на расипани јајца. Одредени минерали можат да се распознаат според магнетичноста (минералот **магнетит**). Кај железните минерали значајна е **електропроводноста**, а кај други **радиоактивноста** (радиум, ториум).

СИСТЕМАТИКА НА ПЕТРОГЕНИТЕ МИНЕРАЛИ

Минералите можат да се класифицираат на различен начин. Тие најчесто се делат според: хемискиот состав, според физичките, морфолошките, структурните и другите својства. По хемискиот состав се делат на **силикати, оксиди, карбонати, хидроксида, сулфати, сулфиди, хлориди, фосфати, нитрати** и други (Табела 3.2). За сите позначајни петрогени минерали, во Анекс 2 на книгата се прикажани нивните најзначајни својства.

Табела 3.2 Општа шема за класификација на минералите

ОСНОВНИ ГРУПИ НА ПЕТРОГЕНИ МИНЕРАЛИ			
СИЛИКАТИ		ОКСИДИ	КАРБОНАТИ
примарни	секундарни	кварц магнетит хематит	калцит магnezит доломит
фелдспати лискуни амфиболи пироксени оливини	каолин хлорит талк серпентин серицит		
ХИДРОКСИДИ	СУЛФАТИ	СУЛФИДИ	
лимонит, опал	анхидрит, гипс	пирит	

ПРИМАРНИ СИЛИКАТНИ МИНЕРАЛИ

Силикатите се најзначајни петрогени минерали, бидејќи се среќаваат скоро во сите видови карпи. Тие се соли на ортосилициската (H_4SiO_4), метасилициската (H_2SiO_3) или на некои други полисилициски киселини. Најважни групи меѓу нив се: **фелдспатите, лискуните, амфиболите, пироксените, оливините, секундарни минерали од групата на силикати** и други. Овие групи минерали сочинуваат преку 80% од масата на сите магматски карпи.

ФЕЛДСПАТИ

Фелдспатите се најзастапени минерали во карпите на Земјината кора. Тие влегуваат количински со околу 60% од магматските карпи, 30% од метаморфните карпи и околу 10% од седиментните карпи. Се смета дека околу 80% од масата на седиментните карпи настанува со распаѓање на фелдспатите. Својствата на карпите во голема мера се зависни од состојбата на распадатост (свежината) на фелдспатите. По хемискиот состав фелдспатите се алумосиликати на калиум (K), натриум (Na) и калциум (Ca). Нивната поделба е извршена во две групи според елементите што влегуваат во нивниот состав и тоа:

- **алкални фелдспати**, чиј главен претставник е минералот ортоклас, како калиски алумосиликат со хемиска формула $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$;
- **плагиокласи**, од кои најзначајни се **албитот** ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) и **анортитот** со хемиска формула $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$.

Групата на плагиокласите всушност претставува т.н. **низа на изоморфни смеси** во која влегуваат 6 минерали со различен процент на албитска (**ab**) или анортитска (**an**) компонента (Табела 3.3).

Табела 3.3 Изоморфни смеси на плагиокласите

Минерал	Процент на албитска компонента	Процент на анортитска компонента
албит	90-100	0-10
олигоклас	70-90	10-30
андезин	50-70	30-50
лабрадор	30-50	50-70
битовнит	10-30	70-90
анортит	0-10	90-100

Во карпите се јавуваат во вид на неправилни зрна со бела боја, а во вулканските карпи поретко и во вид на кристали. Застапени се најчесто во магматските карпи. Послабо ги има во метаморфните карпи од типот на гнајс, амфиболити и амфиболитски шкрилци. Во жилните магматски карпи, често се јавуваат во заедница со други минерали, во вид на крупни зрна. Фелдспатите релативно лесно се распаѓаат под влијание на вода, која во себе содржи активни гасови и киселини во секундарни минерали од каолинската група (минерали на глина), а ортокласот и во лискунот - серицит. Наоѓаат примена во порцеланската индустрија.

ЛИСКУНИ

Лискуните се силикатни минерали со сложен и променлив хемиски состав, но со многу слични физички својства. Како главни петрогени состојки се јавуваат во магматските карпи но најзначајни се за метаморфните и некои седиментни карпи (песокот, песочникот и други). Најчесто се јавуваат во листести форми или потенки плочки, со мала тврдина и имаат најсовершена базна цепливост. Поради совршената цепливост и малата цврстина, тие се непожелни состојки во карпите, бидејќи им ги намалуваат техничките карактеристики, а карпите тешко се обработуваат. Како петрогено позначајни минерали се јавуваат **мусковит**, **биотит** и **серицит**. Мусковитот е отпорен на високи температури и е хемиски многу стабилен. Наоѓа примена во: електроиндустријата, радиоиндустријата и во оптичката индустрија. Биотитот е хемиски неотпорен и се распаѓа во секундарните минерали хлорит и лимонит. Поради присуството на железото и поголемата електропроводност нема примена во индустријата. Серицит се јавува во сосема ситни сребренасто-бели ливичиња, главно во нискометаморфните шкрилци.

Амфиболите се минерали со разновиден и сложен хемиски состав, но со заеднички морфолошки и физички својства. Како најзначаен петроген се јавува минералот хорнбленда. Неговата боја е темнозелена до црна. Во карпите често се јавува во вид на неправилни зрна и е пожелна состојка со оглед дека дава придонес кон нивен подобар квалитет. По потекло е примарен минерал и настанува од магмата. Доста е отпорен кон дејството на атмосферските појави, а најзастапен е кај метаморфните карпи од тип на амфиболити и амфиболитски шкрилци, како и во магматските карпи: диорити, андезити и други. Со распаѓање преминува во секундарен минерал - хлорит.

Пироксените според повеќето морфолошки и физички својства се доста слични на амфиболите. Во карпите најчесто се јавуваат во вид на неправилни зрна. Како позначајни состојки во карпите се јавуваат т.н. моноклинични пироксени, меѓу кои како најважен петроген минерал се јавува **аугит**. Тој е со темнозелена до црна боја. Најчесто е застапен кај магматските карпи од тип на **дијабази**, **андезити** и **габро**. Според настанокот е примарен минерал од магматско потекло, а со распаѓање преоѓа во секундарниот минерал - хлорит.

Оливиот е ортосиликат составен од форстеритска и фајалитска компонента и е најчест минерал во ултрабазитите, габро и дијабазот. По боја е маслинесто зелен (од олива - маслинка). Под дејство на атмосферските гасови лесно се распаѓа и преоѓа во серпентин.

СЕКУНДАРНИ МИНЕРАЛИ ОД ГРУПАТА НА СИЛИКАТИ

Во оваа група на минерали спаѓаат: **каолините**, **хлоритите**, **талкот**, **серицитот** и **серпентинот**. Тие имаат многу големо значење за својствата на карпите.

КАОЛИНИ

Групата на каолински минерали уште се нарекува и група на минерали на глините. Како позначајни глинести минерали се: **каолинит**, **монморионит** и **илит**. Се среќаваат и во магматските и метаморфните карпи кога се зафатени со процесите на физичко-хемиското распаѓање на фелдспатите. **Каолинит** кога е чист, има бела боја, а со примеси може да добие различни бои и тоа: жолтеникава, зеленкаста, сива или кафеава. Кога е без примеси на кварц и на железните минерали, наоѓа голема примена во индустријата за керамика и порцелан како основна суровина. **Монморионит** се одликува со: бела, зеленкаста или сива боја. Во водата лесно омекнува, но потешко поприма пластичност. Лесно може да апсорбира големо количество на вода при што **бабри** и значително го зголемува волуменот од **7,12** до **20** пати, а при отстранувањето на водата и сушење, волуменот значајно му се намалува. Се употребува за пречистување на течностите и нафтените деривати, потоа како материјал за плакнење при дупчењето, за инјекциски смеси при инјектирање водопрпусни терени. Овој минерал е главна состојка на т.н. **бентонитски глини**, кои се среќаваат во околина на с. Гиновци - Крива Паланка.

Хлоритите по хемискиот состав се хидро-алуминиумски силикати на железо и магнезиум. Настануваат како примарни минерали во нисокометаморфните шкрилци и како резултат на распаѓање на биотит. Најчесто се јавуваат во вид на лушпести и листести форми со зеленикава до темнозеленикава боја. Имаат совршена цепливост без еластичност и седефаста сјајност. Како главни состојки се појавуваат во т.н. зелени шкрилци. Градат и сопствени карпи кои се викаат **хлоритски шкрилци**. Заради малата тврдина и совршената цепливост се несакани состојки во карпите, бидејќи неповолно влијаат врз можноста за обработка на карпите, односно природниот градежен камен.

Талкот според хемискиот состав е хидратизиран силикат на магнезиум, кој во карпите се јавува во ситно лушпести агрегати. Настанува со распаѓање на оливин и пироксените. Бојата му е белузлава, бледозелена до светлосива. Има најмала тврдина по Мосовата скала, еднаква на единица. Се одликува со совршена цепливост, лесно се свива, но е нееластичен. Има седефаста сјајност и мрсен опип. Овој минерал гради сопствена карпа, која се вика **талков шкрилец** (талкшист). Кај карпите е секогаш неповолна состојка, бидејќи е најмек минерал. Може да се користи во индустријата за: хартија, козметика, керамика и како топлотен изолатор и електроизолатор.

Серпентинот, како и талкот е хидратизиран силикат на магнезиум. Главно се јавува во вид на зрнести масивни творби. Бојата најчесто му е зелена, а може да биде изразена во различни нијанси. Понекогаш може да се појави во вид на лушпести агрегати кога се нарекува **антигорит** или во вид на влакнест минерал со бледозелена до бела боја (**хризотил** или **влакнест азбест**). Настанува со распаѓањето на железо-магнезиумските силикати, пред сè на оливините и на пироксените. Овај минерал е главна состојка кај карпата **серпентинит**. Хризотил се употребува за изработка на огноотпорна облека и други материјали, а антигорит за изработка на азбестни цевки и салонит.

ОКСИДИ

Оксидите се соединенија на елементите со кислородот. Најголемо економско значење за луѓето, за животните и за природата има секако водата (H₂O). Позначајни петрогени минерали се: **кварц**, **хематит** и **магнетит**.

КВАРЦ

Кварцот според хемискиот состав е силициумов диоксид (SiO_2). Во карпите се јавува во вид на зрна, во форма на шестоаголни призми и пирамиди или нивни комбинации, кои кристализираат во т.н. хексагонална система. Учествува со околу 12% во вкупната маса на Земјината кора, што се должи на неговата исклучителна хемиска постојаност. Тој не се распаѓа ниту раствора во која било киселина или раствор, со исклучок на флуороводородната киселина (HF). Кога кварцот е хемиски чист тој е безбоен до стаклесто провиден и се нарекува горски кристал, кога има виолетова боја-аметист, кога е црн-морион, жолт-цитрин, млеко бел-белуток и кафеав-чадливец. Настанува примарно со кристализација од магмата, потоа со таложење од топли и од ладни раствори како и со распаѓање на примарните силикати. Се јавува како главна состојка во магматските, седиментните и метаморфните карпи. Генерално гледано, кварцот е пожелна состојка во карпите, бидејќи со своите одлики ги подобрува техничките својства на градежниот камен. Во случаи кога има зголемено присуство на кварц во карпата, тој ја отежнува експлоатацијата на карпите и нивната обработка. Има техничка примена како кварцен песок во индустријата на стакло, во изработка на малтер, а кога се употребува во електроиндустријата и во радиоиндустријата се нарекува пиезокварц.

ОКСИДИ НА ЖЕЛЕЗО

Магнетит е двоен оксид на железото ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), кој во карпите најчесто се јавува во вид на зрнести и едри форми. Бојата му е црна, магнетни својства, а е со примарно потекло. Се распаѓа во **хематит** и **лимонит**. Хематитот е оксид на железо (Fe_2O_3). Најчесто се јавува во лушпести или зрнести агрегати, а поретко во аморфна форма (бубрежести агрегати). Има темноцрвена до црвена боја, понекогаш на површина до црна боја. Се карактеризира секогаш со црвена гребнатина, и металеста сјајност. Се распаѓа во минерал **лимонит**, а може да оформи богати лежишта на железна руда.

ХИДРОКСИДИ

Хидроксидите се соединенија на оксидите со водата. Од сите хидроксиди, петрогено позначајни се хидроксидите на железо и силициум.

Лимонитот е хидроксид на железо ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Се јавува како аморфен минерал во земјести, бубрежести и гроздести маси. Има жолта до темнокафеава боја. Настанува со распаѓање на оксидите на железо и силикатите, кои во својот состав имаат железо. Глинестите примероци на лимонитот може да се употребат како суровина за добивање на жолта боја (**окер**). Се јавува и како споредна состојка во седиментните, магматските и во метаморфните карпи, кои се зафатени со процесот на хемиско распаѓање. Лимонитот се среќава вдолж пукнатините на карпите како скрама. Во помало количество има влијание врз бојата на карпите, а во поголемо е непожелна, дури и штетена состојка посебно во декоративните карпи. Во поголеми маси без примеси се користи како руда на железо.

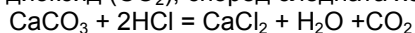
Опал е силициумов хидроксид ($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). Се јавува во аморфни, бубрежести форми, со помала тврдина и помала специфична тежина од кварцот. Поради примесите може да биде различно обоен, а има карактеристичен шокласт прелом и мрсна сјајност. Може да најде примена како полудраг камен, потоа во цементната индустрија, како абразив и друго. Настанува со излучување од топли води околу изворите и со распаѓање на силикатните карпи. Слични на опалот се минералите **калцедон** и **кремен**, додека **јаспис** е агрегат на опал и

калцедон со примеси на хидроксид на железо со црвена и темноцрвена боја. Јаспис е штетна состојка во агрегатот за бетон, бидејќи стапува во хемиска реакција со цементот, при што се развива температура, а тоа пак влијае на намалување на квалитетот на бетонот.

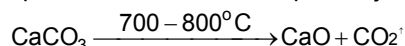
КАРБОНАТИ

Карбонатните минерали се соли на јаглородната киселина (H_2CO_3). Настануваат во најголем дел со таложење од топли и од ладни раствори. Петрогено најзначајни се минералите **калцит**, **доломит** и **магнезит**. Останатите карбонатни минерали се јавуваат само како споредни состојки во карпите.

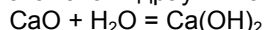
Калцитот е карбонат на калциум (CaCO_3). Во карпите се јавува како зрнест или јадар, поретко во вид на правилно развиени ромбодри. Бојата му е најчесто млечно-бела, потоа сива, жолта, кафеава или друга боја. Понекогаш може да биде и безбоен, со стаклеста сјајност и просирен. Има бел огреб и својство на двојно прекршување на светлосните зраци кај исландскиот калцит. Се раствора во вода во која има растворени киселини, при што реагира бурно со пенливо одвојување на јаглороден диоксид (CO_2), според следната хемиска формула:



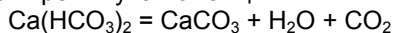
Со жарење при температура од 700 - 800 °C преминува во калциумов оксид или негасена вар (CaO), според следната хемиска реакција:



Негасената вар со вода дава калциумов хидроксид или **гасена вар**, која има голема примена во градежништвото како хидрауличко врзивно средство.



Настанува со биогени процеси и со излучување од презаситените раствори кога калциум-хидрокарбонат преминува во калцит:



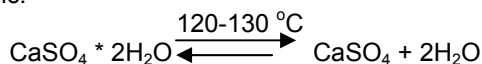
Калцитот е главна состојка кај варовниците, мермерите и нивните бречи, бигорот и мермерниот оникс. Наоѓа примена во хемиската индустрија.

Магнезитот (MgCO_3) е магнезиумов карбонат. Најчесто се јавува во едри маси со бела боја и школкаст прелом. Настанува со распаѓање на железно-магнезиските силикати и секогаш е секундарен минерал во карпите. Се раствора во топли и појаки киселини, но претходно треба да е иситнет во прав. **Доломитот** е двоен карбонат на калциум и магнезиум ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Во карпите најчесто се јавува зрнест и едер. Според физичките својства е доста сличен на калцитот. Настанува од калцит со замена на еден дел од калциумовата со магнезиумова супстанција. Се раствора бурно во врели и појаки киселини. Овој минерал е основна состојка кај карпата доломит и доломитските мермери. Има употреба во индустријата за огноотпорни материјали и како вештачко ѓубриво.

СУЛФАТИ

Сулфатите се соли на сулфурната киселина (H_2SO_4). Настануваат со таложење од ладни води (хидатогено) во морињата и во езерата, како и од топли (хидротермални) води во рудните жици. Во природата како петрогено позначајни се јавуваат само **гипсот** и **анхидритот**. **Анхидритот** е сулфат на калциум (CaSO_4). Во карпите најчесто се јавува зрнест, јадар и влакнест. Може да биде безбоен или бел, сивкаст или синкаст, а има јасна цепливост. Во допир со вода преминува во гипс при што го зголемува волуменот за скоро 60%. **Гипсот** е хидратизиран сулфат на калциум ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Во карпите се сретнува како зрнест, плочест и влакнест. Може да биде безбоен, бел или различито обоен од

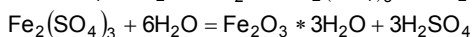
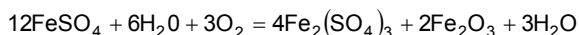
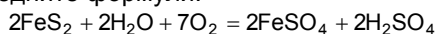
примесите, кога добива светлосива, розеникава или друга нијанса. Во природата може да се сретне во вид на близнак, кој се нарекува „ластовична опашка“. Со зголемување на температура од 120-130°C ја губи својата вода за околу 75% и преминува во печен гипс:



Печениот гипс се користи како брзо хидраулично поврзувачко средство, а со додавање на вода лесно и брзо преминува пак во цврста состојба. Ситнозрните вариетети на гипс се наречени **алабастер**, кој се употребува во моделарството и вајарството. Гипсот гради сопствена карпа, а во Р Македонија е многу застапен во околината на Дебар.

СУЛФИДИ

Сулфидите се соединенија на елементите со сулфурот. Во ова група влегуваат поголем број на рудни минерали, а од петрогените е најзначаен **пиритот**. Овој минерал е многу честа споредна состојка во карпите. Најчесто е хаотично распореден низ масата на карпите во поедини зрна. Можна е и негова концентрација низ микропрснатини и пукнатини. По хемискиот состав претставува железен сулфид со хемиска формула FeS_2 . Неговото потекло е главно хидротермално. Се карактеризира со златножолта боја, а кога се јавува во вид на кристали, има изглед на хексаедри (коцки). Кога е столчен, добива црна боја. Влијанието на пиритот во карпите секогаш се оценува како неповолно, со оглед дека релативно брзо се распаѓа, при што настанува сулфурна киселина, која ги нагризува сите градежни материјали (посебно бетонот). Хемиската реакција е прикажана со следните формули:



Реакцијата на создавање на сулфурната киселина кај бетонот се нарекува создавање на **сулфурен бацил** и има штетно влијание врз неговиот квалитет.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Што е минерал и кои минерали се значајни за изучување на својствата на карпите?
- Што е основна разлика кај кристалите, кристалестите и аморфните минерали?
- Кои се основните физички својства на минералите и за што служат?
- Која метода се користи за дефинирање на релативна тврдина на минералите, кој е најтвррд, а кој е најмек минерал?
- Што е систематика на минералите и кои се основните групи?
- Што е фелдспат, кои видови ги има, до кој степен може да се изменат?
- Набројте ги основните групи на силикатни минерали?
- Што е кварц и кои се негови основни својства?
- Кои се најзначајни глинести минерали?
- Најбројте ги најзначајните хидроксици и карбонатни минерали.
- Што е разлика помеѓу гипс и анхидрит и каде се среќаваат во Р Македонија?
- Што е сулфурен бацил?

4 ОСНОВИ НА ПЕТРОЛОГИЈАТА

ОПШТО

Петрологијата е наука за карпите. Името доаѓа од зборовите **petra** - карпа (камен) и **logos** - наука (учење). Таа ги проучува настанокот, составот, својствата и начинот на појавувањето на карпите во Земјината кора. По дефиниција **карпите се природни, врзани или неврзани минерални агрегати со определен состав и физички својства, кои ја градат Земјината кора**. Карпите во склопот на теренот претставуваат средина во која се одвива целокупната инженерска дејност при изведување на градежни и рударски објекти. Кога се одвоени од геолошката средина во вид на **монолитни парчиња** (камен), претставуваат основен природен **градежен материјал** за најразновидна намена.

Според начинот на настанокот (генезата), можат да се поделени во три големи главни групи и тоа: **магматски, седиментни и метаморфни карпи**. Основната поделба според генезата или склопот на овие три групи е прикажана на Сликата 4.1.



Слика 4.1 Општа поделба на карпите со приказ на основните подгрупи според настанокот или склопот

Во петрологијата и општата геологија, под поимот карпа се подразбираат сите природни творби, односно минерални агрегати без разлика дали се наоѓаат во вид на **цврсти** или **растресити** маси на меѓусебно **поврзани** или **неврзани** минерали. Кога карпите се изградени од зрна на еден минерал ги нарекуваме **мономинерални**, а кога е градена од два и повеќе минерали се нарекува **полиминерална карпа**. Примери за мономинерални карпи се варовникот, мермерот и кварцитот затоа што се изградени само од минералите калцит односно кварц. Гранитот, кој во основа е граден од минералите фелдспат, кварц и лискун, е пример за полиминерална карпа. Според количинската застапеност и значењето на поедини состојки, сите минерали кои учествуваат во градбата на карпата се делат на: **главни, споредни и случајни** состојки. Главните состојки го сочинуваат најголемиот дел од карпестата маса и од нив зависат повеќето својства на карпата. Споредните состојки се јавуваат во мала количина и немаат некое битно влијание врз својствата на карпата. Случајните состојки се јавуваат исклучително и во незначително количество во масата на карпата, така што тие немаат големо влијание врз нејзините својства.

Минералите во магматските карпи може да се јавуваат во искристализирана или аморфна состојба. Кристалните зрна можат да имаат: целосно правилна надворешна форма и се нарекуваат **идиоморфни кристали (зрна)**, делумно правилна форма - **хипидиоморфни кристали** и неправилена форма кога се нарекуваат **алотриоморфни кристали**. **Аморфните минерали** немаат искристализирана структура и имаат изотропни оптички својства.

СКЛОП НА КАРПИТЕ

Под поимот склоп на карпите се подразбира нивната **структура** и **текстура**. Структурата и текстурата се многу важни својства на карпите, посебно кога тие се користат во градежништвото. Од нив во значителна мера зависат условите за експлоатацијата, можноста за технолошка обработка, јакоста, жилавоста, абењето и другите својства на карпите, како и нивната примена во различни цели. **Структурата** се дефинира со карактеристичната форма на зрната, нивната големина и начинот на сврзувањето во карпата. Таа е резултат на условите кои постоеле при создавањето на карпата, односно од текот на кристализацијата на минералите што влегуваат во нејзината градба. Во зависност од тоа дали кристализацијата била брза, бавна или со прекини, состојките во склоп на карпата се распоредуваат на својствен начин, така што секоја карпа добива различен изглед. Под поимот **текстура** го подразбираме карактеристичниот распоред на состојките, начинот на исполнетост и ориентација на минералите во масата на карпата. Најчесто текстурата е значајна за компактоста и порозноста. Имено, компактоста и порозноста се директна последица на делувањето на различни фактори, било во моментот на настанувањето при кристализацијата и диференцијацијата на состојките, или и значително после настанокот на карпата.

МАГМАТСКИ КАРПИ

Магматските карпи настануваат по пат на ладење и зацврстување, односно кристализација од една усвитено-течна маса, која примарно се наоѓа во внатрешноста на Земјата. Оваа маса во длабина е наречена **магма** (од грчки **magma**, усвитена густа маса, тесто). Таа претставува сложен силикатен растоп изграден од тешко испарливи состојки со висока точка на топење и лесно испарливи компоненти во гасовита состојба во вид на водена пара и разни гасови. Магмата што се излева на површината на Земјината кора од вулканите се нарекува **лава** (од латински **lavare-течење**). Лавата за разлика од магмата е ослободена од лесноиспарливите компоненти и внатрешните притисоци.

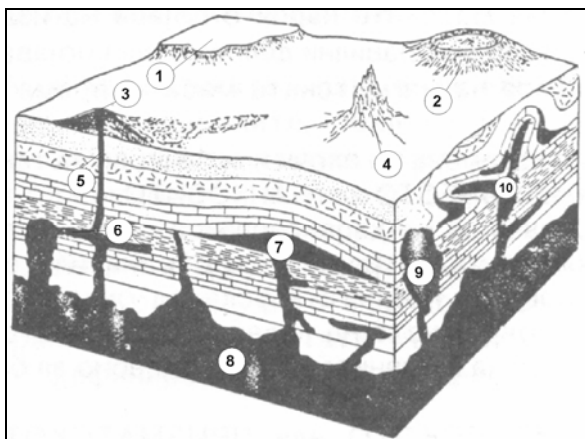
ПОСТАНОК И ГЕНЕТСКИ ВИДОВИ НА МАГМАТСКИ КАРПИ

Се смета дека 95% од масата на Земјината кора е изградена од магматските карпи. Материјата во магма-зоната се наоѓа под високи температури, кои достигнуваат и до +1500 °C, зголемени притисоци и силни тектонски напрегања вдоль многубројните длабоки пукнатини во литосферата кои достигнуваат и до самата мантија. При вакви услови, а со промената на волуменот во системот растоп-гасови, при делумна кристализација на тешкоиспарливите состојки се намалува просторот за гасовите, кои се концентрираат во помал волумен. Со овој сложен процес, во голема мера се зголемува внатрешниот напон и енергијата на магмата, при што со совладување на отпорите кои ги дава кровината на магмата, во должина на ослабените зони како **раседи, пукнатини** и **други деструкции** во Земјината кора, магмата започнува да се движи нагоре кон оцврстнатите делови на Земјината кора.

Со ладење и оцврстување на втиснатата магма во длабината на Земјината кора настанале **длабинските** или **интрузивните магматски карпи (плутонити)**. Самото ладење и оцврстување на длабинските магматски карпи се одвива бавно, на температури од 1500 -1100°C за ултрабазичните растопи, односно од 600 - 1000°C за киселите гранитски растопи. Притисоците на втиснатата магма се доста големи и се движат од неколку десетини до повеќе стотини мегапаскали (MPa). При својот пат кон површинските делови на Земјината кора, делови од магмата се втиснуваат во пукнатините на околните карпести маси, и така се создаваат т.н. **жилни магматски карпи** кои имаат мала дебелина и голема должина. Името го добиле по својата форма, која во напречен пресек има изглед на жила. Со избивањето и изливањето на магмата во вид на лава на Земјината површина преку некогашните и сегашните активни вулкани, настануваат **вулканските магматски карпи (изливни, ефузивни карпи или вулканити)**.

НАЧИН НА ПОЈАВУВАЊЕТО НА МАГМАТСКИТЕ КАРПИ

Кај магматските карпи можни се голем број комбинации поврзани со формата, димензиите и начинот на појавувањето во просторот на Земјината кора. Во основа, кај длабинските и жилните карпи, начинот на појавувањето зависи од просторот што го исполнува магмата и нејзината вискозност, додека кај површинските карпи од подвижноста и вискозноста на лавата. Најчестите форми и начин на појава кај магматските карпи се прикажани на Сликата 4.2.



Слика 4.2 Начин на појавувањето на магматските карпи:

- 1-вулканска плоча;
- 2-калдера;
- 3-вулканска купа;
- 4-вулканска игла;
- 5-вулкански нек;
- 6-сил;
- 7-лаколит;
- 8-батолит;
- 9-шток;
- 10-Факолит

Батолит е најкрупно плутонско тело кое во длабина на просторот се шири, а неговиот дијаметар може да изнесува од десетици до стотици километри. Во ваква форма најчесто се јавуваат гранитоидните маси. Батолитите се јавуваат на длабина 10-15 и повеќе километри. Со процесите на ерозијата и тектониката нивните кровински делови денес можат да се сретнат делумно на Земјината површина. **Шток** е интрузив со пречник од повеќе стотици метри до повеќе километри. Неговите граници со околината се неправилни и стрмни, а спрема длабината може да се поврзува со батолит. **Дајк** е плочесто тело, со форма на жила, со релативно мала дебелина и голема должина. Дајковите, обично, се јавуваат во групи, системи и снопови што ги придружуваат штоковите. **Лаколитите** по својот изглед потсетуваат на леќи, печурки или пак звонесто се втиснуваат во должина на пукнатините или слоевите. **Факолити** се помали интрузивни маси, кои се втиснати во темените делови на антиклиналите или

дното на синклиналите, поради што во напречен пресек во наборите имаат форма на полумесечина. **Лополит** е конкавно тело, кое може да има големина и од неколку стотици метри. **Сил** (послојна жила) е плочесто тело со мала дебелина, а со значителна ширина и должина. **Нек** (од англиски **neck**-врат) или вулкански канал е со форма на оџак и претставува оцврстена лава во некогашниот вулкански канал. Батолитите и штоковите покрај потиснувањето и поместувањето на соседните карпи, при втиснувањето вршат и нивно значително растопување и околу нив се создаваат **контактно-изменетите зони**, а околу самите магматските тела се создаваат целосно или делумно изменети карпи, кои се викаат **контактно-метаморфни карпи**. Магматските маси при своето пробивање ги кршат околните карпи, откинуваат од нив поголеми или помали блокови, а кои се вклопени во магматските карпи се викаат **анклави**.

Кај **изливните карпи**, исто така се среќаваат различни можни форми. **Вулкански купи** настануваат со оцврстување на лавата, или пак паѓање и таложеење на вулканогениот материјал околу вулканскиот отвор (Слика 4.3).



Слика 4.3 Андезитска купа на ридот Пилав Тепе во близина на Радовиш

Вулканските плочи настануваат со оцврстување на лавата, која после избивањето од вулканот се разлива на поголема површина, при што магматското тело добива плочест изглед (Слика 4.4).



Слика 4.4 Вулканска плоча од базалти во близина на село Нагоричани-Кумановско

Лавичните покриви настануваат со излевање на лавата во должина на поголеми пукнатини, при што зафаќаат огромни предели. Такви примери се среќаваат во: Индија, Орегон -САД, Сибир и други места. Обично се формираат т.н. **платоа** од базалтни лави, така што овие региони често се нарекуваат и **платобазалти**. На пример, платото Декан во Индија е со ширина од околу 500 km и должина од околу 1000 km. Слив или **лавични потоци** се јавуваат во вид на површински токови или јазици, кои настануваат со оцврстување на лавата при нејзино концентрирано движење.

Карактеристично за вулканската активност може да биде и излевање под вода (по дното на океаните и морињата), при што се јавуваат одредени специфичности во изгледот на карпестите маси. Излевање под вода

се вика **субмаринско излевање**. Оваа појава се нарекува **сфероноедарско лачење на лавата или перничести лави** (во оригинал на англиски **pillow lava's**). Изгледот на карпестата маса во вид на топчести форми на делови од масата се должи на зацврстување на лавата во вид на топки и нејзино брзо зацврстување во подводни услови (Слика 4.5).



Слика 4.5 Изглед на „pillow“ лави со сфероноедарско лачење за спилити во склоп на габро-дијабазен масив Дрен Боула, автопат Демир Капија-Евгелија

Посебно се комплицирани односите меѓу **пирокластичните** карпи, каде на многу кратки вертикални и хоризонтални растојанија може да се појават чести измени како во составот на карпите, така и во нивните својства.

Начинот на појавувањето на магматските карпи, предодредува и многу други својства, како што се нивните просторни и меѓусебни положби, односите со околните карпи, разните промени и

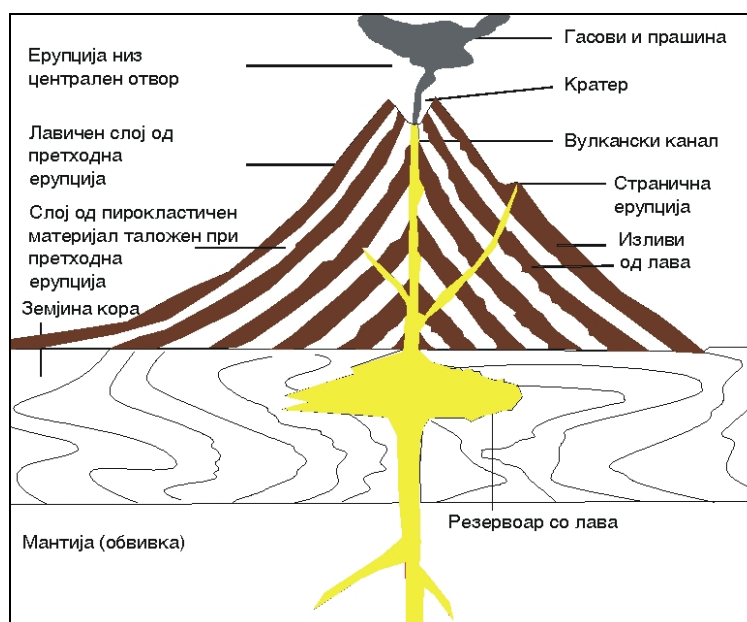
друго. Ова значи дека од начинот на појавата на магматските карпи зависат поголем број физички, структурни и механички својства на средината, како и нејзиното однесување при инженерските интервенции. Сите овие својства заедно ги дефинираат условите за изведба на инженерските работи во ваквите терени.

ВУЛКАНИЗАМ

Поимот **вулканизам** се однесува на сите појави што се поврзани со движењето и со излевање на лавата на Земјината површина и вулканските ерупции проследени со продукција на голема количина на пирокластични материјали и гасови. Покрај продуктите на вулканската активност, постојат и голем број **поствулкански појави** со низа специфичности. Влијанието на вулканската активност и во денешни дни може да биде многу значајно од практичен аспект поради големите ризици за градба во вулканските подрачја.

Основни елементи на вулканот

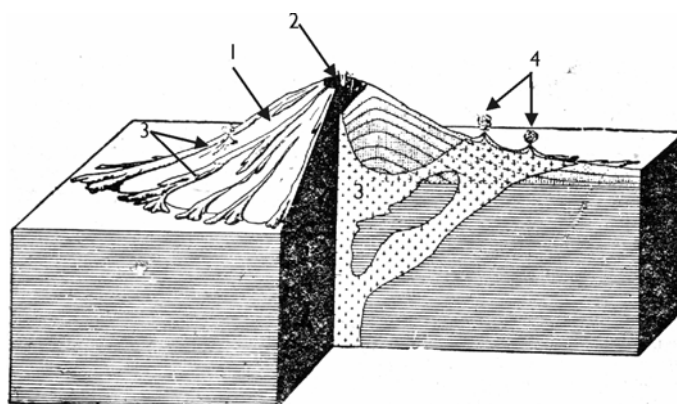
Кога во склоп на Земјината кора се застапени пукнатини со протегање до површината на теренот, магмата, помешана со гасови и со пареа под дејство на високи притисоци, се излева на Земјината површина во вид на **вулкан** (Слика 4.6). Местата каде има периодична или постојана појава на вулканската активност проследено со обновување на вулканот, се викаат **активни вулкани**. Ако пукнатините и вулканските канали се наполнети со материјал или не постои потенцијалната енергија, која би предизвикала вулкански ерупции, станува збор за **згаснати вулкани**.



Слика 4.6 Вулкан со основни елементи

Вулканот има најчесто конусен изглед со отвор во средината. Овој отвор се нарекува **кратер** или **гротло**. Покрај главниот кратер вулканот може да има и поголем број на секундарни кратери, кои се нарекуваат **паразитски кратери**. Постојат и такви кратери, кои се многу широки, од едната страна се отворени, а доводниот канал им е најчесто исполнет со лава и пирокластичен материјал. Во нивните централни делови се наоѓаат помали и помлади вулкански купи. Ваквите кратери се познати под името **калдери**. Конусниот изглед на вулканот доаѓа од акумулацијата на вулканскиот материјал. При вулканските експлозии исфрлениот материјал паѓа околу кратерот и тоа најмногу околу централните делови. Подалеку од кратерот, акумулацијата на материјалот е помала. Новите ерупции исфрлат нова количина на материјал со што доаѓа до зголемување на **вулканската купа**. Вулкански купи можат да бидат **прости** или **сложени**. Простите се карактеризираат само со еден **конусен брег**, а сложени се оние што имаат два **концентрични бедема**. Внатрешниот бедем по време на настанок е помлад и има помали димензии од надворешниот, кој е поголем. Сложените купи настануваат кај вулканите каде активноста се повторува повеќе пати. Кај нив е можно првобитната купа во некоја наредна експлозивна фаза да се сруши, а на нејзино место се формира нова, помала купа. Како пример на сложен вулкански облик се наведува вулканот Везув во близина на Неапол, Италија (Слика 4.7). Постојат повеќе критериуми за класификација на вулканите. Според начинот на настанок, обликот на вулканската купа и на кратерот, сите вулкани можат да се класифицираат во три групи и тоа: **експлозивен**, **лавичен** и **стратовулкан (сложен-мешан) тип на вулкани**.

Карактеристика на **експлозивните типови** е што настануваат со експлозивно излегување на гасови. Најчесто се без продукција на лава. Од исфрлениот материјал околу кратерот, со негова акумулација, се формира прстенест кружен бедем.



Слика 4.7 Вулканот Везув со елементи: 1 - купа, 2 - калдера, 3 - лава, 4 - гасови

Лавичниот тип на вулкани се карактеризираат со излевање на лава во поголем волумен, при што на површината обично се формираат вулкански платоа. По состав лавата обично е базична. Гасовите можат, но не мораат да бидат присутни. Главни претставници се вулканите на Хаваите и некои вулкани на Исланд (Слика 4.8).



Слика 4.8 Лавичен тип на вулкан (Килауеа на Хаваите)

Мешаните или сложените типови вулкани (стратовулкани) се карактеризираат со зони, каде наизмечно се сменуваат делови од лава и пирокластичен материјал. Ова е последица на повеќефазната работа на вулканот. По мирната фаза проследена со изливи на лави, следува експлозивна фаза, која продуцира пирокластични материјали. Така, во одделни фази има излевање на лавата, а во други таложее на пирокластичен материјал. Ваквите зони се наталожени (стратифицирани) една преку друга, па затоа овие вулкани се нарекуваат стратовулкани (слоевити вулкани). Претставник на оваа група е вулканот Везув. При мирните ерупции обично се врши акумулација на поголема количина на вулкански материјали, а со тоа се обезбедуваат и услови за формирање на поголеми вулкански купи. На страните на вулканските купи што се изградени од пирокластични материјали, со текот на времето, под влијанието на ерозијата, се формираат морфолошки облици во форма на бразди, кои се нарекуваат **баранко**.

Поствулкански појави

Кај подрачјата, каде што се застапени вулканите во мирување или згаснати вулкани, постојат низа интересни појави и феномени. Овие појави се карактеристични за фазата по престанокот на работата на вулканите и се нарекуваат со едно заедничко име - **поствулкански појави**.

Фумароли се места каде од Земјината внатрешност избиваат пареа и гасови. Фумаролите можат да бидат **суви** со температура од преку 500°C, **кисели** со температура од 300-400°C, кои испуштаат водена пареа, кисели сулфиди и кисел хлороводород, **алкални**, кои имаат температура од околу 100°C и продуцираат амонијак и хидроксиди на сулфидите и **ладни**, кои емитуваат ладна водена пареа и гасовита јаглеродна киселина.

Солфатарите се поствулкански појави каде, покрај водена пареа, се појавува и сулфуреста киселина и водороден сулфид. Околу отворите на солфатарите, по пат на сублимација, се насобира сулфур од каде и потекнува името на оваа поствулканска појава. Најпозната солфатара е Пуцола, во близината на вулканот Везув. Водената пареа кај неа е со температура од 140°C, а во неа има околу 0,04% на водороден сулфид и околу 8% на јаглероден диоксид.

Во нашата земја позната е солфатарата кај селото **Косел** во околината на Охрид. Местното население нејзиниот отвор го нарекуваат **дувало**, а низ него се исфрла водороден сулфид и јаглероден диоксид со температура од 12°C. Отворот на солфатарата е мал, длабок е 28 cm а широк 25-35 cm. Околината на самата солфатара е изградена од вулкански туфови во кои се сретнуваат и парчиња од сулфур со големина и до 10 cm. Поради ниската температура и процентуалниот однос меѓу водородниот сулфид и јаглеродниот диоксидот, коселската појава всушност може да се смета како премин од солфатарски во мофетски стадиум.

Мофети се поствулкански појави каде што на Земјината површина се забележува избивање на ладна јаглеродна киселина. Јаглеродната киселина можат да ја следат појави на метан, азот, борна киселина, водороден сулфид и др.

Суфиони се појави кај кои во млазеви на земјината површина избива водена пареа до различни височини. Температурата на пареата е околу 100-175°C. Со водената пареа се придружени и метан, јаглеродна и сулфурна киселина.

Гејзири се извори на топла вода која, се исфрла во вид на водоскок над Земјината површина (Слика 4.9).



Слика 4.9 Изглед на гејзирот Глепсидра во Јелоустонскиот парк - САД (Geyser.com)

Кај некои гејзири исфрлањето на топлата вода се појавува ритмички, а висината на водениот столб може да достигне и до десетина метри. Гејзирите имаат канал, каде што во горниот дел се собира водата, а во долниот дел водената пареа. Температурата на водата на површината на каналот изнесува околу 76-80°C, во длабочината температурата се зголемува, така што на крај таа поминува во водена пареа. Ритмичките ерупции на гејзирите се последица на загревањето на водата во внатрешност на Земјата со кои каналите и пукнатините на гејзирот се во хидрауличка врска. Ерупциите на вода и на пареа се смируваат тогаш кога во каналот на гејзерот се востанови нарушената рамнотежа на притисокот и температурата. Со новото наидување на топла вода оваа рамнотежа повторно се нарушува. До ерупција доаѓа кога температурата на водата во каналот ќе ја достигне точката на вриење. Паралелно со надминување на притисокот водата преминува во пареа, која ги предизвикува гејзирските ерупции. Во светот се најпознати гејзирите и топли изворите во Јелоустонскиот парк (Северна Америка), на Нов Зеланд и на Исланд. На пример, во Јелоустонскиот национален парк има околу 350 гејзири, од кои околу 100 имаат ритмичка активност. Еден од нив (Old Faithfull) на секои 65-70 минути исфрла млаз од вода со пареа до 50 m над површината на Земјата. Времето на траење на ерупциите е 1-1,5 минути.

Топли и термални извори се места на Земјината површина каде што извира топла вода. Проблематиката на топлиите води, термалните извори и други ефекти поврзани со нив, детаљно се изучува со посебни **хидрогеолошки геотермални истражувања**.

Појави на термални или термоминерални води на подрачјето на Република Македонија има на повеќе места. Таму се изградени поголем број бањи како што се: Негорска, Катлановска, Кумановска, Дебарски Бањи, бањата Банско и други. Појавата на термалните води е по правило во рамките на угасените вулкански комплекси во Македонија.

СТРУКТУРА НА МАГМАТСКИТЕ КАРПИ

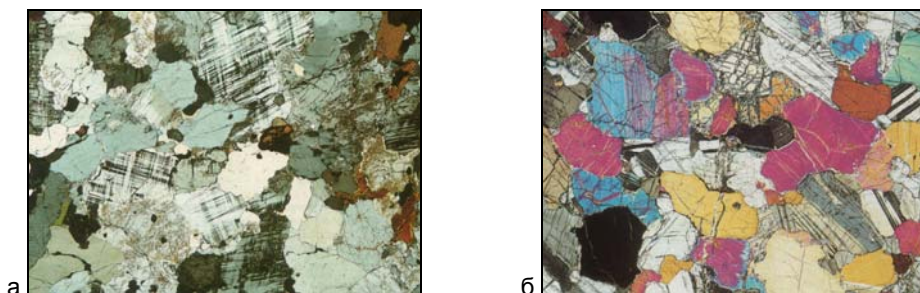
Во зависност од условите на создавање на магматските карпи се оформуваат различни структури, меѓутоа само две се сметаат како основни и тоа **зрнестата и порфирската структура**.

Зрнестата структура се карактеризира со појава на минерални состојки во вид на зрна со неправилна надворешна форма, со приближно иста големина, а кои меѓусебно непосредно контактираат. Создадени се со кристализацијата на минералите вршена истовремено и подолготрајно, при големи притисоци во магмата и отсуство на слободен простор. Поради тоа, развиени се главно кристалести форми на минералите. Според големината на минералните зрна се разликуваат:

- грубозрнести карпи, со зрна поголеми од 1 cm;
- крупнозрнести карпи, со зрна од 5-10 mm;
- среднозрнести карпи, со зрна од 3-5 mm;
- ситнозрнести карпи, со зрна од 1-3 mm;
- многу ситнозрнести карпи, со зрна помали од 1 mm;
- финозрнести карпи, кога зрната се ситни и не можат да се разликуваат со око.

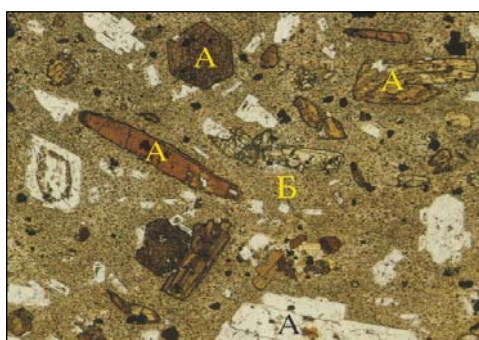
Приказ на најкарактеристични микроскопски снимки на зрнести структури е даден на Сликата 4.10, од каде што може да се согледа начинот на непосредни контакти на различни минерали едни со други. Зрнестата структура е карактеристична за длабинските магматски карпи, а посебно кај магматската карпа-**гранит**. Поради ова, често се нарекува и **гранитска структура** од изразот

гранула или **зрно**. Во технички поглед, зрнестата структура има позитивно влијание врз квалитетот и можноста за примена на карпата во градежништвото. Карпите со зрнеста структура најчесто имаат рамномерна боја, висока јакост, еластичност и други својства. Карпите со поситнозрнеста структура се по правило со подобри физичко-механички својства и поповолни за обработка во однос на покрупнозрните вариетети.



Слика 4.10 Микроскопска слика на зрнеста структура кај магматски карпи:
а - гранит; б - габро

Порфирската структура се карактеризира со делови во склоп на целата маса на карпата кои покажуваат знатни разлики. Ваквата појава се должи на постоење на две **различни временски генерации** на минерали. Првата генерација се главно крупни и правилно развиени кристали кои се создавани во длабина на теренот кога уште имало време за нивни правилен развој и се викаат **фенокристали**. Фенокристалите како да пливаат во втората генерација на ситнозрнести аморфни минерали во таканаречената **основна маса на карпата**. Оваа генерација настанала поради брзото ладење на површина на теренот, така што имаат микрокристалеста или целосно неискристализирана или **аморфна маса**, во која многу јасно се издвојуваат фенокристалите (Слика 4.11).



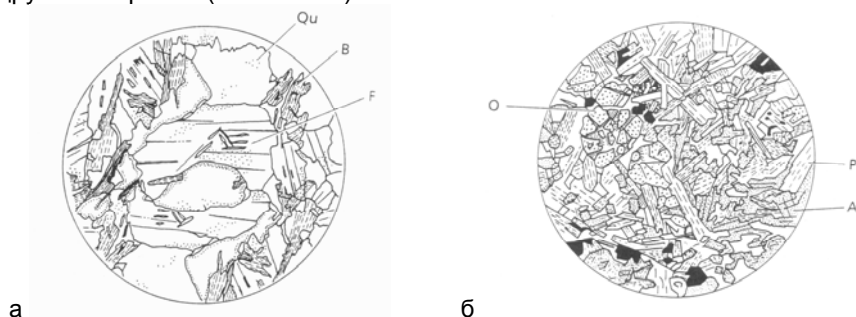
Слика 4.11 Микроскопска слика на порфирска структура кај магматска карпа андезит: А - различни искристализирани минерали во вид на фенокристали; Б - микрокристалеста основна маса

Порфирската структура е типична за вулканските магматски карпи, а во технички поглед, понеповолно се одразува врз техничките својства на карпите, споредено со зрнестата структура. На пример, при обработката карпите остануваат рапави и неможат да се полираат. Кај порфирските структури е поповолно кога фенокристалите се поситни, а основната маса е целосно искристализирана. Најнеповолен е случајот кога фенокристалите се многу крупни, со димензии од неколку сантиметри, а основната маса е аморфна. Карпите со **аморфна** или **стаклеста** основна маса се крти и со остри преломни рабови. Исто така, карпите со ваква структура се помалку отпорни на динамички сили (удари,

вибрации, потреси), оган и мраз, или нагли температурни промени. Ова значи дека тие се скоро секогаш неповолни за користење на карпата како декоративен камен, а само во исклучителни случаи може да се користат за други намени.

Во природата често може да се сретне **порфиroidната структура**, особено кај гранитоидните карпи (гранити, гранодиорити, сиенити), во која покрај зрната со воедначена големина се наоѓаат и поединечни поголеми правилно развиени зрна. На прв поглед потсетува на порфирската структура, но разликата е во тоа што сите зрна во масата се целосно искристализирани. Кога крупните кристали имаат убава боја, ваквите карпи се користат како декоративен камен со убави политирани површини. Од овој тип, најпознат е порфиroidниот црвеникав гранит од Финска, кој е познат под името **рапакиви** гранит.

Офитската структура се карактеризира со издолжени зрна, кои се најчесто од минералите плагиокласи. Овие зрна меѓусебно неправилно се вкрстуваат, а во меѓупросторот се наоѓаат поситни зрна на пироксени, амфиболи или поретко некои други минерали (Слика 4.12).

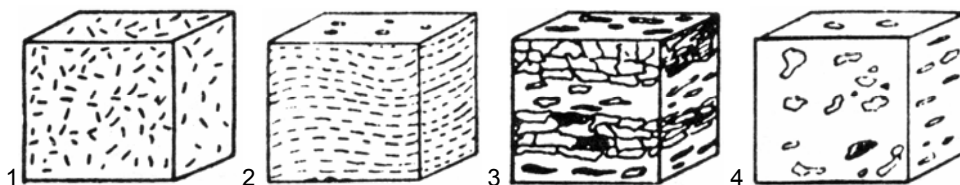


Слика 4.12 а – Шематски приказ на порфиroidна структура; б - офитска структура :
Qu-кварц;F-фелдспат; B-биотит; O-оливин; Pl-плагиоклас; A-амфибол
(преземено од Ф. Џ. Бел 1995)

Најчесто застапена е кај карпите дијабаз и базалт. Карпите со офитска структура главно се цврсти и жилави и даваат зголемен отпор при дупчењето, обработка или при работењето во нив и со нив, но заради ваквите својства, овие карпи се многу квалитетен градежен камен, а се користат како: толченик, дробен камен, украсен камен и слично.

ТЕКСТУРИ НА МАГМАТСКИТЕ КАРПИ

Најчести текстури кај магматските карпи се **масивна, паралелна, флуидална, лентовидна, згуреста** и други (Слика 4.13).



Слика 4.13 Шематски приказ на најчестите текстури кај магматските карпи:
1 - масивна, 2 - флуидална, 3 - лентовидна, 4 - згуреста

Текстурата е значајна за компактноста и порозноста. Имено, компактноста и порозноста се директна последица на дејствувањето на различни фактори, било во моментот на настанувањето при кристализацијата и диференцијацијата на состојките, или и значително по постанокот на карпата.

Масивната текстура се јавува кога минералните зрна во масата немаат некоја строго дефинирана ориентација, односно имаат хаотичен распоред. Со масивна текстура се одликува голем број на магматски карпи, што значи дека таа е и најчеста текстура. Во случаи кога карпата била изложена на повеќестрани нерамномерни притисоци, се оформува **шкрилеста текстура** со извиткан распоред на плочестите, лушпестите и листестите минерални состојки. **Флуидалната текстура** се одликува со јасно изразена паралелна ориентација на сите состојки во вид на бранови. Ваквиот распоред на минералите е последица на движењето на излиената лава, која во текот на ладењето била во житко-течна (пивтиеста) состојба. Оваа текстура е карактеристична за сливовите на вулканските површински магматски карпи.

Лентовидната текстура се манифестира со зонарно-лентовиден распоред на состојките, било по формата и големината на зрната или на бојата на масата на карпата. **Згурестата** или **сунѓерастата** (шупликава) текстура се карактеризира со содржина на голем број на шуплини, пори и разни отвори во карпата, така што таа добива изглед на згуреста порозна маса. Ваквиот изглед е последица на брзото ладење на лавата, која била богата со гасови и пареи. Кога лавата се излива на површина, гасовите брзо испаруваат во атмосферата, а за сметка на тоа се формираат низа шуплини и пори во останатиот дел од масата на карпата. Кога порите дополнително се наполнети со калцит, хлорит или некој друг секундарен минерал карпата се здобива со таканаречената **мандолеста текстура**.

Во технички поглед најповолна е масивната текстура. Останатите текстури имаат главно неповолно влијание врз физичко-механичките својства на карпите. Во случаи кога карпите се користат како декоративен камен, мандолестата, флуидалната и паралелната текстура придонесуваат кон поубав изглед на карпата.

ПОДЕЛБА НА МАГМАТСКИТЕ КАРПИ

Земјината кора е изградена од различни видови магматски карпи кои можат да се групираат по различни критериуми. Најчесто тие се поделени врз основа на нивниот минералошки и хемиски состав, потоа според местото и начинот на постанокот, начинот на појавувањето, структурата, геолошката старост, а поретко и по други критериуми.

Покрај основната поделба на **длабински, жилни и изливни или вулкански карпи**, магматските карпи често се класифицираат и според хемискиот состав и застапеноста на калиските фелдспати и плагиокласите. Според хемискиот состав и застапеноста на калиските фелдспати и плагиокласите, магматските карпи се делат на: **кисели** со $\text{SiO}_2 > 66\%$ и превладување на К-фелдспатите над плагиокласите, на **преодни** (интермедијарни) со $\text{SiO}_2 = 55-66\%$ и превладување на плагиокласите над К-фелдспатите, на **базични**, со $\text{SiO}_2 = 45-55\%$ и доминација на плагиокласи, а отсуство на К-фелдспати и **ултрабазични** со $\text{SiO}_2 < 45\%$ и отсуство на фелдспати.

Прегледот на основните видови е прикажан во Табелата 4.1.

Табела 4.1: Преглед на поважните магматски карпи

ВИД НА КАРПИ		КИСЕЛИ (SiO ₂ =65-80%)	ПРЕОДНИ (SiO ₂ = 55-65%)			БАЗИЧНИ (SiO ₂ =45-55%)	УЛТРА-БАЗИЧНИ (SiO ₂ <45%)
ВУЛКАНСКИ	Геолошки помлади (неовулкански)	риолити	трахити	дацити	андезити	базалти	пикрити (ретки карпи)
	Геолошки постари (палеовулкански)	кварц-порфири	порфири	кварц-порфирити	порфирити	дијабази и мелафири	
ЖИЛНИ	Со порфирска структура	гранит-порфири	сиенит-порфири	кварц-диорит-порфирити	диорит-порфирити	габро-порфирити	/
	Со зрнеста структура	пегматити и аплити	минета керсантит			габро-пегматити	/
ДЛАБИНСКИ		гранити	сиенити	гранодиорити	диорити	габро	перидотити
МИНЕРАЛНИ СОСТОЈКИ							
Светли минерали (салски)	кварц		кварц				
	ортоклас	ортоклас (плагиоклас)	плагиокласи (ортоклас)	плагиоклас	плагиоклас		
Темни минерали (фемски)	биотит (мусковит)	биотит	биотит	биотит			
	(хорнбленда)	хорнбленда	хорнбленда	хорнбленда (аугит)	пироксени (хорнбленда)	пироксени	
					(оливин)	оливин	

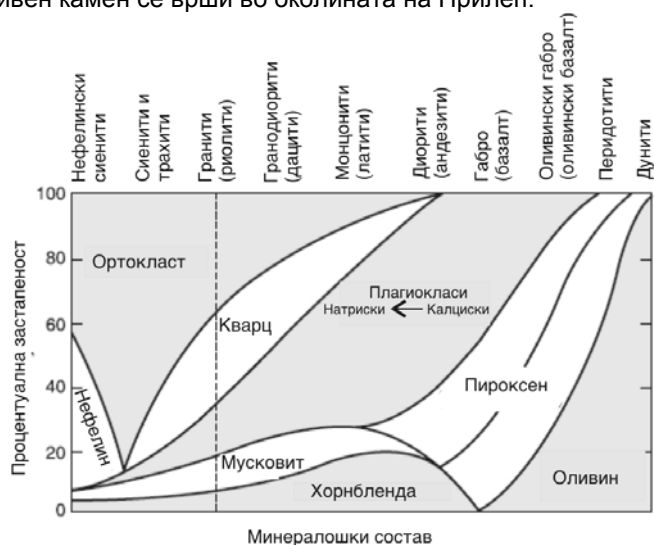
Напомена: Минералите во заградата можат делумно или целосно да ги заменат минералите под кои се наведени

ДЛАБИНСКИ МАГМАТСКИ КАРПИ

Големи маси на длабинските магматски карпи во денешницата се наоѓаат на самата Земјина површина иако првенствено настанале во нејзините подлабоки делови. Причина за тоа е здруженото долготрајно дејствување на геодинамичките сили. Тука пред сè, најзначајни се тектонските движења во вид на набирање и раседнување на Земјината кора, на кои се надоврзувале влијанијата од атмосферата, хидросферата и бисферата низ долгото геолошко време. Во длабински магматски карпи спаѓаат: **гранити, сиенити, гранодиорити, диорити, габрови и перидотити**, но постојат и некои помалку застапени претставници. За главните магматски типови, е карактеристично присуство и на некои типични минерали (Слика 4.14).

Гранитите се едни од најраспространетите длабински магматски карпи. Главни минерални состојки им се фелдспатите со учество од 40-60% во вкупната градба. Многу е значајно присуството на кварцот со 20-40% и лискуните со 5-10%. Текстурата им е најчесто масивна, а се среќава и шкрилеста текстура кај т.н. гнајсолики гранити. Можат да се сретнат во вид на **ситнозрни, среднозрни, крупнозрни и порфироидни вариетети**. Порфироидните и зрнестите гранити со црвеникава боја, која доаѓа од розеникавите зрна на ортокласт, се нарекуваат **рапакиви** или **фински црвени гранити**. Во природата гранитите се појавуваат во

поголеми маси, во вид на батолити, штокови и слично. Под долготрајно влијание на надворешните фактори (атмосферилии, мрзнење, одмрзнување и слично) гранитите можат да бидат зафатени со процесите на физичко-хемиското распаѓање. При тоа пукаат во помали блокови и парчиња, а крајниот степен на распаѓање е трошење до степен на песокиво-глинеста распадина која може да се дроби со рака и се нарекува **гранитен грус**. При тоа, фелдспатите преоѓаат во каолини, а биотитот, хорнблендата и аугитот во хлорит и лимонит. Во Р Македонија има големи маси на гранит кои се среќаваат на: Бабуна, Селечка Планина, Огражден, Беласица, Пелистер, Осогово и други. Нивна експлоатација како декоративен камен се врши во околината на Прилеп.



Слика 4.14 Процентуална застапеност на одредени минерали во волуменот на магматските карпи

Сиенитите имаат зрнеста структура и масивна текстура, а поретко се среќава и паралелна текстура. Кај нас и во светот се ретко застапени карпи. Разликата меѓу сиенитот и гранитот е во тоа што сиенитот не содржи кварц. Бојата на сиенитите е обично светлосива и сива, поретко розеникава или зеленикава. Со распаѓање се добива **сиенитски грус**, но во кој нема зрнца на кварц. Убави зеленикави сиенити со крупни зрна има на Пелистер во близина на с. Долно Дупени, а сиви во околината на Лојане (Кумановско).

Гранодиоритите се преодни длабински магматски карпи со зрнеста или порфиرويدна структура и масивна текстура. Може да се сретнат вариетети во вид на нормален биотитски и аугитски гранодиорит. Според големината на зрната, гранодиоритите се најчесто среднозрнести и ситнозрнести. Бојата им е главно сива, а кај порфиرويدните вариетети и розеникава поради вака обоените ортоклази. Краен продукт на физичко-хемиското распаѓање е гранодиоритскиот грус.

Диоритите се релативно малку застапени карпи во светот и кај нас. Структурата им е зрнеста, а текстурата масивна. Обично се среќаваат среднозрни и ситнозрни вариетети. Ако диоритот содржи покрај другите главни состојки и извесно количество на кварц, тој се нарекува кварцдиорит. Бојата е обично сива, темносива до црна поради значителното количество на боените состојки.

Габро е базична длабинска магматска карпа со зрнеста структура. Обично структурата е крупнозрнеста иако можат да се појават и сосема ситнозрни порфиرويدни и офитски структури. Освен типичната зрнеста структура габровите можат да имаат и специфична **габровска зрнеста структура**, кај која минералните состојки навлегуваат длабоко едни во други. Ваквата врска меѓу минералите придонесува за голема жилавост на овие карпи. Текстурата им е најчесто масивна, а понекогаш и паралелна. По гранитот, габрот е најзастапена длабинска магматска карпа. Во Македонија ги има на Кожуф и во околина на Демир Капија, но тие се најчесто многу тектонски оштетени, така што немаат најдено позначајна примена во градежништвото како декоративен камен. Помали маси има на многу места, а понекогаш се јавуваат во вид на жили покрај метаморфните карпи-серпентинити.

Перидотити се ултрабазични длабински магматски карпи со средно до крупнозрнеста структура и масивна текстура. Како главни состојки во перидотитите се јавуваат оливинот и пироксените. Тоа условува тие да имаат темно-зелена до црна боја. **Дунит** е вариетет на перидотит каде главна состојка е оливинот, а многу послабо може да се сретнат пироксени. Перидотитите, под зголемени притисоци и хидатогени влијанија, лесно се подложни на метаморфни промени, па ретко може да се сретнат во свежа состојба. Ова е многу карактеристичен случај и за масите на перидотит во Р Македонија. Се протегаат главно во должина на Вардарската долина.

ВУЛКАНСКИ МАГМАТСКИ КАРПИ

Настанувањето на вулканските магматски карпи е поврзано со поранешната и сегашната вулканска активност на Земјината кора, без разлика дали самата активност била на копно или на морското и на океанското дно. По својот минерален состав се еквивалентни на некоја од длабинските магматски карпи, но имаат различен начин на појавување и структурни и текстурни карактеристики. Според својата старост се делат на **геолошки постари** или **палеовулкански** и **геолошки помлади** или **неовулкански**. Палеовулканските карпи се најчесто со предтерциерна геолошка старост, додека неовулканските карпи се створени во терциер и квартал. Во деловите од Земјата каде има активни вулкански подрачја се создаваат и денес. Поважни неовулкански претставници се: **риолити**, **трахити**, **дацити**, **андезити**, **базалти** и **пикрити**. Палеовулкански се: **кварцпорфири**, **порфири**, **кварцпорфирити**, **порфирити**, **дијабази** и **мелафири** (Табела 4.1).

Риолити се кисели магматски карпи со порфирска структура и масивна до флуидална текстура. Основната маса им е најчесто делумно стаклеста, но понекогаш може да биде и целосно амофна. Бојата на риолитите е главно светлосива. Во Р Македонија се слабо застапени во околината на Крива Паланка и Струмичко. Кога риолитската лава многу брзо оцврснува, може да се оформи карпа наречена **обсидијан**. Оваа карпа има стаклест изглед темна до црна боја, со школкаст прелом и многу остри рабови. При нагло ладење на риолитската лава богата со гасови и пари, се создава многу порозна карпа која се нарекува **лебденик**. Оваа карпа е со меѓусебно неповрзани пори, така што има волуменска тежина, која е помала од водата (околу $\gamma = 9.5 \text{ kN/m}^3$), поради што лебди во неа. Кај нас го има на Кожуф.

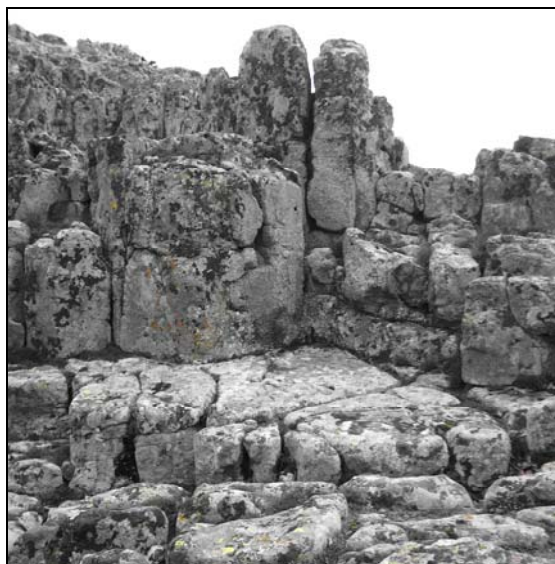
Перлит е вулканско стакло со риолитски состав и одредена содржина на вода од 2-5%. Се одликува со карактеристичен систем на концентрични сфероидални прскотини кои настануваат со собирањето на стаклото при ладењето (т.н. „перлитна структура“). Исто така има волуменска тежина

$\gamma < 10 \text{ kN/m}^3$. Кај нас го има на Кожуф и во Мариовско. Овие карпи во вид на вулкански стакла најчесто имаат стаклеста сјајност и се во аморфна состојба.

Трахити се преодни вулкански карпи кои по минералошки состав се еквивалентни на сиенитите. Тие се ретко застапени во природата. Структурата им е порфирска, понекогаш со многу крупни фенокристали на ортоклас, а текстурата масивна до флуидална. Основната маса главно е изградена од ситни стапчести кристалчиња на ортоклас и пироксени. Поретко се среќаваат во вид на стаклеста супстанција. Бојата им е сива до темнозеленикава.

Дацити се преодни неовулкански карпи, по минералошкиот состав еквивалентни на гранодиоритите. Структурата им е порфирска, а текстурата главно масивна. Основната маса скоро редовно им е искристализирана, што значи дека стаклестата супстанција е слабо застапена, што му дава поволни својства. Бојата им е светлосива до темносива и темнозеленикава. Свежите дацити се со значителна постојаност, но во одделни наоѓалишта тие се зафатени со процесите на физичко-механичкото распаѓање. Тогаш може да се сретнат подебели или потенки зони од **дацитски грус**. Во регионите каде дацитите се оруднети, под дејството на разните гасови и термалните води се изменети многу хемиски, така што за градежништвото се неупотребливи. Вака изменетите карпи се нарекуваат **пропилити**. Дацитите кај нас се едни од најзастапените магматски карпи. Се јавуваат во вид на поголеми или помали маси, најчесто здружени со андезитите и нивните туфови. Најголеми зони на дацити се наоѓаат во Кратовско-злетовската вулканска област.

Андезити се преодни неовулкански магматски карпи, кои според минералошкиот состав се еквивалентни на диоритите. Имаат порфирска структура. Текстура им е најчесто масивна, а многу ретко флуидална или мандоласта. Главните состојки се јавуваат како во вид на фенокристали, така и во вид на основна маса. Свежите андезити имаат главно сива до темносива, а со распаѓање добиваат зеленкастосива или нијанси на розеникава боја (Слика 4.15).



Слика 4.15 Андезити на локалитет на мегалитската опсерваторија „Кокино брдо“ во близина на с. Нагоричане - Кумановско (фото И. Пешевски)

Вариететите што се зафатени со процесите на физичко-хемиското распаѓање преминуваат во **андезитскиот грус**. Кај нас и во светот, андезитите се доста застапени магматски карпи. Најмногу ги има во Кратовско-злетовската област, Осогово, Кожуф и други места заедно со дацитите, сочинувајќи ги така дацитско-андезитските масиви. Нашите дацитско-андезитски масиви се носители на сулфидните руди на олово, цинк и друго.

Базалти се неовулкански базични магматски карпи, кои се еквивалентни по состав на габро. Структурата им е порфирска, најчесто со ситни фенокристали, понекогаш и офитска. Тексурата им е најчесто масивна, потоа флуидална и поретко згуреста или мандолеста. Бојата на базалтите е кафеава, темнокафеава до црна (кога се свежи), а светлозеленикава и светлокафеава (кога се во распаѓање). Порозните вариетети се подложни на полесно механичко разорнување, додека свежите базалти се постојани на влијанието на атмосферилите. Можат да се одликуваат со столбесто и плочесто лачење, што придонесува кон нивна полесна експлоатација (Слика 4.16).



Слика 4.16 Базалти со столбесто лачење во вид на шестоаголни призми, брег во Северна Ирска

Во светот се доста распространети, а кај нас ги има во поголеми маси и во околината на Куманово (Младо Нагоричане), Овчеполието, Курешничка Краста - Д. Капија и други места.

Дијабази се палеовулкански базични карпи кои по својот минералоски состав се еквивалентни на габро и базалтот. Сите минерални состојки се скоро редовно зафатени со процесот на распаѓање, при што се создаваат каолин, хлорит и серпентин како секундарни минерали. Поради ваквото распаѓање дијабазите имаат главно зелена до љубичесто-кафеава боја, така што се нарекуваат и **зелени карпи**. Во свежа состојба се темносиви до наполно црни. Структурата на дијабазите е офитска, а текстурата масивна или поретко флуидална. Се појавуваат во вид на плочи и изливи, кои може да бидат и подморски. Кај нас се застапени во околината на Куманово (Липково), на Пелистер, Кожуф, околу Демир Капија во склоп на т.н. габро-дијабазен масив Дрен-Боула и други места.

Мелафири се палеовулкански базични магматски карпи. По минералоски состав и многу други карактеристики се слични на дијабазите. Структурата им е порфирска или поретко офитска. Нивните мандоли (шуплини) често се дополнително пополнети со секундарни минерали како калцит, хлотит, поретко кварц (поради што текстурата е наречена мандолеста). Бојата им е зелена до темновиолетова. Најчесто се јавува во вид на помали маси покрај дијабазите, а кај нас можат да се сретнат на Кожуф.

ЖИЛНИ МАГМАТСКИ КАРПИ



Жилните магматски карпи настануваат со втиснување на магмата во постоечките пукнатини на веќе створените магматски карпи, поретко и другите карпи околу нив. Поради тоа тие главно имаат форма на потенки или подебели жили со димензии од неколку милиметри па до неколку метра во напречен пресек (Слика 4.17).

Слика 4.17 Изглед на жилни карпи во теренски услови: жила од гранитпорфир (карпа со светла боја) низ дијабаз (зелена карпа) од косина на автопат Е-75

Структурата може да им биде зрнеста или порфирска, што зависи од длабината на нивното настанување и количеството на втиснатите маси. По минералошкиот состав се еквивалентни на соодветните длабински карпи, кога ги содржат истите главни состојки. Жилни карпи со порфирска структура се **гранитпорфир, сиенитпорфир, кварцдиорит порфирит, диорит порфирит и габропорфирит**. Со зрнеста структура се карпите **пегматити, аплити, лампрофили (керсантин и минета) и долерити**.

Пегматитите кои се јавуваат како грубозрни жилни карпи од различни магми, често се носители на споредни состојки од типот на рудни минерали, племенити метали, драги камења и слично. Во вакви случаи можат да имаат економско значење. Зрната во пегматитите понекогаш можат да достигнат димензии од неколку дециметри, а исклучително и преку еден метар. Кај нас ги има на Огражден-Струмичко, Бабуна, Мариово и на други места.

ВУЛКАНСКИ КЛАСТИЧНИ КАРПИ

Во петрографијата се издвојува една посебна група која се нарекува **вулкански кластични карпи** или **пирокластични карпи**. Специфичноста кај овие карпи е заради фактот дека материјалот од кој се створени има магматско потекло, додека начинот на постанокот е својствен на седиментните карпи. Од тука, некои автори при описот ги сврстуваат во магматски, додека други во седиментни карпи. Нивниот настанок е примарно врзан со работата на вулканите. При ерупцијата, покрај лавата со помош на гасовите и прегреаната водена пареа се исфрлува огромно количество на различен материјал, а на крај, под дејство на гравитацијата, овој материјал се таложи на површината на теренот. Продукти на оваа работа се следните видови материјали:

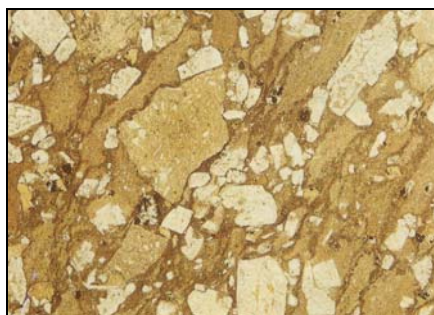
- **Вулканска пепел и вулканска прав** се најситните прашиности делови на лавата, кои настануваат под дејство на експлозијата на вулканот.
- **Вулкански песок** е материјал од ситно здробена лава или пак карпи кои потекнуваат од самиот вулкански кратер.
- **Вулкански лапили** се парчиња од лава со големина на зрната од 4-32 mm, односно фрагменти од песок, пепел или прав со стаклеста кора, најчесто во цврста состојба.
- **Вулкански бомби** се делови од лавата со големина преку 32 mm кои се откинати како вжештено тестеста маса и со ерупцијата се исфрлени од

кратерот, при што поради движењето во воздухот тие добиваат топчести, крушковидни форми или форма на бомба.

- **Вулкански бречи** се вулкански карпи, кои настануваат со цементирање на раздробениот вулкански материјал со разни големини, каде што фрагментите не се заоблени и не се сортирани по големина.
- **Вулкански агломерат** е слична карпа на бречата, но поголемите парчиња имаат заоблени форми. Настанува за време на самите ерупции.
- **Вулкански блокови** претставуваат големи парчиња од карпи, кои се консолидираат во вулканската маса или пак се исфрлени како осамени блокови, поблиску или подалеку од кратерот, што зависи од нивните димензии и од силината на ерупцијата.
- **Вулкански туфови** се карпи од вулканско потекло, кои се изградени од врзана вулканска пепел, прав и песок. Настануваат на суво или во водените средини при работа на субмаринските ерупции. Содржат преку 90% на вулкански материјал.
- **Вулкански туфити** се мешавина од вулканска прав, пепел и песок со седиментен материјал, кој нема вулканско потекло. Поради тоа во нив, покрај материјали што имаат вулканско потекло, можат да се најдат и морски организми кои живеат во водена средина. Содржат од 30 до 90% на вулкански материјал.

Таложењето на покрупнозрниот материјал е главно на падините околу вулканските купи. Поситнозрниот материјал кога е зафатен со дејството на ветрот и дождовите може да се исталожи на повеќе десетина километри од гротлото на вулканот. Во почетокот, пирокластичните творби се во растресита состојба, но со тек на време со процесите на сврзување и оцврстување (дијагенеза), тие се трансформираат во сврзани карпести маси.

Од сите вулкански кластични карпи, далеку најзначајно е присуството на вулканските туфови. Компактните маси на туфовите се викаат **трас** (trass). Во растресито-земјеста состојба се викаат **пуцолани**. Вулканските туфови можат да ги придружуваат сите видови на површински магматски карпи и да имаат исти минералоски и хемиски состав со нив. Поради тоа, вулканските туфови и ги имаат имињата како **риолитски, трахитски, дацитски, андезитски, базалтен туф** и други. Имаат карактеристична структура која потсетува на кластичната (зрнеста структура) кај седиментните карпи (Слика 4.18).



Слика 4.18 Микроскопска снимка на структура кај вулкански туф

Бојата на туфовите е многу различна. Можат да се сретнат белузлаво-жолтеникави до темновиолетова и зелено-сиви вариетети кои се во чести вертикални и странични преоди (Слика 4.19).



Слика 4.19 Вертикални и странични преоди во вулканогено-седиментна серија на висорамнината Витачево, Кавадарци

Туфовите најчесто се појавуваат во вид на слоевити копнени или подморски наслаги со различита геолошка старост. При дејство на атмосферските влијанија, може да се распадат до песок.

Големи маси на туфови кај нас се наоѓаат во околината на Кратово, Тиквешкијата и Мариовско.

СЕДИМЕНТНИ КАРПИ

Седиментација или **таложeње** е природен процес на натрупвање на материјал од различно потекло на Земјината површина, во океаните, морињата, езерата, реките и на копно. Сите процеси кои придонесуваат кон создавањето на седиментните карпи се случуваат при вообичаена температура и главно низок притисок, што не е случај за магматските и метаморфните карпи.

ПОСТАНОК НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ

Седиментните карпи настануваат како резултат на повеќе сложени и долготрајни процеси, кои најчесто се последователни. Настанувањето започнува со процес на **физичко-хемиското распаѓање** на порано постоечките карпи, продолжува со **преносот (транспортот)** и **исталожувањето** на продуктите на распаѓањето или на растворените супстанции. Кај некои видови карпи на крај следи процес на **сврзување** и **оцврснување (скаменување-дијагенеза)** на материјалот кој првобитно бил во растресита или растворена состојба.

РАСПАЃАЊЕ НА КАРПИТЕ

Сите магматски, метаморфни и пораностворени седиментни карпи на Земјината површина во тек на геолошкото биле изложени на разорното дејство на разни влијателни фактори, кои потекнуваат од атмосферата, хидросферата или биосферата. Нивното дејствување јасно е изразено и во денешни услови. Поради овие долготрајни влијанија, карпите се распаѓаат, т.е. пукаат, дробат, ситнат и раствораат.

ТРАНСПОРТ НА МАТЕРИЈАЛОТ

Нерастворените или нерастворливите продукти добиени со физичко-хемиското распаѓање на карпите можат да бидат натрупани на самото место на својот постанок, или пак почесто со водата, ветерот и друго да бидат транспортирани и таложени на различна оддалеченост од местото на распаѓање.

Почетната фаза на движењето на распадатниот материјал е влечење и испирање низ ридските падини главно поради сопствената тежина. Овој материјал се именува како **механички детритус**. При физичко-хемиското распаѓање, еден дел од материјалот може целосно хемиски да се раствора, со што се добива **раствор на распаѓањето**. Растворените супстанции кои количински се далеку помалку застапени од механичкиот детритус, можат да се пренесат на големи растојанија на површината и во подземјето.

Ваквите раствори при своето движење можат да вршат разновидни процеси во средината во која минуваат или се задржуваат. Во некои случаи го олеснуваат и забрзуваат понатамошното хемиско распаѓање на околните карпи, а во други ги сврзуваат и цементираат растреситите наслаги и друго.

СЕДИМЕНТАЦИЈА НА МАТЕРИЈАЛОТ

Седиментацијата, односно исталожувањето на нерастворениот и растворениот дел од физичко-хемиското распаѓање на карпите се врши на различен начин. Кластичниот материјал кој се пренесува со водата, ветерот и ледниците, започнува да се таложи во оној момент кога кинетичката енергија на транспортното средство ќе опадне до тој степен да веќе не е во состојба да го носи понатаму. При овој процес, по правило доаѓа до природно сортирање на материјалот. При ист наклон на речното коритото, константна брзина на текот, рамномерни отпори при движењето и слично, прво се таложат најкрупните блокови, а потоа поситните зрна и честички. На ваков начин настануваат кластичните седименти, кои сочинуваат околу 95% од сите седименти карпи. Исталожувањето на материјата од колоидните и правите хемиски раствори се врши во случај, кога покрај губењето на кинетичката енергија на водениот тек, мора да се појават и услови за **коагулација** (згрутчување) и кристализацијата на хидросолите во хидрогели. На овај начин настануваат **хемиските** или **минерогените седименти**. Дел од растворената минерална супстанција во вид на CaCO_3 , MgCO_3 , SiO_2 и други соединенија, живите организми во водата ја земаат од растворите како неопходна за нивниот развој и ја концентрираат во нивните скелети и луспи. Подоцна со нивното изумирање и таложењето на неорганските остатоци настануваат **органогените седименти**.

ДИЈАГЕНЕЗА

Под поимот дијагенеза се подразбираат сите физички и хемиски процеси и промени кои доведуваат до сврзување и скаменување (оцврстување) на претходно растреситите и слабо сврзаните карпи. Дијагенезата може да настане на повеќе начини со помош на следните процеси:

- > дијагенеза по пат на притисок;
- > дијагенеза по пат на цементација;
- > дијагенеза по пат на дехидратација (исушување);
- > дијагенеза по пат на карбонизација;
- > дијагенеза по пат на прекристализација и др.

Цементацијата се остварува со внесување и одлагање на некое врзивно средство во порите на растреситите карпи. Како средства за цементација можат да се јават силикатната (SiO_2), карбонатната (CaCO_3 , MgCO_3), лапоровитата, глиновитата и битуминозната врзивна материја. Со дијагенеза по **пат на притисок**, на кој начин настануваат глиниците, лапорците и друго. Дијагенеза со **прекрстализација** на ситните калцитски луспи или парчиња на скелести е најчеста при стварање на масивните варовници, кои пак при дејство на раствори богати со магнезиум се претвораат во доломитити.

СОСТАВ И СКЛОП НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ

МИНЕРАЛОШКИ СОСТАВ НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ

Кај седиментните карпи минералошкиот состав е зависен од условите на создавање на карпата. Кај **кластичните седименти**, иако нивните состојки се групирани доста хаотично, во поглед на минералошкиот состав се доста еднолични. Тие се изградени од механички отпорни или хемиски стабилни минерали како кварц, мусковит, каолинит и други минерали. Минералошкиот состав кај **хемиските седиментни карпи** и односот на поедините составни компоненти е во строга законска зависност од концентрацијата на растворот, температурата, притисокот и времето. Во нивниот состав влегува релативно мал број минерали, кои имаат улога на главни состојки. Тоа се минерали кои во водата лесно се раствораат, се излучуваат и се таложат како: **калцит, гипс, готварска сол (халит)** и друго. **Органогените седиментни карпи** по минералошки состав се слични со хемиските седименти. Како главни минерални состојки се јавуваат минералите, кои ги градат оклопите и скелетестите делови на организмите и тоа: калцит, силициум диоксид и друго.

СКЛОП НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ

Кај седиментните карпи се разликуваат три основни видови на структури. **Кристалеста структура** најчесто се среќава кај органогените и хемиските седименти од тип на: варовник, доломит, гипс, мермерен оникс, бигор и други. Сите овие карпи се изградени од кристалести зрна. Според големината на зрната, карпите можат да бидат крупно кристалести и ситно кристалести. **Кластична структура** имаат механичките кластични седименти. **Аморфна структура** имаат т.н. гелни седименти, кои се карактеризираат со лентовидна градба и бубрежести агрегати. Оваа структура е нестабилна, преминува најчесто во микрокристалеста и криптокристалеста структура, така што ретко се среќава во природата. Покрај аморфната, поретко се среќаваат т.н. оолитски и други структури.

Во поглед на **текстурите**, кај седиментните карпи можат да се јават следните видови: **масивна, лентовидна и бречоидна текстура**. **Масивна текстура** имаат карпи чија цела маса е хомогено (еднородно) градена. Такви можат да бидат едрите варовници, хомогените песочници и слични карпи (Слика 4.20).



Слика 4.20 Обработени плочи на варовник со масивна текстура

Лентовидна текстура имаат оние карпи во чија маса се менуваат различно обоени зони, со различна големина или форма на минералните состојки. Тоа може да биде случај кај песочниците, лапоровити варовници, гипсот, анхидритот и други (Слика 4.21).



Слика 4.21 Примероци на варовник и мермерен оникс со лентовидна текстура

Бречоидна текстура имаат карпи, кои биле несврзани (растресити) или здробени, а потоа сврзани со цементно врзиво, кое е со друга боја во однос на основните зрна. Ваквите текстури се најкарактеристични за бречите, некои конгломерати, бречовидни варовници и други (Слика 4.22).



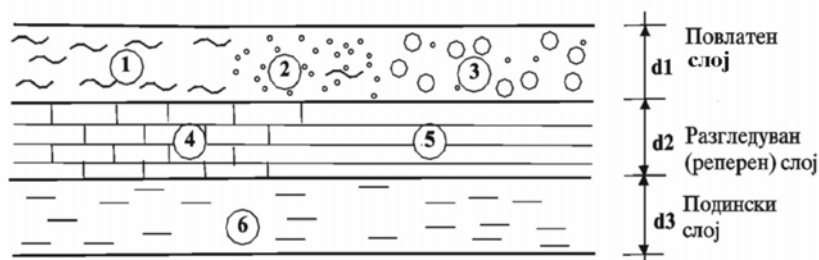
Слика 4.22 Мермерна бреча со бречоидна текстура

НАЧИН НА ПОЈАВУВАЊЕ НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ

Седиментните карпи заради процесот на таложее се појавуваат на специфичен начин, во вид на **слоев** односно плочести делови таложени еден над друг. Дебелината на условните делови е секогаш многу помала од нивната должина и ширина. Според дебелината слоевите се класифицираат во повеќе класи:

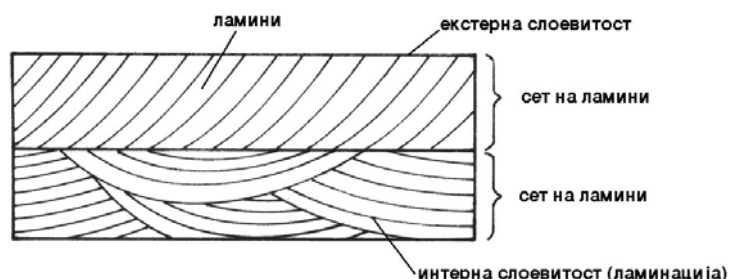
- лиски - со дебелина <5 mm
- плочи - со дебелина 5-50 mm
- слоеви - со дебелина 5-50 cm
- банци - со дебелина 0,5-2 m

Во случај ако слоевите се подебели од 2 метри, седиментните карпи имаат **масивно појавување**, што е најкарактеристично кај поголемите маси на варовник. Одредени слоеви најчесто се ограничени со рамни површини кои се нарекуваат **површини на слоевитоста** и кои меѓусебно во најголем број на случаи се паралелни. Дебелината на слојот е најкраткото растојание меѓу површините на слоевитоста (Слика 4.23). Слојот што се наоѓа непосредно над разгледуваниот слој ја сочинува неговата повлата, а слојот непосредно под него ја сочинува неговата **подина**.



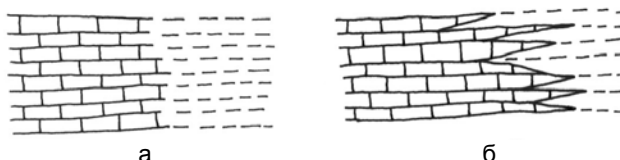
Слика 4.23 Словитото појавување на седиментните карпи со основни карактеристики:
 d_1 -дебелина на слоевите; 1-глини; 2-песоци; 3-чакали; 4-варовници и 5-лапорци;
 6-алевролити како континуален слој

Во вакви случаи се работи за т.н. екстерна или надворешна слоевитост која е претставена со планарни површини со кои е издвоена карпестата маса. Внатре во секој одделен слој често се појавува и интерна слоевитост. Единиците издвоени со интерната слоевитост се викаат ламини, а внатрешната условност ламинација (Слика 4.24).



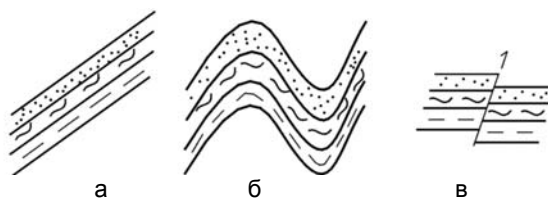
Слика 4.24 Интерна слоевитост (ламинација)

Еден ист слој на поголеми хоризонтални растојанија може постапно, бочно, да го менува својот петрографски состав или да **исклине**. Бочните преоди можат исто така, да бидат различни (Слика 4.25).



Слика 4.25 Бочни преоди меѓу единици: а) постепена промена на материјалот, б) прстесто навлегување на единиците (преземено од Н. Думурџанов, 2005)

Поради дејството на гравитацијата, при таложењето слоевите скоро секогаш зафаќаат хоризонтална или субхоризонтална положба. Само во делтите, речните спрудови и некои други случаи, седиментите, при таложењето, можат да заземат коса положба или пак да попримат вкрстена слоевитост. Вкрстената слоевитост се јавува при таложење во плитки води при што се јавуваат остри промени во брзините и насоките на движењето на водата кога подлогата е нерамна или има некои други влијанија. Хоризонталните слоеви под влијание на тектонските движења се деформираат (пореметуваат) и од примарно хоризонтална положба можат да заземат коса, набрана или друга положба или да бидат пореметени со раседи (Слика 4.26).



Слика 4.26 Тектонски пореметувања на слоевитоста:
а - коси слоеви; б - набрани; в - раседнати.

КОНКОРДАНЦИЈА И ДИСКОРДАНЦИЈА НА СЛОЕВИТЕ

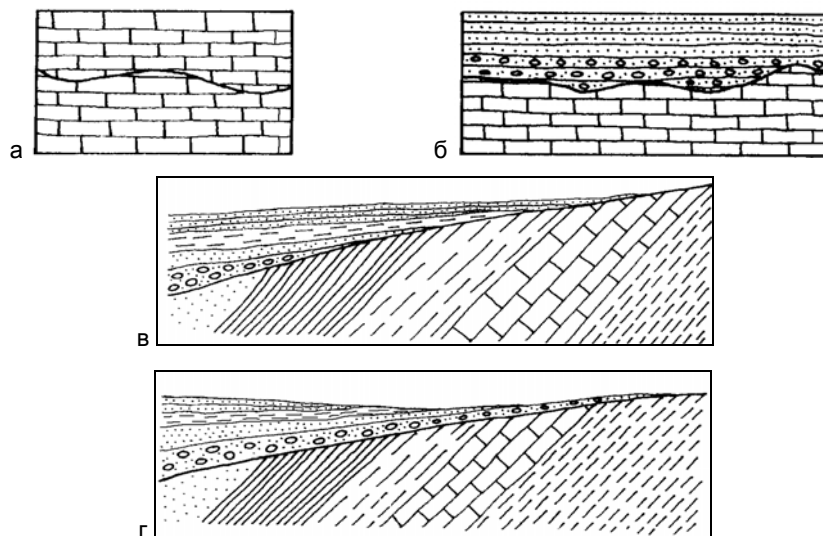
При истражување на слоевитоста посебно се значајни вертикалните преоди или промената меѓу две седиментациски единици со различна старост. Со тоа се дефинира редоследот на создавање кај слоевите, односно континуитетот или дисконтинуитетот на седиментацијата. Во вертикален правец две единици можат

да бидат **конкордантни**, ако се образувале со непрекинат процес на седиментација, или **дискордантни**. **Дискорданција** е однос меѓу две единици, кој укажува дека настанал прекин во седиментацијата по образувањето на постарата единица и дека помладата единица е создадена со друг седиментационен циклус. Во натамошниот геолошки развој, ако врз постарата единица се формира помлада единица се создава **површина на дискорданција**.

Во однос на положбата на слоевите од едната и од другата единица се дели на паралелна и аголна дискорданција. Според начинот на постанокот, во литература можат да се сретнат и следните поделби на дискордантноста.

Ерозивна дискорданција е појава која се јавува поради ерозијата на порано настанатите слоеви без учество на тектонските движења. Поради дејството на ерозијата се створени нерамнини по површината на слоевите. Така, таложењето на новите слоеви е дискордантно во однос на подлогата од постарите седименти.

Тектонската дискорданција најчесто настанува како резултат на раседнување и навлекувањето на слоевите при силните тектонски движења. Таквите дискорданции се сврзани за области со појава на навлаки и луспи, каде што постарите слоеви се навлечени преку помладите слоеви. Површината на тектонските дискорданции е обично мазна и политирана или е во вид на милонитска (здробена) зона. На површината на дискорданцијата најчесто се јавува т.н. базален или основен конгломерат. Различни типови на дискордантност се прикажани на Сликата 4.27.



Слика 4.27 Типови на дискорданција: а - дискорданција поврзана за краток период на хијатус без видлива ерозија (дијастема); б - паралелна дискорданција; в - аголна трансгресивна дискорданција, г - аголна регресивна дискорданција (преземено од Н. Думурџанов 2005)

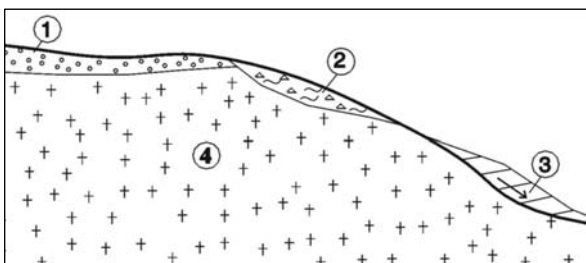
Тектонско-ерозивната дискорданција е значително посложен случај, каде што најстарите карпи биле зафатени со набирање или раседнување. Потоа следело еродирање за време на континенталната фаза и на крај, се јавува таложење во морска фаза на геолошки помлади седименти. Познавањето на појавите на дискорданции е од големо значење за правилното дефинирање на

инженерскогеолошките карактеристики на теренот. По правило, појавите на дискорданција укажуваат дека се застапени средини со различни физичко-механички и структурни својства, а со тоа и различни геотехнички услови за изведба на објектите или инженерските работи.

ПОДЕЛБА НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ

Поделбата и класификацијата на седиментните карпи може да се врши врз основа на повеќе критериуми. Најчесто се класифицираат според начинот на постанокот (генезата) и минералошкиот состав, местото на постанокот, транспортното средство, геолошката старост и други критериуми. Според местото на постанокот и транспортното средство, тие се делат на: континентални, морски и преодни седименти.

Во **континентални седименти** се класифицираат оние талози што настанале на копното (Слика 4.28).



Слика 4.28 Создавање на елувијални, делувијални и колувијални наслаги над основна карпа:
 1 - нетранспортиран распаднат материјал (елувиум);
 2 - распаднат и делумно транспортиран материјал на падина (делувиум), 3 - свлечен колувијален материјал;
 4 - основна карпа (гранит)

При тоа, се среќаваат повеќе типови, како што се:

- **Елувијални седименти**, кои настануваат со физичко-хемиското распаѓање на карпите на самото место без транспорт како наслагите на грус;
- **Делувијални или падински седименти**, кои настануваат со испирање на материјалот од површината на теренот и со негово таложење во подножјето или по должина на нивните зарамнети делови на падините со благ наклон;
- **Колувијални седименти**, односно нанос од натрупвање на одронет материјал, сипаришта, свлечишта или делувиумот најчесто во дното на падините. Специфични појави на течење или лизгање на одмрзнат материјал над замрзната подлога се вика **солифлукција**, при што се формираат специфични форми во вид на јазици и тераси.
- **Пролувијални седименти (плавински конуси)**, кои настануваат како резултат на нанесување на материјал со буичните (поројните) потоци.
- **Речно-поточни (флувијални или алувијални) седименти** кои настануваат со исталожување на влечниот или суспензираниот материјал на современите и поранешните водени токови во должина на нивните корита и долините.
- **Еолските седименти** настануваат со таложење на пращината и песоците, кои се транспортираат со силните ветрови кои ги носат со себе и ги одлагаат главно по пустинските предели, поретко и при други климатски услови.
- **Леднички (глечерски или моренски) седименти**, кои настануваат со депонирање на материјалот што го имаат вклопено ледниците во себе и го пренесуваат се до местото на нивното топење.

- **Мочуришни** или **барски седименти**, кои настануваат со таложење главно на изменети растителни остатоци, незначително кластични честички и хемиски талози (**тресет, мил, тиња**).
- **Езерски** или **лимнички седименти**, настанати со депонирање на материјалот по ободот или дното на езерата, а кој главно го донеле езерските притоки.

Во **морски (марински) седименти** спаѓаат таквите творби кои настануваат со таложење на материјалот во различни делови на морињата. Во **преодни седименти** се класифицираат талози, кои се создаваат во пределите на речните устија, односно вливот на реките во езерата и морињата, кои се одликуваат со депонирање на кластичните седименти.

ПОДЕЛБА НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ СПОРЕД ГЕНЕЗАТА

Генералната поделба на седиментните карпи е прикажана во Табелата 4.2 и Слика 4.29.

Табела 4.2 Преглед на седиментните карпи

КЛАСТИЧНИ (МЕХАНИЧКИ) СЕДИМЕНТИ	ЧАКАЛЕСТИ (ПСЕФИТИ)	дробина, чакал (неврзани)	
		бреча, конгломерат (врзани)	
	ПЕСОКЛИВИ (ПСАМИТИ)	песок (неврзани)	
		песочник (врзани)	
	ПРАШИНЕСТИ (АЛЕВРИТИ)	прашина, тиња (неврзани)	
		прашинец, лес (слабо врзани)	
	ГЛИНЕСТИ (ПЕЛИТИ)	глина, лапор (слабо врзани)	
		глинец, лапорец (врзани)	
ХЕМИСКИ СЕДИМЕНТИ	бигор, мермерен оникс, гипсит, анхидрит, сол, варовник, доломит		
ОРГАНОГЕНИ (БИОГЕНИ) СЕДИМЕНТИ	ЗООГЕНИ	варовник, доломитит	ФИТОЗООГЕНИ
	ФИТОГЕНИ	тресет, лигнит, кафеав јаглен, камен јаглен, антрацит, рожњак	нафта, асфалт, битуминозен шкрилец



Слика 4.29 Прегледен приказ на застапеноста на седиментни карпи поврзано со застапеноста на главните минерали (Волтхем 1994)

Според генезата, седиментите се делат на: кластични, хемиски и органогени седиментни карпи.

КЛАСТИЧНИ СЕДИМЕНТИ

Кластичните или механички настанати седименти се изградени од блокови парчиња и честички на разни карпи или нивни минерали. Тие се најраспространети седиментни карпи на Земјината површина. На нивните зрна се набележуваат траги на подолг или пократок транспорт. Поради тоа можат да се јават како **целосно заоблени**, кога претрпеле долг транспорт, **делумно заоблени** - при краток транспорт, или да бидат **незаоблени** (нетранспортирани). Меѓусебно, зрната можат да бидат несврзани кога се **растресити**, **полусврзани** (псевдокохерентни) или **сврзани** (кохерентни). Големината на зрната може да биде многу различна, од микронски големини, па сè до крупни блокови од повеќе кубни метри. Според апсолутната големина на зрната во склоп на карпата, е извршена подетална поделба на кластичните седименти на следен начин:

- чакалести (псефитски) карпи, со дијаметар на зрната >2,0 mm;
- песокливи (псамитски) карпи, со дијаметар на зрната 0,02-2,0 mm;
- прашинести (алевритски) карпи, со дијаметар на зрната 0,002-0,02 mm;
- глинести (пелитски) карпи кои се со дијаметар на зрната <0,002 mm.

Чакалести карпи

Оваа група е составена од зрна на различни карпи или минерали, кои можат да бидат растресити или сврзани со цементно врзиво. Во чакалестите карпи припаѓаат: **дробината**, **бречата**, **чакалот** и **конгломератот**.

Дробина е неврзана кластична седиментна карпа составена од незаоблени зрна, кои воопшто или само незначително се поместувани. Во дробината отсуствува сортираност на материјалот, а низ масата на карпата можат да се сретнат зрна и парчиња со различна големина. Настанува со механичко распаѓање или **дробење** на цврсто-сврзаните карпи во должина на карпестите падини. Здробениот и иситнет материјал делумно се задржува, но еден поголем дел се тркала или се осипува низ падината сè до подножјето, каде се натрупува формирајќи **сипаришта** и **падинска дробина**. По состав, може да биде еднородна (хомогена), кога е изградена од парчиња и зрна на ист вид на карпа, или мешовита (хетерогена), кога е составена од парчиња на различни видови на карпи. Според големината на зрната разликуваме:

- многу ситна дробина со дијаметар на зрната 2-5 mm;
- ситна дробина со дијаметар на зрната 5-10 mm;
- средно крупна дробина со дијаметар на зрната 10-60 mm;
- крупна дробина со дијаметар на зрното 60-100 mm;
- исклучително крупна дробина со дијаметар на зрната 100-1000 mm;
- незаоблени блокови со дијаметар на зрната >1000 mm.

Дробината најчесто настанува од варовник, мермер и доломит, потоа од серпентинит, шкрилци, а и поретко од други видови на карпи. Застапена е нарочно по стрмните падини на речните долини во карстни и други карпести предели.

Бреча е врзана кластична седиментна карпа, која настанува со природно сврзување, односно дијагенеза по пат на цементација на дробината. Според тоа и бречата се состои од незаоблени зрна и врзивно-цементна супстанција. По состав исто така може да биде хомогена или хетерогена. Името го добива по видот на зрната, кои учествуваат во нејзината градба. Така, можат да се сретнат варовничка, мермерна, серпентинитска, дијабазна, диоритска и друг тип на бреча. Покрај тоа, по местото на постанокот разликуваме: падинска, седиментна, вулканска, крајбрежна и друг тип на бреча. Седиментни бречи ги има доста во базалните делови на наслојките заедно со конгломератите. Понекогаш, поради

дробење на матичната карпа по тектонските структури, карпата добива изглед на раседна (тектонска) бреча. Бречите што не се таложат во водена средина, главно се неслоевити карпи. Физичко-механичките карактеристики им зависат од видот на зрната, видот, количеството на сврзувањето и степенот на извршената дијагенеза. Кај нас се застапени најмногу во околината на Гостивар, кои се од типот на мермерна сиво-бела бреча.

Чакал е неврзана кластична седиментна карпа со заоблени или полузаоблени фрагменти (парчиња). Големи количества на ваков материјал во тек на геолошкото минато и во денешни услови се исталожуваат во горните текови на реките и покрај крајбрежните делови на морињата и езерата. Настанувањето на чакалот е сврзан со воден транспорт и заоблување на дробинскиот материјал како резултат на триењето. Најголеми маси на чакал се среќаваат во речните корита, речните долини, како и во просторот на денешните и некогашните мориња и езера. Во зависност од тоа каде настанал, чакалот може да биде **поточен, речен, езерски, морски, леднички, пустински** и друго. Чакалот најчесто настанува од материјал кој е распространет на целото сливно подрачје на даден водотек, поради што неговите фрагменти најчесто се изградени од разновидни карпи, со различен петрографски состав. Таков чакал се нарекува **мешовит** или **хетероген** чакал. Ретко се случува чакалот да е изграден од фрагменти на иста карпа или минерал. Тогаш тој се нарекува **хомоген** чакал. Од хомогените чакали најчесто се среќаваат чисто кварцни, варовнички и серпентинитски чакали. По правило, хомогените имаат поповолни физичко-механички карактеристики од хетерогените чакали. Големината на фрагментите може да биде различна и зависи од должината на транспортот, отпорноста на триење, динамички удари (кршливоста) и од почетната димензија на дробината. Во случај кога сите останати влијателни фактори се исти, чакалот е позаоблен и поситен ако транспортот е подолг. Во овој контекст, според големината на зрната чакалот се дели на следен начин:

- многу ситнозрн чакал со дијаметар на зрната 2-5 mm;
- ситен чакал со дијаметар на зрната 5-10 mm;
- среднозрн чакал со дијаметар на зрната 10-60 mm;
- крупен чакал со дијаметар на зрната 60-100 mm;
- многу крупен чакал со дијаметар на зрната 100-250 mm;
- валутоци со дијаметар на зрното 250-1000 mm;
- заоблени блокови со дијаметар на зрното >1000 mm.

Според минералошко-петрографскиот состав и квалитет најповолни се чакалите на големите реки, па езерските, морските и на крај ледничките чакали. Морските чакали се со неповолна леќеста форма, а често се и засолени, така што претходно мора да се испираат. Чакалите од ледничко потекло по правило се со зголемено количество на глина и со многу различна големина на фрагментите, односно различен гранулометриски состав. Така, на едно место се застапени од крупни блокови, па се до глинести честички и тоа многу нерамномерно низ волуменот на седиментот.

Конгломерат е врзана кластична седиментна карпа со заоблени фрагменти. Настанува со природно сврзување-дијагенеза по пат на цементација на чакалот. Така, составот, големината на фрагментите и степенот на нивната заобленост се предодредени со самите фрагменти на чакалот. Името го добива според литолошкиот вид на зрната кои превладуваат во него. Така, може да се сретнат: **варовнички, кварцен, диоритски, серпентинитски и друг вид на конгломерат**. Најчесто во природата по состав се застапени мешовити конгломерати изградени од повеќе видови на карпести фрагменти. Конгломератите имаат најчесто јасно

изразена слоевитост со различна дебелина на слоевите. Физичко-механичките својства многу зависат од видот на парчињата, видот и количеството на врзивното (цементното) средство, начинот на сврзувањето и степенот на извршената дијагенеза, слично како и кај бречите.

Песокливи карпи

Во оваа група на кластични седиментни карпи припаѓаат сите неврзани или врзани карпи чии големини на зрната се движат во границите меѓу 0,02-2 mm. Во песокливите карпи спаѓаат **песокот** и **песочникот**.

Песок е неврзана кластична седиментна карпа. Неговите зрна можат да бидат заоблени, полузаоблени или незаоблени, што зависи од должината и видот на транспортот, односно дали транспортот се врши преку воден тек, работа на брановите, ветерот и друго. На пример, при долг транспорт со ветер, не мора да дојде до заоблување на зрната кога тие се издигнуваат во воздухот. Според местото на постанокот и начинот на транспортот, песоците можат да бидат: речни, езерски, морски, леднички и еолски, а според големината на зрната се делат на:

- крупнозрн песок со дијаметар на зрната 1-2 mm;
- среднозрн песок со дијаметар на зрната 0,2-1,0 mm;
- ситнозрн песок со дијаметар на зрната 0,1-0,2 mm;
- прашиност песок со дијаметар на зрната 0,02-0,1 mm.

Во состав на песокот обично влегуваат оние минерали, кои се отпорни кон механичкото дробење и хемиското распаѓање. Затоа, во песоците најмногу го има кварцот, потоа фелдспатите, магнетит, гранатите, лушпи на лискуни и други минерали во подредено количество. Кварцот во просек го има од 70-95%. Неповолни примеси во песокот се каолинските минерали и органските примеси. Песоците го добиваат името според минералот, кој превладува во неговата градба. Така, се среќаваат: **кварцен**, **фелдспатски**, **лискунски** и друг вид на песок. При значително присуство на глина се нарекува **глинест песок**, додека во руската литература за песок со поголема содржина на глинести и прашиности седименти, се среќава термин **супесок**. Бојата на песоците е различна. Чистите кварцни песоци се со бела боја, а кога низ масата на песокот има примеси на минералот лимонит, бојата може да биде жолта. Понекогаш може да се сретнат случаи на црвеникави, зелени до темнокафеасти песоци. Кај нас доста се распространети езерските песоци, додека чисто кварцни песоци се застапени во околината на Скопје.

Песочник е врзана кластична седиментна карпа, која настанува со врзување и цементација на песокот по пат на дијагенеза. Поради ова, кај песочникот може да се сретнат зрна со ист минералошки состав, форма и големина на зрната како и кај песокот. Според големината на зрната, песочниците можат да бидат крупнозрни, среднозрни, ситнозрни и сосема ситнозрни. Според минералошкиот состав, можат да се сретнат: кварцен, лискунски, калцитски и друг тип на песочник. Во случај кога карпата покрај кварцот и лискуните има и зголемено количество на фелдспати, а зрната се сврзани со кварцно врзиво, такви вариетети се нарекуваат **аркозни песочници** или аркози. Со сличен состав се и **грауваките** во кои има и ситни парчиња на карпи. Според видот на врзивото можат да се сретнат силициски со силикатно врзиво, варовнички со карбонатно врзиво, лапоровити со лапоровито врзиво, глиновит со каолински минерали, битуминозен со битумен, железовит песочник со хематит или лимонит и други. Бојата главно им зависи од видот на врзивната супстанција. Така, може да се сретнат различно обоени песочници како: светложолтеникави, сиви, темно

црвени, зелени, сивозелени и други видови. Физичко-механичките својства им зависат од видот и количината на цементното врзиво, како и од степенот на извршената дијагенеза. Песочниците најчесто се појавуваат во јасно изразени слоеви, кои можат да се со различна дебелина. Меѓу слоевите по правило има концентрација на лискунски лушпи или пак тенки прослојци од глинест материјал. Кај нас песочниците се доста застапени карпи низ геолошки формации со терциерна, кредна, јурска и карбонска старост, пред сè во склоп на т.н. **флишни седименти**.

Прашинести карпи

Прашина е неврзана кластична седиментна карпа која преставува премин меѓу прашинестиот песок и глините. По состав претежно ги содржи истите минерали како и песокот, но со поголем процент на каолински минерали. Настанува со исталожување на честичките што ги носи ветерот и ги депонира на копното или во вода. Ако ваквиот материјал е носен со површинските текови и исталожен во вода се нарекува **тиња**. Посебен вид на прашинеста карпа претставува лесот. **Лесот** е полуврзана кластична седиментна карпа, која настанува со сврзување на прашината што е носена од ветерот. Најголеми маси на лес се створени во пространите степски предели на Русија, Кина и други земји. Претежно е составен од ситни зрна на кварц, кои учествуваат со 50-70 % во масата на карпата, потоа од многу каолинизирани фелдспати (10-20%), лискуни и ситни честички на калцит и други минерали. Лесот се одликува со голема вкупна порозност од 30-50%. Порите се вертикално распоредени во форма на црева како резултат на гниење на тревите и корењата на билките. Значајна карактеристика на лесот е неговата мала и променлива волуменска тежина ($\gamma = 13,9 - 19,5 \text{ kN/m}^3$). Бојата му е обично жолтеникава до бледојолтеникава поради присуството на минерал лимонит. Поретко, бојата може да му биде сивкаста до темнокафеава од присуство органски примеси. Со распаѓање и деградација на лесот се создава **лесовидна иловица**. Лесот и лесовидната иловица се користат како многу добра суровина во индустријата на градежните материјали, односно за производство на блокови, ќерамиди, тули и слично.

Специфичен редок седимент со макропорозна структура е **трепелот**. Овие седименти настануваат од вулканоген прашиест материјал, кој по транспорт со ветар, се таложи во водена средина. Вариети на трепел се среќаваат и во нашите краишта, во склоп на седиментната серија на рудникот за јаглен „Суводол“. Заради брзата седиментација се карактеризира со многу ниска волуменска тежина ($\gamma = 14 - 16,5 \text{ kN/m}^3$). Во сува состојба е полесен од водата, односно волуменската тежина во сува состојба се движи во граници од ($\gamma_d = 8,8 - 9,8 \text{ kN/m}^3$).

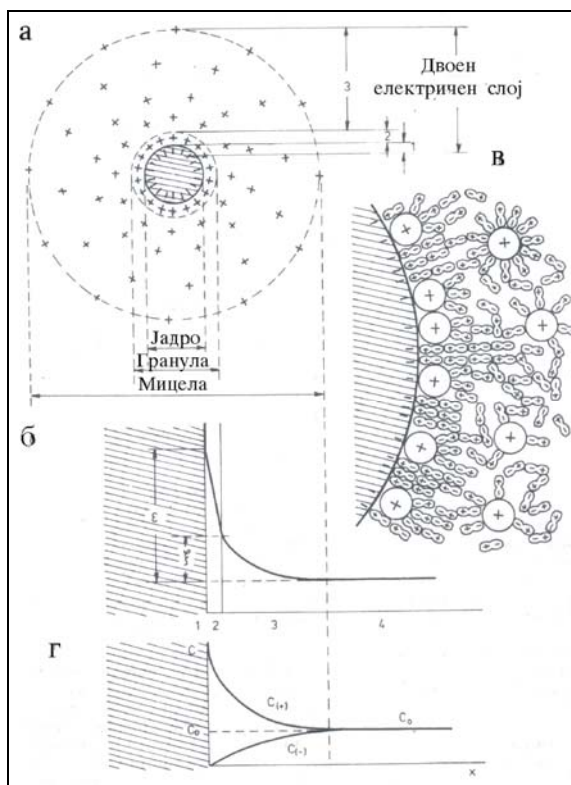
Глинести карпи

Глинестите карпи настануваат во процесот на физичко-хемиските измени на карпите, како краен продукт на хемиското распаѓање. Во групата на глинести карпи спаѓаат: **глините, глинците, лапорите и лапорците**.

Глини се слабоврзани кластични седиментни карпи, кои најчесто настануваат со распаѓање на фелдспатите, поретко и на другите минерали на магматските и метаморфните карпи. Составени се претежно од минералите каолинит, илит и монморионит, хидроксида на железо, органски и други примеси. Во нивниот состав како примеси можат да се јават и многу други ситни честички од кварц, фелдспат, лискуни и други минерали. Се смета дека глините се едни од

најраспространетите седиментни карпи на површината на Земјината кора. Присуството на честичките на каолинските минерали во поголемо количество условува појава на специфичен вид на врски помеѓу честичките од карпата кои се наречени колоидни врски (Слика 4.30).

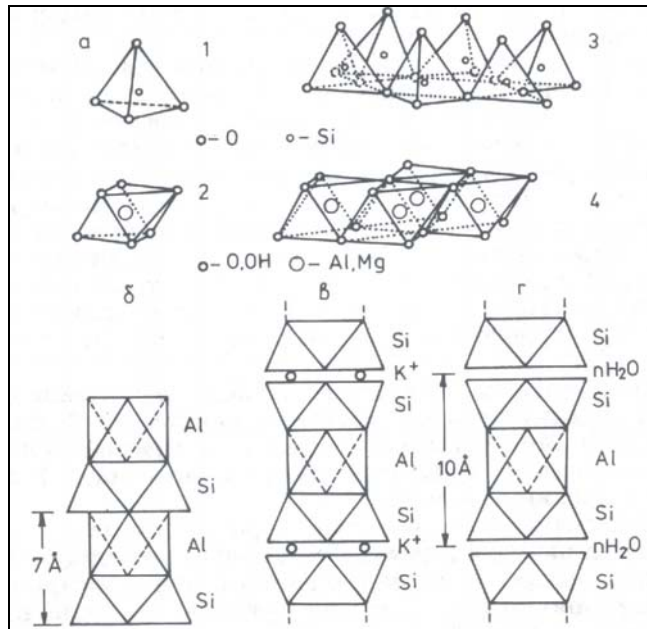
- Слика 4.30** Врски кај глинеста честичка:
 а - колоидна глинеста честичка;
 б - двоен електричен слој;
 в - адсорбционен слој;
 г - измена на концентрација на анјони (С-) и катјони (С+);
 1 - површина на глиневата честичка;
 2 - адсорбционен слој од анјони и катјони каде потенцијалот на привлекување (е) се намалува линеарно со оддалечување од тврдата глиновита честичка,
 3 - дифузен слој каде потенцијалот на привлекување се намалува нелинеарно со оддалеченост од тврдата глиновита честичка;
 4 - слободен (порен) раствор



Колоидните врски всушност се предизвикани од силите на молекуларното и електростатичкото привлекување меѓу самите честички на глините и честичките на глина со молекулите на водата. Според учеството на основните каолински минерали глините се делат на **каолински**, **илитски** и **монтморионитски глини**. Ваквите глини кога се без примеси ги нарекуваме **чисти** или **мрсни глини**.

Ако во глините се присутни разни примеси, како прашиности честички, песок, лимонит, органски материи и други супстанции се нарекуваат **нечисти** или **посни глини**. При зголемена содржина на органски материи се нарекуваат **органични глини**. Според местото на постанокот глините можат да бидат резидуални и транспортирани. **Резидуалните** (елувијалните) глини се наоѓаат на местото на распаѓањето на примарната карпа. Тие се редовно геолошки помлади и главно без изразена слоевитост, со оглед дека не претрпеле транспорт и таложување. **Транспортираните** (таложни) глини се пренесувани и преталожувани често и на значителна оддалеченост од примарната карпа, а по правило се слоевити. Бојата на глините зависи од примесите кои се содржани во нив. Најчесто се со жолта, сива, кафеава и црвено-кафеава, поретко сиво-бела и бела боја. Млечно-бела боја е карактеристична за каолинитските глини.

Врските меѓу атомите во кристалните решетки кај различни видови на глини се остваруваат на различен начин што предусловува и нивни различни својства (Слика 4.31).



Слика 4.31 Начин на поврзување на атомите и молекулите кај различни глинести минерали:
 а - структурни единици;
 б - градба на каолинит;
 в - градба на хидролискуни;
 г - градба на монтморионит.

Глините се многу застапени карпи во површинските делови на теренот. Тие се одликуваат со повеќе вариетети меѓу кои поважни се **иловица**, **грнчарска глина**, **порцеланска глина**, **ума**, **црвеница** и **суглина**. **Иловица** е прашиноста песоклива глина со примеси на лимонит и незначително присуство на органски остатоци. Доста е порозна и е слабо пластична. Спаѓа во групата на посни глини, а има жолтеникава до кафеаво-црвена боја. **Грнчарска глина** е вариетет на мрсна глина со зголемено присуство на каолинит. Таа има висока пластичност и црвеникава боја. Има својство на добра обработка и моделирање, а при сушење и печење не пука, што е вообичаено кај другите глини. **Порцеланска глина** е чиста резидуална мрсна глина со млечно-бела до сиво бела боја. Таа настанала со распаѓање на магматските карпи, кои се богати со фелдспати. Многу е пластична и високо огноотпорна што овозможува нејзина примена во порцеланската индустрија. **Ума** е мрсна глина, која содржи магнезиумова супстанција поради што не се одликува со пластичност, односно лесно се кине. Се одликува со впивање на мрснотиите, поради што и се користи за отстранување на мрснотиите од ткаенините. Бојата и е сива или синкасто-зеленикава. **Глина-црвеница** (terra-rossa) е вариетет што претставува материјал кој се добива при растворањето на варовникот и другите карбонатни карпи. Бојата и е црвена поради содржината на значителното количество на железен оксид. Распространета е посебно во карстните терени. Во руската литература може да се сретне и термин **суглина** за прашиноста-песоклива глина во која количински превладуваат честичките на каолинските минерали. Покрај овие вариетети постојат и други глини, кои се со свои специфичности. Некои од нив се интересни за градежната индустрија, додека другите се многу значајни од економска гледна точка како суровини за добивање на алуминиум (**боксит** и

латерит). Може да се користи и во индустријата на цемент, а има слични вариетети на црвеницата, која се вика **окер**. Овај тип на карпа е глинест тип на лимонит и се користи како суровина за жолти бои. Глините се доста застапени во терените со квартерна и терциерна старост. Во Р Македонија се посебно значајни појави на специфични **бентонитски глини**, кои се применуваат како материјали за подготовка на т.н. **инјекциски смеси**, кои се користат при инјектирање на теренот. Вакви појави има во Славишно Поле во близината на Крива Паланка.

Лапорот е полусврзана кластична седиментна карпа многу слична на глината. Всушност може да се каже дека лапорот е глина со зголемена содржина на калциумкарбонатна супстанција. Содржината на карбонатната компонента (CaCO_3) се движи од 20 до 75%. По боја се најчесто сиво-бели до сиво-зеленикави. Реагираат хемиски во допир со киселини, по што се разликуваат од глините. Од генетска гледна точка, тоа се главно слатководни езерски седименти. Во случај кога лапорите содржат околу 75% CaCO_3 , можат директно да се користат како суровина во индустријата на портланд цемент. Кај нас лапорите се помалку застапени од глините со кои главно и се појавуваат заедно. Доста се застапени во Скопско.

Глинецот е врзана кластична седиментна карпа, која настанува со дијагенеза на глините, главно по пат на притисок на седиментите што се наталожени врз нив. Во тој процес на дијагенеза доаѓа до дехидратација, односно до истиснување на вода од порите потоа природно збивање на глините, односно нивно зацврстување и скаменување. При тоа, минералите на глините, кои се претежно со плочеста до листеста форма, зафаќаат положба кога со својата поширока страна се ориентираат приближно нормално на насоката на дејството на притисокот. Поради ова глинците се скоро редовно со тенка слоевитост, која понекогаш преоѓа и во шкрилавост. На преломните површини обично се со сива и сивкасто-сина боја без сјајност. Кај нас се помалку застапени од глините, а најчесто се среќаваат низ флишните наслаги.

Лапорец е врзана кластична седиментна карпа, која настанува со дијагенеза на лапорот, аналогно како и глинецот. По состав и големина на зрната се идентични со лапорот. Изграден е од каолински минерали и калцит или доломит. По минералоски состав чини премин меѓу глинците и варовниците или доломититите. Има повеќе вариетети на лапорецот, во зависност од компонентата што превладува, или пак од карактеристичните примеси. Ако лапорецот содржи повеќе од 75% каолински минерали се нарекува **глинест лапорец**, а ако содржи повеќе од 75% карбонатна компонента, се нарекува **варовнички лапорец**. Варовничкиот лапорец може да премине кон **лапоровит варовник**. Бојата на лапорците најчесто е сиво-бела, потоа жолтеникава до темнозеленикава. Со појаки киселини реагираат со пенење, заради издвојување на гасот јаглероддиоксид (CO_2) од карбонатната компонента. Оваа реакција е послаба од варовниците, а при вдишување даваат карактеристичен мирис на каолинските минерали, односно на „земја“. Секогаш се со јасна слоевитост, понекогаш и шкрилавост, кога се нарекуваат **лапоровити шкрилци**.

Во Македонија се многу често застапени низ езерските и флишните наслаги, а најпознати се цементните лапорци во Скопска Котлина.

ХЕМИСКИ СЕДИМЕНТИ

Во природата само мал број на карпи настануваат со кристализација од правите **хемиски раствори**. За ваков процес се потребни посебни услови како постоење на затворен и мирен воден басен, поволна концентрација на растворот, соодветна температура, притисок, време и други фактори. Всушност,

создавањето на хемиските седименти е последица на промената на концентрацијата на растворот поради испарувањето или поради некои други хемиски процеси внатре во растворот. Затоа, хемиските седименти ретко се јавуваат во поголеми маси и малку се застапени во Земјината кора. Од инженерска практична гледна точка, поголемо значење имаат: гипсот, анхидритот, бигорот и мермерниот оникс.

Гипсот и анхидритот се мономинерални карпи изградени од минералите гипс, односно анхидрит. Ова значи дека тие ги имаат истите физички својства како и самите минерали. Настануваат најчесто со испарување (евапорација) на водата при посебни услови во одделни езерски и морски базени. Речиси секогаш се јавуваат заедно, често пати придружени и со други соли (хемиски седименти). **Анхидритот** обично не се среќава на површината на теренот, туку во подлабоките делови. Во допир со вода лесно преминува во гипс, зголемувајќи го при тоа волуменот. **Чистиот гипс** без примеси се вика **алабастер** и се користи како суровина за печење на гипс, потоа за вајарството, моделарството и друго. Големи маси на гипс и анхидрит се наоѓаат во околината на Дебар, каде индустриски се експлоатираат.

Бигор е калциумкарбонатна карпа, која настанува со исталожување од ладни води кои во себе содржат значително количество на растворен калциумхидрокарбонат. Ваквата појава најчесто е поврзана за преливните делови на поголеми карстни извори, потоа околу водопадите и слапиштата, околу езерските брегови, како и по сидовите на пештерите. Неговата главна одлика е зголемената порозност слична на сунѓерот и трската. Главно е со бела боја, но може да се сретнат и бигори со розеникава, меденожолта и поретко сивкаста боја. Кај нас релативно доста е застапен езерскиот бигор по работ на Скопската Котлина (околината на Кисела Вода, Катлановска Бања, кај манастирот Матка и други локалитети). Сличен на бигорот е **травертинот**, кој настанува од топли изворски води богати со калциумхидрокарбонат. Се одликува со умерена порозност и изразита лентовидна градба што му дава уште поубав декоративен изглед од бигорот. Кај нас доста го има најчесто во вид на жолто-кафеава вариетети во околина на: Кучково, Свиларе и Липково, а беличести травертини со боја на слонова коска има во околината на Матка.

Мермерниот оникс е исто така карбонатна карпа која е многу блиска генетски на бигорот со кој често се среќаваат заедно. Настанува со кристализација на калциумкарбонат од топли или поретко од ладни води. Изградена е претежно од калцит. Всушност, мермерниот оникс (кој не припаѓа на мермерите) настанува со исталожување околу термалните извори на нивните преливни делови, каде топлите води ги одлагаат карбонатните минерали. На тој начин се оформуваат лентовидни или бубрежести наслаги на мермерен оникс. Често ониксот се одликува со многу нежни бои кои потекнуваат од малото количество на различните примеси (хидроксид на железо, манган, бакар и други елементи). Мермерниот оникс е јадра, компактна, понекогаш и просирна карпа, која многу лесно се обработува и изворедно убаво се политура до дијаманска сјајност. Кај нас го има во околината на Тетово, околу селата Лешок и Палчиште, во Мариово и на други места во помали маси.

ОРГАНОГЕНИ СЕДИМЕНТИ

Седиментните карпи во кои превладува материјал од органско потекло се викаат органогени или **биогеени седименти**. Тие се создаваат бавно низ долго геолошко време, со исталожување на неорганските скелети и лушпести делови на изумрените животни или битуминозната супстанција, која настанува од

органската материја на изумрените животни и растенија. Доколку ваквите карпи настанале со исталожување и скаменување на неорганската материја од животинско потекло, се викаат **зоогени карпи**. Зоогените карпи се во најголем дел на карбонатни карпи од тип на **варовник** или на **доломит**, а поретко се среќаваат некои од силициските карпи. Овде се класифицираат и **нафтата**, **асфалтот**, **битуминозните шкрилци** и други поретки карпи.

Во случаите кога исталожуваната материја има растително потекло од остатоци на: лисја, стебла, корења, полен, поретко и неорганска супстанција која е содржана во скелестите делови на растенијата, тогаш настануваат карпи кои се викаат **фитогени карпи**. Тука се најзначајни **јаглените** од различен карактер. **Фитозоогените карпи** настанале со исталожување на материјата од растително и животинско потекло.

Варовник е калциумкарбонатна карпа изградена од минералот калцит, со зрнеста структура, масивна и слоевита текстура. Најчесто настануваат со исталожување на калциумкарбонатните скелети и оклопи на изумрените морски и езерски животинки како: амонити, корали, полжави, школки, нумулити и други организми, кои со процесот на дијагенеза се преобразуваат во јадри и компактни маси. Низ нив често можат да се забележат сочувани оклопи во вид на фосили. Покрај калцит како главна состојка, во варовниците скоро секогаш се наоѓаат и разни видови на примеси, поради кои и разликуваме различни вариетети. Така, можат да се сретнат глинест со каолински минерали, **лапорест**, **песоклив**, **доломитски**, **железен**, **битуминозен**, **силификуван** и други вариетети на варовник. **Битуминозниот варовник** содржи органски примеси, а силицискиот SiO_2 супстанција. Посебен вариетет на варовник е **кредата**, која е многу порозна и слабо сврзана карпа со изразита млечно бела боја. Варовниците имаат најчесто бела до светлосива боја. Варовниците можат да бидат и различито обоени, така што кога имат примеси на битумен се сиви до црни, со примеси на железо се жолти, кафеаво-жолти до црвеникави, а со примеси на каолински минерали се сиви до зеленосиви. Во природата тие најчесто се јавуваат слоевити, често масивни, а поретко шкрилести. Доста лесно се раствораат во присуство на разблажени киселини што е проследено со пенење. Поради ова својство, тие во природата речиси редовно се зафатени со процес на **карстификација**, односно појава на вртачи, ували, шуплини, каверни, пештери и други типични геоморфолошки форми за карстните терени, кои се манифестираат на површината на теренот и во подземјето. На Земјината површина тие се едни од најзастапените карпи. За споредба, речиси една петтина од територијата на поранешните југословенски простори е изграден од варовници, чии наслаги се со дебелина и до неколку километри. Во нашата земја ги има на Жеденскиот масив, Сува Планина, Караџица, Галичица и на други места во помали маси.

Доломит е карбонатна карпа како и варовникот, која настанува најчесто со негова доломитизација, односно со замена на еден дел од калциската супстанција со магнезиска. Може да настане и по пат на природно исталожување од двојната сол $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Често се среќаваат заедно со варовниците, но волуменски се многу помалку застапени од нив. Изградени се од минералот доломит, имаат зрнеста структура и масивна или слоевита текстура. Покрај минералот доломит, како примеси можат да бидат застапени сите минерали како и кај варовникот. Така, може да се сретнат: **глинести**, **железовити**, **лапоровити** и други видови на доломити. Главно се со сиво-бела боја, а по правило се повеќе испукани до здробени во коцкасти и паралелопипедни форми, во споредба со варовниците. При распаѓање се добива ситен доломитичен песок (доломитичен грус).

Рожњак е силициска карпа изградена од зрнца на калцедон, опал и кварц. Настанува со таложење на скелетите на морските микроорганизми радиоларии кои се изградени од супстанција SiO_2 . Исто така, можат да настанат и по хемиски пат ако водената средина е богата со силициска компонента. Со процесите на дијагенеза преоѓа во многу компактна тврда маса. Бојата му е сиво-бела, зеленкаста (кога е со примеси на лапор), кафеаво-жолта до црвена (кога е со примеси на железо), а понекогаш и целосно црна. Се јавуваат во вид на слоеви, прослојци или леќи во варовниците и другите седименти. Кај нас се најчесто застапени во склоп на т.н. дијабаз-ројначка формација.

Каустобиолити се нарекуваат фитогените и зоогените карпи кои запалени можат да горат. Во оваа група се најзначајни сите видови на јаглен како тресет, лигнит, кафеав јаглен, камен јаглен, антрацит. Покрај јагленот, во оваа група се нафтата, асфалтот, битуминозниот шкрилец и други поретки карпи.

Тресет е геолошки најмлад и најмалку калоричен вариетет на јаглен. Настанува во мочуриштата и крајбрежните делови на плитките езера, со јагленизација на мочуришните растенија (трска, мов и друго). Тресетот се одликува со многу голема порозност и многу висока стисливост. Волуменската тежина изнесува $\gamma = 9 - 12 \text{ kN/m}^3$. Овие вредности укажуваат дека може да биде полесен и од водата. Наслагите на тресетот се обично дебели од 1 до 3 m и можат да се сретнат на различна длабина како прослојки во песоците, чакалите и другите крајбрежни седименти. Секогаш се неповолна средина за градежната дејност. Во Р Македонија посебно се застапени околу Охридското Езеро.

Асфалтот е цврст јаглеводород. Настанува со оксидација на нафтата. Бојата му е црна, има смолеста сјајност и школкаст прелом. На ниска температура асфалтот е цврст, загреан постанува пластичен, а потоа течен. Обично се наоѓа во пукнатините на карпите. Се употребува за изработка на асфалтни застори кај патиштата и како хидроизолационен материјал.

ФЛИШНИ СЕДИМЕНТИ

Флишните седименти се специфични формации, кои се создадени во релативно тесни но длабоки морски вглабнатини, со таложење од суспензијата на матните токови (т.н. **турбидити**). Овај променлив режим предусловува ритмично сменување на слоеви со различен состав во вертикална насока, кои се изразени на кратки растојанија а кои се нарекуваат флишни секвенции. Така, можни се вертикални промени од песочник, конгломерот, лапорец, глинец и др., кои понатаму во одреден профил ритмично се повторуваат. Во Р Македонија ги има во: Штипско, Неготинско, Демиркаписко, околу Катланово (со еоценска старост), потоа во Скопско, Велешко и околина на с. Ростуше, со кредна старост. Поретко се среќаваат и на други места.

МЕТАМОРФНИ КАРПИ

ОПШТИ ПОИМИ ЗА МЕТАМОРФИЗМОТ

Зборот **метаморфоза** означува преобразба или промена на формата. Овој термин има потекло од грчките зборови **meta** - дополнително и **morfos** - форма. Според тоа, **метаморфните карпи** настануваат со преобразба на веќе постоечките магматските или седиментни карпи со различни процеси, кои се означени како **метаморфизам**. Метаморфоза е поврзана со фактот дека секоја материја, при измена на термодинамичките услови со текот на време е склона кон измена на почетните својства. Така, магматските и седиментните карпи настанале при определен притисок и температура, но доколку дојде до промена

на условите при кои иницијално биле настанати, се јавуваат и промени во нивниот состав или изглед.

Промените во карпите се изразуваат на различен начин, почнувајќи од едвај забележливи **структурни промени**, па сè до целосна измена на **склопот или минералниот состав** на карпата. Метаморфизмот со многу низок степен почнува од крајот на дијагенезата кај седиментните карпи. Во одредени случаи може да се створат сосема нови метаморфни минерали во карпата поради хемиската промена на поедините компоненти во првобитната карпа (преминерализација).

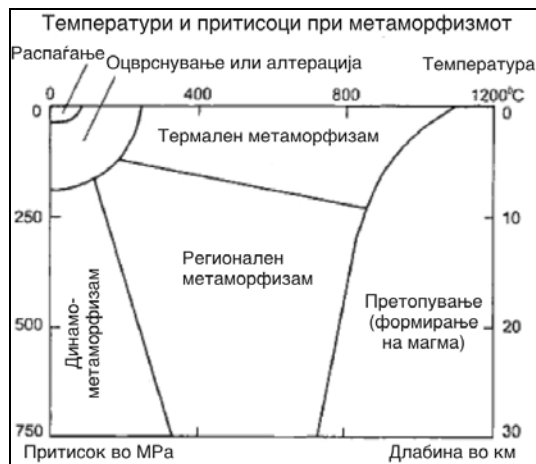
Како најважни природни фактори на преобразбата се јавуваат зголемениот **притисок** и **температура**. Зголемениот притисок доаѓа од температурниот градиент и магмата, а зголемениот притисок доаѓа од високиот литостатички притисок и од ориентиранит притисок, кога се врши движење и набирање на делови од Земјината кора. Зголемување на температурата и литостатичкиот притисок расте спрема длабочината на Земјината кора и е последица на внатрешната топлина на Земјата и на тежината на карпите во определената длабочина.

Постојат повеќе класификации на зоните на метаморфизмот, а во практиката најчесто се применува грубата и најопштата класификација по Грубенман - Нигли. Според оваа класификација се издвојуваат 3 зони: **епизона**, **мезозона** и **катазона**. **Епизоната** се карактеризира со низок хидростатички притисок, ниска температура и висок едностран притисок. Типични минерали се: кварц, серицит, хлорит, талк, серпентин, албит, епидот и други. Со овој тип на метаморфизам главно се опфатени варовниците и доломитите, кои се метаморфизираат во мермери, потоа глините, кои се претвараат во филити, хлоритски и талкови шкрилци, поретко и други карпи. **Мезозоната** се одликува со среден хидростатички притисок и средна температура и висок до среден едностран притисок. Типични минерали се: калиски фелдспати, албит, кисел плагиоклас, кварц, мусковит, биотит, стауролит, дистен, и други. Тука настануваат: микашисти, гнајсеви, амфиболити, мермери, серпентинити и кварцити. **Катазона** се карактеризира со висок хидростатички притисок и висока температура. Карактеристични минерали се кварц, ортоклас, сите плагиокласи, биотит, хорнбленда, пироксен, оливин, гранати, а се одвива во најдлабоките зони, каде што термодинамичките услови се приближуваат на границата на топењето на минералите. Во оваа зона се создаваат некои гнајсеви, кварцити, амфиболити и мермери.

Во петрологијата се разликуваат повеќе зони на различни метаморфизми кои се прикажани на Сликата 4.32:

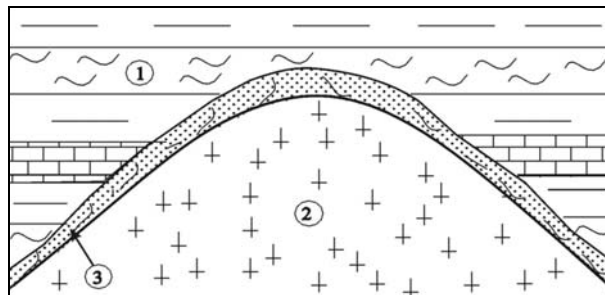
- регионален метаморфизам;
- контактен или локален метаморфизам;
- динамометаморфизам;
- ретрограден метаморфизам.

Регионалниот метаморфизам настанува во подлабоките делови на Земјината кора, поради големите притисоци и високите температури. Со овој метаморфизам можат да бидат зафатени огромни маси на карпи на значителни пространства при орогените тектонски движења, кога се оформуваат планинските масиви. На таков начин настанале огромни маси на метаморфни карпи, кои се наречени **кристалести шкрилци**. Преобразбата на постојните карпи може да се врши во сите делови на Земјината кора при што се јавуваат и различни промени. **Контактниот метаморфизам** настанува како резултат на втиснувањето на магмата во плитките делови на Земјината кора. При таквото внедрување на магмата на контактот со нискометаморфни карпи или седиментни карпи, во услови на високи температури и ниски притисоци доаѓа до создавање на зона од **контактно-метаморфни карпи** наречени **корнити**.



Слика 4.32 Зони на различни измени кај карпите во зависност од температурата и од притисокот

Во нив се јавуваат високотемпературни минерали, како што се: силиманит, кордиерит, андалузит, а серицитот и мусковитот преминуваат во биотит и слично. На контакт на магма со карбонатни карпи (варовници, мермери) се образуваат таканаречени **скарнови**, кои можат да бидат носители на железни и полиметални руди. На таков начин се создаваат **контактно-метаморфните карпи** (Слика 4.33).



Слика 4.33 Шема за создавање на контактно-метаморфни карпи: 1 - постари седиментни карпи; 2 - помлада магматска карпа, која во фаза на втиснување е во течна вжештена состојба; 3 - контактно метаморфна зона.

Општо земено, контактно-метаморфните карпи во Земјината кора се далеку помалку застапени во однос на регионално метаморфните карпи. Ширината на контактно-метаморфните зони околу магматското тело најчесто изнесува неколку метри или неколку десетина метри. Исклучително може да се сретнат контактно-метаморфни зони со ширина од 1 до 2 km, а понекогаш и само неколку cm.

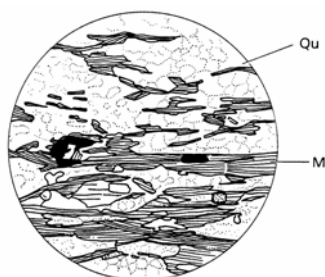
Динамометаморфизмот е поврзан за релативно тесни зони покрај раседи или раседни зони, а е предизвикан од зголемени притисоци и температури при процесите на раседнување. **Ретроградниот метаморфизам** се случува кога со тектонски движења, карпите што биле во услови на големи притисоци и температури, се доведуваат блиску до површина, во зони со многу пониски температури и притисоци. Така, прилагодувањето кон новите услови се врши ретроградно, со измена во структурата и составот на карпите. Распаѓањето на карпите (кое исто така претставува значајна преобразба) не припаѓа на

метаморфизмот. Тоа е сврзано само за приповршинските делови на карпите и Земјината површина и се врши со дејство на атмосферските влијанија.

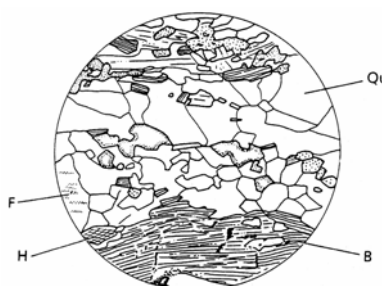
СТРУКТУРИ И ТЕКСТУРИ НА МЕТАМОРФНИТЕ КАРПИ

Значителен дел од структурите на метаморфните карпи настанале со прекристализација и растење на минералите по пат на процес кој е наречен **кристалобластења (бластења-растење)**. Некои метаморфни карпи настанале со кршење и дробење на минералните зрна, поради што ваквите структури се наречени **кластични**. Најтипични структури кај метаморфните карпи се следните:

Катакластична структура (од зборот kataklazein-кршење, дробење, ситнење) е карактеристична за карпите зафатени со раседни тектонски пореметувања кога доаѓа до виткање и делумно или целосно дробење на минералите. Настанала со делумно дробење на карпите под дејство на подземните притисоци во горните делови на епизоната. Лепидобластична структура е сврзана за метаморфните карпи кои се ствараат во подлабоките делови на епизоната и во мезозоната. Се одликува со присуство на лушпести минерали (Слика 4.34). Гранобластична структура е карактеристична за метаморфните карпи од катазоната, а се карактеризира со приближно изометрична форма и големина на сите минерални состојки и потсетува на гранитската зрнеста структура кај длабинските магматски карпи (Слика 4.35).



Слика 4.34 Микроскопска снимка на лепидобластична структура кај метаморфни карпи - микашисти: Qu-кварц, М-мусковит



Слика 4.35 Микроскопска снимка на гранобластична структура кај метаморфни карпи-гнајсеви: Qu-кварц, В-биотит, F-фелдспат, Н-хорнбленда

Најчести текстури на метаморфните карпи се **шкрилестата** и **масивната**. Кај шкрилестата текстура карактеристична е паралелната ориентација на лушпестите, листестите и плочестите минерали, со многу лесното издвојување во плочи. Плочите можат да бидат повеќе или помалку извиткани и често пати набрани. Кај масивната текстура не постои нагласена ориентација или групирање на минералните состојки. Тие се хаотично распоредени во масата на карпата. Оваа текстура е најкарактеристична за мермерите.

ПОДЕЛБА НА МЕТАМОРФНИТЕ КАРПИ

Метаморфните карпи можат да се поделат според повеќе критериуми. Според примарното потекло на минералната компонента, сите метаморфни карпи се поделени на **параметаморфни** и **ортометаморфни** карпи. Параметаморфни карпи се настанати со метаморфизам на седиментни карпи. Ортометаморфни карпи се настанати со метаморфизам на магматски карпи.

Според текстурата, метаморфните карпи се поделени, исто така, во две групи:

- метаморфни карпи со шкрилеста текстура,
- метаморфни карпи со масивна текстура.

Генерален приказ на најзначајните видови е даден во Табелата 4.3.

Табела 4.3 Преглед на поважните метаморфни карпи

МЕТАМОРФНИ КАРПИ	метаморфни карпи со шкрилеста текстура	високометаморфни карпи	гнајс, микашист
		нискометаморфни карпи	аргилошист, филит, хлоритски шкрилец, талков шкрилец, амфиболски шкрилец, серицитски шкрилец, графитичен шкрилец.
	масивни метаморфни карпи	кварцити	
		мермери (мермер, циполин)	
		серпентинит	
амфиболит			

МЕТАМОРФНИ КАРПИ СО ШКРИЛЕСТА ТЕКСТУРА

Овие карпи се одликуваат со ориентација на минералните состојки во меѓусебните паралелни површини, кои се често значително набрани и извиткани. Главна карактеристика им е својството да се цепат и издвојуваат во тенки плочи, што е резултат на паралелната ориентација на минералните состојки во нивната маса. Според степенот на извршената кристализација и големината на зрната, карпите од оваа група се делат на две основни подгрупи:

- високометаморфни шкрилести карпи, кај кои кристализацијата на минералните состојки е целосна и можат да се детерминираат со голо око;
- нискометаморфни шкрилести карпи чии минерални состојки се многу ситни и потешко се разликуваат со голо око.

Обично високометаморфните шкрилци се геолошки постари во однос на нискометаморфните.

Гнајс е метаморфна карпа, која може да настане со метаморфизам на песокливо-аркозни и глиновити седименти и има парапотекло (пара-гнајс) или да се создаде со метаморфизам на гранитоидни карпи и се нарекува орто-гнајс. По минералошкиот состав е многу сличен на гранитот. Составен е од кварц, фелдспати и лискуни, кога се нарекува дволискунски или нормален гнајс. Понекогаш лискуните можат да бидат заменети со амфиболи, хлорит и други минерали, така што може да се сретнат **мусковитски, биотитски, амфиболски, хлоритски** и други вариетети на гнајс. Структурата му е гранобластична, а текстурата шкрилеста до масивна. По големината на зрната разликуваме **ситнозрни, среднозрни и крупнозрни гнајсеви**. Одделни вариетети на гнајсот можат да содржат и доста крупни зрна на фелдспати со леќеста форма, кои имаат големина до 5 cm што ги нарекуваме **окцести** гнајсеви. Бојата му е најчесто сива. Гнајсевите со масивна текстура кои се создаваат во катазоната може да се слични на гранитите кога се нарекуваат и гранито-гнајсеви. Кај нас се едни од најзастапените карпи. Ги има во огромни маси во Пелагонискиот масив и

Српско-македонскиот масив на планините: Бабуна, Селечка Планина, Плачковица, Осогово и во други планини.

Микашист е шкрилец изграден од кварц и лискуни. Според видот на лискуните, се разликуваат дволискунски микашист со биотит и мусковит, биотитски и мусковитски микашист. Мусковитскиот микашист се среќава почесто. Главно е со лепидобластична структура и шкрилеста текстура. Овие карпи се со пара потекло, а настанале со метаморфоза на глинестите карпи, глиниците, аргилошистите и филитите. Количинскиот однос меѓу кварцот и лискуните може да варира во широки граници. Концентрацијата на лискуните во одредени случаи може да биде многу голема, па микашистите преоѓаат во чисти **лискунски шкрилци**. Од гнајсот се разликува што ги нема фелдспатите, а се одликува и со поголемата шкрилавост. Од филитите се разликува по високиот кристалинитет и порупните зрна на минералите, а со нив може да прави премини во вид на филитомикашисти. Бојата на мусковитските вариетети е бела, кај дволискунските -сива, па се до темно-сива кај биотитските вариетети. Во Р Македонија ги има на повеќе локалитети, по правило придружени со гнајсевите.

Филит е нискометаморфен шкрилец, кој е изграден од многу ситни и со око невидливи зрна на кварц и лискуни. Од лискуните се среќава главно серицит, а од другите минерали може да се сретне мала количина на хлорит. Настанува со метаморфоза на глинестите карпи, односно на аргилошиститот. Кај филитите шкрилавоста е изразена најдобро, поради што лесно се цепат во тенки плочи. Бојата им е сива, зеленикава до црна со карактеристична свилеста сјајност со светликава површина на шкрилавоста.

Аргилошиститот макроскопски е сличен на филитот, но е настанат во анхиметаморфни услови во состојба на предметаморфизам со низок притисок и ниска температура. Всушност тој е глинест шкрилец, кој настанува со метаморфоза на глиниците кои биле изложени на дејство на посилни притисоци. Како главни состојки се јавуваат кварц, лискун, илит и хлорит. По многу карактеристики, аргилошистите прават премин меѓу глиниците и филитите. Бојата им е најчесто темносива до црна поради присуството на графит и други примеси. Се одликуваат со лесна цепливост, често пати во многу тенки плочи поради скоро секогаш добро изразената шкрилавост. Доста лесно се распаѓаат прво во прачкасти парчиња, а потоа во глинеста маса. Во минатото, низ пасивните краишта се користеле за покривање на куќите, па се нарекувале **покривни шкрилци**.

Хлоритски шкрилец (хлоритошист) е кристалест шкрилец со низок кристалинитет, изграден од ситни зрнца на кварц и хлорит. Поради големата содржина на луспи на хлорит има намалена тврдина. Обично е паракарпа, која настанува во епизоната и доста е шкрилеста карпа. Бојата му е зелена до темнозелена. Хлоритските шкрилци се ретки карпа и обично ги следат останатите шкрилци од низок кристалинитет.

Талков шкрилец (талкшист) е исто така шкрилец со низок кристалинитет, изграден од многу ситни листови и лушпички на талк, кои понекогаш се проследени со ситни зрна на кварц. По потекло е ортокарпа која настанува со ретрограден метаморфизам на ултрабазични (перидотити) и базични (габро) карпи. Бојата му е беличестозеленикава до зелено-сива, под прстите е мрсен, има мала тврдина и уште помек од хлоритскиот шкрилец. Талковиот шкрилец е доста ретка карпа и обично ги следи останатите шкрилести карпи.

Амфиболски шкрилец е карпа со низок кристалинитет, составен скоро само од ситни издолжени зрна на амфиболот-хорнбленда. По потекло е ортокарпа со типично зеленикава до темнозелена боја. Во случаи кога шкрилавоста му е слабо

изразена може да најде градежна примена. Кога, покрај хорнблендата содржи и фелдспати, а при тоа има изразена шкрилеста текстура, се нарекува амфиболитски шкрилец. Се појавуваат во придружба на другите шкрилци.

Покрај наведените преставници, се среќаваат и голем број други видови на нискометаморфни шкрилци со низок кристалитет, од типот на серицитски, епидотски, графитични и други шкрилци и во суштина припаѓаат во групата на филитоиди. Кај нас се среќаваат на повеќе места во палеозоикот на Западномакедонската зона (Охридско, Ресенско, Кичевско и др.) и на Вардарската зона (Кавадаречко, Велешко, Дојранско, Плачковица, Осогово и др.).

МАСИВНИ МЕТАМОРФНИ КАРПИ

Основна карактеристика на оваа група на метаморфни карпи е нивната масивна текстура. Големината на нивните зрна може да биде различна, но често со јасно видлива форма и големина на зрната. Најчести претставници во оваа група на метаморфни карпи се **мермер**, **кварцит**, **серпентинит** и **амфиболит**.

Мермер е масивна метаморфна карпа изградена од кристалести зрна на калцит или поретко, на доломит. Според присуството на минералот што превладува се разликуваат **калцитски** или **доломитски** мермери. Настанува со метаморфоза на варовникот и доломитот во сите зони на регионалниот метаморфизам. Структурата му е главно гранобластична, а текстурата масивна, слоевита или поретко шкрилеста. Големината на зрната варира, така што тие се понекогаш едвај видливи со око, а понекогаш достигнуваат димензии и до неколку милиметри. По тоа, тие се разликуваат од варовниците и од доломитите, кои се јадри карпи. Покрај калцитот или доломитот, во мермерите можат да се најдат и зрна на кварц, лискуни, хлорити, графити и други минерали. Кога мермерите содржат зголемено количество на лискуни, се нарекуваат **циполини**, кои речиси секогаш се шкрилести. Без примеси мермерите се млечно бели, а со примесите можат да бидат различито обоени. Може да се сретнат жолтеникави, розеви, зеленикави и сиви вариетети. Почистите видови на мермери можат да бидат и прозирни во плочи со дебелина до 2,5 cm. Мермерите обично се јавуваат во поголеми или помали маси во терените изградени од кристалести шкрилци. Кај нас речиси редовно се тектонски, многу оштетени, испукани до здробени, поради што е потешко да се добијат поголеми монолитни блокови. Доста застапени карпи се: во околината на Прилеп, на Караџица, Солунска Глава, Козјак, Мариово и Гостиварско. Надалеку во светот се посебно познати белите сахароидни мермери од рудникот **Сивец - Прилепско**. Треба да се нагласи дека во индустриските населби мермерите брзо ја губат сјајноста и политураата поради присуството на CO₂ и H₂S во атмосферата. Во мермерите (како и кај варовниците) многу често е застапен процесот на **карстификација**.

Кварцит е масивна метаморфна карпа, која во најголем дел е изградена од минералот кварц. Структурата му е зрнеста, текстурата-масивна, а понекогаш и шкрилеста. Покрај кварцот, како главна состојка во кварцитите можат да се појават во помало количество и други минерали како: лискуни, фелдспати, поретко: оксиди на железо, графит и друго. Вариетети без присуство на споредни состојки се нарекуваат **динас кварцити**. Ако се појави паралелна ориентација на лушпестите минерали од типот на лискуни и хлорити, ваквиот кварцит се нарекува **кварцитен шкрилец**. Кварцитите настануваат со метаморфоза на кварцните песочници и рожнаци. Обично се со бела, сиво-бела или темнокафеава боја. Имаат мрсна сјајност, зголемена тврдина и многу се отпорни на дејство на атмосферски влијанија. Преломот обично им е школкаст, со многу

остри рабови. Кај нас се доста распространети карпи, во склоп на комплексите на кристалестите шкрилци.

Серпентинит е масивна метаморфна карпа изградена од минералот серпентин. Покрај овај минерал, во неговиот состав може да се најдат и оливин, пироксени и амфиболи. Настанува со метаморфоза на ултрабазичните карпи-перидотити и базичните карпи од тип на габро, базалтот, дијабаз, кои во себе содржат оливин, амфиболи и пироксени. Бојата му е светлозелена, темно зелена до црна со петна и ленти од беличеста до темноцрвена боја. Карактеристика на серпентинитите е големата испуканост до здробеност со прснатини и микропрснатини, вдолж кои масата лесно се издвојува во вид на иверки. Свеж и масивен серпентинит има мрсна сјајност и школкаст прелом. Кај нас се застапени во должина на Вардарската Долина на повеќе места во помали или поголеми маси. Најчесто се јавуваат по должината на раседните структури, по кои често се случуваат земјотреси, што значи дека ги маркираат активните зони во Земјината кора.

Амфиболит е масивна метаморфна карпа изградена од амфиболот хорибленда и плагиокласите (фелдспатите). Структурата му е зрнеста, слично на габрото, текстурата најчесто е масивна, а поретко е шкрилеста. Настанува со метаморфоза од габро и дијабаз, главно во мезозоната на Земјината кора. Кога не е докрај метаморфизан, може да носи име како: **метагабро**, **метадијабаз** и слично. Амфиболитот е доста цврста и жилава карпа. Гледано волуменски, амфиболитите се послабо застапени во склоп на останатите масивни метаморфни карпи.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Што е карпа и како се вика науката која ги изучува карпите?
- Кои се основните видови карпи според нивната генеза?
- Што е склоп на карпите?
- Што се подразбира под терминот магматизам?
- Како се поделени магматските карпи според местото на настанок и според хемизмот?
- Наброј ги основните видови магматски карпи.
- Направи избор и приказ на најзначајните својства на гранитот, базалтот, дијабазот и андезитот?
- Што е седиментација и како се делат седиментните карпи?
- Кој е основен начин на појава на седиментните карпи и какви можат да бидат вертикалните и хоризонталните односи кај седиментите?
- Кои се основните групи кластични карпи, кои се хемиските и кои се органогените типови карпи?
- Опиши ги основните својства на песок, варовник и гипс.
- Што е метаморфизам и како се делат метаморфните карпи?
- Кои се основни структури и текстури кај метаморфните карпи?
- Кои се основни видови нискометаморфни шкрилци и која е нивната основна карактеристика?
- Што е мермер, а што гнајс и од кои примарни карпи настануваат?
- Што е серпентинит?

5 ОСНОВИ НА ТЕКТОНИКАТА

ОПШТО

Тектониката е дел од геологијата, која ги проучува **тектонските движења**. Поимот тектонски движења се однесува на сите механички движења во Земјината кора и горните делови на мантијата. Под нивно дејство, доаѓа до поместување на карпестниот материјал во Земјината кора и создавање на **тектонски структури**, кои имаат големо влијание врз условите за изведба на инженерските интервенции.

Под поимот тектонска структура се подразбира целина или дел на Земјината кора, која по својот состав, градба, геолошка старост и генеза, претставува определено геолошко тело, кое, просторно и временски, може јасно да се разликува во однос на другите соседни тела и структури, но и површините по кои доаѓа до движење и деструкција на карпите како: раседи, пукнатини, прснатини и други структури.

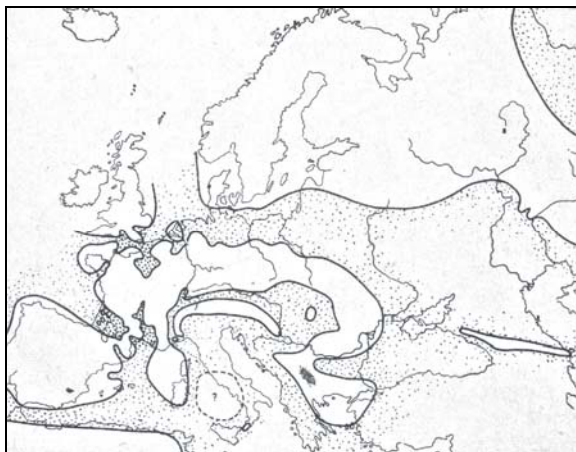
Во тектониката, главно, се разликуваат две глобални геотектонски структури од прв ред и тоа: **геосинклинали** и **платформи**. **Геосинклиналите** се вдлабнатини или коритести места на Земјата, а се дефинираат како лабилни делови на Земјината кора. Во склоп на геосинклиналите, оформувањето на тектонските структури започнува со формирањето на просторна вдлабнатина на Земјината кора во вид на **океански** или **морски депреси**. Понатаму следи процесот на **интензивна** и **разновидна седиментација**, па сè до појава на т.н. **орогени движења**. Развој на геосинклиналните појаси е следен со појави на сложен и разновиден магматизам, вулканизам и метаморфизам и појавата на земјотреси. По фазата на орогенеза, вообичаено следи фаза на испирање на материјалот од планинските венци во пониските делови од теренот и негово постепено **зарамнување**, што се нарекува фаза на **пинепленизација**. **Платформите** се континентални крути масиви, односно области каде што Земјината кора е стабилизирана, каде што тектонските, магматските и метаморфните процеси се слабо изразени. Седиментацијата е присутна, но со помал интензитет, така што седиментниот покривач на платформите е обично со мала дебелина и речиси со хоризонтално залегање. Платформите главно настанале на местата на поранешните мобилни области, кога после орогената фаза преминале во стадиум на консолидација. Најчесто имаат рамничарски изглед, а од мобилните геосинклинални појаси се одвоени со крупни длабински раседи. Се одликуваат со релативно мирни осцилаторни движења со вертикален карактер. Денес се познати неколку позначајни платформи како: Руската, Североафриканската, Сибирската, Североамериканска и други.

ТЕКТОНСКИ ДВИЖЕЊА

Тектонските движења се јавуваат како последица на дејството на повеќе фактори од кои најзначајни се физичко-земските процеси, топлотната енергија, радиоактивното зрачење, гравитационската енергија, магматските струења и друго. Елементарната тектоника сите тектонски движења ги дели грубо на две основни групи: **епирогени** и **орогени движења**.

Со терминот **епирогени движења** (**епирогенеза** од грчки: **epiros** - **копно**, **genesis** - **раѓање, постанок**) се означува постанок на копното и се однесува на осцилаторни вертикални бавни движења. Осцилаторните движења најдобро можат да се забележат во крајбрежните делови на морињата и океаните. Понекогаш и се нарекуваат вековни поместувања на континентите и на морињата.

Поради епирогените движења, формата на Земјата, распоредот на копната и на морињата, често се менувал во геолошкото минато, бидејќи одредени делови од теренот се спуштале, додека другите делови се издигале. Во спуштените делови се оформувале мориња и океани, во кои се вршела седиментацијата на разновиден материјал, додека во издигнатите делови постоеле големи и пространи копнени простори. Како пример за влијание на епирогени процеси на Сликата 5.1 е прикажан распоредот на море и копно во тек на олигоцен, за територијата на Европа.



Слика 5.1 Распоред на море и на копно во тек на олигоцен преземено од М. Херак, 1986 (шрафираниот дел бил морски басен, а белиот нешрафиран дел бил копнена маса)

За ваквите движења постојат безбројни докази. Многу населени места покрај бреговите на морињата и океаните, денес, се наоѓаат под вода, а некои градови и населби, кои, во средниот век, биле на морските брегови, денес се оддалечени со километри од нив.

Брановидните движења на одделни пространи делови на Земјината кора, како последица на епирогените движења, доведувале, па и сега доведуваат, до продирање на водите на копното. Оваа појава е позната во геологијата како **трансгресија**. Од друга страна, појавата на повлекување на вода од копното е наречено **регресија**. Процесот на тонење на копното и морска трансгресија е присутен во денешницата во крајбрежните делови на Холандија со интензитет од 40-60 милиметри годишно. Во Франција оваа појава има интензитет од 30 mm годишно. Ваквите поместувања условуваат постојан продор на морето, поради што овие земји се борат против ваквите појави со постојана изградба на одбранбени насипи. Од друга страна, Англија и Ирска некогаш биле споени со Европа, а интензивно продолжува издигањето на Скандинавија со интензитет околу 25 mm годишно. Трансгресиите и регресиите можат да се јават и при орогените движења, но поретко и на помали пространства.

Геодетските мерења на теренот укажуваат дека современите движења во Македонија се во дијапазон од неколку милиметри па до неколку сантиметри, на годишно ниво. Генерално, цела територија на Македонија е во фаза на издигање, но издигањата не се рамномерни. Во релативна смисла се разликуваат зони на релативни издигнувања и релативни спуштања. Заради илустрација, терените на Водно и на Скопска Црна Гора се издигаат релативно од 2-4 милиметри на година во однос на Скопската котлина. Во одредени делови од Скопската котлина, по земјотресот од 1963 година, со детални мерења се констатирани слегнувања и до 7 mm на годишно ниво. Во зоната на вливот на Маркова Река во Вардар, со истражно дупчење е констатирана дебелина на речниот нанос и до 80 m, што укажува на констатно релативно тонење на овој дел во текот на квартал.

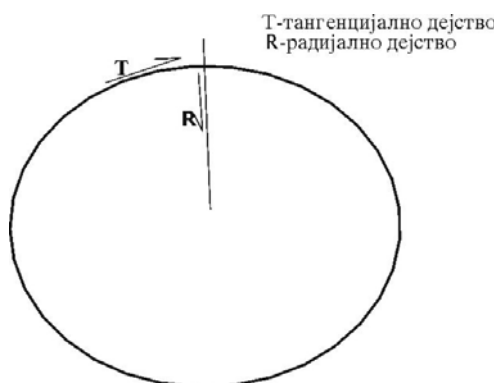
Орогените движења се процеси во геосинклиналните простори, чија крајна цел е создавање на набори и наборни венци во Земјината кора (**оро - планина, genesis-постанок**). Настануваат како последица на страничните притисоци што доаѓаат од континенталните маси со кои е обиколен лабилниот геосинклинален простор. Орогените движења најчесто се јавуваат во стеснатите делови на геосинклиналите, главно, таму каде што дебелината на седиментите е најголема. Тие не можат да се издвојат од епирогените движења, а најчесто, низ долгото геолошко време, меѓусебно се менуваат. За време на епирогенезата, како подолготраен процес се таложат разни седименти, а за време на орогенезата доаѓа до набирање на наталожените седименти и создавање на планински венци (ороген), од типот на: Алпи, Карпати, Динариди, Кавказ, Памир и др.

ТЕКТОНСКИ ПОРЕМЕТУВАЊА

Сите пореметувања што настануваат како последица на тектонските движења можат да се класифицираат во две групи: **тангенцијални** и **радијални пореметувања**. Тие ретко се јавуваат одвоено. На ист терен заедно можат да се појават и радијални и тангенцијални пореметувања, кои заедно укажуваат за степенот и интензитетот на орогените движења, кои довеле до пореметување во тој регион. Тектонските пореметувања и деформациите во карпестите маси имаат многу големо влијание врз сите нивни состојби и својства и инженерскогеолошките одлики на теренот како целина.

ТАНГЕНЦИЈАЛНИ ПОРЕМЕТУВАЊА

Тангенцијалните пореметувања се последица на страничните напрегања при хоризонталните орогени движења во Земјината кора. Напрегањата се ориентирани тангенцијално во однос на Земјината површина (Слика 5.2).

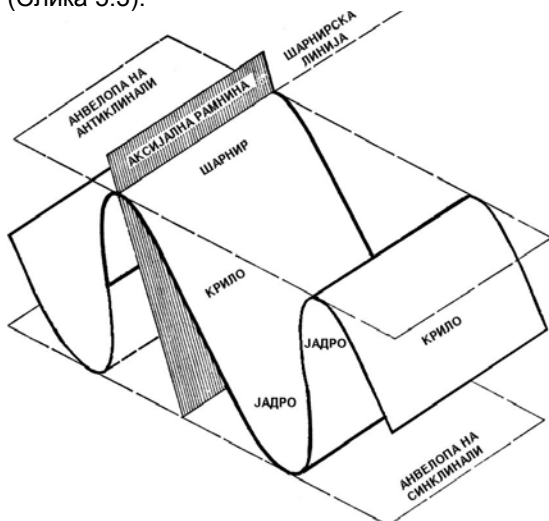


Слика 5.2 Приказ на начин на дејство на тангенцијални и радијални сили во однос на Земјината површина

Овие движења доведуваат до деформации, кои се многу јасно изразени кај слоевитите и шкрилестите карпи во вид на **набори**. Наборите претставуваат структурни форми на карпестите маси во Земјината кора со набрани (повиени) површини на еден или на повеќе слоеви. Понекогаш во литературата наборите се нарекуваат и **пликативни структури**. Наборите се создаваат при различни услови, но главно поради **тектонско стеснување** на просторот кај геосинклиналните простори или кај конвергентните граници на тектонските плочи. Можна е појава на набори и при **регионална компресија**, каде што по должината на т.н. транскурентни раседи, реверсни раседи, лушпи и навлаки, доминира едностран притисок или стрес. Набори со помали димензии можат да се појават и при гравитационо движење при кое карпестите маси се гравитационите навлаки и слични појави, се набираат, потоа при **компакциското набирање**, заради нерамната изразена основа или при **дијапирско набирање**. Дијапирското набирање се појавува во случаи кога некои пластични маси се втиснуваат во горните делови на Земјината кора. Најчесто тоа е поврзано со втиснување на разни соли и евапорити, кои и при мали притисоци се активираат и се движат нагоре или пак при издигање на гранитоидните магми.

ЕЛЕМЕНТИ И КЛАСИФИКАЦИЈА НА НАБОРИТЕ

Наборот е просторна структурна форма дефинирана со одредени геометриски елементи. Тие се дефинираат како пластично-волуменска деформација на карпестите маси од Земјината кора, при што примарно хоризонтални паралелни структури се извиткани во облик на правилни бранови. Секој наполно развиен набор се состои од еден конвексен испапчен дел, кој е наречен **антиклинала** и еден конкавен, вдлабнат дел, кој е наречен **синклинала** (Слика 5.3).



Слика 5.3 Комплетен набор со антиклинални и синклинални делови

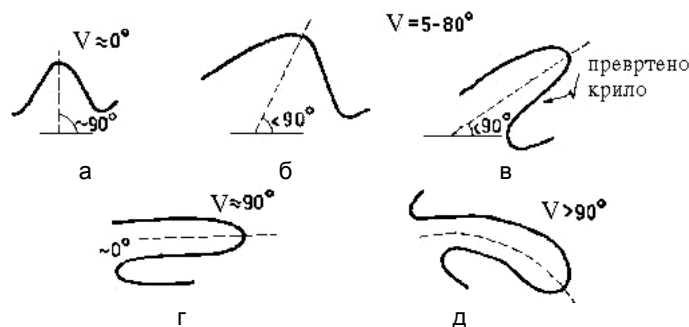
Во јадрото на антиклиналата се застапени геолошки постари карпи, додека во јадрото на синклиналата залегаат помлади карпи. Кај наборот може да се разликуваат повеќе карактеристични делови. **Шарнир** го претставува сводниот дел на антиклиналата или синклиналата. **Крила** се бочните делови од наборот поврзани со шарнирот. Во целосниот набор едното крило е заедничко за антиклиналата и синклиналата и се означува како **средно крило**. Внатрешниот дел меѓу крилата претставува **јадро на антиклинала** и **јадро на синклинала**.

Шарнирската линија е централна линија на шарнирот, која во практика се означува како оска на наборот и претставува најважен елемент. Симетралната површина повлечена низ шарнирската линија (оската на наборот) се означува како **аксијална рамнина**. Со поврзување на шарнирите на соседните антиклинали или соседните синклинали со површина се добива анVELOпа на антиклинали и анVELOпа на синклинали. **Распон на наборот** е нормално растојание меѓу две шарнирски линии, а амплитудата е висината на наборот. Зоната на структурно најизразениот (превоен) дел од антиклиналата се вика **врв** или **теме на антиклинала**. Хипсометриски, највисокиот дел од антиклиналата се вика **гребен на антиклинала**, а хипсометриски - најнискиот дел од синклинала се вика **кил на синклинала**. Местото во средното крило на целосниот набор, каде искривувањето е 0° , т.е. се менува знакот на искривување од антиклинала во синклинала (или обратно), се вика **инфлексна точка** (Слика 5.4).



Слика 5.4 Важни структурни и хипсометриски точки на наборот во напречен профил

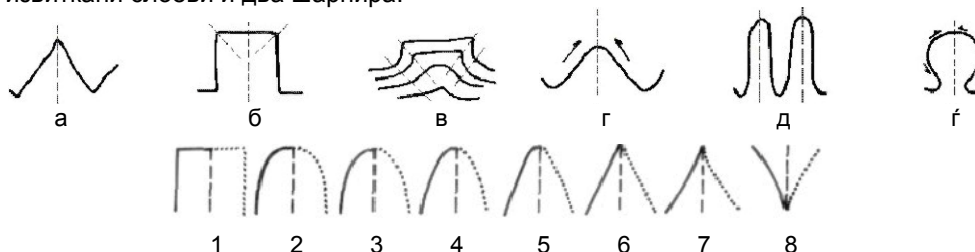
Наборите можат да се класифицираат според повеќе критериуми. За практични намени, погодна е класификацијата според положбата на аксијалната рамнина и крилата кон хоризонталата. **Исправен набор** е кога аксијалната рамнина е под 90° со хоризонталата. **Косите набори** имаат коса аксијална рамнина, крилата се во нормална положба, но падните агли им се различни. **Превртен набор** има коса аксијална рамнина, а подинското крило е во превртена положба. **Полегнат набор** има хоризонтална положба. **Нурнат набор** е оној каде аголот на аксијалната рамнина е преку 90° (Слика 5.5).



Слика 5.5 Типови на набори според положбата на аксијалната рамнина и крилата кон хоризонталата: а - исправен, б - кос, в - превртен, г - полегнат, д - нурнат (преземено од Н. Думурџанов 2005)

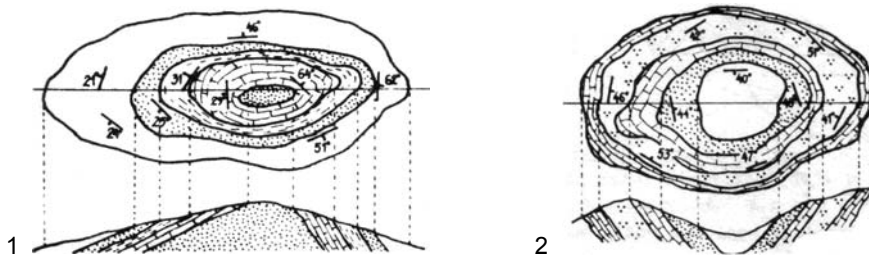
Наборите, според односот на крилата кон аксијалната рамнина и формата на шарнирот се класифицираат на **нормални** во кои крилата се конвергентни кон шарнирот, **изоклинални**, чии крила меѓусебно и со аксијалната рамнина се паралелни и **лепезести**, набори во кои крилата во еден дел конвергираат кон

шарнирот, а потоа се виткаат спротивно од таа насока (Слика 5.6). Според формата на шарнирот се издвојуваат: **аглести набори**, кои имаат шарнир со тесен агол, **сандачести (куфрести) набори**, кои имаат два аглести шарнира, меѓу кои просторот не е извиткан и **коленисти набори**, кои имаат коленисто извиткани слоеви и два шарнира.



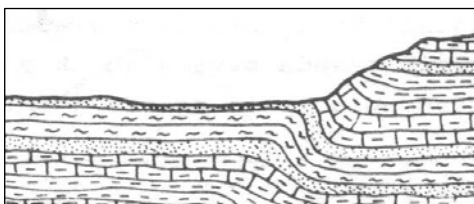
Слика 5.6 Набори по однос на крилата кон аксијалната рамнина и по формата на шарнирот: а - аглест, б - сандачест, в - коленист, г - нормален, д - изоклинален, f - лепезест. По Хадлстон: 1 - сандачест, 2 - полукружен, 3 - полуелиптичен, 4 - параболичен, 5 - хиперболичен, 6 - аглест набор, 7 - гирланден, 8 - аркаден

Во Земјината кора поретко можат да се јават наборни форми во вид на **флексурни набори, дома, басен, меѓуслојни набори** и други видови. Дома е затворен антиклинален набор со благо конусно засводено теме со приближно иста должина и ширина (Слика 5.7-1). Басен е затворен коритест набор со благ наклон на страните спрема своето дно (Слика 5.7-2).



Слика 5.7 Приказ на дома (1) и басен (2) со изглед во хоризонтална проекција (на геолошка карта) и вертикален пресек (на профил)

Флексурни набори се нецелосно развиени набори, главно кај хоризонталните или малку наклонетите слоеви, кои само во еден дел се слабо извиткани (Слика 5.8).



Слика 5.8 Флексурен набор

Димензиите на антиклиналите и синклиналите можат да бидат многу различни. Нивната висина (амплитуда) и ширина (распон) можат да изнесуваат од неколку милиметри па до повеќе стотина метри. Кај многу големите набори, ширината може да биде и повеќе километри. Должината на протегањето на нивните оски може да изнесува и повеќе километри, а во исклучителни случаи и до стотина километри. Ако на теренот се појави само дел од антиклиналните или од синклиналните делови од наборот, тогаш тоа се нарекува моноклинала.

Реални изгледи на набори во теренски услови се прикажани на следните слики.



Слика 5.9 а - Коса синклинала, б - изоклинална антиклинала во карбонатни шкрилци на пат Росоман - Плетвар



Слика 5.10 Исправена антиклинала во тенкоуслоени варовници во близина на Будва, Црна Гора (фото Бл. Маркоски)



Слика 5.11 Дециметарски набори во зона над портален дел од тунел кај патот Велес - Прилеп

Со силните орогени напрегања во одделни делови на Земјината кора се оформуваат големи набори во вид на **сложени набори**. Тие се состојат од една јасно изразена поголема антиклинала и синклинала, во чиј склоп се јавуваат т.н. секундарни помали набори (Слика 5.12).

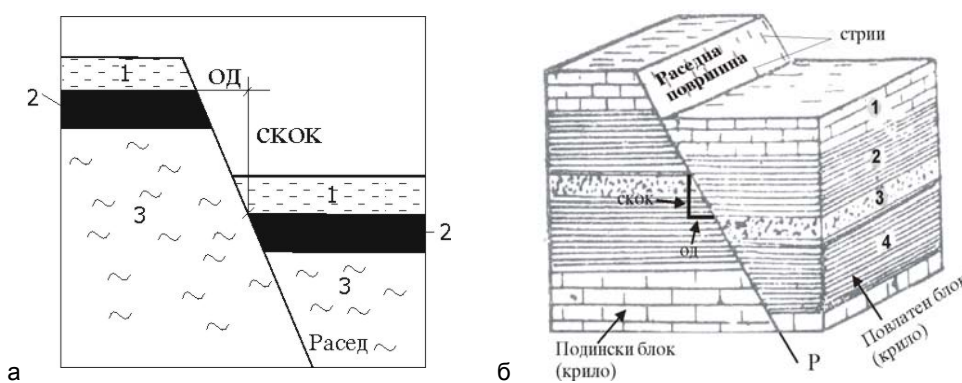


Слика 5.12 Сложени набори; а - антиклинориум, б - синклинориум

Антиклинориум е набран комплекс, кој во целина има форма на антиклинала, а аксијалните рамнини на одделните набори имаат вергенција кон периферијата на антиклинориумот. **Синклинориум** е набран карпест комплекс со форма на синклинала и со наклон на аксијалните рамнини на одделните набори кон внатрешноста на синклинориумот.

РАДИЈАЛНИ ПОРЕМЕТУВАЊА

Радијалните сили предизвикуваат деформации во Земјината кора во вид на пукање, прекини, кршење на карпестите маси и нивно движење во должина на површината на прекилот. Ваквите движења најчесто се во насока на радиусот на Земјата, поради што и се викаат **радијални пореметувања**. Во литературата можат да се сретнат и термини како **дисјунктивни** или **руптурни пореметувања**. Основна форма на вертикалните пореметувања се **раседите**, кои се дефинираат како пукнатини по чија должина дошло до движење на блоковите паралелно на раседната површина. Тие најчесто се под различен наклон во однос на хоризонталата. Раседот како честа структурна форма се карактеризира со повеќе елементи, кои го дефинираат неговиот карактер. Основните елементи на раседите се прикажани на Сликата 5.13.



Слика 5.13 Елементи на расед: а - дводимензионален приказ; б - тридимензионален приказ: 1,2,3,4 - различни видови на карпи поместени при раседнувањето

Раседите се најочигледни кога се прекинуваат слоеви на различни карпести маси, а потешко се препознават ако се изразени во склоп на една литолошка средина. **Раседна површина** претставува пукнатинска површина по чија должина е извршено движењето на делови на карпестите маси. Таа главно е нерамна, но поретко може да биде рамна или мазна кога се нарекува **раседно огледало** или **харниш** (Слика 5.14).



Слика 5.14 Раседно огледало во тријаски масивни варовници на патот Свети Наум - Отешево преку планината Галичица

На мазната раседна површина често можат да се забележат систем на паралелни бразди што се наречени **стрии**, кои укажуваат на насоката на релативно движење на блоковите од раседот. Така, ако се помине по нив со рака, во правец на движењето, раседната површина е мазна, а во спротивен правец е рапава.

Блокови или **крила на раседот** се прекинати делови на теренот од едната и од другата страна на раседот. Блокот над раседната површина се нарекува повлатен блок или **повлатно крило**, а оној што лежи под раседната површина се нарекува **подински блок** или **крило**.

Под вкупно движење на раседот се подразбира сума на движењето по падот, паралелно по протегањето на раседната површина. Движењето на блоковите може да се одвива во повеќе тектонски фази и со прекини. **Скок на раседот** е вертикално растојание меѓу двата раседнати блока, што укажува на износот на спуштањето или издигањето на пореметените блокови. Скокот обично има големини од неколку сантиметри до неколку метри, а во исклучителни случаи може да премине и до неколку километри. **Од** или **бочно поместување** на раседот е хоризонтално растојание меѓу два раседнати блока. Одот кај хоризонталните раседи може да достигне и неколку километри.

Раседните структури имаат големо значење за сите видови на инженерски објекти, а на терен можат да се појават на многу различни начини. Реален изглед на раседи во теренски услови е прикажан на Сликите 5.15 и 5.16.



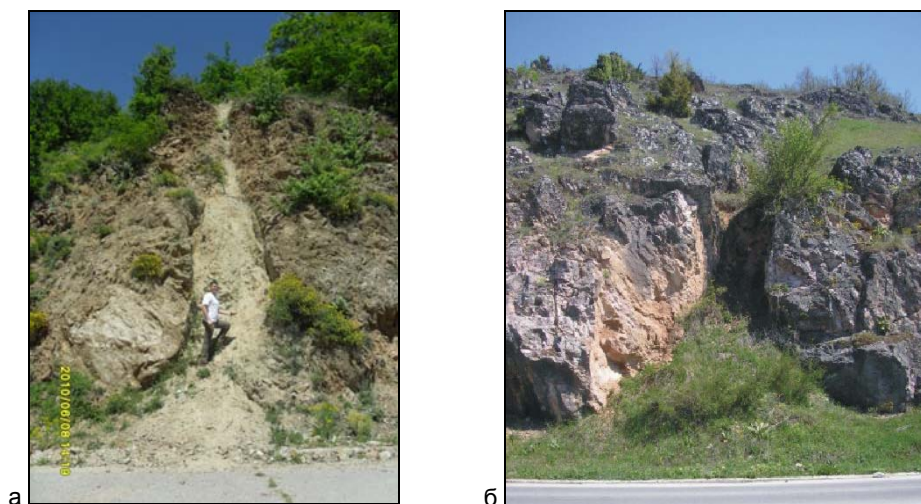
Слика 5. 15 Раседи кои пресекуваат повеќе литолошки членови на патот Скопје - Градско



Слика 5. 16 Реверсен расед во мермери на патот Плетвар - Прилеп

Кога со движењето на блоковите е извршено во должина на повеќе блиски раседни површини или со раседнување е зафатен поширок дел од теренот, станува збор за **раседна зона** (Слика 5.17). Раседната зона се манифестира во вид на потесен или на поширок појас, кој се карактеризира со значителна испуканост, здробеност, трошност, па дури глинизираност на карпестите маси. Кај раседните зони, карактеристична е појавата на **раседна бреча**, која се јавува како цементиран здробен или трошен материјал од карпите (милонит). Милонитската зона може да има ширина од неколку сантиметри до повеќе десетина метри. Во исклучителни случаи, раседните зони можат да имаат и поголеми дебелини до неколку km, што е поврзано секогаш со поголемите дислокации на Земјината кора.

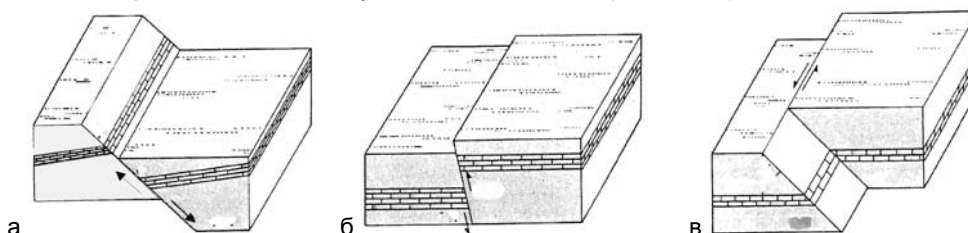
Димензиите на раседите варираат во широки граници. Постојат локални раседи, каде што движењата на крилата или нивната должина е од неколку сантиметри до дециметри, но има раседи од неколку метри, десетина до стотина метри. Понекогаш нивната должина достигнува и неколку стотина километри. Постојат и **длабински раседи**, кои, како планетарни структури (дислокации), се протегаат низ сета Земјина кора.



Слика 5.17 Раседни зони: а - глинизирана зона во гранити во близина на с. Разловци; б - здробена до трошна зона во варовници од патот Битола - Кичево во близина на с. Сопотница

ВИДОВИ НА РАСЕДИ И НИВНА КЛАСИФИКАЦИЈА

Раседните структури се класифицираат според повеќе критериуми. Врз основа на генезата и начинот на движење на блоковите и други придружни појави, раседните структури се делат на: **раседи на компресија, истегнување и раседи на смолкнување**. Во природата најчесто се појавуваат раседи на смолкнување. Раседите на смолкнување се делат понатаму на: гравитациски или нормални раседи, реверсни раседи и лушпи, навлаки и хоризонтални раседи. Се разбира дека се можни најразлични комбинации на движења, споредено во однос на основните групи. **Нормални раседи** настануваат кога повлатниот блок е движен низ раседната површина, така што поместениот блок е спуштен во однос на соседниот блок (сл. 5.18-а). **Реверсни раседи** настануваат кога повлатниот блок се движи по раседната површина, така што тој е подигнат и навлечен над подинскиот блок (сл. 5.18-б). **Хоризонтални раседи** настануваат кога дошло само до хоризонтално поместување на блоковите (сл. 5.18-в).

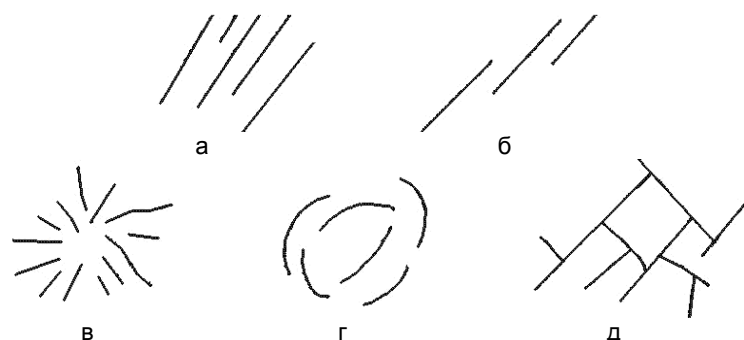


Слика 5.18 Основни видови на раседи: а - нормален расед; б - реверсен расед; в - хоризонтален расед

Во зависност од падниот агол на раседната површина, раседите се делат на: **хоризонтални и субхоризонтални раседи** со паден агол 0° - 10° , раседи со **благ** наклон и паден агол 10° - 30° , раседи со **среден** наклон со паден агол 30° - 60° , **стрми** раседи со паден агол 60° - 80° и **вертикални и субвертикални раседи** со

паден агол 80° - 90° . Во Земјината кора најзастапени се вертикалните и субвертикалните раседи, а помалку се застапени хоризонтални раседи. Хоризонталните раседи многу потешко можат да се констатираат на терен. Со раседите можат да бидат пресечени хоризонтални, коси и вертикални слоеви. Можат да бидат раседнати антиклиналните и синклиналните набрани слоеви, што е најчест случај кај навлаките и лушпите.

Во склоп на теренот, раседите ретко се појавуваат како одвоени и меѓусебно изолирани (осамени) структури. Најчесто се јавуваат во групи, оформувајќи сложени раседни структури или системи на раседи. При појавата групи на раседи се формира карактеристичен релјеф на теренот и се усложнува неговата геолошка градба. Најчести сложени раседни форми прикажани на Сликите 5.19 и 5.20.



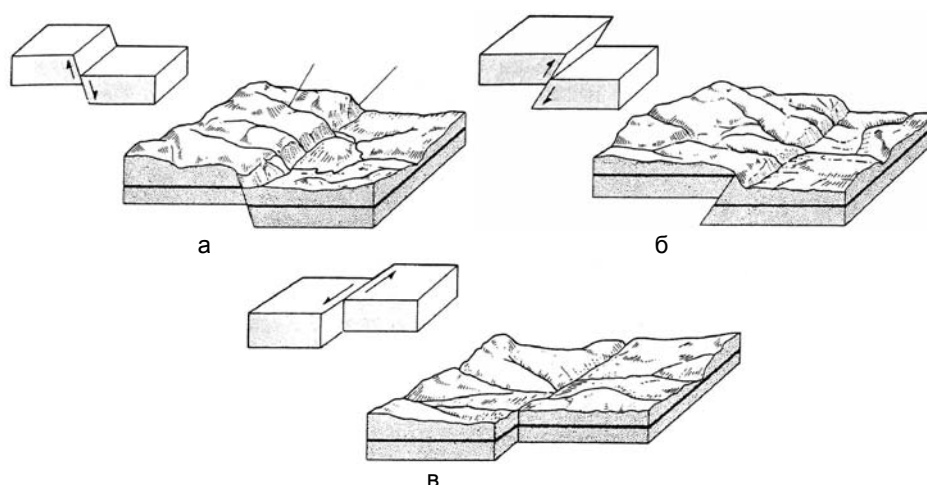
Слика 5.19 Видови на раседни системи според меѓусебната ориентација: а - паралелен систем; б - ешалониран (кулисен) систем; в - радијален систем; г - концентричен систем; д - паркетен систем



Слика 5.20 Сложени видови на раседи: скалести раседи, грабен и хорст

Паралелните раседи имаат главно исти елементи на паѓање и тие се сместени паралелно на исто или различно меѓусебно растојание. **Радијалните раседи** се радијално распоредени околу некое централно подрачје. **Прстенестите раседи** се концентрично поставени околу некое централно подрачје и речиси редовно се појавуваат заедно со радијалните раседи. **Ешалонирани** се раседи кои се распоредени паралелно и кулисно. **Скалестите** или **каскадните раседи** се јавуваат со спуштање или издигање во должина на повеќе паралелни или речиси паралелни раседи, кои се или вертикални или под одреден наклон. Често се јавуваат по рабните делови на котлините. **Грабен** е котлина оформена со спуштање на поголем блок на карпести маси меѓу два или повеќе меѓусебно паралелни раседи или систем на каскадни раседи. Понекогаш грабените може да бидат со многу големи димензии. Такви се случаите на

Рајнски грабен во СР Германија, по долината на реката Морава во Србија, повеќето наши котлини, Охридското Езеро и други терени и подрачја. **Хорст** е тектонски издигнат блок од теренот со два или систем на два гравитациски раседи со спротивен пад. Најчесто има голема должина, а помала ширина. Раседите релативно лесно се забележуваат во терени изградени од слоевити карпи по нивниот прекин, потоа по извиткување на слоевите покрај раседните пукнатини, по наглата промена на нивната насока на падот и падниот агол, како и по здробениот и трошниот материјал вдоль раседите и раседните зони. Кај терени кои се покриени со дебели падински наслаги, раседите тешко се откриваат и тоа само со помош на индиректни методи, морфолошки и други критериуми (Слика 5.21).



Слика 5.21 Раседи и нивни одрази во морфологија на површина на теренот: а - кај нормален расед; б - кај реверсен расед; в - кај хоризонтален расед

Раседите или раседните зони често се маркирани со постојната речна мрежа бидејќи речните корита полесно се вклопуваат во должина на ослабените делови од теренот, какви што се раседните зони или карпи со пониски физичко-механички својства. Појава на извори и вегетација во еден низ, исто така, може да укаже на постоење на раседна структура.

Поим за активни раседи

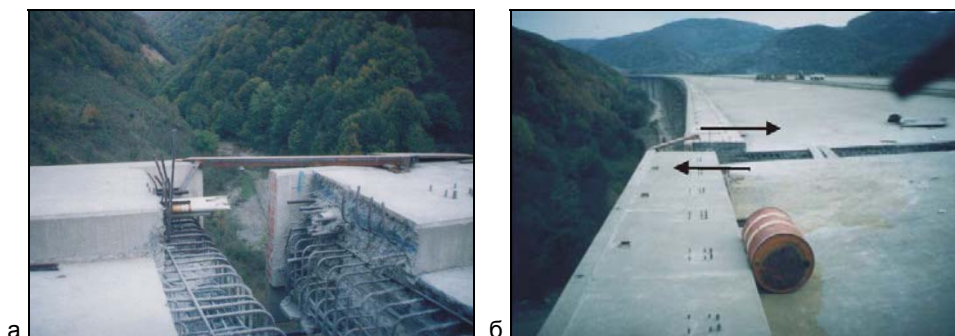
Сите раседи, кои се застапени во склоп на Земјината кора, немаат исто практично значење за инженерските објекти. Во инженерството посебно внимание се посветува на постоење на т.н. **активни раседи**. Тоа се структури, каде што се случуваат поместувања и по чија должина се врши ослободување на сеизмичка енергија во вид на земјотреси и во денешни дни. Нуклеарната регулаторна комисијата на САД, предлага како активни раседи да се третираат структури за кои постојат геолошки докази за барем едно поместување во последните 35 000 години, а како **потенцијално активни** се раседите што имаат индикации за поместувања во последните 500 000 години. Во светот се познати многу активни раседи со големи димензии и длабочина. На пример, раседот Сан Андреас во Калифорнија има должина околу 800 km, длабочина околу 15 km и бочно поместување на блоковите преку 100 km (Слика 5.22).



Слика 5.22 Авионска снимка на раседот Сан Андреас во Калифорнија (преземено од Киојс, 2001)

Кај нас е најпознат хоризонталниот расед, кој се протега на потегот Кустендил (Бугарија) - Крива Паланка - Куманово - Скопје - Дебар - Елбасан (Албанија) и е со должина преку 250 km.

За да се истакне значењето на ваквите структури, еден пример за поместување на мостовска конструкција заради активирање на расед е прикажан на Сликата 5.23.

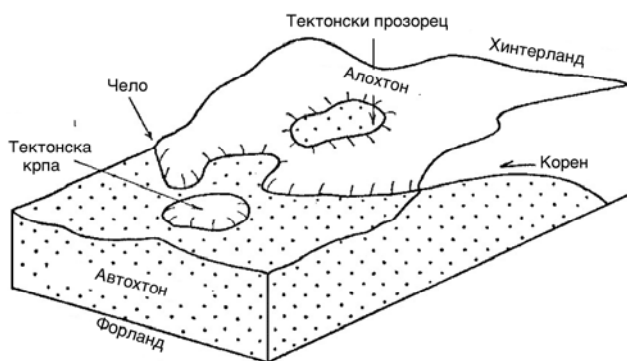


Слика 5. 23 Снимка на активен расед во Р Турција: а - поглед од страна на раседот кој е маркиран со длабока јаруга ; б - видливи поместувања на споевите на мостот по земјотрес (фото Емил Петрушев)

НАВЛАКИ И ЛУШПИ

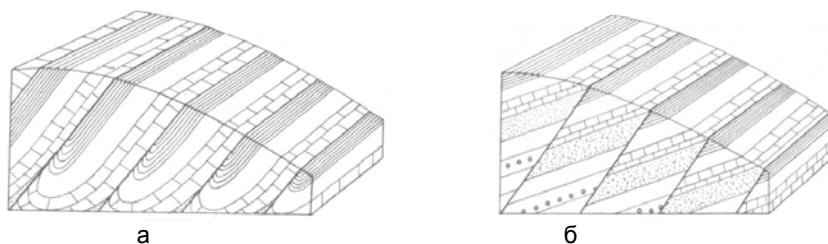
Во интензивно набраните терени, е можна појавата на сложени структури, кои се викаат **навлаки** или **шаријаж**. Навлаките настануваат најчесто при силни едностранни притисоци. Тие претставуваат руптурни структури на смолкнување, по кои доаѓа до навлекување со должина на навлекувањето од повеќе километри. Површината на навлекување е блага до хоризонтална. Површината по која се движи навлекуваниот материјал се вика **база на навлака**. По неа е распространет силно раздробен материјал (бречи, тектонски меланж, милонити). Челниот дел од базата се нарекува **чело на навлака**. **Алохтон** се нарекува

навлекуваната маса преку базата. **Автохтон** се нарекува карпестата маса под базата на навлаката. Зоната на автохтонот пред челото на навлаката се нарекува **форланд**, а подрачјето зад навлаката е **хинтерланд**. **Тектонски прозорец** е откриено подрачје од автохтонот со ерозија во просторот на алохтонот. **Клипи** (тектонски крпи) се изолирано сочувани ерозивни остатоци од челото на навлаката. **Корен на навлака** е областа од каде се откинува навлекуваната карпеста маса. Димензиите на навлаките можат да бидат различни, со ширина до неколку десетина километри, а во правец на дејството на притисокот дури и до стотина километри. Основните елементи на навлаките се прикажани на Сликата 5.24.



Слика 5.24 Основни елементи на навлака

Лушпите се реверсни структури со благ пад на раседната површина од 10° до 30° , кои претставуваат преод од реверсните раседи кон навлаките. Обично се јавуваат како систем од паралелни структури на навлекување, типични за подрачја, каде што доминираат едностран притисоци на компресија (Слика 5.25).



Слика 5.25 Лушпеста структура: а - настаната со реверсно раседнување на набори
б - само со реверсно раседнување

ДРУГИ НАБОРНИ И РУПТУРНИ СТРУКТУРИ

ПУКНАТИНИ

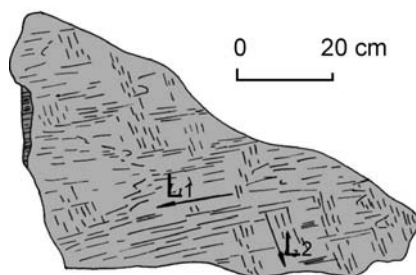
Пукнатините се најраспространети руптурни структури во сите видови на карпи. Се образуваат во времето на создавање на седиментните, магматските и метаморфните карпи и дополнително по нивното оцврстување. Со оглед на големото значење кое го има испуканоста врз сите својства и состојби на карпестите маси, детална анализа е прикажана во Поглавието 6.

КЛИВАЖ И ФОЛИЈАЦИЈА

Фолијацијата и кливажот се најкарактеристични планарни структури кај метаморфните карпи. Под поимот **кливаж** се подразбира систем на блиско лоцирани паралелни пукнатини, чија генеза најчесто е поврзана за процесите на набирање, а поретко и процесите на создавањето на раседните структури и здробените зони. Кливажот, како придружна структура на наборите и раседите, се дели на наборен и **раседен кливаж**. **Фолијацијата** е најтипичен структурен елемент на внатрешната градба на метаморфните карпи, која може да се надоврзува на примарната слоевитост или да биде развиена по кливажот. Таа е директна последица на температурата, хидростатичкиот притисок и едностранниот притисок (стрес), кои предусловуваат карпите со плочести минерали да формираат паралелна ориентација на минералите и фолијација, која може да премине во цепливост на карпите.

ЛИНЕАЦИЈА

Линеацијата претставува линеарна ориентација на некои елементи во градбата на карпите. Се изразува во вид на пресеци на планарни површини со различна ориентација, со разместување и со ориентација на минерални зрна и фрагменти во карпестите маси. Може да произлегува и од линеарниот облик на зрната и фрагментите, од појавата на паралелни тектонски елементи од тип на оски на микронаборите, стриите и минералната ориентација по површините на тектонските огледала и друго (Слика 5.26).



Слика 5.26 Набрани палеозоиски аргилошести, кај селото Вртешка на планината Плачковица: L₁ - линеација на постара фаза, L₂ - линеација на помлада фаза (преземено од Н. Думурџанов, 2005)

Правилната интерпретација на ориентацијата на линеацијата е посебно значајна при истражување на набраните терени, бидејќи линеарните елементи се многу важни за дешифрирање на полифазноста во деформирањето на теренот и просторната положба на крупните набори.

ПРАКТИЧНО ЗНАЧЕЊЕ НА ТЕКТОНСКИТЕ ДВИЖЕЊА

Раседите, раседните зони, наборите, навлаките, лушпите, пукнатините и другите структури имаат големо практично значење во градежништвото. Од нивните карактеристики и односите кон објектите најмногу зависат инженерскогеолошките услови при изведба и експлоатација на објектот. Кога во склоп на теренот постојат навлаки или лушпести структури, геолошката градба по правило е исклучително сложена, бидејќи има чести појави на здробени

милонитски зони. Ова пак, предусловува голема хетерогеност и многу сложена природната напонска состојба. Кај навлаките може да се очекува хоризонталните напони (σ_h) да бидат многу поизразени во однос на вертикалната компонента (σ_v). Активните раседи, пак, се многу значајни за однесувањето на бетонски брани и линиски објекти како: мостови, нафтоводи, гасоводи и друго. Ако при истражувањето за потреби на лачни брани, се утврди постоење на активен расед на локалитетот, тоа место се напушта како неповолно за градба. Кај линиските објекти, во зоната на пресек со активната раседна структура, објектот се заштитува на посебни начини. Од овие причини, при истражувањата на теренот мора да се посвети големо внимание на дефинирање на сите структурно-тектонски карактеристики на теренот и на можните влијанија по објектот или околината.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Со што се занимава тектониката?
- Кои се основните тектонски глобални структури?
- Какво е влијанието на бавните вековни вертикални осцилаторни движења?
- Што е радијална, а што тангенцијална тектоника?
- Што е набор и кои се основните негови елементи?
- Што е расед и кои се негови основни елементи?
- Прикажи ја поделбата на раседите по различни критериуми и коментирај која е основна разлика меѓу гравитациски и реверсен расед.
- Кои се сложени форми на раседи, а кои на набори?
- Што е активен расед?
- Кои други наборни и раседни форми се среќаваат?

6 ОПШТИ СТРУКТУРНИ СВОЈСТВА НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

ВОВЕД

Една од основните цели на инженерскогеолошките истражувања е да се дефинираат **својствата и состојбите** на карпестите маси, бидејќи тие се многу значајни при решавање на инженерските проблеми (Слика 6.1).



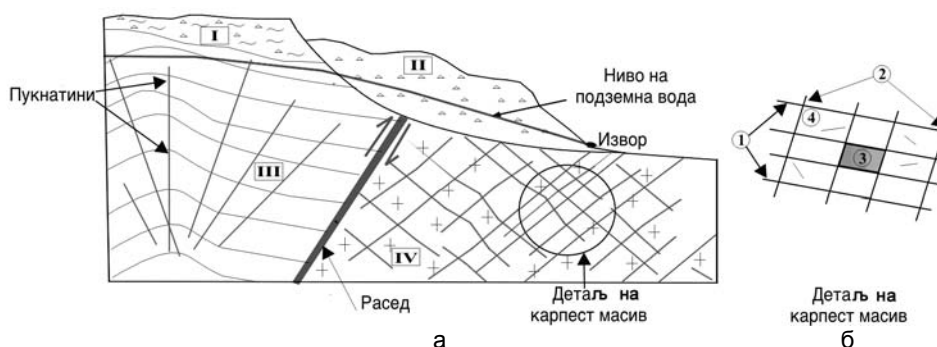
Слика 6.1 Приказ на основни својства и состојби на карпестите маси

Својствата на карпестите маси се запис од сите процеси во геолошката историја, кои влијаеле врз нивниот состав и градба. **Состојбите** се објективен израз на влијанието на сите геолошки процеси, кои довеле до сегашниот изглед на карпестите маси. Важно е да се спомене дека некои од својствата и состојбите се променливи во текот на времето, односно при промена на термодинамичките услови карпите може да се променат. Квантитативен израз на својствата на карпестите маси се **параметрите** на состојбата, чие познавање е основа за успешно дефинирање на карактеристиките на теренот и карпестите маси и нивното инженерско однесување.

ПОИМ ЗА ТЕРЕН, КАРПЕСТ МАСИВ, МОНОЛИТ И ПОЧВА

Во геотехниката е многу значајно да се направи јасна разлика меѓу поимите: **терен, карпеста маса, карпест масив, карпа, камен и почва**. Овој став е посебно нагласен кога природните геолошки материјали се третираат од физичко-механички аспект или кога се проценува нивното инженерско однесување. Под поимот **терен** во инженерскогеолошка смисла се подразбира релативно плиток дел од литосферата до длабини во кои се чувствува заемното влијание на инженерската дејност и влијанието на атмосферата, хидросферата и биосферата. Во инженерската геологија под поимот **карпа** се подразбираат само цврсто сврзаните материјали, а слабоврзаните и неврзаните материјали се именуваат како **почва**. Се напоменува дека понекаде се користи и термин **градежна почва**, со цел да се направи разлика од **земјоделската** обработлива почва. Со ова се прави разлика од дефинициите во општата геологија, каде што под поимот карпа се подразбираат сите цврсто сврзани, слабоврзани и неврзани природни материјали, кои ја сочинуваат Земјината кора.

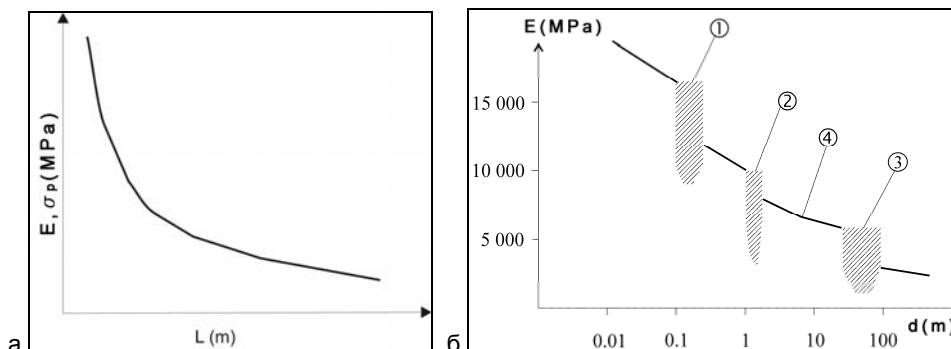
Кај цврстите карпи, под примерок од карпа или **МОНОЛИТ** (анг. Intact Rock) се подразбира изолирано парче на карпата, кое петрографски е најчесто хомогено и составено од иста група минерали (Слика 6.2-б). Монолитот е без надворешно видливи дефекти во неговата градба и за него во најголем број случаи важат поставките на теоријата на еластичност, пластичност и теории, кои средината ја разгледуваат како континуум. Под поимот **карпеста маса** (анг. Rock Mass) се подразбира дел од теренот со сите својства и состојби кои се резултат на различни влијанија во текот на геолошката историја. Во практика како синоним може да се користи и терминот **карпест масив**. Карпестиот масив може да се состои од повеќе петролошки видови на карпи со: различно потекло и залегање, различна старост, различни инженерскогеолошки својства во различни делови на карпестата маса и др. Затоа, по правило, карпестата маса е хетерогена, анизотропна, природно напрегната и испукана средина што е многу значајно за однесувањето на теренот при: оптоварување, ископ или друга инженерска интервенција. Графичка илустрација, која ќе помогне за дефинирање на овие поими, е прикажана на Сликата 6.2.



Слика 6.2 а - Шематски приказ на карпест масив: I до IV различни петролошки и генетски видови карпи, (I - делувиум; II - свлечиште; III - набрани шкрилци; IV - гранит во тектонски контакт со шкрилците), б - детал од карпест масив со пукнатини (1 и 2) и монолитни делови (3 и 4)

Од Сликата 6.2, се гледа дека карпестиот масив може да се карактеризира со појава на: раседи, подземна вода, пукнатини и друго. Самите пукнатини прават контури на монолитните делови на масивот. Многу е значајно да се истакне дека физичките и механичките својства на монолитот битно се разликуваат од механичките својства на дисконтинуираната карпеста маса во природата. Низ извршените експериментални испитувања се покажува дека механичките карактеристики и на ниво на монолит и на ниво на масив, стануваат се помали доколку расте големината на разгледуваното подрачје. Овој феномен се нарекува **ефект на размер** (Слика 6.3).

На Сликата 6.3 - а е прикажан ефектот на размер за ниво на примероци со различни димензии, каде што се гледа дека вредноста на модулот на еластичност (E) и јакоста на притисокот (σ_p) опаѓа со прираст на димензиите на примероците. На Сликата 6.3 - б, пак, е прикажано слично влијание за карпест масив, каде со броевите (1), (2) и (3) се означени подрачјата во кои се појавуваат квалитативно нови пукнатини од повисок ред. Со (4) е означено едно подрачје на квазиконтинуум.



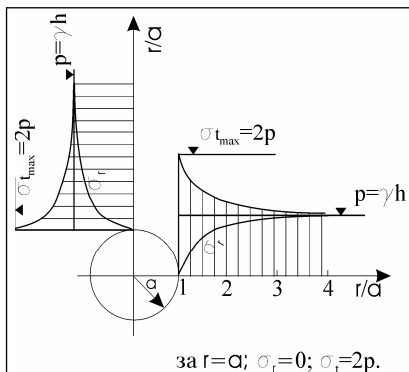
Слика 6.3 Илустрација на ефект на размер: а - на ниво на пробно тело; б - ефект на размер на ниво на карпест масив

Проблемот на дефинирање на ефектот на размер е една од потешките задачи во геотехниката, а е посебно значајна при правилен избор на влезните параметри за различни пресметки.

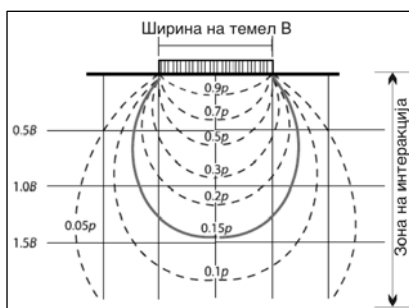
ПОИМ ЗА ЗОНА НА ИНТЕРАКЦИЈА

Под **ангажирана зона** или **зона на интеракција** се подразбира дел од карпестата маса или теренот, каде што се апсорбираат 80-90% од сите напони и деформации предизвикани со приложениот товар или инженерските интервенции. Зоната на интеракција е релативна категорија и е различна кога се проценуваат влијанијата од: ископ, оптоварување од темел, насипување, црпење

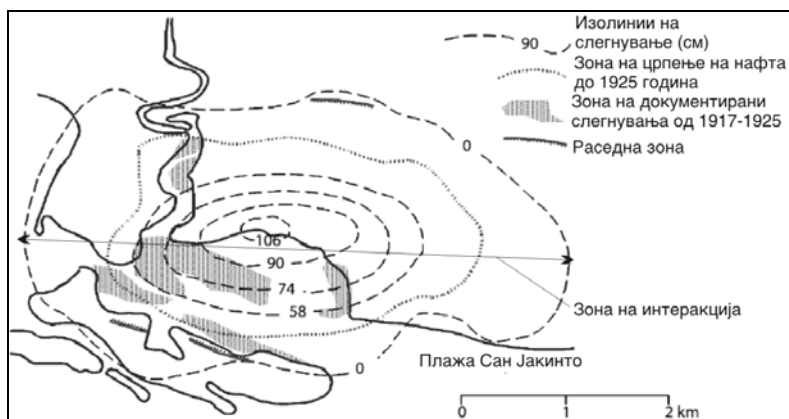
на подземна вода или нафта од подземје, влијанија на водни текови од два соседни сливови и слично (Слика 6.4 до 6.8).



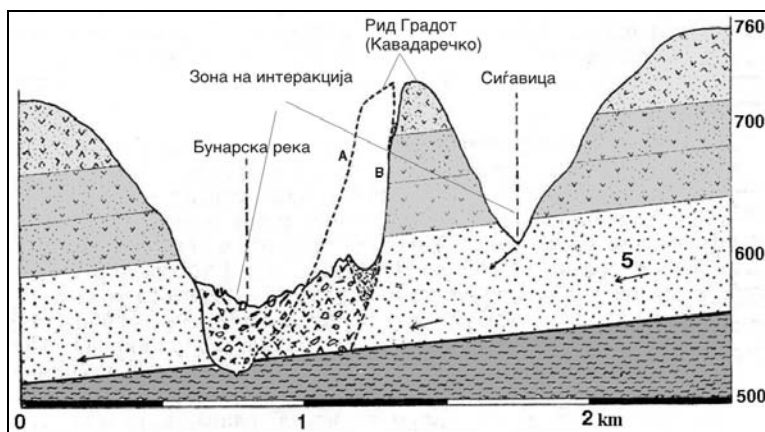
Слика 6.4 Зона на интеракција кај подземен ископ со радиус (а) изразен како промена на напони на оддалеченост (r) од центарот на кружен ископ во подземје



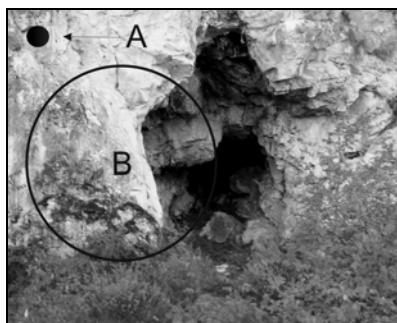
Слика 6.5 Зона на интеракција под темел sameц со ширина В, која се чувствува до длабина од 1,5 од ширината В, презентирана со линии на пригушување на оптоварувањето Р



Слика 6.6 Зона на интеракција поради црпење на нафта во период од 1917 до 1925 година кај нафтеното поле Goose Creek, во САД, изразена како слегнување на површина на терен



Слика 6.7 Зона на интеракција во два соседни речни сливови за ридот Градот - Кавадаречко со појави на подземна суфозија и одрунување на терен



Слика 6.8 Влијание на тип на објект и видот на геолошка структура во карпестиот масив врз зоната на интеракција: А - при изведба на истражна дупнатина со мал дијаметар, пештерата не е во зона на интеракција, В - при ископ на тунел, пештерата е во зона на интеракција

Очигледно е, дека, зоната на интеракција може да се движи од неколку метри, па сè до неколку километри, зависно од инженерскиот проблем кој се анализира и времетраењето на инженерската интервенција.

Во секој случај, при дефинирање на зоната на интеракција во геотехниката, мошне е значајно да се има предвид реалната состојба на карпестите маси во склоп на теренот која, може да се прикаже со определени упростувања во вид на **модел на теренот**.

ПОИМ ЗА ХОМОГЕНОСТ И ХЕТЕРОГЕНОСТ

Хомогеноста, односно хетерогеноста на карпите е својство што го дефинира начинот на нивната градба. По дефиниција **хомогено** е она техничко или геолошко тело, кое во сите свои делови е изградено на ист начин, а сите негови физичко-механички својства се еднакви во секоја негова точка. Во спротивно, телото е нехомогено, односно **хетерогено**. Речиси по правило карпестиот масив е хетероген. Неговата хетерогеност е условена од низа фактори, меѓу кои најчести се:

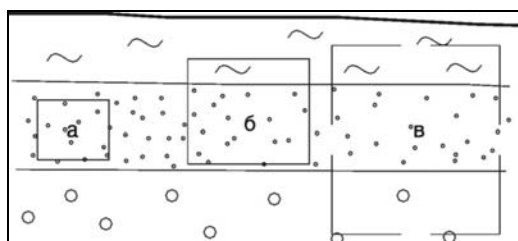
- хетерогеност на составот и физичката состојба, која е условена од: литолошките промени на карпите во масивот, карактерот на нивно појавување (масивност, слоевитост, шкрилавост, набраност), различната испуканост во различните делови, зони на распаѓање, различна водопропустност и сл.;
- хетерогеност на напонската состојба, која е предизвикана со невоедначената распределба на природните напони во масивот на карпите, како и со промените на напрегањата како резултат на градежната активност при изградба на објекти, засечување на падините, подземни ископи, притисок од објектите, вештачките акумулации, промена на хидродинамичкиот режим и др.

Поимот хомогеност или хетерогеност е релативен и во основа зависи од волуменот што се разгледува, бидејќи карпестите маси се одликуваат со различни квалитативни и квантитативни својства со промена на разгледуваниот волумен.

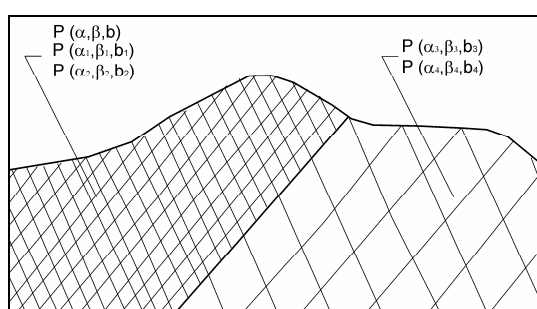
Затоа, во практика кај карпестите маси, од посебно значење е да се дефинира т.н. „**статистичка хомогеност**“ или „**квазихомогеност**“. Под поимот квазихомогена зона се подразбира дел од карпестата маса, која во конкретен случај може да се третира како хомогена по одредено својство. Во таквите зони се очекуваат слични услови за изведба на објектот, ист начин на ископ, исто механичко однесување и др. Примери за различни квазихомогени зони се прикажани на следните слики:



Слика 6.9 Реален изглед на хетероген варовнички масив: I, II, III - квазихомогени зони според состојбата на испуканост на варовникот (фото Бл. Маркоски)



Слика 6.10 Шематски приказ на релативни односи на хомогеноста кај седиментни карпи во зависност од подрачјето на разгледување: а-хомогено подрачје; б и в-хетерогено подрачје



Слика 6.11 Шематски изглед на хетероген масив според состојбата на испуканоста: $P(\alpha_i, \beta_i, b_i)$ - различни параметри со кои се опишуваат пукнатините



Слика 6.12 Две квазихомогени зони по параметар на испуканост и распаднаотост за мермери на патот за браната „Света Петка“

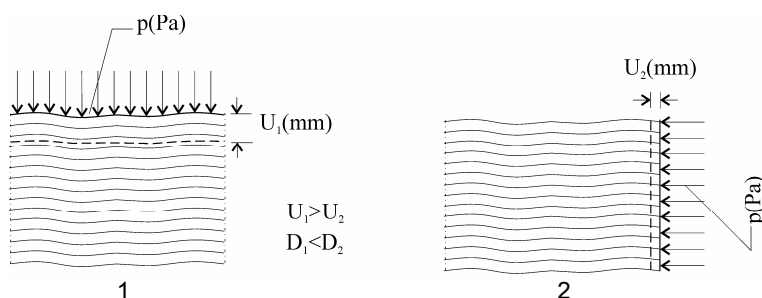
На Сликата 6.9 е прикажан случај на карпест масив со ист петролошки состав (варовник), но според испуканоста јасно се разликуваат многу испуканите и набрани квазихомогени зони I и III и послабо испуканата масивна зона II. На Сликата 6.10 е прикажано влијание на големина на разгледувано подрачје врз хетерогеноста кај седиментни карпи. На Сликата 6.11, пак, се прикажани две

квазихомогени зони од аспект на испуканост, додека на слика 6.12 е прикажан реален изглед на две зони со различен степен на испуканост и распадатост.

Општо правило при геотехничките истражувања е да се тежнее да се изврши колку што е можно попрецизно издвојувањето на квазихомогените зони во карпестите маси по параметри, кои имаат влијание врз проектните решенија.

ПОИМ ЗА ИЗОТРОПИЈА И АНИЗОТРОПИЈА

Изотропно е она тело чии физичко-механички својства се еднакви во сите правци. Кога карпестите маси покажуваат различни физичко-механички својства во различни правци повлечени од една точка, тие се викаат **анизотропни карпи**. Ако, својствата, при тоа, се менуваат и од точка до точка (од зона до зона), карпестата маса е истовремено и анизотропна и хетерогена. Како и кај хомогеноста и овде се воведува поимот **квазиизотропија**, кој е поврзан за волуменот на разгледуваното подрачје. Карпестите маси се по правило изразито анизотропни. Анизотропијата им е условена во прв ред од нивната слоевитост, шкрилавоост и испуканоста (Слика 6.13).



Слика 6.13 Анизотропија на деформабилноста на шкрилести карпи

На сликата е прикажан дијаграм на деформирање кај анизотропна карпеста маса, оптоварена под ист притисок. Во првиот случај оптоварувањето е нормално на рамнините на анизотропија (1), а во вториот случај е во правец на тие рамнини (2). Анизотропијата најчесто квантитативно се изразува како споредба на физичко-механичките или структурните карактеристики во долж определени референтни правци. Според В. В. Ржевскиј и Г. Ј. Новик, се изразува со **коэффициент на анизотропијата**:

$$K_{an} = \sqrt{\frac{X_{11}}{X_1}}$$

Каде што е: X_{11} - показател на некое својство на карпестата маса во правец на анизотропијата,
 X_1 - показател на истото својство во правец нормален на анизотропијата.

Според Џ. Лазаревиќ и Б. Кујунџиќ, анизотропијата се дефинира со т.н. степен на анизотропија со следниот израз:

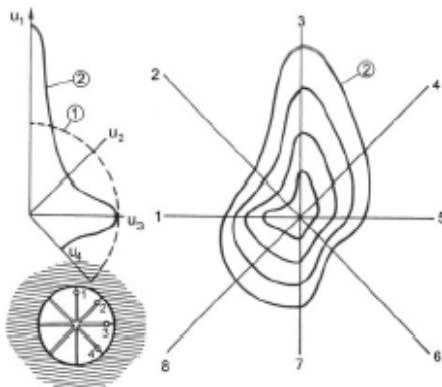
$$1: \frac{X_2}{X_1} : \frac{X_3}{X_1} : \frac{X_i}{X_1}$$

Каде што е: X_1 - мерено својство на карпата во избран референтен правец;
 $X_2, X_3 \dots X_i$ - мерено својство во кој било друг правец.



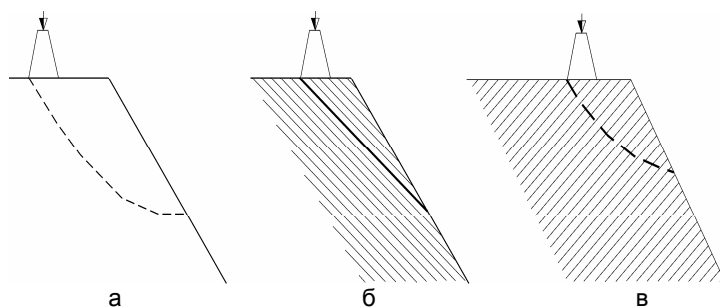
Реален изглед на анизотропен карпест масив од аспект на испуканоста е прикажан на Сликата 6.14, а илустрација на изотропен и анизотропен карпест масив по параметар на деформабилноста, е прикажана на Сликата 6.15.

Слика 6.14 Анизотропија на испуканоста кај карбонатни шкрилци (засек на патот Росоман - Прилеп)



Слика 6.15 Анизотропија на деформабилноста добиена со мерење на деформации во различни правци кај тунел со опит на т.н пробна комора, а - радијален дијаграм на деформации добиени со мерење кај пробна комора со мерни правци; б - дијаграм на деформациите за опит со радијална преса, 1 - изотропна карпеста маса, 2 - анизотропна карпеста маса

На Сликата 6.16 е прикажана анизотропија на смолкнувањето на карпест масив за косини со исти геометриски карактеристики. Од сликата се гледа дека формирање на потенцијалните зони на лом зависат од анизотропијата на карпестата маса. Во случајот (б) насоката на лом се совпаѓа со насоката на анизотропијата по кој е изделена карпестата маса. Бидејќи карпестата маса во ваков случај има најмала јакост на смолкнување, тоа е и најнеповолно од аспект на стабилноста.



Слика 6.16 Анизотропија на смолкнувањето; можност на лом во изотропна (а) и анизотропна (б и в) карпеста маса

Во практика, се среќаваат и други изрази за дефинирање на коефициентот на анизотропија. На пример, по Сомертон и др., 1970, овој коефициент се изразува како процентуална разлика на испитуваните параметри во два одредени правци по следниот израз:

$$A_{2,1} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \cdot 100, (\%)$$

Каде што е: $A_{2,1}$ - коефициент на анизотропија за правците 1 и 2,
 M_1 и M_2 - вредност на испитуван параметар во правците 1 и 2.

ПРИРОДНА НАПРЕГНАТОСТ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

Карпестите маси во природата пред каква било интервенција на човекот се наоѓаат во таканаречена **природна напонска состојба**. Според тоа, тие мораат да се разгледуваат како претходно напрегнати средини со примарни напони кои имаат значајно влијание врз механичките својства, карактеристиките и однесувањето на карпестите маси. Причините за настанување на примарните напони можат да се сведат на следните четири основни дејства: **дејство на гравитацијата, на тектониката, на ерозијата на Земјината кора и на температурни влијанија**.

Процесите на седиментацијата, гравитационото збивање, цементацијата и дијагенезата кај седиментните карпи, кристализацијата од магматските растопи, прекристализацијата кај метаморфните карпи и зацврстувањето на магматските карпи, доведуваат до појава на сложено поле на примарните напони.

Ова поле се манифестира уште во фазата на оформување на карпестиот масив со пукање на карпите, при што се создаваат пукнатини на лачењето, слоевитоста, шкрилавоста и др. За дефинирање на природната состојба на напоните во науката сè уште не постои општо прифатена научна теорија, односно овие прашања се на ниво на хипотези. Наједноставната хипотеза за прогноза на природната напонска состојба е предложена од швајцарскиот геолог **Алберт Хајм** (1878). Тој, врз основа на набљудувања на однесувањето на карпестите маси при ископите на големите тунели во Швајцарските Алпи, донесол одредени заклучоци за примарните напони. Според него, тунелите се наоѓаат под дејство на напон во сите правци, односно дека има состојба слична на хидростатизмот. По ова хипотеза, вертикална компонента на нормалниот напон (σ_v) на одредена длабина (z) зависи само од тежината на надслојот на карпестите маси. За хоризонтална површина на теренот овој напон е еднаков на:

$$\sigma_v = \sum_{i=0}^n \gamma_i z_i$$

Каде што е: γ_i - волуменската тежина на карпестите маси од различни слоеви или видови,

z_i - дебелина на поедините слоеви или разните видови на карпи над разгледуваната точка.

Хоризонталната компонента (σ_h) ја усвоил со иста големина како и вертикалната компонента (σ_v). Според него, коефициентот на бочниот притисок кој се дефинира како однос меѓу хоризонталната и вертикалната коомпонента на примарниот напон приближно е еднаков на единица:

$$\lambda = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \approx 1$$

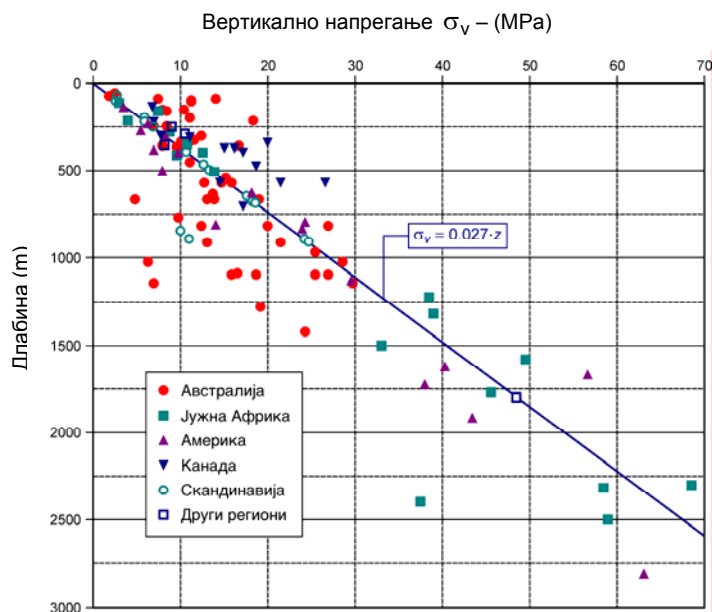
Терцаги (1952) дал свое толкување за природните напони, користејќи ги претпоставките за еластичноста и континуумот на карпестата маса. Според него, карпестата маса се наоѓа во вертикално напонско поле поради дејството на гравитацијата, но покрај вертикалните деформации, карпата се деформира и во хоризонтална насока. Оваа бочна деформација е спречена поради присуството на околната карпестна маса (таканаречен Поасонов ефект). За таков случај теоријата на еластичност дава следен израз за хоризонталното напрегање:

$$\sigma_x = \lambda \sigma_v = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_v$$

Каде што ν - Поасонов коефициент

Ако се прифати ова толкување, големината на хоризонталната компонента на напонот би требала да биде значително помала од големината на вертикалната компонента ($\sigma_h \ll \sigma_v$).

Треба да се спомне дека во практика, сите теории и хипотези се често демантирани со извршените мерења на примарните напони. Накратко, може да се истакне дека ниту еден од теоретските пристапи во геотехниката не може да даде целосно задоволителни решенија за анализата на природните напони во карпестите маси. На пример, на Сликата 6.17 е прикажан сумарен дијаграм на вредноста на вертикалниот напон мерен во различни локалитети во светот (Еверт Хек, 2002). Од сликата може да се согледа дека мерените природни напони значително се разликуваат од пресметаните по хипотезата на Хајм.



Слика 6.17 Дијаграм на зависност: вертикално напрегање (σ_v) - длабина (z) и споредба со практични мерења

Поради сето ова, решенијата на проблемот се бараат во експерименталните истражувања и мерењата на природните напони на самото место во теренски услови. Детали за методите на мерење се предмет на анализа во механиката на карпите.

ДИСКОНТИНУАЛНОСТ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

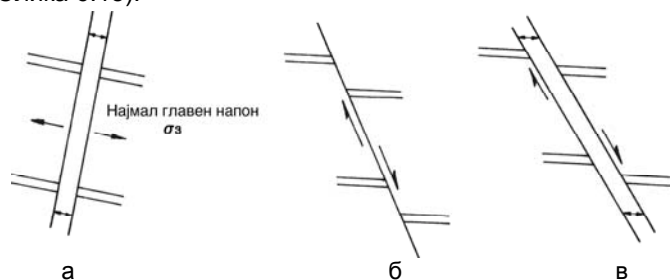
Карпестите маси содржат разни видови на дисконтинуитети, што значи дека треба да се третираат како прекинати или дисконтинуални средини, а не како континуум. Во инженерската геологија како позначајни видови се третираат: испуканоста, слоевитоста, шкрилавоста, цепливоста, лачењето, карстните форми и појави и др. Од механички аспект најзначајно е анализирањето на испуканоста на карпестите маси, од која зависат голем број други својства и состојби.

ИСПУКАНОСТ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

Испуканоста на карпестите маси претставува едно од основните физичко-структурни својства на карпестите маси. Од испуканоста во најголема мера зависат речиси сите физички и механички карактеристики на карпестите маси, нивното однесување при оптоварување и растоварување, хидрауличните својства, можноста за примена на одредени технички интервенции и ефектите од нив, носивоста и стабилноста, техниката и технолозијата на ископ итн. Најчесто во практиката се среќава дефиницијата според австрискиот научник Леополд Милер, кој вели дека под пукнатини „... се подразбираат сите **површини на прекин** во карпестите маси, во должина кои е нарушена сврзаноста на материјалот, независно од тоа дали тие се отворени или затворени, дали се протегаат на десетина метри, или на неколку сантиметри, дали се со рамна или нерамна површина, заполнети со некој вид на материјал или не...”

ГЕНЕТСКА КЛАСИФИКАЦИЈА НА ПУКНАТИНИТЕ

Од механичка гледна точка до појавата на лом во карпестите маси доаѓа во моментот кога силите што дејствуваат врз нив ќе ја пречекорат нивната гранична јакост. Во тој момент доаѓа до прекин на меѓумолекуларните врски и до целосно губење на кохезијата во должина на површини на ломот. При дејство на напрегање во троосен правец се формираат три главни кинематски типови на пукнатини (Слика 6.18).

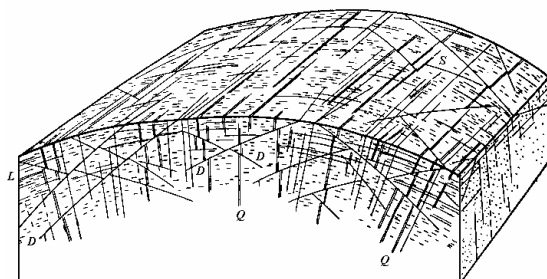


Слика 6.18 Кинематски типови на пукнатини: а - тензиона пукнатина; б - пукнатина на смолкнување; в - комбиниран систем на пукнатина со смолкнување и екстензија

Тензионите или дилатационски пукнатини се пукнатини кои се создаваат во триаксијално напрегање и имаат површина нормална на најмалото главно напрегање σ_3 . Пукнатини на смолкнување се јавуваат во парови системи, кои затвараат агол од 60° и повеќе. По површината на пукнатините на смолкнување се одвива мало поместување во должина на пукнатините создавајќи така тектонски огледала со стрии, каскади и минерална линеација. Комбиниран систем на пукнатини на смолкнување и екстензија се создаваат во услови на дејствување на два механизма. По својот постанок се разликуваат следните генетски видови на пукнатини:

- тектонски пукнатини, кои настанале под влијание на тектонските процеси во Земјината кора. Тие се најзастапени и најважни пукнатини во карпестата маса;
- примарни пукнатини, кои настанале при процесите на лачењето во магматските карпи и дехидратацијата кај седиментните карпи;
- пукнатини на слоевитоста, кои се јавуваат во должина на површините на слоевитоста кај седиментните карпи;
- пукнатини што настанале со процесите на физичко-механичкото распаѓање на карпестите маси, сврзани за мали длабини (15-30 m) и со неправилна форма;
- гравитациски пукнатини, кои настанале во должина на падините и косините предиспонирани за појава на одрони, свлечишта и слични процеси;
- пукнатини, кои настанале како резултат на ефектот на ослободување на напрегањата во карпестите маси при оформувањето на ерозионите врезови (речни долини, суводолици и слични морфолошки форми на теренот). Се јавуваат во должина на падините и дната на речните долини и обично се паралелни со овие морфолошки појави.

Пукнатините ретко кога се јавуваат осамени. По правило се јавуваат низа помали пукнатини, со повеќе или помалку правилна местоположба во просторот. Множество на паралелни или субпаралелни пукнатини чинат **еден систем** или **фамилија на пукнатини** (Слика 6.19).



Слика 6.19 Систем на пукнатини во гранитски интрузив (според Х. Клос):
 S - надолжни пукнатини,
 Q - напречни пукнатини,
 L - субхоризонтални пукнатини,
 D - дијагонални пукнатини

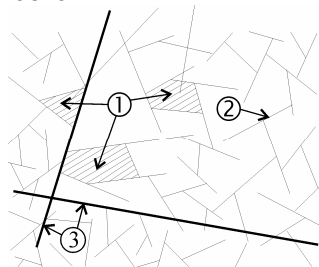
Сите пукнатини од едно подрачје, кои можат да припаѓаат на еден или на повеќе системи сочинуваат **пукнатинска мрежа**. Испуканоста ако се одликува со голем број на блиско поставени површини на пукнатините, се вика **пукнатинска зона**, која обично може да се апроксимира во една површина. Пукнатинските мрежи пресекувајќи го карпестиот масив во различни правци, формираат во него одделни парчиња - блокови со различна форма и големина. Тие на масивот му даваат специфична структура која е наречена **блоковска структура** (Слика 6.20).



Слика 6.20 Испукана мермерна карпеста маса со блоковска структура формирана од три приближно ортогонални пукнатински системи (мермери на засек од патот за с. Здуње, фото В. Ангелов)

Пукнатини со ограничена должина и незнатен отвор, кои не се протегаат низ целото набљудувано

подрачје, се викаат **прснатини**. Деловите на карпестата маса, кои не се наполно одвоени, а се држат меѓусебно преку монолитна маса, се викаат „**материјални мостови**“.



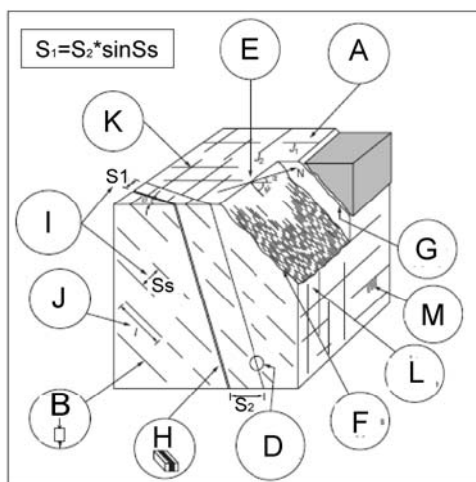
Слика 6.21 Шематски приказ на дисконтинуален карпест масив: 1 - монолит, 2 - неконтурирани, прекинати пукнатини со материјални мостови, 3 - континуирани непрекинати пукнатини

ПАРАМЕТРИ И КЛАСИФИКАЦИЈА НА ИСПУКАНОСТА

Во геотехничката практика се развиени методи за квантитативна класификација на испуканоста. Во овој поглед постојат препорачани методи на класификација од Комисијата за стандардизација на лабораториски и теренски испитувања на ISRM (International Society for Rock Mechanics). Приказ на параметрите со кои може да биде окарактеризирана карпестата маса се прикажани во Табелата 6.1 и Сликата 6.22

Табела 6.1 Илустрација на основни параметри на дисконтинуална карпеста маса

Квантитативен опис на дисконтинуитети во карпеста маса				
Опис на карпест материјал	Опис на дисконтинуитети	Заполнител	Опис на карпест масив	Состојба на подземна вода
тип на карпа; јакост на пукнатински ѕид; распаднаост;	тип; ориентација; рапавост; отвор;	вид на наполнител и ширина	растојанија; континуитет; број на пукнатински системи; големина и форма на блокот	влажење, доток на вода низ пукнатини, притисок од вода



Слика 6.22 Параметри за опис на дисконтинуална карпеста маса според ISRM, 1981:
 А - тип на карпа; В-јакост на пукнатини;
 D - тип на дисконтинуитет (слоевитост, расед, шкрилавост и сл).
 Е - ориентација со насока на пад и паден агол; F - рапавост; G - отвор;
 H - вид на наполнител;
 I - растојание; J - континуитет;
 K - број на пукнатински системи;
 L - големина и форма на блок;
 M - влажење на вода по пукнатина.

Треба да се истакне дека дисконтинуалните карпести маси имаат параметри со кои се опишуваат **поединечните пукнатини, пукнатинските системи** и целиот карпест масив.

Параметри и класификација на поединечни пукнатини

Пукнатините како поединечни појави во карпите се дефинирани ако се познаваат повеќе карактеристики како што се:

- генетски тип на пукнатините;
- положба во просторот;
- ориентација;
- морфологија изразена преку форма и рапавост на пукнатинските површини;
- димензии (должина и просечен отвор);
- вид и карактеристики на заполнителот;
- состојба на карпата околу пукнатините;
- јакост на пукнатинските ѕидови.

Должината на пукнатините се мери по нивните траси. Траса претставува пресек на пукнатинската површина со разгледуваната површина на карпестата маса, без оглед на мереното подрачје кое се третира. Должината на пукнатините има значајно влијание на степенот на изделеноста на карпестите маси и на привилегираните патишта за движењето на подземните води. Според овој параметар постојат многубројни класификации, а една од почесто применуваните ги користи следните термини:

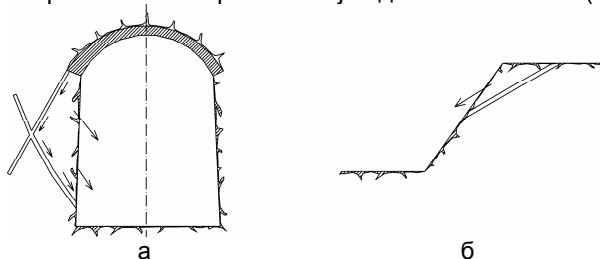
- дефекти на кристалната решетка, со микроскопски димензии;
- микропукнатини или прснатини изразени во „mm“ до „cm“ димензии;
- макропукнатини, со условна должина меѓу 0,10 m и 100,0 m;
- големи пукнатини, со условна должина меѓу 100 m и 10,0 km;
- големи тектонски ломови (дислокации), како пукнатини од регионален карактер со должина од десетина до стотина километри.

Леополд Милер предложил практична класификација врз основа на релативна поделба на пукнатините, споредено со димензиите на објектите:

- При $l \leq L/50$ се работи за мала пукнатина;
- При $l \approx L/5$ се работи за голема пукнатина;
- При $l \geq L$ се работи за многу голема пукнатина.

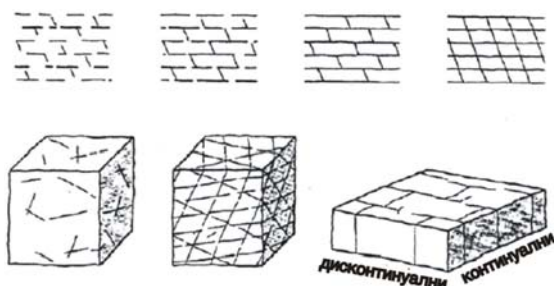
Каде што е: L - димензија на објектот при контактната површина со карпата,
 l - должина на пукнатината

Во секој случај, должината на пукнатините се смета како еден од најзначајните параметри на карпестиот масив од кој во голема мера зависи стабилноста на површината на теренот и кај подземните ископи (Слика 6.23).



Слика 6.23 Механичка улога на големите пукнатини: а - кај подземен ископ; б - кај косина.

Очигледно дека пукнатините кои, кај столбови од некоја мостовска конструкција, би се сметале како многу големи, кај браните би се класифицирале во мали пукнатини. Големите пукнатини најчесто се поврзани за рамнините на слоевитост, шкрилавост, подолги раседи и сл. Кај косините во карпа или кај фундаментите кај лачните брани, од најголемо значење е да се процени степенот на континуалност на пукнатините, посебно кога се неповолно ориентирани од аспект на стабилноста.



Слика 6.24 Приказ на континуалност на различни системи на пукнатини според ISRM - 1978

Големината на отворот или на **ширината на пукнатината** претставува меѓусебно растојание на сидовите на пукнатината, мерено нормално на пукнатинската површина. Просторот меѓу сидовите е заполнет со воздух, разен материјал или со вода. Големината на отворот е различна кај различни пукнатини и главно зависи од нивниот постанок. Во механички поглед, овој параметар има влијание врз подвижноста на монолитните делови во карпестата маса, а со тоа и на нејзината деформабилност и на степенот на водопропусноста. Под **состојба на сидовите на пукнатините** се подразбираат физичко-хемиските промени, кои се застапени во камената супстанција непосредно до сидот на пукнатината. Изгледот и карактеристиките на **сидовите на пукнатините** има големо механичко значење, пред сè на параметрите на јакоста на смолкувањето. Обликот на пукнатините или нивната **морфологија** се разгледува најчесто во метарско до дециметарско подрачје на пукнатините, додека рапавоста на ниво од сантиметарско до дециметарско подрачје. Според ISRM, пукнатините по овај параметар се делат на класи, подкласи и типови (Слика 6.25).

Класа	Подкласа	Тип	Шематски приказ
Рамни	Мазни	I	
	Рамни	II	
	Рапави	III	
Брановидни	Мазни	IV	
	Рамни	V	
	Рапави	VI	
Скалести	Мазни	VII	
	Рамни	VIII	
	Рапави	IX	

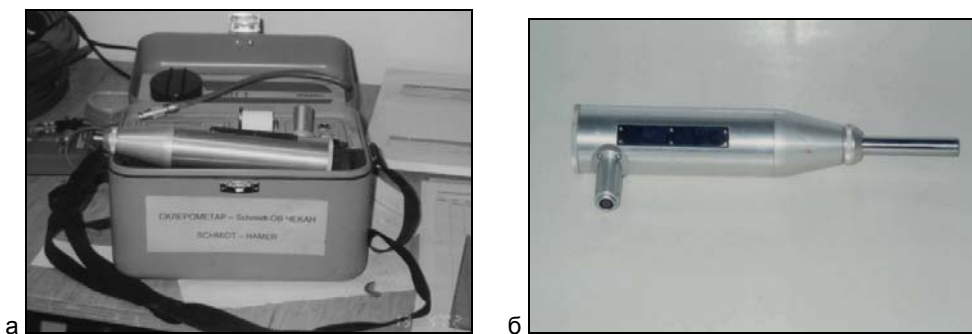
Слика 6.25 Класификација на пукнатините според нивната морфологија (комисија за стандардизација на ISRM-1978)

Во овој контекст, многу е значајна морфологијата на пукнатинските површини, од која зависи подвижноста на блоковите. Влијанието на овој параметар доаѓа до израз кога пукнатините се без наполнител. Ако ориентацијата на потенцијалниот правец за смолкнување е позната, **рапавоста** може да биде измерена по должина на линеарни профили мерени паралелно со тој правец. Целта на мерење на **рапавоста** е да се овозможи проценка на јакоста на смолкнување и ширењето на пукнатините при различни нивоа на оптоварување. Под **пукнатински наполнител** се подразбираат материјалите со кои пукнатината е целосно или делумно заполнета или со кои се обложени ѕидовите на пукнатините. Овој материјал може да биде донесен со подземна вода и исталожен во пукнатината или пак да биде трошен материјал на карпестата маса кој настанал при формирањето на самата пукнатина. Најповолно е кога наполнителот е искристализиран од хидротермалните раствори и е составен од кварц, калцит, лимонит и др. Во ваквите случаи поволно дејствува во механички поглед, односно како „арматура“ ги поврзува блоковите. Од видот и карактеристиките на пукнатинскиот наполнител зависи: подвижноста на поедините монолити, деформабилноста, јакоста на смолкнувањето, водопропустливоста, погодноста на карпестата маса за примена на технички мерки за подобрување и друго. Нормалното растојание меѓу пукнатинските ѕидови е дефинирано како **ширина** на наполнителот, а кога нема наполнител, се зборува за **отвор** на незаполнетите пукнатини. Со оглед на големиот дијапазон во кој се јавуваат различните видови на наполнителот, пукнатините можат да покажуваат различна јакост на смолкнување, деформабилност и водопропустност.

За испитување на **јакоста** на пукнатинските ѕидови се користи т.н. Шмитов чекан (Слика 6.26). Според Милер 1965, јакоста на пукнатините се изразува со помош на следната формула:

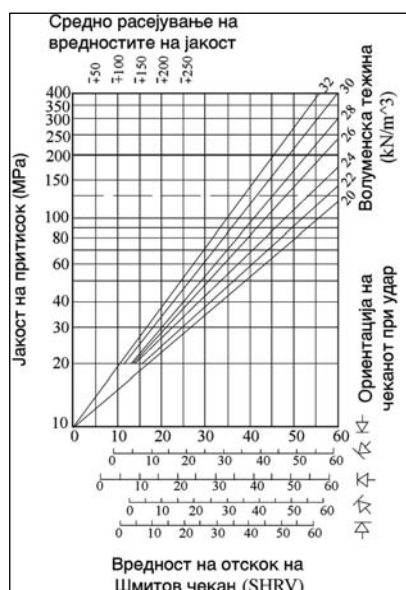
$$\log_{10} JCS = 0,0008SHRV * \gamma + 1,01$$

Каде што е: JCS (Joint Compression Strength) - јакост на пукнатински ѕид;
SHRV (Schmidt Hammer Rebound Value) - вредност на отскок која се мери со Шмитов чекан;
 γ - волуменска тежина на пукнатинските ѕидови.



Слика 6.26 Изглед на Шмитов чекан за испитување на јакоста на пукнатински ѕидови (а) и детал на дел од инструментот со кој се врши притискање врз карпата (б)

Јакоста може да се дефинира и со помош на дијаграм, според Сликата 6.27.



Слика 6.27 Дијаграм за проценка на јакоста на пукнатинските сидови преку познати вредности на SHRV и волуменската тежина

Ориентацијата на дисконтинуитетите во просторот е многу значајна карактеристика. Се опишува со падниот агол и со азимутот (насоката) на пад мерено во однос на правецот север. Од ориентацијата на дисконтинуитетите во однос со инженерскиот објект, во најголема мера зависи можноста за појава на нестабилност. Според **големината на падниот агол** се издвојуваат:

- хоризонтални до субхоризонтални пукнатини; 0-10°
- пукнатини со благ пад; 10-30°
- пукнатини со среден пад; 30-60°
- стрмни пукнатини; 60-80°
- субвертикални до вертикални пукнатини 80-90°

Параметри и класификација на системи на пукнатини

Терминот систем на пукнатини (анг. **joint set**) според оригиналната дефиниција на Сеџвик се однесува на група паралелни пукнатини со приближно исти карактеристики. Во геотехниката за ваква група пукнатини, која има и иста старост и начин на постанок, се користи и терминот **фамилија на пукнатини**. Основен показател на еден систем на пукнатини е нивната густина (G) и средното растојание (L_s). Средното или просечното растојание меѓу пукнатините од еден систем се дефинира на определена мерна должина (L), која е поставена нормално на протегањето на пукнатините на следен начин:

$$L_s = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{n}$$

Каде што е: L₁ до L_n - поединечни растојанија од една до друга пукнатина;

n - број на пукнатини во мерната база.

Реципрочната вредност на средното растојание ја дефинира густината на пукнатините:

$$G = 1/L_s (\rho / m')$$

Густината вообичаено се сведува на мерна база од еден метар. Кога мерната база е поставена во било кој правец кој не е нормално поставен во однос на протегањето на пукнатините, секогаш се добиваат различен број пресеци за иста мерна база (x₁ до x_n). Ова се нарекува **ефект на пресекот**.

Растојанието меѓу пукнатините во голема мера ја предопредедува формата на поединечните блокови и е значајна за голем број други аспекти. Начинот на нивното мерење е прикажан на Сликата 6.28.



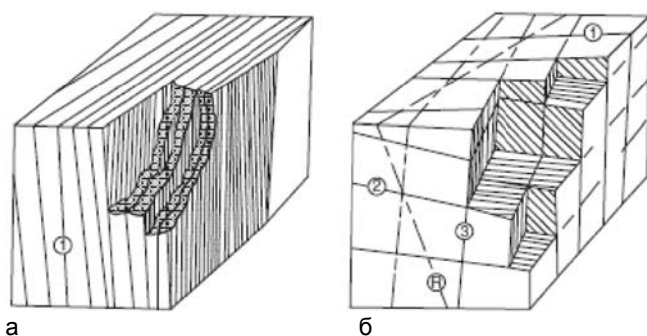
Слика 6.28 Приказ на еден систем на пукнатини со одреден паден агол (α) дефинирани со ширината на отворот (b)

Параметри и класификација на пукнатинската мрежа

Анализите на карактеристиките кај поединечните пукнатини и на системите на пукнатини се основа за дефинирање на вкупните карактеристики на пукнатинската мрежа (склоп) на карпестиот масив. За таа цел се дефинираат следните параметри:

- бројот на застапени системи;
- појавата на поединечни или **непенетративни** пукнатини со посебно значење кога имаат значителни должини;
- меѓусебните просторни односи на застапените системи;
- вкупната бројност односно зачестеност на сите пукнатини во пукнатинската мрежа.

Механичкото однесување и изгледот на карпестиот масив доминатно е во зависност од **бројот на пукнатинските системи**, кои се пресекуваат меѓу себе (Слика 6.29).



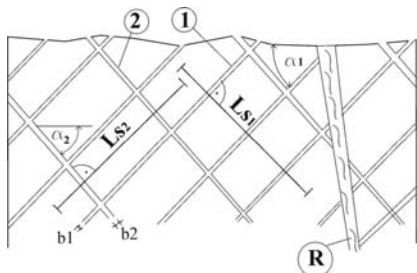
Слика 6.29 Приказ на број на застапени системи за различни карпести маси:
а - анизотропна карпеста маса со еден систем на пукнатини (1);
б - блоковски изделена изотропна карпеста маса со три системи и расед (R)

Комисијата за стандардизација на ISRM ги предлага следните категории според овој параметар:

- I - масивна карпа, со ретки случајни пукнатини;
- II - еден пукнатински систем;
- III - еден пукнатински систем плус случајни пукнатини;
- IV - два пукнатински системи;
- V - два системи плус случајни пукнатини;

- VI - три системи;
- VII - три системи плус случајни пукнатини;
- VIII - четири или повеќе системи;
- IX - здробена карпеста маса до степен на почва.

Понекогаш е многу значајно ако постојат долги **поединечни** пукнатини, кои не припаѓаат на кој било систем. Тогаш, поединечните пукнатини се регистрираат одделно, а за нив се дава детален поединечен опис (Слика 6. 30).



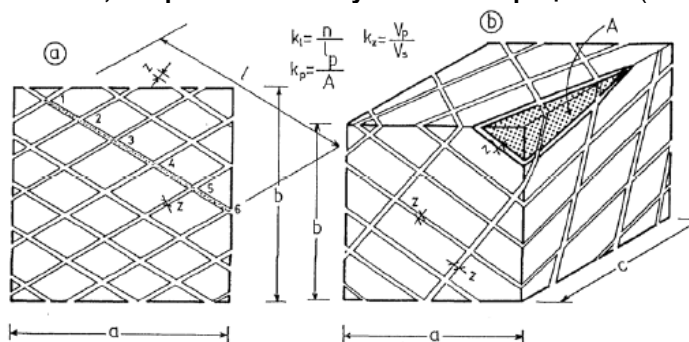
Слика 6.30 Карпест масив со два системи на пукнатини дефинирани со нивните падни агли (α_1 и α_2), отвори (b), средни растојанија (L) и присуство на голема поединечна пукнатина, односно расед (R)

Показатели на испуканоста на карпестата маса

За целосно дефинирање на состојбата на испуканост во практиката се користат два основни термини и тоа:

- > степен на испуканост кој покажува до кој степен е карпестата маса изделена со пукнатини, а се дефинира со зачестеноста на пукнатините и на големината на блоковите;
- > начин на испуканост, дефиниран со меѓусебните просторни односи на пукнатините и формата на монолитот (блокот), кој е омеѓен со пукнатини;

Постојат повеќе начини за квантитативно искажување на испуканоста преку **линиски, површински и волуменски коефициенти** (Слика 6.31).



Слика 6.31 Шема за пресметка на линиски, површински и волуменски коефициенти на испуканост

Стини прв го дефинирал линискиот **коефициент на испуканоста** како број на пукнатини на 1m должина од разгледуваната мерна основа (откриена карпеста маса, делница на тунел и сл.), понекаде наречен и густина, интензитет или зачестеност на испуканоста.

$$k_l = n/l \quad [m^{-1}]$$

- Каде што е: k_l - линеарен коефициент на испуканоста;
- n - број на пресек на пукнатини по должина на мерната основа;
- l - должина на мерната основа.

Реципрочната вредност на овој коефициент дава увид во меѓусебно средно растојание на пукнатините :

$$b_{sr} = \frac{l}{n} = \frac{1}{k_l}$$

Врз база на **линеарниот коефициент** во геотехниката често се применува класификацијата по Л. Милер, каде карпестата маса се дефинира на следен начин:

- ретка испуканост $0,1 < k_l < 1 \text{ m}^{-1}$
- средна испуканост $1 < k_l < 10 \text{ m}^{-1}$
- честа испуканост $10 < k_l < 100 \text{ m}^{-1}$
- здробена до трошна карпеста маса $100 < k_l < 1000 \text{ m}^{-1}$

Најголем недостаток на линиските коефициенти е што се однесуваат само на еден правец, па некритичка примена може да донесе до забуни за реалната состојба на испуканост кај карпи со изразена анизотропија.

Планарниот или **површинскиот коефициент** на испуканост (k_p) се дефинира како однос меѓу сумарната површина на пукнатинските отвори и вкупната површина, која се разгледува, изразено во проценти.

$$k_p = (p/P) \cdot 100 \text{ (\%)}$$

Каде што $e: p = \sum l \cdot z$ -сума на должините (l) помножена со големина на отворот (z)
 $P = a \cdot b$ - разгледуваната површина на карпестата маса

По овој коефициент на испуканоста се дава следната класификација на испуканоста (Л. И. Неиштат):

- слабо испукани карпи $k_p < 2\%$
- средно испукани карпи $k_p = 2 - 5\%$
- многу испукани карпи $k_p = 5 - 10\%$
- значително испукани карпи $k_p = 10 - 20\%$
- исклучително многу испукани карпи $k_p > 20\%$

Планарниот коефициент потешко се определува кај карпести маси со променлива форма и големина на пукнатинските отвори и не може да ги земе предвид влијанијата на субпаралелните пукнатини со разгледуваната површина на карпестата маса.

Волуменскиот коефициент на испуканоста k_v (или пукнатинската порозност) се дефинира со процентуалниот удел на волуменот на пукнатините, шуплините и другиот празен простор како резултат на испуканоста, во вкупниот волумен на разгледуваната карпеста маса.

$$k_v = (V_p / V) \cdot 100 \text{ (\%)}$$

Каде што $e: V_p = \sum A \cdot Z$ - волумен на просторот меѓу пукнатинските сидови во разгледаната карпеста маса (A - површина на пукнатините);
 $V = a \cdot b \cdot c$ - волумен на разгледуваната карпеста маса.

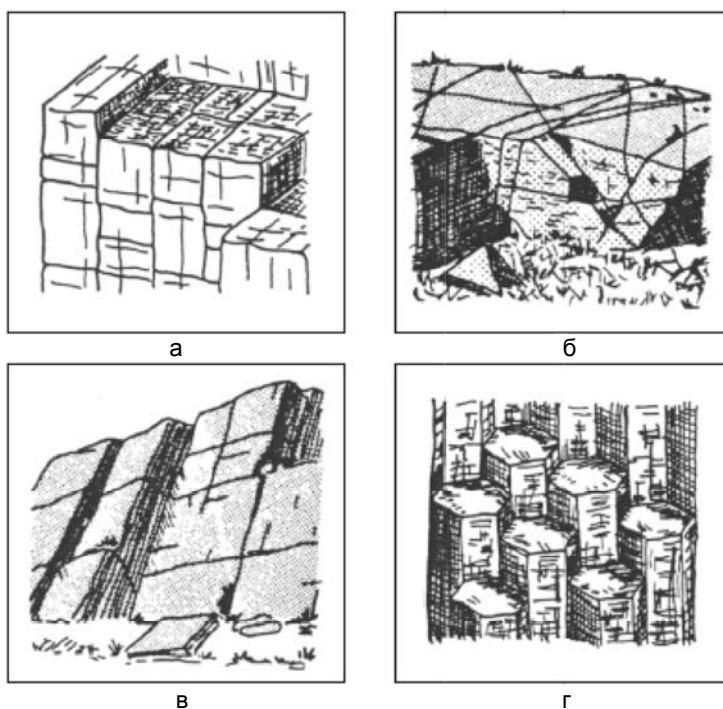
Треба да се има предвид дека ниту еден од споменатите коефициенти на испуканост (k_l , k_p , k_v) не ја карактеризираат и вкупната порозност на карпите („ n^* “). Со нив не може да се земе целосно предвид порозноста на карпестите маси меѓу пукнатините, како ниту порозноста на материјалот, кој се јавува како наполнител во пукнатините.

Во практиката се користи и **коефициент на оштетеноста** на карпестата маса. Дефиниран е како сооднос меѓу брзината на простирање на еластичните надолжни бранови низ карпестата маса (V_{pt}), определена преку геофизичко-сеизмичките методи и брзината низ монолитен дел на истата карпа (V_{pm}), која е определена на пробно тело во лабораторија:

$$\xi = \frac{V_{pt}}{V_{pm}} \leq 1$$

Големината на блокот и на неговата форма имаат многу големо значење за однесувањето на карпестиот масив. Бројот на системи и нивните меѓусебни просторни односи ја дефинираат формата на блокот, која може да биде квадратна, ромбоедарска, тетраедарска, плочеста и слично. Големината на блокот може да биде опишана во вид на индекс на големината на блокот (анг. **block size index-Jb**), кој на некој начин може да се поистовети со средните меѓупукнатински растојанија. Во пракса се користи и еден индиректен показател, дефиниран како вкупен број на пукнатини во единица волумен од карпест масив (анг. **volumetric joint count-Jv**).

Најчесто правилните форми на блокови се среќаваат кај седиментните карпи. Од **меѓусебни просторни односи** на застапените системи зависи начинот на деформирање на карпестиот масив и нивниот изглед (Слика 6.32).



Слика 6.32 Шематски приказ на формата на блоковите: а - блоковита карпеста маса; б - нерегуларно развиена испуканост; в - плочеста испуканост; г - столбеста испуканост (ISRM, 1981)

Карпест масив што е составен од поголеми блокови обично покажува помала деформабилност. Кога блоковите се зглобени, кај подземните работи се овозможува подобро формирање на отворот на ископот, кај косините повисока стабилност и слично. Моќностите за ископ кај каменоломите и ефектите од минирањето се исто така во голема зависност од природната големина на блоковите.

Во практиката, како показател за степенот на испуканост многу често се користи т.н. RQD параметар (анг. Rock Quality Designation). Карпестите маси се делат во неколку категории (Табела 6.2).

Табела 6.2 Класификација по параметар RQD според Дон Дир, 1974

RQD (%)	Категорија и опис на карпеста маса
0-25	многу слаба
25-50	слаба
50-75	задоволителна
75-90	добра
90-100	одлична

Во оригинал, според авторот, овој параметар се дефинира со помош на следната формула:

$$RQD = (L_p / L_t) \cdot 100 \text{ [%]}$$

Каде што е: L_p - збир на должина на парчиња од јадра кај истражни дупнатини подолги или еднакви на 10 cm;
 L_t - должина на интервал на дупчење.

Оваа формула се користи за случаи кога има истражни дупнатини, каде што се вршат детални мерења на должините на парчињата на јадрото (Слика 6.33).



Слика 6.33 Пример за карпеста маса со RQD = 60%, јадро од истражна дупнатина за брана Света Петка (Матка II) фото З. Илијовски

Кога не постојат истражни дупнатини, овој параметар може да се определи на терен според методологијата на Палстром, 1983:

$$RQD = 115 - 3.3 J_v$$

Каде што е: $J_v = \sum G_i$ - вкупен број на пукнатини во единица волумен (p/m^3).

Хадсон и Прист извршиле голем број статистички анализи и ја предложиле следната формула за пресметка:

$$RQD = 100 (0.1 \lambda + 1) e^{-0.1 \lambda}$$

Каде што е: λ –линиски коефициент на испуканост (p/m)

Според методологијата на Хадсон и Прист, секогаш кога средното растојание меѓу пукнатините е поголемо од 30 сантиметри, теоретски параметарот има поголема вредност од RQD = 95%.

Според укажувањата на Дон Дир, дефинирањето на овој параметар мора да биде внимателно, а посебно треба да се внимава ако интервалот на дупчење за

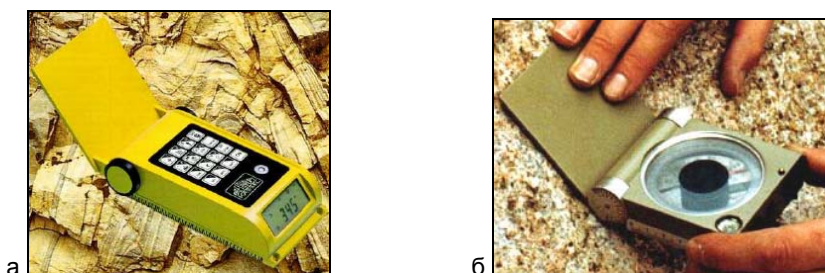
кој се вршат мерењата припадне во две квазихомогени зони. Понекогаш се можни големи грешки за карпеста маса со сличен квалитет. Како на пример, сите димензии на парчињата од карпата ако се еднакви на 11 cm, според горната формула $RQD=100\%$. За карпеста маса со приближно ист квалитет, ако сите димензии на парчињата хипотетички се еднакви на 9 cm тогаш $RQD = 0\%$.

Графичко претставување на елементите на дисконтинуалноста

Во текот на теренските истражувања се собираат огромен број податоци за структурните елементи на карпестите маси. Правилната интерпретација на собраните геолошки податоци овозможува дефинирање на условите за изведба и експлоатација на објектите од рударски и од градежен карактер. Најзначајните структурни елементи, кои се собираат при теренските истражувања се: **слоевитоста, фолијацијата, линеацијата, оските на малите набори, кливажот, раседите, позначајните пукнатински системи** и др.

Со детаљното набљудување и проучување на откриените делови од карпите (изданоците) се собираат податоци за морфологијата на планарните и линеарните структури, нивната просторна ориентација и др. Просторната ориентација на планарните и линеарните структури е дефинирана со т.н **елементи на пад**. Под овој поим се подразбираат: **азимутот** на падната насока на структурниот елемент дефиниран со аголот зафатен со правецот север, **падниот агол** на структурниот елемент и **насоката на протегање** на структурниот елемент.

За дефинирање на ориентацијата на секој структурен елемент во просторот, доволно е мерењето на падната насока и падниот агол, кои скратено се означуваат со ЕП (скратеница од елементи на пад). На пример, рамнина со насока на пад кон север има азимут 0° , кон исток 90° , кон југ 180° , кон запад 270° , кон северозапад 315° итн. Рамнина со падна насока кон север, која зафаќа паден агол под 45° со хоризонтала, се означува со бројката $ЕП = 0/45^\circ$, со падна насока кон југ и паден агол под 20° со хоризонтала, со бројката $ЕП=180/20^\circ$ итн. Елементите на падот на планарните и линеарните структури се мерат со т.н. **геолошки компас**. За разлика од географскиот компас, на геолошкиот компас исток лежи на западната страна, а запад на источната страна. Компасот се состои од: куќиште, бројна азимутна скала прикажана во круг поделен на 360° со централна игла на која лежи магнетната стрелка (Слика 6.34).

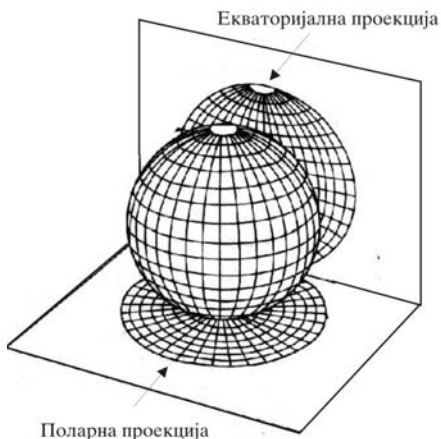


Слика 6.34 Видови геолошки компаси: а - дигитален компас, б -тип Clag;

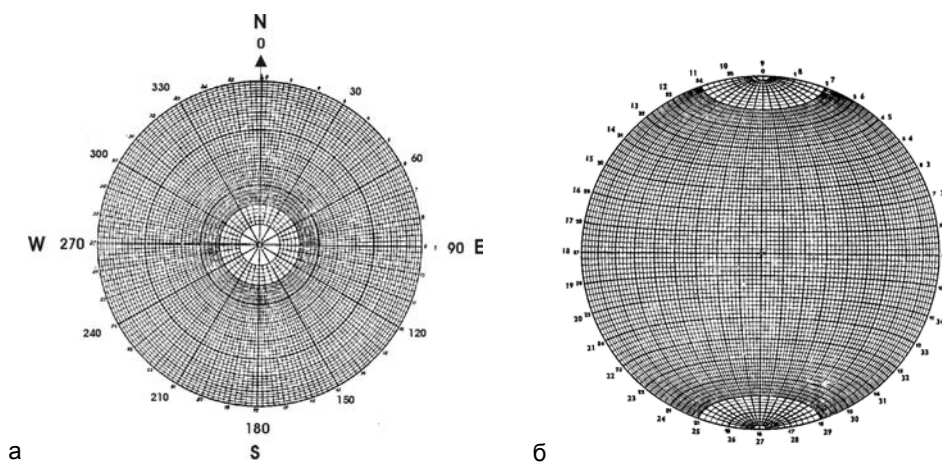
Повеќето геолошки компаси се опремени и со направа, која се вика клинометар за мерење вертикални агли, огледалце за визирање и други елементи.

Собраните податоци за структурните елементи се прикажуваат на геолошките и инженерскогеолошките карти. Во практиката се јавува потреба и од нивна дополнителна обработка. За таа цел посебно е погодна обработката на структурните елементи во т.н **стереографска проекција**, која е всушност проекција на една топка во хоризонтална или вертикална рамнина (Слика 6.35). Проекцијата на топката во практиката најчесто се врши на т.н. **Шмитова мрежа**, која е составена од т.н. екваторијална и поларна мрежа (слика 6.36). При тоа,

вообичаено за проекција се користи само долната или горната полутопка. Детали за принципите на приказот на рамнини на слоевитост, фолијација, линеација, раседи и други елементи, детаљно се објаснети во сите учебници за структурна геологија или геолошко картирање и во Анексот 4 на книгата.



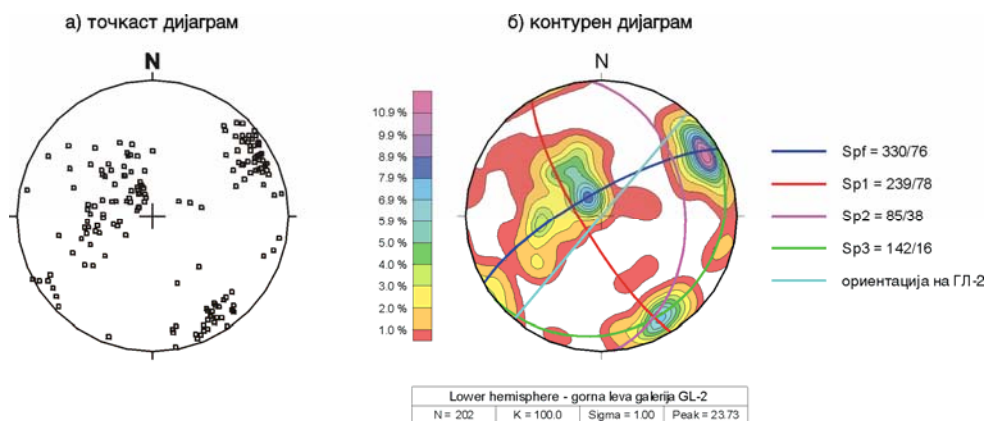
Слика 6.35 Проекција на топката во хоризонтална и во вертикална рамнина



Слика 6.36 Поларна (а) и екваторијална (б) Шмитова мрежа

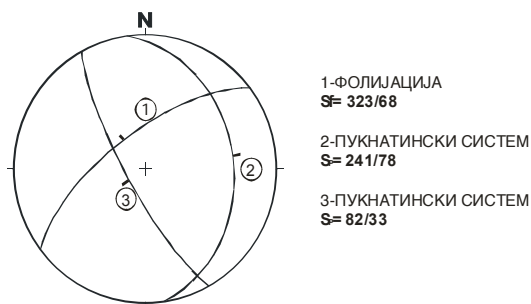
На терен бидејќи се собираат голем број податоци, во практиката тие се анализираат статистички. Целта е да се дефинираат најчестите и репрезентативните вредности за елементите на пад на кој било структурни елементи. Ако на дијаграмите се анализира само еден вид податоци (на пример само пукнатините), се добива **парцијален дијаграм**. Ако се нанесуваат повеќе видови податоци (на пример фолијација и пукнатински системи), тогаш се добива **колективен дијаграм**.

Со нанесување на т.н. **полови на рамнинските елементи (планарите)** или **линеарните елементи (линеарите)** се добива точкест дијаграм, а кога се издвојат изолинии на густина се добива контурен дијаграм, на кој се прикажуваат подрачјата на класи со различна густина на застапеност на структурните елементи (Слика 6.37).



Слика 6.37 Контурни дијаграми на пукнатини (Sp) и фолијација (Spf) во галерији на левиот брег од браната „Света Петка“

Ако на контурниот дијаграм, се издвојат зоните на максимална концентрација на половите на рамнините, може да се добијат репрезентативни **статистички (меродавни) вредности** за конкретно хомогено тектонско подрачје. Статистичките вредности се прикажуваат најчесто со трасите на рамнините (Слика 6.38).



Слика 6.38 Дијаграм на траси на планарни површини (рамнини на фолијација и пукнатински системи) за зона на преградно место на браната „Света Петка“ - Скопско

Податоците за трасите на пукнатините прикажани на стереографската проекција можат да се искористат за решавање на низа метрички задачи во: геотехниката, структурната геологија и други дисциплини. Во геотехниката мошне често овај начин на приказ се користи кај решавање на проблеми на стабилноста на косините, одредување на форма на блоковите, проблеми во тунелоградбата и други анализи.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Кои се основните својства и состојби на карпестите маси?
- Која е основна разлика меѓу почва, монолит, карпеста маса и терен?
- Што е зона на интеракција?
- Како најчесто се дефинира карпестата маса во реални теренски услови, а поради нивните реални својства и состојби?
- Што подразбираш под поимот ефект на размер?
- Што е хомогеност, а што хетерогеност?
- Што е изотропија, а што е анизотропија?
- Што подразбираш под терминот квазихомогеност?
- Наброј ги начините на квантитативно определување на анизотропијата?
- Што е испуканост и со кои основни параметри може да се дефинира?
- Објасни што треба да се познава кај една испукана карпеста маса според постапката на ISRM?
- Објасни на кои начини може да се пресмета параметрот RQD?
- Со што се мерат елементите на пад на геолошките структури?
- Како може да се претстават структурите во просторот?
- Што подразбираш под терминот контурен дијаграм и што се статистички елементи на пад на структурите?

7 ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

ВОВЕД

За квантитативна проценка на можностите за употреба на карпите во градежништвото, дефинирање на условите за изведба во нив и дефинирање на нивното механичко однесување, во геотехниката се користат голем број технички својства, кои се делат на: **физички, механички и технолошки својства**. Генерално, техничките својства многу зависат од петрографските својства иако меѓусебното влијание најчесто може да се согледа само на индиректен начин (Слика 7. 1).



Слика 7.1 Шема за проценка на влијанија меѓу петрографски и технички својства на карпите

Познавањето на индиректните влијанија на петрографските врз техничките својства овозможува правилно програмирање на истражните теренски и лабораториски испитувања и дефинирање на меѓусебни зависимости меѓу поедините параметри.

ФИЗИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

Физичките својства се природни карактеристики на карпите со чија помош се врши нивно опишување на квантитативен начин. Во најголема мерка зависат од минералошкиот состав, структурата и текстурата на карпестата маса. Од инженерска гледна точка значајни се голем број физички својства како: гранулометриски состав, специфична тежина, волуменска тежина, порозност, влажност, водопропустливост, збиеност, капиларност, пластичност, лепливост, бабрење, собирање, топлотни и акустични својства на карпите и др.

ГРАНУЛОМЕТРИСКИ СОСТАВ

Гранулометрискиот состав се дефинира како процентуално учество на зрна со одреден дијаметар изразено во тежински односи во однос на вкупната почвена маса. Најчесто се претставува графички во вид на т.н. **криви на гранулометриски состав**. Кај овие криви на апсцисната оска се нанесува

дијаметарот на зрната во логаритамски размер, а на ординатата процентуалната застапеност на зрна со одредена големина. Овие дијаграми се нарекуваат **полулогаритамски** или **семилогаритамски**. Во практиката често се користат и триаголни дијаграми, каде на оските се нанесуваат главните фракции на зрната (Слика 7.2).



Слика 7.2 а - Полулогаритамски дијаграм на гранулометриски состав со пример за определување на типични дијаметри на зрната, **б** - триаголен дијаграм со приказ на зафатени зони за седиментни членови трепел и јагленова глина од П. К. Суводол - Битола

Од кривите, најчесто се определуваат т.н. **степен на нерамномерноста** (C_u) по Ален-Хазен и **коэффициентот на закривеност** (C_z), кои се пресметуваат по следните формули:

$$C_u = d_{60} / d_{10}$$

$$C_z = d_{30}^2 / (d_{10} \cdot d_{60})$$

Каде што е: d_{60} - дијаметар на зрна што одговара на ординатата 60%;
 d_{30} - дијаметар на зрна што одговара на ординатата 30%;
 d_{10} - дијаметар на зрна што одговара на ординатата 10%.

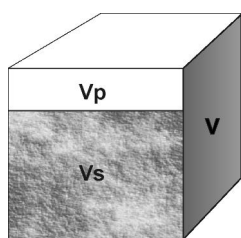
Овие параметри служат за подетална класификација на почвите, при што според степенот на нерамномерноста тие се делат на три групи и тоа:

- ако е $C_u < 5$, почвата е со рамномерен состав;
- ако е $C_u = 5$ до 15, почвата е со умерено-рамномерен состав;
- ако $C_u > 15$, почвата е со нерамномерен состав.

Коефициентот на закривеност најчесто се движи во границите од $C_z=1-3$.

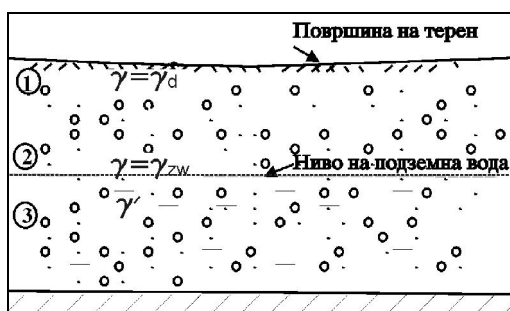
СПЕЦИФИЧНА ТЕЖИНА, ВОЛУМЕНСКА ТЕЖИНА, ПОРОЗНОСТ И ВЛАЖНОСТ НА КАРПИТЕ

Специфичната тежина, волуменската тежина, порозноста и влажноста на карпите се меѓусебно зависни параметри бидејќи волуменот од карпа е составен од цврста маса (минерална супстанца) и пори исполнети со воздух или вода. Ова значи дека карпите се во принцип трофазен систем, каде застапеноста на цврстата маса е генерално константна големина, додека содржината на вода и воздух се променливи во зависност од надворешните фактори (Слика 7.3).



Слика 7.3 Шема за претставување на вкупен волумен (V), волумен на цврстата маса (V_s) и волумен на порите (V_p) во еден елементарен дел од карпестата маса

Специфична тежина (γ_s) се изразува како тежина на цврстите честички на карпата во единица на волумен. Ова значи дека при пресметка на специфичната тежина не се зема предвид учеството на пори и пукнатини во вкупниот волумен на карпата. Специфичната тежина кај карпите најчесто се движи во границите од $\gamma_s = 26 - 32 \text{ kN/m}^3$. Генерално може да се смета за константна вредност за одреден вид карпа, а дијапазонот на вредностите е во границата на средната вредност на специфичната тежина на поважните петрогени минерали. **Волуменска тежина** (γ) се изразува како тежина на единица на волумен на карпест примерок заедно на минералната супстанција и нејзините пори. Таа може да се определи во теренски или лабораториски услови со познати стандардизирани методи. Волуменската тежина не е константа големина и нејзината вредност директно зависи од порозноста и влажноста, која е застапена во карпата. Значајно е да се спомне, дека иста карпа може да има различни волуменски тежини. На пример, во лето карпата има волуменска тежина блиска до **сува состојба**, а во есен или по интензивни врнежи, може да достигне и максимална вредност блиска до **заситена состојба**. Под нивото на подземна вода, карпата има волуменска тежина во **потопена состојба** (Слика 7.4).



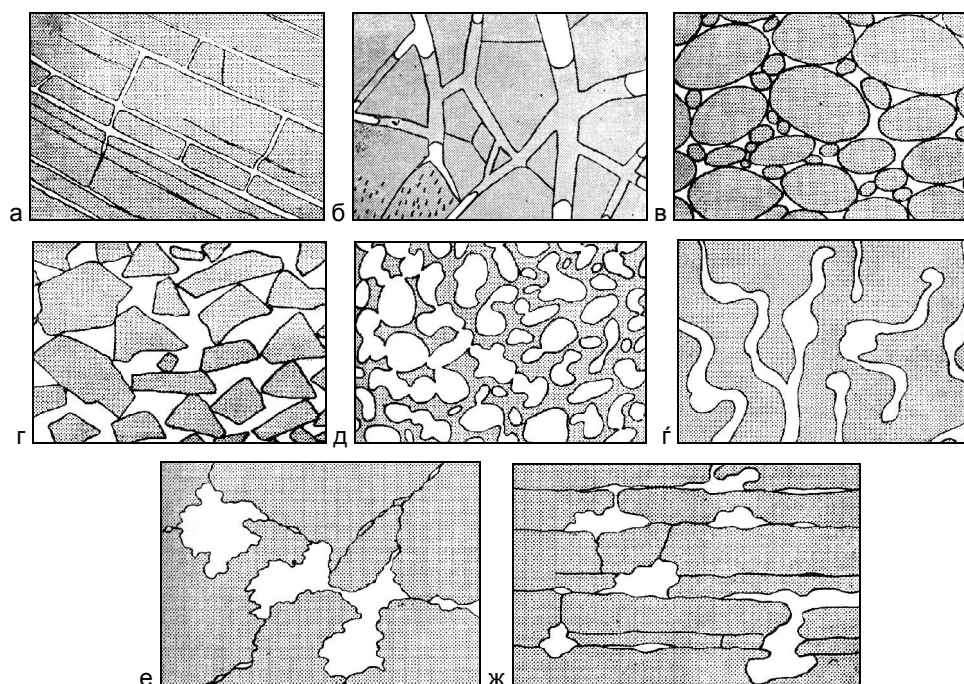
Слика 7.4 Можни односи на волуменската тежина за ист материјал, во различни зони од теренот:
1 - Зона во близина на површина на терен; 2 - Зона во близина до ниво на подземна вода; 3 - Зона под ниво на подземна вода (потопена состојба)

Порозноста на карпата (n) се дефинира со соодносот на волуменот на порите и вкупниот волумен на карпата. Таа е една од најважните својства бидејќи влијае на поголем број физички и механички својства на карпите како што се: водопропустливоста, збиеноста, волуменската тежина, јакоста, деформабилноста, топлотна и звучна изолација и друго. Посебно е значајна при решавање на различни хидрогеолошки проблеми. Порозноста не се определува по директен лабораториски пат, туку по пат на пресметка. Во практиката се користи и параметрот наречен **коэффициент на порозност** (e), кој се дефинира со помош на формулите во Табела 7.1. Според времето на постанокот, порозноста може да биде **примарна** и **секундарна**. Примарната порозност настанува истовремено со постанокот на самата карпа, а секундарната се јавува дополнително под дејство

на различни фактори. Во карпите порозноста може да биде манифестирана на различен начин и тоа како:

- изолирана порозност, кога порите се без меѓусебни контакти, без оглед на нивната големина, форма или време на постанок;
- ефективна порозност, кога порите се меѓусебно поврзани;
- вкупна порозност, дефинирана како вкупен волумен на сите пори, без разлика дали тие се или не се меѓусебно поврзани.

Изолираната порозност нема влијание врз водопропустливоста на карпите, но е значајна за други физичко-механички својства на карпите. Најкарактеристична е за глинестите карпи, но поретко може да се сретне кај некои типови на базалти. **Ефективната порозност** овозможува движење на течности и гасови низ порните агрегати на карпата, така што има големо влијание врз нивната водопропустливост. Прегледен приказ на основните типови на порозност е прикажан на Сликата 7.5.



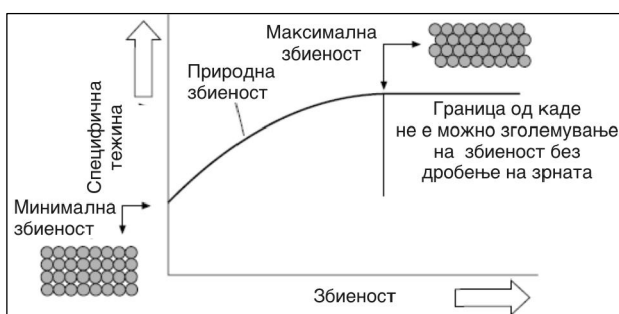
Слика 7.5 Главни структурни типови на порозност: а - правилна пукнатинска; б - неправилна пукнатинска; в - правилна меѓузрнска; г - неправилна меѓузрнска; д - сунѓереста порозност; ф - цреваста порозност; е, ж - кавернозност (комбинирано според Мајцер, 1923 и Б. Степановиќ, 1962)

Според својата форма, порите можат да бидат кружни, цевкасти, цревасти, елипсоидни, издолжени, извиткани и сосема неправилни. Според големината можат да се поделат на **макропори**, кои се гледаат со око и **микропори**, кои можат да се видат само под лупа или микроскоп. Покрај тоа, според апсолутната ширината, порите се делат на:

- суперкапиларни пори со дијаметар $d > 0,5 \text{ mm}$;
- капиларни пори со дијаметар $d = 0,0002 - 0,5 \text{ mm}$;
- субкапиларни пори со дијаметар $d < 0,0002 \text{ mm}$.

Во меѓусебно поврзаните суперкапиларни пори водата се движи слободно по законите на гравитацијата. Во капиларните пори се јавува феноменот на капиларност односно вертикално искачување на водата, спротивно на гравитацијата. Субкапиларните пори се толку ситни, што во нив атхезионите сили имаат влијание од едниот до другиот „сид“ на порите. Така, водата, која со капиларно впивање еднаш ќе дојде во овие пори се задржува во нив како физички сврзана вода. Суперкапиларните пори, главно, се застапени кај чакалестите седименти, но придружени со нив обично се јавуваат и капиларни и субкапиларни пори. Пластичните глини содржат главно субкапиларни пори, додека кај ситнозрните до прашиности песоци, главно се застапени субкапиларни и капиларни пори.

Во практиката се користи и параметрот кој се нарекува **релативна збиеност**, каде се земаат предвид коефициентите на порозност за различни состојби. Во природни услови, збиеноста е најчесто во граници меѓу минималната и максималната вредност (Слика 7. 6).



Слика 7.6 Шематски приказ на сложеност на минерални зрна која условува минимална и максимална збиеност

Се пресметува според следната формула:

$$D_r = (e_{\max} - e_0) / (e_{\max} - e_{\min})$$

Каде што е: e_{\max} - максимален коефициент на порозност;

e_0 - природен коефициент на порозност;

e_{\min} - минимален коефициент на порозност за почвата.

Релативната збиеност е значаен параметар за контрола на збиеноста кај насипи за патишта, кај каменонасипаните брани, за прогноза на условите за слегнувања на теренот при дополнителни оптеретувања и слично.

Влажност на карпите е способност да примат и задржат одредено количество на вода во нивните пори. Разликуваме неколку видови на влажност:

- природна влажност (W);
- хигроскопна влажност (W_h);
- максимална молекуларна влажност (W_{mmol});
- капиларна влажност (W_k);
- влажност на целосно заситена карпа (W_z).

Природната влажност карпата ја содржи во природата во некој конкретен период на мерење. Се определува со мерење на масата на природна влажност и сувиот карпест примерок по сушење на температура од 378 K или 105°C до конечна тежина по следната формула:

$$W = \frac{W_w - W_s}{W_s} \cdot 100(\%)$$

Каде што е: W_w - тежина на природно влажен карпест примерок,

W_s - тежина на истиот примерок во сува состојба.

Мајданска влажност уште се нарекува и многувековна природна влажност, која ја содржи карпата додека се наоѓа на местото на својот постанок. Таа се губи по подолготрајна изложеност на карпата на сонце и воздух. Изгубената мајданска влага тешко може да се поврати. Оваа влага има големо влијание при експлоатацијата и обработката на каменот во каменоломите (мајданите). **Хигроскопна влажност** е способност на минералните честички на карпите да впиваат влага од воздухот. **Максималната молекуларна влажност** претставува максимална количина на физички сврзаната вода, која, со честичките на минералната материја, се држи преку интермолекуларното привлекување. **Капиларната влажност** се дефинира како количество на вода, кое во карпата се задржува под дејство на површинскиот напон. Влажноста на целосно заситена карпа е онаа влажност кога сите нејзини пори се наполнети со вода. Се определува со следната формула:

$$W_z = \frac{n \cdot \gamma_w}{(1-n) \cdot \gamma_s} = e \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$$

Во практиката, за одредени анализи се користи и **релативната влажност** или **степенот на водозаситеноста на карпата** (S_r). Претставува однос меѓу количеството на водата во природна состојба и количеството на вода при заситувањето на сите пори во карпата:

$$S_r = \frac{W}{W_z} \quad \text{или} \quad S_r = \frac{W \cdot \gamma_s}{e \cdot \gamma_w} = \frac{w \cdot \gamma_s (1-n)}{n \cdot \gamma_w}$$

Според степенот на водозаситеноста, кај песоковите карпи разликуваме:

- > малку влажен песок со $S < 0,5$;
- > многу влажен песок со $S = 0,5 - 0,8$;
- > целосно водозаситен песок со $S = 0,8 - 1,0$.

Карпите впиваат поголемо количество на вода ако заситувањето се врши постепено и бавно, потоа ако заситувањето се врши со вакуум, а најголемо е кога заситувањето се изведува под притисок. За илустрација на поврзаноста меѓу прикажаните физички параметри е дадена Табелата 7.1.

Табела 7.1 Приказ на основни зависности меѓу физичките својства

Физичко својство и ознака	Формула за пресметка и димензии
специфична тежина (γ_s)	$\gamma_s = \frac{G_s}{V_s} \text{ (kN/m}^3\text{)}$
волуменска тежина во природно влажна состојба (γ)	$\gamma = \frac{G}{V} \text{ (kN/m}^3\text{)}$
волуменска тежина во сува состојба (γ_d)	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + (w/100)} \text{ (kN/m}^3\text{)}$
волуменска тежина во заситена состојба (γ_{zw})	$\gamma_{zw} = \gamma_d + n \gamma_w \text{ (kN/m}^3\text{)}$
волуменска тежина во потопена состојба (γ')	$\gamma' = \gamma_{zw} - \gamma_w \text{ (kN/m}^3\text{)}$
порозност (n)	$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s} = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad n = \frac{V_p}{V} = \frac{V_p}{V_p + V_s} \cdot 100 \text{ (\%)}$
коэффициент на порозност (e)	$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{n}{1-n} \cdot 100 \text{ (\%)}; \quad e = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d}$

ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

Ознаките се однесуваат на следните параметри: G_s - тежината на сува минерална супстанција (кN), V_s - волумен на минералната супстанција (m^3), G - тежина на карпест примерок во природна состојба (кN), $V = V_s + V_p$ - вкупен волумен на примерок (m^3), V_p - волумен на порите (m^3) и γ_w - волуменска тежина на водата = 10 кN/ m^3 .

ВОДОПРОПУСТИВОСТ НА КАРПИТЕ

Водопроницаемоста е својство на карпите кога низ нивните пори е овозможено движење на физички слободните подземни води. Во стручната литература може како синоним, да се сретне и терминот **пермеабилност**. Водопроницаемоста е посебно карактеристична кај карпи, каде што преовладуваат крупни суперкапиларни пори како што се чакалот, дробината, песокот, мошне испуканите и здробените карпи од сите генетски видови.

Во прв ред зависи од големината на порите во карпата, нивната меѓусебна поврзаност и нивните меродавни дијаметри. Карпите каде што порите се суперкапиларни и меѓусебно поврзани лесно ја пропуштаат водата низ своите порни агрегати и се викаат **водопроницаеви** или **пермеабилни** карпи. Карпи со мала порозност, со големи но изолирани пори, со капиларна и субкапиларна порозност и кои не ја пропуштаат водата низ нивната маса се викаат **водонепроницаеви** или **импермеабилни** карпи.

Основен параметар преку кој се изразува водопроницаемоста е коефициентот на филтрација (K). Детали за дефинирање на водопроницаемоста се прикажани во Глава 8.

КАПИЛАРНОСТ НА КАРПИТЕ

Капиларноста е својство на карпите, со кое е овозможено низ нејзините пори подземната вода да се издигнува нагоре под дејство на капиларните сили. Кај поситнозрните карпи капиларните искачувања се со поголема висина, додека кај покрупните со поситни пори песоци и чакали, практично и не постои капиларно качување. Меѓу водопроницаемоста и капиларноста на почвите постои одредена поврзаност. Ако е познат коефициентот на водопроницаемоста, тогаш висината на капиларното качување релативно точно може да се определи преку следната зависност:

$$\frac{0.7}{\sqrt{k}} < h < \frac{2.4}{\sqrt{k}}$$

Ориентациони вредности за различни видови материјали се прикажани во Табелата 7.2.

Табела 7.2 Ориентациони вредности на висина на капиларно качување во зависност од вид на почва

Вид на почва	Висина на капиларно качување (m)
Ситен песок	0,05 – 0,50
Прашина	0,50 – 5,00
Глиновити почви	5,00 – 15,00
Чисти глини	15,00 – 50,00

Од градежен аспект, капиларноста е неповолно физичко својство, бидејќи може многу високо да ја издигне водата низ градежните конструкции и да

предизвика влажење на конструкцијата и објектот, но од друга страна во земјоделието е поволна појава, бидејќи посебно во сушни периоди овозможува присуство на влага за растителните култури.

СПЕЦИФИЧНА ИЗДАШНОСТ И РЕТЕНЦИЈА

Специфичната издашност и **ретенција** се меѓусебно поврзани и се манифестираат при слободно гравитационо истекување на водата од почвата. **Специфичната издашност** се дефинира како способност на карпата да ја ослободува физички слободната вода, а најчесто се сведува како количината на вода која може да се добие од 1 m³ карпа. Може да се изрази преку следната формула:

$$\mu = V_v / V(\%)$$

Каде е: μ - специфична издашност на карпата во дел од единица или проценти;

V_v - волумен на вода која по гравитационен пат може да се ослободи (истече) од карпата;

V - волумен на заситена карпа со вода.

Може да се изрази и како разлика меѓу максимално можната влажност (W_z) и максималната молекуларна влажност (W_{mmol}):

$$\mu = W_z - W_{mmol}$$

Обратно од специфичната издашност, поимот **ретенција** (задржување) се однесува на својство на карпите да ја задржуваат водата во своите пори. Во случаите кога карпата е со поситни зрна, поголема е и нејзина способност да ја задржува водата во својот волумен. Дијапазонот и соодносите меѓу издашноста и ретенцијата кај кластичните седиментни карпи е прикажан на Слика 7.7.



Слика 7.7 Однос меѓу специфичната издашност и ретенција за кластични карпи (Бел, 1999)

Специфичната издашност е многу значајно хидрогеолошко својство, а најдобро се дефинира преку подолготрајни пробни или експлоатациони црпења на подземните води од бунари.

ПЛАСТИЧНОСТ

Пластичност е својство на карпите да ја менуваат својата форма под дејство на надворешни сили, односно да се деформират без видливи знаци на лом. По престанување на дејството на силите, карпите ја задржуваат новоздобиената форма. Ова својство е главно карактеристично кај глиновитите и прашичестите почви, кои ги менуваат своите карактеристики во зависност од содржината на вода, степенот на дисперзност, минералношките и гранулометриските состав и друго. Глинестите карпи, кога се суви или при ниска природна влажност, имаат

ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

карактеристики на цврсто тело. Ако глиновитата карпа прими голема количина вода, може да добие својства на течна маса. Степенот на подвижноста на почвените честички зависи од содржината на вода и пластичноста и се нарекува **конзистентна состојба** на карпата. Заради тоа, важно е да се знае, кои содржини на вода ја дефинираат почвата од цврста до течна состојба. На премините од цврстата до течната конзистентна состојба постојат уште две состојби и тоа полуцврстата и пластичната конзистентна состојба. Процентите на влажност, кои ги разграничуваат конзистентните состојби на почвите се викаат уште и Атебергови граници. Тие се определуваат по лабораториски пат и се прикажуваат на **дијаграм на пластичноста** (Слика 7.8).

Процентот на влажност, при кој почвата ги губи своите пластични својства и добива особини на полуцврсто тело се вика **граница на пластичност** (W_p). Во оваа состојба, почвата под дејство на товар, почнува да се дроби и да се распукува. Процентот на влажност, при кој пластична почва ги губи пластичните особини и поминува во течна состојба се нарекува **граница на течење** (W_L). Само со влажност меѓу овие две граници, почвата има својство на пластично тело. Разликата меѓу границата на течење и границата на пластичност се вика **индекс на пластичност** (I_p).

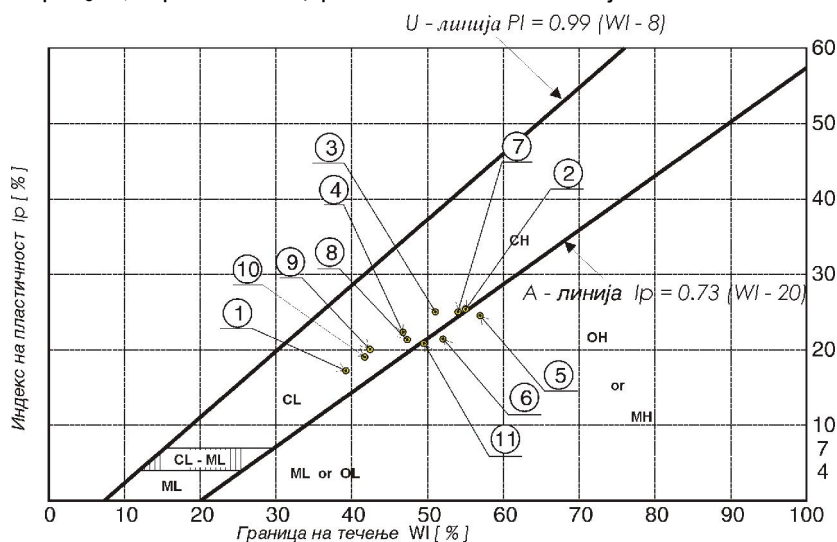
$$I_p = W_L - W_p$$

Конзистентната состојба на природна почва за одредена големина на природната влажност (W), се дефинира со индексот на конзистенција (I_c), кој е еднаков на:

$$I_c = (W_L - W) / I_p$$

Сите прикажани параметри најчесто се користат за класификациски цели, а индиректно (по корелативен пат), можат да се искористат за проценка на некои други физички и механички својства. На пример, при дефинирање на конзистентната состојба се користат следните критериуми:

- при вредност $I_c < 0$, карпата е во течна состојба;
- при $I_c = 0-1$, карпата е во пластична состојба;
- при $I_c > 1$, карпата е во цврста конзистентна состојба.

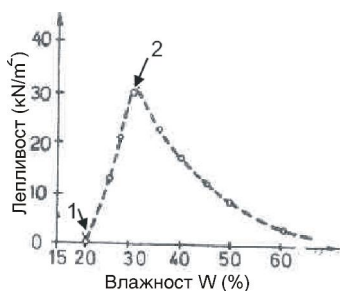


Слика 7.8 Пример за дијаграм на пластичност за различни материјали од темелна подлога за објекти од рафинерија „ОКТА“ во близина на Скопје

Подетален осврт на принципот на класификација на седиментните карпи со употреба на пластичните својства е прикажан во Главата 12 од книгата.

ЛЕПЛИВОСТ

Лепливоста е својство на карпите, при определена влажност, да се лепат за алатот, металите, дрвото и другите тела. Врз неа најголемо влијание има влажноста, минералниот и гранулометричкиот состав, видот на абсорбираните катјони, видот на материјалот за кои се прилепува карпата и глаткоста на нивните површини. Со испитувања е утврдено дека глините посилно се лепат за дрво, споредено со лепење врз железото, додека пращините и тињата посилно се лепат за металите. Лепливоста се испитува лабораториски, а се изразува преку притисокот, кој е потребен, да се одвои прилепената карпа од површината на металите или на друг материјал. Овај притисок најчесто се движи меѓу $5\text{--}20\text{ kN/m}^2$, исклучително и преку 110 kN/m^2 . Својството на лепливост се појавува при определена почетна влажност кај глинестите и пращинестите карпи, потоа нагло се зголемува со прирастот на влажноста до максималната лепливост. При натамошно зголемување на влажноста, лепливоста брзо опаѓа (Слика 7.9).



Слика 7.9 Дијаграм на зависноста на лепливоста на карпите од влажноста: 1 - влажност на почетна лепливост; 2 - влажност на максималната лепливост

Познавањето на лепливоста на карпите има значење при определувањето на условите за работење на машините, кои се применуваат при ископ на усеци-засеци, канали, ровови, површинска откривка на јаловината кај рудниците, при изградба на сообраќајници, тунели во земјоделството и друго.

БАБРЕЊЕ И СОБИРАЊЕ НА КАРПИТЕ

Бабрењето е својство на карпите при впивање вода, да го зголемуваат својот волумен. Обратно, при намалување на влажноста се јавува намалување на нивниот волумен, при што карпите се собираат. Овие физички својства се карактеристични најчесто за глинестите карпи и зависат од нивниот минералоски состав, степенот на дисперзноста, специфичната површина на зрната и концентрацијата на минералната материја во порната и околната вода. Во определени случаи, бабрење може да се појави и кај карпести маси од типот на: лапорци, анхидрит, глинци, некои видови на шкрилци и вулкански туфови. Бабрење кај анхидритот (CaSO_4) се случува при негова хидратација кога тој преминува кон гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Кај останатите видови карпи бабрењето, главно, зависи од количеството и минералниот вид на глиновитата материја. Причина за бабрењето е зголемувањето на дебелината на водените обвивки на физички-врзаната вода. Значајно е да се истакне дека со зголемувањето на дебелината на водените обвивки околу минералните честички се намалуваат кохезионите сили меѓу честичките, при што јакоста на почвите, кои бабрат, значително се намалува. Бабрењето во глинестите карпи е возможно само при постоење на коагулациски структурни врски, кои лесно се разрушуваат. Зголемувањето на волуменот при бабрењето на глинестите карпи обично изнесува $25\text{--}80\%$. Најголемо е кај бентонитските глини кога во нив доминира

ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

монтморионитот, а може да изнесува дури и до 12 пати. Кај анхидритот се цени дека волуменот може да се зголеми до 60%. Бабрењето се испитува лабораториски, а може да се изрази преку промена на волуменот или промена на влажноста со следните равенки:

$$B_v = \frac{V_b - V_o}{V_o} \text{ или } B_w = \frac{W_b - W}{W}$$

Каде што е: B_v - степен на бабрењето изразен како промена на волуменот;

V_o - волумен на примерокот пред бабрењето;

V_b - волумен на примерок по бабрењето;

B_w - степен на бабрењето преку влажноста;

W - природна влажност на карпата;

W_b - влажност на набабрената карпа.

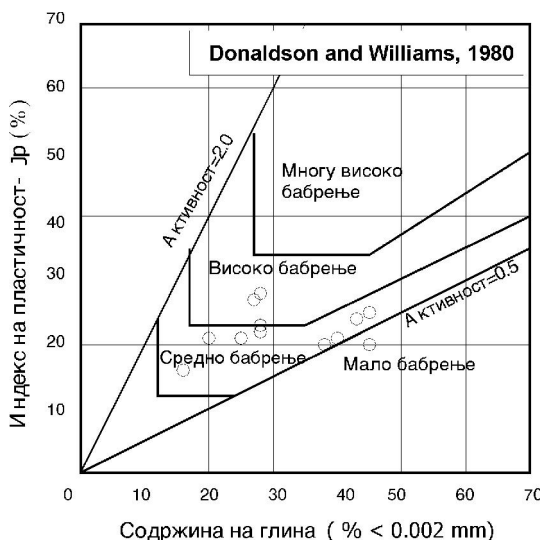
При бабрењето се јавуваат посебно зголемени притисоци врз објектите (тунели, темели, разни сидови и друго), кои изнесуваат од 300-1000 kN/m². Како критериум преку кој се проценува дали карпата е склона кон бабрење се користи следната формула:

$$\frac{e - e_{wl}}{1 + e} < -0.4$$

Каде што е: e - коефициент на порозност;

e_{wl} - коефициент на порозност на карпата на границата на течењето.

За вакви намени може да се искористи и т.н. **активност на глината** која се дефинирана преку дијаграмот на Доналдсон и Вилијамс врз основа на процентуалната застапеност на глиновити честички и индексот на пластичност (J_p) (Слика 7.10).



Слика 7.10 Дијаграм за проценка на можност за бабрење, за глинести почви од плиоценски езерски седименти во темелна подлога за објекти во рафинерија „ОКТА“ - Скопско

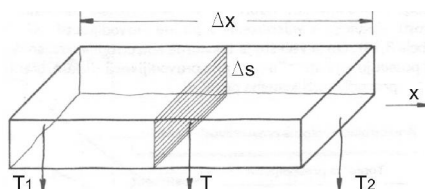
Бабрењето и собирањето на глинестите карпи има големо практично значење посебно при изградба на глинести јадра кај насипани брани, изградба на тунели, рударски подземни простории и друго. Појавата на бабрењето и собирањето на почвите под фундаментите на

објектите можат да предизвикаат деформации, како и притисок кој може дури да го надмине притисокот што го пренесуваат објектите на градежната почва. Поради тоа, може да се појавуваат нерамномерни слегнувања, кои се многу опасни за стабилноста на самите објекти. Бабрењето и собирањето има специфично влијание и при формирањето на свлечиштата, така што кај секој

посебен случај на инженерска анализа, се посветува големо внимание за правилно толкување на сите феномени, кои можат да се појаваат при ваквите влијанија.

ТОПЛОТНИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

Топлотните својства се важни кога карпите се користат како градежен материјал за облагање на објектите или за други намени. Основна цел при дефинирање на топлотните својства е да се изберат материјали, кои, во ладните денови овозможуваат сочуввање на топлината, а во летни периоди овозможуваат да се избегне прекумерно загревање на објектите. Ова е еден од предусловите за енергетска ефикасност на објектите од високоградбата. Кај некои специфични објекти топлотниот режим може да биде многу важен. Посебно е тоа изразено кај хидротехничките објекти од тип на тунели и окна со вода под притисок. Во одредени случаи, кај тунелите или окната кои се градат длабоко под Земјината површина, температурата е значително повисока во однос на температурата на водата, која поминува низ тие објекти. Под дејство на тоа доаѓа до разладување на карпестата маса, што може многу неповолно да влијае на секундарната напонска состојба околу објектот. Тоа како последица може да предизвика неповолни напрегања во бетонската облога на тунелот, ако при проектирањето не се водело доволно сметка за тоа. Во крајна линија, ова може да доведе до појава на прснатини и други оштетувања на облогата. Генерално, под поимот топлотна проводливост, се подразбира својство на материјата да пренесува определена топлина низ нејзиниот волумен. Процесот на пренос на топлинската енергија е шематски прикажан на Сликата 7. 11.



Слика 7.11 Шематски приказ на еднодимензионален тек на топлинска енергија во правец „x“ низ примерок од карпа

При стационарен топлотен проток, каде температурата (T_1) е поголема во почеток на примерокот од температурата (T_2), на крајот на примерокот, количеството на топлина (Q), која минува низ пресекот ΔS за определено време е еднаква на:

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} * \Delta S * t$$

Каде што е: λ - коефициент на проводливост на топлината ($\text{cal/cmsec}^\circ\text{C}$);

$\Delta T = T_2 - T_1$, разлика на температурата во две точки (пресеци) 1 и 2;

Δx - растојание меѓу два пресеци;

ΔS - површина на проток на топлината;

t - време на мерење.

Најважни карактеристики на топлинските својства на карпестите маси се: **специфичната топлина, проводливост на топлината, проводливост на температурата, линеарно и волуменско топлотно ширење**. Под влијание на температурните разлики карпестите маси го менуваат својот волумен, односно се шират или се собираат. Варирањето на димензиите се дефинира со различни коефициенти на **линеарно** или **волуменско ширење**. Линеарното издолжување

ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

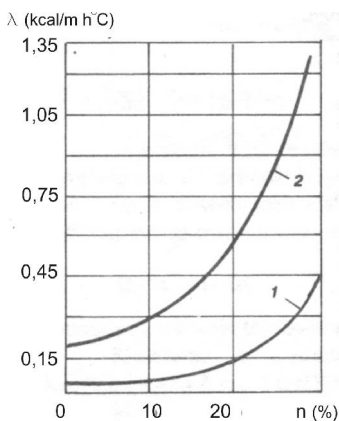
на еден материјал при промена на температурата се дефинира со следната равенка:

$$\Delta L = \alpha * L_0 * \Delta t$$

Каде што е: α -топлотен коефициент на линеарно ширење;

L_0 -должина на примерокот пред загревање;

Δt -разлика во температура.

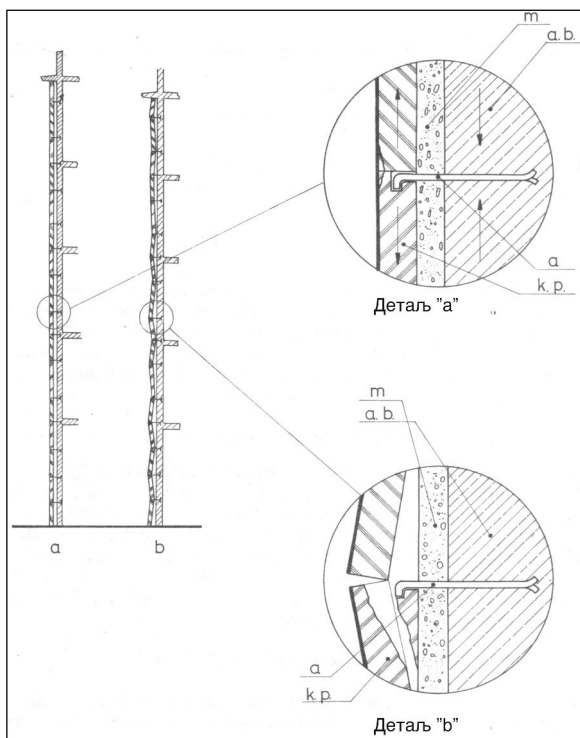


Топлотните својства зависат од повеќе параметри, а најзначајни се порозноста и влажноста (Слика 7.12).

Слика 7.12 Зависност на топлотната проводливост од порозноста: 1 - Крива за порен простор составен од вода и воздух; 2 - Крива за проводливост за пори заситени целосно со вода (Ржевскиј и Новик, 1973)

Коефициентот на линеарно топлотно ширење е значаен параметар, бидејќи како резултат на промена на топлинската во механичка енергија, може да дојде до разлики во ширењето на бетонската подлога кога врз неа се поставува камен за облагање. Ова може да предизвика неповолни напрегања на контактот на две подлоги со различен коефициент на

топлотно ширење и отпаѓање на плочи од камен поставени врз бетонска подлога. Крутоста на камената подлога го спречува собирањето на армираниот бетон, при што доаѓа до деформација на камената облога и испаѓање на плочите од фасадата (Слика 7.13).



Слика 7.13 Приказ на механизам на испаѓање на камените плочи (кп), поставени врз армиран бетон (аб) поради различен коефициент на топлотно ширење:
 м – малтер а - анкер

Доволно е да се спомене дека при температурен градиент од 70 °С, плоча од мермер со должина од еден метар се шири за 0,35 mm, додека бетонот за 0,98 mm. Ова укажува дека при вградување камен над армиранобетонски конструкции, треба да се остави одреден простор (фуга) со цел да се овозможи амортизација на различните ширења и собирања на материјалите.

Проводливост на звукот е акустично својство на карпите врз кое најмногу влијаат текстурните својства на карпата. Најдобри проводници се масивните карпи, без пори и пукнатини. Ако постојат пори и пукнатини, подобри проводници се оние карпи на кои волуменот на тие празни пори е поголем и доколку таа е исполнета со вода, а не со некоја дробина или минерална материја во која било форма. Ова својство на карпите е важно кај изборот на карпи за преградни ѕидови, посебно во кино-салите, концертните сали и други објекти, каде е неопходна звучна изолација.

Проветривост на карпите е својство да пропуштаат гасови низ своите пори. Порите мораат да бидат меѓусебно споени, а исто така мора да постои разлика во притисоките или разлика во температурата. За тоа се посебно поволни многу порозните карпи со макропори, како карстифицираните варовници, бигорот, лесот, туфовите, песочниците, конгломерати и др. Познавањето на проветривоста на карпите е значајно при подземната експлоатација на минералните суровини, при изградба на подземни простории за чување на животни продукти и одделни видови специфични материјали.

Покрај сите претходно прикажани физички својства, карпите поседуваат и други физички својства, како електрични, магнетични, радиоактивни и други својства. Тие немаат посебно влијание на механичките и технолошките својства, а се проучуваат во геофизиката и други геолошки дисциплини.

МЕХАНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

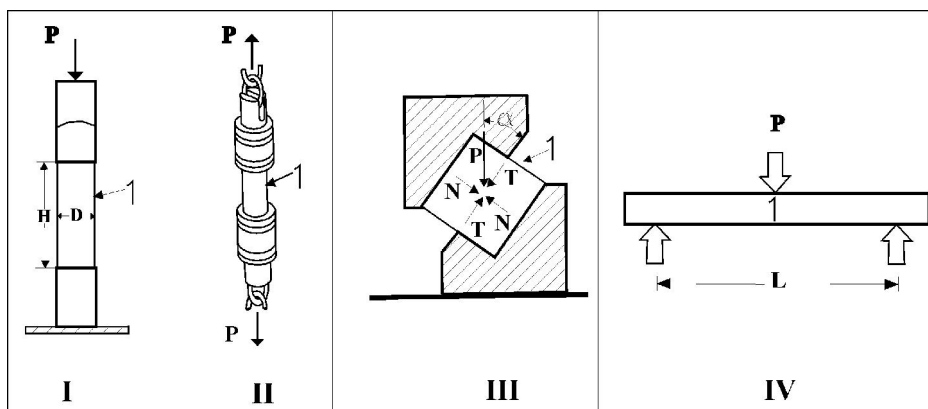
Поимот механички својства се однесува на својствата што се манифестираат кога карпите се изложени под дејство на сила или некои надворешни влијанија. При тоа, предизвиканите напонски состојби во нив можат да бидат едноосијални (линеарни), рамнински (планарни) и триаксиални (просторни). Испитувањата може да се реализираат во лабораториски или теренски услови. Резултатите од ваквите испитувања, покрај другото, зависат од формата и од големината, односно оптеретените површини на примероците, начинот на прилагањето на оптоварувањето на карпата и друго. Поважни механички својства се: **јакост, еластичност, тврдина, деформабилност, жилавост, абразивност, абенење** и др.

ЈАКОСТ НА КАРПИТЕ

Јакост на карпите е отпор што го даваат тие кога се изложени на дејство на различни напрегања. Кога прилагањето на товарот е континуирано и постепено, карпата манифестира **статичка јакост**, а кога прилагањето на товарот е краткотрајно и брзо со удар, вибрации и друго, тогаш карпата манифестира **динамичка јакост**. Во зависност од **видот на напрегањето** кое се предизвикува врз карпите, разликуваме **јакост на притисок, затегање, свивање, торзија** и друго (Слика 7.14).

Јакоста зависи од цврстината на минералите, начинот на нивна поврзаност, порозноста, свежината на минералите, количеството на врзвото кога зрната се посредно сврзани, влажноста и друго.

ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ



Слика 7.14 Видови на напрегања кај карпите: I - притисок врз цилиндрично пробно тело (1); II - директно затегање на цилиндрично пробно тело; III - смолкнување на пробно тело оптеретено со сила P; IV - свиткување на призматично тело оптеретено со сила P

ЈАКОСТ НА ПРИТИСОК

Со оглед на тоа што карпите се многу поотпорни кога се изложени на напони на притисок, од интерес во инженерството е најчеста потребата за анализа на јакоста на притисок (σ_p). Се испитува лабораториски, на карпести примероци во правилни геометриски форми кои во зависност од стандардот што се користи при испитувањето, може да бидат во вид на коцки, призми или цилиндри (Слика 7.15).

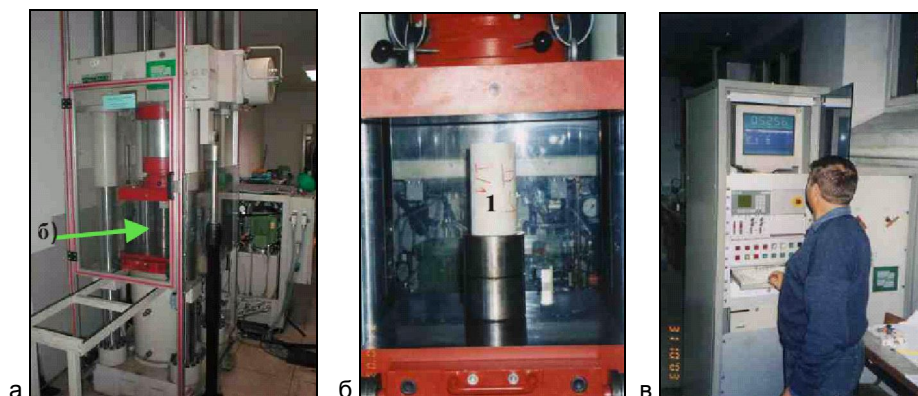


Слика 7.15 Видови на подготвени и испитани пробни тела



Во практиката, многу е значајна правилната подготовка на примероците, кои се дотеруваат со прецизно сечење и полирање во соодветна апаратура, а на крај се испитуваат по соодветни стандарди (Слики 7.16 и 7.17).

Слика 7.16 Опрема за подготовка на пробни тела за испитување 1 - Машина за сечење на примероци со дијамантска пила; 2 - Машина за дупчење примероците; 3 - Машина за полирање.



Слика 7.17 Преса за испитување на јакост на притисок на карпести примероци со „сопствена контрола“: а - поглед кон вкупен систем за прилагање на оптоварување; б - детаљ од пресата со поставено пробно тело за испитување (1); в - компјутерска единица за автоматска манипулација

Според Меѓународното друштво за механика на карпи, јакоста на притисок се испитува на цилиндрични пробни тела со димензии $H:D=2,5-3$ (H -висина; D -дијаметар на примерок). Се препорачува дијаметарот на пробното тело да не биде помал од $D=54\text{ mm}$. Силата се прилага се додека не се предизвика лом на примерокот. Таа сила се зема како меродавна за пресметка на јакоста на притисок по следната формула:

$$\sigma_p = P / A \quad (\text{kN/m}^2 \text{ или MN/m}^2)$$

Каде што е: P - сила во момент на лом на примерокот (N или MN);
 A - површина на напречен пресек на примерокот (m^2).

Кога, кај цилиндричните пробни тела, односот $H:D$ е помал од 2, се препорачува корекција на добиената јакост на притисок по следната формула:

$$\sigma_{p2} = \frac{8\sigma_p}{7 + 2(D/H)}$$

Каде што е: σ_p - мерена јакост на притисок;

σ_{p2} - коригирана јакост на притисок.

Вака определена јакост се нарекува едноаксијална или моноаксијална јакост на притисок (анг. Uniaxial Compressive Strength-UCS) и претставува гранична јакост на притисок. Во инженерството, за разни пресметки се корист т.н. дозволена јакост на притисок, која се добива со соодносот:

$$\sigma_{doz} = \sigma_p / n$$

Каде што е: n - коефициент на сигурноста, кој се усвојува во зависност од доверливоста на податоците од испитувањето, нивниот број, намената на податоците и др.

Јакоста на притисок е најголема кај карпестите примероци во сува состојба, нешто помала во водозаситена состојба, а најмала кога карпите се изложени на циклуси на **мрзнење** и **одмрзнување**. Влијанието на влагата врз намалувањето

ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

на јакоста на притисок се изразува преку т.н. коефициент на омекнување (K_{om}), кој се пресметува по следната формула:

$$K_{om} = \sigma_{p_v} / \sigma_p$$

Каде што е: K_{om} - коефициент на омекнување;

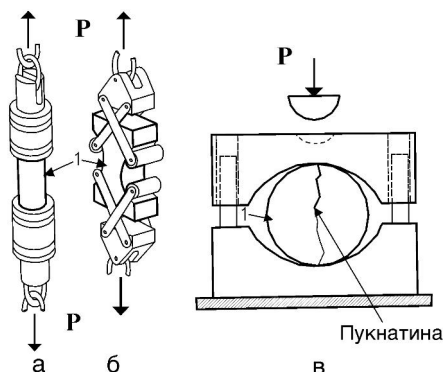
σ_p - јакоост во сува состојба;

σ_{p_v} - јакоост после заситување со влага.

За примена се препорачуваат карпи со вредност на $K_{om}=0,9-1$, а поретко и со вредност $K_{om}=0,6-0,9$. Во случаи кога коефициентот $K_{om}<0,6$ се смета дека карпите се неповолни за примена во градежништвото. Овој параметар е посебно значаен кај објекти од типот на насипани брани, каде не се дозволува примена на карпести материјали во нивните потпорни тела, кои се чувствителни на дејство на влагата.

ЈАКОСТ НА ЗАТЕГНУВАЊЕ

Јакоста на затегнување на карпите (ang. tensile strength) се испитува лабораториски на карпести примероци со правилни геометриски форми. Според препораките на ISRM, се применуваат методите на директно затегнување (direct pull test) и бразилски опит на затегнување (ISRM Brasil test).



Слика 7.18 Видови тестови на затегнување според препораки на ISRM: а - директно затегнување врз цилиндрично пробно тело (1); б - затегнување на тело во вид на „кучешка коска“ (dog bone); в - бразилски опит на затегнување

Примерокот за испитување со директно затегнување се цементира и се зафаќа со посебни метални држачи за поврзување и прицврстување. Потоа, тој се испитува со директно прилагање на сила на затегнување се до момент на лом. Многу поедноставен и побрз е т.н. бразилски тест, каде што примерокот се става во едноставен калап со сферични лежишта со кои е овозможен точкаст пренос на силата на притисок. При оптоварувањето обично примерокот пука по средина. За испитување се препорачуваат примероци со дијаметар од $D=54-70$ mm со минимална должина од 25 mm, кои на краевите не мора да бидат „идеално“ исполирани. Јакоста на затегнување по бразилскиот метод се пресметува по следната формула:

$$\sigma_z = \frac{2P}{\pi DL}$$

Каде што е: P - сила во момент на лом на примерокот (кN или MN);

D - дијаметар на примерокот (m);

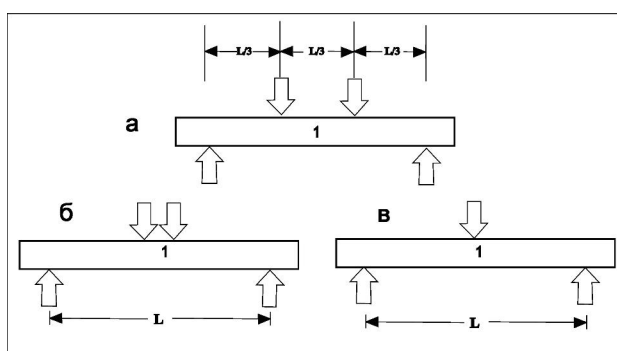
L - должина (дебелина) на примерокот (m).

За поточно дефинирање на јакоста на затегнување, се препорачува да се испитаат најмалку пет примероци, а резултатите потоа се осреднуваат. Обично, јакоста на затегнување е помала од јакоста на притисок, за околу 20-40 пати.

ЈАКОСТ НА СВИТКУВАЊЕ

Јакоста на свиткување, исто така, се определува во лабораториски услови најчесто на призматични карпести примероци со различни шеми за оптоварување (Слика 7.19). Се изразува како однос меѓу максималниот момент на свиткување (M_s) и отпорниот момент (W) по следната формула:

$$\sigma_s = M_s / W$$



Слика 7.19 Можни шеми на оптоварување кај тестови на свиткување

За шема на оптоварување во три точки со сила на свиткување (P) на средина од пробното тело (слика 7.19-в), се пресметува според следните формули:

$$M_s = P \frac{L}{4}; \quad W = b \frac{h^2}{6}; \quad \sigma_s = \frac{3PL}{2b * h^2}$$

Каде што е: P - сила во момент на лом на примерокот (кN или MN);
 L - должина на пробно тело (m);
 b - ширина на примерокот (m);
 h - висина на примерокот (m).

За цилиндрични пробни тела, јакоста на свиткување се пресметува според следната формула:

$$\sigma_s = \frac{16PL}{5\pi * D^3}$$

Јакоста на свиткување е исто така многу помала од јакоста на притисок, најчесто за околу 10-20 пати. Овој параметар, во инженерската геологија и геотехниката поретко се применува во практика, за разлика од бетонот каде што има поголемо значење.

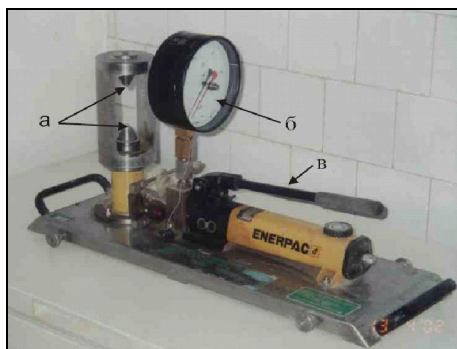
ИНДЕКС НА ЈАКОСТ

Индексот на јакост е параметар кој се добива со притискање на примерок од карпеста маса со т.н. апарат за точно оптеретување (Слика 7.20). Поради тоа, се нарекува и **тест со точно оптеретување** (анг. Point Load Test-PLT). Овој

ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

опит во практика е многу применуван заради својата едноставност и се смета за најбрз метод за добивање податоци за јакоста на монолит на карпестите примероци. По своето физичко значење е близок со јакоста на затегнување. Се користи за проценка на јакоста на притисок по корелација, за класификациони намени на карпестите маси и друго. Методот е стандардизиран по препораки на меѓународното друштво за механика на карпи, според кој индексот на јакост за цилиндрични примероци со дијаметар од 50 mm, се добива како однос меѓу силата при лом (P) и дијаметарот на примерокот (D) по следната формули:

$$J_{S(50)} = \frac{P}{D^2} \text{ (MPa)}$$



Слика 7.20 Преса за испитување на индекс на јакост: а - место каде што се става примерокот меѓу два шилци; б - манометар за мерење на сила (притисок) при лом; в - преса за задавање на притисок.

За цилиндрични јадра со различен дијаметар од 50 mm се воведува т.н. **фактор на корекција** (F). На овој начин, се добиваат т.н. **некоригирана** и **коригирана јакост**, со користење на следната постапка:

- некоригирана јакост $J_S = P / D^2$;
- коригирана јакост $J_{S(50)} = F(P / D^2)$;
- фактор на корекција $F = (D / 50)^{0.45}$

Факторот на корекција F за цилиндрични тела може да се добие и дијаграмски, при што се користи вредност за корекција ако се знае т.н. еквивалентен дијаметар на примерокот D_e . За примероци со неправилна форма или во вид на призма, за да се добие вредноста на т.н. еквивалентен дијаметар (D_e) се применуваат следните формули:

$$A = WD = \frac{\pi}{4} D_e^2; \quad W = \frac{W_1 + W_2}{2}; \quad D_e^2 = \frac{4}{\pi} WD$$

Каде што е: W - просечна димензија на примерокот меѓу W_1 и W_2 од слика 7.21;

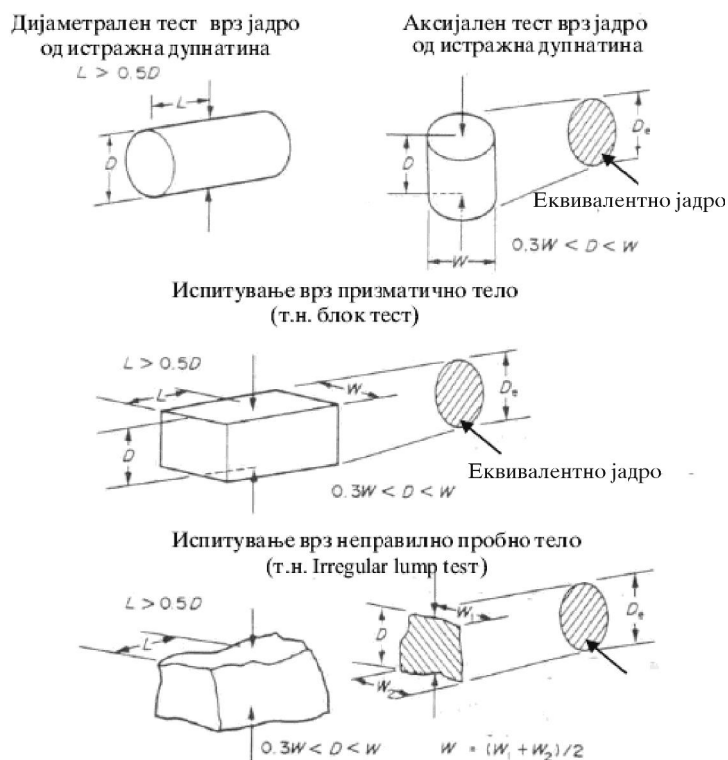
D_e - еквивалентен дијаметар на примерокот;

J_S - некоригирана вредност на индексот на јакост;

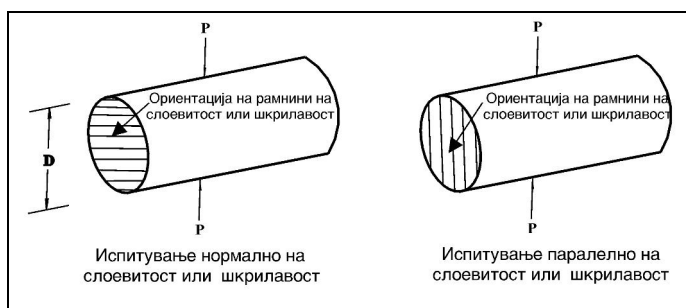
$J_{S(50)}$ - коригирана вредност на индексот на јакост за дијаметар од 50 mm.

Погоден е за примена поради фактот што можат да се испитуваат карпести примероци со цилиндрична форма добиени директно од јадрата на дупнатините, на посебно припремени призматични тела, но и на неправилни примероци без никаква посебна припрема (Слика 7.21). Кај слоевити и шкрилести карпи, испитувањата треба да се прават во правец на текстурните елементи и нормално

на нив, со оглед дека кај нив има силно изразена анизотропија на јакоста (Слика 7.22)



Слика 7.21 Видови на примероци кои можат да се испитуваат со точноста оптеретување со препорачани пропорции на димензиите

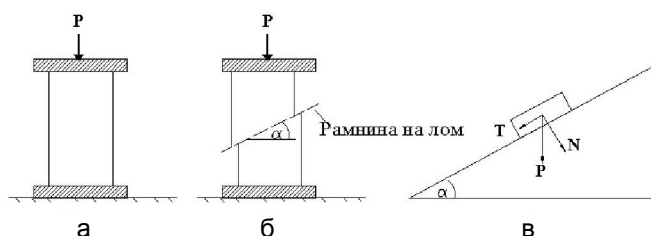


Слика 7.22 Насоки на испитување кај анизотропни карпи

За пресметка на средната вредност се препорачува да се испитаат најмалку десет примероци од еден тип на карпа. Ова значи дека кај анизотропни карпи, треба да се испитаат и по дваесет примероци. Како одреден недостаток на методот се смета фактот што вообичаено резултатите доста варираат, така што за реална прогноза треба да се испитува и јакоста на притисок, при што се воспоставуваат корелациски зависимости за секој конкретен вид на карпа.

ЈАКОСТ НА СМОЛКНУВАЊЕ

Јакоста на смолкнување е од првостепено значење при решавање на голем број на проблеми од геотехниката како: анализа на стабилноста на падините и косините, носивоста на подлогата, стабилност на ископот кај подземни објекти и друго. Таа се дефинира како отпор што го даваат карпите при дејство на силите на смолкнување. Кога карпестата маса во природа или на примерок во лабораторија, постепено се оптоварува со сила P , во момент кога ќе се надмине јакоста на карпите на смолкнувањето настанува поместување по определена рамнина наклонета под агол α (Слика 7.23).



Слика 7.23 Начини на смолкнување кај примерок или на тело на наклонета рамнина

Аголот α се вика агол на најмал отпор на смолкнување. Ако аголот на наклонетата рамнина се зголемува, телото со тежина, која влијае како сила (P), е во стабилна состојба се додека тангенцијална компонента (T) не стане поголема од силата на триењето (N), која се јавува меѓу телото и рамнината на наклон. Од тој услов се добива силата на триењето:

$$T = N \operatorname{tg} \varphi$$

Збирот на сите сили на триење, поделен со вкупната допирна површина (A) ќе ја даде јакоста на смолкнување на почвата (τ). Збирот на сите нормални сили поделени со вкупната допирна површина го дава нормалното напрегање (σ), па се добива:

$$\frac{\sum T}{A} = \frac{\sum N}{A} \operatorname{tg} \varphi, \text{ односно } \tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

Оваа равенка важи и за несврзаните материјали, каде што доминантно влијае само триењето меѓу допирните површини на честичките. Врзаните материјали, покрај триењето, поседуваат и кохезија (c) која е продукт на внатрешните структурни врски и молекуларни сили. Во теоријата, за дефинирање на јакоста на смолкнување се користи равенката на Coulomb со која се дефинира условот за лом кој вообичаено се нарекува Мор-Кулонов критериум на лом :

$$\tau = \sigma * \operatorname{tg} \varphi + c$$

Каде што c - кохезија, (кПа);

φ - агол на внатрешно триење ($^{\circ}$);

τ - тангенцијален напон (кПа);

σ - нормален напон (кПа);

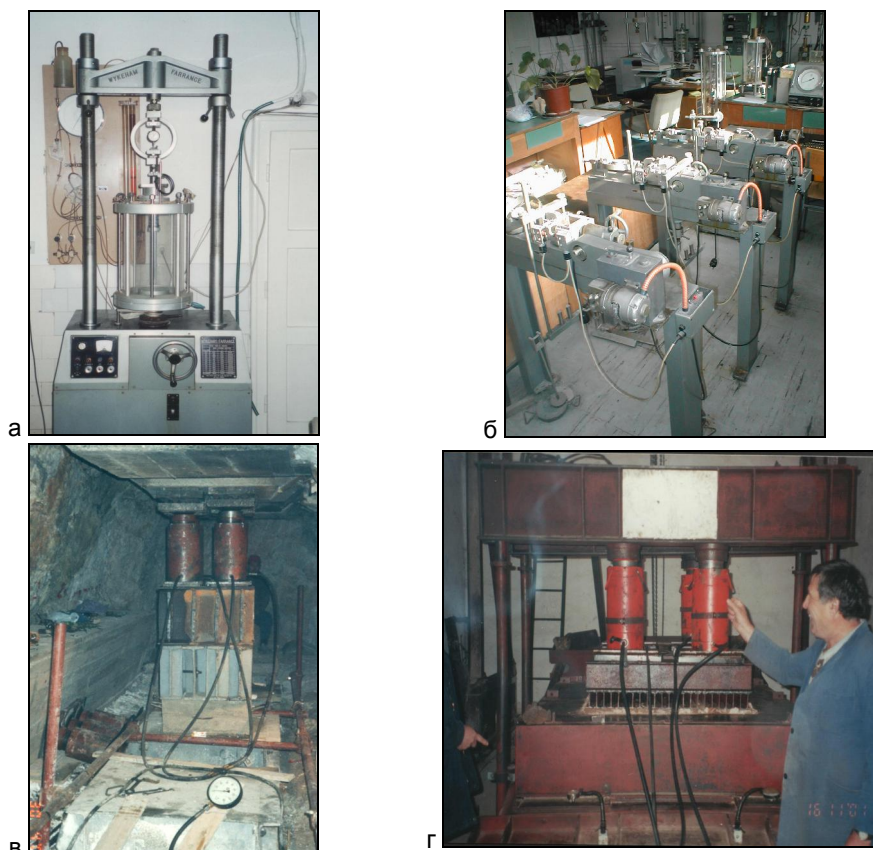
$\operatorname{tg} \varphi = f$ коефициент на триење.

Подоцна, критериумот на лом е делумно модифициран од Терцаги, кој го воведува терминот **ефективен** нормален напон :

$$\tau = (\sigma - u) * \operatorname{tg} \varphi + c$$

Каде што u - притисок од вода во порите на почвата или порен притисок (кПа).

Познати се голем број методи со кои се дефинира јакоста на смолкнување (Слика 7.24).

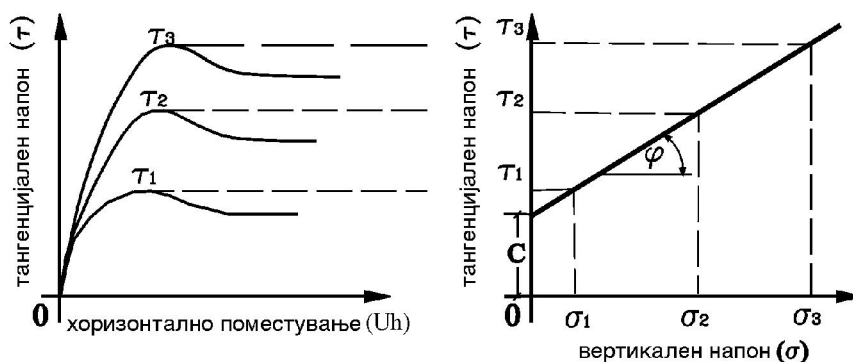


Слика 7.24 а - Апаратура за триаксијално испитување на почви; б - опрема за директно смолкнување на почви; в - диспозиција на испитување на цврсти карпести маси со директно смолкнување во теренски услови (истражна галерија од брана “Света Петка”); г - апарат за директно смолкнување во големи размери за грубозрн материјал и за дробен камен

Кај поситнозрните почвени материјали најприменувани се опитите на **директно смолкнување** и **триаксијална компресија**, каде што димензиите на примероците за испитување се релативно мали. На пример, кај глиновити почви, триаксијалните испитувања се вршат врз пробни цилиндрични тела со најчести димензии односи на дијаметар кон висината $D:H=38:76$ mm. Кај опитот на директно смолкнување на квадратни пробни тела со димензии кои во ширина достигнуваат 40-60 mm а висина 20-30 mm. Поретко може да се изврши и смолкнување на поголеми почвени пробни тела. Кај погрубозрните материјали и кај дробен камен, се применува испитување во апарати за директно смолкнување со **големи димензии**, кои обично имаат должина и ширина од $1000*1000$ mm, а висина до 600 mm. На терен, јакоста на смолкнување на некои видови почви со ниска јакост се определува со т.н. крилна сонда. Кај цврсти карпести маси, се применуваат методи на испитувања со директно смолкнување во голема мерка

ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

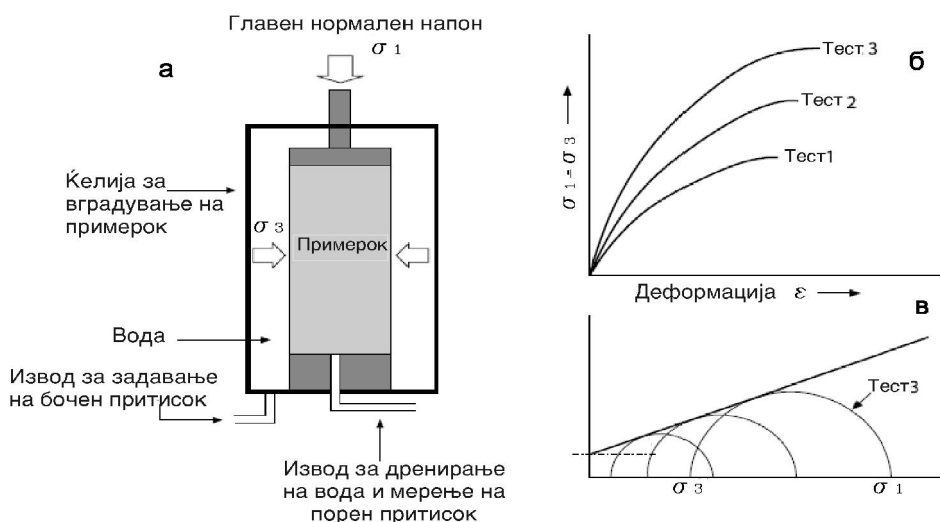
во теренски услови. Ако за определување на јакостните карактеристики на почвата се користат апарати за директно смолкнување, тогаш се мерат хоризонталните деформации (U_h) и тангенцијалната јакост (τ), кои се нанесуваат на дијаграми во вид на зависности $\tau=f(U_h)$ и $\tau=f(\sigma)$ како на Сликата 7.25.



Слика 7.25 Интерпретација на резултатите при опит на директно смолкнување

Од овие дијаграми, кохезијата се дефинира како отсечок на правата линија, која го зафаќа со ординатната оска, а аголот на внатрешно триење е аголот меѓу горната зависност со хоризонталата. Кај неврзаните почвени материјали од тип на: песок, чакал, дробина и слично, дијаграмот започнува од нулата, односно е без отсечка на ординатата.

Кога јакоста на смолкнување се дефинира преку опит на триаксијална компресија, параметрите се определуваат ако се знае разликата меѓу главните нормални напрегања (σ_1 и σ_3), кои предизвикуваат соодветни деформации на почвените примероци (ϵ) (Слика 7.26).



Слика 7.26 Интерпретација на резултатите со опит на триаксијална компресија

Главниот вертикален напон (σ_1) се задава со притисок предизвикан од вертикална преса, додека бочните напрегања (σ_3) се задаваат со помош на вода, која се втиснува во келиите, каде што е вграден примерокот. Во текот на опитот, овозможено е да се мери и порниот притисок (u), со што се создава можност за дефинирање на ефективните напони во примерокот.

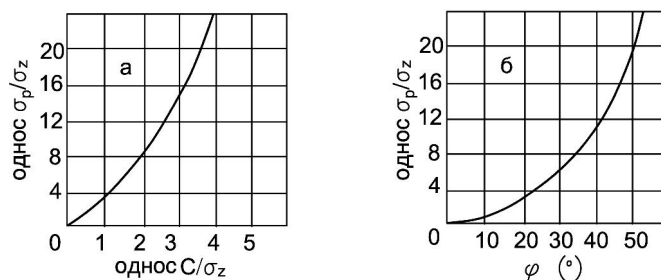
Јакоста на смолкнување кај неврзаните почви зависи само од внатрешното меѓусебно триење меѓу почвените зрнца. Бидејќи зрцата меѓу себе се во контакт, поради нивната рапавост, во точките на допирот, се појавуваат сили на триење кои зависат од структурата на почвата, минеролошкиот состав, нивото на вертикален напон и содржината на водата.

Јакост на смолкнување кај примероци на цврсти карпи

Јакоста на смолкнување за примероци на цврсти карпи, ретко е меродавна за инженерски анализи, бидејќи евентуалните ломови во природата главно се случуваат низ некои од постојните пукнатини. Само во определени случаи во рударството, може да се појави од потреба на познавање на јакоста на смолкнување на монолитните делови од карпите. Во такви случаи, таа се испитува на карпести примероци, по шема на оптоварување како на Сликата 7.14. Исто така, таа може да се добие по пресметковен пат, со користење на резултатите за јакоста на притисок (σ_p) и затегање (σ_z). Тогаш, кохезијата (c) и аголот на внатрешно триење (φ) на ниво на монолит се добиваат, по следните формули или според дијаграмите на Сликата 7.27.

$$c = B * \sigma_z; \quad \varphi = 2 \left[\arctg \left(\frac{\sigma_p}{\sigma_z} * \frac{1}{2B} \right) - 45 \right]; \quad B = \sqrt{\left(\frac{\sigma_p}{\sigma_z} + 1 \right)} - 1$$

Каде што е: B-коэффициент зависен од односот на јакоста на притисок и затегање.

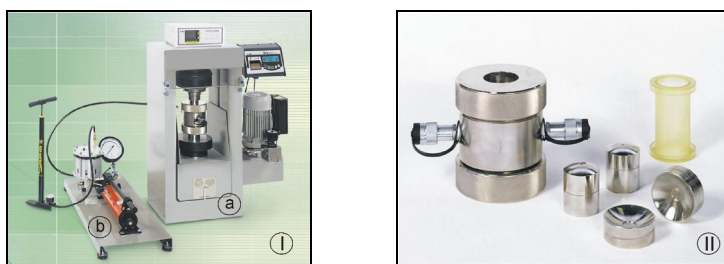


Слика 7.27 Дијаграми за пресметка на параметрите на јакост на смолкнување кај монолитни примероци (Ржевскиј и Новик, 1984)

Прикажаните зависимости се користат за брза пресметка на кохезијата и аголот на внатрешно триење, по параболична зависност меѓу тангенцијалните и вертикалните напрегања.

Може да се извршат и специјални испитувања на монолитни примероци во лабораториски услови во триаксијална состојба на напрегања, за што се користат специјални келии (Слика 7.28).

Шемата на оптоварувања е слична како на Сликата 7.26, со тоа што нивоата на оптоварувања се многу повисоки.

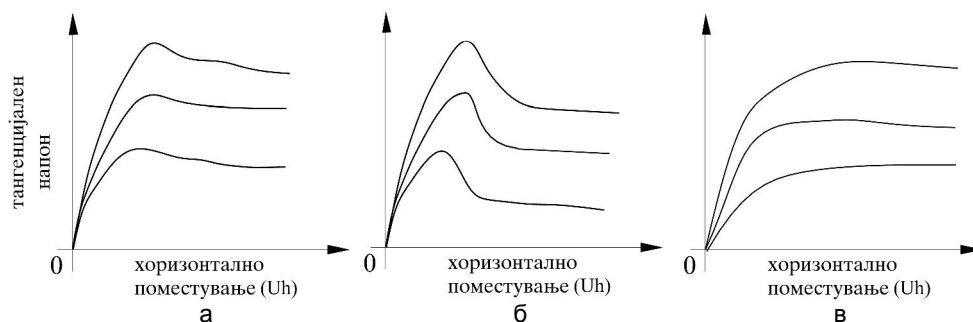


Слика 7.28 Апаратура (I) и Хекови ќелии (II) за триаксијални испитувања на монолитни делови од карпа: а - преса за испитување, б - пумпа за задавање страничен притисок

Овие испитувања може да се искористат и за пресметка на емпириските константи на лом. Даваат меродавни резултати, главно, за карпести маси на големи длабини, каде нивоата на оптоварувања се високи, а карпестата маса е слабо испукана. Вакви се случаите на длабоки рудници, каде што доминантен ефект врз однесувањето на карпите има напонската состојба.

Јакост на смолнување кај цврстоврзани карпести маси

Јакоста на смолкнување кај цврсто врзаните карпестите маси во значителна мерка има влијание на изборот на типот, димензиите и конструктивните елементи кај градежните објекти. При тоа, површината на ломот може да се формира по постоечките дисконтинуитети, а делумно и низ монолитните делови на карпестата маса. Затоа, во инженерската практика, кај цврсто врзаните карпести маси, јакоста на смолкнување најчесто се определува во теренски услови, бидејќи со испитувањата се опфаќа поголем волумен од карпестата маса. При оптоварувањата се ангажира јакоста и на монолитните делови и на пукнатините од карпата. Со обработка на податоците се добиваат дијаграми на поместувањето во функција на напоните при смолкнувањето $U_h = f(\tau)$ при што се разликуваат „нормален“, „крт“ и „пластичен“ тип на лом (Слика 7.29).



Слика 7.29 Типични дијаграми на поместувањето во функција на напоните на смолкнувањето: а - нормален лом; б - крт лом, в - пластичен лом

Кртите ломови редовно се јавуваат во карпестите маси со висока јакост, а пластичните ломови кај „меките“ карпи со ниски вредности на јакоста. Треба да се спомене, дека, теренските методи се доста скапи и долготрајни, па се применуваат главно при истражување на карпестите маси за зоните на фундаирање на бетонски брани и поретко кај некои значајни подземни објекти. Детали за некои најпознати постапки за испитување се прикажани во Глава 14.

Емпириски методи за проценка на јакоста на смолкнување

Во геотехничката наука, многу често се применуваат методи за брза проценка на јакоста на смолкнување кои се нарекуваат **емпириски** или **искуствени**. Тие се корисна замена за теренските испитувања, посебно при истражување за помали објекти и при проектирање на идејни решенија. Најпознат и најчесто применуван е критериумот на лом Хек и Браун. Генерален облик на овој критериум е прикажан со следната равенка:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_p \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma'_3}{\sigma_p} + s \right)^a$$

Каде што е: m_b - емпириска константа за конкретен тип на карпестата маса;
 s и a - константи кои зависат од карактеристиките на карпестата маса;
 σ_p - едноосиална јакост на притисок на монолитен дел од карпата;
 σ'_1 и σ'_3 - ефективни главни напрегања.

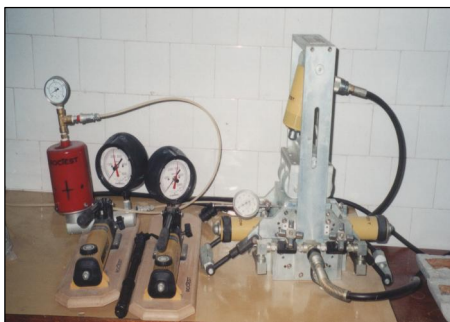
Емпириски критериум за лом, во преуредена форма може да се изрази со следната равенка:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \left(m \cdot \sigma_p \cdot \sigma'_3 + s \cdot \sigma_p^2 \right)^{1/2}$$

Со соодветни анализи по постапка дефинирана од Хек, Каранца-Торес, Коркум од 2002, овој критериум може да се искористи за пресметка на аголот на внатрешно триење ϕ и кохезијата на масивот (c_m). Значајно е да се спомене дека вредностите на аголот на внатрешно триење и кохезијата кај овој критериум на лом не се константни, односно се во функција од големината на ефективните нормални напрегања σ' . Основа за примена на емпириските методи е добро дефинираниот квалитет на карпеститот масив, кој комбиниран со податоци за јакоста на монолит, може да даде релативно доверливи податоци за јакоста на смолкнување на масивот.

Јакост на смолкнување по должина на пукнатини

Во практика е познато дека надминувањето на јакоста на смолкнувањето, најчесто и главно се случува по должина на постоечките пукнатини во карпестата маса. Затоа е неопходно да се познава јакоста на смолкнување по должина на пукнатините, која во најголема мерка зависи од формата и состојбата на сидовите, како и од механичките карактеристики на пукнатинскиот наполнител. Во минатото се изведувани опити на смолкнување во теренски услови на блокови во карпестата маса со метарски димензии. Меѓутоа, научните сознанија покажаа дека се добиваат многу блиску резултати со лабораториските испитувања, бидејќи проблемот се сведува на триење. Така, ефектот на размер во случајов нема големо влијание. Една од можните апаратури е прикажана на Сликата 7.30.



Слика 7.30 Апаратура за испитување јакост на смолкнување по должина на пукнатини (т.н Хекова кутија за директно смолкнување)



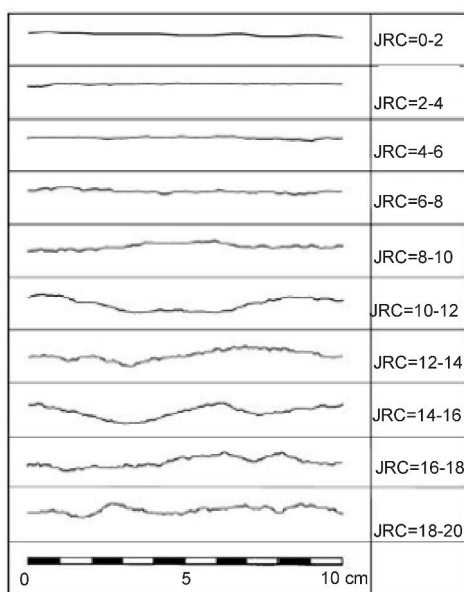
За испитување во прикажаната апаратура, пукнатината може да има каква било положба во просторот, но крајно примерокот со пукнатината се положува во хоризонтална рамнина, во специјални бетонски калапи (Слика 7.31).

Слика 7.31 Подготовка на примерок за испитување на јакост на смолкнување по должина пукнатини

Во практика, јакоста на смолкнување често се проценува по емпирискиот критериум на лом на Бартон и Чобе. Овие автори ја дефинирале нелинеарната врска меѓу тангенцијалниот напон (τ) и нормалниот напон (σ):

$$\tau = (\sigma) \tan [JRC \cdot \log(JCS / \sigma) + \phi]$$

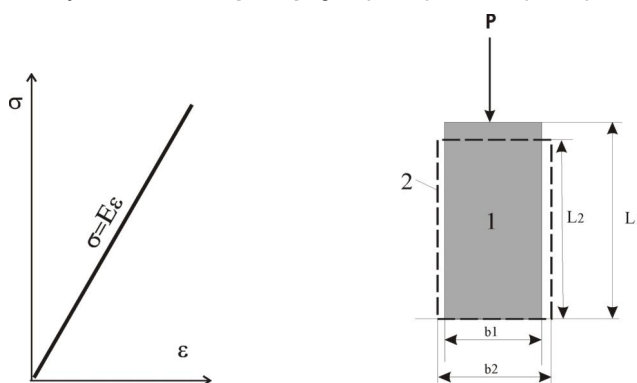
За примена на оваа методологија е потребно познавање на т.н. коефициент на рапавост на пукнатинските површини (JRC), коефициентот на јакост (JCS), и базичниот агол на триење (ϕ), кои се дефинираат со релативно едноставни теренски и лабораториски мерења. Според препораките на Бартон, се движи од JRC=0 за идеално мазни пукнатини, до JRC=20 за рапави и назабени пукнатини (Слика 7.32).



Слика 7.32 Проценка на коефициентот на рапавост на пукнатините

ДЕФОРМАБИЛНОСТ НА КАРПИТЕ

Деформабилноста е својства на карпите да го менуваат волуменот и формата кога се изложени на дејство на надворешните сили, чие ниво треба да е под граничните вредности со цел да не се предизвика лом. Во практиката се познати различни начини на испитување и проценка на деформабилноста, која може да се испитува во лабораторија, во теренски услови или да се процени по емпириски пат. Испитувањата можат да се извршат врз цврсти карпи и врз почвени материјали. Во случаи кога карпите се користат како природен градежен материјала се испитуваат во **лабораторија** врз карпести примероци (Слика 7.33).



Слика 7. 33 Дијаграм напон - деформација за линеарно еластично Хуково тело

При тоа, се мерат почетните димензии (L_1, b_1) и деформираните димензиите при определено ниво на оптоварување (L_2, b_2). Како параметар за деформабилноста се користи **модулот на еластичност** (E), кој уште се нарекува и **Јунгов** модул. Други параметри се **модулот на деформација** (D) и коефициентот на напречната деформација кој се нарекува **Поасонов коефициент** (ν). Врската меѓу напоните и релативните деформации (дилатации) се определува по **Хуковиот** закон, каде што за линеарно еластично тело важи линеарна пропорционалност дефинирана со следните равенки:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ односно } E = \sigma / \varepsilon \text{ каде } \sigma = P / A, \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \text{ и } \Delta L = L_2 - L_1$$

Каде што e : P - оптоварување (кN);

A - напречен пресек на примерокот (m^2);

σ - предизвикан напон на притисок од силата P ; [кN/ m^2];

ε - надолжна дилатација во правец на силата P (неименуван број);

L_1 - почетна висина на примерок во правец на дејството на силата P ;

L_2 - деформирана димензија по приложено оптоварување;

Δl - релативна деформација или скратување на примерокот, изразено како промена на висината во правец на дејството на силата P .

Во практиката често се користи и терминот **тангентен модул на еластичност**, кој се дефинира за ниво на 50% оптоварување од дијаграмите $\sigma = f(\varepsilon)$. Бидејќи карпите се одликуваат и со деформација, која е нормална на правец на дејството на силата P , се јавува т.н. **Поасонов ефект**, дефиниран со следната равенка:

$$\nu = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon}, \quad \varepsilon_b = \frac{\Delta b}{b}, \quad \Delta b = b_2 - b_1$$

ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

Каде што ν - Поасонов коефициент;

ϵ_b - релативна деформација напречно на дејство на силата P ;

Δb - деформација на примерокот напречно на силата P ;

b_1 - почетна ширина на примерокот;

b_2 - промена на димензијата напречно на силата P .

Реципрочна вредност на ν се нарекува Поасонов број (m), кој е еднаков на $m = 1/\nu$. За добивање на реални вредности на модулите, мерењата, треба да се вршат во средната зона на примерокот каде што има рамномерна распределба на напоните на притисок. Испитувањата се прават со истата опрема, која се користи за испитување на јакоста на притисок. Ако јакоста се искombинира и спореди со деформабилноста, може да се дефинира нивниот однос според класификацијата на Дир и Милер (Слика 7.34).



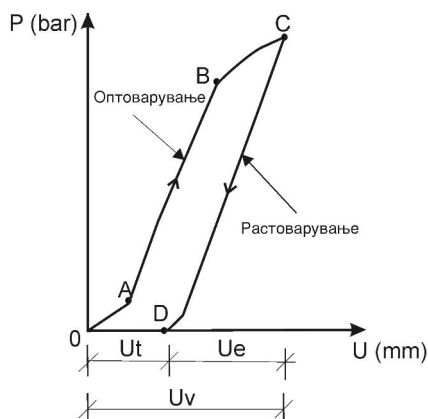
Слика 7.34 Дијаграм со приказ на односи меѓу тангентен модул на еластичност и јакост на притисок

На сликата се прикажани неколку карактеристични зони од каде може да се согледаат соодносите меѓу јакоста и деформабилноста.

Кога карпите се користат како средина во која ќе се фундаираат објектите или кога се изведуваат големи инженерските интервенции, деформабилните својства се испитуваат во **теренски услови** бидејќи механичкото однесување на испуканите карпесте маси во реални теренски услови има значајни разлики во однос на идеално еластичното Хуково тело. Во теренски услови, карпестите маси обично се оптоваруваат и растоваруваат во неколку циклуси, а деформациите се следат и во функција на време. Со тоа се симулира реалното однесување на објектите.

На пример, кај една брана, теренот под дејство на сопствената тежина од браната и водата од акумулација се оптоварува, но со варирање на нивото на вода во акумулацијата и се растоварува и оптоварува повеќе пати.

За да се илустрира суштината на процесот, на Сликата 7.35 е прикажан еден карактеристичен случај само за еден циклус на оптоварување и растоварување.



Слика 7.35 Карактеристичен дијаграм притисок-деформација за еден циклус на оптоварување и растоварување

Од прикажаниот дијаграм се гледа дека при оптоварувањето се создава една вкупна деформација (U_v), која се состои од два дела: повратен дел (**повратна деформација** - U_e) и траен дел (**трајна или неповратна деформација** - U_t). Во подрачјето на малите оптоварувања, од точката O до точката A на дијаграмот, гранката на зголемување на притисокот на дијаграмот е конкавна кон ординантната оска на која е нанесено

оптоварувањето. Ова се толкува како влијание на затворањето на пукнатините, кои настанале како последица на механичкото оштетување на карпестата маса при ископот, или од ефектот на ослободувањето на природните напони. По точката A , дијаграмот се приближува кон права линија се до точката B . На овој дел, карпестата маса се однесува „нормално“, а вкупната деформација е функција од притисокот P . Од притисокот во точката B , дијаграмот е закривен и конкавен кон апсцисата, што укажува на почетни локални ломови, кои во крајна мера се манифестираат со придвижување на поедините монолитни блокови на карпестата маса.

При растоварувањето, линијата е пострма, затоа што го изразува еластичниот карактер на деформацијата (U_e). Со оглед дека не е возможно точно да се определи повратната точка D , со растоварувањето не се оди до нулата, туку до некоја вредност на притисокот P_0 , чија големина треба да зависи од видот и карактерот на карпестата маса.

Врз основа на конструираниите дијаграми притисок-деформација, се пресметуваат модулите на деформацијата (D), односно модулите на еластичноста (E), за соодветни оптоварувања, односно нивото на предизвикан притисок (p). Општите изрази за пресметка на модулот на деформацијата и модулот на еластичноста се:

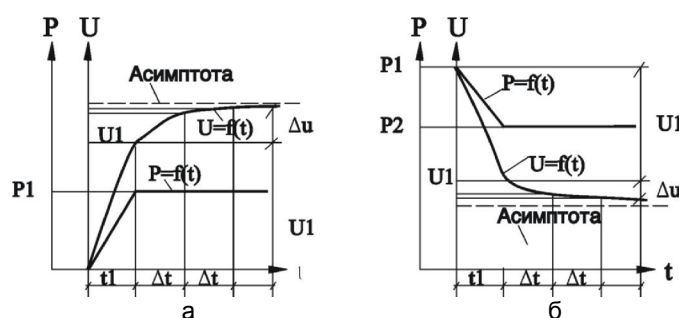
$$D = k \frac{p}{U_v}, \text{ односно } E = k \frac{p}{U_e}$$

Каде што е: D - модул на деформацијата (МПа);

E - модул на еластичноста (МПа);

k - коефициент што зависи од формата и од големината на оптоварената површина, мерните точки, распределбата на напоните под оптоварената површина и др.

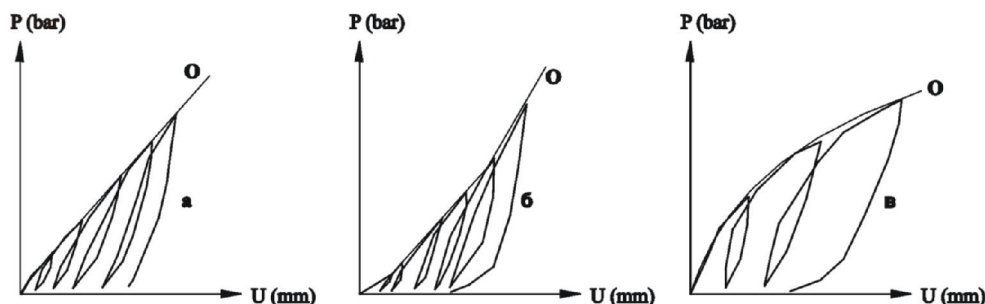
Во текот на испитувањата се врши и временско регистрирање на деформациите, со што се следи историјата на оптоварувањата и растоварувањата и развојот на деформациите (Слика 7.36).



Слика 7.36 Деформации на карпестата маса при оптоварувањето (а) и растоварувањето (б) во функција на време, за еден циклус.

За време t_1 , во кое притисокот се зголемува од 0 до P_1 , односно се намалува од P_1 на P_2 , се извршува соодветна деформација u_1 , која се нарекува **истовремена** или **моментална деформација**. Понатаму, иако притисокот останува константен со текот на времето, деформацијата продолжува да расте, односно да опаѓа. Линијата на деформацијата асимптотски се приближува кон некоја гранична вредност, а деформациите што настануваат во функција на време, поголеми од t_1 , при $P = \text{const}$, ги нарекуваме **дополнителни деформации** или **деформации на ползењето**. Овој феномен го изучува реологијата на карпестите маси.

Од карактерот на дијаграмите p - u , може да се добие слика за состојбата на карпестата маса. Врз база на неколку стотина извршени опити на притисок, Б. Кујунџиќ издвоил три типа карпести маси по карактерот на деформабилноста (Слика 7.37).



Слика 7.37 Некои типични дијаграми на деформабилноста на карпестите маси со повеќе фази на оптоварување и растоварување: а - за цврсти и компактни карпи, со речиси праволиниска обвојница (анвелота); б - за цврсти но испукани карпи, со конкавна обвојница спрема ординатната оска, в - за шкрилци, од различен тип, претежно глинести шкрилци, со конвексна обвојница спрема ординатната оска, О - обвојница (анвелопа).

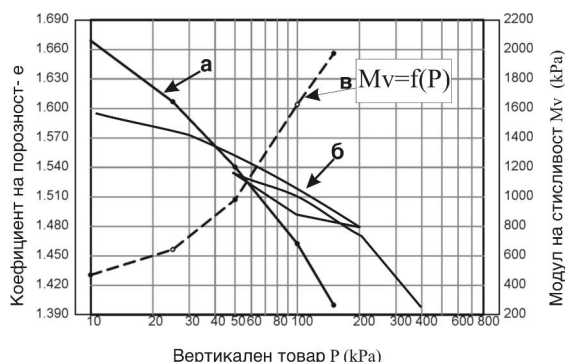
За секоја применета теренска метода на испитување постојат и соодветни равенки за пресметка на модулите D и E. Детали се прикажани во Главата 14.

Деформабилноста на почвите се дефинира квантитативно преку **модулот на стисливоста** (M_v) или **модулот на деформацијата** (E_0), кои имаат димензија kN/m^2 . Модулот на стисливоста на почвата се определува во лабораторија со помош на таканаречениот едометарски опит, при што почвен примерок се оптоварува постепено со вертикален товар (p) од нулта до состојба дефинирана

со ниво на оптоварување, кое се движи до неколку стотици kPa. Најчесто оптоварувањето, кое се приложува достигнува до околу 400 kPa, кое одговара и на најчестите нивоа на оптоварувања од градежните објекти од високоградбата врз подлогата. Резултатите најчесто се нанесуваат на дијаграм како промена на слегнувањето Δh или како промена на коефициентот на порозноста (e) во функција на оптоварувањето. Модулот на стисливост може да се пресмета со користење на дијаграмот од Сликата 7.38 и со помош на следната формула:

$$M_s = \frac{\Delta p}{\Delta h/h} \text{ (kPa)}$$

Каде што е: Δp - разлика помеѓу два последователни степени на оптоварување;
 Δh - деформирање на примерокот во вид на разлика меѓу слегнувања за два последователни степени на оптоварување;
 h - висина на примерокот во едометарот, пред опитот.



Слика 7.38 Дијаграм од едометарски опит на стисливост: а - дијаграм со еден циклус на оптоварувањето б - дијаграм со циклус на оптоварување и растоварување, в - зависност на модул на стисливост од ниво на оптоварување

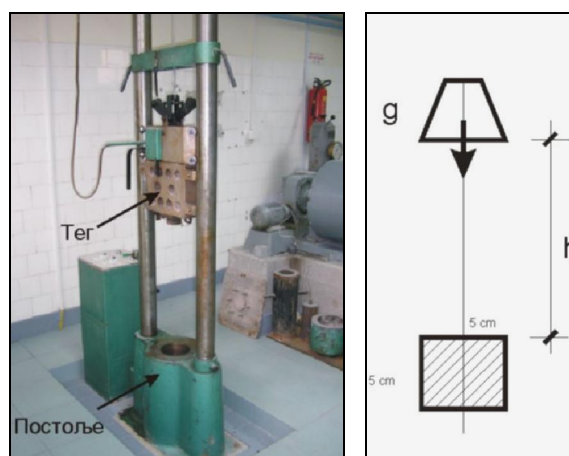
Апаратурата за испитување, зависно од големината на зрната на почвата е со различни димензии. Најчесто, примероците кај ситнозрните почви се со дијаметар од 40-100 mm и со висина од 20-30 mm. Кај грубозрни почви се користат апарати со дијаметар до 500 mm и висина 250 mm (Слика 7.39).



Слика 7.39 а - Апарати за едометарски испитувања на крупнозрни почви, б - Апарат за испитување на деформабилност на ситнозрни почви

ЖИЛАВОСТ НА КАРПИТЕ

Жилавоста е отпор што го даваат карпите кога се изложени на динамички влијанија во вид на удар, вибрации и слично. Затоа, често се нарекува и динамичка јакост. Зависи од склопот на карпата, свежината на минералните зрна и минеролошкиот состав, порозноста и другите својства. Според важечките стандарди кај нас, таа се определува лабораториски на пробна коцка 5*5*5 cm врз која се пушта слободно да паѓа тег со тежина од 500 N и тоа од сè поголема висина, сè додека не настапи лом на карпестиот примерок (Слика 7.40).



Слика 7.40 Приказ на апаратура и шема за испитување на жилавост на карпите (фото Р. Петровски)

Жилавоста се пресметува по следната формула:

$$\sigma_{\text{din}} = R/V \quad [\text{J}/\text{cm}^3]$$

Каде што е: σ_{din} - жилавост или динамичка јакост (J/cm^3);

R - работа извршена за лом на карпестиот примерок (J);

V - волумен на примерокот (cm^3).

Жилавоста е значајна кога карпите се изложени на минирање или при зачестени вибрации кога се под компресорски постројки, при потреси од тешки возила и слични влијанија.

АБЕЊЕ НА КАРПИТЕ



Абење или трошење на карпите е отпор што го даваат карпите кога се изложени на триење. Најмногу зависи од тврдината на минералите, кои ја градат карпата, начинот на нивната поврзаност, свежината, цепливоста и видот на природното врзиво.

Слика 7.41 Приказ на апаратура за испитување на абеење на карпите со метод Лос Анцелес (фото Р. Петровски)

Може да се испитува на повеќе начини, но во практиката најчесто се применува методата наречена **Лос Анџелес**. Опитот се состои од абење на 50 или 100 N дробен агрегат на карпа, кој се става во еден метален барабан, заедно со 6-12 челични топчиња. Барабанот ротира околу својата хоризонтална оска (500-1000 ротации), по што се врши просејување и мерење на честичките со дијаметар под 1.6 mm, кои настанале со удирање на металните топки и самите парчиња на карпата едни од други (Слика 7.41).

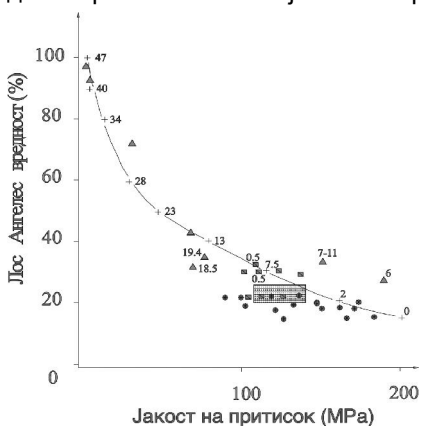
Абењето се изразува со следната равенка:

$$H_a = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100[\%]$$

Каде што е: M_1 - маса на сувата карпа пред абењето;

M_2 - маса на карпата по абењето која останува на ситото;

Најнеповолно е кога абењето е големо и нерамномерно. Познавањето на ова својство има значење кога карпите се користат за изградба на: патишта, улици, плоштади, скапила, воденички камења, точила и сл. Генерално, се забележува дека карпи со поголема јакост на притисок имаат пониско абење (Слика 7.42).



Слика 7.42 Корелација меѓу вредноста Лос Анџелес и јакоста на притисок (Џерар и Дејр 1984)

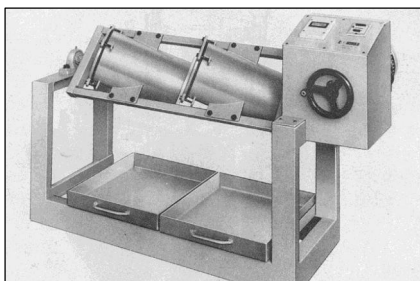
Во практиката се користи и методата на Беме, која најмногу одговара на физичката суштина на абењето. Опитот се состои од триење на пробно тело со димензии 7,09*7,09*7,09 cm или површина на триење од 50 cm². Пробното тело се поставува врз специјална опрема, која ротира со определен број ротации (Слика 7.43). Врз плочата на апаратурата се поставува абразивно средство, за полесно триење. За да се обезбеди рамномерно триење, коцката се завртува на неколку страни. По овој метод, абењето се изразува како губиток на волумен на коцката во однос на првобитниот волумен во cm³/50 cm².



Слика 7.43 Приказ на апаратура за испитување на абење на карпите со машина тип Беме, (а) и детаљ од ставање на абразивно средство во жлебот на плочата (б) (фото Р. Петровски)

ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

Во светската практика, можат да се сретнат и други слични методи за определување на абразивноста на карпите, посебно кога се применуваат како: агрегат за бетон, асфалтни мешавини, камен за долна носива подлога и слично. На Слика 7.44, е прикажан т.н Девалов апарат, кој се состои од два метални цилиндри во кои се става дробен агрегат на карпа.



Слика 7.44 Машина тип Девал за определување на отпор кон абразија на дробен камен

Опитот се состои од абење на 5 kg дробен агрегат на карпа, кој по миеење и се става во металните цилиндри и се ротира околу 5 часа со 10000 вртежи. На крај се врши просејување низ сито со отвори 1,6 mm, при што се пресметува т.н. Девалов коефициент (D), или процент на абење на карпата A по следните формули:

$$D = \frac{400}{M}; \quad A = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100 \text{ [\%]};$$

Каде што е: D - Девалов коефициент

M - маса на честички кои поминале низ сито 1,6 mm (N).

M₁ - маса на сува карпа пред абење (g).

M₂ - маса на сува карпа поосле абење (g).

Ако карпата има вредност D>15, таа е многу отпорна кон абење, од D=11-15 е отпорна кон абење, со D<11 не е отпорна на абење.

ВПИВАЊЕ ВЛАГА И ОТПОРНОСТ КОН МРЗНЕЊЕ

Впивањето на влага или апсорпцијата (U) е многу значаен параметар кога се дефинираат критериумите за примена на карпите како градежен материјал. Се дефинира на примероци со постепено водозаситување во лабораторија, а се изразува според следната формула:

$$U = \frac{G_1 - G_s}{G_s} \cdot 100\%$$

Каде што е : U - впивање на влага во проценти

G₁ - тежина на примерок заситен со вода

G_s - тежина на сув примерок

Од големината на впивање на влага, во голема мера зависи и дефинирањето на отпорноста на карпите кон дејство на мраз. Отпорноста се дефинира со помош на т.н. коефициентот на отпорност на мраз (K_m), кој се пресметува по следната формула:

$$K_m = \sigma_{pm} / \sigma_p$$

Каде што е: K_m - коефициент на отпорност на дејство на мраз;

σ_p - јакост на притисок во сува состојба;

σ_{pm} -јакост на притисок после 25 циклуси на мрзнење и одмрзнување.

ТВРДИНА

Тврдината се дефинира како отпор кој карпестите маси го покажуваат при продирањето на некое друго потврдо тело. Се смета за едно од најзначајните својства на карпестите маси кога се третираат како работна средина. Во практиката, најчесто се употребува методата заснована на принципот на втиснување челичен преносник врз примерок од карпата. Тврдината се изразува преку односот на силите, кои се потребни да предизвикаат крто дробење на примерокот. При тоа се создава лачна вдлабнатина на политирани примерок. Се пресметува по следната формула:

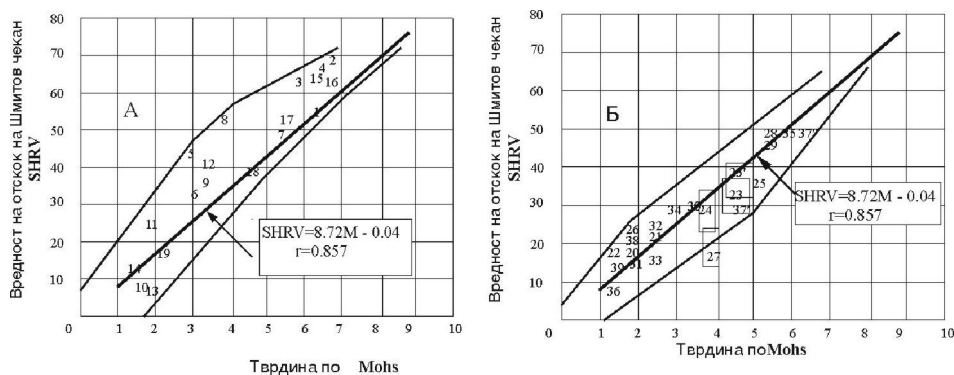
$$H_{sr} = P_{raz} / S_{st} \quad (N/cm^2)$$

Каде што е: H_{sr} - тврдина на материјалот;

P_{raz} - сила потребна за предизвикување крто дробење на примерокот (N);

S_{st} - површина на челичниот преносник (cm²).

За вакви намени најприменувана е склерометарската метода со Шмитов чекан која е опишана во Глава 6. Резултатите од испитувањата релативно добро се корелираат со тврдината по Мосова скала (Слика 7.45).



Слика 7.45 Зависност на тврдина по Mohs-овата скала и вредност на отскок на Шмитов чекан (SHRV): А - по податоци од литературни извори, Б - за локалитети од Р Македонија (Јовановски М., 2001)

Таа е една од најбрзите и најекономичните методи за одредување на тврдината на материјалите. Индиректно се користи и за проценка на јакоста на притисок, тврдината по Мосовата скала и јакоста на смолкнување по должина на пукнатини. Постои и едноставна зависност меѓу релативната тврдина по Мосовата скала (M) поголеми од 1 со **коэффициент на јакост** (f) според Протофаконов, по следната формула:

$$f = 3, 2 M - 2,8$$

Тврдината најчесто служи за проценка на отпорот при: ископ, дупчивост и другите технолошки својства на карпестите маси.

АБРАЗИВНОСТ

Абразивноста е дефинирана како способност на карпестата маса да предизвикува трошење на машините поради триење, независно од состојбата на карпестата маса. Абразивноста е посебно значајна при дупчењето и изработката

ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

на подземните простории. Според Шрејнер, коефициентот на абразивност (K_{ab}) се добива на следниот начин:

$$K_{ab} = V_s / P \text{ (cm}^3/\text{m}^3\text{kg)}$$

Каде што е: P - сила со која се врши притискање (kg);

V_s - обејне на материјалот на прстенот на 1 m пробивање (cm³/m).

Испитување на абразивноста се врши, така што примерокот од карпата се притиска со ротационен прстен, при што се мерат тежините на прстенот пред и по одреден број на ротации. Така се пресметува обењето на материјалот на прстенот на 1 m од патот што го поминува низ карпата.

ТЕХНОЛОШКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

Технолошки својства на карпите се оние својства кои се манифестираат при нивната обработка и изведувањето на работите во нив. Позначајни технолошки својства се: обработливоста, дупчивоста, дробливоста, отпорноста при минирањето, растреситоста, условите за збиеност и др.

Обработливоста на карпите се манифестира преку условите за обработка на карпите со различни алатки. Обработливоста може да биде полесна или потешка, подобра или послаба, но целта е на карпите да им се даде соодветна форма во вид на коцка, призматични плочи, блокови и сл. При тоа разликуваме груба обработка, која се врши со рачен алат: чекан и клин, цепање или со фина обработка користејќи машини за режење, рамнење и полтирање, зависно од намената на карпата. Самата обработка зависи од: минералношката состав, склопот, вид на врзиво, јакоста, жилавоста, свежината на состојките, влажноста и др. Фината обработка се применува за декоративни цели и споменици.

Дробливоста на карпите е отпор што го дава карпата при ситнењето, т.е. кога е изложена на дејство на динамичка сила. Таа е посебно значајна кога се избира машинската опрема за дробење на карпите (т.н. дробилничните постројки). Се испитува на повеќе начини, но најпозната е т.н. **Третонова постапка**. Испитувањето се врши во еден метален цилиндар каде што се поставува дробена карпа врз која се пушта да паѓа тег. Се изразува преку коефициентот на дробењето:

$$K_d = \frac{20 \times n}{L} \text{ [mm}^{-1}\text{]}$$

Каде што е: n - број на удари на тегот;

L - висина на столбот од настанатото ситнење на зрна помали од 5 mm во мензура со стандардни димензии (mm).

Според Британските стандарди, на сличен начин се дефинира влијанието на удар врз агрегатот (анг. **Aggregate Impact Value-AIV**). Постапката се користи за дефинирање на квалитетот на дробениот камен кога тој се користи како агрегат. Апаратурата се состои од вграден метален цилиндар и автоматски бројач на удари, кои се прилагаат врз примерокот (Слика 7.46).

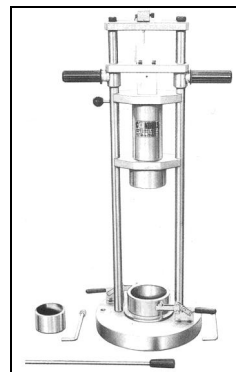
За дефинирање на релативниот отпор при дробење на камен агрегат при примена на постепено прилагање на оптоварување на притисок се користи и вредноста на дробливост на агрегатот (анг. **Aggregate Crushing Value-ACV**). Апаратурата каде што се вршат испитувањата е прикажана на Сликата 7.47.

Дупчивоста е својство на карпите да даваат отпор при продирањето на работниот дел на приборот за дупчење (длето, круна, сврдло и др.) во нивната

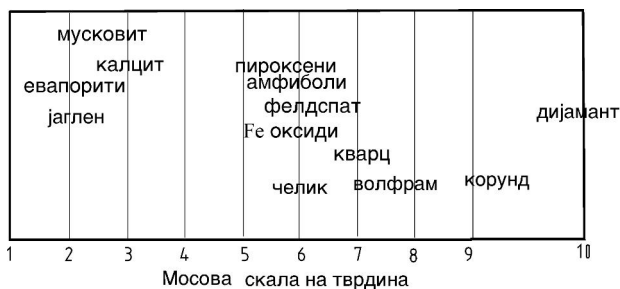
маса. Зависи од природните својства на карпите, но и од видот на дупчењето во карпите, дијаметарот на дупнатина, насоката и длабината на дупчењето и други влијанија. Најголемо влијание од природните фактори има тврдината (Слика 7.48). Постојат повеќе начини за определување на ова својство. На пример, може да се определи преку брзината на напредување на дупчењето во mm/min, или трошењето на сечивото на приборот за дупчење во микрометри по должин метар.



Слика 7.46 Апаратура за дефинирање на вредноста на влијание на удар врз агрегатот (AIV-вредност).



Слика 7.47 Апаратура за дефинирање на вредноста на дробливост на агрегатот (ACV-вредност).



Слика 7.48 Зависност на тврдина според Мосова скала за избор на материјал за дупчење (Блит и Фреитас, 1984)

Врз основа на отпорот што го даваат карпите при дупчењето се врши категоризацијата на карпите. Во практика, како доста погодна се користи постапката на Ржевскиј. Овој автор предлага воведување на параметар наречен показател на тежината на дупчење (P_{tb}). Тој се пресметува според следната формула:

$$P_{tb} = 0,007 (\sigma_p + \sigma_z) + 0,7 \rho$$

Каде што е: σ_p - јакост на притисок;
 σ_z - јакост на затегнување;
 ρ - густина.

По овој критериум, издвоени се 5 класи карпи и тоа:

- I - лесно дупчиви $P_{tb}=1-5$;
- II - средно дупчиви $P_{tb}=6-10$;
- III - тешко дупчиви $P_{tb}=11-15$;
- IV - многу тешко дупчиви $P_{tb}=16-20$;
- V - екстремно тешко дупчиви $P_{tb}=21-25$.

ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

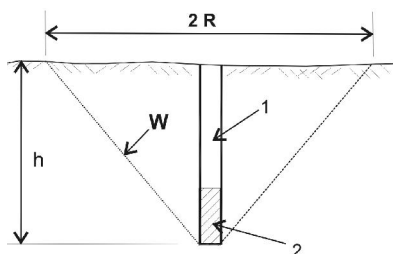
Во секој случај, е потребно да се познава дупчивоста при решавање на проблеми на истражувањето на теренот, минирањето на карпите, експлоатација на вода и минерални сировини и др.

Отпор при минирањето или кршливост на карпите е својство, кое се манифестира при нивно разрушување со експлозив. Се појавува како резултат на дејство на ударот и притисокот на гасовите при експлозијата, при што поради детонацијата се создаваат неколку зони на влијание околу самото експлозивно полнење. Покрај физичко-механичките и технолошките својства на карпите, отпорот при минирање зависи и од видот на експлозивот, должината и ориентацијата на минските дупки во однос на склопот на карпата и од применетата метода на минирање. Ова својство се определува главно во теренски услови, при што се утврдува количеството на експлозивот, кое е потребно да се создаде т.н. **инка на разурнување** каде што дијаметарот на основата ($2R$) е еднаков на висината на инката (h) (Слика 7.49).

Отпорноста на карпите кон минирањето најчесто се изразува со количеството на потрошениот експлозив во N/m^3 на разорената маса, односно преку коефициентот на специфичната потрошувачка на експлозивот:

$$K_e = \frac{Q}{W^3}$$

Каде што е: Q - количество на потрошениот експлозив [N];
 W - линија на најмал отпор [m].



1- минска дупнатина
заполнета со глинен чеп
2- експлозив

Линијата на најмал отпор (W) е линија по која најлесно се разрушува карпата и е еден од најзначајните параметри за пресметка на растојанијата меѓу минските дупнатини и другите показатели на дупчечко-минерските работи.

Слика 7.49 Приказ на инка на разурнување при минирање

Познавањето на отпорот при минирањето помага правилно да се определи бројот на минските дупнатини и нивниот распоред за да има што е можно подобро искористување на експлозивот. На пример, бројот на минските дупнатини може да се определи со следниот израз на М. М. Протоѓаконов:

$$N = 2,7 \sqrt{\frac{f}{A}}$$

Каде што е: N - број на минските дуппатини на $1m^2$ од чело на поткопот;
 A - напречен пресек на челото на поткопот;
 f - коефициент на јакоста на карпите според Протоѓаконов

Коефициентот на јакост најлесно се определува по следната формула:

$$f = \sigma_p / 10$$

Каде што е: σ_p е јакост на притисок во МПа.

За постигнување на најдобар ефект при минирањето, бројот на минските дупнатини не треба да биде ниту многу голем, ниту мал, што зависи и од евентуалната намена на изминираниот материјал. При голем број на дупнатини дејството на едната мина може да биде „потсечено“ со дејството на соседната мина, при што се ствараат непотребни трошоци, додека со реткото распоредување на мините не се постигнува нивниот добар ефект и масата недоволно се раздробува.

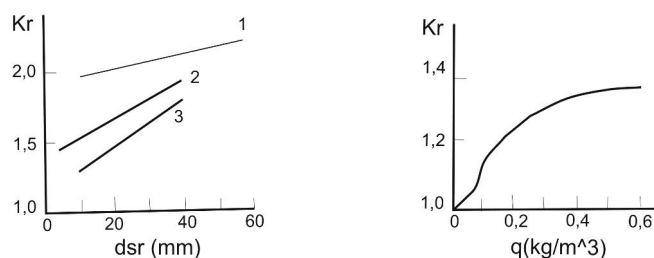
Растреситоста на карпите е својство на зголемување на волуменот на ископана или изминирана маса во однос на првобитниот волумен во склопот на теренот (пред минирање или копање). Најчесто се определува на терен, а се изразува преку коефициентот на растресување, кој има следен вид:

$$K_r = \frac{V_r}{V_m}$$

Каде што е: V_r - волумен на растресениот материјал [m^3];

V_m - волумен на истиот материјал на самото место пред ископот [m^3].

Овој коефициент варира меѓу 1.1 до 1.5, но понекогаш може да достигне вредности и до 2.4 (Слика 7.50).



Слика 7.50 Зависност на коефициентот на растреситост од средна димензија на зрно кај различни карпи (d_{sr}) и од специфичната потрошувачка на експлозив (q)

Зависи од различни фактори, како од средната димензија на зрна кај карпата, специфичната потрошувачка на експлозив и други фактори. За брза прогноза, понекогаш, коефициентот на растреситост се дефинира според литолошкиот состав на карпата (Табела 7.3).

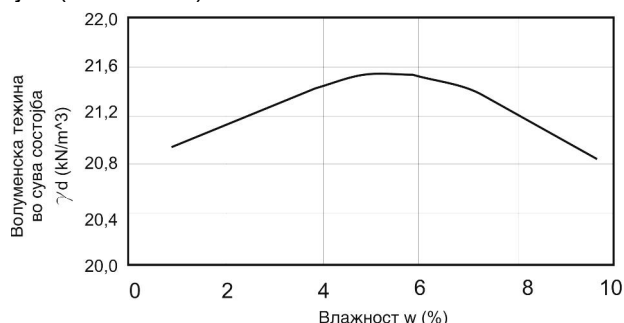
Табела 7.3 Карактеристични вредности за K_r за одредени видови карпи

карпа	коефициент на растреситост
песок	1,1-1,2
чакал	1,2-1,3
глина	1,25-1,35
глинест шкрилец, аргилошист	1,35-1,40
варовник, песочник	1,40-1,60
магматски карпи	1,40-1,80
кристалести шкрилци	1,50-2,40

Условите за збивање на карпите се дефинираат најчесто со **Прокторов** опит или преку **Калифорнискиот индекс на носивост** (анг. Californian Bearing Ratio-CBR). Со помош на Прокторовиот опит се дефинира оптималната влажност (W_{opt}) за дадена вредност на сувата волуменска тежина (γ_d). За нејзино

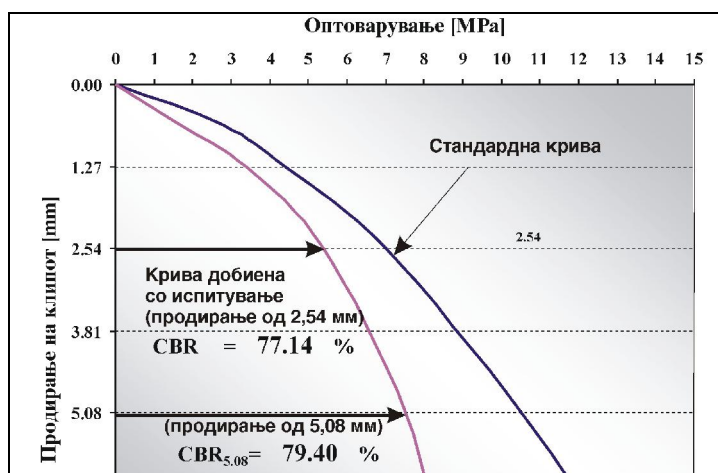
ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

дефинирање се користи стандардизирана апаратура, при што оптималните услови се дефинираат преку крива добиена со поврзување на неколку точки за ист вид материјал (Слика 7.51).



Слика 7.51 Пример на дијаграм за дефинирање на оптимална влажност за дадена сува волуменска тежина добиена со Прокторов опит

Оптималната влажност и максималната вредност на сувата волуменска тежина се отчитуваат од максимумот на кривата, која се добива преку испитување на збиеноста на материјалот при различна влажност. Оптималните услови за збиеност се основните контролни параметри за дефинирање на условите на изведба на насипи кај сообраќајниците, насипните брани или други видови на земјени работи. Калифорниски индекс на носивост (CBR) се добива со испитување во лабораториски или теренски услови по стандардизирана постапка. Основа на постапката е мерење на големината на втиснување на апаратурата за испитување при одредено ниво на приложена сила P (Слика 7.52). Кривата што се добива при испитувањето се споредува со т.н. стандардна крива.

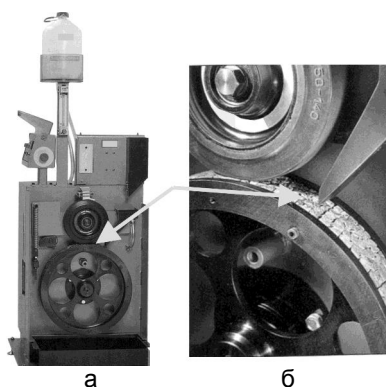


Слика 7.52 Дијаграм за дефинирање на Калифорниски индекс на носивост (CBR)

Вредноста на CBR-индексот се изразува во проценти при втиснување на клипот од 2,54 односно 5,08 mm во однос на исто втиснување кај стандардната крива. Како меродавна вредност за пресметки обично се усвојува вредност на

CBR при втиснување од 2.54 mm. Овој параметар е од посебно значење при димензионирање на коловозната конструкција кај сообраќајниците, аеродромите и слично.

Вредност на полирање на карпите (PSV). При дефинирање на погодноста на материјал како агрегат во асфалтните мешавини, од големо значење е да се определи отпорноста на агрегатот кон полирање од тркалата на возилата во контакт со коловозот. За оваа намена во практика, најчесто се користи вредноста на отпорноста кон полирање на камениот агрегат (анг. **Polishing Stone Value-PSV**). Агрегатот што се испитува, се поставува во специјална машина за мерење на отпорноста кон полирање. Потоа, следи фаза на задавање на ротации на тркалото, при што заради сила на притисок се врши триење меѓу гумата на тркалото и камениот материјал. Меѓу тркалото и агрегатот се става абразивно средство, кое овозможува побрзо полирање на каменот (Слика 7.53).



Слика 7.53 а - Апаратура за дефинирање на вредноста на отпорност кон полирање на агрегат (PSV-вредност) б - детаљ каде што се гледа контакт меѓу гумено тркало и агрегатот

Со помош на овие апарати, е можно да се симулираат различни сообраќајни услови и оптоварувања и различни брзини на ротација.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Како се делат техничките својства на карпите?
- Наброј ги основните физички својства на карпите и направи разлика меѓу специфична тежина и волуменска тежина. Какви видови волуменска тежина се разликуваат и од што зависи најмногу таа?
- Кои се основните параметри на деформабилност кај карпите и почвите и со кои методи можат да се испитаат?
- Кои се основните параметри на јакост на смолкнување кај карпите и со кои методи можат да се испитаат?
- Како се дефинира тврдината кај материјалите, кои се основните методи за испитување на абелењето и како се дефинира абелењето на карпите?
- Наброј ги основните технолошки својства на карпите.

8 ПОДЗЕМНИ ВОДИ

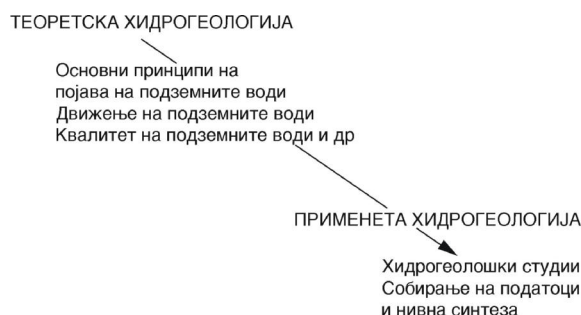
ВОВЕД

Во природата се наоѓа огромно количество вода во: течна, гасовита или цврста агрегатна состојба. Таа е нерамномерно распоредена во различни делови на Земјата и тоа: во воздушната обвивка како **атмосферска вода**, на површината на Земјината кора во вид на **површински води** и во внатрешноста на Земјата како **подземни води**. Атмосферските води ги изучува **метеорологијата**, површинските води **хидрологијата**, а подземните води **хидрогеологијата**.

Хидрогеологијата најкратко се дефинира како наука за **подземните води**. Таа го изучува: нивниот настанок, формите на залегање и условите на распростирањето во просторот, законите на движењето, режимот и нивните резерви, физичките, хемиските, бактериолошките својства, радиоактивноста, нивната врска со атмосферските и површинските води и др. Исто така, таа се занимава со изучување на можностите за практично искористување на подземните води при водоснабдување, наводнување, хидроенергетика, лечење, затоплување, добивање на драгоценни елементи како: јод, бром, бор, литиум, разни соли и др. Според тоа, современата хидрогеологија е научна дисциплина со свое теоретско и практично поле на истражување и се дели на повеќе гранки, како што се:

- Општа хидрогеологија;
- Динамика на подземните води;
- Специјална или инженерска хидрогеологија;
- Регионална хидрогеологија;
- Хидрогеологија на наоѓалишта на минерални суровини;
- Јамска и рудна хидрогеологија;
- Хидрогеологија на минералните, индустриските и геотермалните подземни води;
- Мелиорациска хидрогеологија;
- Радиохидрогеологија;
- Хидрогеологија при загадување на подземните води.

Теоретскиот и практичниот аспект на хидрогеологијата е меѓусебно поврзан бидејќи **теоретската основа** е многу значајна за развој на **практичните методи** (Слика 8.1).



Слика 8.1 Поделба на теоретска и применета хидрогеологија според Стон 1999

Податоците добиени од практичните мерења и анализи, пак, се основа за развој и надградба на теоретскиот дел. Практичниот дел на хидрогеологијата се изучува во **инженерската или специјалната хидрогеологија**.

Принципиелно гледано, при истражување и испитување на водата, зависно од проблемот што се решава, треба да се појде од следните основни ставови:

- „Водата е зачеток на сè, поради тоа што таа е насекаде каде има живот; водата послужила како почеток на земјата и на воздухот“ (Талес од Милет 624 - 547 год. п.н.е);
- „Подземните води се најдрагоцената минерална суровина“ (Карпинскиј, 1931 год);
- Кога теренот се разгледува како средина за изведба на инженерски работи, физички слободните подземни води секогаш влијаат негативно, односно ги усложнуваат условите за изведба, придонесуваат кон влошување на физичко-механичките својства на природните материјали и влијаат негативно кон стабилноста на теренот и вештачките конструкции.

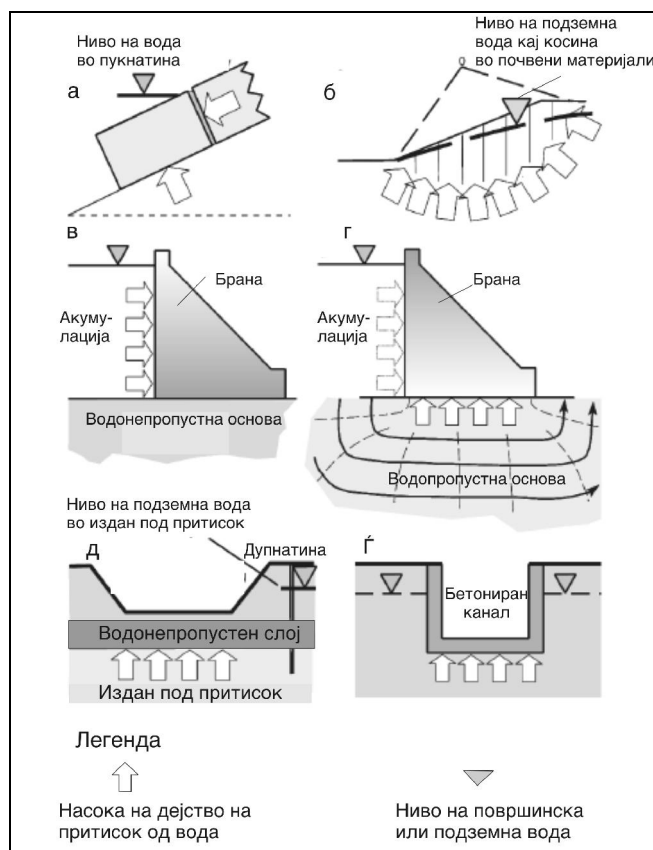
Кога подземните води се користат за водоснабдување, секогаш количината на вода е **мала** или **недоволна**, односно поповолно е да има големи количини на подземни води. Кога се изведуваат инженерски работи и се анализира стабилноста и носивоста на теренот, количината на подземните води е секогаш **голема**. Ова значи, дека ретко се среќава оптимална содржина на подземните води, што добро може да се илустрира на Сликата 8.2.

Недостаток на вода	Вишок на вода
<p>Суша и проблеми со водоснабдување</p> <p>Опустинување</p> <p>Намалување на приход од земјоделие</p> <p>Сушење на седименти и појава на собирање на материјалот</p>	<p>Поплави</p> <p>Иницирање на свлечишта, одрони, течишта, суфозија и друго</p> <p>Бабрење и промена на конзистенција до течна состојба</p> <p>Намалување на јакост на смолкнување и јакост на притисок при впивање на влага</p>

Слика 8.2 Приказ на противречни аспекти поврзани со недостаток или вишок на површинските и подземните води

Некои од можните неповолни влијанија на површинските и подземните води кај некои типични инженерски конструкции се прикажани на Сликата 8.3. На Сликата 8.3 - а е прикажано неповолното влијание од хидростатичко дејство на подземна вода врз испукани карпести блокови што лежат врз стабилна подлога, а на Сликата 8.3 - б кај косина изградена од почвени материјали. Без разлика на насоката на дејство на притисокот на водата, таа придонесува кон намалување на стабилноста на теренот. При изведба на браните, зависно од водопропустливоста на подлогата, водата од акумулацискиот простор може да дејствува хидростатички (Слика 8.3 - в) и хидродинамички поради движење на водата под телото на браната (Слика 8.3 - г). Можни продори на вода поради зголемен притисок кај подземни води под притисок се прикажани на

Сликата 8.3 - д. Дејството на воден потисок или узгон кај гравитациона брана и еден канал изведен под ниво на подземна вода се прикажани на Сликата 8.3 - г, г.



Слика 8.3 Влијанија на површински и подземни води кај некои конструкции или врз теренот

При анализа на инженерските проблеми, секогаш треба да се има предвид дека подземните води се наоѓаат во средина изградена од разновидни карпи, со различна старост, различен минералшки состав, структурно-текстурни одлики, тектоника и др. Геолошката средина има доминантно влијание врз хемискиот состав, физичките својства, динамиката на движење, распростирањето и другите својства на подземните води. Од друга страна, исто така и подземните води имаат влијание врз геолошката средина. Тие дејствуваат растварачки на низа минерали, предизвикуваат разни геохемиски процеси, често ги менуваат структурните врски помеѓу минералните зрна и блоковите во карпестите маси, имаат влијание врз физичко-механичките карактеристики на карпите, предизвикуваат динамички притисоци, условуваат појава на разни геолошки појави и др.

Од овие причини, изучувањето на сите аспекти и влијанија од подземните води е многу значајно во инженерската геологија и е еден од најтешките теоретско-практични проблеми, воопшто.

ОПШТО ЗА ПОТЕКЛО НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ И ХИДРОЛОШКИ ЦИКЛУС ВО ПРИРОДАТА

Од геолошка гледна точка, сите појави на вода во внатрешноста на литосферата претставуваат **подземни води**. Најчесто се среќава дефиниција според која подземни води се сите води во течна, гасовита или цврста состојба, кои се наоѓаат под површината на Земјата, полнежки ги најразновидните: шуплини, пори, пукнатини и друг празен простор на карпестите маси, каде што пристигнале по природен или вештачки пат.

За постанок на подземните води се потребни два основна предуслова, од кои едниот е по својата суштина **геолошки**, а другиот **хидролошки**. За да биде задоволен геолошкиот услов е потребно да постои средина, која е со присуство на пори, шуплини и пукнатини во карпестите маси во литосферата. Хидролошкиот услов претпоставува постоење на какви било води кои на различни начини можат да дојдат во порните агрегати на карпестите маси. Кога овие два услови се задоволени, доаѓа до настанување на различни форми на подземните води. Главните начини на настанување на подземните води се прикажани на Слика 8.4.



Слика 8.4 Шема за илустрирање на потеклото на подземните води

Со процесот на инфилтрација или понирање на течните води од атмосферските врнежи, потоците, реките, езерата и морињата, во подземјето настануваат најголемите количества на подземни води.

Подземните води настануваат и со кондензација на водената пара која заедно со воздухот навлегува во порозните карпести маси. Во горните поладни делови се преобразуваат во водени капки. На тој начин се создава големо количество на влага во вид на **физички сврзана подземна вода**. Понекогаш подземните води настануваат со затрупување на делови од теренот наполнет со вода, т.е. со **фосилизација** на водата. Затоа, уште се нарекуваат и **седиментациони подземни води**. **Ослободување** на хемиски сврзаната вода од разни минерали поради нивната дехидратација, како и соединување на кислородот и водородот во вжештените делови на литосферата или во самата магма е начин на кој настануваат големи количества на слободните подземни води наречени **јувенилни подземни води**. Јувенилните води се основа за прихранување на некои топли и врели извори иако сите врели подземни води немаат вакво потекло.

Водата во природата под влијание на сончевата енергија и дејството на силата на гравитација се наоѓа во непрекинат процес на движење, кој се нарекува **општ хидролошки циклус**. Испарувајќи од површините на реките, езерата, морињата, океаните, копното и растенијата, водата преминува во атмосферата во

вид на водена пара. Во процесот на движење на воздушните маси, водената пара се пренесува над површината на Земјата, при одредени услови се кондензира и паѓа на Земјината површина во вид на: дожд, снег или друг вид врнежи. Дел од врнежите, кои паѓаат на површината на Земјата, истекуваат во: реките, морињата и океаните, дел од водата се инфилтрира во подземните слоеви, а еден дел повторно испарува во атмосферата. По одредено време дел од водата, која понира, се појавува на површината на Земјата во вид на извори или директно истекува во некои површински текови. Водите кои истекуваат од изворите се влеваат во реките, езерата и морињата, односно океаните (Слика 8.5).



Слика 8.5 Шематски приказ на кружењето на водата во природата (општ хидролошки циклус на водата)

Во сложениот **кружен циклус**, водата од една поминува во друга агрегатна состојба. Кога е во прашање подземниот дел на хидросферата, треба да се истакне дека сите видови вода се наоѓаат во рамнотежна состојба, каде што постојат следните премини од една во друга агрегатна состојба:

водена пара \leftrightarrow мраз \leftrightarrow хемиски врзана вода \leftrightarrow физички врзана вода \leftrightarrow
 \leftrightarrow капиларна вода \leftrightarrow физички слободна гравитациска вода.

Во овој систем рамнотежата е повратна. Ако во некој дел од Земјината кора, се намалува количеството на вода, тогаш во некој друг дел се зголемува за истото количество. Квантитативниот израз на кружното движење на водата на речните, морските и океанските сливови, на определените региони или, пак, на Земјата во целина за определен временски интервал, се нарекува **воден биланс**. Класичната претстава за кружењето на водата во природата се опишува со следната равенка:

$$P = E + Q$$

Каде што е: P - врнежи;
 E - испарување;
 Q - истекување (површинско и подземно).

Процесот на кружење на водата во природата што се одвива според шемата: врнежи - подземно и површинско истекување, го опфаќа само горниот дел на Земјината кора во зоната на размена на водата. Треба да се спомне дека

во овој хидролошки циклус не е земена предвид водата во длабоките делови на Земјината кора. Општата равенка на водниот биланс го има следниот облик:

$$U - I = \pm \Delta W$$

Каде што е: U - волумен на вода која влегува во разгледуваниот регион;
 I - волумен на вода која излегува од разгледуваниот регион;
 ΔW - промена на волуменот на водата во разгледуваното подрачје за време;
 Δt - период на дискретизација на времето за кое се определува водниот биланс.

Равенката на водниот биланс за одреден временски период Δt во подетален облик е:

$$\overbrace{P + K + Q'_{pod} + Q'_{pov}}^U + W_1 = \overbrace{E + Q''_{pod} + Q''_{pov}}^I + W_2$$

Каде што е: U - влез;
 P - врнежи;
 K - количество на вода од кондензација на влагата во земјиштето;
 Q'_{pod} - подповршинско дотекување на вода;
 Q'_{pov} - површинско дотекување на вода;
 I - излез;
 E - испарување од површината на водата, копното, снег, култури и транспирација;
 Q''_{pod} - подповршинско истекување;
 Q''_{pov} - површинско истекување;
 W_1 - резерва на влага во земјиштето на почетокот на временскиот период Δt ;
 W_2 - резерва на влага во земјиштето на крајот на временскиот период Δt .

За конкретен речен слив со јасно дефинирана вододелница, равенката на водниот биланс го има следниот облик:

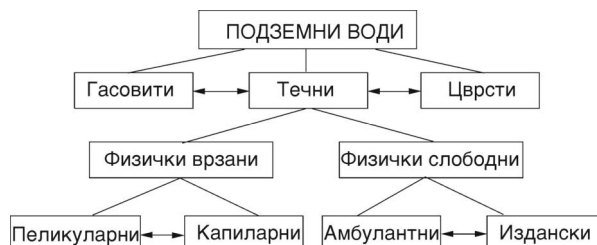
$$P = Q_{pov} + E \pm Q_{pod} \pm \Delta W$$

Каде што е: P - врнежи;
 Q_{pov} , Q_{pod} - површинско, односно подземно истекување;
 E - испарување и евапотранспирација;
 ΔW - промена на резерви на вода во сливот.

Во случај кога е поголем влезот од излезот, ќе се зголемат резервите на вода во разгледуваниот слив. Во обратниот случај ќе дојде до намалување на резервата на вода во соодветното подрачје за временскиот период Δt .

ВИДОВИ НА ВОДИ ВО КАРПЕСТИТЕ МАСИ И ОСНОВНИ СВОЈСТВА

Врз основа на дефиницијата за подземните води и карактерот на нивно физичко-хемиско взаемно влијание со карпите, се издвојуваат неколку основни видови на подземните води (Слика 8.6).



Слика 8.6 Видови подземните води, агрегатни состојби, видови течни подземни води и насоки за нивни трансформации, Б. Степановиќ, 1962

Водата во вид на пареа го исполнува слободниот простор на порите во надизданската зона или зоната на аерацијата. При промена на температурата и притисокот, водната пареа може да се трансформира - кондензира во вид на ситни капки или обратно, течната вода да се трансформира во состојба на водена пареа. На тој начин, водената пареа во порите на карпите се наоѓа во постојана динамичка рамнотежа со другите видови на води, па и со водната пареа во атмосферата. **Водата во цврста состојба** настанува при температура на карпите под 273 K (0°C), кога слободните и дел од физички сврзаните води замрзнуваат, при што во карпите се создаваат ледени кристали, леќи, прослојци, жили и сл. Во нашите краишта со висина до 1000 m, зоната на замрзнување ретко е подлабока од 0,6 m. Од друга страна, во северните краишта на Земјината топка зоната со вечен мраз (**permafrost**) може да изнесува и преку 600 m. Мразот во порните агрегати има привремено функција на „цемент“, но само до моментот на негово топење. **Слободните (гравитационите) води** се подземни води во течна состојба, кои се движат во порните агрегати на карпестите маси под дејство на гравитацијата. Овие води се одликуваат со својство на растворање, вршат хидростатички притисок и при движењето манифестираат механичко дејство врз карпите и др. Хидростатичкиот притисок на водата во порите ја намалува тежината на карпестиот скелет во согласност со законот на Архимед и предизвикува узгон (сила на потиснување нагоре) во основата на објектите кои се изградени на водозаситени терени. Механичкото дејство на водата при движење низ карпите се манифестира со изнесување или суфозија на ситните честички од несврзаните - растресити карпи на падините и косините на теренот, што може да предизвика нестабилност на теренот. **Капиларните води** се јавуваат како преоден тип меѓу физички сврзаните и слободните води. Водата ги пополнува капиларните пори во карпите, а се држи или се качува по сидовите под дејство на адхезијата, односно површинскиот напон (капиларните сили). **Физички сврзаните води** се карактеристични главно за глинестите карпи, додека во цврсто сврзаните и несврзаните (растреситите) карпи, овие води немаат посебно практично значење. Кај нив разликуваме **цврсто сврзани** или **хигроскопски води** и послабо сврзани или **мембрански води**. Постојат и хемиски сврзани води во составот на минералите (Глава 3).

ОПШТО ЗА ФИЗИЧКИ И ХЕМИСКИ СВОЈСТВА НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ

Подземните води како и сите други материји имаат определени физички и хемиски својства кои зависат од геолошките услови во кои се наоѓаат и низ кои се движат. Како основни **физички својства** на подземните води се сметаат: вкусот, мирисот, бојата, прозирноста, температурата, електропроводноста и др.

Вкусот на подземните води зависи од видот и количеството на растворените соли и гасови во нив така што тие можат да бидат: освежителни, кисели, солни, горки, сладкасти и др. Хемиски чистите подземни води, кои се многу ретки во природата, немаат пријатен вкус. **Мирисот на подземните води** доаѓа од примесите на лесно испарливите соединенија, а интензитетот на мирисот - од нивното количество. Чистите подземни води се без мирис. Подземните води, чие потекло им е од мочурливи терени, имаат мирис на органска трулеж, со примеси на H_2S (сулфур водород) мирисаат на расипани јајца а бактериолошки загадените подземни води имаат различни мириси во зависност од типот на бактерии. **Бојата на подземните води** ја диктираат неорганските и органските примеси. Чистите подземни води се бејзбојни или светло зеленикави во подлабоките маси. Примесите на минералите на железото и некои примеси на органските соединенија им даваат жолтеникава боја. Црвеникаво- кафејавите бои главно потекнуваат од присутни хумусните материји, а темнокафејавите од соединенијата на манганот. Во најголем дел подземните води се безбојни, што значи дека тие не мораат да бидат и загадени (постојат и безбојни штетни примеси). **Прозирноста на подземните води** зависи од присуството на колоидните, суспензирани честички од неорганско или органско потекло. Со зголемувањето на застапеноста на ваквите материјали, прозирноста на подземните води по правило се намалува. Подземните води можат да бидат: бистри, слабо заматени, матни и непровидни. **Температурата на подземните води** многу варира во зависност од длабината на појава и местоположбата во одредени делови на Земјината кора. На пример, во високите планински и поларните предели подземните води имаат температура блиска до 273 K ($0\text{ }^\circ\text{C}$), а во областите на младиот вулканизам и подлабоките делови на Земјината кора, температурата на подземните води може да биде и повисока од 393K ($120\text{ }^\circ\text{C}$). За пиење се најповолни подземните води со температура помеѓу 281 и 285 K (8 и 12 $^\circ\text{C}$). **Електропроводноста на подземните води** зависи од концентрацијата на растворените соли во нив.

Во поглед на **хемискиот состав**, скоро 99,8% подземните води се од типот на "обична" вода (H_2O), со молекуларна тежина 18. Таа во својот тежински состав има 11,11 % водород и 88,89% кислород. Останатиот незначителен дел на водената маса (0,2%) го сочинува и "тешката" вода со молекуларна тежина 19, како и други видови на вода. Покрај кислородот и водородот, во подземните води досега се откриени повеќе од 80 елементи од периодниот систем на Менделеев. Нивната вкупна застапеност во подземните води по правило е мала, и најчесто варира од десетина милиграми до 200 g/l на вода. Во подземните води најчесто се застапени следните елементи: Cl, Na, K, Ca, Mg, S, Fe, Al, C и N во вид на различни соединенија. Инаку, хемискиот состав на подземните води се определува според количеството на растворените јони во нив, меѓу кои најголемо практично значење имаат катјоните на: H^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{3+} и Fe^{3+} , и анјоните на OH^- , Cl^- , SO_4^{2-} и HCO_3^- . Од недисоцираните јони, во подземните води најчесто се среќаваат: SiO_2 , CH_4 (метан) O_2 , N_2 (азот) и H_2S и понекогаш хелиум, радон, уран, радиум и други радиоактивни елементи.

Според содржината на растворените соли на Ca и Mg, подземните води се делат на **меки** и **тврди**. Тврдината се изразува со **степени на тврдината**, кои во различни земји се со различни големини. Германскиот степен на тврдина ($^{\circ}d$) кој најчесто се и користи кај нас, одговара на растворот на карбонатните соли на земноалкалните метали. Од хемиска гледна точка, тоа е еквивалентно на 10 mg на CaO растворени во еден литар вода, или 7,19 mg MgO, растворени во еден литар вода. Според Клут (F. Kluth), подземните води можат да бидат:

- > многу меки од 0 - 4 $^{\circ}d$
- > меки од 4 - 8 $^{\circ}d$
- > средно тврди од 8 - 12 $^{\circ}d$
- > доста тврди од 12 - 18 $^{\circ}d$
- > тврди од 18 - 30 $^{\circ}d$
- > многу тврди, преку 30 $^{\circ}d$

За определување на тврдината се користи следната равенка:

$$H = 0,1a + 0,14b$$

Каде што е: H - тврдина на водата во степени,
 a - количество на CaO во mg / l,
 b - количество на MgO во mg / l.

За пиење, најповолни се средно тврдите води (8 $^{\circ}$ - 12 $^{\circ}$) иако и потврдите не се штетни по човечкото здравје.

ПОИМ ЗА ХЕМИСКИ АНАЛИЗИ НА ВОДИТЕ

Хемиските анализи на подземните води се изведуваат со цел да се решат различни практични проблеми. Тие се изведуваат во теренски или лабораториски услови и може да се скратени (поедноставени) анализи, целосни или специјални. Основната цел е да се дефинира составот на растворените минерални материи во водата и да се изврши класификација на подземните води. Јоните кои се наоѓаат во водата меѓусебно се наоѓаат во строго определени **еквивалентни тежински соодноси** кои најчесто се прикажуваат со т.н. **процент-милиграм-еквиваленти** чиј збир дава 100%. Хемискиот состав на водите може да се прикаже со помош на различни формули и графички. Во практиката, најчесто се користи формулата на М.Г. Курлов, а еден пример за приказ на хемиски состав на подземните води е илустриран со следната формула:

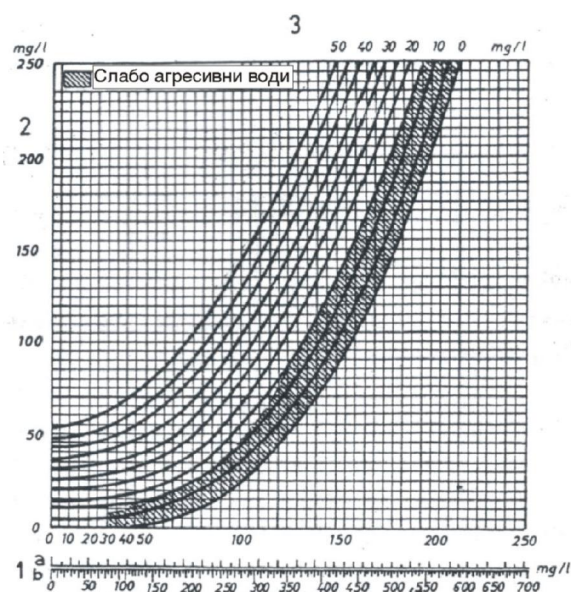
$$M1,5 \text{ Br}0,002H_2S0,01 \frac{HCO_3 \text{ } 84SO_4 \text{ } 12}{Ca73Mg19} T8^{\circ}$$

Оваа формула е т.н. лажна или **псеудодробка**, во чиј броител со опаѓачки ред се прикажуваат процент – милиграм - еквивалентите на анјоните, а во именителот на катјоните. Пред дробната црта се пишува бројката за општата минерализација на водата со ознака M (во g/l), потоа количеството на слободните гасови и содржината на ретките елементи. После дробната црта се запишува температурата на водата. Јони чие количество е помало од 10% не се прикажуваат во оваа формула.

АГРЕСИВНОСТ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ

Агресивноста на подземните води кон: бетонот, железото и другите градежни материјали најчесто се определува според количеството на растворените сулфати и јаглерод диоксидот (CO_2). Ако подземните води содржат повеќе од 250 mg/l сулфатни јони (SO_4^{2-}) се сметаат за агресивни. Во тој случај во бетонот доаѓа до создавање на нови соединенија како: кристалчиња на гипс, кои можат да предизвикаат зголемување на волуменот до 100%, и кристали на калциум сулфоалуминат кој се нарекува „бетонски бацил“ кој може да доведе до зголемување на волуменот до 25% и до механичко разрушување на бетонот. За дефинирање на хемиската активност на подземните води е значајна концентрацијата на водородните јони, која најчесто се изразува како декаден логаритам на концентрацијата во грам-еквиваленти на еден литар вода, со негативен знак:

$$\text{pH} = \log(\text{H}^+)$$



- 1а-врзана јаглеродородна киселина (mg/l)
- 1б-содржина на HCO_3 во водата (mg/l)
- 2- содржина на слободна јаглеродородна киселина (mg/l)
- 3- содржина на агресивна јаглеродородна киселина (mg/l)

Слика 8.7 Графикон за пресметка на содржината на агресивна јаглеродородна киселина (според Ф. Ф. Лаптев)

Кон бетонот, железото и други градежни материјали, агресивно се однесуваат и подземните води во кои има повеќе хумусни киселини, што е чест случај во мочуришните терени и тресетиштата.

Хемиски неутрални се води со $\text{pH}=7$, базни се при $\text{pH}>7$ и кисели води при $\text{pH}<7$. Агресивни за бетонот се сметаат водите со вредност на факторот $\text{pH}<7$, подземни води што имаат повеќе од 750 mg/l јони на Mg^{2+} , подземни води што во себе содржат растворени супстанции кои го забавуваат процесот на сврзувањето на цементот, хлоридните води и др. Врз металите корозионо дејство имаат подземните води со повеќе слободен кислород и водород при вредност на $\text{pH}<5$, како и при поголема содржина на сулфатни јони (SO_4^{2-}) од 100 mg/l.

Слободниот CO_2 во подземните води ја раствара карбонатната супстанција од бетонот, со што значително ја влошува јакоста на бетонот. За проценка на агресивноста на водата во која е присутна јаглеродородна киселина во разни форми, може да се искористи дијаграмот на Слика 8.7.

МИНЕРАЛНИ ВОДИ

Во природни минерални води се класифицираат оние подземни води што имаат лековито, индустриско и термално значење. Во општ случај, минералните води во себе содржат повеќе од 1 g/l растворени минерални материји или гасови. Такви се во најголем дел водите од подлабоките делови на Земјината кора, каде што поволните геолошки услови даваат поголема можност за минерализација. Понекогаш и плитките издански води можат да имаат зголемена минерализација. Како високоминерализирани подземни води, се сметаат оние што содржат повеќе од 50 g/l растворени минерални соли. Тие се викаат расоли. Во нив најмногу се застапени хлоридите и сулфатите на алкалните и земноалкалните метали.

Бидејќи најголем број на минералите се порастворливи при повисоките температури и поголемите притисоци, водите од подлабоките делови на Земјината кора имаат поголема разновидност во составот споредено со **обичните** или **пресните води**. Покрај соединенијата на Ca, Mg, Na, Fe и Mn, кои најчесто ги содржат обичните подземни води, во минералните води се наоѓаат уште и растворени соли на: K, Cl, Ba, J, Si, а понекогаш и B, P, As, Li, Rb, Cs и др. Од гасовите минералните води најчесто содржат CO₂, H₂S (покрај O, N и H), а понекогаш уште и Ar, He и др. Минералните води го добиваат името според состојките што превладуваат во нив. На пример, се разликуваат: алкални, земноалкални, солени, горки, сулфурни води со H₂S, кисели со CO₂ и друго. Понекогаш, подземните води содржат хемиски компоненти од посебно значење, според кои и го добиваат името. На пример, се разликуваат: бромни, јодни, железни, радиоактивни и др.

Минералните води во најголем број на случаи достигнуваат на површината на теренот во должина на раседните пукнатини или преку дупнатините од големите длабини, па затоа тие се млаки, топли или врели. Таквите води се викаат **термоминерални води**, кои подетално ги изучува делот од хидрогеологијата, која се нарекува **геотермија**.

Минералните води по правило делуваат лековито на човечкиот организам и затоа се нарекуваат лековити води. Лековити води се сметаат и оние подземни води, кои содржат и помалку од 1 g/l на минерални соли или гасови, но кои дејствуваат терапевтски на човечкиот организам. Понекогаш количеството на состојките во лековитите подземни води може да биде и многу мало, но да имаат лековити дејства поради присуство на ретки елементи или племенити гасови.

ХИДРОГЕОЛОГИЈА НА СЛОБОДНИТЕ ПОДЗЕМНИ ВОДИ

Хидрогеологијата ги проучува сите хидрогеолошки појави, но сепак најповеќе внимание посветува на изучување на **слободните** подземни води и хидрогеолошките процеси кои се во непосредна врска со нив. Се поаѓа од ставот, дека подземните води може да се класифицираат според различни критериуми како: начинот на нивниот настанок, температурата, општата минерализација, хемискиот состав, видот на појавувањето и др. Систематиката на подземните води треба да биде заснована на критериуми со кои би се опфатиле по можност сите својства на подземните води, но ова предизвикува поголем број практични потешкотии кои го прават проблемот многу сложен.

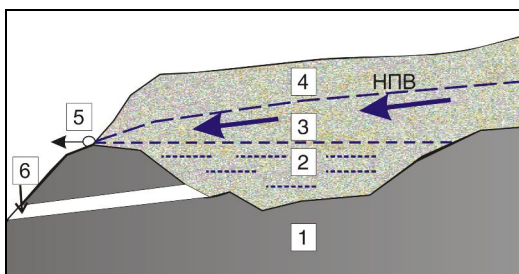
Затоа, најчесто во практиката како услов за класификација најчесто се користи **хидрогеолошкиот критериум** под што се подразбираат сите геолошките и хидролошки услови во кои се јавуваат подземните води како: условите на нивното залегање во Земјината кора, длабината на појавувањето, односот со Земјината површина, односот со процесот на кружењето на водата во природата,

местоположбата на водоносните и водонепропустливите слоеви, карактерот на порозноста во која се појавува водата, нејзината генеза, карактерот на нивното искористување и др.

Хидрогеолошкиот критериум за класификација на подземните води, денес е многу прифатен, иако се уште не постои единствена класификација и терминологија која насекаде би се користела. Затоа, во рамките на книгата, ќе бидат користени најчесто прифатените термини, за да се овозможи полесно следење на стручната литература. Тука, пред се е најзначајно да се разбере хидрогеолошката функција на карпестите маси во склоп на теренот и можностите за акумулирање и движење на подземните води во нивните порни агрегати.

ХИДРОГЕОЛОШКА ФУНКЦИЈА НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

Карпестите маси во зависност од нивната порозност и водопропусливост во склоп на теренот имаат определена **хидрогеолошка функција**. Според хидрогеолошката функција, тие се делат на: хидрогеолошки **колектори**, хидрогеолошки **изолатори** и хидрогеолошки **комплекси**. Неколку илустрации се прикажани на следните слики.



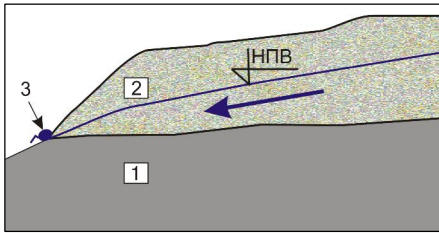
Слика 8.8 Пресек на терен со различни хидрогеолошки функции на карпестите маси: 1 - хидрогеолошки изолатор; 2 - хидрогеолошки колектор во резервоарска зона; 3 - хидрогеолошки колектор во спроводничка зона; 4 - хидрогеолошки колектор над ниво на подземна вода; 5 - преливен извор; 6 - дренажен објект; НПВ - ниво на подземна вода изданот

Поимот хидрогеолошки колектор (анг. **aquifer**) се однесува на суперкапиларно порозни карпести маси кои овозможуваат движење или акумулирање на слободните подземни води во нивните пори.

Во зависност од просторната положба на хидрогеолошкиот колектор можат да се разликуваат неколку главни зони и подзони во теренот и тоа: зона со својство на **хидрогеолошки спроводник** и зона со својство на **хидрогеолошки резервоар**.

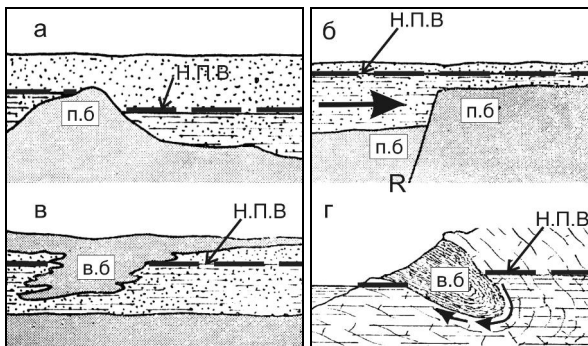
Спроводничката зона е првата хипсометриски повисока зона на хидрогеолошкиот колектор низ која слободните подземни води само протечуваат или се исцедуваат по природен пат. **Резервоарската зона** е подлабокиот дел од хидрогеолошкиот колектор, кој во себе содржи акумулирани издански води кои не можат по природен пат и гравитациски да се исцедат од него, туку остануваат во таа зона и по престанокот на дотек на вода. Водата од резервоарската зона би можела во сушни периоди да биде искористена со изведба на водозафатен дренажен објект (6) кој од површина на терен би допрел до резервоарската зона и по гравитациски пат би се овозможило нејзино контролирано и наменско користење.

Според просторната положба и другите услови во склопот на теренот, некои колектори во целост можат да имаат функција на спроводник (Слика 8.9)



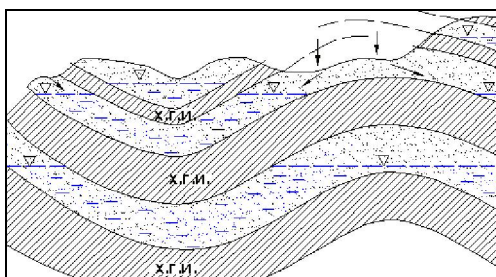
Слика 8.9 Пресек на терен со илустрација на спроводничка зона: 1 - хидрогеолошки изолатор; 2 - хидрогеолошки колектор - спроводник; 3 - извор; Н.П.В ниво на подземна вода во изданот.

Хидрогеолошки изолатори (анг. **aquiclude**) се карпести маси, кои или не пропуштаат или многу слабо ги пропуштаат слободните подземни води низ своите порни агрегати. Всушност, пореално е да се говори само за **релативни изолатори**, со оглед дека најголем дел од карпестите маси поседуваат одредена порозност и пропуштаат определено количество на слободни води. Хидрогеолошките изолатори исто така може да се поделат на повеќе видови. **Подински изолатори** се водонепропусни или слабо водопрпусни карпести маси кои се наоѓаат во дното на слоеви со колекторски својства. **Повлатни изолатори** се наоѓаат над карпестите маси со колекторски својства, со што им ја сочинуваат геолошката повлата. **Хидрогеолошки бариери** се карпести маси со изолаторски својства што се наоѓаат во насоката на гравитациското движење на изданските води, така што создаваат препрека на ова движење (Слика 8.10)



Слика 8.10 Видови хидрогеолошки бариери: а - подинска (п.б) дефинирана со морфологија на палеорелјефот на подинскиот изолатор; б - подинска со расед во подинскиот изолатор; в - „висечка“ бариера (в.б); г - висечка бариера формирана во синклинала, Н.П.В - ниво на подземна вода

Под поимот **хидрогеолошки комплекс** се подразбира пакет на карпести маси, каде што има често сменување на слоеви со колекторски и изолаторски својства во вертикална или во хоризонтална насока кои може да бидат и набрани или раседнати (Слика 8.11).



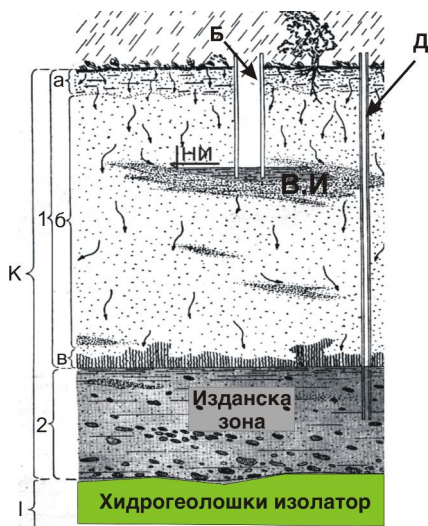
Слика 8.11 Приказ на хидрогеолошки комплекс со набрани слоеви и појава на подземни води во неколку нивоа кај синклинали и антиклинали (х.г.и.-хидрогеолошки изолатори)

Во секој случај, положбата на колекторските и изолаторските слоеви многу влијае врз условите за формирање на изданските зони и сите нивни карактеристики.

ИЗДАНИ

Под поимот издан се подразбира „секоја геолошка значајна акумулација на слободните подземни води, без оглед на нивното потекло и геолошките услови во кои тие се наоѓаат во конкретните случаи“. Во стручната терминологија е одомаќен и поимот аквиферска зона како синоним, а доаѓа од англиската терминологија за акумулација на слободни подземни води (анг. **aquifer zone**). Во рамките на хидрогеолошките колектори каде има оформено издан, скоро по правило можат да се издвојат две главни зони (Слика 8.12):

- изданска зона или сфера на сатурација;
- надизданска зона или сфера на аерација.



Слика 8.12 Шематски хидрогеолошки пресек на теренот: 1 - надизданска зона: а - рудински појас; б - преоден појас со лебдечка или висечка - „В.И.“ издан со ниво на изданот-Н.И.; в - капиларен појас; 2 - изданска зона и издан во неа: 1 - изолаторски слој; К - колекторски слој; Б - бунар со дно во висечка издан; Д - дупнатица до вистинска издан. (делумно изменето според Б. Степановиќ)

Изданската зона се наоѓа непосредно над подинскиот хидрогеолошки изолатор. Сите суперкапиларни меѓусебно поврзани пори во оваа зона се целосно наполнети со вода, без оглед на тоа од каков структурен тип е изданот. **Слободната површина** на изданот на хидрогеолошките профили се прикажува како **граница** меѓу изданската и

надизданската зона. Таа јасно се издвојува само во хидрогеолошките колектори со груба порозност, во кои нема позначителна хигроскопност. Во останатите колектори со мешовити порни агрегати со груба и фина порозност, границата на изданската и надизданската зона е нерамна и неправилна.

Надизданската зона го опфаќа делот меѓу изданската зона и површината на теренот. Во порните агрегати на оваа зона се наоѓа главно воздух, но повремено се јавуваат т.н. **скитачки** или **амбулантни** води. Скитачките води немаат постојано место и ниво. На Сликата 8.12 скитачките води се прикажани со криви стрелки во надизданската зона. Во надизданската зона, често пати можат да се издвојат два до три појаса и тоа: **капиларен, преоден и рудински појас**.

Капиларниот појас се оформува непосредно над изданската зона во капиларните порни агрегати, има невоедначена висина, а поради дејството на капиларните сили неговата висина е нешто повисока од нивото на подземната вода. **Преодниот појас** по правило е со најголема дебелина во надизданската зона. Се наоѓа меѓу капиларниот и рудинскиот појас. Порните агрегати во овој појас се главно наполнети со воздух, дел со хигроскопна, мембранска и капиларна вода. Низ преодниот појас повремено циркулираат и амбулантни води од рудинскиот појас кон изданот. Во преодниот појас можат да се формираат помали привремени или постојани акумулации на слободните подземни води, кои се нарекуваат **лебдечки издани** („**лажни или висечки издани**“). Тие главно се со мало количество на вода, брзо и лесно се црпат, поради што немаат некое

поголемо практично значење за водоснабдувањето. **Рудинскиот појас** се наоѓа непосредно под површината на теренот, во површинскиот дел на хидрогеолошките колектори. Најчесто се појавува во вид на хумузирано-земјаста маса под површината на теренот и во него се присутни капиларните води, водите во вид на водени капни и хигроскопните води. Водите на рудинскиот појас потекнуваат од инфилтрираните води или од кондензацијата на водената пара. Дебелината на овој појас изнесува од неколку дециметри до неколку метри. Водите од овој појас имаат големо значење во земјоделието, со оглед дека се главни снабдувачи со вода на растителниот свет.

Границата на изданската и надизданската зона најчесто се нарекува **ниво на изданот** или **ниво на подземната вода**. Нивото на подземна вода нема постојана положба, туку се менува во зависност од количеството на изданските води во колекторите, промената на барометарскиот притисок и др. Осцилациите на подземна вода можат да бидат дневни, сезонски, годишни и вековни. Во најголем дел на нашите терени изданите имаат два изразити годишни минимума: летен и зимски, и два максимума: пролетен и есенски. Најниско ниво на изданот обично се јавува при крај на летото и почетокот на есента, а највисоко ниво во текот на пролета - по обилните врнежи и по топењето на снегот.

ПОДЕЛБА НА ИЗДАНИТЕ

Поделбата на изданите се врши според повеќе критериуми. Границите на изданите може да бидат геолошки или хидролошки. Геолошките граници се најчесто диктирани од положбата на хидрогеолошките изолатори и се постојани, додека хидролошката граница е слободната површина или нивото на изданот, и е променлива во зависност од односот на дотокот и истечувањето на подземните води.

Ако се разбере изданот како геолошко тело, тогаш лесно може да се заклучи дека и структурата на неговата водена маса може да биде разновидна. Така, според **структурата** изданите најчесто се класифицираат на:

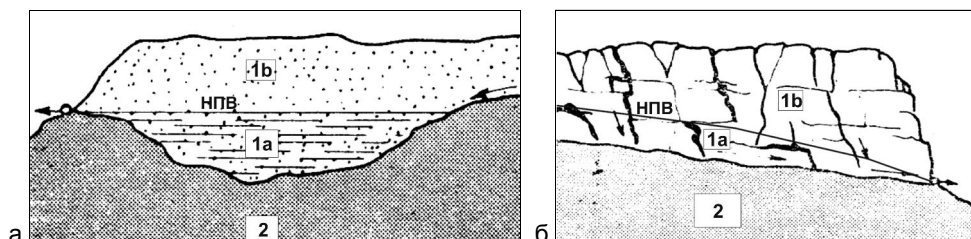
- збиени;
- разбиени;
- сложени издани.

Збиените издани најчесто се формираат во колектори со суперкапиларни меѓузрнести пори, во сунѓересто порозни колектори и многу густо - мрежесто споени пукнатини. Кај нив, сите отворените и меѓусебно споени пори на колекторот се наполнети со вода, почнувајќи од подинскиот изолатор, па сè до нивото на изданот. Границите на збиените издани се главно доста јасни, а компактните водени маси овозможуваат искористување на подземните води преку бунари, дупнатини или други водособирни објекти. Ако е оформена изданска зона, кај нив без разлика каде ќе се постави водособирниот објект, насекаде ќе се најде на подземните води. (Слика 8.13а).

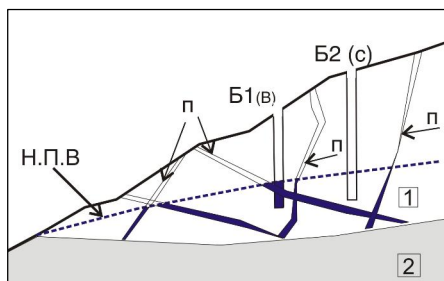
Разбиените издани се формираат во карпестите маси со меѓусебно поврзани поретки пукнатини, како и во кавернозните колектори. Кај нив, водената маса ја сочинуваат сплетови на водени „жили“, „жици“, леќи, водени „слоев“ и др. Тие се соединети само во должина на заемните пресеци или споеви на пукнатините, додека меѓу нив се наоѓаат монолитни непорозни или слабо порозни делови од карпестите маси во кои нема физички слободни води (Слика 8.13б).

Геолошките граници на разбиените издани често се нејасни, со оглед дека нив ги сочинува мрежа на главно неправилни пукнатини, карстни канали, каверни и др. Поради големата изделеност на водената маса и неправилното простирање на „водените жили“, со изведувањето на истражни и водособирни објекти не мора

секогаш и да се најде на изданска вода. На пример, има случаи кога со водособирните објекти е навлезено во карпестата маса подлабоко од нивото на изданот, но ако се лоцирани во монолитни делови од карпата нема да се најде на подземна вода. При тоа, во нивна близина може да се наоѓаат дупнатини или бунари со вода, кои се во некој пресек на пукнатина или на каверна (Слика 8.14).

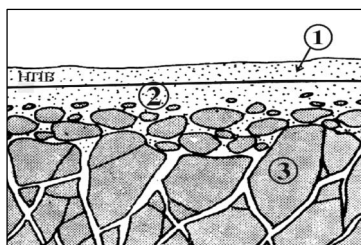


Слика 8.13. Структурни типови на издани: а - збиена издан; б - разбиена издан во хидрогеолошки колектор со пукнатинска порозност; 1а - изданска зона; 1б - надизданска зона; 2 - хидрогеолошки изолатор; НПВ - ниво на издан.



Слика 8.14 Илустрација на можности за зафаќање на подземни води во една разбиена издан со пукнатинска порозност: 1 - изданска зона; 2 - хидрогеолошки изолатор; НПВ - ниво на издан; п-пукнатини; Б1(в) - бунар со вода кој пресекол пукнатина под ниво на подземна вода; Б2(с) - сув бунар без вода кој нема пресек со пукнатина под ниво на подземна вода

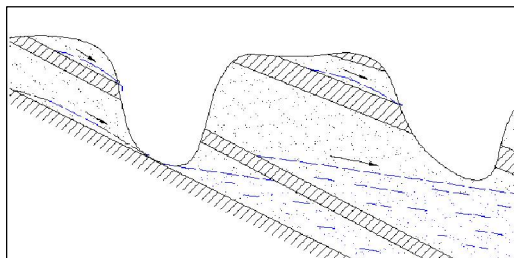
Сложените издани се издани што ги наполнуваат целосно или делумно агрегатите на суперкапиларните пори на два или на повеќе хидрогеолошки колектори со разни видови пори од меѓузрнски, пукнатински или друг тип. Тие се составени од единствена водена маса, без граница меѓу деловите од изданот во меѓузрнестите порни агрегати и деловите во пукнатинските пори, каверни, карстни канали и други слични пори. Појавата на сложени издани е честа во рамките на речните долини каде што основните карпести маси се препокриени со речен нанос, а деловите од збиените и разбиените издани се поврзани меѓусебно (Слика 8.15).



Слика 8.15 Сложена издан: 1 - хидрогеолошки колектор во надизданска зона со меѓузрнска порозност; 2 и 3 - структурно сложена издан (збиена и разбиена); НПВ - ниво на сложената издан.

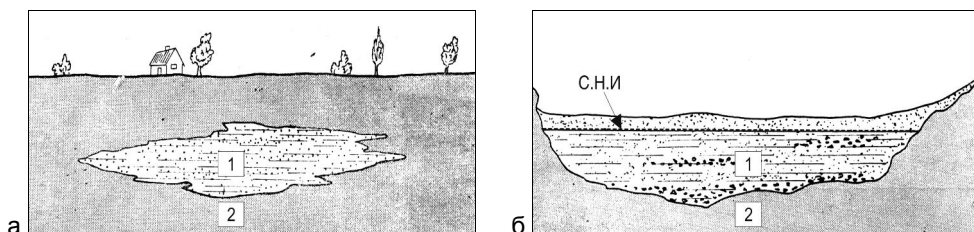
Често, во склоп на теренот кај хидрогеолошките комплекси и посебно кај набраните терени, се појавуваат издански зони во повеќе нивоа. Овие издани имаат посебни нивоа на подземна вода, најчесто се изолирани меѓусебе со хидрогеолошки изолатори и имаат посебни услови за прихранување и празнење. Тоа се т.н. **суперпонираните издани** (Слика 8.16). Во суперпонираните издани, одделните делови имаат посебни

карактеристики, различни услови за инфилтрација на површинските води и различни нивоа на подземната вода. Делови од изданите може да се под притисок.



Слика 8.16 Услови за формирање и движење на изданските води во моноклинала

Друг критериум за поделба на изданите е според **хидрауличкиот механизам**. По овој критериум се делат на: **затворени** и **отворени** издани (Слика 8.17).



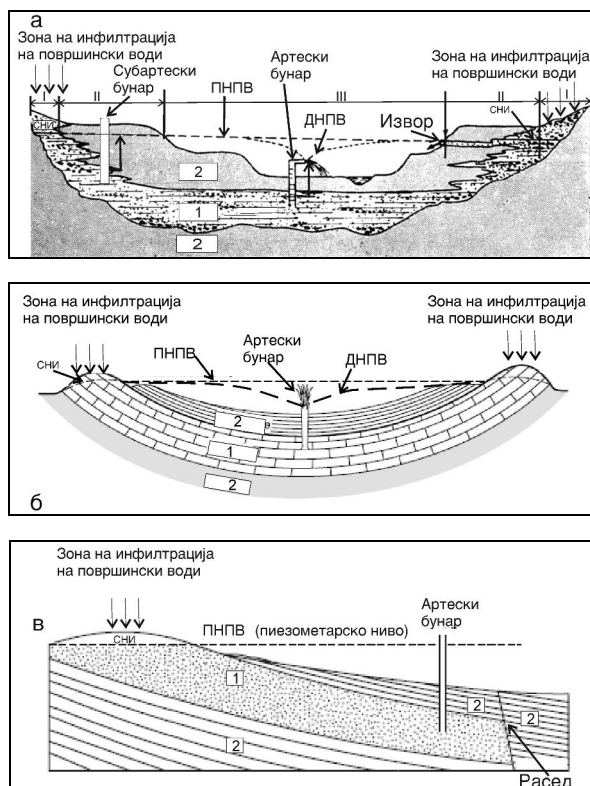
Слика 8.17 Типови на издани според хидрауличкиот механизам: а - затворена, б - отворена издан со слободно ниво на подземна вода (С.Н.И), 1 - колектор со оформен издан; 2 - хидрогеолошки изолатор

Затворените издани имаат константен хидраулички механизам бидејќи нивните водени маси се неподвижни и непроменливи. Тие од сите страни се опколени со хидрогеолошки изолатори и се исклучени од општиот хидролошки циклус. До нив може да се дојде со техничка интервенција при ископ или дупчење на дупнатини и бунари, подолготрајна ерозија на горните зони или со некој друг природен процес.

Отворените издани се наоѓаат во порните агрегати на хидрогеолошките колектори кои се протегаат до самата површина на теренот, а нивните води постојано учествуваат во општиот хидролошки циклус (Слика 8.17б). Тие се одликуваат со променлив хидраулички механизам, бидејќи нивната горна површина е секогаш целосно или делумно слободна, што овозможува значителни осцилации на нивото на изданот. Од практична гледна точка, тие имаат многу поголемо значење од затворените издани, без оглед на тоа дали се збиени или разбиени.

Според хидрауличките одлики и просторната положба отворените издани понатаму се делат на: **слободни** и **артески издани**. Кај слободните издани геолошката граница им ја сочинуваат само подинските хидрогеолошки изолатори. Нивното ниво може да се подига сè до површината на теренот. Во такви геолошки средини нема повлатни хидрогеолошки изолатори кои би го спречувале слободното издигање на нивото на изданот (Слика 8.17а). Меѓу слободните издани најмногу сличности имаат оние што се наоѓаат плитко под површината на теренот кои се наречени **фреатски** издани. Тие најчесто се користат за

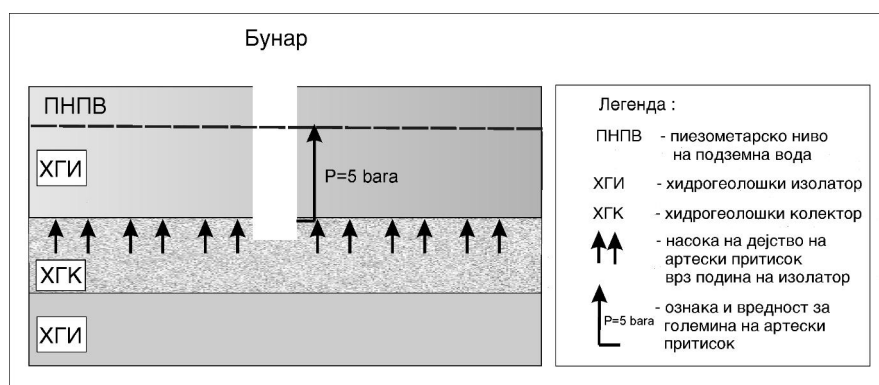
водоснабдување, а можат да се формираат и до длабини од неколку стотина метри. **Артеските издани** на поголемиот дел на своето протегање се ограничени со подински и повлатен изолатор. Во таквите делови тие немаат слободно ниво туку нивото на изданот е под **притисок** (Слика 8.18).



Слика 8.18 Примери за различни видови артески издани: а - артеска издан во седиментни карпи во речна долина; б - артеска издан во синклинална структура; в - влијание на расед за формирање на артеска издан; ПНПВ - пиезометарско статичко ниво на подземна вода; СНИ - слободно ниво на изданот; ДНПВ-динамичко ниво на изданот; 1 - хидрогеолошки колектор; 2 - хидрогеолошки изолатор; I - дел од изданот со слободно ниво; II - субартески дел од изданот; III - артески дел од изданот;

За формирање на артеска издан е потребно хидрогеолошкиот колектор со својот повисок дел да избива на површината на теренот, од каде и се врши нејзиното прихранување со вода. За формирање пак на **артески извор** или **бунар** е потребно на теренот да постои и некоја депресија, која е пониска од слободното ниво на изданот, односно пониска од слободната површина на изданот (Слика 8.18а).

Во артеските издани водените маси се под хидраулични притисоци, кои дејствуваат и на подината на повлатниот изолатор (Слика 8.19). Големината на тие притисоци е еднаква на тежината на водениот столб од слободната површина до соодветното ниво на артескиот дел од изданот. Вертикалната компонента на хидрауличкиот притисок во артеските делови на изданот е насочена вертикално нагоре и се нарекува **артески притисок**.



Слика 8.19 Илустрација на дејство на притисок врз подина на повлатниот изолаторски слој

Замислената површина, т.е. границата до каде се чувствува влијанието на артескиот притисок ја нарекуваме **пиетометарско ниво**. Кај **артеските делови** од изданот, во кои водата не се движи, пиетометарското ниво е хоризонтално, хипсометриски е еднакво со слободниот дел на изданот и се нарекува **статичко пиетометарско ниво**. Кај издан со тек (при постоење на истечување преку артески извор или бунар), пиетометарското ниво е под наклон од слободната површина на изданот кон истекнувањето на изданските води, во кои случај, таквото ниво го нарекуваме **динамичко пиетометарско ниво**. Горната граница на артескиот притисок ќе ја достигне површината на теренот, односно водата од изданот сама ќе истечува од бунарот или дупнатината на површината на теренот, само тогаш кога рељефот на теренот е понизок од слободната површина на артеската издан.

Ако пак површината на теренот на местото на бунарот или дупнатината е повисока од слободната површина на изданот, тогаш горната граница на артескиот притисок не ја достигнува површината на теренот. Во тој случај не доаѓа до излевање на водата на површината на теренот, а таквите делови на изданот ги нарекуваме **субартески**.

Во водособирните објекти кога имаме вакво ниво се нарекуваат **субартески бунари или дупнатини** (Слика 8.18а). Во субартеските делови водата се качува до одредена висина во дупнатината еднаква на статичкото или динамичкото пиетометарско ниво на подземната вода.

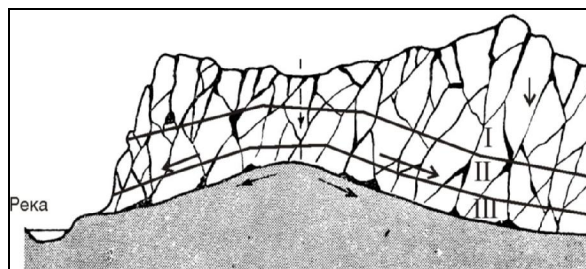
Пример за продупчена изданска зона под притисок, при изведба на истражен бунар е даден на Сликата 8.20. Во народниот говор, појава на избивање на вода под притисок се нарекува **жива вода**.



Слика 8.20 Избивање на артеиска вода од бунар за водоснабдување на селото Егри-Битолско (фото В. Ангелов)

ИЗДАНИ ВО КАРСТНИ ТЕРЕНИ

Во карстните терени и во крајбрежните зони на морињата и островите се формираат најкомплицираните специфични разбиени издани. Нивните водени маси хидраулички се поврзани, но горната граница им е неправилна, дисконтинуална и со благ наклон кон местото на истечување на изданските води. Според Ј. Цвијиќ, во карстните терени се формираат неколку хидролошки зони (Слика. 8.21).



Слика 8.21 Три карстни хидролошки зони (по Ј. Цвијиќ):
I - сува зона; II - преодна зона; III - стално влажна зона

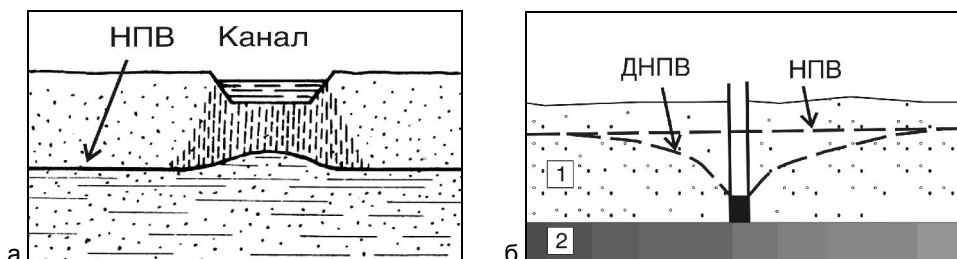
Основна карактеристика на карстните издани е дека имаат големи осцилации на нивото на подземна вода. Ова многу зависи од годишниот период и количеството на атмосферските падавини, кои за релативно кратко време се инфилтрираат во подземјето.

ПРИХРАНУВАЊЕ И ПРАЗНЕЊЕ НА ИЗДАНИТЕ

Под поимот **прихранување** се подразбира процес на обновување или дотек на одредена количина на вода кон изданот, додека спротивен процес на одземање или истекување на вода се нарекува **празнење** на изданот.

Процесите на прихранување и празнење се вршат постојано во природата по **природен** или по **вештачки** пат. Природното прихранување на изданите е главно дифузно со понирање на амбулантните подземни води чие потекло е најчесто од површинските водени текови, водени акумулации и атмосферските врнежи. Во карстните и многу испуканите терени има случаи и на концентрирано **понирање** на поголеми количества на водени маси. Реките кои на одредени места го губат текот на површина и понираат во подземјето се нарекуваат **понорници**. Вештачко прихранување се врши со доведување на површинските води во подземјето преку копање: канали, бунари, дупчење на дупнатини, изработка на галерии и сл. Кај каналите и другите вливни објекти, водата продира концентрирано до слободната површина на изданот, па на овие места доаѓа до издигање на нивото на изданот (Слика 8.22а).

Природното празнење, пак, се врши со избивање на изданските води на површината на теренот под влијание на гравитацијата преку извори, пиштовини и издански ока, или пак со отечување или преливање во други - пониски издани. Гравитациското празнење може да биде со **исцедување** кога при престанок на дотек на вода во изданот сета изданска вода би се исцедила, и со **преливање** кај хидроколлектори - резервоари, во кои при престанок на дотекот на вода во изданот, тој не може во целост да се испразни.



Слика 8.22 а - Вештачко прихранување на изданот под канал; б - вештачко празнење на изданот со почетно ниво на подземна вода (НПВ) со црпење на вода преку бунар и формирање на динамичко ниво на подземна вода (ДНПВ)

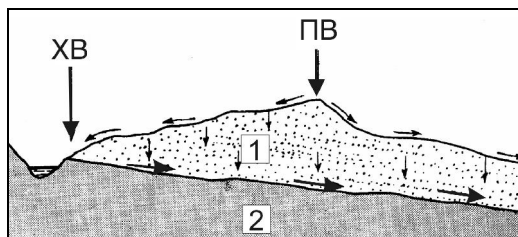
Вештачкото празнење на изданот се врши преку бунари, дренажни ровови, водозафатни дупнатини, артески бунари и други водозафатни уреди (Слика 8.22б).

При вештачкото празнење доаѓа редовно до пореметување на слободната површина на изданот. Околу објектите преку кои водата се црпи и одводнува, се создаваат **депресиони инки**. Кај збиените издани со слободна површина и хоризонтално ниво, се оформува симетрична депресиона инка, а кај збиени издани со подземан тек со слободна површина, која е под нагиб, се формира несиметрична депресиона инка.

Површината на теренот од која се врши прихранување на изданите со вода се нарекува **собирна површина на изданите**. По своето простирање, таа може да биде различна и зависи од просторната положба на карпестите маси и од морфологијата на теренот.

Разделните зони што ги издвојуваат сливните подрачја на две издани се нарекуваат **подземни** или **хидрогеолошки вододелници**. Тие по својата форма и просторната положба можат да бидат различни, бидејќи зависат од формата и од положбата на хидрогеолошките колектори и хидрогеолошките изолатори, а не само од релјефот. Ова значи дека површинските не мора да се исти со подземните вододелници. Чест е случај кога површинската и подземната вододелница имаат сосема различни насоки на движење на површинските и подземните води.

Најчесто отстапувањата меѓу топографските и хидрогеолошките вододелници има во карстните терени. Во ваквите терени, некои подземни текови поминуваат подземни патишта, кои се долги и со десетина километри, проаѓајќи при тоа под планини, површински текови и други површински морфолошки елементи, од едно сливно подрачје во друго, без оглед на топографијата и површинските водотеци (Слика 8.23).



Слика 8.23 Приказ на различна површинска (ПВ) и хидрогеолошка (ХВ) вододелница за збиена издан, со различни насоки на движењето на водите на површината и во подземјето; 1 - хидрогеолошки колектор 2 - хидрогеолошки изолатор

ИЗВОРИ И СРОДНИ ХИДРОГЕОЛОШКИ ПОЈАВИ

Слободните подземни води избиваат на површината на теренот на различни начини. Најзначаен и најчест начин е во вид на **извори**, а поретко во вид на **пишtevини** и **издански ока**.

ИЗВОРИ

Извори се нарекуваат помали или поголеми млазеви на подземните води, кои природно избиваат на површината на теренот низ јасно изразен отвор. Тие по правило се природни излевања на изданските или амбулантите води. Нивното појавување може да биде во вид на еден или на повеќе млазеви. Местото на кое е формиран изворот се нарекува **извориште**. Ако е составено од група извори, сочинува **разбиено извориште**, што е чест случај во карстните терени, при формирање на карстните врела. Изворите во групи може да бидат распоредени во должина на некоја изворска линија, дефинирана со хоризонтален или незначително наведнат контакт меѓу хидроколекторот и подинскиот хидроизолатор.

Условите под кои изданските води избиваат на површината на теренот можат да бидат разновидни, но најчесто тоа е под дејство на **гравитацијата**. Поретко, избивањето може да биде и под дејство на гасовите, кои понекогаш се наоѓаат заедно со слободните подземни води.

Според научникот Камп, под терминот **механизам на изворите** се подразбира целокупноста на сите геолошки, морфолошки, хидролошки и метеоролошки фактори кои доведуваат до избивање на слободните подземни води на површината на теренот и кои ја регулираат работата и постоењето на изворите.

Механизмот на изворот може да биде: **хидраулички** и **хидропнеуматски**. Кај хидрауличкиот механизам, како причина за избивање на слободните подземни води на површината на теренот, се јавува нивното слободно **гравитациско течење** или пак нивниот **артески притисок**.

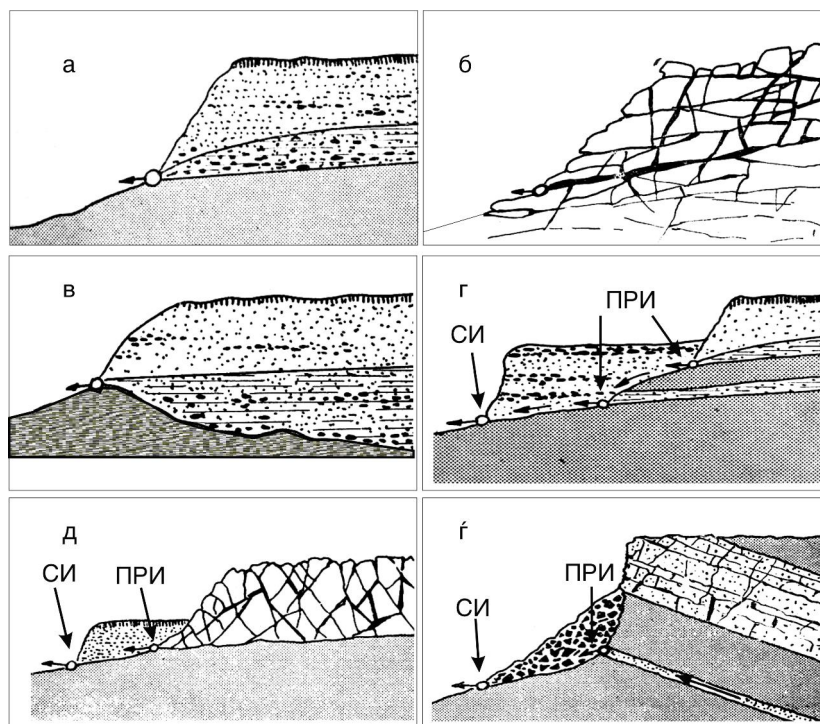
Кај хидропнеуматските извори, како причина за избивање на изданските води на површината на теренот се јавува дејството на **подземните гасови**, односно нивниот притисок кој предизвикува движење на подземните води кон површината на теренот.

Бидејќи механизмот на изворот зависи од повеќе фактори кои може брзо да се менуваат, е неопходно при решавање на проблемите во практиката колку што е можно поточно да се дефинира механизмот на секој извор. Цел е да се определи техничкото решение за начинот за зафаќање (каптирање) на изворот.

ВИДОВИ ИЗВОРИ

Изворите се делат по најразлични критериуми како што се: геолошките услови на постанок, потеклото на подземните води, количеството, хемискиот состав и температурата на изворската вода, положбата на извориштето во однос на релјефот на теренот, тектониката, издашноста на изворот, механизмот на изворот и др.

Според механизмот, изворите се делат на **гравитациски**, **артески** со хидраулички механизам и **хидропнеуматски извори**, со хидропнеуматски механизам (Слика 8.24).



Слика 8.24 Типови на извори: а - исцеден извор од збиен издан; б - исцеден извор од разбиен издан; в - преливен извор од збиен издан; г - исцеден секундарен извор (СИ) од збиен издан; д - исцеден секундарен извор (СИ) од разбиен издан; е - секундарен извор (СИ) со примарно потекло од артески издан (ПРИ)

Гравитациски или слезни извори се извори каде изданските води се движат кон извориштето слободно под дејство на гравитацијата, т.е. со течење надолу. Меѓу гравитациските извори, според висинската положба на изворот во однос на масата на изданот се разликуваат: исцедни или дренажни и преливни извори. **Исцедните или дренажните извори** се извори кои во однос на изданите се наоѓаат толку ниско, што во случај кога би престанало прихранување, изданската вода во целост може да се исцеди или да се издренира само под дејство на гравитацијата. **Преливните извори** се извори што се наоѓаат високо во однос на изданот, така што во ниедни природни услови не може да се исцеди целосно водата од нив. Кај овие извори, водата само прелива од највисокиот дел на изданската вода, а најголем дел од неа постојано останува во хидрогеолошкиот колектор - резервоар. Чести се случаи кога гравитациските или артеските извори не избиваат непосредно од оној колектор во кој е формиран изданот што ги храни со вода, туку изданската вода се пробива низ некоја друга - грубо порозна карпеста маса, пред да се појави на изворот. По овој критериум можат да се разликуваат: **примарни извори**, кои избиваат непосредно од колекторот во кој е формиран издан и **секундарни извори**, кои избиваат од некој друг колектор, каде што не е формиран издан.

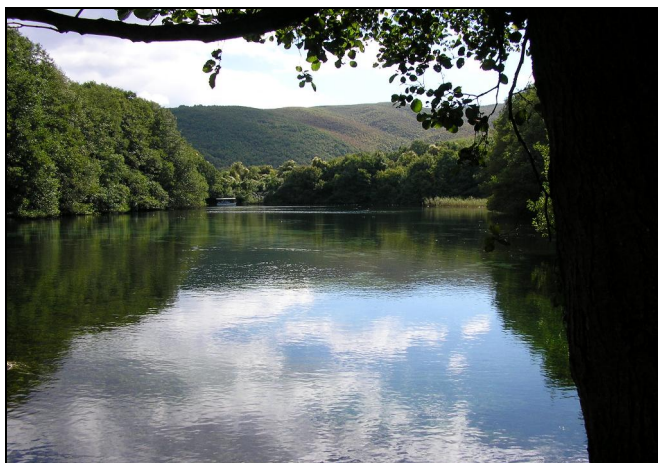
Артеските или излезни извори се извори што природно избиваат на површината на теренот од артеските делови на изданот, под дејство на артескиот притисок. Насоката на движење на водата кај нив е од долу нагоре, бидејќи

артескиот притисок е поголем од хидрауличкиот притисок на водениот столб кој се наоѓа во слојот, пукнатината, раседот или некој друга празнина по чија должина избива на површината на теренот. Во споредба со гравитациските, артеските извори обично се со помала издашност, променливост на температурата и количеството на вода и покажуваат скоро постојани својства со текот на времето. Главно се со зголемена минерализација и повисока температура, бидејќи подземните води кај артеските издани, доаѓаат од поголеми длабини. Температурата на водата обично е поголема од средната температура на местото на појавувањето на овие извори. Понекогаш можат да бидат со топла или со врела вода кога се нарекуваат **термални извори**.

Хидропнеуматски се изворите кај кои водата се качува од длабината под притисок на компримираните земни гасови помешани со изданска вода. Мешавина на водата со гасни меурчиња настанува, главно, со притисок на јаглероден диоксид, метан или поретко некој друг земјен гас кои се помешани со водата. Избивањето на водата на површината на теренот се објаснува со потисокот на гасовите, кои како специфично полесни ја потиснуваат и водата пред себе, сè до површината на теренот. Посебен вид хидропнеуматски извори се сметаат **гејзири** (Слика 4.9, Глава 4).

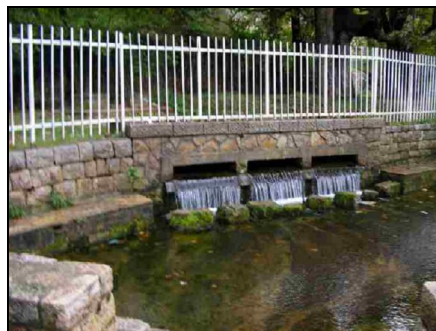
Карстни извори се специфични гравитациски или артески извори, кои се јавуваат во карстните терени. Посебно се концентрирани по дното на долините, увалите, карстните полиња и други депресији или пак по ободните делови на карстните терени.

Кога минималната издашност им е поголема од 100 l/s, се нарекуваат **врела**. Кај нас такви се изворишниот дел на реката Треска, изворите кај Свети Наум и други (Слика 8.25).



Слика 8.25 Извори кај Свети Наум во зона на вливање во Охридското Езеро

Карстните извори можат да го менуваат местото на извориштето, така што при нивното каптирање, најдобро и најсигурно е да се зафаќаат водите на хипсометриски најниските извори (Слика 8.26).



Слика 8.26 Примери за каптирани извори во карстни терени: а - извори кај с. Крушје - Ресенско; б - Билјанини извори - Охридско Езеро

Се одликуваат со многу голема промена на издашноста во тек на времето, така што односот меѓу максималната и минималната издашност може да изнесува и до 1:100, па и 1:1000.

ИЗДАШНОСТ НА ИЗВОРИТЕ

Под поимот **издашност** на изворите се подразбира количеството на вода, кое го даваат тие во единица на време. Издашноста е променлива со текот на времето и најчесто се искажува со средната вредност на количеството на водата во одреден временски интервал. Најчесто, како период за разгледување се усвојува една година. Според Мајнцер постојат осум групи извори според нивната издашност (Табела 8.1).

Табела 8.1 Поделба на изворите според издашноста

Група на извори	Средна издашност
I	$>10 \text{ m}^3 / \text{s}$
II	$1 - 10 \text{ m}^3 / \text{s}$
III	$0,1 - 1 \text{ m}^3 / \text{s}$ (100 - 1000 l/s)
IV	10 - 100 l/s
V	1 - 10 l/s
VI	0,1 - 1 l/s (100 - 1000 g/s)
VII	10 - 100 g/s
VIII	под 10 g/s

Кај каптираните и кај помалите извори со $Q < 10 \text{ l/s}$, издашноста може да се измери така што сиот воден млаз се зафаќа во сад со познат волумен. Времето на неговото полнење се мери со стоперица, така што за пресметка се користи следната формула:

$$Q = V / t$$

Каде што е : Q - издашност (l/s);

V - волумен на садот (l);

T - време на полнењето на садот (s).



Издашноста на појаките и некаптирани извори се определува со помош на специјално конструирани **преливници**. Тие може да бидат: дрвени, метални или бетонски, со: правоаголен, трапезест или триаголен пресек на отворот (слика 8.27).

Слика 8.27 Пример за триаголен дрвен преливник за мерење на дренажни води кај браната Кнежево - Злетовско

Преку овие преливници се пропушта да тече сета вода од изворот, при што поголема точност се постигнува кога над преливникот ќе се направи помал басен со кој се овозможува помирно преливање на водата. За трапезест пресек на преливникот, издашноста се определува со следната равенка:

$$Q = 0,42 \cdot b \cdot \sqrt{2gh^3}$$

Каде што е: Q - проток (m^3 / s);

b - ширина на основицата на трапезестиот отвор (m);

h - висина на водениот столб што се прелива (m).

За правоаголен преливник издашноста се пресметува по следната формула:

$$Q = 0,018 \cdot b \cdot h\sqrt{h}$$

Каде што е: Q - проток на водата l/s;

b - основа на правоаголниот отвор (cm);

h - висина на водениот столб на водата што се прелива (cm).

Издашноста на изворите со $Q > 10l/s$ може да се одреди и со триаголен или Томпсонов преливник по следната формула:

$$Q = 1,4h^2 \sqrt{h} \text{ (m}^3 / \text{s)}$$

Каде што е: Q - проток на водата (m^3 / s);

h - висина на триаголниот воден столб во преливот (cm);

g- земјино забрзување ($9,81m / s^2$);

Издашноста на појаките извори и врела може приближно да се определи и со помош на **пливка**. За таа намена се одбира должина од околу 10m' од праволински дел од коритото, непосредно пред изворот или врелото, во зона на помирен тек. Со мерење на брзината, односно времето на движењето на пливката, издашноста се определува со следната формула:

$$Q = 0,54 \cdot F \cdot v$$

Каде што е: Q - количество на протокот (m^3 / s);

v - брзина на движењето на пливката во средината на водотекот (m/s);

0,54 - коефициент на триењето на коритото;

F - површина на напречниот пресек на водената маса во коритото (m^2).

$$F = \frac{b}{3}(h_1 + h_2 + h_3)$$

Каде што е: h_1, h_2 и h_3 - висина на водениот столб мерено на три места на напречниот пресек на водената маса во коритото, со меѓусебно растојание $b/4$;
 b - ширина на водениот тек во напречен пресек.

Кај големите врела со голема издашност, мерењето се прави со помош на специјален инструмент наречен **хидрометриско крило**, како што се определува протокот на површинските водени текови.

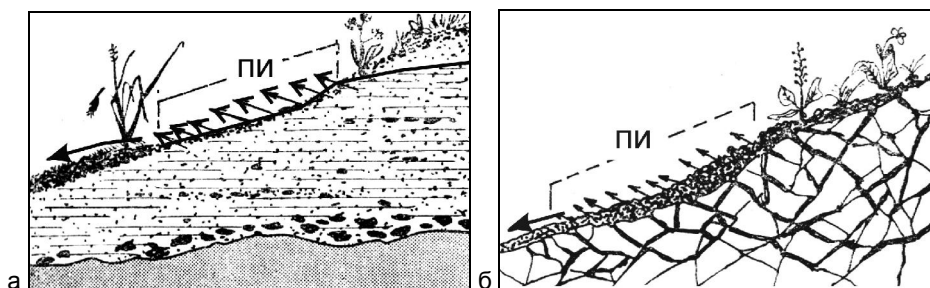
ПИШТЕВИНИ И ИЗДАНСКИ ОКА

Изданските води можат да формираат и појави на површината на теренот, во вид на пиштевини и изданските ока. **Пиштевини** се појави на избивање на подземните води на површината на теренот без јасно оформен млаз. Тие се појавуваат во форма на дифузионо влажење и квасење на површината на теренот во вид на водени флеку (Слики 8.28 и 8.29).

Најчесто се наоѓаат при дното на поблагите падини, кои се препокриени со глиновито-прашинеисти седименти. Речиси сите води, кои на ваков начин избиваат на површината на теренот, се губат со евапорација или транспирација, а многу ретко формираат и послаби површински текови.

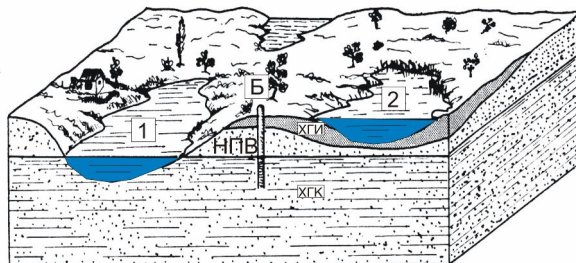


Слика 8.28 Пиштевина на косина од пат М. Каменица до рудникот Саса



Слика 8.29 Пиштевини (ПШ): а - од колектор со меѓузрнеста порозност каде што е формирана збиен издан, б - од разбиен издан

Изданските ока се појави на изданските води во локалните депресии, главно во рамничарските терени, чие порозно дно е пониско од површината на изданот (Слика 8.30).



Слика 8.30 1 - Изданско око, 2 - бара, НПВ - ниво на подземна вода, Б - бунар, ХГИ - хидрогеолошки изолатор, ХГК - хидрогеолошки колектор

Најчесто се појавуваат на терени кои се изградени од карпести маси со меѓузрнска порозност. Во нив водата доста бавно тече во насока на движење на изданските води, поради што е тешко да се забележи нејзиното течење. Промените на нивото на изданското око се забележливи во случај на поголеми и чести осцилации на нивото на изданот. На прв поглед, доста слична појава на изданското око е **барата**, но овие две појави многу се разликуваат по својата суштина. Имено, изданското око директно е поврзано со изданот, додека барата воопшто не е поврзана со изданите. Покрај тоа, изданските ока тешко се заматуваат и ретко пресушуваат во однос на барите. Затоа, изданските ока може да се користат за водоснабдување, изградба на рибници и други намени. За разлика од изданските ока, барите имаат подински хидроизолатор, така што тие се привремени површински акумулации, кои брзо и лесно пресушуваат, лесно се матат, имаат застојана вода и слично.

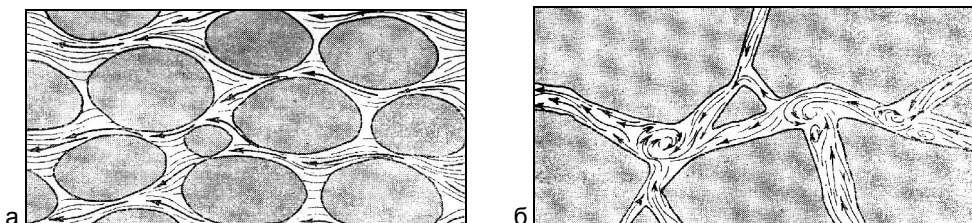
ОСНОВИ ЗА ДИНАМИКА НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ

Делот од хидрогеологијата, којшто се занимава со проучување на законитостите на движењето на подземните води, се нарекува **динамика на подземните води**. До движење, односно до филтрација на слободните подземни води, доаѓа поради постоење на разлика во **хидрауличките притисоци** на водените маси. Законите на движењето на подземните води се користат при хидрогеолошки пресметки за дефинирање на условите за експлоатација на водособирните објекти, кај пресметки на дренажите, при определувањето на резервите на подземните води, решавањето на различни технички проблеми кај рудниците и градежните објекти и др. Движењето на подземните води зависи од повеќе фактори како:

- структурата и големината на порозноста;
- количеството на водата;
- наклонот на подинскиот хидроизолатор;
- големината на хидрауличките притисоци;
- брзината на движењето;
- дебелината на изданската зона;
- издашноста на изданскиот ток и др.

Генерално, се разликуват два основни видови на движење на слободните подземни води и тоа: **стационарно** и **нестационарно**.

При стационарното движење, параметрите на филтрациониот тек како: брзината, издашноста, дебелината хидрауличкиот градиент и др., во кој било пресек се постојани во функција на време. Кај нестационарното движење, овие параметри се променливи во просторот и времето. Аналогно на површинските води и подземните води можат да се движат на два начина: **ламинарно** (струјно) и **турбулентно** (вртоложно). Во одредени случаи се појавува и т.н **преоден режим на струење** (Слика 8.31).

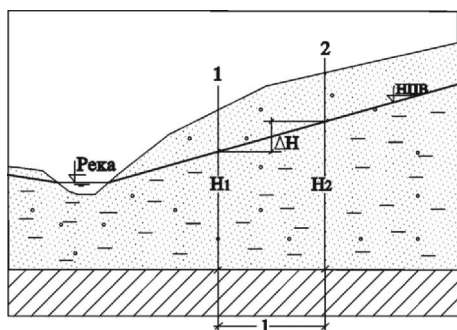


Слика 8.31 а - Ламинарно струење низ песоклива карпа со меѓузрнска порозност; б - турбулентно движење низ мрежа на пукнатини во цврсти карпести маси

Ламинарното е релативно бавно но рамномерно движење на изданските и амбулантните води. Тоа може да се замисли како движење на тенки водени нишки или водени листови кои се нарекуваат **струјни линии**, со воедначена брзина, без преплетување, паралелно едни со други. Со теренските и лабораториските испитувања е утврдено дека водата се движи ламинарно во интергрануларно порозните карпи со ситни пори, како и во fino испукани карпести маси со тесни пркотини. Турбулентното е нерамномерно и доста брзо движење на слободните подземни води. Тоа е можно низ крупните порни агрегати кај грубозрните интергрануларно порозни карпести маси, потоа во испуканите карпи и кај кавернозните карстифицирани карпести маси. Во вакви порни агрегати доаѓа до ненадејни забавувања и забрзувања, што предизвикува вртоложно движење на водените млазеви.

ОСНОВНИ ЗАКОНИ НА ДВИЖЕЊЕТО НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ

Движењето на слободните подземни води се појавува при постоење на разлика на нивото на подземните води во два вертикална пресеци поставени нормално на подземниот тек (Слика 8.32).



Слика 8.32 Шема на движење на слободните подземни води во изданот:

1 и 2 - разгледувани пресеци; H_1 и H_2 - висина на подземна вода во пресеците;

ΔH - висинска разлика на нивото на подземна вода (НПВ); l - хоризонтално растојание меѓу разгледувани пресеци

Разликата во нивото $\Delta H = H_1 - H_2$ во пресеците 1 и 2, всушност претставува разлика во притисоци, кои го условуваат движењето на подземните води со

брзина на движење, која зависи од разликата на притисокот и од должината на патот на филтрацијата. Односот на разликата на притисокот ΔH и должината на патот на филтрацијата l се нарекува **хидрауличен градиент**. Се означува со „ i “ и е бездимензионален број, кој често се изразува и во проценти. Движењето на подземните води кај целосно водозаситените средини при ламинарен режим е дефинирано со **Дарсиевиот** линеарен закон на филтрацијата, прикажан со следната равенка:

$$Q = k \cdot F \cdot \frac{\Delta H}{l} = k \cdot F \cdot i \text{ [m}^3 \text{ / s]},$$

Каде што е: Q - количество на филтрираната вода во единица време низ одреден напречен пресек F (m^3/s);
 k - коефициент на филтрација (m/s);
 F - површина на напречниот пресек на текот на водата (m^2);
 ΔH - разлика на нивото во двата разгледувани пресеци (m);
 l - должина на патот на филтрацијата (m);
 i - хидрауличен градиент.

Делејќи ги двете страни на горната равенка со површината F и именувајќи го соодносот Q/F со брзина на филтрацијата v , каде што $v = Q/F$ се добива:

$$v = k \cdot i$$

Законот на Дарси во диференцијална форма има следен вид:

$$v = -k \frac{dH}{dl}$$

Знакот минус (-) означува, дека во насоката на движењето на водите, вредноста на хидрауличкиот градиент се намалува. Дарсиевиот закон математички е погоден за примена, со оглед дека важи и за слободните и за артеските води. Ако се усвои $i = 1$, равенката добива форма:

$$v = k$$

Произлегува дека при хидраулички градиент еднаков на единица, коефициентот на филтрацијата бројно е еднаков на брзината на филтрацијата. Затоа се изразува во мерни единици исти како и за брзината ($\text{m}/\text{ден}$; m/s и.т.н.). Вака определената брзина на филтрацијата е само **привидна** и не одговара на **реалната брзина** во теренски услови, бидејќи во равенката $V=Q/F$ е земена површината на разгледуваниот пресек на карпестата маса, а не површината на пресекот на порите во тој пресек.

Затоа, за определување на вистинската брзина на филтрацијата наместо површината на пресекот на карпестата маса (F) треба да се зема површината на пресекот на порите (F_p) низ кои всушност водата и тече. За ваков случај, равенката ја добива следната форма:

$$v' = \frac{Q}{F_p}$$

Бидејќи $n = V_p / V$ (односно $n = F_p / F$ за пресек), произлегува дека:

$$v' = \frac{Q}{F \cdot n}$$

Споредувајќи ги равенките $v = Q/F$ и $v' = \frac{Q}{F \cdot n}$ се добива изразот:

$$v = v' \cdot n, \text{ односно } v' = \frac{v}{n}$$

Каде што е: n - порозност изразена во делови на единицата.

Ако се знае дека порозноста е секогаш помала од единица, реалната брзина на движењето на слободните подземни води секогаш ќе биде поголема од привидната брзина на филтрацијата за 3 - 4 пати.

Може да се каже дека законот на Дарси, важи практично за најголем број случаи на филтрација во карпестите маси и се нарекува **основен закон на движењето на подземните води**. Меѓутоа, сепак тој не е сеопшт. На пример, при турбулентното движење карактеристично кај грубозрнестите, многу испуканите и карстифицираните маси важи нелинеарниот закон на филтрацијата на Шези - Краснополски:

$$v = k \cdot \sqrt{i} = k \cdot i^{\frac{1}{2}}$$

Погоден критериум, кој го дефинира режимот на движење на водата е бездимензионалниот Рејнолдсов број (R_e), кој при течење на подземни води е дефиниран со следната равенка;

$$R_e = \frac{v \cdot d_{ef}}{\rho}$$

Каде што е: v - брзина на движење на подземни води;

d_{ef} - ефективен пречник на зрното дефиниран од гранулометриски криви;

ρ - кинематски коефициент на вискозност.

Според експерименталните податоци режимот на струење во порозната средина се задржува во областа на Рејнолдсовиот број $R_e=3-10$. Над овие вредности, струењето влегува во преоден режим, а кога $R_e>100-200$, подземната вода има изразито турбулентен режим на течење.

ФИЛТРАЦИСКИ ПАРАМЕТРИ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

За пресметка на движењето на слободните подземни води, основна пресметковна големина со која квантитативно се изразуваат филтрациските својства на карпестите маси, најчесто се користи параметрот наречен **коефициент на филтрацијата** или **водопропустливоста (k)**.

Според овој коефициент, сите невврзани и слабоврзани карпи се делат во следните категории:

- слабопропустни или практично водонепропустни карпи со коефициент на филтрација $k = 10^{-8} - 10^{-13} \text{ m/s}$,
- средноводопрпустни карпи $k = 10^{-5} - 10^{-7} \text{ m/s}$,
- висоководопрпустни карпи со $k > 10^{-5} \text{ m/s}$,

За ориентациона прогноза на неговата големина, често се користат и искусвени вредности определени преку составот на седиментите (Табела 8.2).

Коефициентот на филтрација главно важи за услови на движење низ хомогено-порозна средина со иста водопропустност во разни правци. Кај слоевити средини со различни коефициенти на филтрација во различни правци, понекогаш се наметнува проблемот за дефинирање на средниот коефициент на филтрација (Слика 8.33).

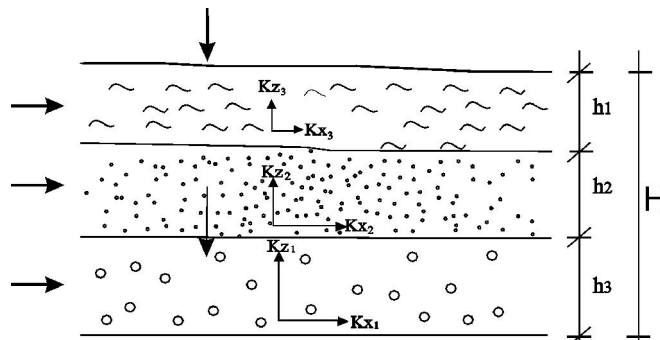
Табела 8.2 Ориентациски вредности на коефициентот на филтрацијата за разни видови карпи според П. П. Климентов

Карпа	к (м/ден)	Карпа	к (м/ден)
глини	0,001 - 0,01	среднозрн песок	5 - 15
песокливи глини	0,01 - 0,1	крупнозрн песок	15 - 50
глинест песок	0,1 - 0,5	чакалест песок	50 - 100
прашинест песок	0,5 - 1,0	чакал	100 - 200
ситнозрн песок	1 - 5		

Слоевитите средини често покажуваат анизотропија на водопропустноста во хоризонтална и вертикална насока. Во вакви случаи често се користи и терминот еквивалентна водопропустност, кој би бил репрезентативен за цел пакет слоеви. За пресметка се користат следните формули:

$$K_x = \frac{\sum K_i h_i}{H}; \quad K_z = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{K_i}}$$

Каде што е: K_x - коефициент на филтрација во хоризонтална насока;
 K_z - коефициент на филтрација во вертикална насока;
 H - вкупна дебелина на слоеви;
 h_i - поединечна дебелина на слоеви;
 K_i - поединечна вредност на коефициент на филтрација за секој слој.



Слика 8.33 Шема за пресметка на средна вредност на коефициент на филтрација за трослојна средина при движење на вода во хоризонтална (x) и вертикална насока (z)

Кај испуканите цврсти карпи, коефициентот на филтрација може приближно да се процени и според податоците од испуканоста со користење на различни графоаналитички постапки. На пример, методот на Вангхам е прикажан со следната равенка:

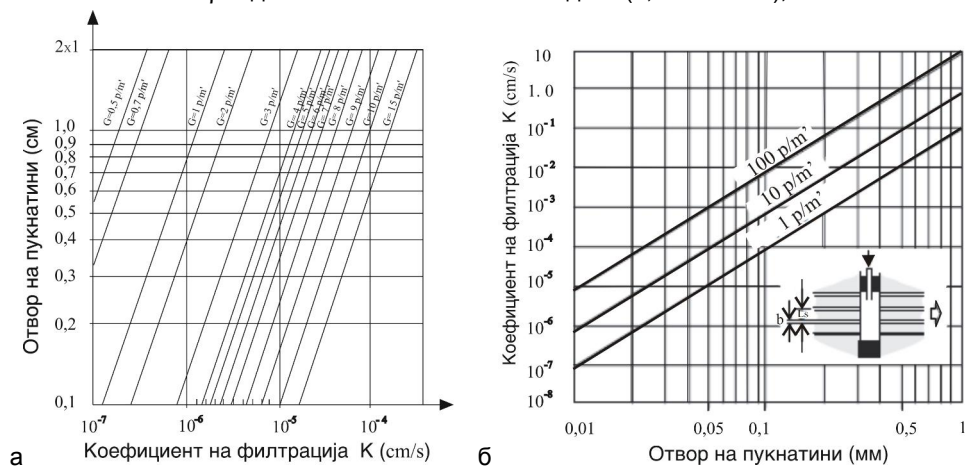
$$k_i = b_i G_i^2 \rho$$

Каде што е: G - густина на пукнатини за некој систем;
 b - отвор на пукнатини;
 ρ - динамичка вискозност на водата ($0,0101 \text{ cm}^2/\text{s}$).

Во практика често се користи и методот на Луи, дефиниран со следната равенка:

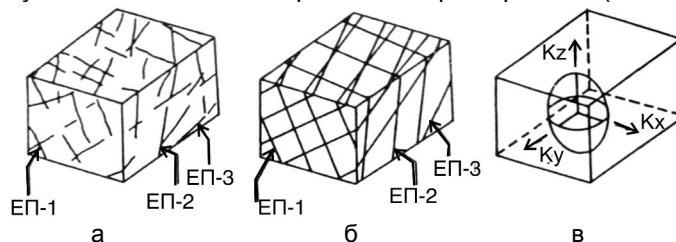
$$k_i = \frac{gb^3}{12\rho * L_s}$$

Каде што е: g - гравитациона константа (981 cm/s^2);
 L_s - растојание меѓу пукнатини;
 b - отвор на пукнатини;
 ρ - динамичка вискозност на водата ($0,0101 \text{ cm}^2/\text{s}$);



Слика 8.34 Графоаналитички методи за определување на коефициентот на филтрација кај испукани карпести маси во зависност од густината на пукнатините (G) и активниот отвор (b); а - метод на Вангхам, 1972; б - метод на Луи 1969

Методот на Вангхам овозможува пресметка на коефициентот на филтрација за различни пукнатински системи со различни карактеристики (Слика 8.35).



Слика 8.35 Тензор на водопропустноста за повеќе системи на пукнатини со различен коефициент на филтрација во различни правци

На овој начин може да се дефинира и **тензорот на водопропустноста** со анизотропни коефициенти на филтрацијата (K_1 е различно од K_2 и од K_3).

Покрај коефициентот на филтрацијата, колекторите се одликуваат и со други филтрациски параметри како: коефициент на **водопроводност**, коефициент на **нивопроводноста** кај слободна издан, односно коефициентот на **пиезопроводноста** кај артеиска издан и др. Коефициентот на водопродноста (T) ја дефинира оводнетоста на хидрогеолошкиот колектор и претставува производ од коефициентот на филтрацијата и дебелината на изданската зона:

$$T = k \cdot H_{cp} \text{ или } T = k \cdot m \text{ (m}^2/\text{ден)}$$

Каде што е: T - коефициент на водопродноста ($\text{m}^2/\text{ден}$);
 k - коефициент на филтрација ($\text{m}/\text{ден}$);
 H_{cp} - средна дебелина на изданската зона (m);
 m - дебелина на артескиот дел на изданот, m .

Коефициентот на нивопроводноста ја карактеризира способноста на колекторот да ја пренесува промената на нивото на изданот со слободна површина во процесот на нестационарно движење. Претставува сооднос меѓу водопрводноста (T) на колекторот и способноста за гравитационата исцедливост, односно водопредавање на тој колектор. Се изразува на следниот начин:

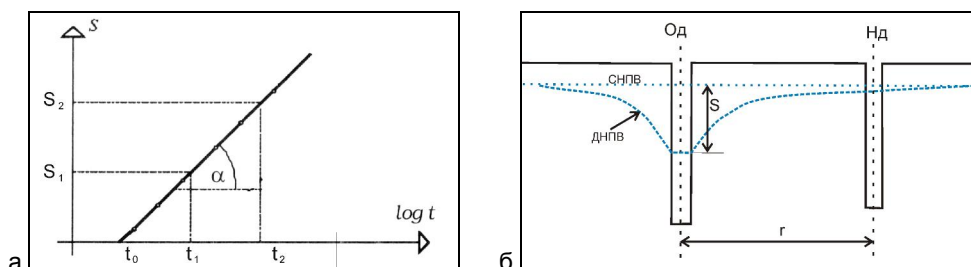
$$a_H = \frac{k \cdot H_{cp}}{\mu} = \frac{T}{\mu} \text{ (m}^2 \text{ / ден)}$$

Каде што е: a_H - коефициент на нивопроводноста ($m^2/\text{ден}$);
 μ - специфична издашност на хидрогеолошкиот колектор.

Специфичната издашност најчесто е дефинирана со следниот израз:

$$\mu = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}$$

Каде што е: r - растојание на набљудувачка од опитната или експлоатационата дупнатина (m');
 t_0 - време кое се добива со опит на црпење на подземна вода од дијаграм на Слика 8.36.



Слика 8.36 а - Дијаграм со логаритамска зависност на снижување на ниво на вода (S) во зависност од време на црпење (t); б - шема за изведба на опит на црпење на вода од опитна дупнатина (Од) и следење на снижување на вода (S) во набљудувачка дупнатина (Нд): СНПВ - статичко ниво на подземна вода пред црпење на вода, ДНПВ - динамичко ниво на подземна вода во фаза на црпење

Коефициент на пиезопроводноста (a) претставува показател со кој се прикажува прераспределбата на притисоците во артеиска издан при услови на нестационарна филтрација. Тој зависи од еластичните својства на изданските води, потоа од порозноста, коефициентот на филтрацијата и еластичните својства на хидрогеолошкиот колектор:

$$a = \frac{k}{n \cdot \beta_B + \beta_K} \text{ (m}^2 \text{ / ден)}$$

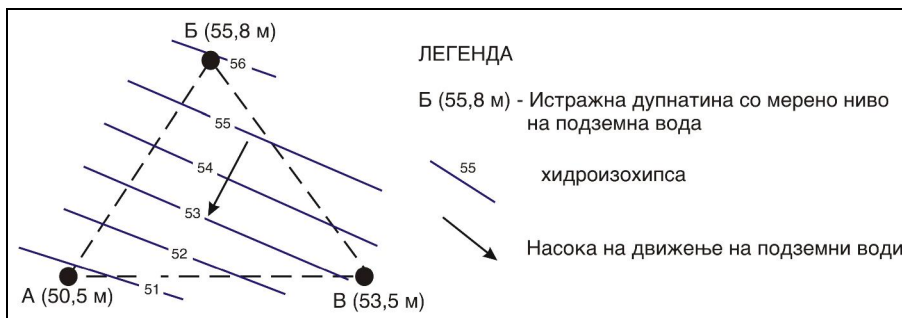
Каде што е: n - порозност на хидроколекторот;
 β_B - коефициент кој ја карактеризира стисливоста на водата;
 β_K - коефициент на волуменската еластичност на хидроколекторот.

За дефинирање на параметрите на филтрација се користат голем број теренски и лабораториски методи кои се детално објаснети во Глава 14.

ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА НАСОКАТА И БРЗИНАТА НА ДВИЖЕЊЕТО НА ИЗДАНСКИТЕ ВОДИ

Во реални услови движењето на подземните води се врши со различна брзина. На пример, кај поголемите пори и пукнатини и при повисок хидраулички градиент брзината на движењето е поголема во средишниот дел на порите и пукнатините. Затоа, најправилно е да се зборува само за средна брзина на движењето на водата во границите на одреден анализиран хидрогеолошки колектор. Определувањето на вистинската насока и брзина на движењето на изданските води може да се оствари само во теренски услови.

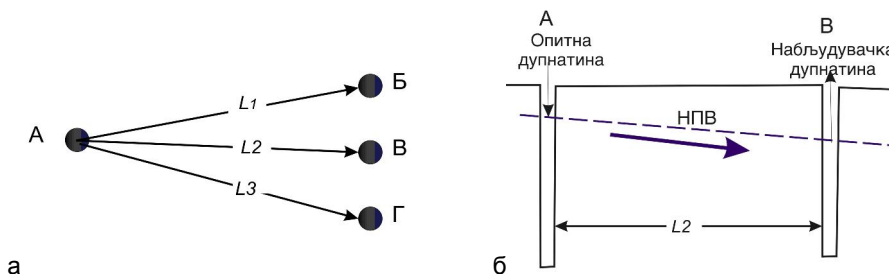
Насоката на движењето наједноставно може да се определи со графичка метода, која се заснова на мерени податоци за нивоата на подземна вода во три меѓусебно блиски бунари или дупнатини, поставени на темињата на приближно рамностран триаголник (Слика 8.37).



Слика 8.37 Определување на насоката на движење на изданските води со метод на мерени нивоа на подземни води во три дупнатини (А, Б и В)

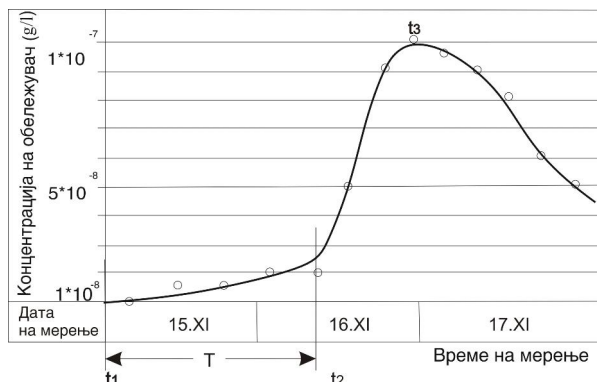
За определувањето на насоката на движењето на изданскиот тек треба да се познаваат меѓусебните растојанија на дупнатините, нивните апсолутни или релативни висини и длабината до нивото на изданот во нив. Понатаму, се врши интерполација на нивоата меѓу точки со познати вредности во должина на страниците на оформениот триаголник. Со поврзување на точките со иста висина се добиваат изолинии, кои аналогно на изохипсите на површината на теренот се нарекуваат **хидроизохипси**.

За определување на брзината на движење на изданските води често се користат и специјални испитувања со **трасерски** методи (Слика 8.38).



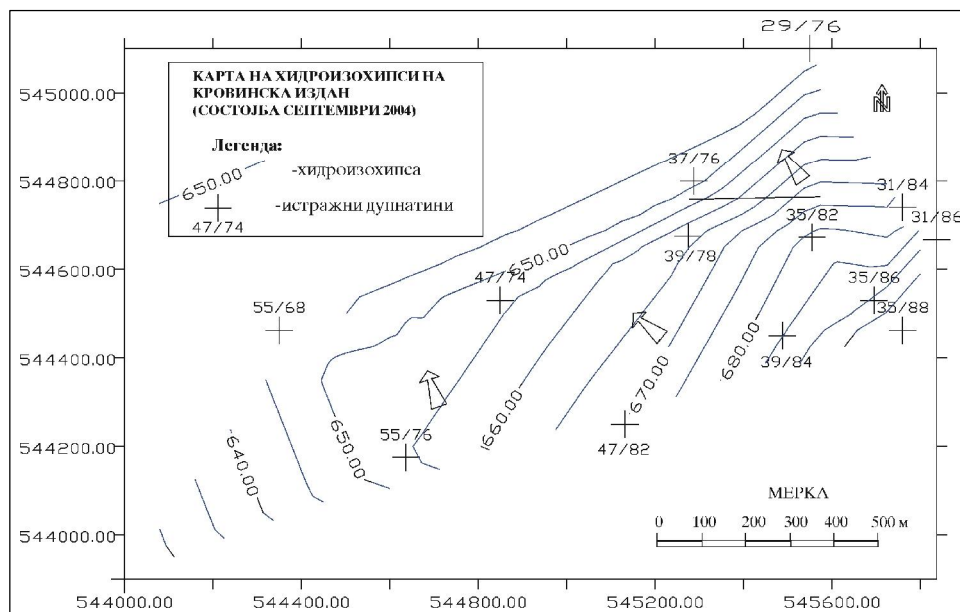
Слика 8.38 Шема за определување на вистинска брзина на движење на подземни води: а - приказ во хоризонтална проекција, б - пресек меѓу дупнатините А и В

Една од дупнатините е **опитна (А)**, додека другите дупнатини Б, В и Г се поставуваат во правец на движењето на изданскиот тек и се нарекуваат **набљудувачки** дупнатини. Во опитната дупнатина се уфрла некој индикатор како: обична готвачка сол, уранин, флуоресцин или некоја друга индикаторска супстанција. Потоа, се определува моментот на наидување на уфрленото средство во набљудувачките дупнатини (Слика 8.39).



Слика 8.39 Промена на концентрација на хлорниот јон (Cl^-) во изданските води:
 t_1 - време на уфрлување на индикаторот во опитната дупнатина, t_2 - време на наидување на индикаторот во набљудувачка дупнатина, t_3 - максимална концентрација; T - време за пресметка на брзината на движење

Со спојување на податоците меѓу поголем број дупнатини, може да се конструираат специјални карти на хидроизохипси за пошироки простори (Слика 8.40). Овие карти се од голема помош за дефинирање на насоката на движење на подземните води, која е нормална на добиените хидроизохипси.



Слика 8.40 Специјална карта на хидроизохипси за дел од површински коп за јаглен Суводол - Битола

Брзината на изданскиот тек се определува со следната равенка:

$$v = L / T$$

Каде е: v - брзина на текот на изданот;

L - средно растојание меѓу опитната и набљудувачките дупнатини

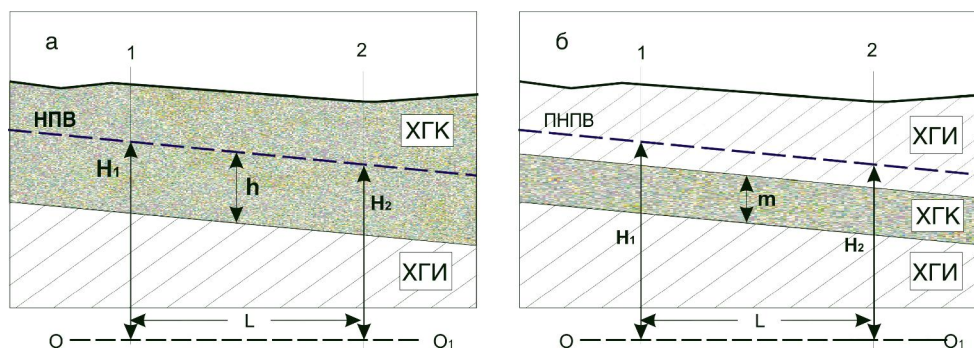
$$L = \frac{1}{3}(L_1 + L_2 + L_3);$$

T - време кое поминува од моментот на уфрлувањето на индикаторот во опитната дупнатина до негово констатирање во набљудувачката дупнатина.

Знаејќи ја вистинската брзина на движењето v и хидрауличкиот градиент i , ориентациски може да се определи и коефициентот на филтрацијата од познатиот израз $v = k \cdot i$, од каде што $k = v / i$. Во практиката, за определување на брзината на текот на слободните подземни води се применуваат и постапки со примена на изотопи, електрохемиски, геофизички и други методи. Во карстните терени, правецот и брзината на движењето на слободните подземни води, најчесто се определува со боење на водите на понорите и нивно регистрирање кај карстните изворишта.

ИЗДАШНОСТ НА ИЗДАНСКИОТ ТЕК

Издашност на изданскиот тек се дефинира како количество на вода кое во единица на време протекува низ некој пресек на хидроколекторот. Понекогаш, наместо терминот издашност се користи и терминот дебит на изданскиот тек. Издашноста зависи од повеќе фактори меѓу кои се најзначајни хидрауличкиот градиент и филтрационите својства на хидроколекторот. Во практиката постојат различни теоретски решенија за пресметка на издашноста при рамномерно и нерамномерно движење на изданските води. Рамномерно движење е можно во случаи кога дебелината на изданската зона е постојана, а слободната површина на изданот е права линија (Слика 8.41).



Слика 8.41 Рамномерно движење на изданската вода низ пресек: а - за издан со слободно ниво; б - за издан под притисок; h - константна дебелина на изданската зона кај издан со слободно ниво; m - дебелина на изданската зона кај издан под притисок;

H_1, H_2 - ниво на изданот во пресеците 1 и 2; L - растојание меѓу пресеците 1 и 2;

$O - O_1$: референтна рамнина во однос на која се мерат висините

За случај издан со слободно ниво, кога нивото на подземна вода е паралелно на подинскиот хидроизолатор, единечниот проток на изданскиот ток се определува со равенката:

$$q = k \cdot h \cdot i = k \cdot h \frac{H_1 - H_2}{L} \text{ (м}^3 \text{ / ден)}$$

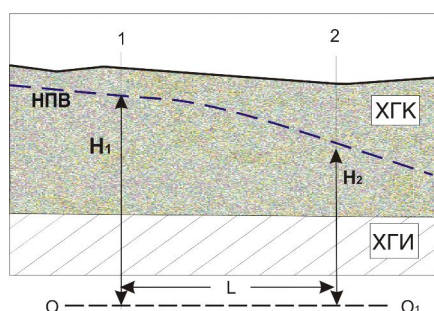
Каде што е: q - единечен проток на изданските води, односно количество на вода, кое протечува во единица на време низ пресек на токот со ширина од 1 m.

Во случај на артески издан, единичниот проток на изданскиот тек се изразува преку равенката:

$$q = k \cdot m \frac{H_1 - H_2}{L}$$

Каде што е: m - дебелина на колекторот со артески издан.

Неравномерно движење се одликува со криволиниска слободна или пиезометарската површина на изданот (Слика 8.42).



Слика 8.42 Криволиниска површина на нивото на подземна вода кај неравномерното движење на изданската вода со хоризонтален хидроизолатор

За слободна издан при хоризонтален подински хидроизолатор, единичниот проток се определува со формулата:

$$q = k \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L}$$

Вкупниот проток на изданскиот тек по определен пресек на изданот се добива кога претходните изрази ќе се помножат со вкупната ширина на изданскиот тек (B) по следната формула:

$$Q = q \cdot B \text{ односно } Q = k \cdot B \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L}$$

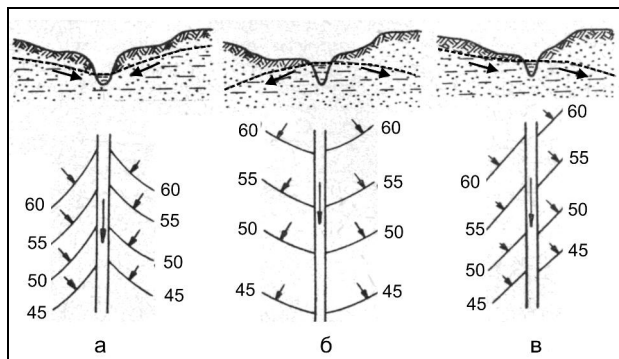
Каде што е: Q - вкупен проток на изданскиот тек.

Треба да се напомене дека прикажаните равенки важат за рамнински тек и хомогено порозна средина.

ВРСКИ НА ПОДЗЕМНИТЕ СО ПОВРШИНСКИТЕ ВОДИ

Бидејќи во општиот хидролошки циклус учествуваат површинските и подземните води, логично е да се претпостави дека во најголем број случаи, постои определена хидрауличка врска меѓу нив. Ако се знае дека геолошките услови за формирање на изданските зони можат да бидат најразлични, скоро е невозможно да се предвидат сите комбинации и меѓусебни односи на површинските и подземните води. За илустрација на овој став, на Сликата 8.43,

се прикажани варијанти на изданска зона во алувијална рамнина, формирана покрај активен речен водотек. Од сликата се гледа дека во зависност од: морфолошките, геолошките, хидролошките и атмосферските услови се можни различни односи.



Слика 8.43 Приказ на можни односи на подземни и површински води:
 а - подземни води ја прихрануваат реката,
 б - реката го храни подземјето, в - комбиниран случај на прихранување од една страна на подземјето кон реката и обратно

Дури и за терен со непроменливи геолошки и морфолошки карактеристики, зависно од временскиот период, во врнежливи сезони водите од подземјето би ги прихранувале површинските води, а во сушен период, од реката би имало инфилтрација на вода кон подземјето.

ОПШТИ ИЗРАЗИ ЗА ПРЕСМЕТКА НА ДОТЕК НА ВОДА КОН ВОДОСОБИРНИ ОБЈЕКТИ

Во хидрогеологијата, геотехниката, хидрауликата и други инженерски дисциплини, често се јавува потреба од пресметка на дотек на подземните води кон водособирни објекти како: **дренажни ровови, дренажни и истражни дупнатини, бунари** и други објекти. Во практиката се разработени голем број пресметковни модели при што во рамките на книгата се прикажани само најосновните методи за пресметка. За натамошни анализи, можат да се користат и решенија разработени од поголем број автори кои се прикажани во Анексот 8 на книгата.

ПОИМ ЗА РАДИУС НА ВЛИЈАНИЕ

При ископ на канали, темелни јами, црпење на вода од бунари и слично, често настанува промена на нивото на подземна вода во теренот. Поради црпењето или прилив на изданската вода кон објектите, доаѓа до снижување на првобитното ниво на изданот, при што се формира депресија со одреден **радиус на влијанието (R)**. Овој параметар е многу значаен за различни хидрогеолошки анализи, а неговото значење ќе се прикаже преку анализа на дотек на подземна вода кон еден дренажен ров. Решение за ваков случај дале Дарси и Дипи (Darcy и Dupuit), кое е прикажано на Сликата 8.44.

При дотек на вода само од една страна имаме:

$$Q = L \cdot k \frac{H^2 - h^2}{2R}$$

За дотек на подземна вода од двете страни, кој е почест случај во практиката, се користи следниот израз:

$$Q = L \cdot k \frac{H^2 - h^2}{R}$$

Каде што е: Q - вкупен дотек на вода во водособириот ров, м³/ден);

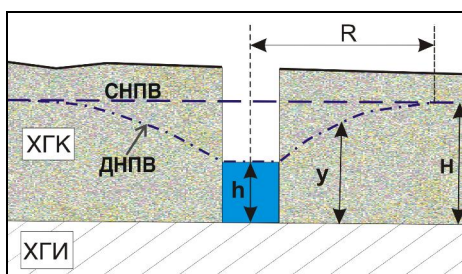
H - дебелина на изданот (m);

h - дебелина на водата во ровот (m');

L - вкупна должина на ровот (m);

R - радиус на влијанието (m);

k - коефициент на филтрацијата на хидроколекторот (m/ ден).



Слика 8.44 Пресек на терен со совршен ров: ХГК - хидрогеолошки колектор, ХГИ - хидрогеолошки изолатор, СНПВ - статичко ниво на подземна вода пред ископ; ДНПВ - динамичко ниво на вода во ров по ископ и црпење на подземна вода, H - дебелина на издан, h - висина на вода во ров; y - висина на ниво на подземна вода во разгледувана точка, R - радиус на влијание

Во практиката, се среќаваат различни постапки за пресметка или прогноза на радиусот на влијание. Некои се искусвени, некои се теоретски, а најточни податоци се добиваат со следење на снижувањето на нивото на подземна вода на терен преку опитни полиња околу бунари или друг тип на ископи. Ориентациони податоци, за различни материјали се прикажани во Табелата 8.3.

Табела 8.3 Ориентациони големини на радиус на влијание за снижувања од околу 10 метри за разни видови материјали според П. П. Климентов

Вид на карпа	Радиус на влијание R (m)
ситнозрн песок	50 - 100
среднозрн песок	100 - 200
крупнозрн песок	200 - 400
чакал и кавернозни карбонатни карпи	400 - 600

Според пресметката, радиусот на влијание за издан со слободно ниво по методата на Кусакин се определува по следната формула:

$$R = 2S\sqrt{Hk}$$

За издан под притисок често се користи методот на Зихарт:

$$R = 10 \cdot S\sqrt{k}$$

Каде што е: H - дебелина на водоносен слој;

k - коефициент на филтрација во м/ден;

S - снижување на нивото на подземна вода.

Според Дипи, за единечен бунар изведен во артеиска издан се користи следниот израз:

$$R = 1.5 \sqrt{\frac{T \cdot t}{\mu}}$$

Каде што е: μ - специфична издашност на хидрогеолошкиот колектор;
 T - коефициент на водопрводноста (m^2 /ден);
 t - времетраење на црење на подземна вода.

Според Шулц, за пресметка на радиусот на влијание и за изданска зона со дебелина може да се примени следната формула:

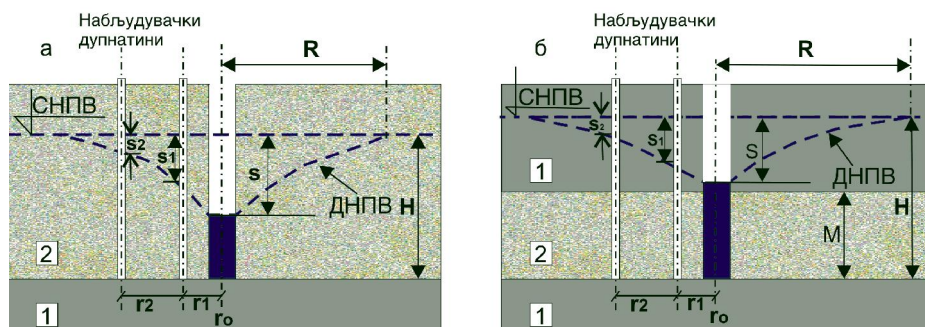
$$R = \sqrt{\frac{6Hkt}{\mu}} \mu$$

Каде што е: k - коефициент на филтација во cm/s ;
 H - дебелина на водоносен слој во метри.

Мора да се истакне дека најточни податоци се добиваат со примена на подолготрајни експлоатациони црења на подземната вода, проследени со систематско набљудување на снижувањата околу водособириот објект, со соодветна обработка на податоците од црењето. Определени аспекти поврзани со овој проблем се прикажани во Главата 14.

ДОТЕК НА ВОДА ВО ДУПНАТИНА ИЛИ БУНАР

Дупнатините или бунарите се најчести вертикални водособири објекти за црење вода. Приказ на основните решенија се прикажани на следните слики. Случај од црење од батерија на **совршени** дупнатини кои со своето дно, го допираат изолаторскиот слој е прикажан на Сликата 8.45.



Слика 8.45 Батерија на совршени дупнатини во издан со слободно ниво (а) и под притисок (б): 1 - хидрогеолошки изолатор, 2 - хидрогеолошки колектор; r_1 и r_2 - растојание на првата, односно втората набљудувачка од централната дупнатина (m); s_1 и s_2 - снижување во набљудувачките дупнатини m; СНПВ - статичко ниво на слободната и аретска издан, ДНПВ - динамичко пиезометарски ниво на аретската издан.

За дотек кај совршени дупнатини во хомоген колектор со слободна издан, најчесто се користи равенката на Дипи, за која важи следниот израз:

$$Q = \frac{k \cdot \pi (H^2 - h^2)}{l \cdot nR - \ln r}$$

Заменувајќи ги природните логаритми со декадни, како и бројната вредност за π , горната формула добива попрактична форма за пресметка:

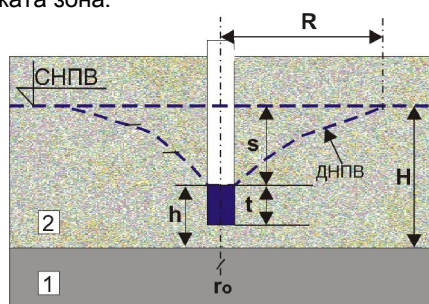
$$Q = 1,366k \frac{(H^2 - h^2)}{\log R - \log r}$$

Каде што е: Q - издашност на совршената дупнатина;
 H - дебелина на изданот (m);
 h - дебелина на водата во ровот (m');
 L - вкупна должина на ровот (m);
 R - радиус на влијанието (m);
 k - коефициент на филтрацијата на хидроколекторот (m/ден).

За определување на издашноста на несовершена дупнатина или бунар со пропусни ѕидови, а непропусно дно, се користи следната равенка (Слика 8.46):

$$Q = \frac{k \cdot \pi (H^2 - h^2)}{\ln R - \ln r} \cdot \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{h}} \cdot \frac{\sqrt{2h-t}}{h}$$

Каде што е: Q - издашност на дупнатината (m³/ден);
 t - дебелина на изданот од водонепропусната подлога до сниженото ниво во дупнатината;
 h - висина на водениот столб во дупнатината или работен дел на филтерската зона.



Слика 8.46 Пресек на терен со несовершена дупнатина со пропустливи ѕидови и непропусно дно.

За определување на издашноста на артеиска или субартеиска дупнатина се користи следната равенка:

$$Q = \frac{2\pi km(H-h)}{\ln R - \ln r} = 2,73 \frac{km(H-h)}{\log R - \log r}$$

Каде што е: Q - издашност на артеиски бунар (m³/ден);
 m - дебелина на хидроколекторот со артеиска издан (m);
 H - висина на статичкото пиезометарско ниво (m);
 h - висина на динамичкото пиезометриско ниво (m);
 R - полупречник на депресијата на притисоците (m);

За бунари изведени во издан со слободно ниво, често за прогноза на снижувањата се користи постапката на Тим прикажана со следната формула:

$$Q = Q_1 \frac{2(H-s) \cdot s}{(2H-s_1) \cdot s_1}$$

За субартеиски бунари може да се користи формулата на Дипи:

$$Q = Q_1 \frac{s}{s_1}$$

Каде што е: Q - проектирана издашност на бунар,
 Q₁ - измерена издашност од бунарот при снижување s₁

S - потребно снижување за одредена издашност

S₁ - максимална депресија добиена при пробно црпење

Заради отпорите што се развиваат во водоносниот слој, протоците на вода се различни при различни нивоа на снижување. За следење на овие односи може да се воведат термините **специфичен дотек** и **специфично снижување**, кои се изразуваат со следните изрази:

$$q = \frac{Q}{S} \quad \text{и} \quad S_p = \frac{S}{Q}$$

Каде што е: q - специфичен дотек;

S_p - специфично снижување.

Специфичната издашност ја преставува издашноста за секој метар на депресијата.

РЕЗЕРВИ НА ПОДЗЕМНИ ВОДИ

Резервите на подземните води се дефинираат како количество на изданските води, кои се содржани во хидрогеолошките колектори. За разлика од цврстите минерални сировини, тие можат да се наоѓаат во состојба на движење и периодично да се обновуваат. Оценката на резервите на изданските води има големо значење при водоснабдувањето, бидејќи ниту еден водособирен објект не може да се изгради и да се пушти во експлоатација без претходно познавање на расположивите резерви. Резервите на изданските води се делат на **природни и експлоатациски**. Природните резерви на изданските води претставуваат нивно количество кое е содржано во хидроколекторите во природни услови. Тие се состојат од **статички, еластични и динамички резерви**, кои прегледно можат да се прикажат со следната равенка:

$$Q_{pr.} = Q_{st.} + Q_{el.} + Q_{dyn} \quad (m^3)$$

Статичките (Q_{st.}) и еластичните (Q_{el.}) резерви го карактеризираат количеството на слободните подземни води во порите, пукнатините и друг празен простор на хидроколекторите во m³. Еластичните резерви се количество на вода, кое може да биде извлечено од артеските делови на изданите без исушување на колекторот. Под динамички резерви се подразбира издашноста на изданскиот тек (m³/ден), кој протечува низ хидроколекторот во единица на време. Динамичките резерви, во процесот на кружењето на водите на Земјата, постојано се обновуваат. Улогата на динамичките резерви има најголемо значење при решавањето на проблемите за водоснабдувањето, а се пресметуваат наједноставно со примена на формулата за издашноста на изданскиот тек:

$$Q_{dyn} = k \cdot h_{cp} \cdot B \cdot i \quad (m^3/ден)$$

Каде што е: k - коефициент на филтрација;

h_{cp} - средна дебелина на изданска зона;

B - ширина на изданска зона;

i - хидрауличен градиент.

При експлоатацијата на изданските води се нарушуваат природните услови при што се формираат експлоатационите резерви. Под овој поим се подразбира она количество на изданските води, кое може да се добие во единица на време со рационално изведени водособирни објекти. Притоа, треба да се води сметка да не се предизвика прогресивно намалување на издашноста и динамичките резерви и влошување на квалитетот на водата во текот на предвиденото време на користењето на водите.

Експлоатационите резерви, во поволни хидрогеолошки услови можат да ги надминат по количество природните резерви, ако се создадат услови за дополнително привлекување на води од соседни издани или користење на површински води. Во овој случај, тие се нарекуваат **дополнителни** или привлечени резерви (Q_{dop}). Ако се предизвика инфилтрација на површинските води преку вештачкото прихранување, се нарекуваат и вештачки резерви (Q_{ves}). Во целина, формирањето на експлоатационите резерви на подземните води се изразува со следната билансна равенка:

$$Q_{eks} = Q_{dyn} + \frac{Q_{st}}{T} + \frac{Q_{el}}{T} + Q_{dop} + Q_{ves}$$

Каде што е: T - пресметковно предвидено време на користење на изданските води.

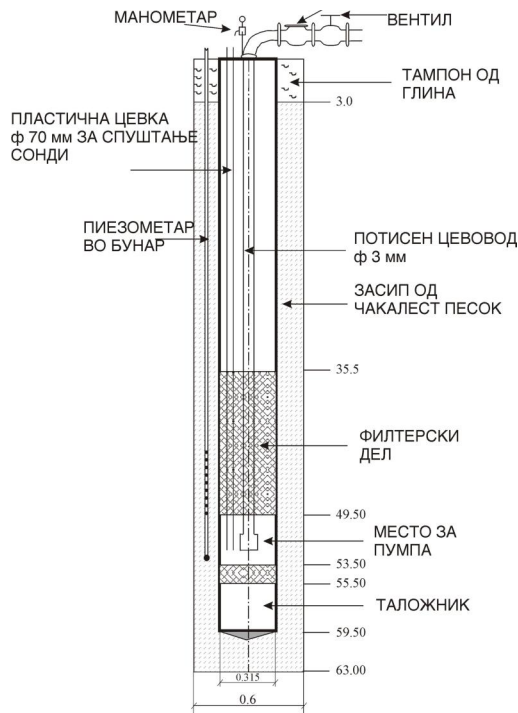
За да се проценат експлоатационите резерви треба да се определат: издашноста при определено снижувањето на нивото на изданските води во периодот на експлоатацијата, меѓусебно дејство на водособирните објекти, прогноза за промената на квалитетот на водата со тек на време и други услови. Во практика, експлоатационите резерви главно се засноваат на расположивите динамичките резерви, а ретко се дозволува да се црпат статичките резерви. Најточно, експлоатационите резерви се определуваат по податоците од подолготрајни пробно-експлоатациски црења на поединечни или групни истражни или истражно-експлоатациски објекти од тип на бунари, хоризонтални дренажи или комбинирани водособирни објекти.

По аналогија со лежиштата на минералните суровини и експлоатационите резерви на изданските води се делат на категории: А, Б, Ц₁ и Ц₂, а во зависност од детаљноста на хидрогеолошките истражувања.

ОПШТИ ПОИМИ ЗА БУНАРСКА КОНСТРУКЦИЈА

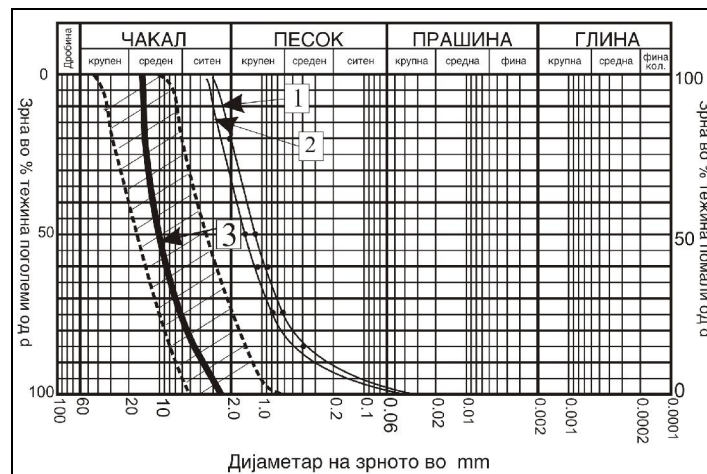
Бунарите се објекти, кои служат за водоснабдување или за снижување на нивото на подземна вода при изведба на некој градежен и рударски објект. Во современата практика, бунарите се изведуваат главно со постапка на реверсно дупчење, после што следи спуштање на бунарската конструкција под површината на теренот. Конструкциите на бунарите се од типот на **етажни конструкции**, каде што одделните делови на бунарот се составуваат во една непрекината колона.

Кај бунарите се разликуваат неколку основни делови. **Таложникот** е дел од бунарот кој се става во најдолниот дел и е составен од полна цевка. Неговата функција е да се прифатат сите поситни честички, кои од теренот би продреле во бунарската конструкција. Должината му е променлива, а зависи од вкупната должина на бунарот. Обично, изнесува околу 10% од вкупната должина на бунарот, но од случај до случај може да има отстапување од оваа генерална препорака. Таложникот од долната страна се затвара со соодветен чеп за да се спречи влегување на материјал од околната средина во бунарот. Обично, над таложникот се поставува **филтерски** или **водоприемни** дел, односно **перфорирана** цевка низ која подземната вода дотекува кон бунарот. На деловите каде што теренот е изграден од хидроизолатори се поставуваат **полни цевки**, кои можат да бидат пластични или метални. Во секој бунар, во најдолниот дел обично се остава празен простор по неколку метри за да се овозможи таложување на материјал до моментот на спуштање на цевките до предвидената длабина. Еден пример е прикажан на Сликата 8.47.



Слика 8.47 Пример на една типична конструкција на бунар кој се користи за зафаќање на вода од една изданска зона

Филтерскиот дел се проектира да биде од перфорирани цевки со одредена порозност која е доволна да ја прими водата од изданската зона. Дијаметарот на перфорациите на филтерот се избира по т.н. филтерски правила. За таа цел треба да се познава гранулометрискиот состав на хидроколекторскиот слој, врз основа на што се проектира составот на т.н. **засип** околу цевката (Сликата 8.48).



Слика 8.48 Избор на гранулација на филтерски засип (3) врз основа на криви на гранулометриски состав на хидроколекторската средина (криви 1 и 2)

Најчесто, за проектирање на засипот се користат критериумите на Терцаги претставени преку следниот услов:

$$4d_{15} \leq D_{15} \leq 4d_{85}$$

Каде што е: d - дијаметар на зрната од хидроколекторот (криви 1 и 2);

D - дијаметар на зрната на филтерскиот засип од чакал (крива 3).

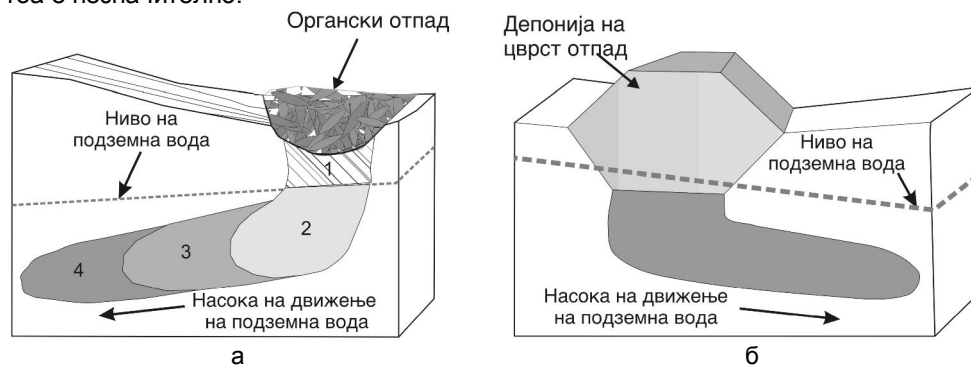
Треба да се истакне дека правилно избраниот филтерски материјал околу конструкцијата на бунарот е еден од најзначајните услови за нивно долготрајно користење.

ОПШТИ ПОИМИ ЗА ЗАГАДУВАЊЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ

Подземните води можат да се загадат со **органски и неоргански** материи од растително и од животинско потекло. Неорганските материи можат да дојдат во подземје со растварањето на минералните соли при движењето на амбулантните и изданските води низ порните агрегати на колекторите или како резултат на инфилтрација на индустриските и отпадните води во подземјето.

Органските материи ги има скоро секаде на површината на теренот и потекнуваат од гниењето на лисјата, тревата и другите делови на растенијата, органски материи од животински трупови, органски остатоци од септичките јами, депонии на цврст отпад и други загадувачи (Слика 8.49).

На Сликата 8.49а е прикажан случај на движење на контаминираната материја кога органскиот отпад е над ниво на подземна вода. Зоната 1 над нивото на изданот се карактеризира со **дифузија** на загадената маса со различни концентрации со правец вертикално надолу. Зоните 2, 3 и 4 се зони каде преносот на загадената маса се врши со процес на **адвекција** во насока на движењето на подземните води. При тоа се создава т.н **плима на загадување**, каде што можат да се издвојат неколку подзони со различни концентрации на загадената маса. На слика 8.49б е прикажан случај на загадување од депонија на цврст отпад. Нејзиното дно е под нивото на подземната вода, при што загадувачот кој се нарекува **исцедок** или **филтрат** од депонираниот отпад се влива директно во подземните води. Од сликите е очигледно дека плимата на загадувањето се пренесува само во насока на движењето на тие води, а во спротивните насоки тоа е незначително.



Слика 8.49 Приказ на развој на плима на загадување на подземни води кај загадувачи од органски остатоци и со т.н. филтрат кај депонии за цврст отпад

Загадување на подземните води може да се случи и кај лошо изведени или оштетени инсталации кај индустриските постројки, бензиски пумпи и други инсталации (Слика 8.50).

Посебно е опасно кога загадувањето се врши со материи од животинско потекло, бидејќи таквите води се носители на бактерии на многу заразни болести како: дифтерија, дизентерија, жолтица, колера и друго.

Загадените подземни води можат природно да се пречистуваат проаѓајќи низ финопорозни карпести средини. Како најдобри природни филтри се сметаат чистите мрсни глини низ кои движењето е многу бавно. Ваквите глинести слоеви

можат целосно да ги пречистат бактериолошки загадените води кога имаат дебелина од само дваесетина см. Како добри филтри се сметаат и останатите видови глини и прашинестите седименти, но за целосно пречистување на водите е потребна поголема дебелина на слоевите. Некои посни глини и лесот претставуваат безбедни филтри во слој со дебелина од 1 до 4 m. Кај песоците и чакалите, искуствата покажуваат дека за прочистување на загадените подземни води е потребно водата да помине хоризонтално растојание од најмалку 50 m' или најмалку 5 m' вертикално. Најслаби филтерски својства имаат карстифицираните карпи каде загадената вода може да помине и десетина km, а да не се пречисти.



Слика 8.50 Приказ на загадување на подземни води од оштетен резервоар за бензин (1) со зона на истекување (2) и формирање на концентрација на гасови на подземната вода (4) и испарувања од гасовите во надизданската зона (3)

Загадувањето на изданот може да се појави во рамките на целата нејзина собирна површина, само околу изворот, или околу водособирните објекти. Затоа, поради нивна заштита се определуваат различни заштитни зони како: **потесен заштитен појас** каде што постои голема веројатност за загадување околу изворот, бунарот или некоја дупнатица и **поширок заштитен појас**, кој се однесува на поголема површина, која понекогаш може да се однесува и на целото сливно подрачје на некоја позначајна издан. Во практиката, за заштита на изданските води постојат технички и законски регулативи, кои се сеопфатни и ригорозни поради големото значење на водата како природен ресурс. Треба да се спомене дека доколку се појави потреба, контаминираната подземна вода може вештачки се прочистува со различни постапки.

ОСНОВНИ НАЧИНИ НА ТРАНСПОРТ НА ЗАГАДУВАЧИ НИЗ ПОРОЗНА СРЕДИНА

Транспортот на растворените компоненти низ почвата и подземните води се одвива на различен начин низ заситена и незаситена почвена маса. Постојат два главни начини на придвижување на растворените материји и тоа: транспорт со процес на **дифузија** и транспорт со процес на **адвекција** или **конвекција**. Процесот на дифузија се карактеризира со движење на растворените честички од места со поголема кон места со помала концентрација, а движењето е резултат на разлика на концентрациите. Кај заситените почви, преносот на загадената маса се дефинира со прв **Фиков** закон дефиниран преку т.н. **флуks на растворените компоненти** изразени за единица површина во единица време со следната основна равенка:

$$F = -D_d \left(\frac{dC}{dX} \right)$$

Каде што е: F - флуks на растворената материја;
 D_d - коефициент на дифузија;
 C - концентрација на растворената материја;
 dC/dX - градиент на концентрација.

Транспортот со адвекција всушност е директен транспорт на загадувачот со подземните води и е дефиниран со следната основна формула:

$$F = v * n * C$$

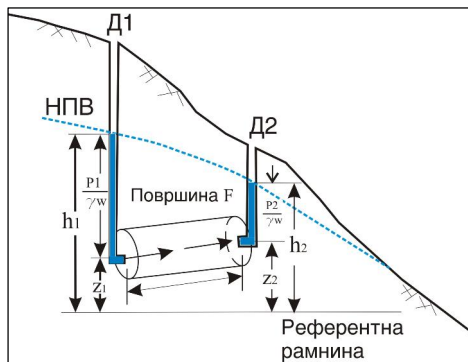
Каде што е: v - средна брзина на движење на подземна вода;
 C - концентрација на растворената материја;
 n - ефективна порозност на хидрогеолошкиот колектор.

Очигледно е дека при транспорт со адвекција, флуksот на растворената материја директно зависи од големината на коефициентот на филтрација и ефективната порозност на средината.

Во практиката, за решавање на овој проблем се користат голем број софверски пакети, каде што е можно да се анализираат комплицирани случаи на транспорт на различни видови органски и неоргански загадувачи. Во секој случај, за да се утврдат методите и средствата за заштита на подземните води, потребна е комплексна анализа на хидрогеолошките услови, локацијата на потенцијалните загадувачи, детаљно познавање на геологијата и хидрологијата на регионот, причините и условите за загадување и др.

НАЧИНИ НА ХИДРОСТАТИЧКО И ХИДРОДИНАМИЧКО ВЛИЈАНИЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ

За дефинирање на стабилноста на теренот, условите за експлоатација на хидротехничките објекти, можностите за развој на современите геолошки процеси и други инженерски анализи е многу значајно да се дефинира полето на притисоци, кое се развива во теренот под влијание на подземните води. Генерално, под поимот **поле на притисок** се подразбира големината на притисокот од водата и насоката на нејзино дејство (Слика 8.51).



Слика 8.51 Приказ на поле на притисок во две дупнатини (D_1 и D_2), во однос на една референтна рамнина: h_1 и h_2 - големина на притисок од вода во точка 1 и 2; z_1 и z_2 - геодетска висина во однос на референтна рамнина во двете точки; P/γ_w - притисок од вода или порен притисок во конкретна точка

Од сликата е очигледно дека притисокот може да се дефинира како збир на пиезометарската висина на водата и геодетската висина дефинирана со следната основна формула:

$$h = \frac{u}{\rho g} + Z + c$$

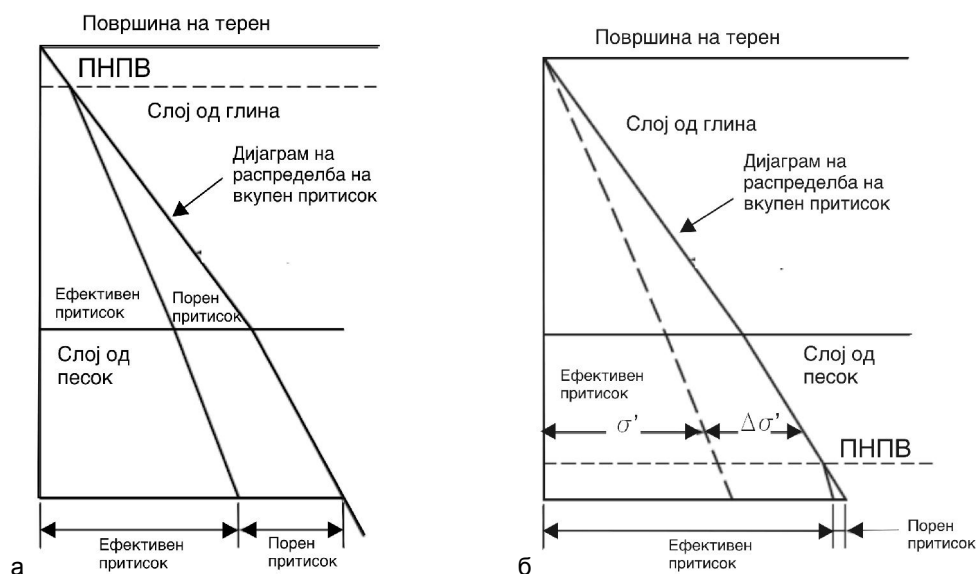
Каде што е: H - пиезометарски притисок;
 u - притисок на порна вода (порен притисок) $= P/\gamma_w$;
 ρ - густина; g - земјино забрзување;
 $(\rho g = \gamma_w)$ -волуменска тежина на водата;
 Z - геодетска висина;
 c - константа.

Во принцип, за механичкото однесување на почвите, многу е значајно влијанието на т.н **ефективен** напон во конкретна точка (Слика 8.52).

Ефективниот напон според Терцаги се дефинира како:

$$\sigma' = (\sigma - u)$$

Каде што е: σ' - ефективен напон;
 u - притисок од вода во порите на почвата;
 σ - вкупен или тотален напон.



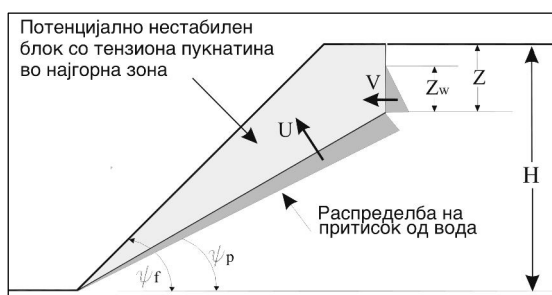
Слика 8.52 Илустрација на зголемување на ефективниот напон при снижување на нивото на подземна вода: а - пиезометарско ниво на подземна вода во слој од глина, б - снижување на нивото до подински слој од песок

Брзите промени во полето на притисок на подземните води се причина за различни инженерскогеолошки процеси и појави, што е објаснето во Главата 10. Пропратен ефект од снижување на нивото и зголемување на ефективниот напон е слегнување на површина на теренот. Треба да се спомене и значењето на хидростатичко и хидродинамичкото дејство на подземна вода при фундарање на брани врз водопрпустна подлога (Слика 8.53). При филтрацијата под тело на браната, се формира струјно поле и струјни линии на подземната вода, додека попречно на нив се создаваат филтрациони линии на ист притисок или **еквипотенцијални** линии.

Хидростатичко дејство на подземни води е многу значајно и за стабилноста на косините во цврсти карпести маси (Слика 8.54).



Слика 8.53 Приказ на хидродинамичко поле при филтрација на подземна вода под темел на брана:
1 - водонепропустен слој,
2 - водопрпустен слој,
3 - инјекциона завеса



Слика 8.54 Приказ на хидростатички притисок од вода нормално на тензиона пукнатина во врв на косина (Z_w) и притисок од вода на коса пукнатина (U)

Од условите за филтрација, се анализира можноста за достигнување на **критичните вредности** на брзината и хидрауличните градиенти од кои зависи филтрационата стабилност на подлогата, можноста за појава на т.н. **суфозија** и развој на други **современи геолошки и инженерскогеолошки процеси** и појави (Глава 9).

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Како се вика науката што ги изучува подземните води?
- Кој дел од таа наука ги проучува практичните аспекти на состојбата на подземните води?
- Објасни што се подразбира под поимот подземни води?
- Кои се основните елементи на билансот на подземните води?
- Дефинирај што се подразбира под термините хидрогеолошки изолатор, колектор и комплекс?
- Што е издан и кои видови на издани постојат?
- Која е основна разлика меѓу издан со слободно ниво и издан под притисок?
- Што е извор, пиштевина, изданско око и бара?
- Кои видови на извори постојат? Дефинирај го терминот издашност.
- Кои подземни води се агресивни кон градежните материјали?
- Кој е основниот закон за движење на подземни води и со кои основни параметри се дефинира?
- Кои хидрогеолошки параметри покрај коефициентот на филтрација се најзначајни за инженерските пресметки?
- Како може да се дефинира радиусот на влијание, што подразбираш под поимот водособиен објект и што е дотек на подземна вода?
- Што се динамички, а што статички резерви на подземни води?
- Кои се основни елементи на еден бунар?
- Што е издашност на изданскиот тек и со кои параметри може да се дефинира?
- Кои се основните начини на дејство на подземните води од механички аспект и што се подразбира под термините ефикасен напон и порен притисок?

9 СОВРЕМЕНИ ГЕОЛОШКИ ПРОЦЕСИ И ПОЈАВИ

ВОВЕД

Влијанијата од атмосферата, хидросферата и биосферата врз карпестите маси се нарекуваат **егзогени** или **надворешни** влијанија. Тие предизвикуваат промени во карпите до степен на целосна измена во нивните својства и состојби, а бидејќи настануваат и во денешно време се нарекуваат **современи геолошки процеси**.

Појавите што се предизвикани со нивното дејство се нарекуваат **современи геолошки појави** и тие имаат голем удел во формирањето на современиот релјеф на теренот. Во склоп на општата геологија, нив ги проучува **егзодинамиката**, а во инженерската геологија **инженерската геодинамика**.

Слични процеси и појави може да се појават и како резултат на работењето на човекот при изведба на инженерските интервенции и работи, кога се нарекуваат **инженерскогеолошки процеси и појави**.

Современите процеси може да настанат или да се забрзаат и поради дејство на ендегените сили како: неотектонските движења, земјотресите, геотермалните појави и друго.

Тие се најизразени во горните зони од Земјината кора, односно во зоната на интеракција со вештачките објекти. Затоа, една од основните задачи на инженерската геологија е проучување и проценка на влијанијата на овие процеси врз условите за изведба и експлоатација на објектите. При тоа, се тежнее карактеристиките на современите процеси да се изразат на **квантитативен** начин, којшто е погоден за инженерски пресметки и анализи, за разлика од **квалитативното** опишување кое се среќава во општата геологија.

Постојат поголем број современи процеси од кои најзначајни се: **површинско распаѓање, ерозија, абразија, свлекување, осипување, одронување, течење, суфозија** и други. Значајно е да се спомене дека тие често се појавуваат заеднички и меѓусебно се надоврзуваат, така што се чести премини од еден кон друг процес.

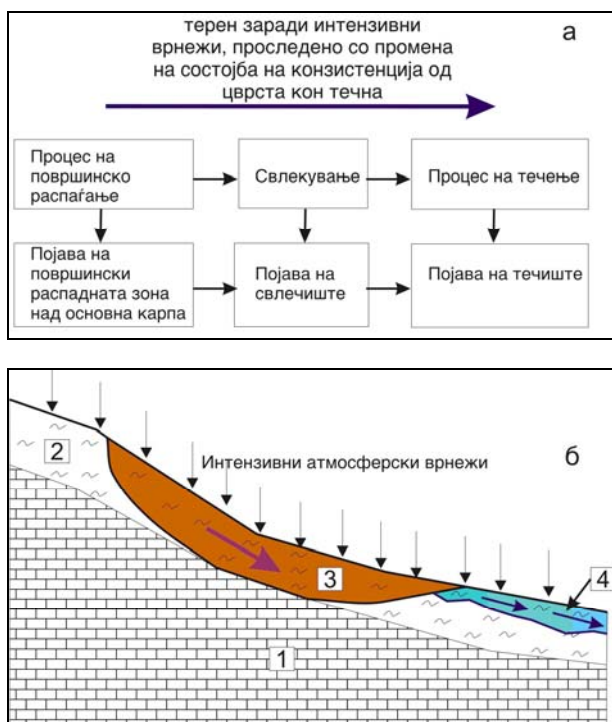
На пример, на Сликата 9.1 е прикажан последователен развој на различни современи геолошки процеси, кои започнуваат со распаѓање на основната карпа - варовник, која заради подолготрајно дејство на надорешните фактори се распаѓа до степен на глина-црвеница.

При интензивни врнежи, со знатно заситување на глиновитата маса, може да дојде до лизгање (свлекување) врз стабилна основа и појава на свлечиште.

Процесот на свлекување, при натамошно максимално водозаситување на горната зона на глината и при достигнување на вредност на влажноста до граница на течење, може да доведе до протекување на глиновитата маса, односно формирање на течиште.

Во природата често меѓусебно се условени процесите на абразија и одронување, речна ерозија и свлекување и друго.

При појави на вулканизам и земјотреси кога може да се реактивираат старите и да се појават нови свлечишта, нови одрони, ликвидација и слично.



Слика 9.1 Илустрација на преминување од еден современ процес кон друг како резултат на надворешните влијанија: а - текстуален опис; б - графички приказ;

1 - основна цврста карпа варовник; 2 - формирање на трошен покривач од глина - црвеница како резултат на физичко-хемиско распаѓање на основната карпа; 3 - формирање на свлечиште на падински дел; 4 - формирање на течиште во зона на максимална заситеност со влага

Произлегува дека при анализа на инженерските проблеми, секогаш треба да се земат предвид различни можни влијанија. Комбинираната примена на различни постапки за истражување, испитување, набљудување и анализа, се основа за проектирање на заштитните мерки против штетното влијание на современите процеси и појави. При тоа, посебно внимание се посветува на причините за нивна појава и развој, измените со текот на времето, квантитативна оцена на манифестацијата на процесот, можните ефекти врз објектите, околната природна средина и друго.

РАСПАЃАЊЕ НА КАРПИТЕ

Процесите на измена на примарните својства кај карпите се нарекуваат со едно општо име како **процеси на алтерација**. Всушност, се работи за измени под дејство на **хидротермални** фактори, кои предизвикуваат: силификација, пиритизација, каолинизација, серицитизација, хлоритизација, пропилитизација и други измени кај карпите. Сите видови хидротермални измени се изразуваат како промени на минералниот состав на карпата, така што од еден примарен, настанува некој секундарен минерал. Во одредени случаи, со силикатизација може да има појава на подобрување, но најчесто се појавува влошување на примарните својства на карпите, како што се случаите на каолинизација, серицитизација, хлоритизација и пропилитизација.

Сепак, најчест вид на измена на карпестите маси е нивното **површинско распаѓање**. Процесот е присутен во сите видови карпи на Земјината површина, кои биле изложени на разорното дејство од атмосферата, хидросферата или биосферата, односно дејството на водата, мразот, ветерот, температурните осцилации, сончевата топлина, воздухот, органскиот свет и животните. Понекогаш,

распаѓањето е резултат и на **антропогени влијанија** предизвикани од човекот при различните инженерски работи.

Водата како универзален растворувач има најголема улога при деградација на карпите. Таа механички ги разрушува карпите, а со влажнењето ги омекнува, со што се олеснува нивното распаѓање. При **мрзнењето** на водата во порите и пукнатините, доаѓа до значајно разрушување на карпите. Ова е резултат на зголемувањето на волуменот на водата при мрзнење, кога се појавуваат големи притисоци во пукнатините и во порите на карпите, кои, поради ширење на мразот, можат да достигнат и до $P=200$ МПа. Со оглед дека најголем дел од карпите имаат помала јакост на притисок од $\sigma_p=200$ МПа, тие не можат да ги издржат ваквите притисоци и пукаат. Ова разрушување е проследено со проширување на постоечките и појава на нови пукнатини и прснатини. Така, каменитите карпи се дробат и ситнат, додека слабоврзаните карпи се трошат.

Големо разорно дејство имаат **дневните и сезонските температурни промени**, бидејќи при загревање и ладење, се предизвикува постојано наизменично ширење и собирање на минералите. Поради тоа се јавуваат внатрешни напони во карпите. Различни минерали различно се шират и собираат, така што постепено доаѓа до „замор“ на карпата, а со текот на времето и до нејзина механичка дезинтеграција. Оваа деградација се изразува низ отпаѓање и ронење на зрната по површината на карпата.

Човекот со својата дејност изразена со орање, копање и изведување на разновидни површински и подземни работи има влијание врз физичко-хемиското распаѓање на карпите. На пример, при ископот за изведба на градежните и на рударските објекти, се отстранува веќе формираниот површински покривач и карпестите маси повторно се изложуваат на директно дејство на егзогените влијанија.

Најчесто сите процеси на распаѓање меѓусебно се надоврзуваат и надополнуваат, односно станува збор за комбинирано **физичко-хемиско распаѓање**, на кое во приповршински делови му се придружува **биохемиското распаѓање**.

Распаѓањето во крајна линија доведува до измена на првобитната монолитна, компактна и свежа карпа. Во прва фаза, доаѓа до пукање, дробење и ситнење без хемиски промени во карпата што се нарекува **физичко (механичко) распаѓање**. Понатаму, обично следи **хемиското распаѓање** до степен на целосна деградација на карпестите маси. Тоа се случува под дејство на хемиските процеси на разложување со хидратација, оксидација, хидролиза и друго. Хемиското распаѓање е олеснето со дејството на водата, посебно кога во неа има растворени киселини, соли, активни гасови како кислород (O), јаглероддиоксид (CO₂) и други, или пак слободни јони како: водород (H), хидроксид (OH) и други. При хемиското распаѓање се врши разложување на минералните состојки на карпите, при што се оформуваат нови или **секундарни минерали**. **Биохемиското распаѓање** се јавува како резултат на дејство на микроорганизмите и растенијата во горните делови од Земјината кора. Тоа се одвива преку впивање и излучување на одредени супстанции или пак со физичкото дејство на коренот при неговото пробивање низ карпите. Биохемиското распаѓање може да биде резултат и на влијание на некои морски животинки како школки, полжави и друго.

Како резултат на подолготрајното дејство на надворешните влијанија, во најгорната зона на теренот се формираат различни педолошки видови на земјиштата (обработливи земјоделски површини), додека во длабина на земјата се задржува примарната градба на карпите. При тоа, можат да се издвојат неколку зони на распаѓање (Слика 9.2).



Слика 9.2 1 - Формирање на трошен покривач од обработлива земја при процес на физичко-хемиско распаѓање, 2 - основна карпа (преземено од М. Јањиќ, 1982)

При целосен развој на процесот на распаѓањето на карпестите маси, во теренот се оформуваат неколку основни зони. На пример, Г. С. Золотарев, врши поделба на **дисперзна**, **блоковска** и **пукнатинска зона** (Слика 9.3).

Име на зона	Принципиелен пресек
<p>I : Дисперзна зона</p> <p>Целосна хемиска преобразба на основната карпа</p>	
<p>II : Блоковска зона</p> <p>Превладува физичка преобразба и делумна хемиска измена на основната карпа (можно е постоење на различни подзони А,Б,В,Г со различен степен на изменетост)</p>	
<p>III : Пукнатинска зона</p> <p>Изделеност на масивот и измени по должина на поголеми пукнатини (Б) и тектонски зони (В)</p>	

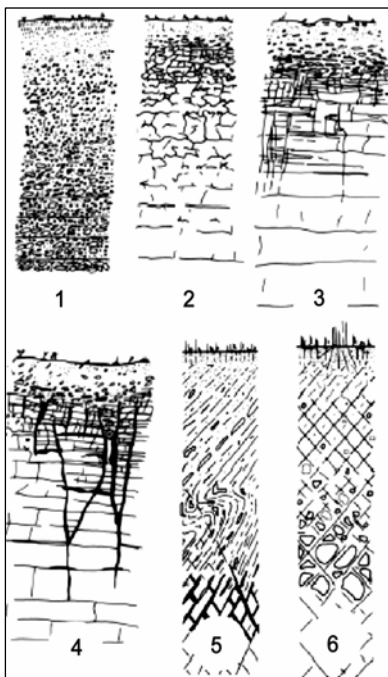
Слика 9.3 Шематски приказ на кората на распаѓање, Г. С. Золотарев ,1971

Кај некои автори може да се сретне и поделба на: **површинска**, **дробинска**, **блоковска** и **монолитна зона**, што укажува дека се можни различни варијации и преоди меѓу наведените зони. За секоја од нив најзначајни се следните основни карактеристики:

- Површинската или дисперзната зона се карактеризира со целосна физичко-хемиска деградација на основната карпа, која е претворена во песокиливо глинеста мешавина (хумус, обработливо земјиште);
- Дробинската зона се карактеризира со многу испукана до здробена карпа и хемиски измени на минералите, каде што големината на зрната од основната карпа имаат дециметарски до сантиметарски димензии;

- Зоната на блокови се карактеризира со испуканост во блокови со метарски до дециметарски големини, каде што има ретки и незначителни хемиските промени само по должина на одделните пукнатини;
- Монолитната зона се карактеризира само со одделни пукнатини без било какви хемиски промени, каде карпата е во свежа состојба.

Длабината на изменетоста многу зависи од видот на карпестите маси и начинот на нивната испуканост (Слика 9.4).



Слика 9.4 Шематски приказ на кори на распаѓање кај карпести маси со различен литолошки состав: 1 - конгломерат; 2 - доломит; 3 - варовник со застапено физичко распаѓање; 4 - варовник со застапено хемиско распаѓање и понагласено линиско распаѓање во должина на поголеми пукнатини; 5 - шкрилести и флишоидни карпи; 6 - магматски карпи.

Треба да се нагласи дека со физичко-хемиското распаѓање на карпите е зафатена релативно тенка зона од Земјината кора чија дебелината најчесто

изнесува од неколку дециметри до неколку метри. Поретко, таа може да достигне дебелини и преку 20 m', што е поврзано за тропските краеве. По правило, во геолошки постарите терени се очекува да постои подебела зона на површинско распаѓање.

Распаѓањето најинтензивно се манифестира кога карпестите маси се непосредно изложени на дејство на надворешните фактори кај терени без вегетационен покривач. Кај кластичните карпи како конгломератите превладува механичкото, додека кај варовниците превладува хемиското распаѓање. Поради различните надворешни и внатрешни влијанија, посебно дејството на ерозијата, во природа на отворените профили не се застапени секогаш сите прикажани зони. Понекогаш измените може да се изразени и **линиски** во должина на поголемите пукнатини и раседни структури.

КВАЛИТАТИВНИ И КВАНТИТАТИВНИ МЕТОДИ ЗА ОПИШУВАЊЕ НА СОСТОЈБАТА НА РАСПАДНАТОСТ

Дефинирањето на состојбата на распаднатоста има големо практично значење при изборот на техничките решенија за фундаирање на објектите. На пример, големите капитални објекти треба да се фундаираат во блоковската или монолитната зона, додека зградите, патиштата, железниците и насипите можат

да се фундаираат во површинската или дробинската зона. За овие намени се користи постапка на инженерскогеолошко зонирање на теренот по параметар на распаднаост. Најчесто во практиката се користи поделба во 6 класи, користејќи ја класификацијата на Дирман (Табела 9.1).

Табела 9.1 Класификација на карпите по степен на распаднаост

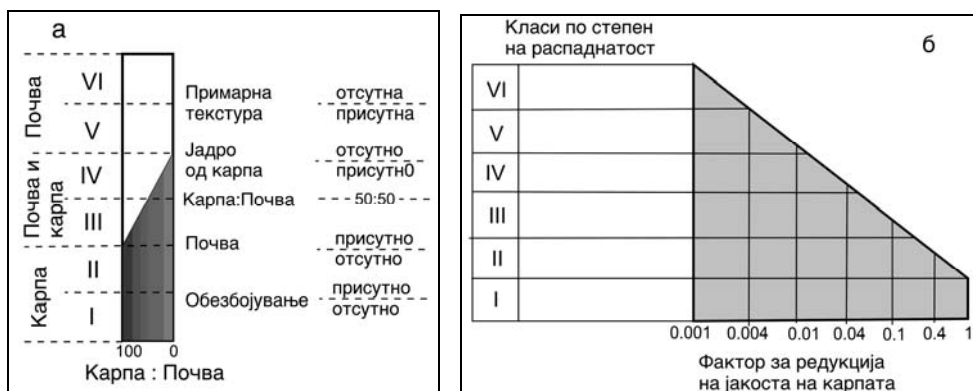
Класа	Термин за опис	Детален опис на класата
I	свежа карпа	Нема видливи знаци на измени на карпестиот материјал, единствено се можни сосема слаби измени на бојата во должина на пукнатините.
II	слабо изменета карпа	Измена на бојата укажува на измена на карпестиот материјал и пукнатинските површини. Цел карпест материјал може да покажува помала јакост во споредба со свежата состојба.
III	средно изменета карпа	Помалку од половина материјал може да биде деградиран или изменет до степен на почва.
IV	високо изменета карпа	Повеќе од половина на карпестата маса е изменета до степен на почва. Свежи или изменетите делови можат да бидат забележани како на отворен изданок, така и на јадрата кај истражните дупнатини.
V	комплетно распадна карпа	Цел карпест материјал е изменет или дезинтегриран до степен на почва, но сè уште се забележува основната структура на масата.
VI	резидуална почва	Цел материјал е претворен во почва, оригиналната структура и текстура на масата се изгубени, има значајни измени во целиот волумен, но почвата не претпрела поголем транспорт.

Класификацијата првобитно е разработена за гранитоидни карпи, но со мали модификации може да се користи и за сите други карпи. Нејзините начела се прифатени и од комисијата за стандардизација на Меѓународното друштво за инженерска геологија (International Association for Engineering Geology - IAEG). Некои автори направиле обид за дефинирање на влијанието на распаднаоста врз некои физички и механички својства (Слика 9.5).

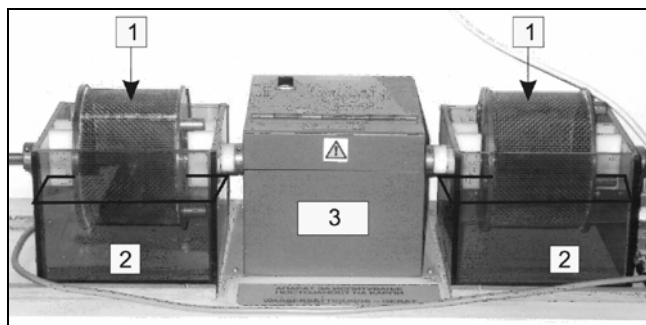
Отпорноста кон распаѓање може да се дефинира квантитативно со тест за дефинирање на **трајноста на карпите** (анг. **slake durability test**). За испитување се применува посебна апаратура (Слика 9.6).

Опитот се состои од ставање на десет парчиња на карпа во барабаните на апаратурата. Вкупната тежина на секое одделно парче е по околу 40 грама. Претходно парчињата од карпата треба да се исушени, по што се мери нивната тежина заедно со барабаните. Барабаните, заедно со материјалот се ставаат во садовите, кои до половина се полни со вода, и се започнува со нивно ротирање во период од 10 минути. Брзина на ротација е 20 вртења/мин. Со оглед дека цилиндричните барабани се состојат од мрежа со отвори 2 mm, низ нив поминуваат отпаднатите парчиња од карпа и се таложат во пластичните садови. По завршување на опитот, преостанатиот материјал заедно со барабанот се суши и повторно се мери неговата тежина.

Како мерка за дефинирање на отпорноста на распаѓање се користи **индексот на отпорност на карпата кон распаѓање** (анг. **slake durability index**). Се добива со едноставно делење на заостанатата тежина на материјалот, споредена со првобитната, при што се издвојуваат неколку класи (Табела 9.2).



Слика 9.5 а - Шематски приказ на класите на распадатост по Дирман; б - приказ на влијание на распадатоста врз јакоста на карпата по Стејси и Пејџ, 1986



Слика 9.6 Апаратура за испитување на склоност на карпите кон распаѓање под дејство на вода: 1 - барабани за ставање материјал што се испитува, 2 - сад што се полни со вода до одредено ниво, 3 - електромотор

Табела 9.2 Класификација на материјалите според индекс на отпорност на карпата кон распаѓање

Класа	Опис	Вредност на индексот
I	многу ниска отпорност	< 25 %
II	ниска	25-50%
III	средна	50-75%
IV	висока	75-90%
V	многу висока	90-95%
VI	екстремно висока	> 95%

Тејлор предложил поделба на карпите, заснована на комбинирање на јакоста на притисок и трајноста после троен циклус на испитување во споменатата апаратура. Според него, карпите што достигнуваат јакост поголема од $\sigma_p=3,6$ МПа и имаат индекс на отпорност над 60% се сметаат како отпорни кон распаѓање.

Треба да се спомене, дека овој тест е погоден за испитување на материјали кои се чувствителни на дејство на влага како: вулкански туфови, лапорци, некои

нискометморфни шкрилци, јаглен и слично, додека за цврсти магматски, седиментни или метаморфни карпи опитот не е многу меродавен.

Состојбата на распаднатост често се дефинира и со релативна споредба на мерени податоци за избрани својства на карпата. Мерењата се вршат на свежите и изменетите примероци и се споредуваат резултатите за различни зони од иста карпа. Г. С. Золотарев предлага за вакви намени да се користи **степенот на распаднатост**, кој се пресметува со следната равенка:

$$V_r = \frac{G_h - G_o}{G_h - G_a}$$

Каде што е: V_r - степен на распаднатост;

G_h - големина на параметар за свежа карпа;

G_o - големина на параметар за зона од карпата каде се оценува степенот на распаднатост;

G_a - големина на параметар за целосно распадната карпа.

Параметрите за споредба може да бидат јакоста на притисок, порозноста, волуменската тежина и други. Користејќи го овој критериум, се разликуваат следните категории:

- многу распаднати карпи, $V_r = 0.9 - 1$;
- распаднати карпи, $V_r = 0.7 - 0.9$;
- средно распаднати, $V_r = 0.3 - 0.7$;
- слабо распаднати, $V_r = 0 - 0.3$.

Илиев, пак, како мерка за дефинирање на распаднатоста, предлага да се користи **коэффициентот на распаднатост**, дефиниран со следната равенка:

$$K = \frac{V_u - V_m}{V_u}$$

Каде што е: V_u - брзини на еластични бранови мерени на свеж примерок;

V_m - брзини на еластични бранови мерени на распаднат примерок.

Во практиката многу се користи и класификациониот систем за дефинирање на трајноста на карпите (анг. Geodurability system) според Оливије. Во овој систем всушност се прави комбинација на јакоста на карпите со **коэффициентот на слободно бабрење** (Слика 9.7).

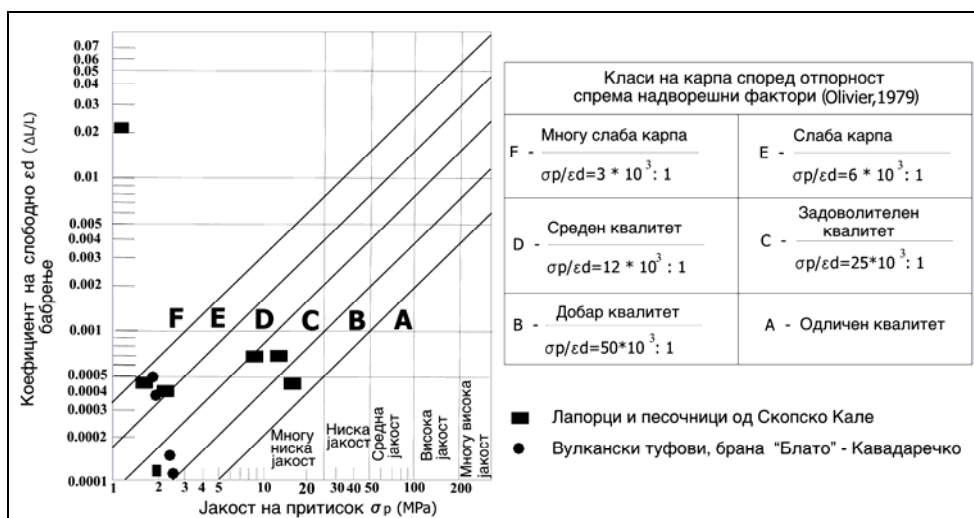
Коефициентот на слободно бабрење (ε_d) се дефинира како промена на должина на примерок на карпата при примање на влага:

$$\varepsilon_d = DL/L$$

Каде што е: DL - промена на должина на примерокот по примање влага;

L - првобитна должина на примерокот.

Врз основа на ваквите анализи и испитувања на степенот на распаднатост, крајна цел е да се дефинира модел на теренот кај секој конкретен инженерски објект, со издвоени зони по параметар на распаднатост. Овој модел би бил основа за избор на најповолна зона за фундаирање.



Слика 9.7 Класификација на Оливије илустрирана со резултати од испитување за неогени седименти од Скопско Кале и вулкански туфови од брана „Блато“ - Кавадаречко

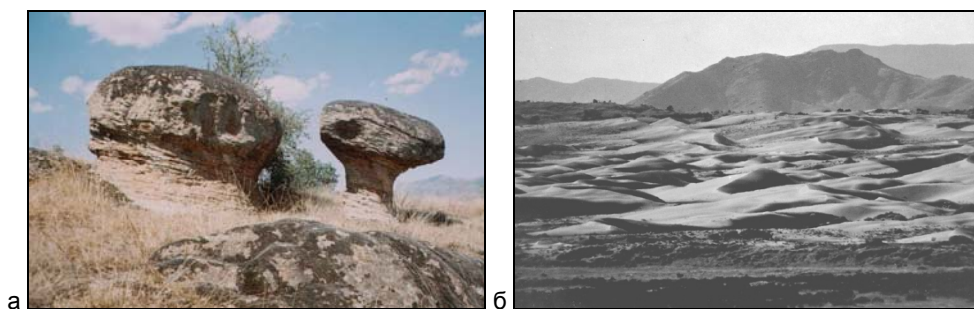
ЕРОЗИЈА

Ерозијата е специфичен процес, кој доведува до целосна деградација на делови од теренот, при што продуктите на распаѓање постојано се плакнат и се разносуваат низ просторот. Зависно од геолошките фактори кои дејствуваат врз карпите и го транспортираат еродираниот материјал, разликуваме: **еолска, речна, ледничка (глечерска) и карстна ерозија.**

ГЕОЛОШКА АКТИВНОСТ НА ВЕТРОТ

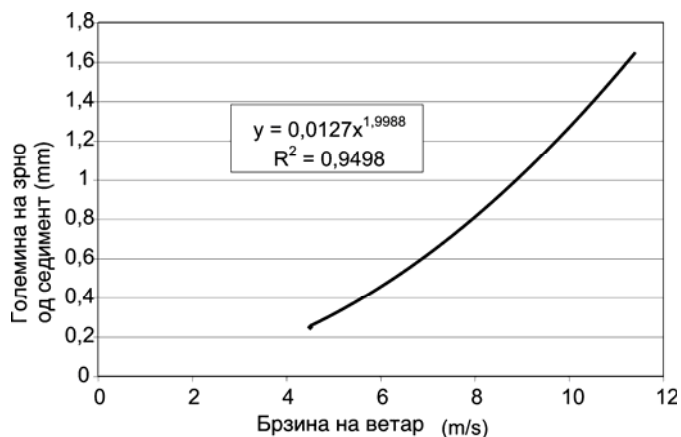
Геолошките процеси поврзани со активноста на ветрот се познати како **еолски** процеси, кои ја предизвикуваат **еолската ерозија**. Именувањето доаѓа од името на богот на ветрот од старогрчката митологија - **Еол**. Формите на релјефот или наслагите настанати од дејноста на ветрот се наречени **еолски форми**. Дејството на ветрот е поинтензивно изразено во пустините и полупустините, подрачјата со сува клима, зони со изразени деноноќни варијации на температурата, мали атмосферски врнежи, големо испарување и честа манифестација на силни ветрови. Активноста на ветрот е значајна и кај крајбрежните делови на: морињата, езерата, реките, како и високите планински терени, каде што растителниот свет е редок и теренот е откриен. Еолската ерозија се врши преку директен контакт на воздушните струи со растреситите материјали, раздробените или слабо врзани седименти или пак како резултат на удирање на честиците што ги носи ветрот врз карпите, кои стрчат над површината. Првиот тип на еолска ерозија е познат како **дефлација**, а вториот како **корација** (Слика 9.8).

Транспортната моќ на ветрот зависи од неговата брзина и степенот на турбулентност. Послабите ветрови пренесуваат само ситни прашиности честици кои лебдат во воздух во вид на прашиности бури, додека посилените воздушни струења можат да пренесуваат песок од едно на друго место по својот правец на дување.

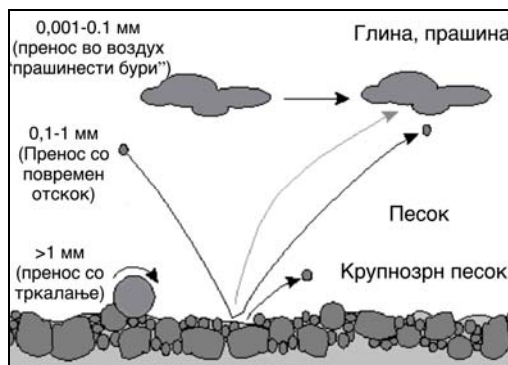


Слика 9.8 а - Оформени столбови и печурки со корозија во гнајсеви во Мариово во близина на Прилеп (фото Бл. Маркоски), б - формирање на еолски форми поради дефлација на пескливи наслаги во пустината Death Valley, Калифорнија

Силните ветрови со брзина од 20 m/s можат да преместуваат зрна со пречник поголем од 1,5 mm. Бурите и ураганските ветрови, ситниот песок го дигаат на височина до неколку стотици метри, а можат да тркалаат чакалести парчиња со дијаметар и до 7 cm (Слики 9.9 и 9.10).



Слика 9.9 Дијаграм за проценка на транспортна моќ на ветрот (дијаграм конструиран според податоци на Реитер и др., 1983)



Слика 9.10 Шематски приказ на можност за пренос на различни димензии на зрна со ветер (извор Wikipedia, the Free Encyclopedia)

По ерозијата и транспортот на распаднатиот материјал следи фазата на **еолска акумулација** при што се создаваат **еолските наслаги**, кои може да бидат со различен состав.

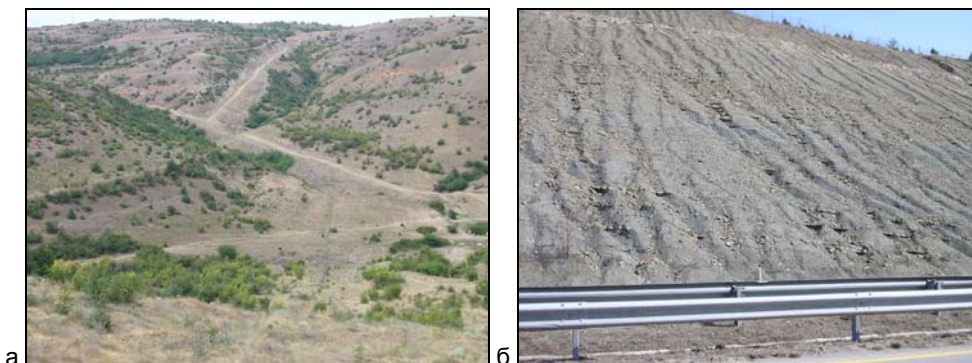
Еолските наслаги кои се настанати од прашињест материјал се викаат лес, а покрупните фракции се издвоени како еолски песоци. Под дејство на ветрот се создаваат различни акумулативни песокливи форми од кои поважни се: **дините, барханите, купчиња од песок и низови.**

ГЕОЛОШКА АКТИВНОСТ НА ПОВРШИНСКИТЕ ВОДИ

Површинските води се многу значаен фактор, бидејќи од нив се иницираат и забрзуваат, голем број други современи геолошки процеси. Под терминот **геолошка активност на површинските води** се подразбира склоп на меѓусебно условени процеси, кои имаат многу големо значење за формирањето на современиот релјеф, а често и пресудно влијаат врз однесување на инженерските конструкции.

ПОВРШИНСКА ЕРОЗИЈА

Разрушувањето на карпестите маси како резултат на влијанието на водените текови или при атмосферските врнежи се вика **површинска ерозија**. Движејќи се по падините, водата предизвикува ерозија на поголеми површини која се нарекува **планарна ерозија** (Слика 9.11).



Слика 9.11 Терени со изразена површинска ерозија: а - терен со ретка вегетација граден од прашињесто-песокливи плиоценски седименти во близина на село Тремник - Неготинско; б - косина изложена на денудација потенцирана со ископ на косини за автопат Неготино - Демир Капија

Со планарна ерозија, со текот на времето по падините се плакнат и се пренесуваат десетици тони почвен материјал. При тоа, главно се еродирана финозрнестиот прашињест и глињест материјал, додека покрупните фракции остануваат на самото место на падините. Процесот на оголување на падините со изветрување и изнесување на разрушениот материјал уште се нарекува и **денудација** (лат. denudatio-оголеност). Посебно е карактеристичен кај терени со слаба вегетација и кои се изградени од песокливо-прашињести седименти. Со инженерските активности може да биде уште понагласен, бидејќи со ископот се отстранува вегетациониот или хумусниот покривач.

Ерозијата на падините може да се врши и **линиски** во вид на **јаружање**. Тоа е процес на испирање на падините и косините со повремени млазеви на водотеците во одредени издолжени правци, кој посебно се манифестира со продлабочување и издолжување на јаругите. Најнискиот дел од потоците и јаругите, каде што престанува дејството на ерозијата се вика **базис на ерозијата**. Издолжувањето на поројниците оди спротивно на текот кон повисоките делови на теренот, односно **регресивно**. Како резултат на линиската ерозија на површината на теренот се оформуваат вдлабнатини со различна форма кои, се викаат **долови, вододерини и јаруги** (Слика 9.12).



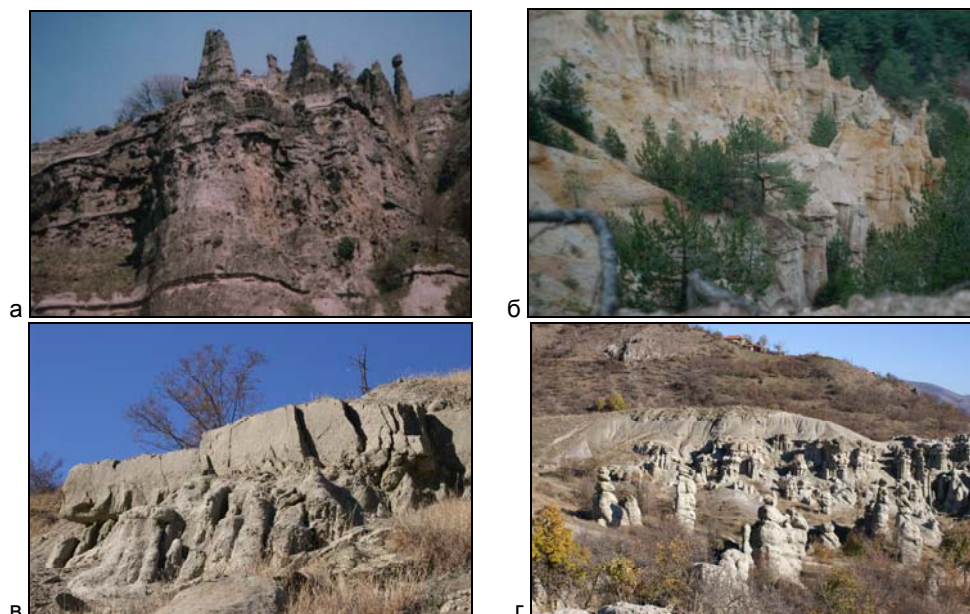
Слика 9.12 Примери на активна линиска ерозија: а - загрозен пат со регресивен развој на јаруга во близина на село Мамутчево - Велешко, б - јаружање во плиоценски седименти кај С. Сушица - Струмичко и в - во близина на с. Мамутчево

Кога јаружањето е изразено на поголеми простори и кога теренот е изложен на комбинирано дејство на површинските водотеци и еолска ерозија, се создаваат специфични ерозивни форми, наречени лоша земја или во оригинал од англиски јазик „**bad lands**”.

Земјиштето кај овие терени не е можно да се користи за никаква намена иако се карактеризира со живописни морфолошки форми кои се интересни од феноменолошки аспект. Специфичниот изглед на релјефот се должи на составот на карпите, каде што обично погорните слоеви се застапени поцврсти карпи, под кои лежат поеродибилни слоеви.

Кога над растреситиот слој се наоѓаат крупни карпести блокови, тие го штитат долниот слој од испирање. На тој начин се создаваат столбови, земјени игли и земјени пирамиди (Слика 9.13 и Слика 9.14).

Ерозијата е многу значаен фактор, кој може да ја поремети стабилноста на теренот и експлоатацијата на објектите. Затоа, изучувањето на ерозијата се смета за еден од најзначајните аспекти при изведба на линиските објекти како: гасоводи, нафтоводи, патишта, канали и слично.



Слика 9.13 а - Живописни форми во туфови во вид на столбови (куклици) како продукт на комбинираното дејство на површинската и ветровата ерозија од околината на Конопиште, Кавадарци (фото Бл. Маркоски); б - Истевник, Печчево; в и г - поглед кон локалитет Куклица-Кратовско (фото З. Илијовски)



Слика 9.14 а - Пирамиди, б - игли од локалитет Куклица - Кратовско (фото И. Пешевски)

Во денешно време се смета како еден од најопасните природни хазарди, заради процесот на **опустинување** на огромни предели. Затоа, во зоната на пресекот на објектите со ерозивните подрачја, е потребна изведба на соодветни антиерозивни системи за заштита.

Квантитативни начини за изразување на процесот на ерозија

Во современата инженерска практика, за проценка на еродибилноста и дефинирање на мерките за заштитата, најчесто се користи т.н. универзална

равенка за проценка на загуба на почвата (анг. Universal Soil Loss Equation). Со оваа метода, се овозможува проценка на годишната загуба на почвата, која се пресметува како производ од повеќе квантитативни фактори со примена на следната равенка:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Каде што е: A - загуба на почвата;
 R - фактор на врнежи;
 K - фактор на еродибилност на почвата;
 L - фактор на должина на косината;
 S - фактор на закосеност на косината;
 C - фактор на покривка;
 P - фактор на контрола на ерозија.

Со оглед што е развиена во Соединетите Американски Држави, загубата на почвата A во оригинал се пресметува во ton/acre/година. За конверзија во SI -единиците се користи следната равенка:

$$1 \text{ U.S. ton/acre/година} = 2,3 \text{ ton/ha/година}$$

Факторот на врнежи R понекогаш се нарекува и индекс на ерозија од врнежи. Преку него се опфаќа влијанието на кинетичката енергија на интензивните врнежи врз ерозијата на теренот. Јасно е дека загубите на почва се поголеми при поинтензивни врнежи. Наједноставна проценка на неговата големина се прави врз основа на просечната годишна сума на врнежи, со користење на следната равенка:

$$R = (916 + 331 * \log I / 100) * (I / 100)$$

Каде што е: I - максимален триесетминутен интензитет на врнежи во разгледуваното подрачје (во оригинална форма се изразува во inch/h, а за конверзија се користи однос inch/h = 25,4 mm/h).

Факторот на еродибилност K, зависи од физичките и од механичките својства на почвите. За прогноза на неговата вредност често се користи гранулометрискиот состав на материјалот претставен со триаголни дијаграми (Слика 9.15). Овој дијаграм се дополнува со податоците од Табелата 9.3.

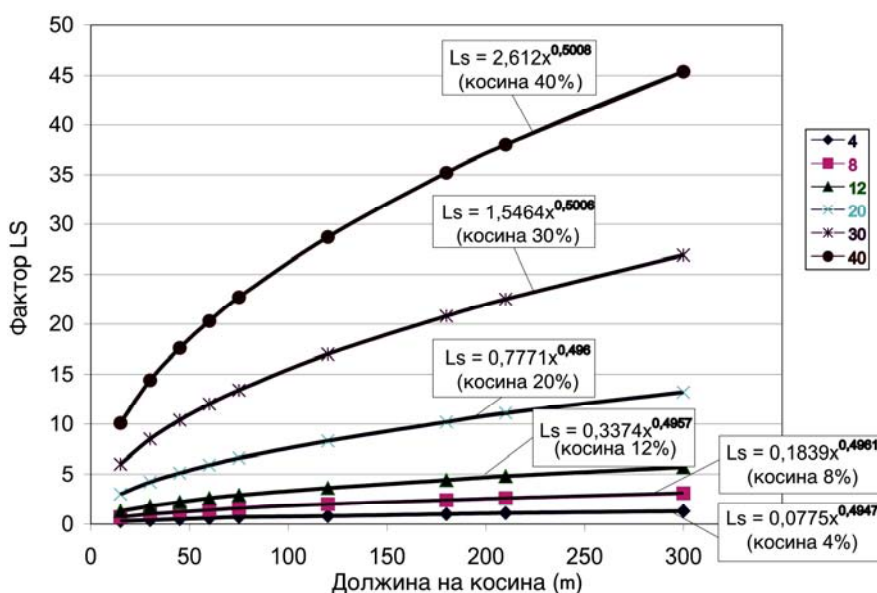


Слика 9.15 Триаголен дијаграм за проценка на тип на почва и проценка на коефициент на еродибилност K (види Табела 9.3)
 1 - глина; 2 - прашина; 3 - песок;
 4 - песоклива глина; 5 - прашињеста глина; 6 - прашињесто песоклива глина; 7 - песокливо прашињеста глина; 8 - глиновита прашина;
 9 - глиновито-прашињест песок;
 10 - прашињесто глиновит песок;
 11 - глиновито песоклива прашина;
 12 - слабо заглинет песок.

Табела 9.3 Вредности за факторот на еродибилност K, за некои поважни типови почви

Опис на состав и текстура на почвата	Вредност за K		
	Содржина на органски материи во %		
	< 0,5	2	4
песок	0,05	0,03	0,02
ситнозрн песок	0,16	0,14	0,10
финозрн песок	0,42	0,36	0,28
слабо заглинет песок	0,12	0,10	0,08
слабо заглинет ситнозрн песок	0,24	0,20	0,16
слабо заглинет финозрн песок	0,44	0,38	0,30
глиновит песок	0,38	0,34	0,29
прашина	0,60	0,52	0,42
глиновита прашина	0,48	0,42	0,33
глиновито-песоклива прашина	0,27	0,24	0,19
песоклива глина	0,14	0,13	0,12
прашинеста глина	0,25	0,23	0,19
глина	0,13-0,29		

Факторот на должина L и на закосеност S, ги дефинираат геометриските елементи на косината. Од должината и аголот на косината многу зависи брзината на истекување на водата по нејзината површина, што резултира со зголемување на кинетичката енергија на водата и зголемено еродирање на почвената маса. Двата фактори се прикажуваат како т.н LS - фактор, кој се добива според дијаграмите на Сликата 9.16 или по Табелата 9.4.



Слика 9.16 Дијаграм за дефинирање на факторот LS како зависност од должината на косината и нејзиниот наклон

Факторот C зависи од: типот на растителната покривка, почвените услови и општите услови на управување и одржување на покривката. Типичен дијапазон на варирање на овој фактор е прикажан во Табелата 9.5.

Табела 9.4 Типични вредности за LS факторот

Должина на косина (m)	Вредност на LS фактор за конкретен наклон на косина во проценти						
	косина 4%	косина 8%	косина 12%	косина 20%	косина 30%	косина 40%	косина 50%
15	0,3	0,7	1,3	3	6	10,1	15,4
30	0,4	1	1,8	4,2	8,5	14,4	21,7
45	0,5	1,2	2,2	5,1	10,4	17,6	26,6
60	0,6	1,4	2,6	5,9	12	20,3	30,7
75	0,7	1,6	2,9	6,6	13,4	22,7	34,4
120	0,8	2	3,6	8,3	17	28,7	43,5
180	1	2,4	4,4	10,2	20,8	35,2	53,2
210	1,1	2,6	4,8	11,1	22,5	38	57,5
300	1,3	3,1	5,7	13,2	26,9	45,4	68,7

Табела 9.5 Вредности за факторот C за различни покривки

Земјена покривка	Вредност
гола земја	1,0
триви	
80% трева	0,01
60% трева	0,04

Факторот на контрола на ерозијата P е сличен со претходниот, со тоа што ги вклучува додатните ефекти за намалување на ерозија (Табела 9.6).

Изборот на сите наведени коефициенти треба да се врши внимателно кај секој анализиран случај, при што се препорачува и нивно варирање во очекуван дијапазон.

Табела 9.6 Вредности за P за различни површински подготовки

Мерки за контрола на ерозија	Вредност
состојба на површината без покривка; компактна; изгребана	1,30
површина на депонија	1,00
рапава нерегуларна површина	0,90
површини со млади седиментни покривачи над карпа	0,50

Со комбинација на влезните параметри, се добиваат различни големини за загубата на почвата A. Во практика се разработени одредени критериуми, според кој се оценува дали загубата на почва е во прифатливи граници, или ќе има потреба од примена на антиерозивни мерки. Најчесто, класифицирањето на почвените губитоци се врши на следниов начин:

- Ако $0 < A < 5$ се смета дека тоа е прифатлива загуба на почвата;
- Ако $5 < A < 20$, е потребно да се предвидат мерки за задржување на почвата;
- Ако $A > 20$, тогаш е потребна конструктивна промена на висината и наклонот на косината за да се намали загубата или да се предвидат други мерки за задржување на почвата.

Метод за проценка на продукција на ерозивен нанос

За пресметка на еродибилноста на теренот најзначајни се интензитетот на дождовите, типот на карпестата подлога, морфологијата на теренот, покриеноста со вегетација и др. Во практиката, продукцијата на ерозивен нанос се пресметува по следните равенки:

$$W_{\text{god}} = T \times H_{\text{god}} \times \pi \sqrt{Z^3} \times F \text{ (m}^3 \text{ / god)}; T = \sqrt{\frac{t^0}{10.0}} + 0.1$$

- Каде што е: W_{god} - вкупна продукција на ерозивните наноси во m^3/god ;
- T - температурен коефициент, кој се пресметува по горниот образец;
- t^0 - средногодишна температура на воздух изразена во $^{\circ}\text{C}$;
- H_{god} - средна годишна сума на врнежи во mm ;
- Z - коефициент на ерозија;
- F - површина на поројниот слив или поројно подрачје во (km^2) .

Коефициентот на ерозија Z , се проценува од припремени специјални карти на ерозија или според категоризацијата на теренот која е прикажана во Табелата 9.7.

Табела 9.7 Табела за проценка на коефициент на ерозија Z

Интензитет на ерозивни процеси	Категорија на еродибилност	Подгрупа	Тип на ерозија	Коефициент на ерозија Z
ексесивна ерозија	1	а	длабинска	1,31 -1,50
		б	мешовита	1,21 -1,30
		в	површинска	1,01 -1,20
силна ерозија	2	а	длабинска	0,91 -1,00
		б	мешовита	0,80 -0,90
		в	површинска	0,70 -0,80
средна ерозија	3	а	длабинска	0,61 -0,70
		б	мешовита	0,51 -0,60
		в	површинска	0,41 -0,50
слаба ерозија	4	а	длабинска	0,31 -0,40
		б	мешовита	0,25 -0,30
		в	површинска	0,20 -0,24
многу слаба Ерозија	5		Траги на ерозија	0,01 -0,19

После детаљна анализа кај секој конкретен проблем, се донесува решение за потребата од мерки за намалување на ерозијата, кои по својот карактер можат да бидат од конструктивен, механички, хемиски или од вегетационен карактер. Најчесто се применуваат некои комбинации на мерки кои најмногу би одговарале кај конкретниот проблем. Во секој случај, се работи за интердисциплинарен проблем, така што за правилно решавање на проблемот со ерозијата, потребна е тесна соработка на експерти од: геолошка, хидролошка, хидротехничка, геотехничка, шумарска и други струки.

ГЕОЛОШКА ДЕЈНОСТ НА РЕКИТЕ

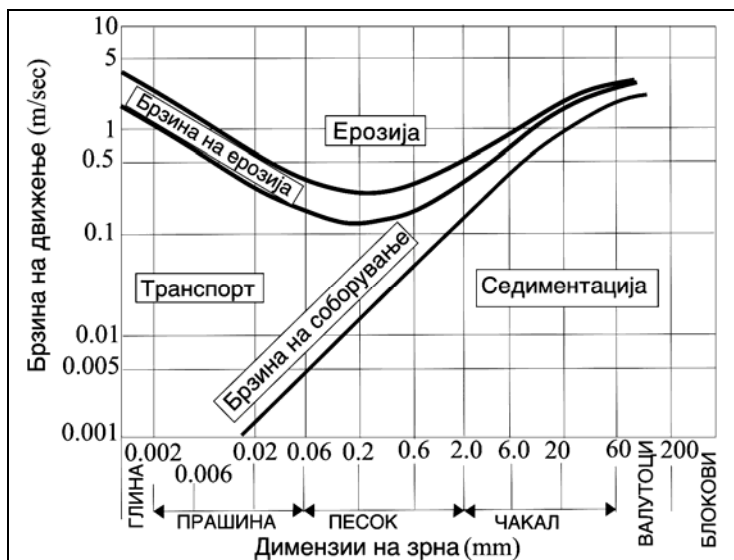
Геолошката дејност на реките е поврзана со големината на водениот проток, карактерот на коритото, брзината на движење на водата и други фактори. Се работи за многу сложена проблематика зависна од меѓусебното дејство на **геолошките** услови (типот на карпести маси низ кои е оформено речното корито), **хидролошките** услови (посебно од интензитет на врнежите), **морфологија на теренот** (надолжниот пад на речното корито), **пошуменоста** на теренот и др. Меѓусебното дејство на сите овие фактори го условуваат интензитетот на ерозија, транспортирањето на честичките и растворената материја во водата и условите за акумулација.

Наклонот на коритото на реката има голема улога врз брзината на течењето на водата. Ако е коритото има мал наклон, при одредени услови настанува таложее на цврстите честички, кои ги носи или тркала водата. Обратно, кога наклонот на коритото е многу стрмен, а брзината на движење е поголема од потребната брзина за транспорт на честичките со вода, доаѓа до ерозија и продлабочување на речното корито.

При движењето на наносот, материјалот што е влечен по дното или бреговите на коритото трпи најголеми промени. Покрупните блокови на карпите се кршат во помали парчиња, кои пак понатаму се дробат и ситнат, при што доаѓа и до нивно заоблување.

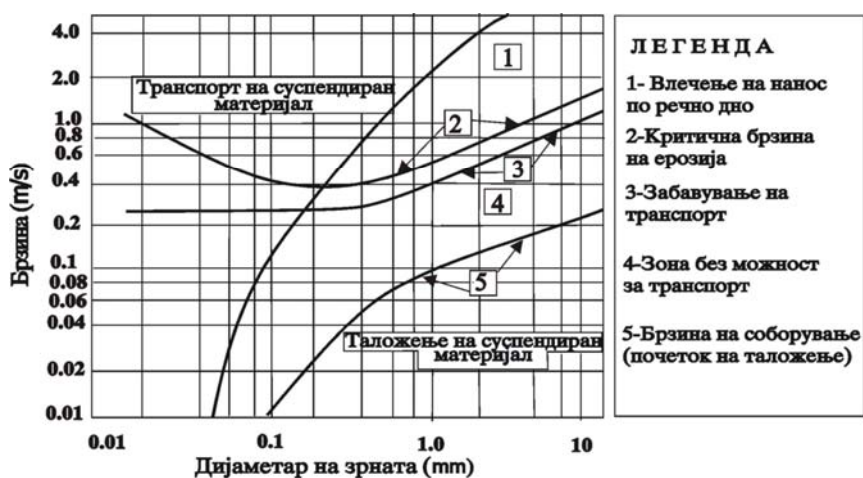
Постои зависност меѓу димензиите на зрната, кои се транспортираат и брзината на движење на водата во површинските текови, која предизвикуваат нивно транспортирање.

За прелиминарна проценка на брзината при која се создава ерозија на речното дно и брзината при која настанува фазата на седиментација, често се користи дијаграмот на Хјустром (Слика 9.17).



Слика 9.17 Криви за проценка на брзината на ерозија, транспорт и седиментација кај униформни седименти според гранулометрискиот состав на седиментите

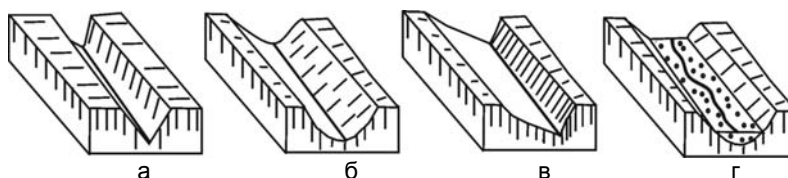
Во литература се среќаваат и други слични дијаграми (Слика 9.18).



Слика 9.18 Криви за проценка на потребна брзината за транспорт, ерозијата и седиментацијата кај униформни седименти со специфична тежина $G_s=2,65$ за длабина под речно ниво од 1 метар под површинат (според Сандберг, преземено од Бел, 1999)

На копнена средина, најзначаен транспорт на материјалот се врши со **проточните води**. **Буичните** текови (пороите), потоците и реките пренесуваат огромно количество на наносен материјал во вид на **влечен нанос** по дното и боковите на своите корита, потоа во вид на **суспензија (лебдечки нанос)**, како и во вид на **растворени супстанции** во водата. Влечниот нанос кој е составен од крупни блокови, чакал и песок, се пренесува со тркалање. Прашинестите и глинестите честички се пренесуваат со лебдење.

Со **речната (флувијалната) ерозија** се формираат речните корита и долини, кои во зависност од геолошкиот состав и релјефот на теренот можат многу да се разликуваат (Слика 9.19).

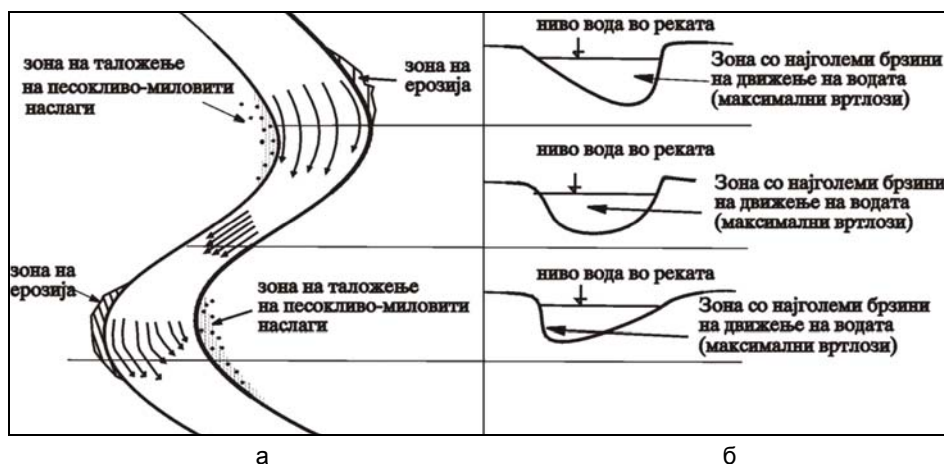


Слика 9.19 Попречни пресеци на речни долини: а - клисуреста; б - форма во вид на развлечена буква U; в - асиметрична долина; г - зарамнета долина со оформен алувијален (речен) нанос

Во рамничарските делови каде што доминираат слабодиагенизирани наслаги речните корита се широко отворени со правоаголна форма. Во планинските терени изградени од компактни карпи, кои се отпорни на ерозија, формите на речните корита и долини во напречниот пресек се претежно во форма на латинската буква V или претставуваат типични **кањони** и **клинсури**. Ако се застапени карпи, кои се полесно подложни на ерозија, тогаш речните долини се проширени, а коритата имаат полукружна форма. Чести се појавите на **асиметрични** попречни пресеци на речните долини, што укажува или на тектонски влијанија или на различен литолошки состав на речните брегови.

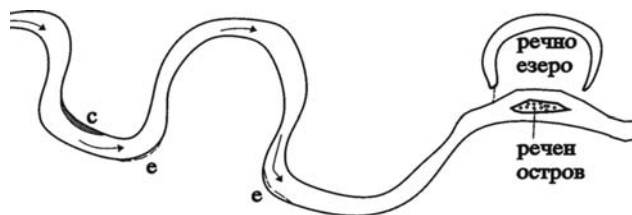
Бидејќи по должина на раседите, карпестите маси се здробени и многу испукани, честа е појавата на длабење на речните корита по должина на тектонските зони.

Речната ерозија може да се одвива во хоризонтална насока (**бочна** или **странична** ерозија) и во длабина (**длабинска** ерозија). Бидејќи брзината на речниот тек не е рамномерна, најчесто во рамничарските терени настанува нееднакво еродирање на речните брегови. Свитканиот дел од речниот тек е во зона на побрзо еродирање, во однос на обратната испапчена страна на брегот, каде што се врши таложење на поситнозрниот плавински материјал (Слика 9.20).



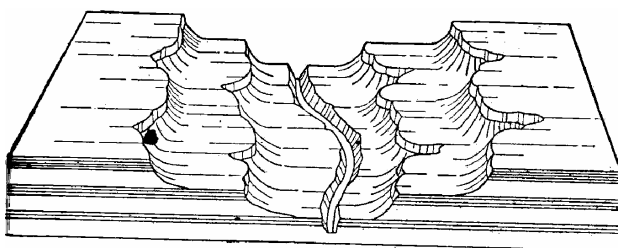
Слика 9.20 Шематски приказ на речна ерозија и седиментација во хоризонтална проекција (а) и во неколку типични попречни пресеци (б)

Зоната на максимални вртлози во попречен пресек условува нерамномерна морфологија на речното дно, а бочната ерозија со тек на време доведува до проширување на речното корито, изместување на речниот тек и создавање на **меандри** и **речни острови (ади)**. При поинтензивни врнежи, со зголемување на брзината на речниот тек, реката може да ги пробие кривините кај меандрите и да го исправи својот тек. Во напуштените делови од старото корито се ствараат **речни езера** или **старици** (Слика 9.21).

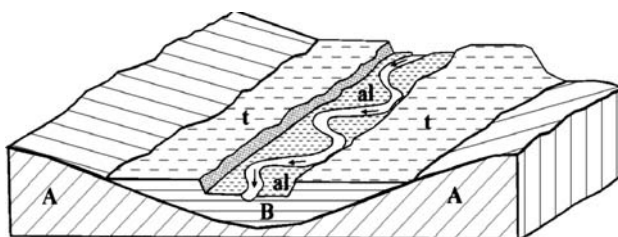


Слика 9.21 Развој на меандри со зони на ерозија (е), седиментација (с), формирање на речно езеро во напуштена меандра и речен остров (ада)

Како резултат на подолготрајна речна ерозија, во речните долини може да се оформи карактеристичен релјеф во вид на **речни тераси**. Речните тераси можат да бидат ерозиони, кога реката се засечува во основните карпести маси, и акумулациски, кога речната вода се засечува во предходно создаден речен нанос (Слики 9.22 и 9.23).



Слика 9.22 Ерозивни тераси створени во хоризонтална серија на цврсти и помекки карпи на страна на долина во која е усечен речниот тек според Миловановиќ, 1949



Слика 9.23 Речна акумулативна тераса: (А) стара речна долина заполнета со нанос (В), во кој се усекла реката формирајќи тераси (t) и современа алувијална рамнина (al)

Кога засечувањето се врши низ матичната постара карпа, станува збор за т.н. **ерозивно-акумулативни** тераси. Пример за ваква тераса е прикажан на Слика 9.24. Станува збор за стара тераса од реката Вардар во близина на Велес, од каде може да се согледа контактот со геолошки постарата флишна серија.



Слика 9.24 Ерозивно-акумулативна тераса од песочливи чакали (PCt) над еоценски флишни седименти (E3), на косина од патот Градско - Велес

Можни се случаи на повеќекратни засечувања и создавање поголем број тераси. Во такви случаи, терасите се означуваат со редни броеви од t_1 до t_n , при што најниската тераса има број t_1 .

Проучувањето на законитостите на оформувањето на речните долини и карактерот на речниот водотек има многу значајно практично влијание. Чести се појавите на рушења на објекти, појава на свлекување на речните брегови, затрупување на вештачките акумулации, појави на поткопување на падините, ерозија на темелите кај мостовските или потпорните конструкции и слично. Примери се прикажани на следните слики:



Слика 9.25 Странична ерозија на реката Вардар во близина на селото Удово при што е загрозен автопатот E75



а



б

Слика 9.26 Појава на свлечиште на речен брег од реката Злетовица поради бочна ерозија: а и б - снимки на ист брег од различни позиции



а



б

Слика 9.27 а - Рушење на мостот на Анска Река (Валандовско) заради ерозија на левиот речен брег; б - рушење на мостот на Мрзенска Река - Гевгелиско при појава на интензивни врнежи во тек на 2004 година



Слика 9.28 Ерозија на темел на потпорен сид кај пат во Струмичко, со поткопување на сидот и пропаѓање на патот во заднината на сидот

Карактеристичен случај за негативно дејство на речната вода се т.н. **поројни водотеци** или **буици** (Слика 9.29). Поројот се состои од хидромаса во вид на суспензија од минерални честички и вода, потоа дробина, камени блокови, органски материјали и слично. Настанува главно во планинските региони.



Слика 9.29 Поглед кон корито на Радањска Река како типичен пример за пороен водотек, (планина Плачковица, во близина на Штип, фото Бл. Маркоски)

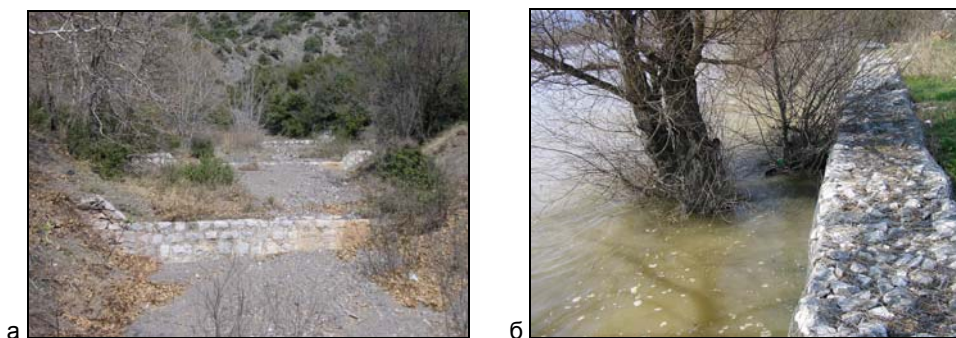
Условите кои придонесуваат за формирање на пороите се релјефот, кој ја условува брзината на движење на токот, климата, составот на карпести маси, појавата на интензивни врнежи, интензивно топење на снегот и друго. Како по правило, пороите во одделни долини се јавуваат на секои 2 до 4 години, а катастрофалните порои еднаш на 10 до 15 години. Ова значи дека поројните водотеци во тек на подолг временски период можат да бидат суви, кои се викаат суводолоци. Внимателниот преглед на заостанатиот пороен нанос може да укаже кои од суводолиците имаат пороен карактер. Пороите протекуваат со поголема брзина, која често достигнува од 10-15 m/s. Движејќи се по својот пат вршат големи рушења, при што однесуваат згради, мостови, земјениот труп на патиштата, а понекогаш тоа може да е проследено со загуби на човечки животи. Дебелината на пороите најчесто изнесува 4-5 m', но понекогаш достигнува до 20 m'. При нивната појава, во зарамнетите делови од теренот се нанесува огромно количество на хетероген материјал. Според гранулометрискиот состав, поројните наноси се одликуваат со застапеност како на глинести честички, така и на крупни блокови со волумен и до 100 m³ (Слика 9.30).

Во Р Македонија најпознат е поројниот водотек на реката Пена од Шар Планина. Селото Порој во близина на Тетово го добило своето име по оваа река, бидејќи таа протекува низ него. Населението од овој регион е сведок на честите појави на пороите. На пример, во текот на 1979 година, за неколку часа, во Тетовската котлина со поројот е донесен материјал во количина од 26 милиони кубни метри.



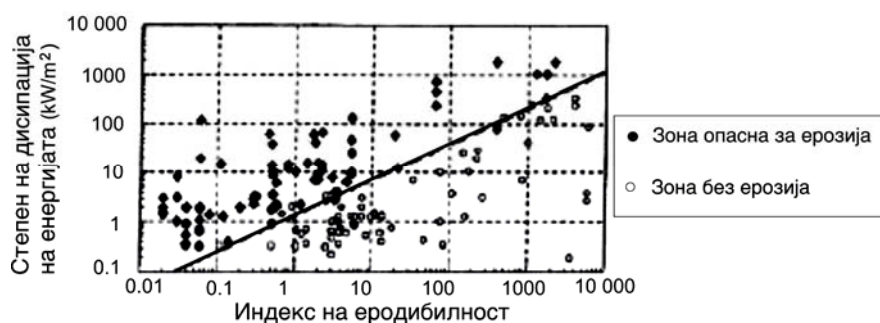
Слика 9.30 Изглед на нанос настанат при поројно дотекување кај една од притоците на Злетовска Река со забележливи огромни блокови самци

Во зависност од природните карактеристики на местото, каде што се јавуваат пороите, заштитните мерки можат да бидат различни. Кај терени предиспонирани за појава на порои, може да се примени пошумување и затревување на површината на сливното подрачје. Можат да се градат и специјални регулациони објекти на патот на движење на поројниот тек, заштита на брегот со габионски ѕидови, а кај патиштата и железниците понекогаш се применуваат тунелски варијанти или премостување со широк распон. Некои решенија се прикажани на Сликата 9.31.



Слика 9.31 а - Противпоројни каскадни прегради на поројна суводолица кај една притока на р. Вардар во близина на Демир Капија, б - заштита од странична ерозија со примена на сид т.н. габиони поставени на брегот од р. Вардар во близина на с. Удово

Во практиката, при проектирање на поголемите хидротехнички објекти како лачни и гравитациски бетонски брани, често се јавува потреба од дефинирање на **индексот на еродибилност на карпата** (Слика 9.32).



Слика 9. 32 Дијаграм за проценка на еродибилноста на карпата при ерозивно влијание на вода од реката или млаз од вода при прелевање на вода од браните (Анандејл, 1995)

Индексот на еродибилност се добива по следната формула:

$$K_r = M_s * K_b * K_d * J_s$$

Каде што е: M_s - параметар на јакост на карпеста маса;

$$K_b = RQD/J_n;$$

$$K_d = J_r/J_a;$$

J_s - релативен структурен број.

Параметрите во формулата се исти како и во класификацијата на Kirsten, прикажана во Главата 12. Степенот на дисипација на енергија (P) на водениот млаз за одредена должина на текот е поврзан со коефициентот K_r на следен начин:

$$P = K_r^{0.75}$$

Каде што е: P - степен на дисипација на енергија на единица должина од водениот тек (kw/m).

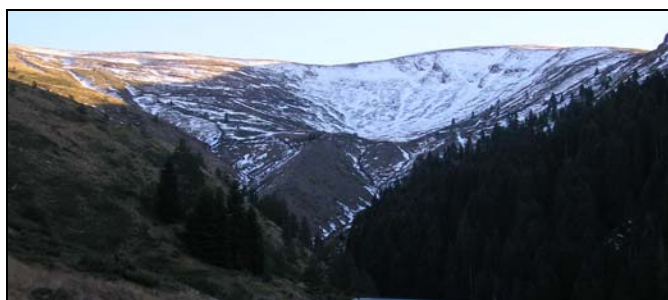
Дијаграмот на Сликата 9.32 е добиен со експериментални мерења на ерозија на карпите. Големината на коефициентот K_f се користи при избор на заштитни мерки во зоната на удар на млазот од водата кон карпата. Така, може да се процени дали карпата сама за себе има доволен капацитет да го прими ударот од водата, или е потребно подобрување на нејзините својства со некоја техника на зајакнување.

Во секој случај, борбата со процесите што произлегуваат од геолошката активност на реките е многу тешка, а изборот на заштитни мерки зависи од локалните одлики и услови. Овие услови се утврдуваат врз основа на резултатите од инженерскогеолошките, хидролошките и хидрауличните истражувања кај секој конкретен проблем.

ЛЕДНИЧКА ЕРОЗИЈА

Во областите на вечен мраз и снег, на повисоките планински предели, издолжените долини, ували и слично, се оформуваат снежни реки. Во должина на нив се движат огромни маси на мраз кои се наречени **ледници** или **гледери**.

Кај ледниците се разликуваат повеќе специфични ерозивни и акумулативни морфолошки форми. Најзначајни ерозивни форми се цирковите и троговите. Зоната каде што се врши движењето се вика **ледничко корито** или **трог**. Напречниот изглед на ледничкото корито е најчесто со изглед на латинска буква V, а подолжниот наклон е многу нерамномерен. Низ масата на гледерите се чести појави на попречни и радијални пукнатини. **Циркот** се карактеризира со амфитеатрално вдлабнување со многу стрмни и неправилни страни. Често челото на цирковите се формира во зона на некогашни водотеци, во чија должина со текот на времето настанува движењето на масите (Слика 9.33). Под дејство на тежината на снегот од повеќекратните врнежи и водата, формирана при топењето во летните периоди, доаѓа до згуснување на мразот при што се формираат дебели наслаги. Движењето на ледниците започнува во оној момент кога масата достигнува определена критична дебелина, која со својата тежина ги надминува силите на триењето со подлогата. При тоа, се врши значаен **транспорт** на материјал, кој е зафатен од подлогата. Подлогата во повисоките предели по правило е доста стрмна. За време на движењето на ледниците, доаѓа до откинување на карпите по дното и по страните на ледничко корито. Ваквата разурнувачка работа на мразот се нарекува **ледничка** или **гледерска ерозија**.



Слика 9.33 Поглед кон поранешна цирковидна форма на планината Кожуф

Брзините на движење на ледниците се различни, а зависат од наклонот на подлогата, дебелината на ледникот, температурата и друго. Познати се случаите во Хималаите каде што движењето е од 700 до 1300 метри за една година,

додека на Гренланд има случаи од 10 до 40 метри за 24 часа. Денешните ледници на Алпите се движат со брзина од околу 30-150 метра годишно.

Во пониските предели доаѓа до топење на ледникот, при што настануваат различни видови на акумулативни форми, кои се викаат **морени**. Морените се одликуваат со мошне разновиден материјал по големината на зрната. Низ нејзината маса можат да се сретнат фракции од глина, прашина, песоци, чакал па сè до блокови со метарски големини. Според активноста, морените се делат на: **активни, преносни** (подвижни) и **исталожени** (смирени). Активните морени, според местоположбата во телото на ледникот се делат на: **површински, внатрешни и странични** (бочни) **морени**. Несортираниот материјал кој настанува со ледничките процеси, кога низ масата превладува неврзан грубозрн материјал обвиткан со прашиност или глиновит материјал се вика **тил**. Во случај кога материјалот е цементиран, таквите наслаги се викаат **тилити**.

Кога во масата на ледникот превладуваат само грубозрни материјали, по топењето на мразот, на теренот се забележуваат остатоци од т.н. **камени реки** (Слика 9.34).



Слика 9.34 Камена Река на Пелистер (фото Бл. Маркоски)

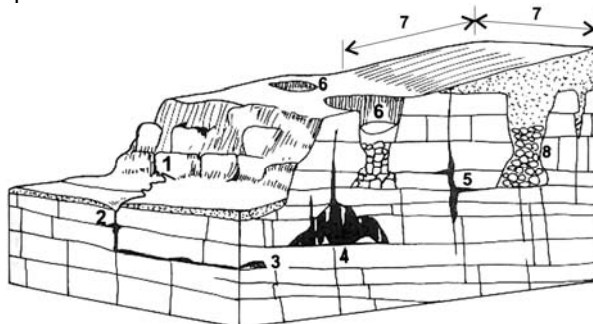
Поради фактот што материјалот во ледниците е подложен на непрекинато топење и испарување, водата што се топи понира по падините и пукнатините на ледникот, при што може да се формираат **подледнички потоци** (леднички реки). Овие потоци ги измиваат поситнозрните фракции од моренските наслаги и ги таложат во подножјето на ледникот. На тој начин се создаваат **гласиофлувијални седименти**. По гранулометрискиот состав тоа се чакалести и чакалесто-песокливи седименти. Можни се случаи на наслаги таложени во леднички езера, а материјалот во нив да е доносен од ледничките морени. Во ваков случај зборуваме за **гласиолимнички седименти**.

КАРСТНА ЕРОЗИЈА

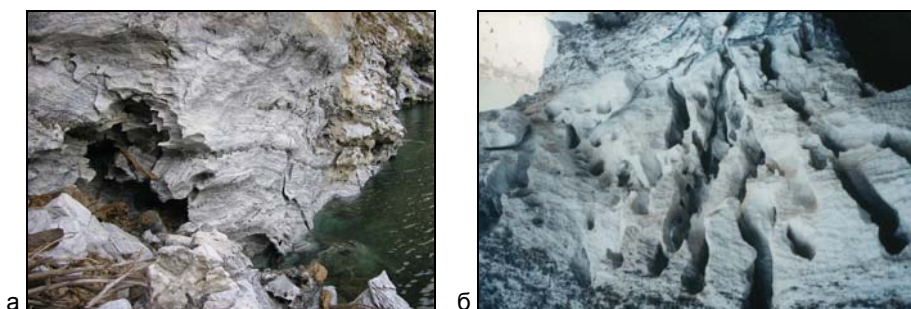
Карстната ерозија е процес на хемиско распаѓање на карпите, кои имаат склоност на измена при контакт со водата. Такви се карбонатните, сулфатните, хлоридните и други карпи. Всушност, карстната ерозија е процес на плакнење и однесување на продуктите на хемиското распаѓање на карпите. Името на овој процес е според областа **Карс** во Истра, Р Хрватска.

При хемиското растварање и излачувањето на карбонатните и сулфатните карпести маси со површинските и поземните води, на површината на теренот се оформуваат разни појави како: **шкрапи, богази, вртачи, ували, карстни полиња**, а во подземјето: **разновидни канали, шуплини, каверни, пештери** и

слично. Сите вакви феномени се нарекуваат карст. Процесот на нивното настанување се вика **карстен процес** или **карстификација**. Самата површина на теренот е со многу специфичен релјеф, што може да се согледа од наредните слики и фотографии.



Слика 9.35 Карбонатен масив со карстни форми: 1- карстен извор, 2 - карстни пукнатини, 3 и 4 - пештери со разни димензии, 5 - каверни, 6 - вртачи и понори, 7 - покриен дел од карстот, 8 - затворен (погребен) карст (Кленгел 1981)



Слика 9.36 Карстификација во гипсни наслаги во близина на Дебар: а - појава на пештери; б - шкрапи



Слика 9.37 Пештера кај варовници во близина на с. Стење Преспанско



Слика 9.38 Пештера на патот за браната “Св. Петка” на реката Треска

Вртачи се левкасти (чиниести) вдлабнатини со ширина која што е обично, неколку пати поголема од длабината (Слика 9.39).

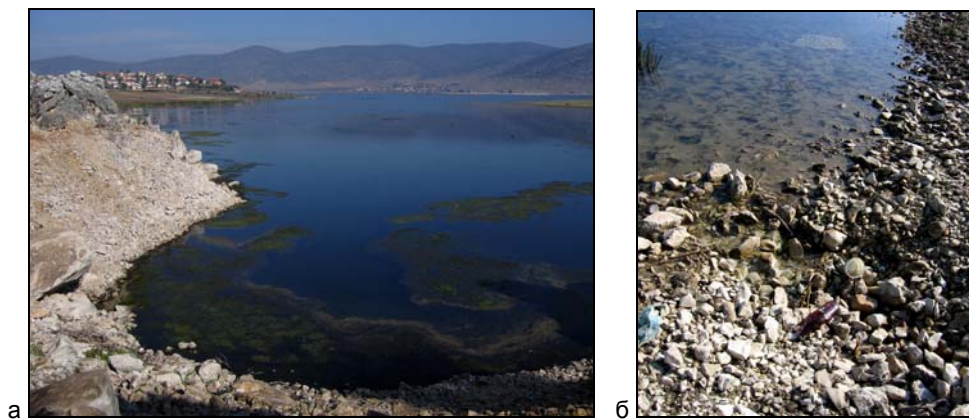


Слика 9.39 Вртача во близина на селото Пустец, Мала Преспа, (фото Г. Дитрих)

Шкрапите се тесни, обично меѓусебно поврзани жлебови во карпата во вид на бразди, со ширина и длабина од неколку cm до неколку dm. Должината им е, главно, до неколку метра. **Ували** се поголеми и подолги издолжени депресији во карстните терени, создадени со спојување на повеќе вртачи. Главно се создаваат во

терени со постар карст. **Карстни полиња** се најголеми депресији во карстните терени кои можат да се создадат на неколку начини. Должината им е и до 50 km, а ширината и до 15 km. На пример, познатиот туристички локалитет Постоинска јама во Словенија е со должина од 16,4 km. Можат да настанат со спојување на неколку ували, но најчесто се предиспонирани со тектонски спуштања на теренот. По нивниот обод, често се појавуваат систем на извори, понекогаш карстни врела, јами или понори. Често се поплавени од површинските и подземните води.

Карстни канали се цевкасти или цревасто издолжени шуплини со нееднаква ширина од неколку cm до неколку dm, а низ нив се чести локални проширувања или стеснувања, пополнувања со глина и др. **Јамите** се, главно, вертикално проширени пукнатини со различна форма, а кои се длабоки и повеќе од стотина метра. **Понорите** се отворени (зјапачки) пукнатини во теренот низ кои понира површинската вода. Обично се наоѓаат на дното на карстните полиња, увалите или вртачите. Во одредени специфични случаи, можат да претставуваат зони од каде што водата може да понира од едно кон друго сливно подрачје низ подземјето (Слика 9.40).



Слика 9.40 а - Зона на залив „Завир“ од Преспанско Езеро во Мала Преспа, Албанија, од каде што водата од Преспанско Езеро понира кон Охридско Езеро:
б - детаљ од зоната на понирање (фото Г. Дитрих)

Пештерите се големи празни простори во подземјето на теренот, низ кои понекогаш можат да протекуваат и подземни реки. Кај пештерите по сифонски пат, може да се појави времено или трајно истекување на подземна вода во вид на карстни извори и врела (Слика 9.41).

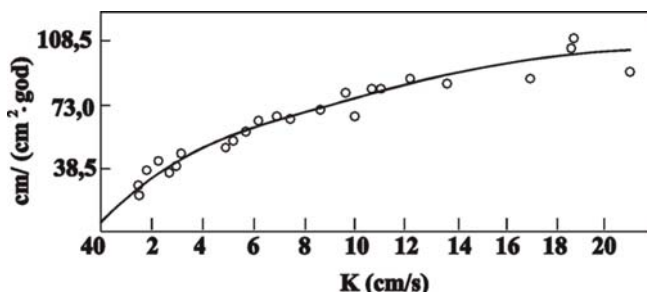


Слика 9.41 Пештерата „Горна Гоновица“ во близина на Гостивар, низ која, во влажни периоди, истекува вода (поглед од внатре, фото В. Ангелов)

При лачење на калциум-карбонатната компонентна од подземните води се создаваат живописни форми во пештерите во вид на пештерски украси (**сталактити**, кои висат во пештерата надолу и **сталагмити**, кои растат од подот кон таванот).

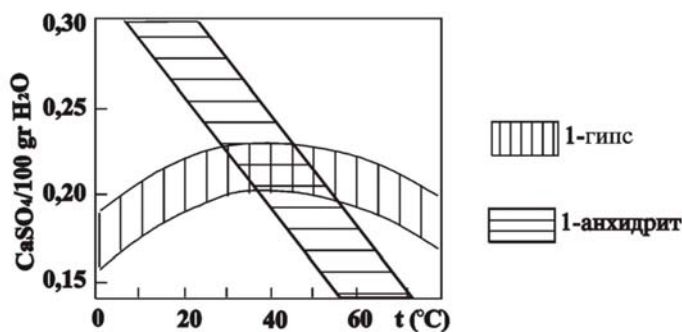
Како значаен предуслов за развојот на карстот е **водопропусноста** на карпестите маси.

Со зголемена водопропусност, процесот на растварањето добива во интензитет (Слика 9.42).



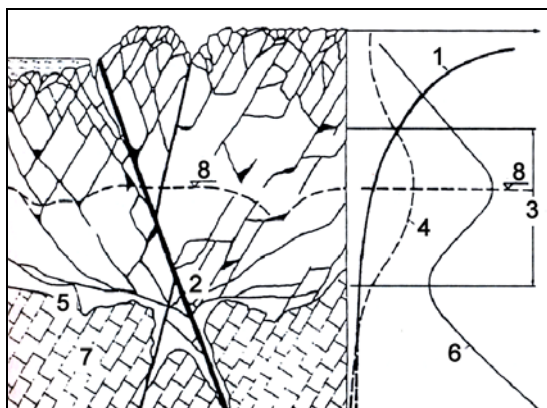
Слика 9.42 Дијаграм за проценка на растварањето на варовник во зависност од коефициент на филтрација K на подземна вода, (преземено од Ломтадзе, 1977)

Степенот и брзината на карстификација зависи и од: типот на карпести маси, температурата и други фактори (Слика 9.43).



Слика 9.43 Растворливост на гипсот и анхидритот во зависност од температурата, Ф. Реитер и др., 1983

Дефинирањето на длабината до која е застапена карстификацијата е едно од најзначајните прашања кога се решаваат практични инженерски проблеми во вакви терени (Слика 9.44).



Слика 9.44 Приказ на длабина на карстификација: 1 - Промена на карстификација со длабина, 2 - Зона на текови кон база на карстификација, 3 - Зона со осцилации на подземната вода, 4 - Дијаграм на вертикална распределба на активната карстна порозност, 5 - База на карстификација, 6 - Дијаграм на геоелектрично сондирање 7 - Некарстифицирана карпеста маса, 8 - Ниво на подземна вода (Милановиќ, 1999)

Според активноста на процесот се разликува: **активна** карстификација, која се развива во сегашноста и **пасивна** карстификација, која се развивала во геолошкото минато. При определени услови, пасивниот карст може да помине во активна фаза.

За дефинирање на активноста, во практиката се користи следната формула на Н. В. Родионов:

$$A = \frac{V_r}{V} * 100\%$$

Каде што е: A - показател на активност на карстификацијата во тек на време;

V_r - волумен на растворена карпа за период од 1000 години;

V - вкупен волумен на карстифицирана карпеста маса.

Степенот на закарстеност на теренот се дефинира како волумен на шуплините во проучуваните карпестите маси. Тој се проценува со мерење на шуплините и набљудувањата при изведувањето на истражните дупнатини, подземните работи, геофизичките истраги, специјалните хидрогеолошки истражувања, филтрациски и инјекциски работи, при геоморфолошките проучувања на теренот и друго. На пример, при картирање на јадро од истражни дупнатини во карстен терен, како показател на карстификацијата се користи **линеарниот коефициент на карстифицираност**:

$$K_L = [p/(l*n)] * 100\%$$

Каде што е: K_L - линеарен коефициент на карстифицираност (%);

P - вкупна должина на каверна во јадрото на истражните дупнатини (m);

l - вкупна должина на јадрото од дупнатината (m);

n - вкупен број на пресеци каде е вршено мерење на појава на каверните

При регионалните инженерскогеолошки истражувања, степенот на карстификација се дефинира на следен начин:

- Слаба карстификација, каде што на површината и во подземјето нема или не се знае за карстни појави, односно зони со ретка појава на карсти форми (ориентационо до 1 појава на 1km^2);
- Средна карстификација, каде што густината на карстните морфолошки и спелеолошки појави е мала (ориентационо до 10 појави на 1km^2);
- Силно изразена карстификација, каде што се присутни сите подземни и површински форми на карстниот релјеф и има чести карстни појави (ориентационо повеќе од 10 појави на 1km^2) кои се со големи димензии.

Според морфолошките елементи, карстот се дели на: **холокарст** (целосен), **мерокарст** (нецелосен) и **преоден** карст. Холокарстот се одликува со голема карстифицираност на теренот на површина и во длабина, со присуство на разновидни геоморфолошки форми. Површината на теренот е речиси целосно оголена (без вегетација). Во ваквите терени има услови и за современ развој на процесот. Карактеристични терени со холокарст се Динаридите, Хеленидите и Тауридите. Мерокарстот се карактеризира само со делумна застапеност на карстните форми, а длабината на карстификација е обично мала. Карбонатните седименти се обично покриени со вегетација, додека низ теренот се среќаваат и делови градени од лапорци и доломитити, кои се послабо карстифицирани. Карстни полиња отсутнуваат, а појавата на вртачи е ретка. Вакви примери има во Франција, Белгија, делови од Кина, САД и др. Преодниот тип се одликува со карстифицираност, која е преод меѓу претходните типови. Се среќава во терени, каде што карбонатните карпи се изолирани со водонепропустни седименти. Кај овој тип можни се појави на подземни пештери, а карстни полиња не се среќаваат.

Имајќи ги предвид наведените аспекти, во фазата на геолошките и инженерскогеолошките истражувања за проценка на условите на градење на објектите, важно е да се дефинираат распространетоста и условите на залегањето на карстифицираните карпести маси во површина и во длабина. При тоа, е неопходна реонизација на теренот со цел да се издвојат најопасните делови, каде што градежната дејност може да е проследена со огромни потешкотии и ризици по околната средина.

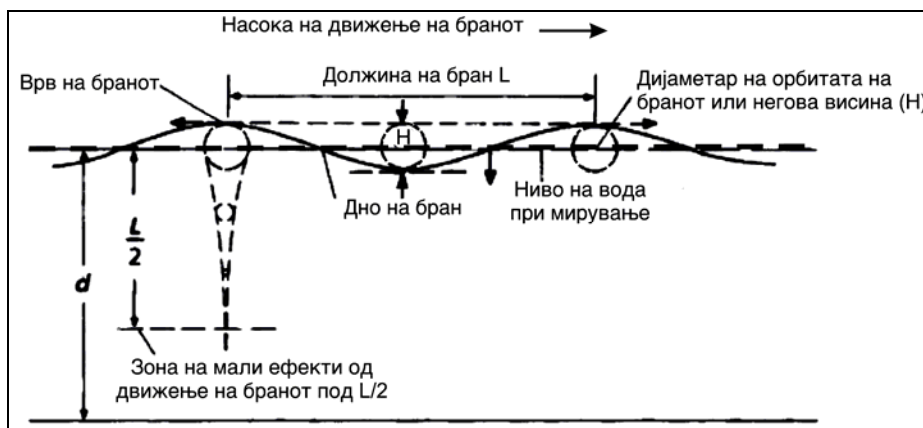
МОРСКА И ЕЗЕРСКА АБРАЗИЈА

Кај крајбрежните делови на морињата и на езерата, под влијание на водените бранови, струи, плимата и осеката, се врши разурнување на карпестите маси. Разрушениот материјал при повлекувањето на брановите се изнесува и се наталожува поблиску или подалеку од зоната на поткопување. Ваквата циклична и меѓусебно условена активност се нарекува **абразија** (Слика 9.45).



Слика 9.45 Шематски приказ на процес на абразија со поткопување во зона на контактот карпа-вода, кој дополнително може да предизвика забрзано одронување на брегот.

Морските или езерските бранови се карактеризираат со некои елементи кои се користат за анализа на брзината на пренесување на бранот и енергијата на дејство врз брегот (Слика 9.46).



Слика 9.46 Основни елементи на еден бран

Основни елементи на бранот се неговата должина (L) и висина (H). Движењата од бранот во најголем дел се пригушуваат на длабина од околу $L/2$. Теоретски, еден бран генерално има синусоидна форма со свој период на повторување T . Должините на брановите на отворено море главно достигнуваат до 100 метра, со брзина на ширење околу 50 km/h. Поретко, се јавуваат долги бранови со должини и до 600 метри и периоди на повторување подолги од 20 s.

При удар на бранот во брегот, се врши пригушување, но самиот бран ја пренесува енергијата врз брегот, така што интерактивното влијание зависи од наклонот на подлогата, морфологијата на брегот, и други фактори. Брзината на движење на бранот (c) се редуцира во согласност на следната формула:

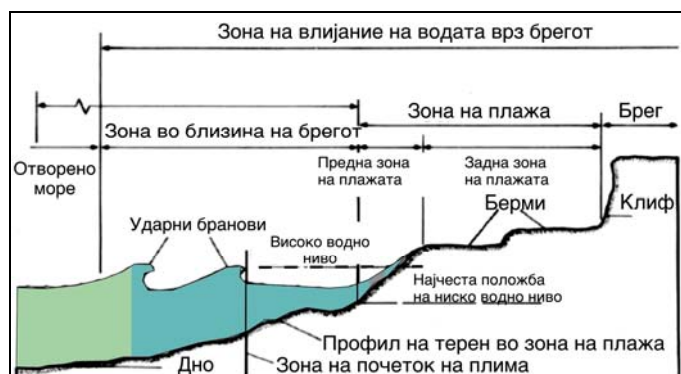
$$c = \left[\frac{gL}{2\pi} \tan\left(\frac{2\pi Z}{L}\right) \right]^{1/2}$$

Каде што е: L - должина на бран;
 Z - длабина на водата;
 g - земјино забрзување.

Произлегува дека основни фактори, кои влијаат врз морските и езерските брегови, е динамичката работа на брановите, морските течења и струења, растворачкото дејство на водата, влажнењето на карпестите маси, пловечките санти мраз во поларните предели, брзото опаѓање и издигање на нивото кај вештачките акумулации и друго.

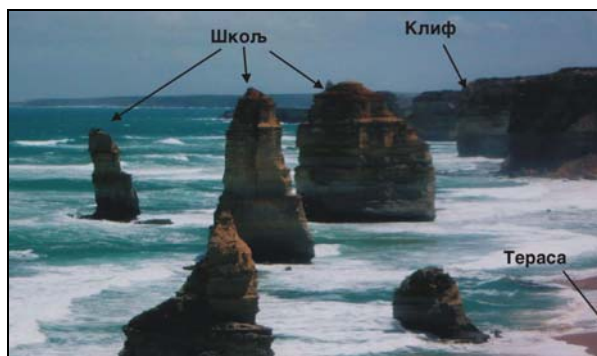
Иако секој морски и езерски брег има сопствена морфологија, најчесто кај бреговите се среќаваат неколку зони до каде што се чувствува интеракцијата со дејството на бранот (Слика 9.47). Со текот на времето, првобитно стрмните брегови (клифови) се трансформираат во ниски крајбрежни делови наречени **плажи** или **тераси (берми)**.

Грубозрните материјали се исталожуваат до самиот брег, додека ситните (глини, прашини, тиња и слично) ги зафаќа водена струја и носи во подлабоките делови на морињата, океаните и езерата.



Слика 9.47 Приказ на зона на дејство на бранови и абразија

Притисоците на брановите врз крајбрежието можат да достигнат големина од $P=300 \text{ kPa}$ (3 bara). Интензитетот на рушење на бреговите од брановите зависи од повеќе фактори, како што се: конфигурација и наклонот на теренот во крајбрежјето, геолошката градба, висината, должината и брзината на движење на брановите, постоење или отсуство на плажа, постоење на вештачки објекти и друго. Процесот на абразивност е најинтензивен на стрмните брегови, каде што морето и езерото се со значителна длабочина. Тогаш бреговите се изложени на директно дејство на силните бранови. При тоа, се формираат специфични морфолошки форми како: **абразиони поткапини**, **абразиони тераси**, **абразиони клифови** и **абразиони столбови (шкољ)**. Поради преработката на бреговите со абразијата, многу често се создаваат живописни морфолошки форми (Слика 9.48).



Слика 9.48 Абразивни форми наречени „дванаесет апостоли“ кај јужниот морски брег на Викторија во близина на Џилонг, Австралија (фото Бл. Маркоски)

Во одредени случаи, абразивноста на бреговите е олеснета кога карпестите маси се склони кон растварање со водата или се од тип на слабо врзани или неврзани седименти. Процесот често е комбиниран со појава на одронувања (Слика 9.49).

За силата на брановите можат да се посочат неколку примери. Во Шкотска во едно пристаниште, брановите го поместиле кејскиот сид тежок 8 000 kN, а во Билбао - Шпанија лакобран тежок преку 17 000 kN. Реонот на Одеса - Русија

годишно се поткопува и се руши просечно 0,93 m' во крајбрежјето, во реонот на Ламанш ваквата зона има ширина од 2 m', во пределите на грофовијата Сасекс (Англија), средната годишна брзина на рушењето на областа за последните 110 години изнесува 4 - 5 m' итн.



Слика 9.49 Комбинација на абразија од езерска вода предизвикана од хемиско растварање на гипс и процес на одронување во близина на Мелнички мост - Дебар.

Во одредени случаи, абразијата може да биде изразена и во близина на патна и друга инфраструктура, кога е потребно планско предвидување на мерки за да се минимизираат можните ефекти на поткопување (Слика 9.50).



Слика 9.50 Зона на локално поткопување на езерски брег на Охридско Езеро во близина на с. Пештани: а - поткопување на брегот, б - поткопување при постоење на изведен ѕид и брежна вегетација за случај на екстремно висок водостој на езерото во тек на месец февруари 2010 година

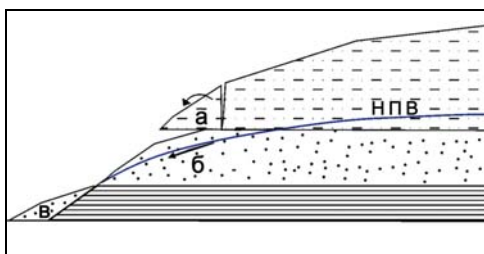
Во денешно време разработени се доста ефикасни мерки кои целосно или делумно ја спречуваат морската и езерската абразија. Ова се постигнува со поставување на вештачки подводни прегради (бранобрани), вештачки плажи, заштитни ѕидови, камено нафрлување и друго.

Овие мерки не само што треба да ја спречат абразијата, туку и појавата на одрони, свлечишта и други нестабилности кои се предизвикани од абразијата.

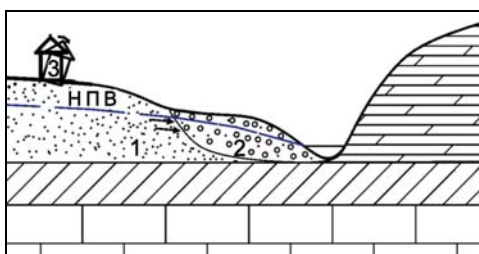
СУФОЗИЈА

Суфозијата е процес на филтрациско разрушување на карпестите маси во подземјето на теренот. Таа се манифестира со изнесување на ситните честички кога се нарекува **механичка суфозија** или изнесување на растворените супстанции, кога се нарекува **хемиска суфозија**.

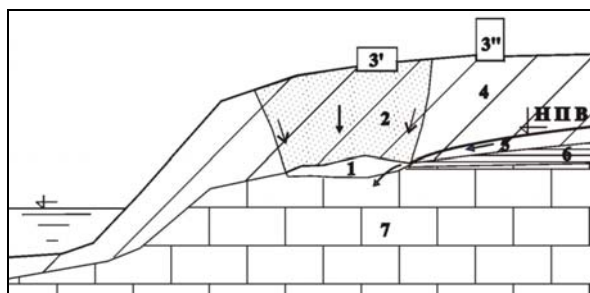
Разрушувањето се врши при хидродинамичкото дејство на текот на подземните води низ порозните песокливи, прашинести или глинести седименти. Филтрациското разрушување започнува при определени хидраулични градиенти и брзини на текот на подземните води потребни за предизвикување на овој процес. Честа е појавата на суфозија на **контактот** меѓу различни литолошки и хидрогеолошки комплекси, кои имаат и различна хидрогеолошка функција (Слики 9.51, 9.52 и 9.53).



Слика 9.51 Суфозија на контакт меѓу водопрустен и водонепрустен слој: (а) слој склон кон одронување поради суфозија на подлогата, (б) слој од кој има изнесување на материјал во дното на косината (в); НПВ - ниво на подземна вода



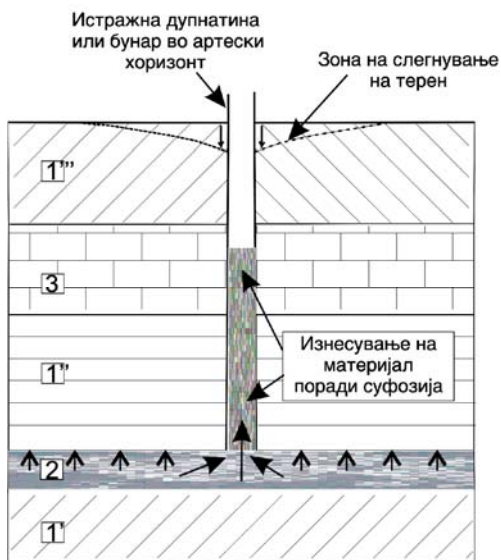
Слика 9.52 Контактна суфозија со изнесување на материјал од поситнозрнест слој (1) кон погрубозрнест слој (2) и можна појава на деформации на објекти на површина на терен (3); НПВ - ниво на подземна вода



Слика 9.53 Суфозија во наслаги од лес во контактот со варовници: 1 - суфозиона шуплина; 2 - зона зафатена со слегнување на теренот заради влијание на суфозионата шуплина; 3 - објекти на површина на теренот; 4 - наслаги од лес; 5 - тек на подземните води; 6 - хидрогеолошки изолатор (глина); 7 - варовник како основна карпа; НПВ - ниво на подземна вода

Кај артеските издани, при дупчењето е можна појава на исфрлање на вода и песок под притисок, што е специфичен вид на суфозија (Слика 9.54, 9.55 и 9.56). На Слика 9.55 се прикажува случај на појава на суфозија кај артеска водоносна зона од стара конзервирана дупнатина која не била во експлоатација. При тоа, од

големи длабини, поради големиот артески притисок, е исфрлена огромна количина на песоков материјал, гасови и вода. Во вакви случаи, во околина на дупнатината, во зони од теренот каде нема проветрување е можна концентрација на штетни гасови, каде е опасен престој и работење. Самата површина на теренот може да претрпи одредени слегнувања. Треба да се нагласи дека санирањето на овие појави и повторната конзервација на дупнатините е мошне тешка задача.



Слика 9.54 Механизам за развој на суфозија кај артески водоносни зони пробиеени со дупнатина или бунар:
 1 - хидрогеолошки изолатори во разни зони на теренот,
 2 - хидрогеолошки колектор со формирана издан под притисок,
 3 - хидрогеолошки колектор од цврста карпа.



а

б

Слика 9.55 Појава на интензивна суфозија во близина на с. Меџитлија, Битолско низ стара дупнатина: а - избивање на вода, гасови и материјал од дупнатината, б - целосно абрадирано челично колено кое било поставено на устие на дупнатината при исфрлање на вода и песок под притисок (фото М. Ефтимов)



Слика 9.56 Исфрлен материјал од дупнатина во СИ дел од П.К.Суводол –Битола по пробивање на артеиска водоносна зона

Условите за предизвикување на суфозија најчесто се дефинираат преку т.н. критична брзина на движење на подземната вода или при т.н. критичен хидрауличен градиент. Често се користи следната формула на Е. А. Замарин:

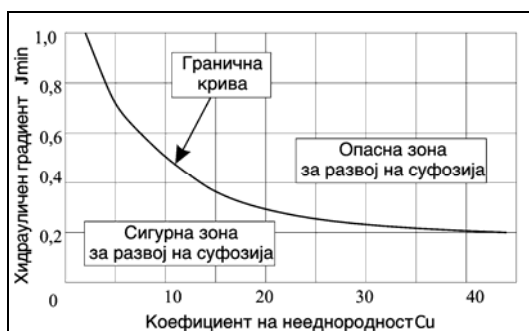
$$I_{kr} = \left(\frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \right) (1 - n) + 0,5$$

Каде што е: γ_s - специфична тежина на почвата;

γ_w - волуменска тежина на водата

n - порозност.

Можноста за развој на суфозијата кај артеските водоносни хоризонти може да се процени и со помош на дијаграмскиот метод предложен од В. С. Истомина (Слика 9.57).



Слика 9.57 Дијаграм за проценка на можност за појава на суфозија по метод на Истомина

На дијаграмот се прикажани варијанти кога при одредени комбинации на хидрауличниот градиент и коефициентот на нееднородност (C_u) се присутни можности за појава на суфозија, и обратно, кога опасноста за суфозија не е присутна.

Можноста за појава на суфозија се пресметува и според емпириски формули преку дефинирање на критичната брзина на движење на подземните води.

$$V_{kr} = \frac{\sqrt{k}}{15} \text{ (според Зихарт); } \quad V_{kr} = 65^3 \sqrt{k} \text{ (според Абрамов)}$$

Каде што е: k - коефициент на филтрација изразен во m/s во формулата на Зихарт или во m/ден во формулата на Абрамов.

Контактната суфозија се пресметува со познавање на критичната брзина на движење на подземните води по формулата на С. В. Избаш - Л. И. Козлова:

$$V_{kr} = 0,26(d_{60})^2 \left[1 + 1000 \left(\frac{d_{60}}{D_{60}} \right)^2 \right] \text{ cm / s}$$

Каде што е: d_{60} и D_{60} дијаметри на честичките при 60% од кривите на гранулометриски состав на поситнозрниот и покрупнозрниот слој.

Кога вистинските брзини и градиенти во склоп на теренот се поголеми од пресметаните критични вредности, се цени дека има можност за развој на контактна суфозија. Треба да се нагласи, дека суфозијата може многу да ја измени водопрпусноста на почвите со зголемување на порозноста. Притоа се создава дефицит на маса во подземјето, што може да предизвика појава на нестабилност по должина на падините, слегнувања на теренот, деформации на објектите над суфозионите шуплини и др.

ПРОЦЕНКА НА СУФОЗИЈАТА КАЈ ВОДОСОБИРНИ ОБЈЕКТИ

Од практиката е познато дека ако суфозијата се одвива долготрајно, може да дојде до состојба на лом во теренот и знатни оштетувања кај водособирните објекти од тип на бунари. Затоа, водоприемниот дел од бунарот претставува најзначаен дел на конструкцијата, од кој зависи квалитетот и трајноста на изградениот бунар. Него го сочинуваат филтерската конструкција на самите цевки, прифилтерската зона од засипот и основниот водоносен слој. Кај водоприемните делови мораат да се задоволат условите за статичка и хидраулична (филтрациска) стабилност. Паразитските загуби околу конструкцијата да се сведат на минимум со цел да се обезбеди долготрајна работа на бунарот. Статичката стабилност на бунарот подразбира избор на материјали за бунарската цевка и филтрационата заштита со соодветни димензии и карактеристики, кои мора да ја исклучат секоја можност за деформација во условите на негова изведба, разработка и експлоатација. За дефинирање на филтрациската стабилност, внимателно се проценува дозволената големина на критичниот градиент кој не би предизвикал контактна флуидизација околу самиот филтер на бунарот. Овој аспект зависи од односот на зрната на оригиналниот материјал од хидрогеолошкиот колектор (d) и на засипот (D). На пример, според Истомина, 1957, за дефинирање на критичниот градиент од појава на контактната флуидизација, може да се користи следниот израз:

$$J_{kr} = 1000 \left(\frac{d_{50}}{D_{50}} \right)^2$$

Ако коректно се применуваат филтерските правила, дури и при високи филтрациони градиенти во зона на контактот на засипот и природниот материјал од редот ($J=10$), овај вид на нестабилност не се јавува.

Ковач, пак, воспоставил зависност меѓу критичната брзина при која доаѓа до суфозија со коефициентот на филтрација, којашто е прикажана со следната равенка:

$$V_{kr} = \frac{K^{0.356}}{200}; \quad (V_{kr} \text{ и } K \text{ во m/s}).$$

Авторот препорачува за одредување на дозволената влезна филтрациска брзина во бунарот да се користи следниот израз:

$$V_d = \frac{\sqrt[3]{K}}{110}; (V_d \text{ и } K \text{ во m/s}).$$

За да се обезбеди подолготрајно користење на бунарските конструкции, е потребно да се обезбеди ламинарен режим на струење во филтерската зона на бунарот. Труелсен препорачува, во прифилтерската зона од бунарот вредноста на Рејнолдсовиот број да е ограничен на:

$$Re_{kr} = \frac{V_{doz} \cdot d_{10}}{\nu} < 6 \quad V_{doz} = \frac{Q}{\pi \cdot D_f \cdot M}$$

Каде што е: V_{doz} - дозволена брзина на движење на подземни води во зоната на контурите на филтерската конструкција;
 D_f - дијаметар на филтерската конструкција;
 M - висина на филтерската конструкција;
 Q - Количина на вода
 ν - коефициент на вискозност

Може да се заклучи дека дозволената влезна брзина, во овај критериум, одговара на филтрациската брзина на влезот на водата од засипот кон филтерската цевка, а ефективниот дијаметар на зрното (d_{10}) се однесува на материјалот на засипот.

ЛОКАЛНИ ГЕОЛОШКИ ПРОЦЕСИ

Поимот локални геолошки процеси се однесува на различни видови откинувања и поместувања на геолошките маси по должина на природните падини, кај вештачките косини од тип на усеци и засеци кај патишта, железници, платоа, површински копови, депонии и друго. Тие се многу чести во природата, при што предизвикуваат многу проблеми поврзани со стабилноста на теренот и изградените објекти. Стабилноста на падините или косините зависи од голем број фактори, од кои се најзначајни: литолошкиот состав, физичко-механичките својства и состојби на карпестите маси и теренот како целина, наклонот на теренот, степенот на оводнетост со површински и подземни води, разните динамички влијанија од земјотреси, експлозии, работа со тешки машини, кои предизвикуваат удари и вибрации и др. Наведените фактори често дејствуваат заеднички, така што е потребно големо знаење од областите на геолошките, геотехничките и општите научни области за да се дефинираат сите потребни својства и состојби неопходни за анализа на локалните геолошки процеси.

ГЕНЕРАЛНА ПОДЕЛБА НА ПОМЕСТУВАЊАТА ВО ТЕРЕНОТ

Најчести и најзначајни се следните видови локални поместувања:

- > свлекувања;
- > одронувања;
- > сипаришта;
- > течење;
- > ползење во вид на суво течење;
- > камени и камено-снежни лавини и др.

Голем број автори во светот се занимавале со истражување на овој проблем, така што постојат повеќе од 200 различни класификации на сите поместувања во теренот. Затоа, може да се сретнат различни дефиниции и


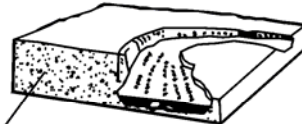










поделби на движењата на масите. Во земјите од англиското говорно подрачје, најчесто се користи класификацијата на Д. Џ. Ворнс, која претрпела неколку модификации. Овој автор, како критериуми за поделба ги усвојува: **видот на поместување** на масите и **видот на материјалот** кој е вклучен во процесот на движење. Принципите за поделба на поместувањата се концизно прикажани во Табела 9.8.

Табела 9.8 Поделба на поместувања на терен според Ворнс, 1978

Вид на поместување		Вид на материјал		
		Основна карпа	Инженерска (градежна) почва	
			Главно крупнозрна	Главно ситнозрна
1. одронување		карпест одрон	дробински одрон	одронување на почва
2. обрушување		карпести обрушувања	дробински обрушувања	обрушување на почва
3. свлекување	ротациско	свлекување на карпа	свлекување дробина	свлекување на почва
	транслаторно	свлекување блокови од карпа	свлекување дробински блокови	свлекување на блокови од почва
		свлекување на карпа	свлекување дробина	свлекување на почва
4. наноси (планарна ерозија)		карпести наноси	дробински наноси	почвени наноси
5. течишта		течишта во вид на длабоко ползење	дробинска лавина	земјена лавина
6. сложени поместувања		комбинации на две или повеќе видови на поместување		

Како дополнување на податоците од Табелата 9.8, графички приказ на основните видови поместувања е прикажан на Слика 9.58.

СОВРЕМЕНИ ГЕОЛОШКИ ПРОЦЕСИ И ПОЈАВИ

	Основна карпа	Распадина (парчиња од карпа, здробена карпа, распадната зона, органски почви)		
ОДРОНИ	<p>А) Одрон од карпа -отварање на пукнатини под дејство на мраз или хидостатички притисок од вода</p> <p>ЕКСТРЕМНО ГОЛЕМА БРЗИНА НА ДВИЖЕЊЕ</p> 	<p>Б) Одрон во почва</p> <p>ДОСТА ГОЛЕМА БРЗИНА НА ДВИЖЕЊЕ (подсечување на падина со река)</p>  <p>Различни седименти</p>		
СВЛЕКУВАЊЕ	<p>В) Ротационо обрушување</p> <p>ЕКСТРЕМНО БАВНО ДО СРЕДНО ДВИЖЕЊЕ</p>  <p>Зона на смолкнување</p>	<p>Г) Планарно-блоковско лизгање</p> <p>Лом во долж расед</p> <p>СРЕДНА БРЗИНА</p> 		
	<p>Д) Свлекување на карпа</p> <p>Чело на косина контролирано од пукнатини</p> <p>МНОГУ БАВНО ДО ЕКСТРЕМНО БРЗО</p>  <p>Пад на косина зависен од слоевитоста</p>	<p>Г) Свлекувања I (Ротационо) II (Планарно)</p> <p>Обрушување</p> <p>Течење</p> <p>Лес</p> <p>Глацијална глина</p> <p>БАВНО</p> <p>III (Странично поместување)</p> <p>IV (Дробинско свлекување)</p> <p>Цврста глина зависен од слоевитоста</p> <p>Мека глина со водозаситена прашина</p> <p>Цврст заглинет чакал</p> <p>Насок за течење странично поместување на мека глина</p> <p>МНОГУ БРЗО</p> <p>МНОГУ БАВНО ДО БРЗО</p> 		
Неконсолидирани материјали				
	Главно големи карпести парчиња	Сортирани пескливи и прашинести седименти	Мешавина од почва и карпа	Главно пластични средини
ТЕЧЕЊЕ НА МАТЕРИЈАЛ	<p>Е) Течење на карпести фрагменти</p> <p>ЕКСТРЕМНО БРЗО</p> 	<p>Ж) Течење на песок</p> <p>БРЗО ДО ЕКСТРЕМНО БРЗО</p> 	<p>З) Течење на лес</p> <p>Основна карпа</p> <p>МНОГУ БРЗО ДО ЕКСТРЕМНО БРЗО</p> 	<p>И) Бавно течење на земјан материјал</p> <p>Распаднат глинест</p> 
	<p>Л) Брзо движење на земјан материјал</p> <p>М) Течење на песок или прашина</p> <p>БРЗО ДО ЕКСТРЕМНО БРЗО</p> 	<p>Н) Дробинска течење</p> <p>МНОГУ БРЗО</p> 	<p>СКАЛА ЗА БРЗИНИ ЗА ДВИЖЕЊЕ</p> <p>> 3m/sec (Екстремно брзо)</p> <p>0,3 м/мин (Многу брзо)</p> <p>1,5 м/ден (Брзо)</p> <p>1,5 м/месец (Средно бавно)</p> <p>1,5 м/год (Бавно)</p> <p>0,3 м/ 5 год (Екстремно бавно)</p>	

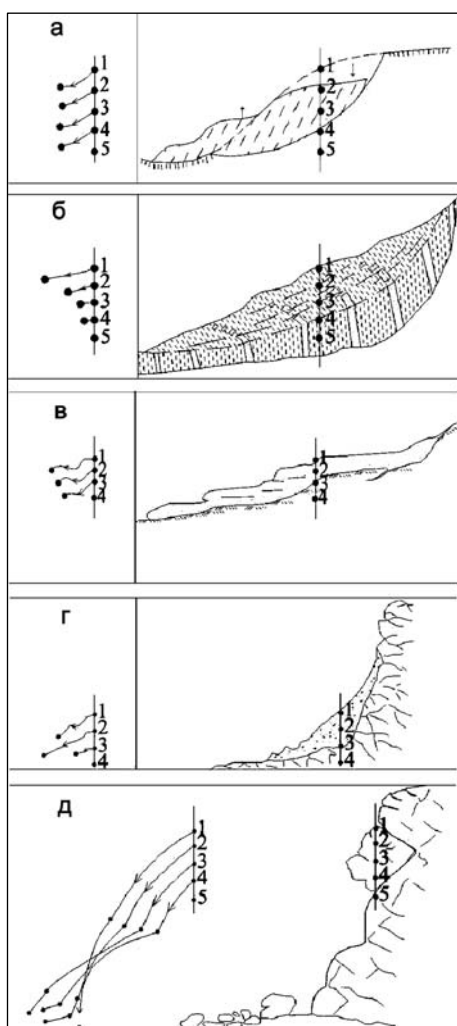
Слика 9.58 Поделба на различни видови поместувања на теренот според Ворнс, 1978

Во земјите на поранешниот Советски Сојуз, поранешна СФРЈугославија и кај нас, често се користи т.н. генетска класификацијата на поместувањата според Золотарев којашто е прикажана во Табела 9.9.

Без разлика на различните класификации, треба да се знае, дека кај главните видови нестабилни појави, има многу јасна разлика во движење за карактеристични точки во телото на нестабилните маси (Слика 9.59).

Табела 9.9 Поделба на падински процеси според генетска класификација на Золотарев, 1983

Група на процеси или појави	Типови и видови
1. ОДРОНУВАЊЕ - одвојување на блокови и глиновита дробина од основата, нивни обрушувања и дробења како и дополнителни тркалања на различен волумен	сипари и превртување блокови одрони лавини од дробина и блокови камено - снежни лавини
	преодни типови свлечишта - одрони
2. СВЛЕКУВАЊЕ - одвојување и смолкнување на карпи со различен состав, градба, сложеност и волумен по постоечка или новоформирана површина или зона на лизгање, со различна форма и дебелина и со различни видови на деформации	свлечишта со притискање и оптеретување од погорните маси и гмечење на подолните маси (детрузивни) свлекувања во цврсти карпи со блоковска градба, со ползење во глинести и прашиности песокливи тектонски зони
	консеквентни свлечишта со смолкнување на блоковски средини со лизгање по должина на ослабени зони или површини
	вискознопластични (делапсивни) со развој на процесот од долу нагоре со поради губење на попората на падината во долниот дел свлечишта и течишта, како и течиште на расквасен лес и меки глини
	сложени и преодни типови консеквентно-детрузивни и сеизмички предизвикани течишта и лавини делапсивно-детрузивни со големи енергии
3. ДЕСЕРПЦИОНО-СОЛИФЛУКЦИОНО БАВНО СМОЛКНУВАЊЕ - вискозно течење на чакалесто-блоковски и дробинско-глиновити водозаситени маси на благи падини	творби од грубозрн материјал, камени реки и ослабени блокови глечери и солифлукциони брановидни падини и тераси
4. СПЕЦИФИЧНИ СМОЛКНУВАЊА	издвојување на коцкести слоеви на површина на падината при пластични деформации, помешани и преодни видови на движења (од брзи лизгања-течишта кон порои)



Слика 9.59 Шематски приказ на патеки на движење кај одредени точки во тело на нестабилни маси (М. Јањиќ и др., 1970)

а - во свлечиште
 б - кај ползење
 в - во течиште
 г - кај сипар
 д - кај одрон

Од сликата се гледа дека кај свлечиштата превладува скоро паралелно движење на различни точки од телото на свлечиштето.

Кај одроните, траекториите имаат најсложено движење, при што дел од одронетата маса се движи во воздух, а дел се удира и отскокнува од падината.

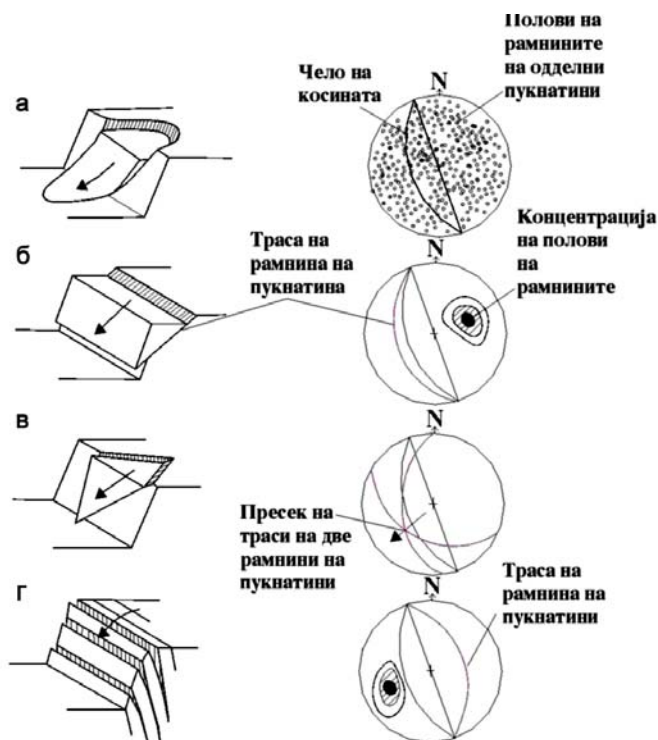
Кај цврстите карпи, за да дојде до поместување, треба да постојат одредени кинематски услови за лом. Ова значи дека видот на лом и формата на блоковите кои се склони кон поместување зависат од просторните пресеци на пукнатините или

другите видови на дисконтинуитети и нивниот однос со косината.

При тоа, се формираат неколку основни модели на лом, кои се прикажани на Сликата 9.60. Најчесто се присутни т.н. планарен, клиновиден лом, лом со превртување, прекршување, лом вдоль повеќе пукнатини и др. Карактеристично за нив е следното:

- Планарниот лом се јавува главно по должина на една пукнатина кога ориентацијата на доминантните пукнатини, рамнините на слоевитост или фолијација се со иста насока како и падот на косината, а аголот на рамнината на лом е поголем од аголот на внатрешно триење по рамнината на лом;
- Клиновидниот тип на лом најчесто настанува кога пресекот на две пукнатини во вид на нивна пресечната права излегува на косината;
- Лом со превртување на блокови настанува кога се застапени два пукнатински системи со исто протегање како и косината, од кои главниот систем има пад спротивен од косината, но вториот придонесува кон подсечување на блоковите;

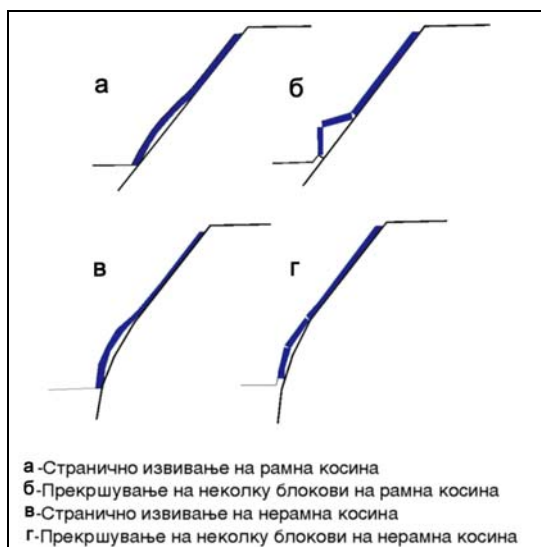
- Лом со прекршување или извивање се случува кога падот на косината е приближно еднаков со падот на пукнатините.



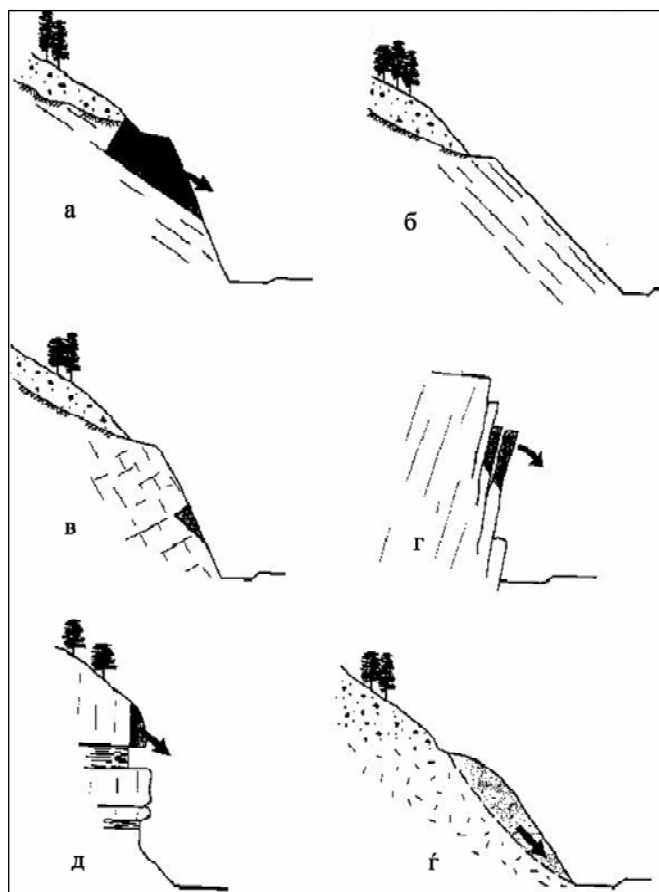
Слика 9.60 Поделба на основни видови на лом кај цврсти карпи според Хек 1977: а - лом по должина на кружно-цилиндрични површини на лизгање кај интензивно испукани карпести маси, б - рамнински лом по должина на една пукнатина, в - клиновиден лом, г - лом со превртување на блокови.

Покрај овие основни типови, се можни и други комбинации на ломови како отпаѓање на блокови поради поткопување или полесно распаѓање на помек материјал во основа, смолкнување на распаднат материјал и др. (Слики 9.61 и 9.62).

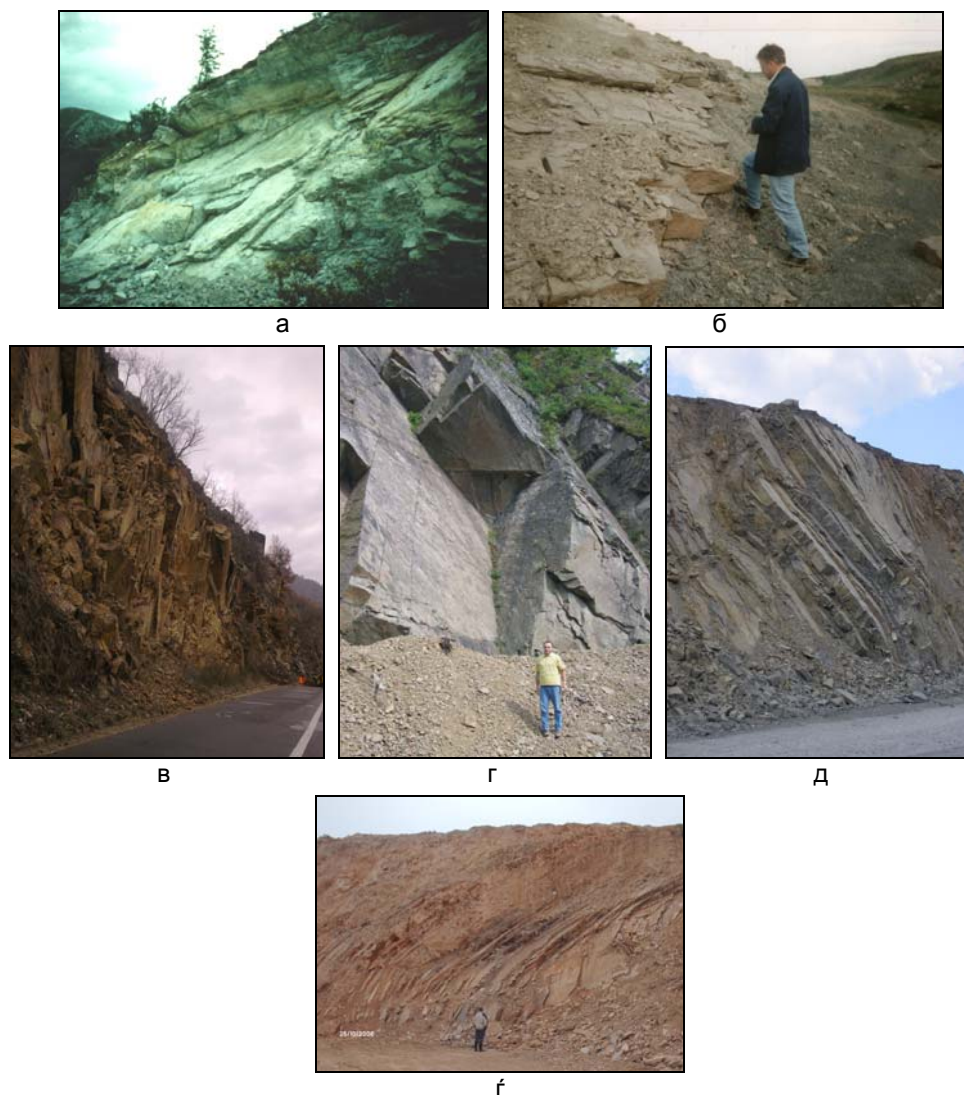
За подобро согледување на реалните изгледи, основните начини на лом во цврстите карпи се прикажани на карактеристични фотоснимки (Слика 9.63). На Сликата 9.63-а е прикажана комбинација на лом по должина на рамнина на фолијација со тензиска пукнатина во врв на косината за засек од пат Здуње - М. Брод. На Сликата 9.63-б се прикажани кинематски услови за рамнински лом по должина на рамнини на слоевитост кај една падина во близина на нафтоводот од Скопје кон Солун - Неготинско. На Сликата 9.63-в се прикажани услови за превртување на блокови за косина од патот Кочани - М. Каменица. На Слика 9.64-г е прикажан типичен клиновиден лом, настанат во комбинација на тензиона пукнатина со две пукнатини. Примерот е од еден засек на пат за брана „Кнежево“ – Пробиштип. На Сликата 9.64-д, пак, прикажана е косина од површински коп за никел „Ржаново“ со пад ист како падот на косината, како предуслов за лом со прекршување. На крајот, на Сликата 9.64-ф, прикажан ископ за косина од засек на автопатот од северната обиколница на Скопје во песочници и лапорци. Ова е релативно поредок случај каде постојат предуслови за **лом со свивање**.



Слика 9.61 Можни случаи на лом со прекршување и свивање



Слика 9.62 Приказ на некои видови на нестабилност (Вили и Мах, 2004):
 а - потенцијално нестабилен блок со исклинување на пукнатини на површина на косина,
 б - стабилна косина со пукнатини со ист пад како косината,
 с - стабилна косина со можност за локално испаѓање на блокови,
 д - нестабилни блокови склони кон превртување,
 е - подсечен блок од цврст песочник кој во дното се потпирал на меки лапорци кои се распаднали,
 ф - потенцијална зона за смолкнување на распадната карпа



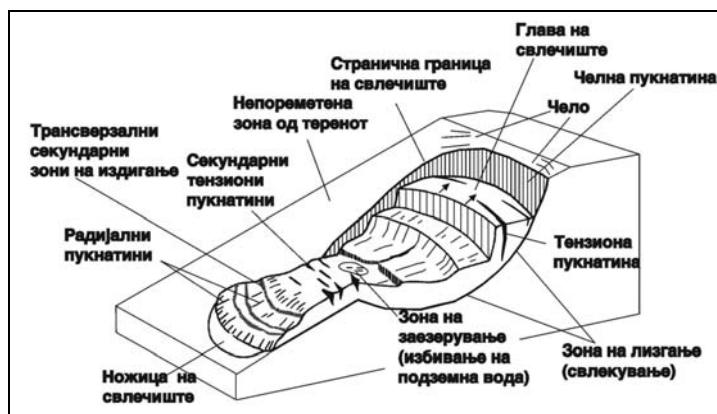
Слика 9.63 Примери на основни типови ломови во цврста карпа

Очигледно е дека се можни најразлични комбинации на поместувања, кои ретко се јавуваат одвоено, а почести се нивни комбинации. Во овој контекст, во натамошниот текст ќе се прикажат најзначајните елементи на свлечиштата, течиштата, одроните и сипарите иако е јасно дека се можни преоди меѓу сите основни видови.

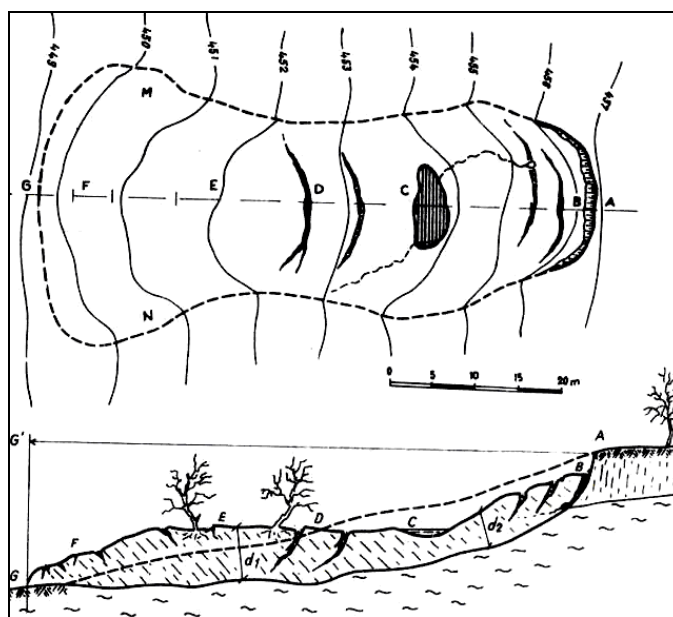
СВЛЕКУВАЊЕ И СВЛЕЧИШТА

Свлекување (анг. **Sliding**) е процес на откинување и движење на откинатите маси по должина на падините и косините преку **стабилна подлога**. **Свлечиште** (анг. **Landslide**) е појава која настанува со процес на свлекување. Може да биде **природен** или **техноген** (вештачки или антропоген) процес, кога е предизвикан со

дејноста на човекот. Со свлекување можат да бидат опфатени сите видови карпи, но најчесто и најзастапено е кај почвените материјали. Најкарактеристичните елементи на едно свлечиште се прикажани на Сликите 9.64 и 9.65.



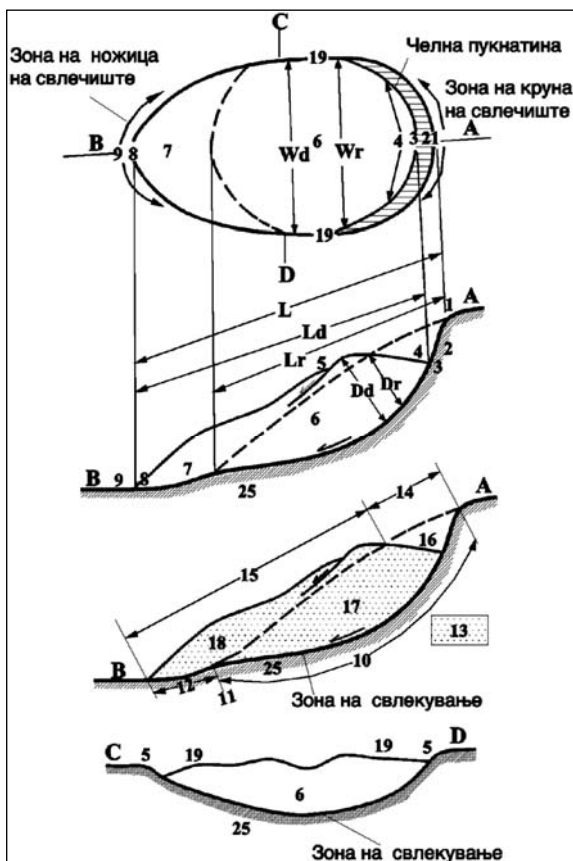
Слика 9.64 Основни елементи на свлечиште (делумно изменето и дополнето според Ворнс, 1965)



Слика 9.65 Приказ на елементи на свлечиште во хоризонтална проекција и во пресек:
 А-В: зона на челна пукнатина, С: депресија во свлечиштето, Д: секундарни пукнатини, Е: стомак (мев), F - G: ножица (стапало); А - G: должина на свлечиште, d - дебелина

Комисијата на Меѓународното друштво за инженерска геологија (IAEG) во 1990 година предложила означување и опис на основните елементи на свлечиштата, кои се прикажани на Сликата 9.66.

Описот на главните елементи на свлечиштата, во согласност на употребените ознаки од Сликата 9.66, е прикажан во Табелата 9.10.



Слика 9.66 Основни елементи на свлечиште според комисија на IАEG, 1990

При истражување на свлечиштата најзначајно е прецизно да се дефинира **површината на свлекување** бидејќи понатаму од тоа многу зависи изборот на санационите мерки. Таа е најчесто јасно изразена површина или зона по која настануваат главните поместувања и деформации на масите. Поретко, површината на свлекување е вдоль една линија, а почесто се работи за зона на дробење со дебелина од неколку сантиметри до неколку дециметри. Во таа зона јакоста на смолкнување е сведена на т.н. резидуални вредности на триењето, а влажноста е блиска до влажноста на границата на

течењето. Често се карактеризира со присуство на траги од поместувањата кои се нарекуваат **стрии** и кои се сведоци за придвижувањето на масите (Слика 9.67).



Слика 9.67 Површина на свлекување со траги на лизгање (стрии) по должина на косина од површинскиот коп за јаглен П. К. "Суводол"-Битола

Табела 9.10 Опис на основни елементи на свлечиште според класификацијата на IАEG

А. ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА СВЛЕЧИШТАТА		
Ознака	Име	Дефиниција
1	Чело (круна)	Практично непореметен материјал, се спојува со највисоките делови на челната пукнатина (2)
2	Главна челна пукнатина	Стрмна површина на непореметената почва во горниот дел на свлечиштето формирана при движење на покренатата маса (13) преку непореметената почва; таа го претставува видливиот дел на површината на свлекување (10)
3	Врв	Највисока точка на контакт меѓу придвижениот материјал (4) и челната пукнатина (2)
4	Глава на свлечиштето	Горен дел на свлечиштето по должина на контактот меѓу придвижениот материјал и главната челна пукнатина (2)
5	Секундарна пукнатина	Стрмна површина во придвижениот материјал на свлечиштето, настаната со нерамномерното движење внатре во неговото тело
6	Тело (стомачен дел) на свлечиштето	Дел од придвижениот материјал, кој се наоѓа над свлечишната површина меѓу челната пукнатина (2) и подината на површината на свлекување (11)
7	Јазик на свлечиштето	Дел од свлечиштето, кое е навлечено преку подината на површината на свлекување (11) и лежи преку природната површина на теренот
8	Крај на свлечиштето (ножица)	Најоддалечена точка од врвот на свлечиштето (3), која се наоѓа на неговата подина (9)
9	Зона на ножица или стапало (дно) на свлечиштето	Долен, обично криволиниски завршеток на придвижениот материјал на свлечиштето, најоддалечен дел од главната челна пукнатина (2) до крајот на свлечиштето (8)
10	Површина (зона) на свлекување	Површина што се образува на долната граница на телото на свлечиштето (6), односно на придвижениот материјал (13) над основната стабилна зона од теренот
11	Дно (подина) на површината на свлекување	Пресек (обично покриен) меѓу долниот дел на површината на свлекување (10) и првобитната површина на теренот
12	Разделна површина	Дел од првобитната површина на теренот покриен со јазикот (7) на свлечиштето
13	Придвижен материјал (на сликата даден како затемнета површина)	Материјал, придвижена маса на падината од својата првобитна положба при активирање на свлечиштето; тој е формиран од придвижената (17) и акумулираната маса (18)

Ознака	Име	Дефиниција
14	Зона на пренесување на материјалот	Простор во свлечиштето, внатре во кој придвижениот материјал (13), лежи пониско од првобитната положба на теренот
15	Зона на акумулација	Дел од свлечиштето во чија внатрешност придвижениот материјал се наоѓа преку првобитната површина на теренот (20)
16	Зона на слегнување на материјалот	Волумен, ограничен со челната пукнатина (2), површината на придвижената маса (17) и првобитната површина на теренот (20)
17	Поместена маса	Волумен на придвижениот материјал (13) кој се наоѓа над зоната на свлекување (10), но пониско од првобитната површина на теренот (20)
18	Акумулиран материјал	Волумен на придвижениот материјал (13) кој лежи преку првобитната површина на теренот (20)
19	Крила (бокови) на свлечиштето	Неподвижен материјал на бочните страни на свлечиштето
20	Првобитна површина на теренот	Површина на падина која постоела пред почетокот на лизгањето
Б. ОЗНАКИ ЗА ДИМЕНЗИИТЕ НА СВЛЕЧИШТАТА		
Ознака	Име	Дефиниција
W_d	Ширина на придвижената маса	Најголема ширина на придвижената маса, попречно на должината L_d
W_r	Ширина на свлечувачката површина	Најголема ширина меѓу боковите на свлечиштето, попречно на должината L_r
L	Вкупна должина	Минимално растојание од крајот (ножицата) до круната на свлечиштето
L_d	Должина на придвижената маса	Минимално растојание меѓу крајот на свлечиштето (8) до врвот (3)
L_r	Должина на површина на свлекување	Минимално растојание од дно на површината на свлекување (11) до круната на свлечиштето
D_d	Дебелина на придвижената маса	Максимална дебелина на придвижената маса, измерена нормално на површината на која се наоѓаат W_d и L_d
D_r	Длабочина до површината на свлекување	Максимална длабочина на површината на свлекување која се наоѓа под природната површина на теренот измерена нормално на рамнината во која се наоѓаат W_r и L_r
V	Волумен на свлечиштето	$1/6 \pi \cdot D_r \cdot W_r \cdot L_r$

Телото на свлечиштето ја опфаќа сета карпеста или почвена маса, која е откината од својата подлога и е поместена низ падината. По формата и димензиите, зафатената маса може да биде многу различна. **Површината на свлечиштето** како видлива површина на телото е со сложена морфологијата на теренот, со многу пукнатини и неправилни релјефни форми (Слика 9.68).



Слика 9.68 Поглед кон површината на телото на свлечиште кај с. Јеловљане - Тетовско на Шар Планина

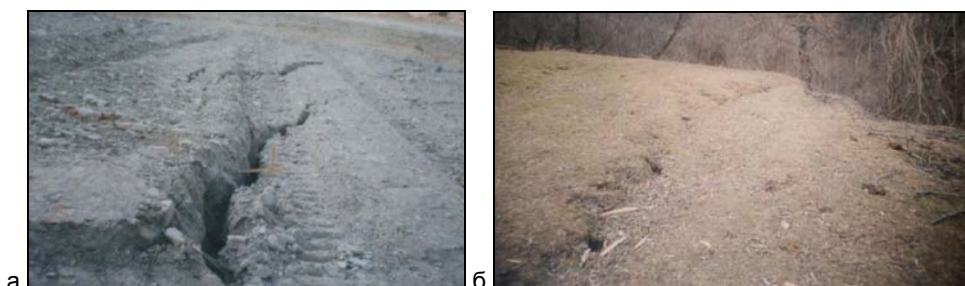
Кај свлечиштата се карактеристични и други елементи како: челна пукнатина, депресија, зона на издигање (стомак или мев), ножица и секундарните пукнатини.

Челната пукнатина или **чело на свлечиштето** е највисоката пукнатина во теренот по чија должина дошло до спуштањето на откинатата маса (Слика 9.69).



Слика 9.69 Примери за изглед на челна пукнатина на свлечишта:
а - свлечиште на патот од с. Злетово до брана „Кнежево“
б - свлечиште на патен правец М - 5 од Ресен кон Битола

Секундарни пукнатини се карактеризираат со помали скокови и се главно отворени, а настанале со дополнителни откинувања и придвижувања на масите во телото на свлечиштето (Слика 9.70).



Слика 9.70 Секундарни пукнатини кај свлечиште во СИ, дел од површински коп за јаглен „Суводол“ – Битола (а) и кај големо свлечиште кај с. Велебрдо (б)

Вдлабнатиот дел на свлечиштето се нарекува **депресија**. Во неа може повремено или постојано да биде присутна заезерена вода (Слика 9.71).



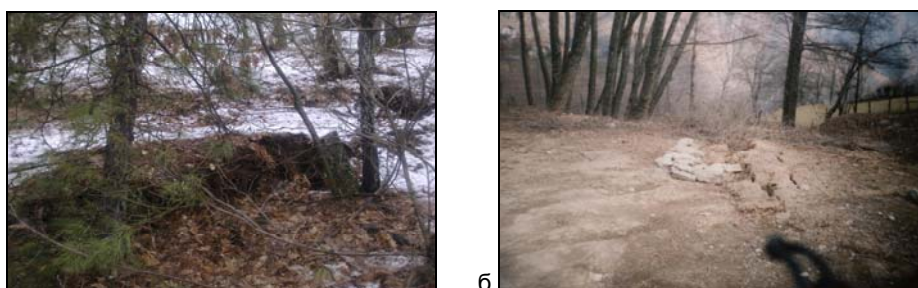
Слика 9.71 Зона на депресија кај свлечиште во СИ дел на П. К. „Суводол“ со појава на заезерена вода во вид на изданско око

Испапчениот дел на свлечиштето се нарекува **стомак** (мев), а хипсометриски најнискиот дел, кој често лежи на непридвижениот дел на теренот, се нарекува ножица или **ножичен дел** на свлечиштето. Во овој дел од свлечиштата е многу карактеристично изместувања на дрвата од вертикална положба и заземање на најразлични правци во однос на вертикалата кога таа се нарекува **пијана шума** (Слика 9.72).



Слика 9.72 Ножица на свлечиште кај селото Веле Брдо со појава на издигање на масите (а) и криви дрва во вид на т.н. „пијана шума“ (б)

Вообичаено, низ телото на свлечиштата, посебно во рабните делови и во ножицата, чести се навлекувања на придвижените маси едни преку други, и појави на морфолошки форми со неправилен и „нелогичен“ релјеф (Слика 9.73).

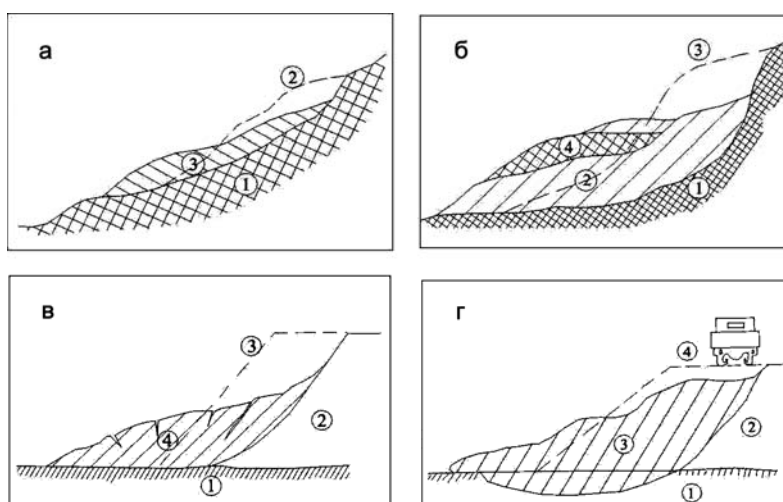


Слика 9.73 Приказ на локални навлекувања на масите низ тело и во рабни делови кај свлечиштата: а - тело на свлечиште на магистрален пат М - 5 меѓу Ресен и Битола, б - рабни делови на свлечиште кај селото Веле Брдо

Очигледно е дека свлечиштата може да предизвикаат голем број различни влијанија врз теренот, околината и објектите, од што произлегува и тежината на задачите при нивно истражување, санирање и набљудување.

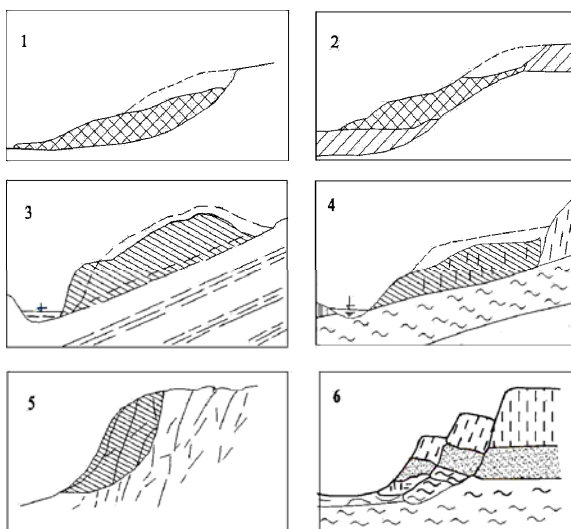
ГРАДБА НА СВЛЕЧИШТАТА И НИВНА КЛАСИФИКАЦИЈА

За правилно дефинирање на сите потребни параметри кај свлечиштата и за соодветно проектирање на мерките за заштита или санација е потребно дефинирање на голем број параметри и тоа: геолошката градба, положба на свлечиштата во однос на релјефот, карактерот на површината на свлекувањето, големината на свлечиштето односно негова површина и волумен, дебелината, брзината на движење, типот на материјал зафатен со свлекување и др. Во практиката за вакви намени се користат голем број поделби и класификации. Пример за поделбата според положбата на свлечиштето во релјефот е прикажан на Слика 9.74.



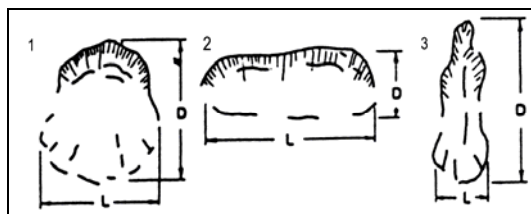
Слика 9.74 Видови на свлечишта според нивна положба во релјефот: А - примарно падинско свлечиште, В - секундарно-падинско, С - ножично, D - подножично; 1 - стабилна подлога на насип или на свлечиште, А2 и В3 - линија на терен пред свлекување, С3 и D4 - линија на насип пред свлекување, 2 - непридвижен дел од свлечиште или насип, 3 - тело на свлечиште, В4 - тело на секундарно свлечиште.

Според градбата на падината и формата на рамнината на свлекување можат да се издвојат три основни групи на свлечишта и тоа: **асеквентно**, каде што површината на свлекување е во хомогена маса, **консеквентно** каде што свлекувањето се одвива по некој контакт и **инсеквентно** каде што површина на лизгање поминува низ неколку различни литолошки средини (Слика 9.75). Во одредени случаи, класификацијата на свлечиштата се врши и според нивната форма во хоризонтална проекција (Слика 9.76). Според големината на површината и волуменот, најчесто се користи класификацијата прикажана во Табела 9.11.



Слика 9.75 Видови свлечишта според градбата на падината и форма на рамнината на свлекување според Ф. П. Саваренски:

- 1 - асеквентно во хомогена маса;
- 2 - консеквентно во делувијална распадина на контакт со свежа основна карпа;
- 3 - консеквентно по меѓуслојни пукнатини;
- 4 - консеквентно по контакт на две различни литолошки средини;
- 5 - консеквентно во цврсто врзани карпести маси;
- 6 - инсеквентно со површина на лизгање низ неколку литолошки средини



Слика 9.76 Форми на свлечишта во хоризонтална проекција: 1 - изометрично; 2 - фронтално; 3 - јазичесто; D - должина на тело на свлечиште, L - ширина

Табела 9.11 Класификација по површина и волумен на свлечишта

Класификација со опис	Површина (m ²)	Волумен (m ³)
многу мало	помало од 100	помало од 100
мало	100-1000	100-5000
средно	1000-10 000	5000-100 000
големо	10 000-100 000	100 000-1 000 000
многу големо	поголемо од 100 000	поголемо од 1 000 000

Во Табелата 9.12, е прикажана поделба според брзината на поместување на масите во свлечиштето. Слична поделба, но со одредени разлики во класите е прикажана и на Сликата 9.58.

Табела 9.12 Класификација по брзина на движење на масите

Класификација со опис	Брзина
извонредно (екстремно) бавно	помало од 0,06 m/год
многу бавно	0,06 - 1,5 m/год
бавно	1,5 m/год - 1,5 m/месец
умерено брзо	1,5 m/месец - 1,5 m/ден
брзо	1,5 m/ден - 0,3 m/min
многу брзо	0,3 m/min – 3 m/s
екстремно брзо	побрзо од 3 m/s

Треба да се знае дека брзината на движење на свлечиштата не е иста во сите негови точки. Точната брзина и промени со текот на времето, може да се добие само со систематско следење на поместувањата во длабина и на површина на терен, каде што вкупните износи се прикажуваат со вектори на поместување.

Бидејќи свлекувањето ретко се одвива континуално, туку почесто е со пократки или подолги прекини, се врши и поделба на свлечиштата според активност на процесот (Табела 9.13).

Табела 9.13 Класификација на свлечиштата според нивна активност

Ознака	Опис	Дефиниција
1	активно свлечиште	акутна состојба за време на регистрацијата
2	привремено смирено	движењата во свлечиштето биле активни во текот на последните 12 месеци, но во време на разгледување на проблемот е неактивно
3	реактивирано	Претставува активно свлечиште, кое порано било неактивно
4	неактивно	Свлечиштето не било активно во последните 12 месеци
5	запрено	Свлечиште, кое е неактивно и повеќе не се очекуваат услови да се реактивира
6	реликтно	Свлечиштето е неактивно, се развивало под дејство на климатски или геоморфолошки услови, кои се значајно различни од современите

Понекогаш процесот на свлекување може да биде смирен за подолг период кога зборуваме за **смирени** или **стари свлечишта**. Ако е затрупано некое старо свлечиште со друг материјал, станува збор за **фосилизирани свлечишта**. Чести се случаи на повторно „оживување“, односно **реактивирање** на старите свлечишта. Реактивирање настанува при нагласена промена на надворешните влијанија, посебно ако се случи зголемено влажење при интензивни и долготрајни врнежи, топење снег, високи нивоа на подземни води, при земјотреси, зголемени потреси и при изведба на објекти од страна на човекот.

ПРИЧИНИ ЗА ПОЈАВА НА СВЛЕЧИШТАТА

Генерално, секогаш се издвојуваат две основни групи на причини, кои одвоено или заедно може да доведат до појавата на свлечишта и тоа: **фактори на природната средина** и **фактори на надворешни агенси** (Табела 9.14).

Табела 9.14 Приказ на најчести услови за појава на свлекување

1. ТЕРЕНСКИ УСЛОВИ	
(1)	Пластичен слаб материјал
(2)	Осетлив материјал
(3)	Колапсбилен (склон на лом) материјал
(4)	Распаднат материјал
(5)	Смолкнат материјал
(6)	Испукан материјал
(7)	Неповолно ориентирани дисконтинуитети на масите (вклучувајќи услоеност, шкрилавоста, кливаж-цепливост)
(8)	Неповолно ориентирани структурни дисконтинуитети (раседи, дискорданции, набори на смолкнување, контактни наслаги)
(9)	Разлика во пропустливоста и влијание на подземните води врз крутоста (тврд, збиен материјал над пластичен материјал)
2. ГЕОМОРФОЛОШКИ ПРОЦЕСИ	
(1)	Тектонско издигнување
(2)	Вулканско издигнување
(3)	Леднички процеси
(4)	Речна ерозија на ножица на косината
(5)	Абразија на ножица на косината кај езера или мориња
(6)	Глацијална ерозија на ножица на косината
(7)	Ерозија на бочните рабови
(8)	Подземна ерозија (растворање, суфозија)
(9)	Оптеретување на косината или на нејзиниот врв со наслаги
(10)	Отстранување на вегетација (со ерозија, пожари, суши)
3. ФИЗИЧКИ ПРОЦЕСИ	
(1)	Јак краткотраен дожд
(2)	Брзо топење на длабок снег
(3)	Продолжени силни врнежи
(4)	Брзо покачување на водата следено со поплави, со голема плима или со пробивање на природните брани
(5)	Земјотрес
(6)	Вулканска ерупција
(7)	Пробои на кратерски езера
(8)	Топење на постојано замрзнато земјиште
(9)	Распаѓање под дејство на мрзнење и одмрзнување
(10)	Распаѓање на експанзивна почва под дејство на собирање и бабрење
4. АНТРОПОГЕНИ ПРОЦЕСИ	
(1)	Ископ на косината или нејзината ножица
(2)	Оптоварување на косината или нејзиниот врв
(3)	Снижување на водата (акумулација)
(4)	Наводнување
(5)	Неисправно одржување на дренажен систем
(6)	Протекување на вода од приклучок (водовод, канализација, дренажи за поројни врнежи)
(7)	Отстранување на вегетација (сечење на шума)
(8)	Минирања при изведба на каменоломи или подземни галерии
(9)	Создавање на депонии на растресит отпад
(10)	Вештачки вибрации (вклучувајќи сообраќај, побивање на колови, тешки машини)

Од случај до случај, најзначајните причинители за појава на свлечиштата можат да се разликуваат, но се цени дека влијанијата на **подземните и површинските води**, се често оној пресуден фактор од кој зависи дали еден терен ќе премине од стабилна кон нестабилна состојба. При исти други услови, ако се случи прекумерно заситување со вода, поради хидростатичкото и хидродинамичкото дејство и намалување на јакоста на смолкнување, теренот може да премине кон активна фаза на свлекување, а при сува состојба истата карпеста маса може да биде стабилна.

Систематско проучување на причините за појава на свлечиштата е основа за навремено препознавање на потенцијално нестабилните терени, каде треба да се избегнува градба. Добро дефинираните причини се и основа за избор на оптимално поставени мерки за санација на свлечиштата.

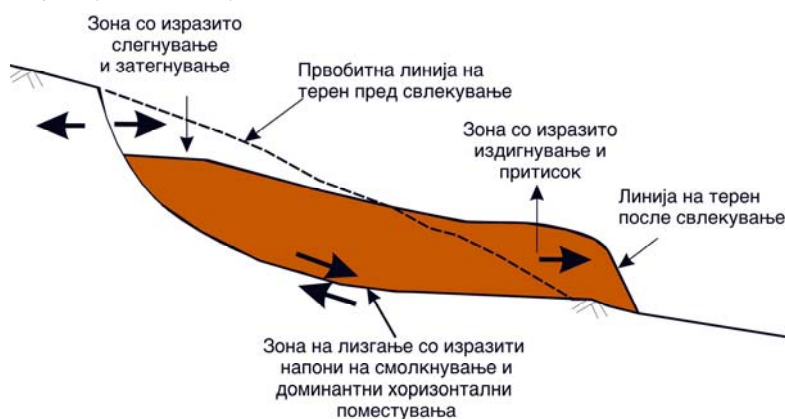
МЕХАНИЗМИ НА ПОМЕСТУВАЊА КАЈ СВЛЕЧИШТАТА

Под механизам на поместување кај свлечиштата се подразбираат сите измени на структурата, текстурата, нивната положбата и сите причинско-последични фактори кои предизвикале свлекување на теренот. Генерално, движењето на свлечиштата најчесто е поради надминување на јакоста на смолкнување на карпестите маси. Имено, кога активните сили, кои дејствуваат на некое потенцијално нестабилното тело ќе предизвикаат состојба на напони со поголема вредност од јакоста на карпите, настанува смолкнување на контактот нестабилна - стабилна маса (Слика 9.77).



Слика 9.77 а - Приказ на идеализиран случај на смолкнување на косина главно со ротација на масите по должина на површината на лизгање, б - аналогија на процесот со опит на директно смолкнување

Во реалноста, кај свлечиштата не се јавува само класично смолкнување, туку распределбата на напоните по должина на површината на свлекување е нерамномерна (Слика 9.78).



Слика 9.78 Генерален преглед на главните зони во свлечиште од аспект на распределба на напони и видови на доминантни поместувања

Поместувањето на точките во телото на свлечиштето може да биде главно со **ротација** или **транслаторно**, зависно од елементите на свлечиштето. Покрај по главната зона, поместувањето може да биде и по неколку **секундарни зони** на лизгање, по кои масата во телото на свлечиштата може да избива на неколку места во вид на **секундарни избивања**.

Ова е посебно карактеристично за брзите движења кај долги свлечишта, каде локално масата во движење се прекршува, најавнува една преку друга, создава локални слегнувања (грабени) и други форми (Слика 9.79). Во секој случај состојбата на напони и поместувања во телата на свлечиштата е екстремно комплицирана, но познавањето на најзначајните механизми дава добра основа за прогноза на состојбата на масата во движење. На пример, положбата на слоевите во рамките на телото на свлечиштата, понекогаш е невозможно да се дефинира со доволна точност, па затоа, најчесто целата нестабилна маса се прикажува заеднички. Кај свлечишта настанати во седиментни карпи, каде што имало хоризонтални слоеви пред свлекување, ако се знаат основните принципи на поместувања, може да се изврши одредено поврзување на градбата на масите (види Слика 9.75-6, пример за инсеквентно свлечиште).



Слика 9.79 Секундарно навлекување на јагленов слој над слој од трепел од П. К. Суводол (јагленот во регуларна состојба пред свлекување бил под слојот од трепел)

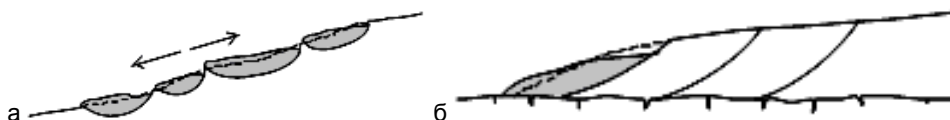
Во поглед на оштетувањата кои се предизвикуваат кај објектите, обично најмногу страдаат објекти во зона на чело на свлечиште и по рабните делови, каде што објектот делумно е фундиран во здрава средина, а делумно во телото на свлечиштето (Слика 9.80).

Кај длабоки свлечишта со доминантно хоризонтално (транслаторно) поместување, понекогаш некој изграден објект може да се движи како целина заедно со масата на свлечиштето, а без некои видливи деформации. Во други случаи, деформирање на објектите може да биде со нивно целосно рушење, пукање на делови, делумни оштетувања, делумна ротација и слично.

При анализа на механизмот на движење, многу е значајно да се изврши проценка за можната зона за ширење на свлечиштата. Генерално, потенцијалните зони за ширење на процесот може да бидат во правец на насоката на движење, односно кон ножицата (т.н **прогресивно ширење**), или процесот да се шири спротивно од насоката на движење во заднина на челната пукнатина (**ретрогресивно ширење**). Ваквите поместувања по својот механизам се повеќекратни и комплексни (Слика 9.81).



Слика 9.80 Оштетувања на објекти во зависност од положба во тело на свлечишта:
 а - оштетување на објект во близина на бочна граница кај свлечиште во с. Веле Брдо,
 б - делумна ротација и избивање на зоната на свлекување на предниот дел од објект
 зафатен со подножично свлекување за свлечиште во с. Боговиње, в - целосно
 уништен објект во средишен дел на свлечиште во с. Јеловјане, г - транслаторно
 поместен објект во свлечиште кај с. Јеловјане со речиси задржана конструкција,
 д - пукнат објект на средина поради фундаирање на граница на нестабилна со
 стабилна маса во с. Јеловјане, е - комплетно уништени објекти во чело на свлечиште
 (средишен дел и десно - долу на фотографија), и скоро неоштетени транслаторно
 поместени објекти (горен дел од фотографија) за свлечиште „Рамина“ во Велес



Слика 9.81 а - Прогресивно транслаторно зголемување на тело на свлечиште,
 б - ретрогресивно повеќекратно свлекување со ротација на масите
 по должина на некоја падина

ДИНАМИКА И ПРОГНОЗА НА РАЗВОЈ НА ПРОЦЕСОТ НА СВЛЕКУВАЊЕ

Свлекувањето низ текот на времето има одредена динамика и се одвива по одредени фази. Затоа, треба да се разграничат неколку основни термини поврзани со состојбата на стабилност и условите за поместување. Така, се разликуваат состојби на стабилност, лабилност и нестабилност.

Стабилен е терен со постојани својства, градба и релјеф како во природни услови, така и при изведба на каква било инженерска интервенција. Површинските и подземните води кај стабилен терен не влијаат врз промената на неговите својства и не ја нарушуваат неговата стабилност.

Лабилен е оној терен, каде што отпорните сили, кои се потребни да ја задржат стабилноста се блиски до гранична состојба, односно се скоро еднакви со напоните на смолкнување, кои се стремат да предизвикаат нестабилност. Кај вакви терени при изведба на засекување или дополнително оптоварување од различен карактер, може да се појави премин кон фаза на свлекување, ползење, осипување, одронување или течење, што по правило предизвикува значителни деформации на теренот.

Нестабилен е оној терен каде што е присутно активно свлекување, ползење, осипување, одронување или течење, под дејство на активни сили од засекување, оптоварување, влијание на подземни води, потреси од минирање, земјотрес или други влијанија.

Наведените дефиниции се релативни, односно при промена на условите во теренот е можен преод од една кон друга состојба. Во секој случај, јасно е дека свлечиштата се динамичен систем, каде што најчесто во нивниот развој се забележуваат неколку основни фази:

- подготвителна фаза;
- активна фаза;
- фаза на стагнација.

Во подготвителната фаза, настанува постепено исцрпување на јакоста на смолкнување на карпата. Во оваа фаза превладуваат процеси на ерозија и јаружање на теренот. Процесот на постепено исцрпување на јакоста по должината на лизгање е најчесто прогресивен, односно јакоста се надминува постепено на сè поголеми и поголеми површини, сè до моментот на нејзино целосно надминување и активирање на процесот. По надминување на јакоста, отпорот на смолкнување е сведен само на вредност на резидуален агол на триење за цела зона на смолкнување. Јасен индикатор на исцрпување на јакоста и состојба пред почеток на лом на теренот е појавата на т.н **тензиони** пукнатини во врвот на некоја косина, а без забележливи вертикални поместувања. Во вакви случаи, низ падината сè уште нема јасни индикации за движење (Слика 9.82).

Обично подготвителната фаза на оформување на свлечиштето е долготрајна, а самата фаза на активирање може да биде многу бурна и со динамичен карактер, но да трае релативно кратко. Сепак, има и случаи кога, износот на поместувањата е голем и до неколку стотина метри, но заради бавно движење во вид на ползење, поместувањата не се многу забележливи. Посебна улога во премин од припремна кон активна фаза имаат хидростатичките и хидродинамичките сили од подземните води. По активната фаза, свлечиштата привидно се смируваат и се во фаза на стагнација. Во оваа фаза нема некои видливи поместувања, а масата постепено се консолидира. Индикации дека тоа бил нестабилен терен, може да се најдат во неколку основни показатели и тоа:

- Морфологијата на теренот се одликува со чести појави на нерамнини (испакнувања и вдлабнатини) застапени на кратки растојанија;

- Низ теренот може да постојат влажни зона, зарамнувања на средина на падината и друго;
- Постојење на вегетација со карактеристични форми за нестабилни терени и друго.



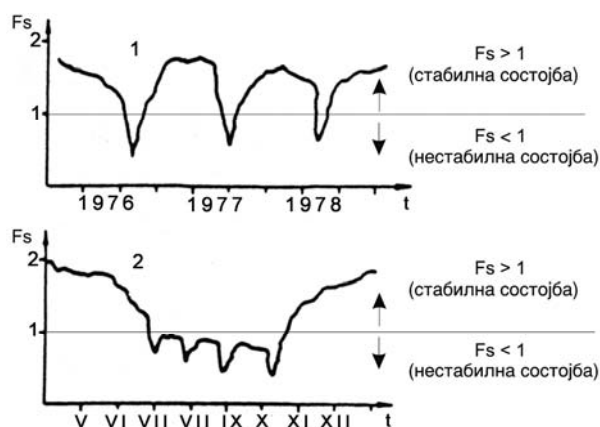
Слика 9.82 Тензиона пукнатина во највисоки зони од теренот кај површински коп за никел П.К „Ржаново“ - Кавадаречко, како индикатор за можен развој на свлекување

Како јасен индикатор за свлечиште кое е во фаза на стагнација е постоењето на дрвја, кои во својот корен се искривени поради изместување во активната фаза. Самото стебло на дрвјата во горните делови е во вертикална положба, со оглед дека теренот подолго време мирувал, со што се создадени услови за растење на стеблата во своја регуларна положба (Слика 9.83).



Слика 9.83 Дрво кое во корен е во коса положба поради зафатеност со старо свлекување, а во горниот дел со долгогодишно растење во услови на стагнација на процесот зазема вертикална положба (падина во близина на свлечиште на пристапен пат за брана „Кнежево“)

Фазите на активно свлекување и стагнација може циклично да се повторуваат. Ова значи дека свлечиште во фаза на стагнација може повторно да се реактивира (Слика 9.84).



Слика 9.84 1 - Илустрација на повеќекратно смирување и повторно активирање на едно свлечиште во период од неколку години, 2 - еднократно придвижување на свлечиште и негово смирување во период околу 6 месеци (делумно модифицирано по М. Јањиќ, 1987)

Причина за тоа е промена на условите во опкружувањето на свлечиштето. Се смета дека најзначаен фактор за промена на состојбата на стабилноста се влијанија поради презаситување на телото на свлечиштето под дејство на вода, дејство на земјотреси, засечување во зона на стара ножица на свлечиштата и слично.

Сите овие примери, укажуваат дека проблемот на динамиката на свлекување е мошне сложен, а може соодветно да се дефинира само со помош на долготрајни и систематски набљудувања на теренот со специјални техники, објаснети во Глава 14.

МЕТОДИ ЗА ПРОЦЕНКА НА СОСТОЈБАТА НА СТАБИЛНОСТ НА ТЕРЕНОТ

Проучувањето на свлечиштата обично завршува со анализата на нивната стабилност во природни и во услови на преземени инженерски интервенции. Ова претставува многу сложена задача. Во практика, се разработени различни постапки за проценка на состојбата на стабилност на падините и косините и тоа: емпириски или искуствени методи, примена на инженерскогеолошка аналогија, аналитичко-нумерички методи и др.

Емпириските методи главно се користат за индиректна проценка на стабилноста на вештачките косини, посебно при градењето на патиштата. Разработени се врз основа на собрани податоци од долгогодишни набљудувања за однесувањето на косините со карпести маси, кои се наоѓаат во различни услови и тоа: суви косини, влажни косини и косини под вода, косини на насипи, кај ископи, ровови, канали и друго. Успешноста за примена на емпирискиот пристап зависи од правилното определување на составот, градбата на падините и косините, физичко-механичките својства на карпестите маси и условите на работењето на падината. Со овие постапки со одредена прогноза се предлага граничниот наклон на ископите кој би обезбедил нивна стабилност. Една од емпириските постапки е објаснета во Глава 12.

Примената на **инженерскогеолошките аналогии** е заснована на анализа на: геолошко-литолошката градба на падината, физичко-механичките својства на карпестите маси и нивните промени во функција на времето, оводнетоста на

карпестите маси и улогата на површинските и подземните води во пореметувањето на стабилноста, геолошката историја на оформувањето на падините, влијанието на современите геолошки процеси врз состојбата на падините, ефикасноста на преземените санациони мерки и друго. Оваа метода се состои во статистичка обработка на податоците при инженерскогеолошкото изучување на теренот. Во прв ред се откриваат потенцијално нестабилните блокови или блокови со започнат процес на поместувањето, се регистрираат места на некогашните одрони и свлечишта, се дава оценка за факторите кои имаат директно или индиректно влијание кон нарушувањето на стабилноста на падините, кај косините се разгледува нивната гранична висина и наклон, литогенетските карактеристики, постоење на крупни тектонски ломови и пукнатини, оводнетост на падината и пукнатините, режим на подземните води, засечување и оптоварувања на падината, динамички влијанија, сеизмичност на регионот и др.).

Конкретната оценка за стабилноста се изведува по пат на утврдување на сличноста помеѓу анализираната падина и некоја падина со позната стабилност преку поврзување на **критериумите за геолошката сличност**. Споредувајќи ги сите податоци на проучуваниот дел од падината со податоците од падини и косини, каде што условите се слични или аналогни, се дава проценка за условите на нејзината стабилност при евентуална градба на идни објекти (насипи, засеци, ископи, канали и друго).

Во денешно време, најчесто се користат **аналитичко-нумеричките** методи. При анализите на стабилноста на падините и косини, во примена се: методи на **гранична рамнотежа**, методи на теоријата на **пластичноста**, метод на **конечни елементи** и други.

Постојат и други корисни концепти, кои можат да се искористат при проценка на стабилноста како: **повратни анализи** кај веќе случени нестабилности, метод на **неутрална точка**, концепт на **квазистатички анализи**, метод на **јакостна анVELOпа** и други. Успехот на примената на овие пресметувачки методи зависи од голем број фактори како:

- избор на соодветен физички модел на теренот, односно реален пресек кој на доверлив начин ја дефинира градбата на теренот,
- правилен избор на влезните параметри, кои ја дефинираат јакоста на смолкнување на карпестите маси,
- избор на соодветна метода за пресметка, која најдобро одговара на основните природни одлики на проучувањето на падината.

Може да се каже, дека во денешно време, **многу е потешко** и позначајно да се дефинира **реален физички модел на теренот** и да се усвојат **меродавни параметри** за анализа на стабилност, отколку да се примени некоја метода за пресметка. Ова произлегува од фактот што моќната софтверска и компјутерска поддршка овозможува брза анализа на огромен број случаи на оптоварување за кратко време.

АНАЛИТИЧКО-НУМЕРИЧКИ МЕТОДИ ЗА АНАЛИЗА НА СТАБИЛНОСТ

Најчесто во практиката се применуваат т.н. **методи на гранична рамнотежа** или **методот на конечни елементи** (МКЕ). При тоа, е можно да се опфатат случаи на статичка и квазистатичка анализа, голем број на можни комбинации на надворешни оптоварувања или ефект од преземени санациони мерки и др. Основата на методите на гранична рамнотежа е да се определи т.н. **коефициент** или **фактор на сигурност (F)**. Најчесто, тој се дефинира како однос меѓу силите, кои се стремат да ја задржат стабилноста на теренот (N), со оние сили што имаат

тенденција кон предизвикување на нестабилност (Т). Отпорните сили се поврзани со триењето и кохезијата на материјалот, додека активните сили се стремат кон разрушување.

$$F = N/T$$

Генерално, може да се застапени следните случаи кај кој било проблем на стабилност: при $F < 1$ имаме **нестабилна** состојба, ако $F = 1$ тоа е состојба на **гранична рамнотежа** и кога е $F > 1$, тоа е **стабилна** состојба.

Основни методи за анализа на стабилност во почвени маси

Во почвените материјали се применуваат поголем број методи разработени од различни автори. Најпознати се методите на Спенсер, Бишоп, Џанбу и др. Детали може да се најдат во сите учебници за механика на почви. Поретко овие методи може да се искористат и за пресметка на стабилноста кај многу испукани и здробени цврсти карпести маси каде нема застапени јасно изразени површини на слоевитост, фолијација или доминантни пукнатини.

Методот на **Спенсер** припаѓа кон групата на т.н „точни“ методи на гранична рамнотежа, која ги зема во предвид сите услови за рамнотежа. При тоа, освен кружно-цилиндрична е можно да се анализираат и површини на лизгање со произволна геометриска форма. Методот е поволен за анализирање на различни проблеми со оглед дека во анализата е можно да се вклучат надворешни оптоварувања, влијание на подземна вода и сл. Коефициентот на сигурност, според овој метод, го одразува односот меѓу јакоста на смолкнување на материјалот S и мобилизираната јакост на смолкнување S_m :

$$F_s = S/S_m$$

Резултантата на меѓуламеларните сили се определува според изразот:

$$Q = \frac{\frac{c' \cdot b}{F} \sec \alpha + \frac{\tan \varphi}{F} (W \cos \alpha - u \cdot b \cdot \sec \alpha) - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[1 + \frac{\tan \varphi'}{F} \tan(\alpha - \theta) \right]}$$

и таа мора да ги задоволи условите на рамнотежа на силите во x , односно во y насока:

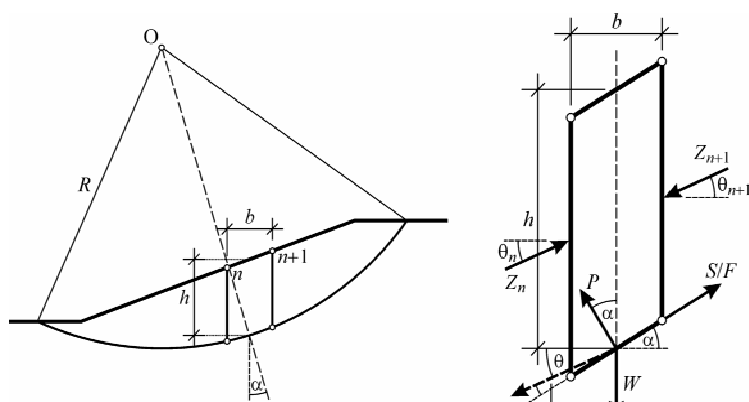
$$\sum [Q \cos \alpha] = 0 \quad ; \quad \sum [Q \sin \alpha] = 0$$

и условот за рамнотежа на моментите околу полот O :

$$\sum [Q \cdot R \cdot \cos(\alpha - \theta)] = 0$$

При тоа, коефициентот на сигурност F_s и наклонот на меѓуламеларните сили θ се одбираат, односно се пресметуваат така да бидат задоволени сите услови за рамнотежа. Членовите според кои се пресметува коефициентот на сигурност F_s , односно т.н. резултанта Q се прикажани на Сликата 9.85.

Резултантата Q мора да ги задоволи условите на рамнотежа на силите во x , односно во y правец: $\sum [Q \cos \alpha] = 0$; $\sum [Q \sin \alpha] = 0$ и условот за рамнотежа на моментите околу полот O : $\sum [Q \cdot R \cdot \cos(\alpha - \theta)] = 0$.



Слика 9.85 Упростена скица за условите и употребените членови во изразите на методот на Спенсер.

Методот на **Бишоп** е презентираан со следните основни формули:

$$F = \frac{\sum [c' \cdot b + (G - u \cdot b) \operatorname{tg} \varphi'] m_{\alpha}}{\sum (G \cdot \sin \alpha + M_x)}$$

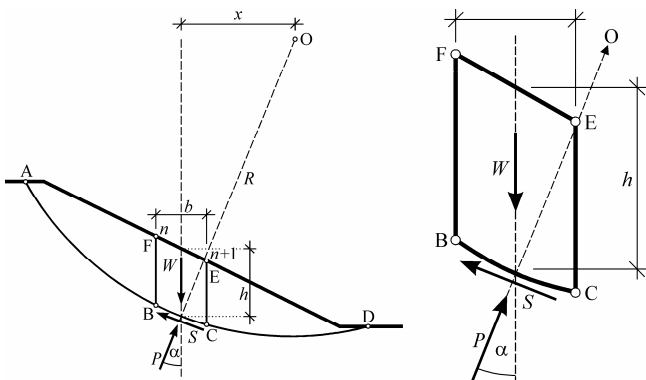
каде што за секоја ламела:

$$G = W + W' + W_z + R_y + p \cdot b + a_y(W + W_z); \quad M_x = R_x \cdot y_r / R + k_x(W + W_z)y_z / R$$

$$m_{\alpha} = \frac{1}{\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi' / F}$$

Симболите во формулите се однесуваат на:

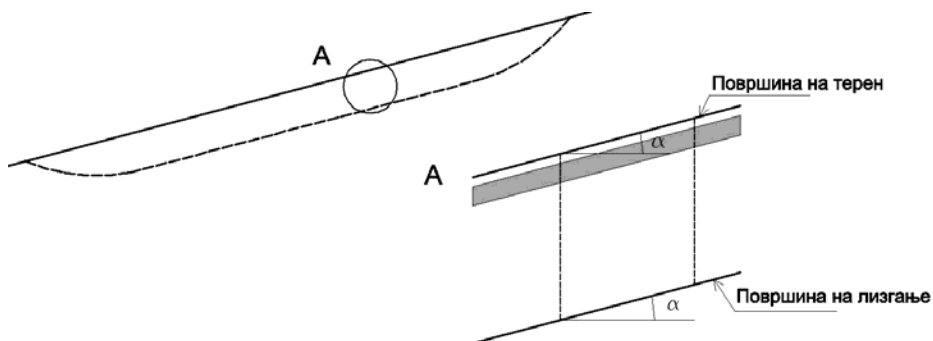
- c' - кохезија;
- φ - агол на внатрешно триење;
- b - ширина на ламела;
- u - порен притисок;
- G - тежина на ламела;
- M_x - момент од хоризонтална сила околу центарот на рамнината на лизгање;
- R_x - резултанта од хоризонтална сила на ниво на основа на ламела;
- R_y - резултанта од вертикална сила на ниво на основа на ламела;
- p - униформен товар;
- a_x - хоризонтален сеизмички коефициент;
- a_y - вертикален сеизмички коефициент.



Поедноставена шема од која произлегуваат постапките за пресметка по методот на Бишоп е прикажана на Сликата 9.86.

Слика 9.86 Поедноставена шема за пресметка на стабилноста според методот на Бишоп

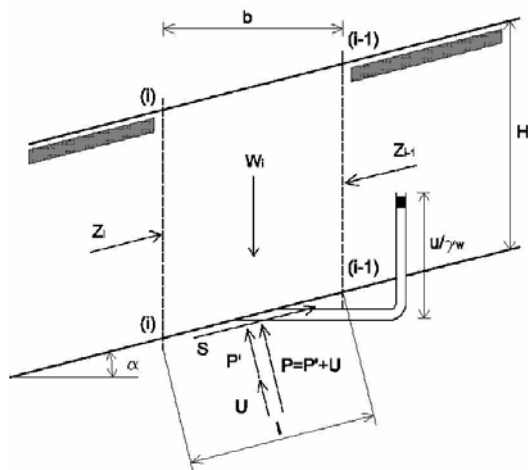
Методот на бесконечна косина е применлив за планарни или рамни површини на лизгање, кои се релативно плитки во однос на должината на нестабилното тело и се паралелни со наклонот на површината на теренот. Притоа доколку се занемарат влијанијата на краевите, напонско-деформациските услови по целата површина на лизгање се исти. Затоа може да се издвои една ламела па тоа што би се случувало во неа би важело за целото нестабилно тело (Слика 9.87).



Слика 9.87 Косина со површина на лизгање која е паралелна со теренот

Силите што би дејствувале на оваа ламела се прикажани на Сликата 9.88. Притоа тежината на ламелата е: $W = \gamma_z \cdot b \cdot H$. Силата на порниот притисок е еднаква на: $U = u \cdot l$. Во овие формули, γ_z е волуменска тежина на заситената почва, додека u е порен притисок на подземната вода. Факторот на сигурност се пресметува по следната равенка:

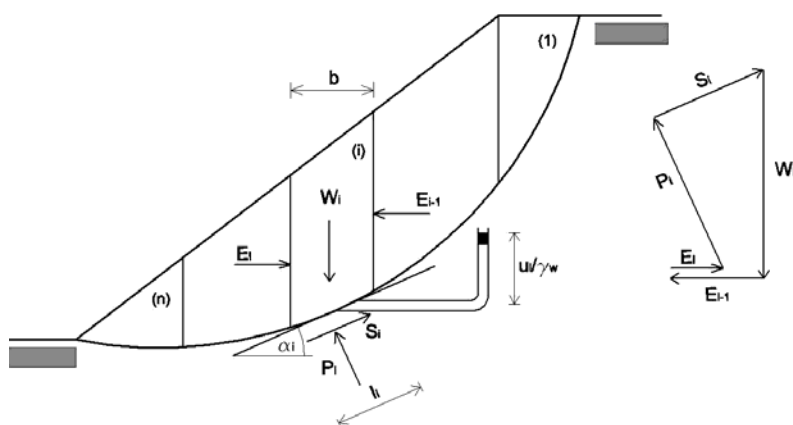
$$F_s = \frac{c + (\gamma_z \cdot H \cdot \cos^2 \alpha - u) \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\gamma_z \cdot H \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}$$



Слика 9.88 Сили што дејствуваат на ламела од бесконечна косина

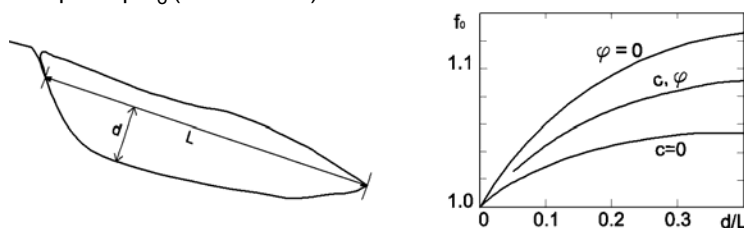
Оваа равенка претставува општа равенка за анализа на стабилност на бесконечна косина.

Методот на **Џанбу** е почетно разработен во 1954 година, каде авторот дефинирал општа метода на ламели, која ги задоволува сите услови на рамнотежа. Во 1956 година, овој автор ја предложил својата упростена метода, каде се претпоставува дека меѓуламеларните сили се хоризонтални (Слика 9.89).



Слика 9.89 Упростена метода на Џанбу: тело кое се свлекува и сили што дејствуваат на типична ламела

Влијанието на меѓуламеларните сили на смолкнување Џанбу го вовел преку корекцискиот фактор f_0 (Слика 9.90).



Слика 9.90 Корекциски фактор f_0 според Џанбу

Пресметката на факторот на сигурност се врши по следните формули:

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n [c_i \cdot b_i + [W_i - u_i \cdot b_i] \cdot \text{tg} \varphi_i] \cdot n_{ai}}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \text{tg} \alpha_i} ; n_{ai} = \frac{1/\cos^2 \alpha}{1 + \text{tg} \alpha_i \cdot \text{tg} \varphi_i' / F_s}$$

Оваа метода дава резултати со прифатлива точност само во случај на релативно плитки, хомогени и издолжени тела, но не е и за длабоки површини на лизгање со изразито нехомоген пресек.

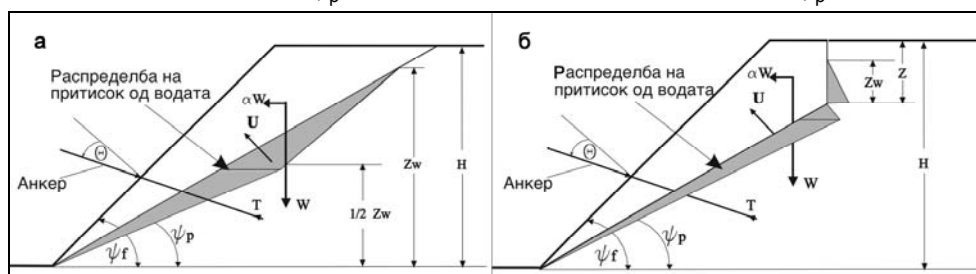
Основни методи за пресметка на стабилноста во цврсти карпести маси

Најчести случаи кои се анализираат кај цврстите карпести маси се т.н. рамнински и клиновиден лом. Во практика се најпознати методите на Хек и Бреј. Условите за пресметка на факторот на сигурност за случај на рамнински лом по Хек (1999) се прикажани на Сликата 9.91. За случај на лом по должина на една рамнина од Сликата 9.91-а, факторот на сигурност е дефиниран со следниот израз:

$$F = \frac{cA + (W(\cos \psi_p - \alpha \sin \psi_p) - U + T \cos \Theta) \tan \phi}{W(\sin \psi_p + \alpha \cos \psi_p) - T \sin \Theta}$$

Каде што е:

$$A = \frac{H}{\sin \psi_p}, \quad W = \frac{\gamma H^2}{2} (\cot \psi_p - \cot \psi_f), \quad U = \frac{\gamma_w H z_w^2}{4 \sin \psi_p}$$



Слика 9.91 Поедноставени шеми за пресметка на рамнински лом според Хек (1999): а - лом по должина на една рамнина, б - лом вдолж една рамнина во комбинација со тензиона пукнатина во врв на косина

За случај на лом по должина на една рамнина, каде што на врвот на косината постои и тензиона пукнатина (Слика 9.91-б), факторот на сигурност е дефиниран со следниот израз:

$$F = \frac{cA + (W(\cos \psi_p - \alpha \sin \psi_p) - U - V \sin \psi_p + T \cos \theta) \tan \phi}{W(\sin \psi_p + \alpha \cos \psi_p) + V \cos \psi_p - T \sin \theta}$$

Каде што е:

$$z = H \left(1 - \sqrt{\cot \psi_f \cdot \tan \psi_p} \right); \quad A = \frac{H-z}{\sin \psi_p}; \quad W = \frac{\gamma H^2}{2} \left(1 - (z/H)^2 \cot \psi_p - \cot \psi_f \right)$$

$$U = \frac{\gamma_w z_w^2 A}{2}; \quad V = \frac{\gamma_w z_w^2}{2}$$

Ознаките во претходните формули се однесуваат на следните членови:

F - фактор на сигурност за лизгање по должина на една рамнина;

H - висина на косина (m);

ψ_f - агол на наклонот на косината, мерено од хоризонтала ($^\circ$);

ψ_p - агол на рамнината на лом (пукнатината), мерено од хоризонтала ($^\circ$);

z - длабина на тензиона пукнатина (m);

z_w - длабина на вода во тензионата пукнатина (m);

α - хоризонтално забрзување од земјотрес или минирање;

(се дефинира како процент од земјиното забрзување g);

γ ; γ_w , волуменска тежина на карпата односно на водата (kN/m^3);

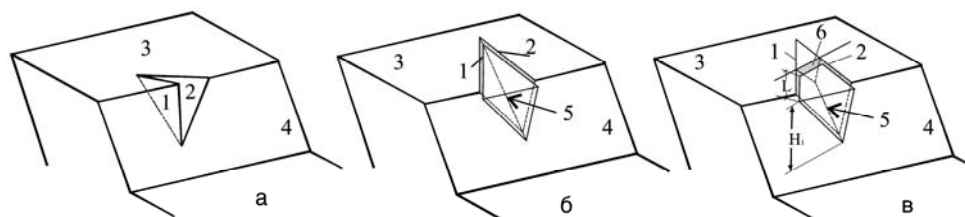
c - кохезија по должина на рамнината на лом (kPa);

ϕ - агол на внатрешно триење по должина на рамнината на лом ($^\circ$);

T - сила од анкер (kN);

θ - наклон на анкерот (ако постои) во ($^\circ$);

Во природата **клиновидните ломови** се појавуваат многу често. Геометриските елементи и односи меѓу пукнатините, кои илустрираат комбинации на клинови се прикажани на Сликата 9.92.



Слика 9.92 Можни комбинации на клиновидни ломови според Бреј: **а**- случај со т.н. преклопување на две пукнатини 1 и 2, за косина со горна површина на косината (3) и површина на косината (4); **б**- комбинација на две пукнатини (1 и 2) кои имаат своја пресечна права (5), која исклинува во чело на косина (4); **в**- случај со тензиона пукнатина (6);

Решението на Хек е прикажано со следните формули:

$$F = \frac{3}{\gamma H} (c_A X + c_B Y) + \left(A - \frac{\gamma_w}{2\gamma} X \right) \tan \phi_A + \left(B - \frac{\gamma_w}{2\gamma} Y \right) \tan \phi_B$$

$$X = \frac{\sin \theta_{24}}{\sin \theta_{45} \cos \theta_{2,na}} ; Y = \frac{\sin \theta_{13}}{\sin \theta_{35} \cos \theta_{1,nb}} ;$$

$$A = \frac{\cos \psi_a - \cos \psi_b \cos \theta_{na,nb}}{\sin \psi_5 \sin^2 \theta_{na,nb}} ; B = \frac{\cos \psi_b - \cos \psi_a \cos \theta_{na,nb}}{\sin \psi_5 \sin^2 \theta_{na,nb}}$$

За случај кога по должина на пукнатините постои само триење (случај без кохезија), горната равенка ја добива следната форма:

$$F = (A) \tan \phi_A + (B) \tan \phi_B$$

Каде што е: F - фактор на сигурност;

ψ_5 - агол на пресек на рамнини ($^\circ$);

$\psi_{a,b}$ - агол на рамнини на лом (пукнатини), мерено од хоризонтала ($^\circ$);

$\gamma ; \gamma_w$ - волуменска тежина на карпата односно на водата (kN/m^3);

c_A, c_B - кохезија по должина на рамнината а и b (kPa);

ϕ_A, ϕ_B - агол на внатрешно триење по должина на рамнини а и b ($^\circ$);

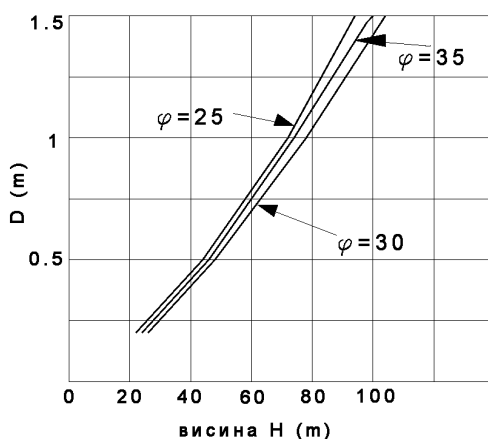
θ - агли меѓу одредени површини и рамнини ($^\circ$);

A, B, X, Y - бездимензионални коефициенти зависни од геометријата на клинот дефинирани по податоци од стереографска проекција (Слика 9.93).

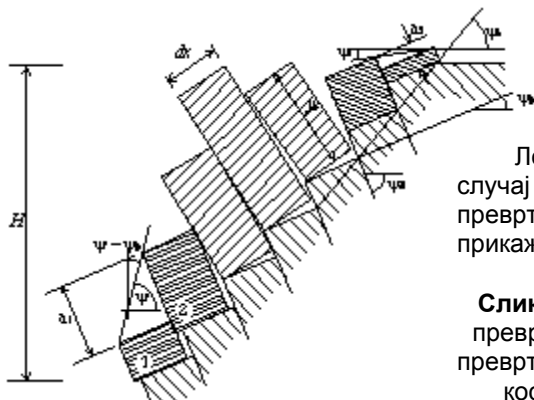
Можноста за лом со свивање или прекршување е релативно редок случај, а е можен само кога падот на слоевите или пукнатините е со исти елементи како и падот на косината. Детали за пресметки можат да се сретнат кај Каверс (1981). Едноставен начин за проценка на дозволените висини на косините (H), дебелината на слоевите, односно растојанието меѓу пукнатините (D) и аголот на внатрешно триење (ϕ) е прикажан на Сликата 9.94.



Слика 9.93 Приказ на потребни агли и параметри на стереографска проекција за пресметка на стабилност на клин омеѓен со две пукнатини

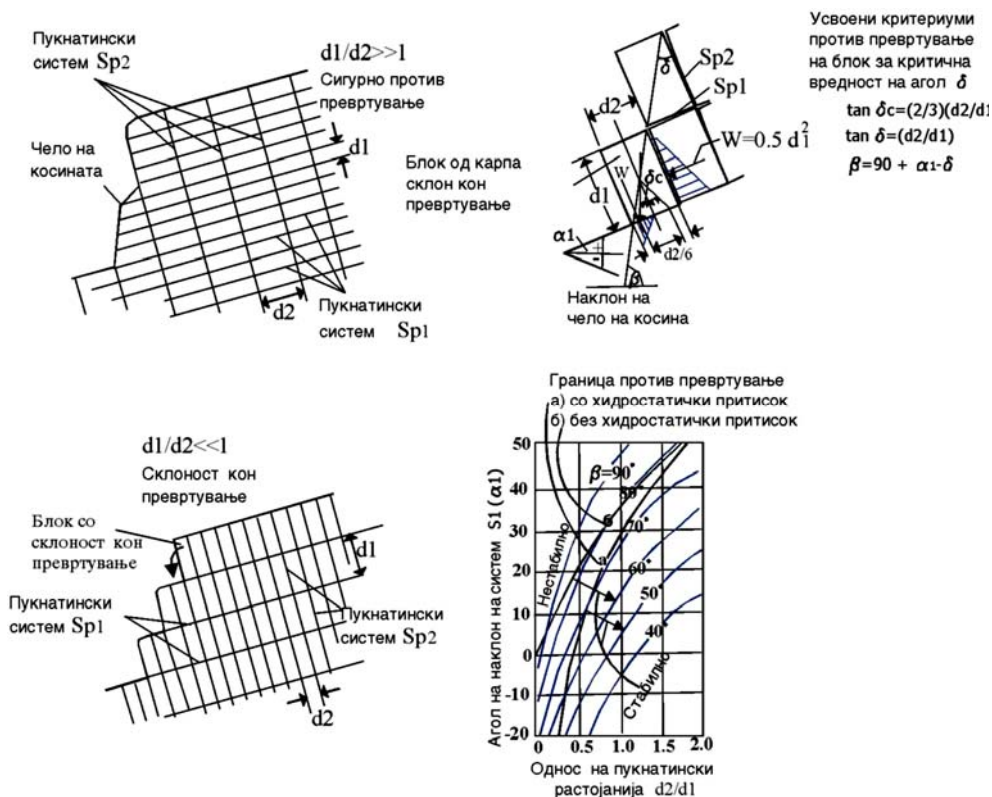


Слика 9.94 Дијаграм за проценка на висина на стабилна косина против превртување врз основа на позната дебелина на слоеви (D) и агол на внатрешно триење (ϕ)



Ломот со превртување е поредок случај во практиката, а условите за превртување на група на блокови се прикажани на Сликите 9.95 и 9.96.

Слика 9.95 Модел за анализа на превртување кај група блокови со превртување на наклонета скалеста косина (Гудман и Бреј, 1976)



Слика 9.96 Приказ на кинематски услови за лом со превртување за косини со два системи на пукнатини

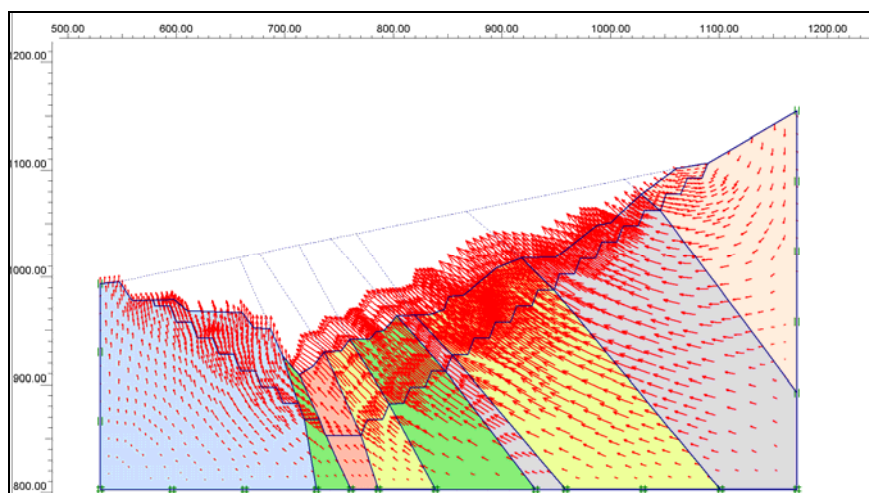
Самите пресметки за услови за превртување се вршат за варијанти кога се дефинира факторот на сигурност на косината, или пак, кога се бара потребната дополнителна сила за стабилизирање на косина склона кон превртување. Најпознати се методите на Гудман и Бреј (1976) и на Занбек (1983).

Основни принципи за вршење на напонско-деформациските анализи

Напонско - деформациските анализи кај косините најчесто се прават со т.н. **метод на конечни елементи**. Основата на овој метод лежи во физичка поделба (дискретизација) на просторот со конечни елементи со соодветни димензии. Како излез од пресметките се добиваат напрегања и деформации во определени делови од анализираниот простор (Слика 9.97).

Со комбинација на резултатите од пресметките на стабилноста по методите на гранична рамнотежа и конечни елементи, може да се овозможи многу добро дефинирање на состојбата на стабилност, но тука треба да се нагласи дека точноста на пресметките најмногу зависи од квалитетот на влезните податоци.

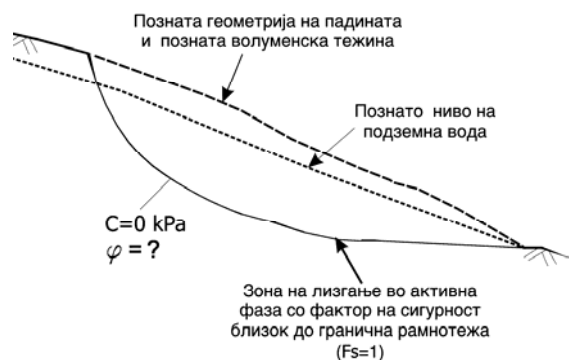
Во спротивно, сите пресметки имаат формален карактер.



Слика 9.97 Приказ на пресметани поместувања за еден профил од површински коп Ржаново-Кавадаречко (стрелките укажуваат на правецот на очекувани поместувања)

Повратни анализи

Вообичаено, кај косини кои еднаш претрпеле поместување, во анализите се усвојува дека кохезијата е сведена на вредност $C=0$ kPa. Така, ако се знае геометријата на косината, положбата на површината на свлекување и нивото на подземна вода, може на обратен, односно повратен начин да се процени вредноста на аголот на внатрешно триење по должина на рамнината на лом. Таквата постапка се нарекува **повратна анализа** (анг. back analysis) (Слика 9.98).



Слика 9.98 Приказ на концепт на повратна анализа

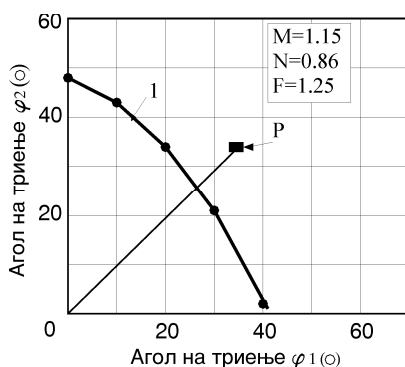
На овој начин се одредува просечната мобилизирана јакост при лом, која во случај на големи поместувања, најчесто одговара на резидуалните параметри на јакоста на смолкнување. Со таквата постапка се проверува и веродостојноста на лабораториски испитувања на резидуалната јакост. Повратната анализа се користи со цел да се пронајде рационален начин за проектирање и изведат стабилизационите мерки. Имено, ако е познато дека при смолкнување на некоја падина факторот на сигурност е $F_s = 1$, кога се знае геометријата на косината, се

бараат параметри кои одговараат на реалната ситуација. Така, при проектирањето на ефектите од санациските мерки, како задоволителен ефект од санацијата може да се усвои релативно понизок фактор на сигурност од ред на големина $F_{S,\min} = 1.1-1.2$ па и понизок, доколку може да се толерираат мали поместувања во вид на ползење на косината.

Концепт на анVELOПА на јаКОСТА

Концептот на анVELOПА на јаКОСТА е всушност специфичен случај на повратна анализа. Имено, за косина со позната геометрија и гранични услови, преку серија на анализи и варирање на влезните параметри, може да се конструираат серија на криви или **анVELOПИ** каде решението би било задоволено за различни комбинации на параметрите на јаКОСТА во еден дводимензионален простор. Најчесто се конструира анVELOПА за вредност на факторот на сигурност $F=1$, односно состојба на гранична рамнотежа, при што дводимензионалниот простор на анVELOПАТА е дефиниран со кохезијата (c) и аголот на внатрешно триење (φ). Ваква постапка е корисна за параметарската анализа на стабилноста во хомогено градени почвени косини и кај рамнински лом вдолж една пукнатина.

Кај цврстоврзаните карпести маси, граничните услови и геометријата на потенцијално нестабилното тело се дефинирани од постојните дисконтинуитети. Кај клиновидните карпести блокови е погодно да се конструираат анVELOПИ во т.н $\varphi_1 - \varphi_2$ координатен систем дефиниран со агли на триење по должина на дисконтинуитетите по кои настанал ломот. Факторот на сигурност F се дефинира како однос меѓу потегот **OP** со потегот кој одговара на должината на потегот од координатниот почеток до пресекот со јаКОСТНАТА анVELOПА. Пример за конструција на анVELOПА за клиновидно тело е прикажан на Слика 9.99.



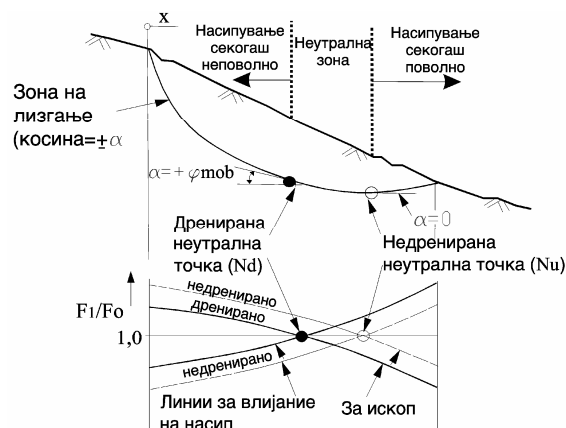
Слика 9.99 АнVELOПА на јаКОСТА за клиновидно тело за случај на гранична рамнотежа ($F=1$)

Се нагласува дека при анализите се можни варирања и на притисокот од вода по должина на пукнатини, динамичките дејства, ефектот од примена на заштитни мерки и друго.

Концепт на неутрална линија

Овој концепт е предложен од Хачинсон (1977). Се смета како корисна алатка за проценка на ефектите од стабилизационите мерки при промена на контурите на нестабилните маси со насипување или растеретување во некои зони. Имено, за секој пресек на нестабилното тело може да се дефинираат две точки, кои ги разделуваат позитивните од негативните ефекти од насипувањето или

засекувањето на косините за неденирани и денирани услови. Со поврзување на точките од пресеците во планот се добива **неутрална линија**. При проектирање на санационите мерки од тип на делумни засекувања и насипувања,



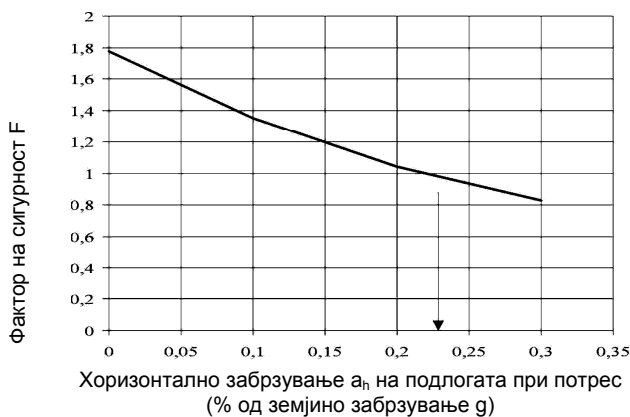
неутралните точки може да ја менуваат својата првобитна положба така што во основата на нестабилните маси може да се одредат подрачја ограничени со неутрални линии каде ископот или насипувањето може да имаат позитивни или негативни влијанија (Слика 9.100).

Слика 9.100 Неутрална линија за критична површина на лизгање

Ова овозможува квалитативно да се оценат привремените и трајните ефекти од стабилизационите мерки при прераспределба на масата заради стабилизација на косината.

Концепт на критично забрзување

Во услови на сеизмички влијанија, треба да се дефинира големината на хоризонталното сеизмичко забрзување при кое факторот на сигурност $F_s = 1$. Ова се нарекува **критично забрзување**, и е добар показател на стабилноста на теренот за некое дадено сеизмичко забрзување (Слика 9.101).



Слика 9.101 Дефинирање на критично забрзување на подлогата при потрес кога факторот на сигурност $F=1$

Суштината на ваквата анализа е да се спореди потребното забрзување од некој потрес и да се процени дали тоа може да предизвика лом на подлогата. Со споредба на регионалните податоци за сеизмичноста на теренот, може да се оцени, дали очекуваните забрзувања од потресот би биле критични за некоја косина или падина. Оваа анализа понекогаш се нарекува и **квзистатичка**,

бидејќи индиректно се вклучуваат динамички влијанија од потресите, во анализа која во своја суштина има статички карактер.

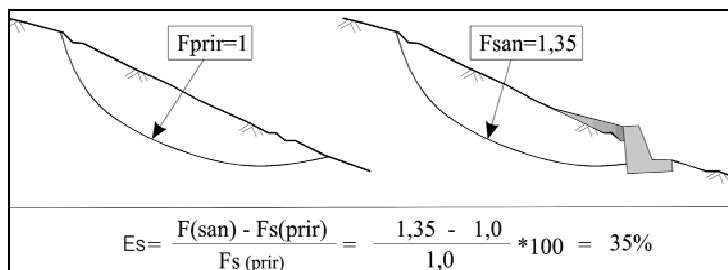
ПРИНЦИПИ ЗА САНАЦИЈА НА СВЛЕЧИШТАТА

Општо е познато дека нестабилните терени се најнеповолни за градење и изведување на работите. Ако постојат изградени објекти на такви терени, прашање на време е кога тие ќе бидат загрозени или целосно уништени. Затоа, со цел да се отстранат или да се минимизираат оштетувања на теренот или објектите, се налага потреба да се преземат технички мерки за отстранување на можните штетни влијанија. Овие мерки се нарекуваат **санациски** мерки. За да се изврши нивно коректно проектирање, основен услов е да се извршат соодветни геотехнички истражувања и испитувања со цел да се добијат подлоги за санација на свлечиштето и околниот терен. Со истражувањата треба да се дефинираат: геолошката градба на теренот, физичко-механичките својства на карпестите маси, морфолошките и хидрогеолошките одлики на теренот, климатските услови, карактеристиките на инженерските интервенции, предусловите и причините, кои довеле за појава на свлекување, елементите на самото свлечиште, состојбата на постојните објекти и инженерски зафати и сл. Значаен чекор при дефинирање на оптимални санациски мерки се анализите на стабилност. Во самите анализи се внесуваат и конструктивните елементи и оптоварувањата од објектите за санација. Квантитативно, степенот на успешност на санацијата се проценува со користење на следната формула:

$$E_s = \frac{F_{s(\text{san})} - F_{s(\text{prir})}}{F_{s(\text{prir})}} * 100(\%)$$

Каде што е: E_s - ефект од санација;
 $F_{s(\text{san})}$ - фактор на сигурност во санирана состојба;
 $F_{s(\text{prir})}$ - фактор на сигурност во природна состојба.

Кај терени каде има појава на активно свлекување, логично е дека факторот на сигурност е околу единица или нешто под единица, но за анализа на ефектите може да се усвои вредност на $F_s=1$. По проектирање на санационите мерки, се цени ефектот од мерките преку повторна анализа. Се смета дека подобрување од околу 5% е недоволно. Подобрување од 15% се смета како минимално дозволен ефект, но со тоа не се гарантира дека ќе има целосен престанок на поместувањата. Така, секогаш кога е можно, треба да се тежнее кон ефекти до 40%, но притоа, да се внимава мерките да не бидат предимензионирани. Принципот на анализа на санационите ефекти е прикажан на Слика 9.102.



Слика 9.102 Анализа на ефект од санација за решение со потпорен ѕид и дополнително насипување во ножица на свлечиште

Од сликата, се гледа дека ефектот од санација треба да се анализира за иста површина на смолкнување, која, кај активни свлечишта, треба да е самата површина на лизгање.

ОСНОВНИ ПРАВИЛА ПРИ САНАЦИЈА НА СВЛЕЧИШТА

Секое свлечиште е посебен случај, така што секоја генерализација при избор на мерките за санација е опасна. Сепак, постојат неколку правила, кои можат да се сметаат како принципи, кои се применуваат при проектирање на санациските мерки и тоа:

- секогаш треба да се пронајдат причините, кои се пресудни за појавата на свлечиштето;
- секогаш кога има можност нестабилните терени треба да се избегнуваат за градба;
- приложување на секаков дополнителен товар во зона на чело на свлечиштето е неповолна варијанта;
- одземање на маса (ископ) во зона на свлечиштето е секогаш неповолно и може да предизвика негово реактивирање;
- секогаш треба да се тежнее кон минимизирање на можноста за инфилтрација на површинска вода во свлечиштето и да се намали приливот и притисоците од подземни води кон зоната на лизгање;
- санацијата треба да се изврши правовремено, а во спротивно се создаваат услови за натамошно ширење на процесот.

Произлегува дека за примена на која било санациска мерка е потребно целосно осознавање на свлечиштето и самиот процес на свлек, после што тие може да се проектираат и да се изведуваат. Во принцип, за санирање на свлечиштата можат да се применат три групи на санациски мерки:

- мерки со кои се отстрануваат причините за свлекувањето;
- мерки со кои се подобруваат својствата на карпестите маси во телото и околу свлечиштето;
- мерки каде на силата на свлекувањето се спротивставува контра сила.

Инаку, самите мерки за санација се многубројни. Со анализа на досегашните познавања во геотехниката и со синтеза на податоците, може да се издвојат неколку основни групи на санациони мерки (Табела 9.15).

Според времето на изведувањето на мерките, постојат два основни вида на санација: **превентивни** и **акутни** мерки за санација.

Превентивните мерки се применуваат како претходни за да се спречи појавата на свлекување на лабилните делови на теренот. Тука може да се применат поголем број методи, сами или во комбинација како на пример:

- засадување на вегетациска заштита, односно затревување и пошумување;
- затварање на пукнатините во телото на свлечиштето со глиновит материјал;
- израмнување и општо уредување на површината на свлечиштето;
- изработка на водозафатни објекти за површинските и подземните води;
- спречување на причините за разрушување на крајбрежните делови на падините од ударите на брановите кај езерата и морињата, ударите на речната матица - кај површинските токови и друго со поставување на заштита од нафрлен камен, крупни блокови, заштитни ѕидови и др.

Табела 9.15. Систематизација на можни мерки за санација кај свлечиштата

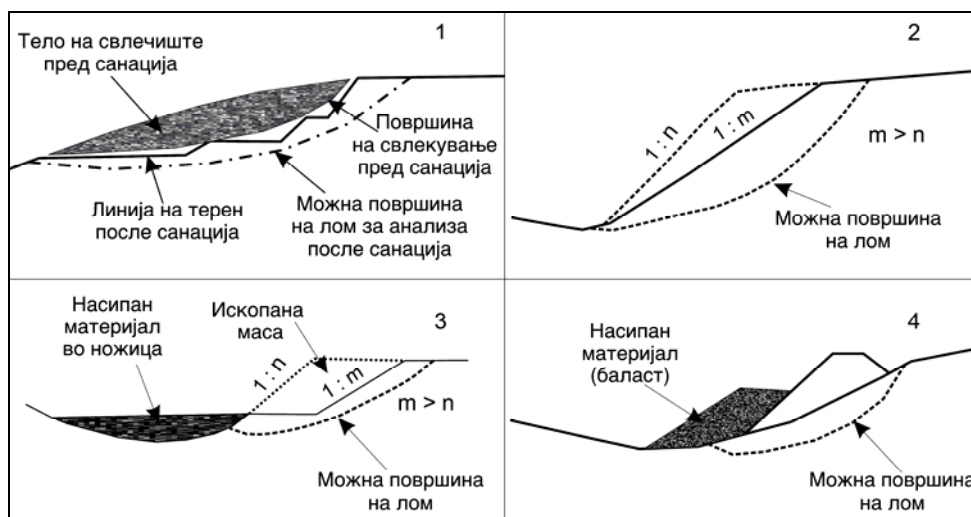
1. ПРОМЕНА НА ГЕОМЕТРИЈА НА ПАДИНАТА ИЛИ КОСИНАТА	
1.1	Отстранување на материјалот од телото на свлечиштето со можна замена со полесен материјал или подобрување на слабо носива подлога врз која би се граделе насипи, со цел да се избегне идно свлекување;
1.2	Додавање материјали на површина на свлечиштето во зони кои дејствуваат како контраовар или насип;
1.3	Промена на наклонот на косината, односно ублажување на наклонот;
2. ДРЕНИРАЊЕ	
2.1	Површински дренажи, кои го свртуваат течењето на водата надвор од зона на свлечиштето со собирни канали и дренажни цевки;
2.2	Плитки или длабоки дренажни канали наполнети со геоматеријали, кои слободно се дренираат (крупнозрни гранулирани материјали или геосинтетици);
2.3	Ребрести контрафори од крупнозрн материјал;
2.4	Вертикални дупнатини со мал пречник за самодренирање или за испумпување на водата;
2.5	Вертикални дренажни бунари со гравитациско дренирање;
2.6	Субхоризонтални или субвертикални дупнатини;
2.7	Дренажни тунели, галерии или поткопи;
2.8	Вакуумско одводнување;
2.9	Дренирање со помош на сифони;
2.10	Електроосмотско одводнување;
2.11	Со садење вегетација која врши брза евапотранспирација;
2.12	
3. ПОТПОРНИ ГРАДБИ	
3.1	Гравитациски потпорни ѕидови;
3.2	Ѕидови во форма на скара;
3.3	Габионски ѕидови;
3.4	Пасивни шипови, столбови и кесони;
3.5	Армирано бетонски потпорни ѕидови;
3.6	Потпорни конструкции од армирана земја од полимерни или метални ленти за армирање;
3.7	Ребрасти контрафори од крупнозрн материјал;
3.8	Заштитни мрежи за косини кај цврсти карпи;
3.9	Мерки за намалување на одронување со камени обложни ровови, берми, огради и ѕидови;
3.10	Заштитни карпести или бетонски блокови против ерозија;
3.11	Обложни конструкции;
4. ВНАТРЕШНО ЗАЈАКНАТИ КОСИНИ	
4.1	Анкерисување на косини со клинови или анкери;
4.2	Микроколови;
4.3	Зајакнување на почвата со анкери;
4.4	Анкерисување (преднапрегнато или непрегнапрегнато);
4.5	Инјектирање;
4.6	Камени столбови;
4.7	Третман на загревање;
4.8	Замрзнување;
4.9	Електроосмоза;
4.10	Садење на вегетацијата (механички ефект со зајакнување на косините со дејство на коренот на растенијатата);

Акутните санациони мерки се применуваат кога веќе, процесот на свлекувањето, станал активен и кога објектите се веќе загрозувани. Во овој случај,

може да се применат методи со изработка на канали, дренажни ровови и галерии, берми со растеретувањето на челото, замена на материјалот, потпирање на падините со сидови, сидрење, инјектирање, поставување на мрежи и др. Понекогаш, заради итност, свесно се применуваат **привремени примарни мерки** за да се намали ризикот од дополнителни оштетувања на теренот, објектите или животите на населението. По надминување на првичната опасност се преминува кон примена на **трајни санациски мерки**, кои се прават исклучиво врз основа на детални истражувања и проекти за санација на теренот. Примарните санациски мерки можат да се состојат од затворање на појавените пукнатини со глина, зарамнување на површината на теренот покрај општо уредување на падината, брзо спречување на влажнењето на теренот од површински и подземни води со изработка на соодветни водозафати, канали и дренажи. Која од конкретните мерки ќе се примени, зависи од карактеристиките на свлечиштето, положбата на некој објект во однос на свлечиштето, условите за пристап и можноста за комбинирање со други санациски мерки. Шематски приказ на најчестите и најтипични варијанти за санација се прикажани на следните Слики: 9.103, 9.104, 9.105 и 9.106.



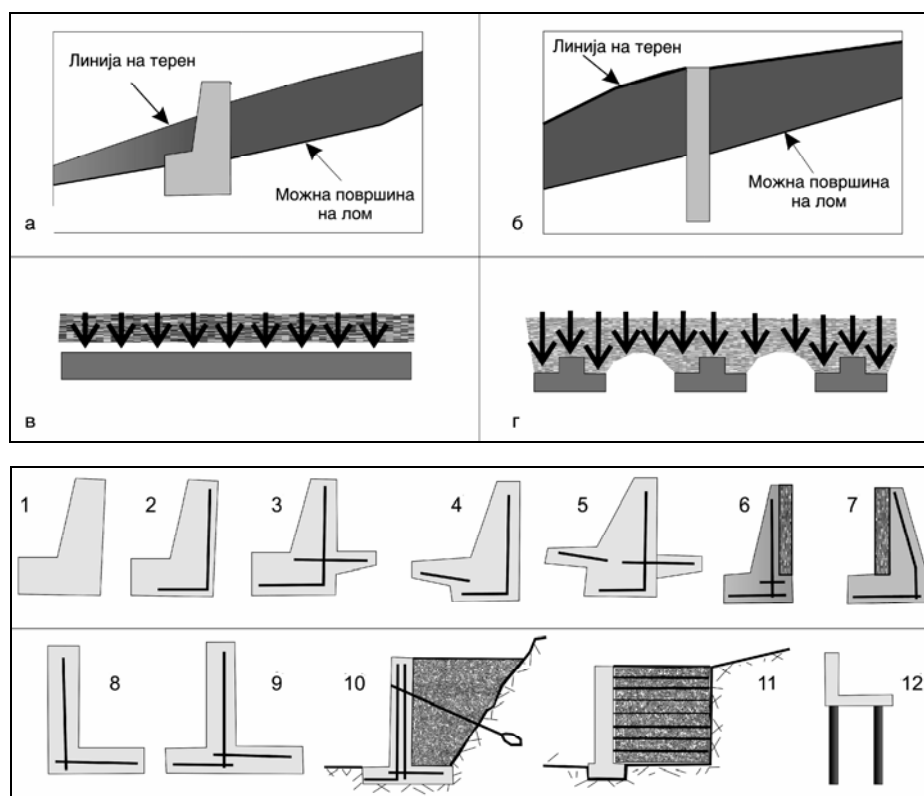
Слика 9.103 Превентивно подобрување на слабоносива подлога на која треба да се гради висок насип, со цел да се спречи негово идно свлекување



Слика 9.104 Варијанти на санација со промена на геометрија на косина: 1 - целосно отстранување на нестабилна маса, 2 - промена на геометрија на косина со нејзино ублажување, 3 - прераспределба на масите со ископ на дел од нестабилна маса и ставање во ножица на свлечиште, 4 - насипување во дно на насип и свлечиште со контратовар со баласт од локален материјал

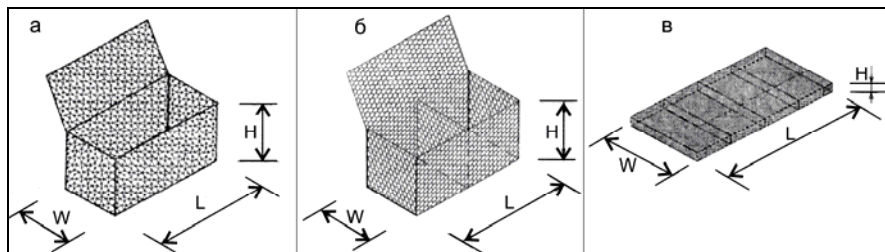


Слика 9.105 Санација на косини со обложни потпорни конструкции: 1 - од бетон, 2 - прскан бетон и анкери



Слика 9.106 Некои типски потпорни конструкции за санација на свлечишта или превентивно потпирање на терен: а - плитко фундирани потпорни конструкции, б - длабоко фундирани конструкции од тип на шипови или дијафрагми, в - континуирана конструкција, г - дисконтинуирана конструкција, 1 - гравитациски потпорни масивни бетонски конструкции, 2 - гравитациски потпорни конструкции од армиран бетон, 3 - полугравитациски потпорни армирано-бетонски конструкции со стабилизирачка конзола во заден дел, 4 - полугравитациски потпорни армирано-бетонски конструкции со стабилизирачка конзола во преден дел, 5 - полугравитациски потпорни армирано-бетонски конструкции со стабилизирачка конзола во заден и преден дел, 6 и 7 - дисконтинуирани потпорни конструкции од армиран бетон со платна во заден и преден дел, 8 - континуирани негравитациски конструкции од армиран бетон, 9 - континуирани негравитациски конструкции од армиран бетон, 10 - армирано-бетонска конструкција комбинирана со затега (анкер), 11 - конструкција од армирана земја, 12 - комбинирана конструкција составена од негравитациска конструкција во горен дел и длабоко фундиран долен дел на колови

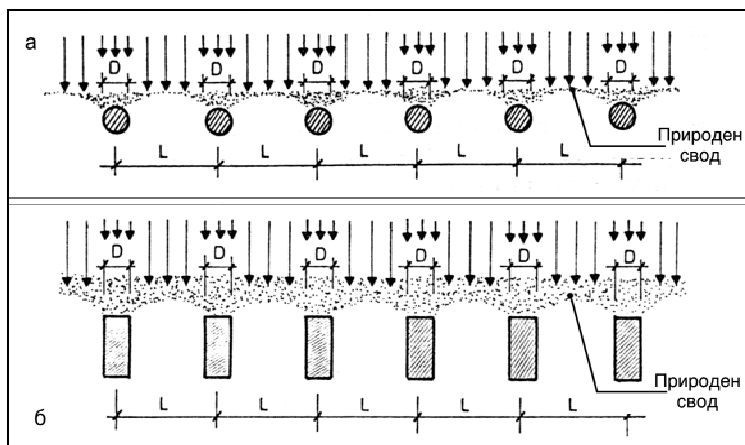
Често, при санација, се користат и флексибилни потпорни конструкции од тип на **габиони** (Слика 9.107).



Слика 9.107 Видови габионски кошери со различна висина (H), ширина (W) и должина (L): а - без прегради, б - со прегради, в - џамбо габиони или душеци

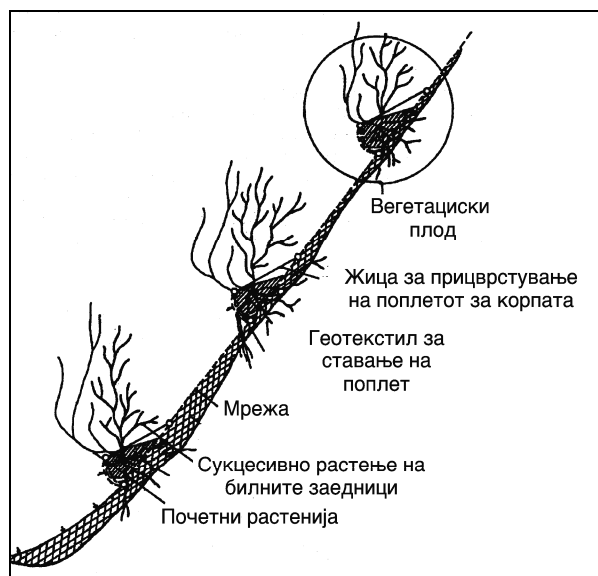
Габионските ѕидови се всушност комбинација на т.н габионски кош од челична плетена мрежа, кој се полни со реден камен. Нивната предност е што можат да претрпат поголеми деформации, а при тоа да не се наруши глобалната стабилност на теренот.

Варијантите со длабоко фундаирање се применуваат кај длабоки свлечишта, а по правило, тие се дисконтинуирани конструкции. Конструкцијата е главно од армирано-бетонски колови со одреден дијаметар (D), а може да се постават во еден или повеќе редови на одредено растојание (L). Растојанието L треба да е доволно да се формира природен свод меѓу два соседни колови, односно материјалот да не „протече“ меѓу двата колови (Слика 9.108).



Слика 9.108 а - Потпорна конструкција од колови, б - од дијафрагма

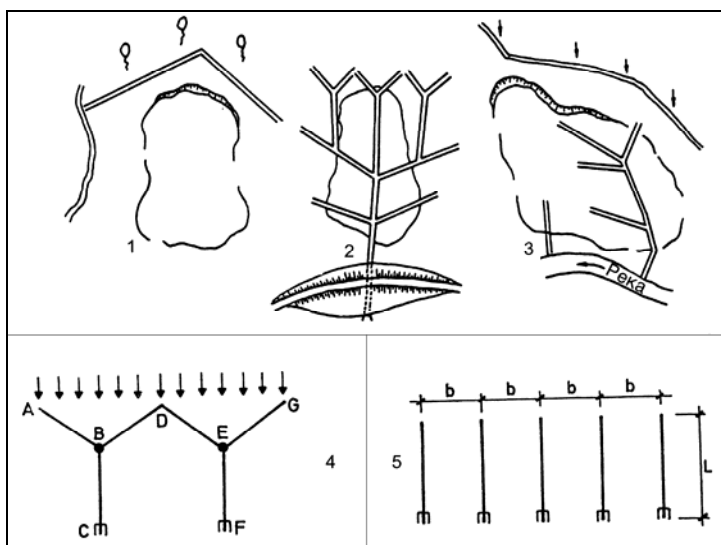
При решавање на практичните проблеми, различните видови санациски мерки многу често се комбинираат. Секогаш кога е можно, се препорачува примена на еколошки прифатливи решенија и примена на **вегетациона заштита** на падините косините со засадување на соодветни садници (Слика 9.109). Многу поволно на стабилноста дејствуваат растенија, кои имаат длабок корен и кои вршат брза евапотранспирација. Со длабоките корења, на некој начин се врши природно армирање на почвата, а со транспирацијата, се извлекува влагата од почвата со што се намалува влажноста и се дава придонес кон зголемување на јакоста на смолкнување.



Слика 9.109 Заштита на косина со примена на вегетациски мерки

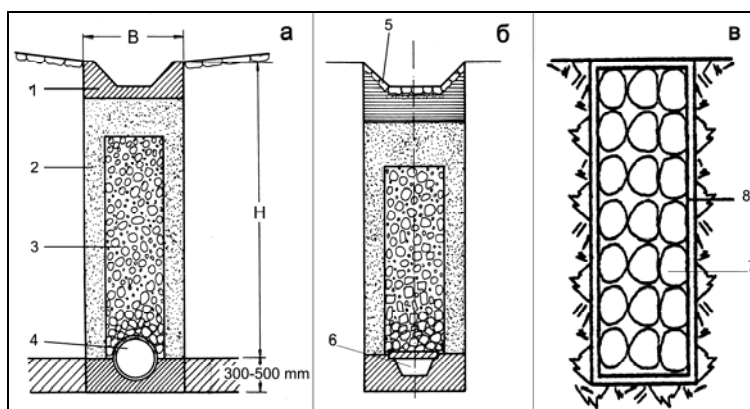
На пример, една садница од триесетгодишна бреза со транспирација, исфрла годишно од почвата 32 000 литри вода. Една врба со среден раст со своите корења врзува повеќе од 5 до 10 кубни метра земја. За пошумување на свлечиштата најпогодни дрвја се: врба, бреза, топола, багрем, јасен и сл. Овие видови имаат најпродуктивна сила на коренот и најбрзо растат. Кај свлечиштата е неповолно да се садат зимзелени дрва и монокултурните смреки. На пример, смреката има плитки корења со релативно висок раст и поради тоа со тежината значително ја оптеретува површината на теренот. Многу чест случај на неповолно оптеретување на теренот имаме кај засеците, каде што не е посветено доволно внимание како се засадени дрвата. На вакви косини, засадена смрека, може да предизвикува одрони на патот. Исклучок прави црниот бор, кој добро ја врзува почвата, а потребите за вода и земјиште му се скромни, па е погоден за засадување во доломитски и варовничките терени. Со правилно пошумување на земјиштето, истовремено се оневозможува и појава на ерозија, што во крајна линија доведува до подобрување на општата стабилност на теренот.

Ако се тргне од фактот дека површинските и подземните води се едни од најчестите причинители и непосреден повод за свлекување, јасно е дека речиси кај сите свлечишта се јавува потреба од примена на мерките на **дренирање** и **одводнување**. На Сликата 9.110 и Сликата 9.111 се прикажани неколку типични комбинации на поставување на одводни и дренажни канали кај свлечиштата. Конструкцијата на дренажите може да биде различна. Вообичаено се користи комбинација на дренажен материјал, главно, од чакалест состав со дренажна цевка, која е перфорирана во горниот дел. Понекогаш дренажите се прават од ровови, кои едноставно се пополнуваат со дробен камен или чакалест материјал. Ровот од страните се обвива со т.н. **геосинтетски материјал**, кој служи за раздвојување на грубозрниот материјал во ровот со околната почва, односно спречува суфозија и наполнување на дренажата. За вакви намени може да послужи и т.н. **дренажен геосинтетик**, кој на некој начин има функција и за зајакнување на теренот.



Слика 9.110 Шеми за површински одводни канали и дренажи кај свлечишта:

1 - ободен канал, 2 - комбинација на канали во тело на свлечиште од Y тип и во вид на ребина коска, 3 - ободни канали со канали во тело на свлечиште, 4 - дренажен систем во вид на Y - дренажи каде каналите A - B - D - E - G се собирни, а B - C и E - F се одводни канали, 5 - дисконтинуирана дренажа.



Слика 9.111 Можни типови на дренажи: а - подземна дренажа комбинирана со површински бетонски канал, б - подземна дренажа комбинирана со површински канал од реден камен, в - дренажа исполнета со крупен дробен камен или грубозрн материјал обвиен со вештачки материјал-геотекстил, 1 - површински бетонски канал, 2 - поситнозрн слој од песклив филтерски материјал со функција да спречи внесување ситни честички од околниот терен, 3 - грубозрн чакалест материјал, 4 - дренажна цевка која во горна зона е перфорирана, 5 - површински канал обложен со реден камен, 6 - дренажен канал покриен со монтажни бетонски елементи со отворени спојници, 7 - дробен камен или грубозрн материјал, 8 – геотекстил.

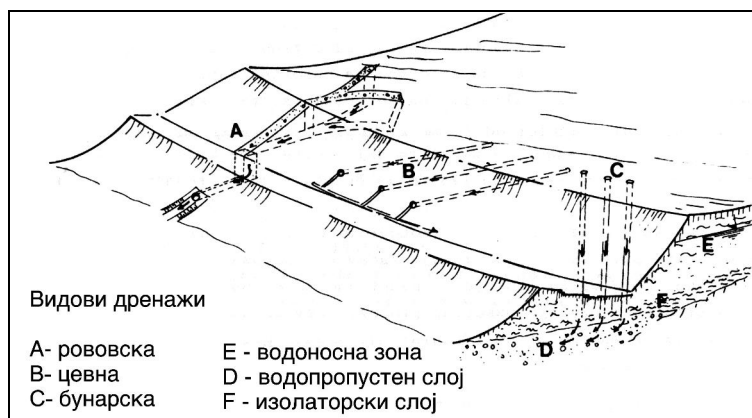
За да се постигне ефикасно и рационално дренаирање на теренот, е потребно да се запазат некои основни принципи и тоа:

- дренирањето на теренот да се направи во мера со која ќе се обезбеди стабилност на теренот и функционалност на изградениот објект. Ова подразбира целосно или делумно снижување на нивото на подземната вода, целосно или делумно смалување на хидростатичките и хидродинамичките сили од узгонот или силите на порниот притисок.
- дренажниот систем е потребно да биде изведен на начин да може ефикасно да ја прими и контролирано да се одведе зафатената подземна вода. Тоа се постигнува со правилно димензионирање на ширината на дренажниот канал, правилен избор на основата на дренажата (од бетон или земја) и обезбедување на соодветен наклон на дренажните ровови кој се движи од мин. 0.50% до макс. 15%;
- при проектирањето е потребно точно да се дефинираат сите елементи на собирните и одводните ровови, а по потреба се проектираат комбинирани собирно-одводни ровови.
- спојувањето на одделни дренажни ровови да се изврши со помош на ревизиони окна, кои служат за контрола на работата на дренажите и за нивно прочистување.
- типот на дренажа зависи од количината на вода, која треба да се издренира, како и од карактеристиките на градежниот објект, кој треба да се штити.
- хоризонталната поставеност на дренажата треба да овозможи ефикасно и контролирано спроведување на подземните води до саканото место.
- собирните дренажни ровови е потребно да се проектираат така што подземната вода ќе ја примаат под агол помал од 90°.
- филтерскиот слој во дренажниот ров да се става на страната на протекувањето на подземната вода.
- исполнувањето на дренажниот ров мора да биде од минерални материји, кои не се раствараат во вода.
- должините на поедините ровови мора да овозможи функционирањето на дренажата во текот на експлоатацијата да биде контролирано. Значи е потребно да се проектираат ревизиони окна на секои 60 - 80 m'.
- ширина на дренажниот ров е потребно да биде доволна да ја прими потешната количина на вода но и да се овозможи технолошка изработка на дренажните ровови до потребната длабочина.
- дренажните системи треба да имаат и функцијата на дренирање на подземните води и функција на стабилизирање на теренот.

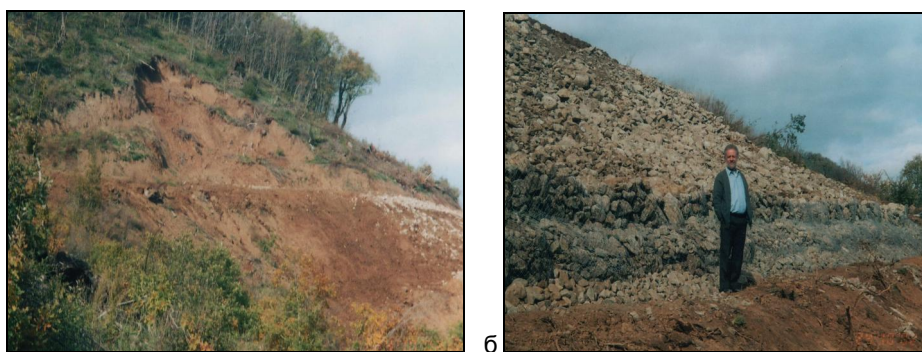
На Сликата 9.112, е прикажана можна положба на дренажните системи во просторот. Се гледа дека дренажите може да се постават вертикално, хоризонтално, да дренираат вода од повисоки кон пониски водоносни слоеви и слично.

За да се илустрира примената на мноштвото санациони мерки, на следните фотографии се прикажани неколку различни решенија.

На Сликата 9.113 е прикажано решение со прераспределба на масите, односно растеретување во горната зона и насипување во долната зона за едно свлечиште од нафтоводот Скопје - Солун.



Слика 9.112 Видови дренажи според поставеноста во просторот



Слика 9.113 Приказ на санирано свлечиште од нафтовод Скопје - Солун: а - зона на чело на свлечиште која е растеретена, б - потпирање во ножица со габиони и баласт од нафрлен камен како контратовар

На Сликата 9.114 е прикажано свлечиште санирано со дренирање, армирана земја и локална замена на материјалот од телото на свлечиштето.



Слика 9.114 Санација на свлечиште од косина на автопат Е-75 со изведба на т.н. Y-дренажи чиј извод завршува со собирна дренажа на ниво на автопатот

Примена на габионски конструкции е прикажана на Слика 9.115.



Слика 9.115 Санација на свлечиште од косина на автопатот Е-75 на дел од Катлановско брдо со изведба на габионски ѕидови

Пример за санација со растеретување на нестабилна маса до основна карпа и примена на потпорна конструкција од габиони со армирана земја во комбинација со дренажни мерки е прикажана на Сликата 9.116.



Слика 9.116 Санација на свлечиште на магистрален пат М-5 меѓу Ресен и Битола со комбинација на целосно растеретување на свлечена маса и потпирање со систем од габиони и армирана земја

На Сликата 9.117, пак е прикажано поставување на дренажен систем во зона на претходно растеретено чело на свлечиште кај Вруточки сифон од ХС „Маврово“.

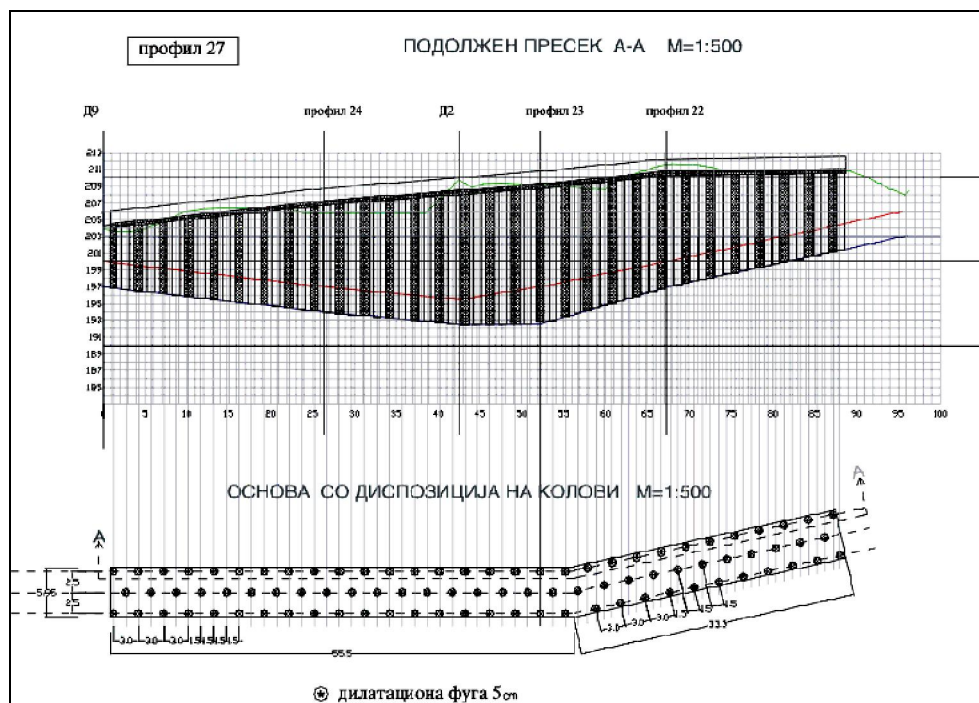


Слика 9.117 Изведба на дренажа составена од комбинација на дренажна цевка, геотекстил (бела маса на фотографијата) и грубозрн материјал во зона на растеретено чело на свлечиште кај Вруточки сифон од ХС „Маврово“

Основните елементи на применетите санациони мерки кај свлечиштето „Рамина“ во Велес се прикажани на Сликите од 9.118 до 9.120. Се работи за фазна санација

со примена на комплексни мерки. Суштината на решението се состои од изведба на две длабоки потпорни ѕидови од дворедни или троредни шахматско поставени армирано-бетонски колови, поврзани со надколова плоча.

На пример, на Сликата 9.118, е прикажан карактеристичен надолжен профил на конструкцијата која е од длабоко фундирани армирано-бетонски колови анкерисана со геотехнички преднапрегнати анкери.

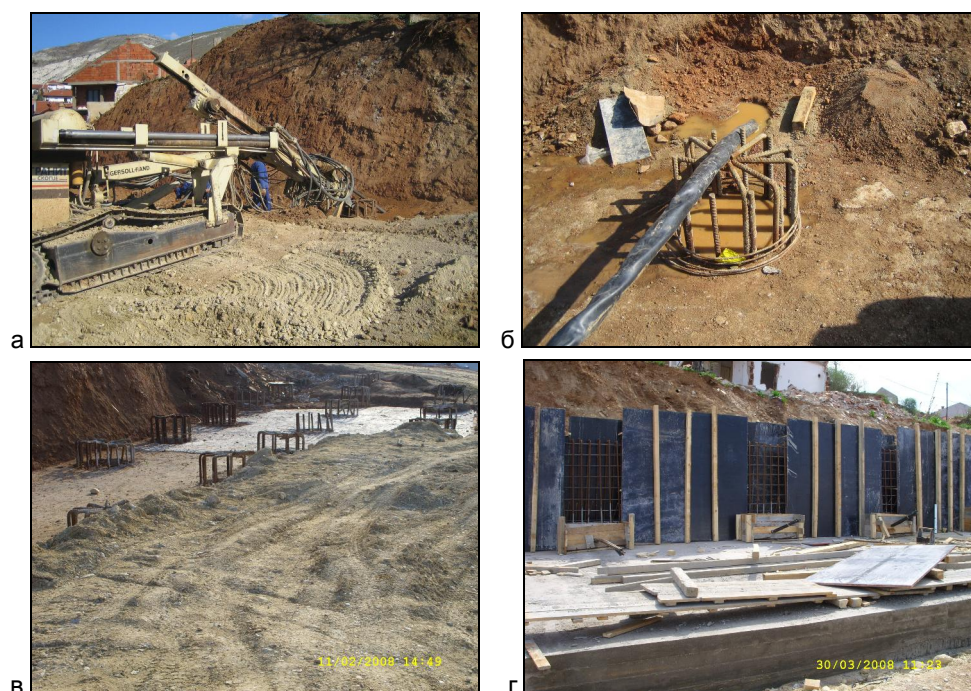


Слика 9.118 Надолжен пресек и диспозиција на потпорна конструкција ППК - 2 изведена во втора фаза на санација кај свлечиште „Рамина“ во Велес

Неколку изведбени детали се прикажани на следните фотографии.

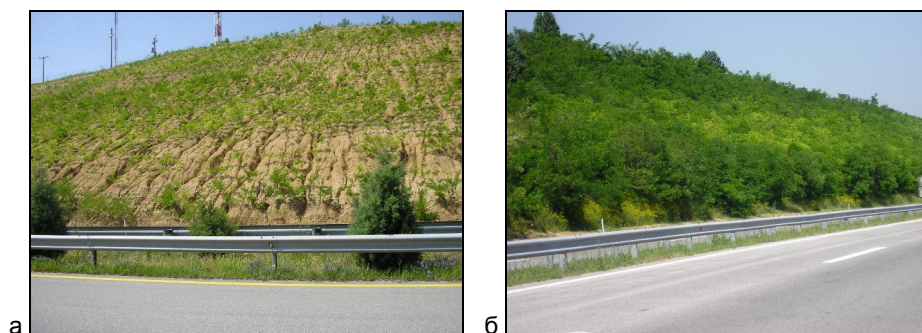


Слика 9.119 Фаза на бетонирање на една дупнатина за армирано - бетонски кол во кој е вметната арматурата



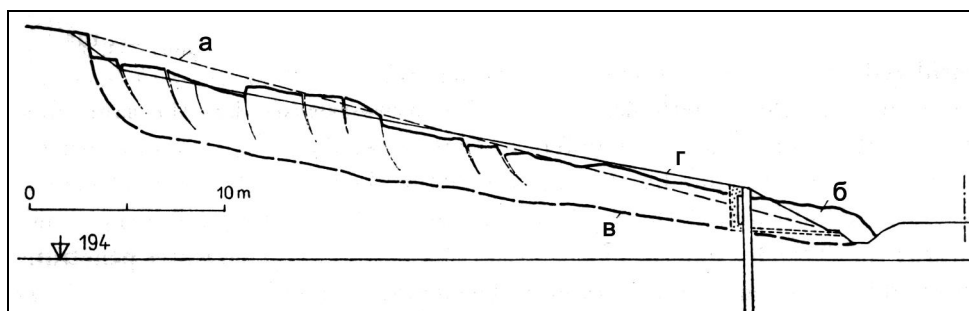
Слика 9.120 Приказ на типични фази на изведба на потпорна конструкција ППК2:
 а - фаза на дупчење за коси геотехнички анкери, б - фаза на вметнување на геотехнички анкери, в - поглед кон армирано-бетонски колови пред бетонирање на надколовата плоча, г - поглед на потпорен ѕид во фаза на шалување преку кој се затегаат анкерите

На Сликата 9.121, пак, е прикажан пример на заштитени косини со засадена багремова вегетација.



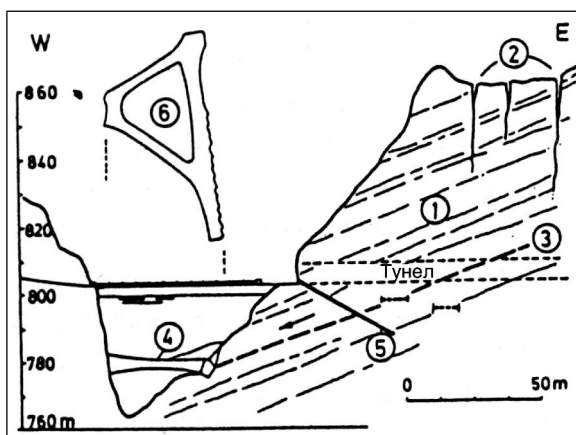
Слика 9.121 Заштита на вештачки косини од автопат Е - 75 во близина на Неготино со вегетација од тип на багреми: а - во почетна фаза на врзување, б - израснати садници

На Сликата 9.122 е прикажан профил на свлечиште во источна Словачка, предизвикано со ископ за засек на железничка линија. Свлечиштето е санирано со примена на **колови**, поставени во зона на неговата ножица (преземено од Заруба и Менцл, 1969).



Слика 9.122 Санација на свлечиште со колови: а - првобитна површина на терен, б - површина на терен после свлекување во 1965 година, в – по површина на лизгање, г-израмнета (испланирана) површина на терен

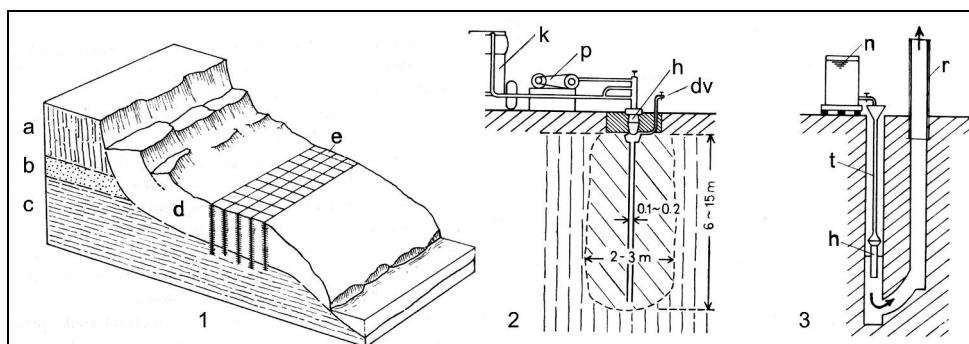
Во одредени случаи, се налага потреба од потпирање на теренот со специфични конструкции од тип на **распорки**, кои се распнуваат од еден на друг брег на теренот со цел да се обезбеди сигурна изведба и експлоатација на изградените објекти или самата падина. Ваков пример е прикажан на Сликата 9.123 за една нестабилна падина на влез во тунел Понтесеј во Италија, која е санирана со потпирање и распнување на специфична контрукција од еден на друг брег.



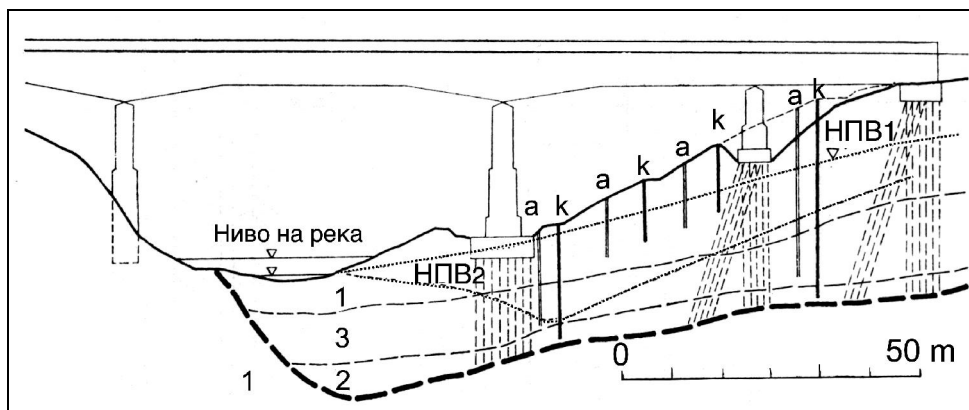
Слика 9.123 Санација на нестабилен терен со распнување на конструкција кај тунелот Понтесеј во Италија (преземено од кај М. Јањик, 1967)
1 - тријаски услоени варовници, 2 - пукнатини, 3 - површина на лизгање, 4 - конструкција за распнување, 5 - истражна дупнатина, 6 - приказ на конструкцијата во план.

На Сликата 9.124, пак, е прикажан начин на санирање на свлечиште на брег во близина на град Констанца во Романија. Применета е постапка на **термичка обработка на теренот** со помош на воведување на пламен од плин или мазут, со што се придонесува за исушување на теренот. Со оваа постапка, заради намалување на влажноста, се постигнува подобра јакост на нестабилната маса.

На Сликата 9.125, е прикажан начин на санирање на нестабилен терен кај еден мост во Онтарио - Канада, со примена на **електроосмоза**. Постапката се состои во прилагање на едононасочна електрична струја, при што се врши забрзано придвижување на подземната вода од анодата кон катодата, по што водата може полесно да се исцрпи од теренот. Оваа постапка е применлива главно кај глиновито-прашинести почви, каде што е отежнато дренарање со класични постапки.



Слика 9.124 Принципи на санација на терен со термичка обработка: 1 - свлечиште во близина на град Констанца - Романија (а - пластична глина, б - песок, с - иловица од лес, d - тело на свлечиште, е - дел од терен кој е термички обработен); 2 - шема за термичка обработка (к - компресор, р - пумпа за масло, h - согорувач на плин, dv - довод за воздух; 3 - шема за термичка обработка на глиновита почва (п - резервоар за масло, г - оџак за извлекување на согорени гасови, t - цевка за довод за масло (преземено од кај Заруба и Менцл, 1969)

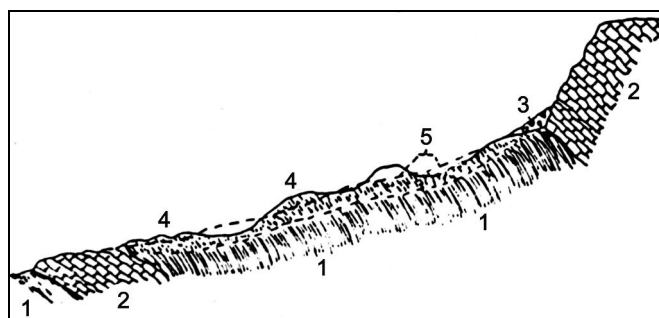


Слика 9.125 Санација на нестабилен терен со електроозмоза за мост на автопатот во Онтарио - Канада: а - анода, к - катода, 1 - основна карпа, 2 - глациофлувијален песок и чакал, 3 - цврсти прадини со прослојки на песок, 4 - растресити прадини слабносиви седименти, НПВ1 - ниво на подземна вода пред стабилизација, НПВ2 - ниво на подземна вода по стабилизација (според Казагранде и др.1961, преземено од Заруба и Менцл, 1969)

Понекогаш, некој нестабилен терен не се санира, туку, свлечиштето или се **премостува** или се поминува со **тунелска варијанта** под неговото тело.

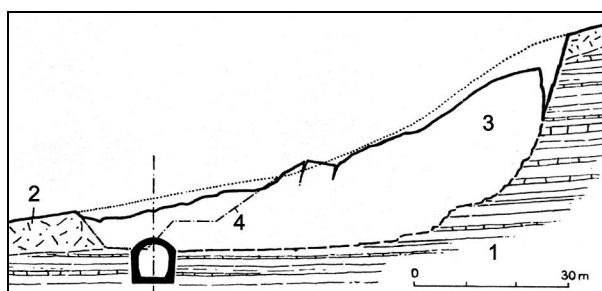
На пример, на Сликата 9.126, е прикажано решение за свлечиштето Лепоглава во Истра. Се работи за многу висок насип од 18 метра, кој се деформирал и се свлекол со оглед дека бил фундиран врз нестабилни лапори. Поради тоа, се побарало решение со премостување на целата нестабилна зона, наместо да се санира насипот и целиот терен.

Треба да се спомене дека решенија со премостување се можни ако стабилната подлога е релативно плитка и има услови за фундарање на мостовска конструкција во стабилен терен.



Слика 9.126 Геолошки профил на свлечиште Лепоглава во Истра, Р Хрватска: 1 - еоценски лапори, 2 - еоценски варовник, 3 - сипар, 4 - распаднат и свлечен лапорец, 5 - положба на насип пред свлекување (М. Јањиќ, 1967)

На Сликата 9.127, е прикажана примена на тунелска конструкција поставена под ножица на свлечиште во Шпајхинген-Нусплинген во Германија.

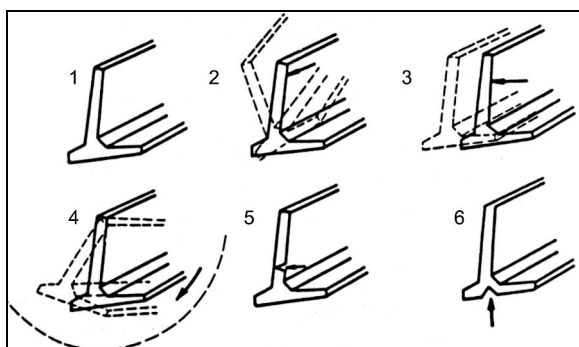


Слика 9.127 Свлечиште Шпајхинген -Нусплинген појавено при изведба на усек за железничка линија: 1 - лапоровити варовници и песочници, 2 - делувијални наслаги склони кон лизгање, 3 - тело на свлечиште, 4 - засек кој во прва фаза на изведба предизвикал свлекување (Зелер, 1924)

Кај овој случај, настанало поместување на теренот и затрупување на усекот кој се изведувал за потреби на железничката линија. Поради тоа, е изведено ново решение со изведба на тунел во стабилна подлога, кој во горна зона е покриен и се наоѓа под телото на свлечиштето.

ЕЛЕМЕНТИ ЗА ПРОЦЕНКА НА ФУНКЦИОНАЛНОСТА КАЈ САНАЦИОНИТЕ МЕРКИ

Огромниот број случаи на свлекување укажува дека секое свлечиште е уникатен случај со сопствени карактеристики. Произлегува дека секое конкретното решение може да биде на адекватен начин проектирано и изведено само после детални истражувања и анализи. Заради избегнувања на непотребни грешки во проектирањето, при изведбата и одржувањето на санациските мерки, треба да се познаваат и примери на оштетувања од неправилно проектирани или изведените конструктории. За таа цел, на Сликата 9.128 се прикажани најчестите начини на деформирање на потпорните конструкции. Под (1) е прикажан пример на недеформирана конструкција, под (2) е покажано деформирање со превртување, под (3) даден е приказ на трансляторно поместување на сидот, а под (4) е прикажана ротација на плитко фундиран сид. Примерите (5) и (6) укажуваат на прелом на сидот во ножичниот дел или во самата темелна основа.



Слика 9.128 Најчести видови деформации на потпорни конструкции според А. Кезди, преземено од М. Јањиќ, 1967

Поместувањето на целата конструкција заедно со теренот, укажува дека конструкцијата е плитко фундирана над површината на лизгање.

Ротацијата на горниот дел на конструкцијата укажува дека конструкцијата не ги задоволува условите за превртување и дека е недоволно димензионирана да ги прифати активните оптоварувања од свлечиштето.

Можни се и случаи кога потпорната конструкција останува речиси неоштетена и стабилна, но дел од теренот се свлекува над нејзиниот врв. Ова укажува на недоволна висина на конструкцијата и лошо проценети услови на стабилност на теренот над неа. Познати се и чести случаи на изместувања на делови од сидовите по одделни кампади, иако глобалната стабилност на целата конструкција сè уште не е доведена во прашање. Некои од ваквите случаи се илустрирани со конкретни реални примери.



Слика 9.129 Транслаторно поместување на плитко фундиран потпорен сид кај автопатот Е-75 од Неготино - Демир Капија, деформиран во сама фаза на изведба (поглед од различни позиции)



Слика 9.130 Деформирање со ротација на потпорен сид на патот од К. Паланка кон рудникот за олово и цинк „Тораница“



Прикажаните случаи сведочат дека проблемот на стабилноста се однесува на определена состојба во конкретен момент и дека секој терен како и вештачката конструкција треба во тек на време да се одржува, набљудува и по потреба да се санира повторно.

Слика 9.131 Нерамномерно поместување на одделни кампади од потпорен ѕид на патот за граничен премин кон “Луково Поле”



Слика 9.132 Случај на лизгање на материјал над потпорен ѕид, кој, како конструкција е неоштетен (автопат од Скопје кон Тетово во близина на с. Групчин)

Ова е посебно значајно кај дренажните системи, кои доколку не се прочистуваат и одржуваат редовно, може со текот на време да создадат и понеповолна хидродинамичката состојба и да бидат причина за појава на дополнителна нестабилност.

Очигледно е, дека, при проектирање и изведба на санациите е потребно врвно знаење од областа на геологијата, геоморфологијата, геотехниката и други сродни научни и практични дисциплини, кои го истражуваат теренот. Само на тој начин може да се изведе оптимално решение и од технички и од економски аспект.

ПРИМЕРИ НА СВЛЕЧИШТА

Во стручната литература се прикажани многу свлечишта од најразличен карактер кои служат како примери за учење од туѓи грешки. Со цел, да се илустрираат примерите и да се избегнат идни слични грешки, во рамките на книгата се прикажани некои познати свлечишта создадени во различни услови и при различни влијанија.

Свлечиште „Градот“ - Кавадаречко

Оваа појава во литература понекаде се споменува како одрон, а понекаде како свлечиште. Појавата на нестабилноста се манифестирала на западната падина од врвот на ридот „Градот“ до коритото на реката Ваташа на 5 септември 1956, кога се случило „ненадејно“ поместување на теренот. Ширината на свлечиштето била околу 800 m, должината од челото до ножицата околу 400 m, а висинската разлика околу 200 m. Се цени дека вкупниот обем на поместената маса изнесува околу 20.000.000 m³, иако во литература може да се сретнат и други податоци. Со поместувањето на теренот, коритото на реката е затрупано до 70 m висина, при што е створена вештачка акумулација (Слика 9.133).



Слика 9.133 Поглед кон лузна од свлекување кај ридот Градот каде што со свлекување во 1956 година е преградена реката и формирано езеро (фото Бл. Маркоски).

Според сведочењата на месното население, постоела пукнатина на врвот од ридот од многу одамна. Во 1930 била толку широка, што еден од жителите се спуштил во неа со помош на јаже до длабочина од 30 m. Една година пред свлекувањето, се случило поместување на понискиот раб од пукнатината за околу 20 cm, а понатамошно слегнување било забележано неколку недели пред катастрофата. Самиот тек на процесот е добро документиран благодарение на изјави на очевидците, кои успеале да се спасат. Две до три минути по првите знаци на движење се слушнала силна бучава. Масата хоризонтално се поместила околу 150 m. Брзината на нејзино движење било околу 6 km/h. Потоа земјата се тресела уште околу 20 минути, а помали локални поместувања траеле дури до наредниот ден. Во таа прилика масата на свлечиштето ги зафатила и затрупала единаесет овчари и неколку стада овци.

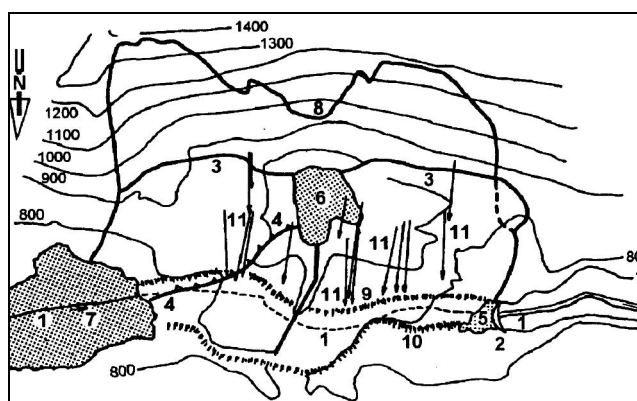
Сестраното истражување на свлечиштето покажало дека кај овој терен имало долготрајно ползење, што веројатно траело повеќе од 1000 години со брзина од 15 mm/год. Во тек на процесот, најнапред е оптоварена крутата капа од вулкански туф, која пукнала, при што јакоста на туфот била целосно надмината. Се смета дека една од основните причини за свлекување била и суфозијата на честички од песоковите седименти, поради долготрајна инфилтрација на вода од соседната река. Со свлечиштето е преградена реката и е создадено вештачко езеро. За да не дојде до негово неконтролирано прелевање, преземени се одредени мерки за санирање на состојбата. На одронетата маса во коритото на реката Ваташа насипана е брана, со висина до 17 метри, со темелен испуст на најниското место и со преливник за евакуација на водените бранови, преку кој со

брзоток водата се одведува во коритото на реката низводно од свлечиштето. Така е осигурано акумулационо езеро од 3.000.000 m³ за подобрување на наводнувањето во Кавадаречко Поле.

Свлечиште во акумулацијата Вајонт – Италија

Еден од најпознатите случаи во стручната литература е примерот на свлекување на дел од брегот во акумулацијата Вајонт (Италија). Во близина на нестабилната маса, постои лачна брана со висина од 265,50 m и должина во круната од 190,50 m (Слика 9.134). Браната е изведена во тесен кањон, изграден од доломитски варовник. Полнењето на акумулацијата започнало во март 1960 год. Во тек на полнењето имало појави на придвижувања на падините, по што следеле неколку фази на намалување и подигнување на нивото на водата што било проследено со смирување или повторно започнување на поместувањата.

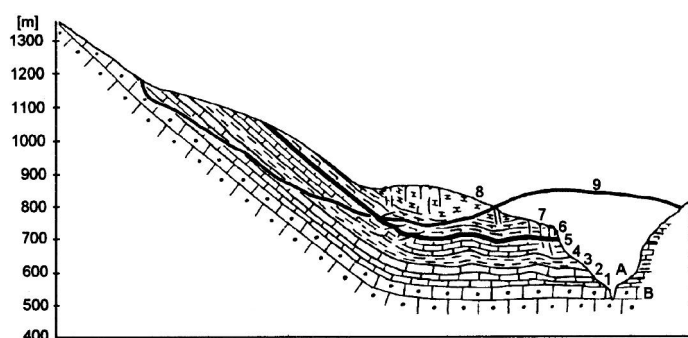
На 8 октомври 1963 година придвижувањата достигнале вредност од 20 cm на ден кога нивото на вода било 15 метри под круна на браната, а веќе следниот ден ползењето преминало во нагло лизгање со брзина од околу 2500 cm/s. Карпестата маса, која била зафатена со смолкнување била со волумен од околу 250 милиони m³. Нестабилната маса се поместила хоризонтално за 400 m. При тоа се истиснати 40 милиони m³ вода, која се прелила преку браната, течејќи низводно по кањонот на реката Пјаве.



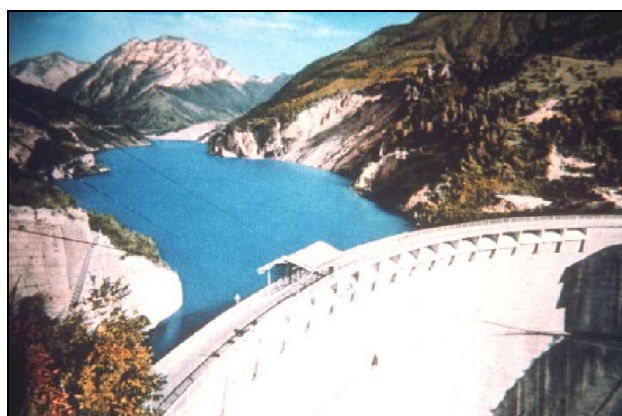
Слика 9.134 Свлечиштето на акумулацијата Вајонт: 1 - река Вајонт; 2 - брана; 3 - јужна граница на свлечиштето; 4 - расед; 5 - западно езеро; 6 - централно езеро; 7 - источно езеро; 8 - граница на пукнатина во 1963 година; 9 - косина на карпата пред лизгањето; 10 - косина на карпата по лизгањето на масивот; 11 - поместувања на некои точки

Свлекувањето е главно извршено по меѓуслојните површини, кои се исполнети со прослојки од глиновит материјал. Токму јакоста на тој материјал била меродавна за стабилноста на падината Вајонт, а не јакоста на карпестата маса или низ рапавите нерамни површини. Самата брана не била срушена, иако преку неа поминал преливниот бран висок над 100 метра, но патем водата предизвикала значителни пустошења. На пример, речиси целосно е збришано гратчето Лонгароне и три села. Изгубени се повеќе од 2000 животи, а останатата штета е непроценлива.

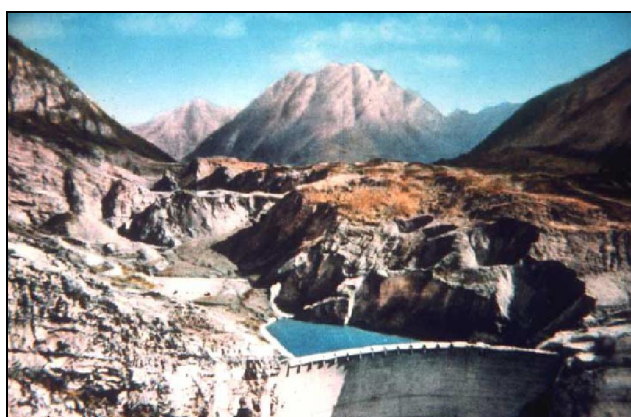
Приказ на свлечената маса е даден на Сликата 9.135.



Слика 9.135 Геолошки пресек на падина од акумулација: А - кањон Вајонт; В - карпести маси со јурска старост; (3),(4),(5) формации од долна креда; (6),(7),(8) формации од горна креда; (9) површина на терен по свлекување



Слика 9.136 Брана Вајонт во Италија со приказ на состојба пред лом на левиот брег на планината Ток (зона на бела лузна на фотографијата)



Слика 9.137 Приказ на акумулациониот простор по свлекување на материјалот (при смолкнување на масите е создаден поплавен бран кој целосно ја прелил браната, но самата брана е само малку оштетена)

Свлечиште во СИ дел од П. К. “Суводол” - Битола

Во склоп на површинскиот коп за јаглен „Суводол“ - Битолско, се има случено редок пример на свлекување, кој заслужува место во светската литература. Мошне значаен факт е дека во непосредна близина, спротиводно од челната пукнатина, се наоѓа вештачката насипана брана „Суводол“, со должина од околу 1000 метри и висина околу 20 метри, а ги акумулира водите на реката Суводолка. Според димензиите на појавата, ова свлечиште може да се третира како појава на „мала тектоника“.

Првите индикации за постоење на потенцијално нестабилна маса, со тенденција за поголемо свлекување биле забележани уште во 1992 година кога со деформации била зафатена зоната од трасата на одводниот тунел на браната “Суводол”. Во таа фаза јасно се отцртале тензиони пукнатини со должина и до 300 метри. Во текот на 1993 година, потенцијално - нестабилната зона е растоварувана, што условило привидно смирување на процесот, сè до средината на 1994 година кога се констатирани нови пукнатини.

Значајна фаза во развојот на свлечиштето била во јуни 1995 година, кога паднало големо количество на дожд (84 l/m^2).

Глобален лом се случил на ден 27.10.1995 година, кога макроскопски и геодетски се регистрирани големи појави на движења, навлекувања и набирања во ножицата на масата. Отвореноста на пукнатините и придвижувањето на блоковите добивало во интензитет и било проследено со звуци на крцкање, пукање и голема бучавост.

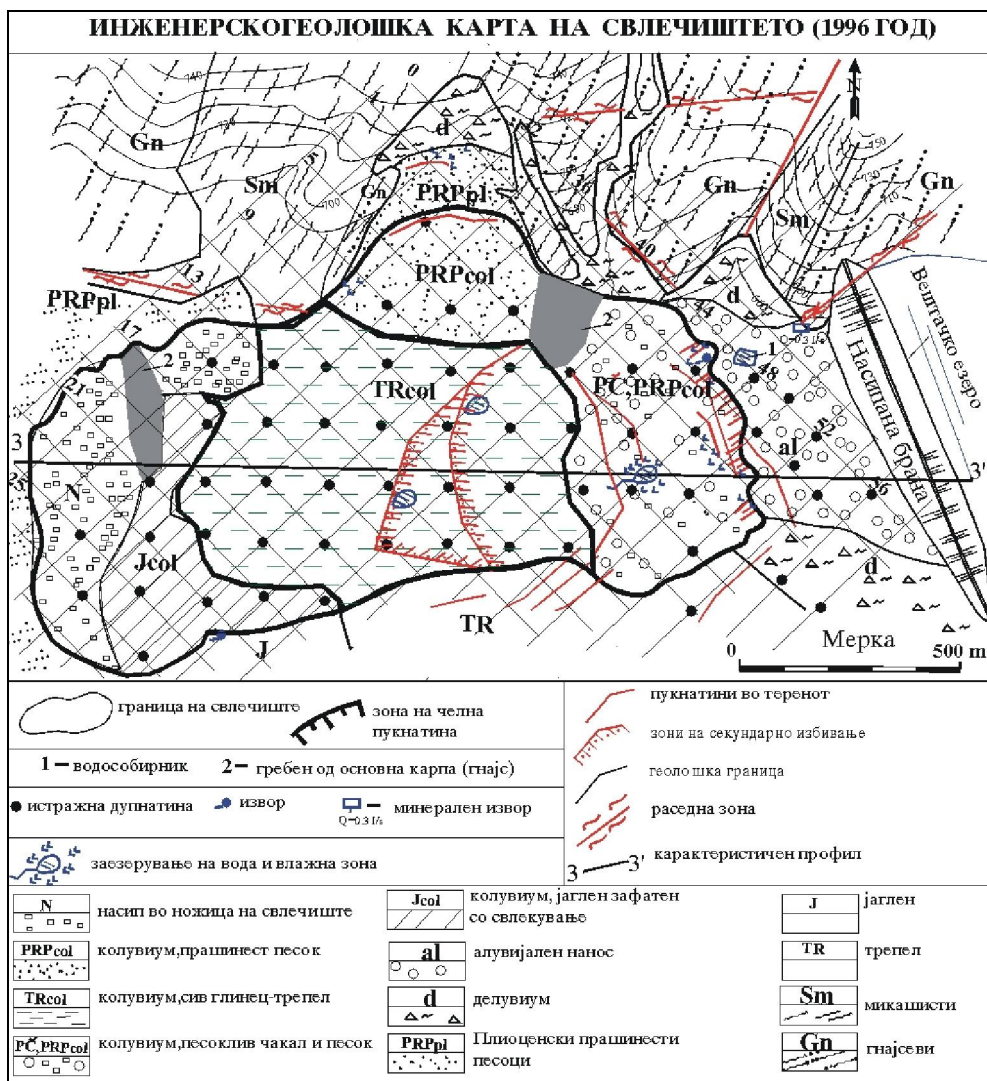
При свлекувањето, ретрогресивно биле повлечени маси во склоп на теренот, така што крајно, челото на свлечиштето се оформило на оддалеченост од околу 260 - 300 метри од телото на насипаната брана “Суводол”, што може да се види и на инженерскогеолошката карта на теренот за состојба од 1996 година (Слика 9.138). Значајно е да се истакне дека заради преземените мерки, со свлекувањето нема никакви човечки жртви или заробување на механизација.

По свлекувањето, посебно внимание е посветено на доистражување на теренот со цел да се прилагоди технологијата на ископ кон новонастанатата ситуација и да се елиминира опасноста од ретрогресивен развој на процесот кон браната. Со истражувањата е издиференцирана главната зона на лизгање и поголем број на секундарни зони по должина на кои настанувало лизгање на масите, судирање на блокови, нивно навлекување и друго (Слика 9.139).

Посебна улога кон развој на појава на нестабилноста имала подземната вода, односно влијанието на хидростатичките и хидродинамичките сили кои предизвикале значајни филтрациони деформации. Артескиот притисок делувал кон олеснување на кровинските слоеви. Значајно влијание имале и компримираните земни гасови кои делувале хидропнеуматски со динамички карактер и повремено гејзирско дејство.

Остварените хоризонтални поместувања се со големини и над 300 метри. Сето ова укажува главно на трансляторното поместување на телото на свлечиштето, со различни брзини и насоки, по повеќе зони на лизгање.

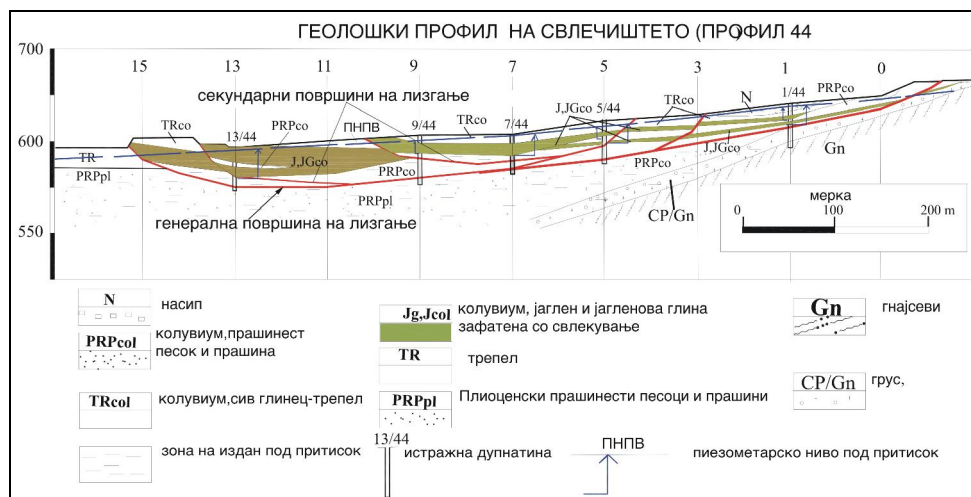
До вака драстични измени на теренот е дојдено заради постепено и долготрајно совладување на јакоста на смолкнување во поединечни зони од површинскиот коп под влијание на различни фактори, така што дошло до состојба на прогресивен лом и сведување на јакоста на смолкнување само на резидуална вредност на аголот на триење.



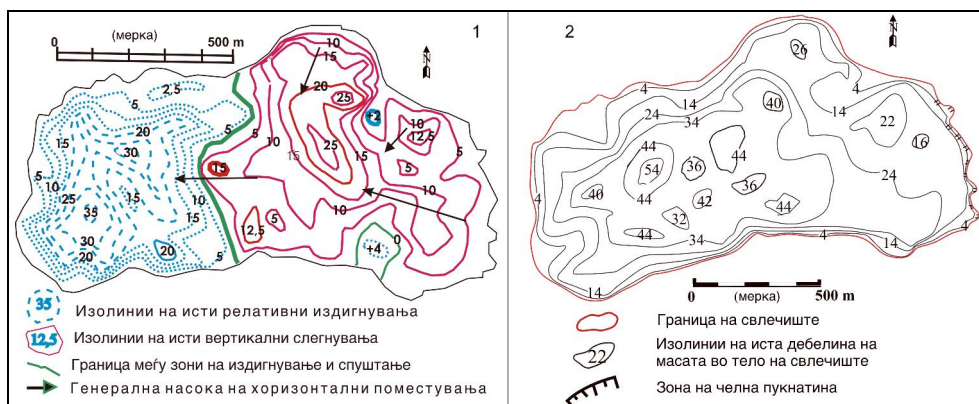
Слика 9.138 Инженерскогеолошка карта на свлечиште во СИ дел од П. К. “Суводол”-Битола

Максималните вредности на дебелината на телото на свлечиштето достигнуаат и над 52 m., а најчесто дебелините на свлечените маси се поголеми од 25 m (Слика 9.140).

Според сите критериуми за класификација, јасно е дека ова свлечиште е во највисоките класи, што индиректно зборува за сложеноста на проблемот.



Слика 9.139 Карактеристичен профил на свлечиштето



Слика 9.140 Прегледна карта на изолинии на релативни вертикални издигнувања и спуштања на теренот споредено со состојба пред лом (1) и прегледна карта на дебелина на телото на свлечиштето во разни зони (2)

За илустрација на размерот на процесот, главните геометриски елементи на свлечиштето се прикажани во Табелата 9.16.

Табела 9.16 Основни геометриски елементи на свлечиштето

Должина (m)	Ширина (m)	Длабочина (m)	Површина (m ²)	Волумен (m ³)
околу 1500	min 650 max 880 најчесто 700	min 14 max 55 главно > 25	1 050 000	околу 26 500 000

Примерот јасно укажува дека секоја техничка интервенција во склоп на природната геолошка средина е речиси секогаш поврзана со одредено ниво на ризик, кој внимателно треба да биде проценуван од случај до случај.

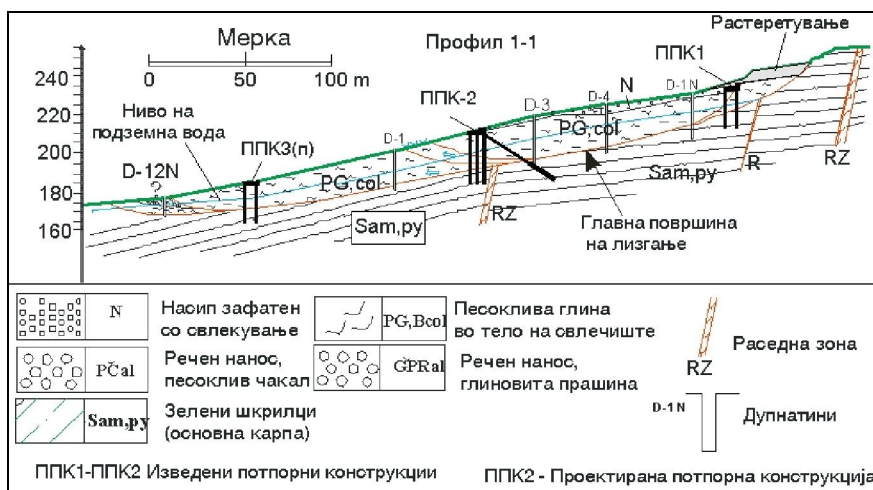
Свлечиште „Рамина“ во градот Велес

Во 1999 година на локалитетот „Рамина“ во градот Велес е појавено сложено свлечиште со должина од 350 m, широчина од 80 до 90 m, површина 25 600 m² и волумен на зафатената маса околу 400 000 m³. После тоа, имало неколку фази на привремена стагнација и реактивирање на процесот. Во декември 2002 година е забележано посилено реактивирање, кое предизвикало дополнителни оштетувања (Слика 9.141).



Слика 9.141 Примери за оштетувања на објекти во челото и во телото на свлечиштето

Според одредени недокументирани податоци, ова свлечиште било активно и во 1963 година, но после подолг период на стагнација, е извршена неконтролирана урбанизација во горните зони од старото свлечиште и отстранување на вегетацијата која постоела. Геолошката градба на свлечиштето е прикажана на Сликата 9.142.



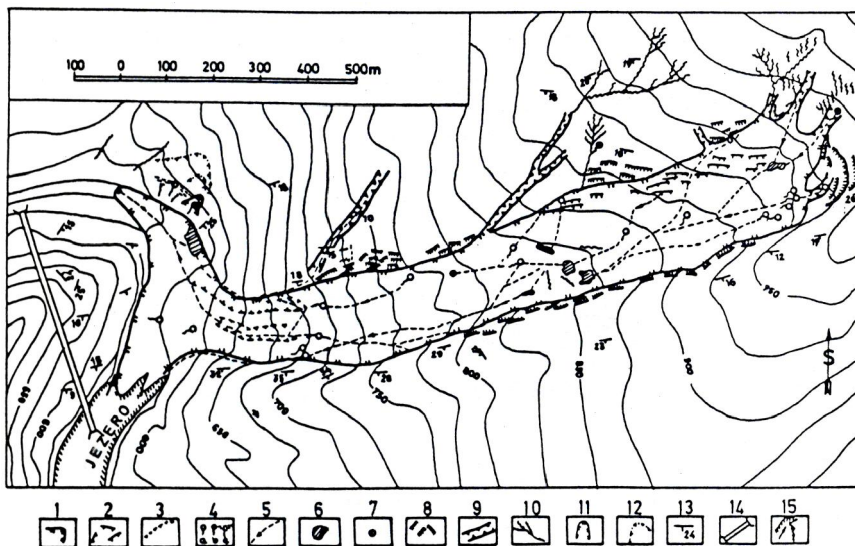
Слика 9.142 Типичен профил со приказ на мерки за санација на свлечиштето: ППК1 - потпорна конструкција изведена во прва фаза на санација за да се спречи ширење на свлечиштето кон градските гробишта и да се сторат услови за санација во втора фаза, ППК2 - потпорна конструкција од втора фаза од троредни колови и анкерисување, ППК3(п) - проектирана конструкција за трета фаза

Со детална анализа на сите податоци е утврдено дека станува збор за сложено свлечиште со кое е зафатена голема земјена маса. Главната зона на свлекување е доста длабока. Во горниот дел длабината е главно од 6 до 10 m, во средишните делови главно до 15 метра, а на места достига и до 25 m. Свлекување настанало на контактот меѓу основната карпа и глиновитиот делувијален материјал над основната карпа. Поради загрозеноста на голем број објекти лоцирани во средишниот дел и ножицата на свлечиштето, проектирани се комплексни санациони мерки, како што е шематски прикажано на Сликата 9.142.

Свлечиште „Завој“ Р Србија

Интересен пример на свлекување е евидентиран 1963 година во близина на селото Завој, до Пирот, Р Србија. Имено, по неколку исклучително врнежливи денови, е создадено огромно свлечиште во делувијална распадина на флишни седименти. Оваа распадина, поради презаситување со вода е придвижена, при што е преградена реката Височица (Слика 9.143).

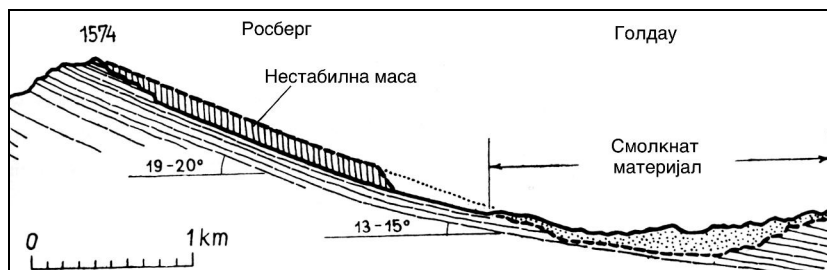
Ова свлечиште е со должина од околу 1500 m и просечна ширина од 180 m. Волуменот на телото на свлечиштето е околу 4 000 000 m³. Со преградување на езерото од масата на свлечиштето е создадена брана со висина до 30 m, широка во дното околу 450 m, а формираниот акумулацинен простор е со должина од околу 10 km. Со потопување на езерото, зафатени се околу 300 куќи, а иселени се околу 1400 жители. Подоцна, за да се елиминира можноста за ненадејно прелевање, езерото е испуштено преку изграден тунел до должина околу 600 m.



Слика 9.143 Ситуација на свлечиште и природната брана „Завој“ (преземено од М. Јањиќ, 1969): 1 - зона на ножица на свлечиштето и вештачки створената брана, 2 и 3 - секундарни пукнатини во разни зони од свлечиштето, 4 - извори, 5 - насока на движење на површински води, 6 - појава на бара во депресијата на свлечиштето, 7 - места за брза инфилтрација на површинските води, 8 - пукнатини надвор од телото на свлечиште, 9 - поголеми јаруги, 10 - вододерини, 11 - помали свлечишта надвор од главното тело на свлечиштето, 12 - граница на тело на свлечиште, 13 - елементи на пад на флишни седименти, 14 - траса на тунел, 15 - брег на езерото створено со свлекувањето

Свлечиште „Росберг“ во Швајцарија

Во планинските предели на Европа, чести се појавите на свлечишта со големи димензии. За ова сведочат старите документиран податоци, кои датираат од почеток на деветнаесетиот век за региони од Швајцарските Алпи. Така, за илустрација, е прикажан примерот на свлечиштето „Росберг“, кое се појавило во 1806 година (Слика 9.144).

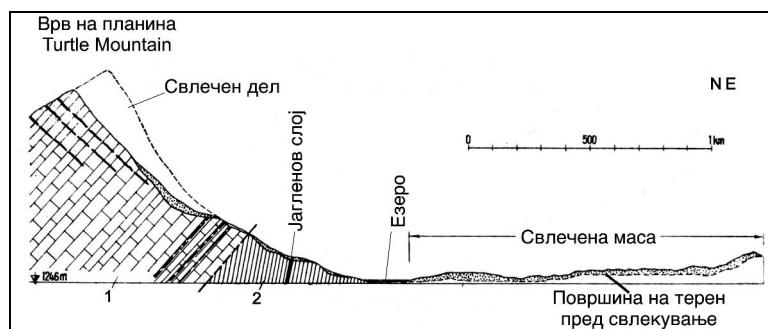


Слика 9.144 Свлечиште во конгломерати свлечени по рамнини на слоевитост (преземено од Заруба и Менцл, 1969)

Со свлекувањето на слоеви од конгломерати со неповолен пад, материјалот е натрупан во дното на падината, при што е целосно уништено селото Голдау и загинале 457 жители.

Свлечиште кај градот Франк во Канада

Интересен случај на нестабилност во вид на комбинација на свлекување и одронување на огромни количини варовнички маси со палеозоиска старост е примерот кај градот Франк во Канада (Слика 9.145).



Слика 9.145 Свлечен и одронет материјал од планината Turtle кај градот Франк во Канада

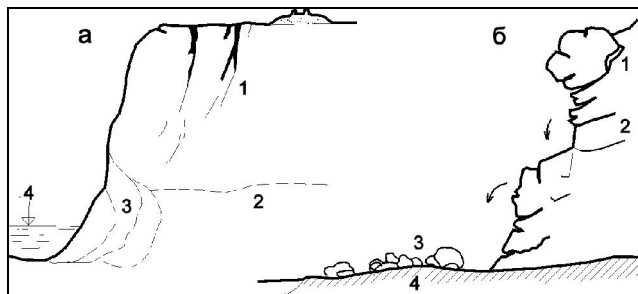
Оваа појава е случена во 1904 година, а е резултат на влијанија од ископот во слој за јаглен во подножје на планината, како и ефект на мрзнење на водата во изразени пукнатини во теренот низ варовниците. Крутите варовнички маси се тектонски навлечени над помлади меки глинци и песочници со кредна старост. Во моментот на лом, ненадејно е одвоена маса од $30\,000\,000\text{ m}^3$. Одронетата маса покрила површина од околу $2,5\text{ km}^2$. Цела појава траела околу 2 минути, но при тоа градот Франк е скоро целосно уништен.

Ако се направи краток осврт на прикажаните примери, многу јасно се согледува комплексноста на процесот на свлекување, можните влијанија врз природната околина и разните видови оштетувањата, кои можат да се предизвикаат од свлечиштата. Со право може да се рече дека ова е еден од најзначајните проблеми кои го изучуваат повеќе геолошки и технички научни дисциплини и дека без врвно знаење од геотехниката не е можно коректно решавање на ваквите проблеми во практиката.

ОДРОНУВАЊЕ И ОДРОНИ

Одронување е современ геолошки процес, кој се манифестира во вид на откинување и паѓањето на блокови и делови на карпестата маса од стрмните падини, високите косини или по должината на крајбрежните делови на реките, езерата и морињата (Слика 9.146).

Одронувањето настанува во моментот кога активните сили ќе ги надминат јакостните карактеристики на карпестата маса. Тие сили можат да бидат од различен карактер и тоа: дејство на гравитацијата, активни сили поради ширење на мразот во пукнатините, бабрење на пукнатинскиот заполнител, хидрауличните притисоци, влијанија на напони предизвикани од корењата на растенијата, динамички влијанија од земјотресите, минирање и др.



Слика 9.146 Приказ на можни видови одрони: а - одрон во лесоидна почва во контакт со вода, б - одрон во цврсти карпи, 1 - лесоидна почва, 2 - глина, 3 - подсечување на брег со вода во неколку фази, 4 - лабилен блок, 5 - зона на масивни но испукани карпи, 6 - тело на одрон, 7 - подлога на одронот

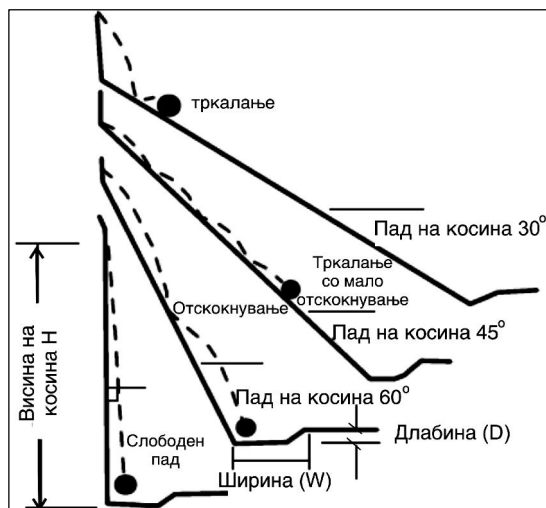
Најчесто одроните се сврзани за падини изградени од каменити карпести маси, кои содржат пукнатини со одреден наклон кон падината, а со паден агол помал од оној на падината. Поретко се јавуваат и во стрмно подсечени косини или абрадираны брегови на реките, езерата и морињата.

ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА ОДРОНИТЕ

Кај одроните се разликуваат неколку основни елементи. На пример, терминот **зона на одронување** се користи за дел од падината, каде што се наоѓаат лабилни или потенцијално нестабилни блокови од каде што настанува нивно одвојување и натамошно движење низ падината. Самата површина од каде што се одвоил блокот се вика **лузна од одронот**.

При процесот на одронување, одронетите блокови целосно се одвојуваат од својата подлога, а нивното движење може да се одвива делумно во воздух или пак со транслација и ротација по падината. Кај многу стрмни косини може да се појави и слободен пад на блоковите (Слика 9.147).

При движењето, блоковите се удираат на одредени делови од падината со основната карпеста маса, која се нарекува зона на транспорт на одронетите блокови. Поради ударите со основата блоковите се дробат и ситнат и на крај се натрупуваат во подножјето на падината, во т.н. **зона на натрупување (депонирање)** на одронетиот материјал.



Во зоната на депонирање се акумулира **телото на одронот**. Големината на блоковите е многу различна, започнувајќи од блокови со сантиметарски, дециметарски и метарски димензии, па сè до огромни блокови со волумен и повеќе од стотици или илјадници кубни метри.

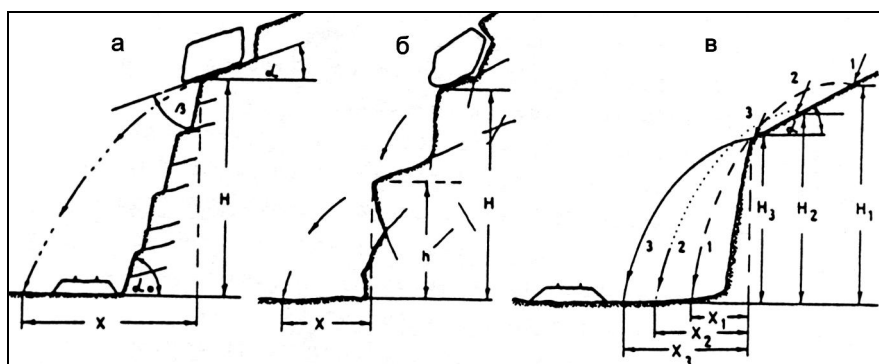
Слика 9.147 Приказ на можни начини на движење на одронети блокови, зависно од падниот агол на падината

Самото тело на одронот е многу порозно, водопрпусно, без некои поголеми поместувања на отпаднатите блокови.

Механизам на одронување

Процесот на одронување е многу сложен. Споредено со свлечиштата, основна разлика лежи во механизмот на движење бидејќи нестабилната маса во одреден момент целосно се одвојува од подлогата и делумно се движи во воздух.

Движењето на блоковите е дефинирано со **траекторијата** или **патека на движење**, која зависи од наклонот на падината, нејзината морфологија, висина и типот на материјал по кој се движат одронетите блокови. Одронувањето се одвива главно со многу голема брзина и трае кратко, иако припремната фаза за одронување може да трае многу долго. Во фазата на одронување, се можни и неколкуфазни удирања низ падината (Слика 9.148).



Слика 9.148 Приказ на начини на одронување: а - со претходно лизгање на блокови, б - отскокнување по нерамна падина, в - различни траектории на движење и далечини на отфрлање на блоковите зависно од местото на отскок (според М. Јањиќ, 1969)

Со анализа на геоморфолошките, геолошките, климатските, хидролошките и посебно карактеристиките на испуканоста со доста голема сигурност можат да се издвојат локации, кои се критични за одронување. Од друга страна, многу е тешко да се прогнозира моментот на лом и појавата на одронот. Вообичаено, при анализа на одроните се дефинираат неколку основни параметри и тоа:

- големината на силата, која би се појавила при удар на одронот во некој објект;
- брзината на пад на одронетата маса и забрзувањата при движењето;
- должината на одлетување на блоковите;
- кинетичката енергија од удар на блоковите врз теренот или објектите.

За дефинирање на силата на удар и брзината на движење на блоковите при слободен пад се користат познати формули од физиката:

$$p = \frac{m \cdot V^2}{2}; \quad V = \sqrt{2gH}$$

Должината на одлетување на блокови може да се определи со користење на следната формула:

$$x = \sin^2 \beta (H - h) \left(\sqrt{\cos^4 \beta + \frac{h}{H - h} - \cos^2 \beta} \right)$$

За случај на одлетување на блокот од вертикална косина, се користи следната формула:

$$x = \frac{V^2 \sin \beta}{g} \left(\sqrt{\cos^2 \beta - \frac{2gH}{V^2} - \cos \beta} \right)$$

За падина со определен стрмен наклон се користи следниот израз:

$$x = \frac{V^2 \sin \beta}{g} \left(\sqrt{\cos^2 \beta - \frac{2gH}{V^2} - \cos \beta} \right) - H \cdot \operatorname{ctg} \alpha$$

Ознаките во претходните формули одговараат на ознаките од Сликата 9.148, а се однесуваат на следните големини:

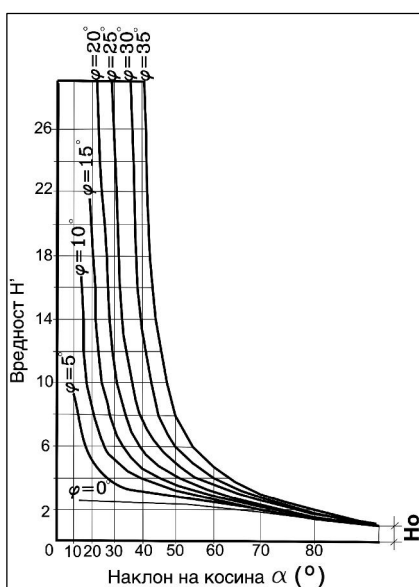
- x - должина на одлетување на блокови;
- H - висина на почетно паѓање;
- h - висина на местото на отскок;
- β - агол на одлетување на блоковите;
- α - агол на падината;
- V - почетна брзина на придвижување на блокот;
- g - земјино забрзување.

Прикажаните формули се користат за приближна пресметка на параметрите за одронувањето. Кај хомогени косини, опасноста од одронување се проценува ако се знаат основните геометриски карактеристики на косините и јакоста на смолкнување. За вакви случаи се користи методот на Фисенко, кој е заснован на пресметка на максимална висина на косина која би можела да се изведе со вертикален наклон:

$$H_{90} = \frac{2C}{\gamma} \left[\operatorname{ctg} \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \right]$$

Каде што е: H_{90} - максимална висина на вертикална косина за дефинирани јакостни параметри;
 C - кохезија на карпата;
 ϕ - агол на внатрешно триење;
 γ - волуменска тежина.

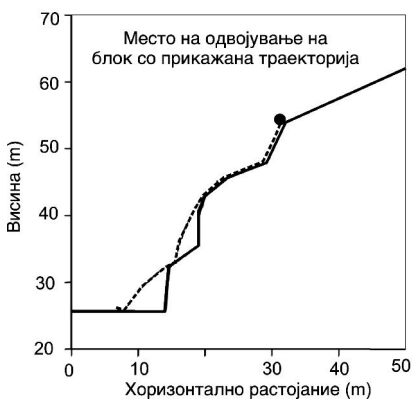
Ако се знаат јакостните карактеристики и волуменската тежина на карпата, со примена на графоаналитичка техника, се бара при кој агол некоја косина со висина H , ќе биде стабилна без опасност од одронување (Слика 9.149). Треба да се спомене, дека пресметката по оваа метода е приближна и би важела за косини со хомогена градба без присуство на јасно изразени пукнатини, кои би имале неповолен пад во однос на косината.



Слика 9.149 Дијаграм за проценка на стабилна косина дефинирана преку наклонот на косината и со изведен параметар H' ($H'=H/H_{90}$) каде е:
 H - висина на косина, која се анализира

За поточни пресметки, во современата практика се разработени пософистицирани методи на анализа на опасноста (хазардот) и можните ризиците од одронување. За таа намена, се користат софтверски пакети, чија основна намена е да се предвидат можните патеки на движење на одронетите блокови (Слика 9.150).

Траекторијата на блокот зависи и од карактеристиките на карпата врз која се удира, односно од нејзината јакост и од збиеност. За дефинирање на карактеристиките на подлогата, во практиката се користи еден параметар, кој е наречен **коэффициент на реституција** во нормален правец на ударот на блокот (R_n) и во тангенцијален правец (R_t) според Табелата 9.17. Од табелата се гледа дека големината на овој коэффициент зависи од природата на материјалите од кои е формирана ударната површина. Физичката суштина на коэффициент се огледува во способноста за амортизирање на ударот на одронетиот блок на површината на карпата.

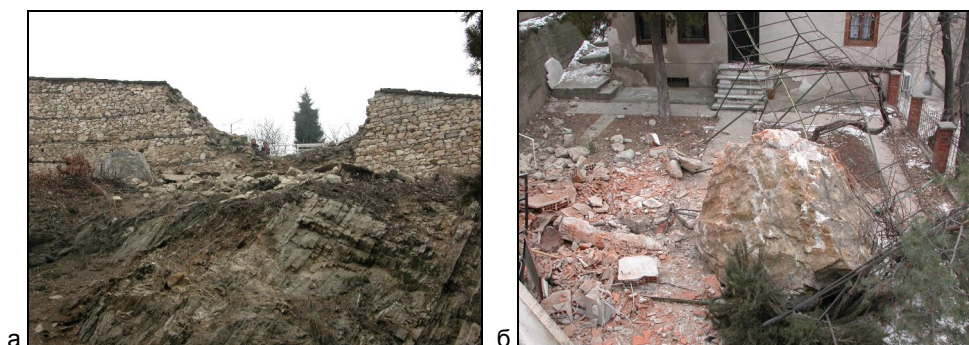


Слика 9.150 Приказ на траекторија на движење на блок со тежина од 1000 kg (Хек, 2002)

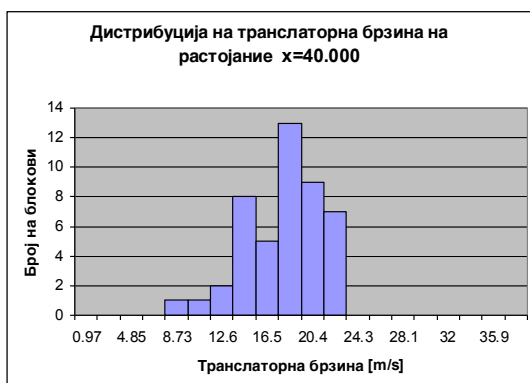
Табела 9.17 Карактеристични вредности за коефициент на реституција R

Вредност на коефициент на реституција (Rn)	Вредност на коефициент на реституција (Rt)	Тип на подлога
0	0,24	удар од блок врз рамна површина од седимент во дно на стрмни косини
0,32	0,81	сипар со локално присуство на вегетација
0,29	0,80	косина од почва со слаба вегетациска покривка
0,315	0,72	варовник
0,4	0,9	асфалтна површина на пат
0,453	0,737	прскан бетон
0,487	0,91	карпеста косина
0,53	0,99	косина од цврста карпа со висока јакост

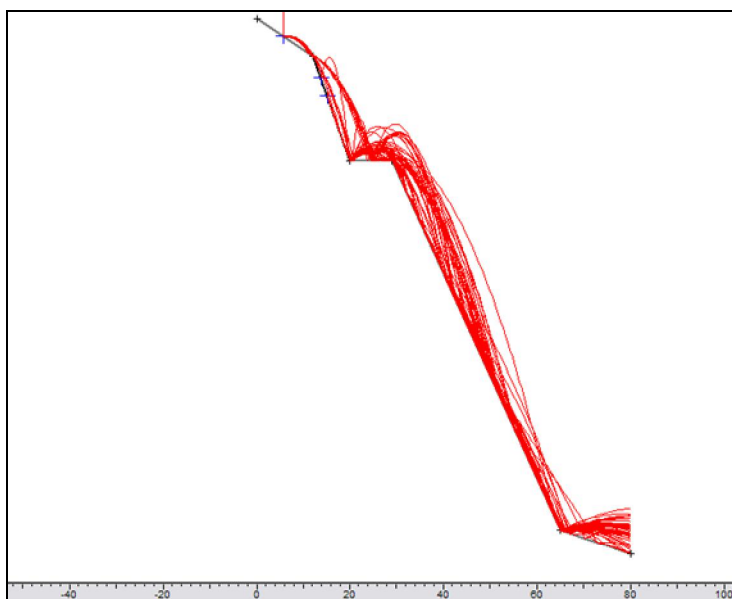
Преку симулационите модели се прави прогноза на траекториите на блокови со различна тежина, се дефинира нивната кинематска енергија, можното растојание до кое може да се одрони блокот и на крај се предвидуваат соодветни мерки за заштита од одронување (Слики: 9.151; 9.152 и 9.153).



Слика 9.151 Одрон над храм „Свети Пантелејмон“ во Велес: а - оштетување на ѕидот над храмот; б - зона на тело на одронот со приказ на срушена помошна просторија во дворот на храмот



Слика 9.152 Хистограм на распределба на брзина на движење на одронети блокови за случајот од Сликата 9.151



Слика 9.153 Симулација на можни траектории на одронети блокови на автопат Е - 75 во близина на тунелот пред Велес, анализиран со софтвер ROCKFALL

За сите анализи, многу е значајна соодветна прогноза на брзините на движење на одронетите блокови.

Од прикажаните примери јасно произлегува дека анализата на механизмите на одронување е исклучително тешка задача. Имено, се смета дека **прогнозирањето на времето на појавата на одрони по тежината на задачата е слична со прогнозирање на земјотресите.**

Основни методи за санација на одроните

Познати се многубројни случаи на загрозување на објекти или животи на населението поради појавата на одронување. Ова значи дека често се наметнува потреба од проектирање на санациски мерки за превентивно или акутно санирање на зони кои се склони кон одронувањето. Општо правило е дека ова е многу сложена и тешка задача, посебно ако е загрозен некој објект кој е во експлоатација кога условите за санација се лимитирани. Тогаш санацијата треба да се изведува во услови на изведени косини со големи висини или при паралелно или регулирано одвивање на сообраќајот (Слики 9.154 и 9.155).



Слика 9.154 Прекинат сообраќај на пат од Маврово кон Дебар поради одронување на блокови



Слика 9.155 Одронување на блокови со метарски димензии на патниот правец од Гевгелија кон ски-центарот „Кожуф“ (фото Бл. Тевдовски)

При санирање на одроните, многу е значајно да се знае и големината на површината и волуменот на одронетата маса. За класификација на одроните најчесто се користат критериумите, кои се прикажани во Табелата 9.18.

Табела 9.18 Класификација на одрони според нивната големина

Класификација на одрон	Површина (m ²)	Волумен (m ³)
1. многу мали	до 10	до 100
2. мали	10 - 100	100 - 1 000
3. средна големина	100 - 1 000	1 000 - 100 000
4. големи	1 000 - 100 000	100 000 - 1 000 000
5. многу големи или огромни	преку 100 000	преку 1 000 000

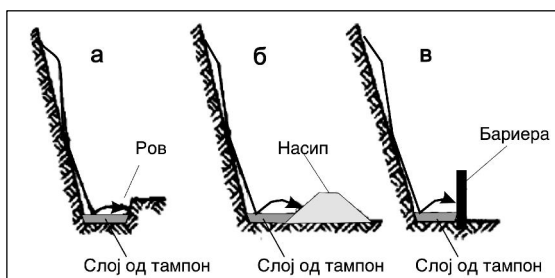
За дефинирање на мерките за заштита или за санација треба да се дефинира положбата на можната зона за одронување, типот на одрон и слично. Најправилен пристап е ако критичните делници се заштитуваат на соодветен начин уште во сама изведба на работите, при што е многу значајно да се применуваат соодветни техники на ископ. Во практика се разработени поголем број техники на ископ или методи за заштита и тоа:

- контролирано минирање, по можност со техники на претходно засечување на косините со контурно минирање;
- механичко отстранување на лабилните блокови (т.н. кавање) со внимателно рушење со компресор или со лесно минирање;
- заштита на косините како што напредува ископот од горната кота надолу (англиски т.н. top to down пристап на ископ и заштита);
- заштита со патарска челична мрежа;
- сидрење на потенцијално-нестабилните блокови;
- инјектирање со мали притисоци;
- примена на прскан бетон во комбинација со арматурна мрежа и сидра,
- изведба на берми на одредени висини од косината;
- изведба на заштитни галерии, кои го пренасочуваат дејството на ударот на блокот кон сигурни зони;
- изведба на т.н. замки за блокови во дно на косината;
- облагање;
- потпирање и др.

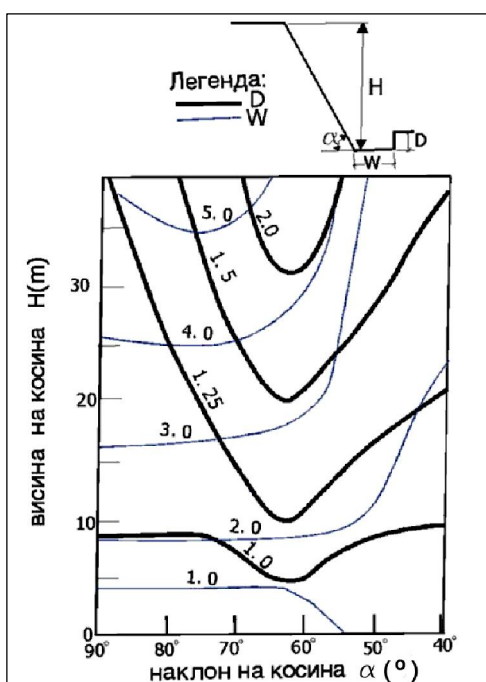
Основите за примена на некои од набројаните методи се прикажани на следните слики. Секоја од прикажаните мерки има свои предности и недостатоци и треба да се применува зависно од конкретните теренски услови. **Бермите** се многу ефективни за прифаќање на одроните. Тие најлесно можат да се изведат во самата фаза на градба како напредува ископот од горе надолу, а во фаза на експлоатација или не е можно или е многу ризично да се изведуваат. Не се ефикасни ако се со мала ширина. Треба да се проектираат на начин да има можност подоцна да се пристапи до нив за евентуални чистења, санации и

слично. Често се користат решенија со изведба на т.н. прва берма или **замка за блокови** (Слика 9.156), потоа варијанти на заштита со потпорни ѕидови,

заштитни галерии, анкерисување, пломбирање, заштита со прскан бетон, армирано - бетонски ребра и др. (Слики 9.156; 9.158; 9.159 и 9.160).



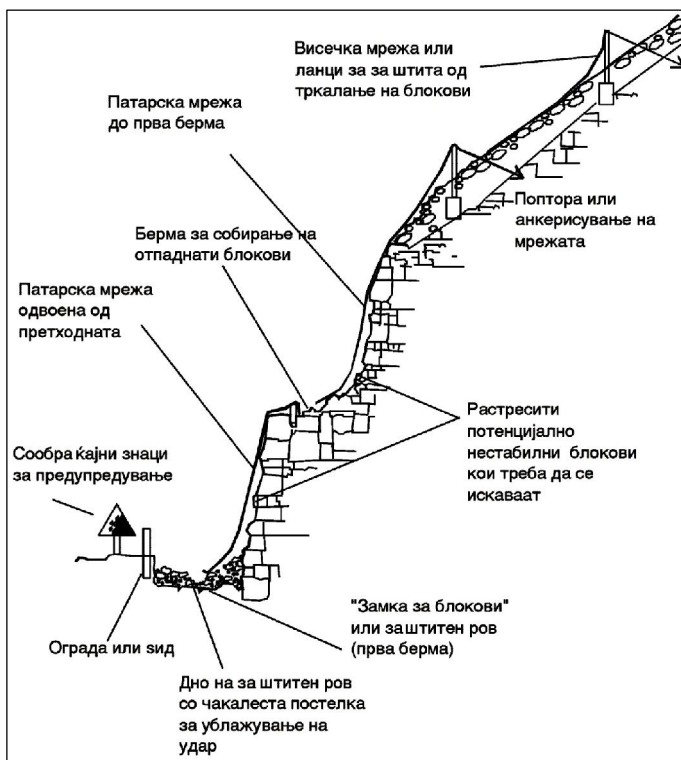
Слика 9.156 Видови замки за блокови



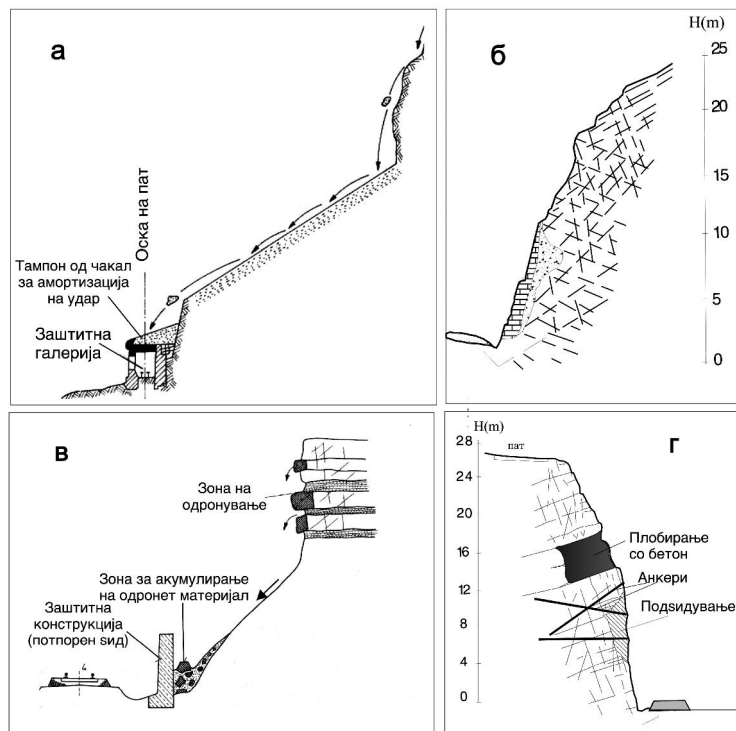
Слика 9.157 Дијаграм за проценка на димензии на замки за блокови



Слика 9.158 Заштита на косина со прскан бетон и армирано бетонски ребра за влез во тунел Мечково Брдо, кај Овчар Бања Р Србија (фото Б. Аболмасов)



Слика 9.159 Најчести заштитни мерки за спречување на одрони (според Фукс и Свини, 1976)



Слика 9.160 Приказ на некои заштитни мерки против одронување (делумно изменето и дополнето според В. Д. Ломтадзе, 1977): а - заштитна галерија за пренасочување на удар на блок во сигурна зона, б - подсидување со камена ѕидарија, в - потпорен ѕид со простор за акумулирање на одронети блокови, г - пломирање на празен простор, подсидување и анкерисување.

Во практиката најчесто применувана постапка е поставување на **заштитна патарска челична мрежа**, која може да помогне за задржување на помали блокови (Слика 9.161).



Слика 9.161 Заштитна патарска мрежа за косина на автопат Е 75, делница од Катланово до Велес (фото С. Николов)

Таа не е ефикасна кога има блокови со метарски димензии кога може да се оштети и да се сруши заедно со блоковите (Слика 9.162).



Слика 9.162 Оштетена заштитна патарска мрежа за косина на автопат Е - 75, поради појава на одрон со поголеми блокови на делница од Катланово до Велес (фото С. Николов)

За задржување на поголеми блокови се применуваат различни решенија со заштитни огради и прегради кои имаат капацитет на абсорпција на блок со маса од 250 kg, кој се движи со брзина од 20 m во секунда. Постојат и поробусни огради како оние што се користат во Европските Алпи кои имаат капацитет за

апсорбирање и запирање на блокови со маса и од 6250 kg, а кои се движат приближно со брзина од 20 m во секунда.

Заштитните (абсорпирачки) прстени имаат капацитет на абсорпција на блок со маса и до 6 тони кој се движи со брзина од 20 m во секунда. Кога блокот ќе удри во нив, тие се деформираат пластично и ја смируваат енергијата на блокот.



Слика 9.163 Комбинација на замка за блокови во вид на еластична мрежа и простор за одронување пред косина



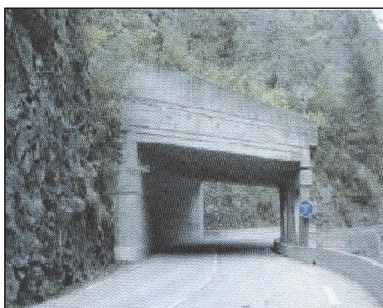
а



б

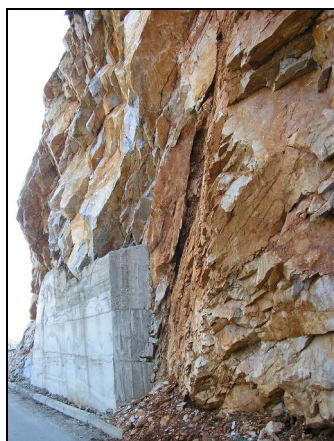
Слика 9.164 а - Заштитни бариери од мрежи составени од апсорбирачки прстени со голема моќ за задржување на одронети блокови, б - детаљ на еден апсорбирачки прстен

Скривалиштата (галериите) од одрони најчесто се употребуваат кај стрмните косини на тесните патишта и железнички пруги во планински региони. За да работат ефективно треба покривот да им е стрмен и треба да се со релативно тесен распон. Горната зона на галеријата, добро е да се покрие со чакалест или дробински материјал за да се амортизира и пренасочи ударот од блокот (Слика 9.165).



Слика 9.165 Пример за заштитна галерија од одрони

Потпорните и обложните ѕидови се применуваат често. Техничките решенија зависат од случај до случај. Може да бидат изградени од армиран бетон, од камен, да се комбинираат со анкери и слично (Слика 9.166).



а



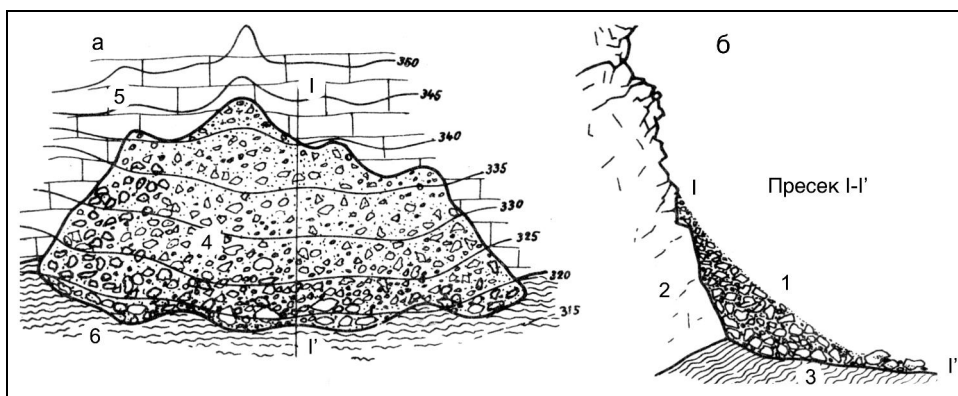
б

Слика 9.166 а - Заштита на косини со обложен ѕид на патот за браната “Света Петка”, б - потпорен ѕид со подсидување на потенцијално нестабилен блок во дно и анкери во горна зона над соборен храм Свети Пантелејмон во Велес

Прикажаните примери не ги исцрпуваат и сите можни случаи, така што конкретните технички решенија се анализираат кај секој објект посебно.

ОСИПУВАЊЕ И СИПАРИШТА

Процесот на **осипување**, всушност, претставува природно натрупување на дробински материјал, создаден со физичкото распаѓање на каменетите карпи, кои од повисоките зони на теренот се натрупуваат обично во подножјето на стрмните падини формирајќи ги сипариштата како појави кои се резултат на овој процес (Слика 9.167). Движењето на блоковите кај сипариштата е повремено и краткотрајно, а самиот процес на создавање на сипариштето е долг. Движењето на распаднатите и издвоените блокови од матичната карпа е, главно, со ротација по падините. Процесот на осипување настанува под влијание на слични фактори како и одроните и тоа: влијание на надворешните климатски влијанија од инсолација, кои придонесуваат кон механичко распаѓање на карпата, активните сили поради ширење на мразот во пукнатините, хидрауличните притисоци, влијанија од корењата на растенијата и др.



Слика 9.167 Типичен изглед на сипариште во основа (а) и во пресек (б) со основни елементи: 1 - површина на сипариштето, 2 - контактна површина на сипариштето со основна карпа, 3 - површина на контакт на сипариштето во негово дно, 4 - тело на сипариштето, 5 - матична карпа од која настанува сипариштето, 6 - карпеста маса во дното на сипариштето

Непосреден повод за придвижување на сипариштето може да биде преоптоварување на лабилната зона од сипариштето при изведба на насип во негова горна зона, потоа при засечување во подножјето на телото на сипариштето, евентуална ерозија од водотек во дно на сипариштето, динамички влијанија од земјотресите, минирање и др. Кај едно сипариште, основен елемент е неговото **тело** под што се подразбира целокупната негова маса. Телото на сипариштето се одликува со голема порозност, водопрпусност и исцедливост, слаба консолидираност, мала носивост, лабилна површинска зона и голема деформабилност. **Дебелината** на сипариштето изнесува од неколку метри до 30 - 40 m', со наклон на површината од неколку па се до 30 - 40°. Во нашата земја се присутни често, посебно во терени изградени од варовници, доломити, мермери, карбонатни бречи, серпентенити и шкрилци. Поретко се појавуваат во магматските карпести маси, лапорците и други. Како критериуми за поделба на сипариштата, најчесто се користат нивната дебелина, површината и волуменот

(Табели 9.19 и 9.20). Во практиката се користи и поделба според наклонот на површината на сипариштата (Табела 9.21).

Табела 9.19 Класификација според дебелина на телото на сипариштето

Класификација на сипаришта	Дебелина на телото на сипариштата (m)
1. многу тенки	потенки од 0,5 m
2. тенки	0,5 - 2 m
3. средно дебели	2 - 5 m
4. дебели	5 - 20 m
5. многу дебели	преку 20 m

Табела 9.20. Класификација на сипаришта по нивната површина и волумен

Класификација на сипаришта	Површина (m ²)	Волумен (m ³)
1. многу мали	до 20	до 10
2. мали	20 - 200	10 - 200
3. средна големина	100 - 1 000	200 - 5 000
4. големи	1 000 - 100 000	5 000 - 100 000
5. многу големи	преку 100 000	преку 100 000

Табела 9.21 Класификација на сипаришта според наклон на површина на сипарот

Класификација на сипаришта	Наклон (°)
1. сипари со благ наклон	до 25
2. сипари со среден наклон	25 - 35
3. сипари со стрмен наклон	од 35 - 45

Може да се нагласи дека природниот наклон на сипариштето, обично е близок до аголот на внатрешно триење на материјалот од кој е градено неговото тело. Ова значи дека при засекување во телото на сипариштето со пострмен наклон од природниот, по правило се предизвикува премин од лабилна кон нестабилна состојба. Многу е значајно и да се знае активноста на процесот, според кој сипариштата се делат на **активни** и **неактивни**. Кај активните сипаришта се врши постојано или повремено обновување на сипаришниот материјал, поради што нивната површинска зона е лесно подвижна. Кај неактивните нема обновување и поместување на дробинскиот материјал, а зоната на телото на сипариштето е делумно под вегетација.

Методи за санација на сипариштата

Сипариштата се многу неповолна средина за изградба на објекти и изведување на работите. Поради нив, чести се случаи на изместување на трасите кај патиштата и железниците на другата долинска страна, варијанти со премостување на сипариштата, тунелска варијанта во основна карпа, потпирање на телото на сипариштето и др. Затоа, за дефинирање на условите за изведба на објектите е многу е значајно да се дефинира можната зона за осипување и сите нејзини карактеристики. Како и кај свлечиштата, најправилно е критичните делници уште во сама фаза на проектирање или изведба на работите да се избегнат. Ако тоа не е можно, тогаш треба да се применат одредени мерки за превентивна заштита или за санација. Како заштитни или санациони може да се применуваат следните мерки:

- целосно растеретување кај сипаришта со помал волумен;
- заштита со челична мрежа комбинирана со сидрење на поплитки сипаришта до стабилна основа;
- инјектирање со мали притисоци и монолитизирање на масата на сипариштето;
- поставување на бариери на неколку места низ телото на сипариштето;
- премостување;
- потпирање и др.



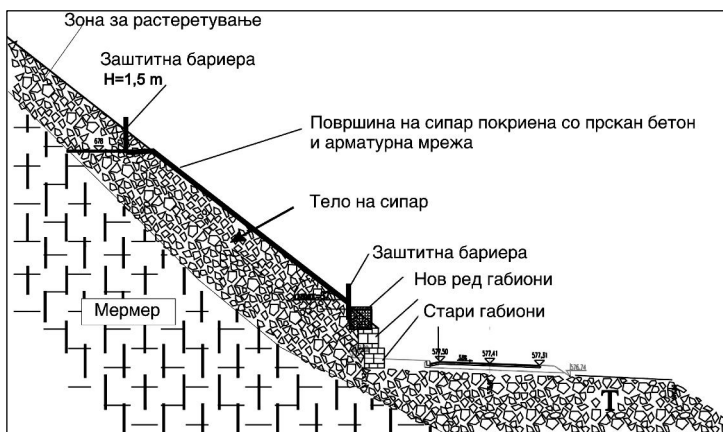
Најчесто се применуваат различни варијанти на потпирање или примена на комбинирани мерки. Неколку примери се прикажани на следните слики.

Слика 9.168 Потпирање на телото на сипариштето со габиони на пристапен пат од Скопје до брана „Света Петка“ (видливо е дека сипариштето поради стрмен наклон повремено се „прелива“ над габионскиот ѕид)



Слика 9.169 Потпирање на телото на сипар со реден камен на дел од стара железничка пруга Чачак - Пожега во Р Србија (фото Б. Аболмасов)

Често се појавува потреба поврмени повторни интервенции кај претходно изведените санациони мерки (Слика 9.170).



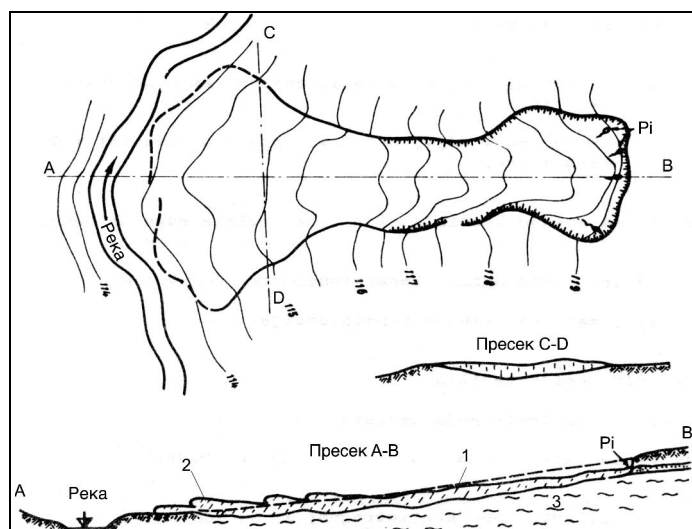
Слика 9.170 Проектирани комбинирани мерки за надополнување на првични решенија за санација на сипар на пристапен пат од Скопје до брана „Света Петка“

Треба да се спомене дека секоја интервенција во сипариштата е сложена и ризична, така што е многу значајно да се избере техника на работа, која ќе обезбеди сигурност на работната сила и механизацијата.

ТЕЧЕЊЕ И ТЕЧИШТА

Течењето е процес на многу брзо раздвижување на масите под дејство на гравитацијата, а **течиште** е појава, која е предизвикана при течењето. Причина за нивна појава најчесто е прекумерно заситување на карпите со влага и зголемување на порните притисоци во седиментите. Кон течење најчесто се склони глиновитите седименти, посебно кога по подолготрајно заситување со атмосферски врнежи, влажноста во почвата се приближува до границата на течење. За појава на течиштата, свое влијание може да имаат и брзото одмрзнување на површинскиот слој од земјата и неговото расквасување, динамичките удари од земјотреси, силни тајфуни и друго.

Карактеристичен приказ на едно течиште е даден на Сликата 9.171.



Слика 9.171 Типичен изглед на течиште во основа, надолжен пресек А - В и попречен пресек С - D: 1 - тело на течиште, 2 - ножичен дел, 3 - подлога на течиште, Pi - појава на влажни зони и извори во чело на течиште

Движењето на масите во самиот момент на течење може да биде многу брзо и ненадејно. Во морфолошки поглед, течиштата се слични како свлечиштата. Кај нив може да се разликуваат: **челна зона, површина, тело, стабилна подлога, ножичен дел, бранови на течиштето, граници, дебелина, ширина** и друго.

Телото на течиштето ја опфаќа сета почвена маса, која протекла преку подлогата на течиштето што е стабилна. Може да е изградено од еден тип на седименти и да има еднородна градба или да биде со разнородна градба. При појава на течење може да страдаат објекти кои се фундирани поплитко, сообраќајниците, гасоводи, нафтоводи и сл. Во тропските краишта, појавите на течишта понекогаш се причина за појава на големи материјални и човечки загуби. Дебелината на течиштата најчесто се движи од 0,5 до 2 метра, поретко повеќе. Нивната должина може да биде доста голема. Најчесто се делат според критериуми прикажани во Табелата 9.22.

Табела 9.22 Класификација на течишта според нивната површина и волумен

Класификација на течиштата	Површина (m ²)	Волумен (m ³)
1. многу мали	до 100	до 20
2. мали	100 - 1000	20 - 500
3. средна големина	1000 - 5 000	500 - 5 000
4. големи	5 000 - 25 000	5 000 - 50 000
5. многу големи	преку 25 000	преку 50 000

По исушувањето, телото на течиштето многу јасно се издвојува од неговата околина и има изглед на земјеста река со јасно издолжен јазик (Слики 9.172 и 9.173).

Основна мерка за намалување на можноста на појава на течиштата е да се намали можноста за инфилтрација на вода во подземјето, што најефективно се постигнува со соодветено пошумување.



Слика 9.172 Течиште во глиновити карпи на косина од површински коп за јаглен „Суводол“



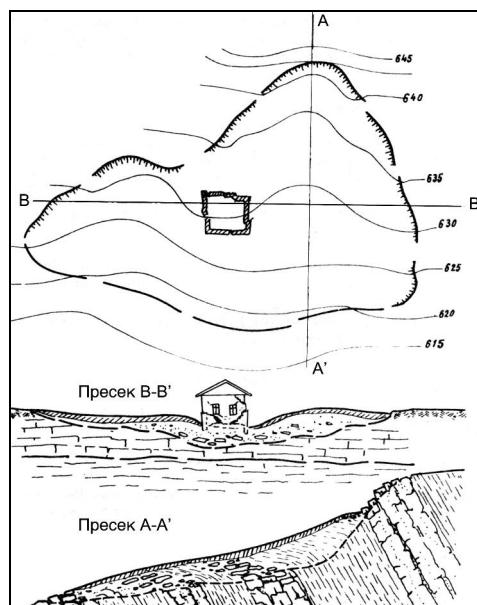
Слика 9.173 Јазик на течиште во зоната на Горни Милановац - Р Србија (Шушиќ, 2006)

СУВО ТЕЧЕЊЕ И СУВИ ТЕЧИШТА

Под поимот **суво течење** или **ползење** се подразбира многу бавно движење на површинските делови на карпестите маси поради смолкнување. По аналогија со течиштата се формира тело на **суво течиште** со слични морфолошки елементи како и кај свлечиштата (Слика 9.174).

Процесот на ползење се одвива со прекини, а бидејќи карпестата маса е во сува состојба, тој визуелно тешко се забележува. Резултат е на честите измени во карпестата маса предизвикани со сончеви зраци, мрзнење и одмрзнување, како и со хемиските процеси, кои се проследени со промена на волуменот на карпата (баврење и др). Според геолошката градба, сувото течење може да се случи во распадина од каменити карпести маси, во глиновити и во разнородни карпести маси.

Дебелината најчесто им се движи од 0,5 до 5 метра, поретко преку 15 метра, а најчесто се класифицираат според прикажаните критериуми во Табелата 9.23.

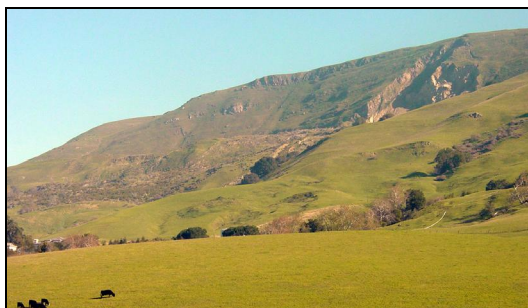


Слика 9.174 Приказ на елементи на суво течење на материјал во план и пресек: А - А' надолжна; В - В' напречна насока

Табела 9.23 Класификација на суви течишта според нивната површина и волумен

Класификација	Површина (m ²)	Волумен (m ³)
1. многу мали	до 100	до 50
2. мали	100 - 1000	50 - 1000
3. средна големина	1000 - 10 000	1000 - 20 000
4. големи	10 000 - 50 000	20 000 - 250 000
5. многу големи	преку 50 000	преку 250 000

Границите на сувите течишта потешко се препознаваат на терен, бидејќи во однос на свлечиштата имаат значително помали нерамнини и релативно помали издигнувања и спуштања (Слика 9.175).



Слика 9.175 Приказ на суво течиште (фото Б. Аболмасов)

Со презаситување на телото на нестабилниот материјал, овој процес може да премине кон фаза на активно свлекување или течење.

КАМЕНО - СНЕЖНИ ЛАВИНИ

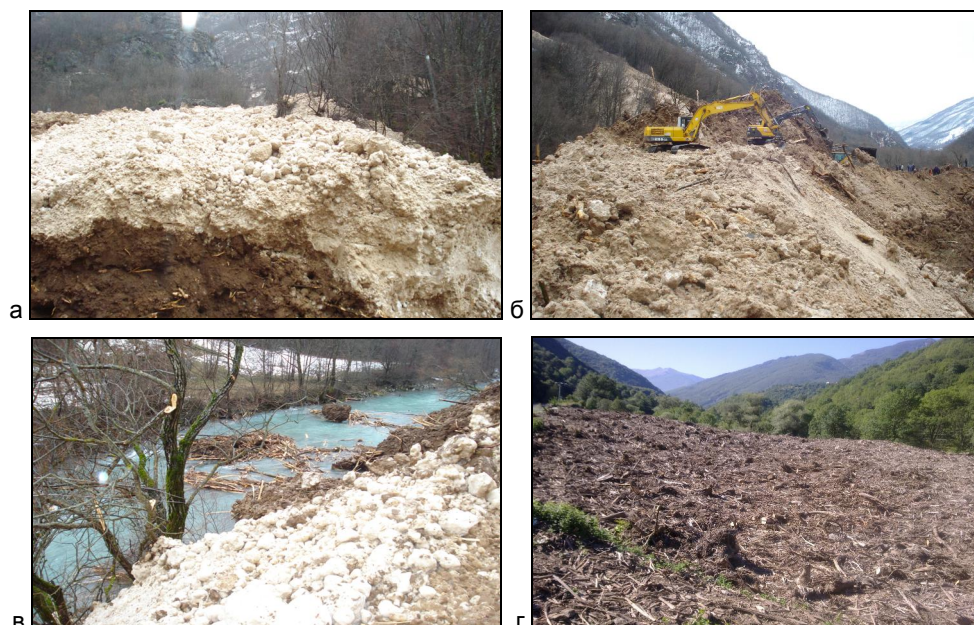
Појавата на **камено - снежни лавини** (анг. **rock avalanches**) е карактеристична за повисоките планински региони, кои се изградени од цврсти карпести маси. Причина за нивната појава е брзо одмрзнување на снегот или појава на некој потрес. Раздвижувањето на масите е многу ненадејно и брзо, масата во движење може да претставува мешавина од снег и камени блокови или да превладуваат камените блокови. За намалување на ефектите од нивната



појава се применуваат различни заштитни бариери, се инсталираат системи за вештачко и контролирано предизвикување на лавините во нивната челна (најгорна) зона и друго (Слика 9.176).

Слика 9.176 Бариера за амортизација на удар на снег и каменит материјал

Посебно се карактеристични за Швајцарија, Канада и други земји со изразени дејства на мразот и снегот, додека во другите региони се поретки. Еден редок пример, кој се случил на почеток на 2010 година во зоната на патниот правец Маврово - Дебар кај нас е прикажан на Сликата 9.177.



Слика 9.177 Фотоснимки од камено - снежна лавина случена на почетокот на 2010 година на патниот правец Маврово - Дебар: а - поглед кон повисоки зони на теренот каде што почнало движење на камено - снежната лавина, б - зона на патот во фаза на расчистување, в - приказ на масата од телото на лавината, кое допрело до река Радика, г - остатоци од почвен материјал и дрва по исушување на масата (фото Бл.Тевдовски)

Сликите јасно ја илустрираат феноменологијата на овај процес, кој се смета за еден од најнепредвидливите современи процеси.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Што се современи геолошки, а што инженерскогеолошки процеси и кој дел од геологијата ги изучува?
- Наброј ги сите современи процеси и појави.
- Кои квантитативни методи се применуваат за дефинирање на распадатоста?
- Кои видови ерозија ги познаваш и кои се критериумите за нивна поделба?
- Што подразбираш под терминот абразија?
- Што е свлечиште и нацртај еден типичен изглед на свлечиште?
- Што е фактор на сигурност?
- Кои се основни правила за санирање на свлечиштата?
- Што е одрон, што е сипар и нацртај по еден типичен профил за двете појави?
- Кои се основни правила за санирање на одрони и сипари?
- Кои се другите основни појави на движење на масите?

10 ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ПРОЦЕСИ И ПОЈАВИ

ВОВЕД

Инженерскогеолошките процеси се резултат на промени на геолошките услови или својствата на карпестите маси, поради изградба на објекти или изведувањето на инженерските работи. Поголем број од нив се исти или слични со современите геолошки процеси но се вештачки предизвикани. На пример, поради инженерските активности е можно да се предизвикаат свлечишта, одрони, суфозија, ерозија и друго. Обично, развојот и манифестациите од инженерскогеолошките процеси се побрзи во однос на природните процеси. Имено, инженерската дејност на човекот придонесува за драстични промени во теренот, при што може да се забрза и развојот на присутните современите геолошки процеси и појави. Ова е посебно случај кога инженерските активности се проектираат или изведуваат на несоодветен начин. Затоа, при истражувањето, проектирањето, изведбата и експлоатацијата на инженерските објекти, посебно внимание треба да се посвети на следните инженерскогеолошки процеси:

- деформации на темелната основа на објектите;
- слегнување на површината на теренот;
- тонеење и проломи на карпестите маси над подземните отвори;
- деформации на почвите при ископ на градежни јами, разработка на површински копови и други ископи;
- измена на крајбрежните делови на вештачките акумулации;
- подземни притисоци и удари;
- деформации на ископот кај подземните работи и др.

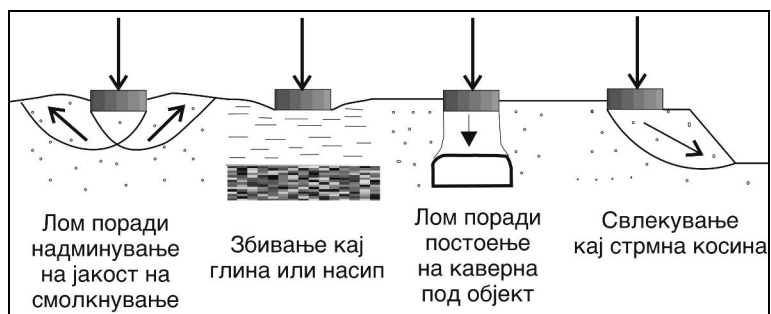
Кај голем дел од инженерскогеолошките процеси и појави, предуслови за развој се: неповолните инженерскогеолошки својства на теренот, постоењето на слабоносиви и високо деформабилни почви, природно нестабилни терени, карстни феномени, карпести маси со ниска јакост или склоност кон бабрење, постоењето на подземни води и слично.

ДЕФОРМАЦИИ НА ТЕМЕЛНАТА ОСНОВА НА ОБЈЕКТИТЕ

При изведба на објектите, тие предизвикуваат дополнителни притисоци на карпестите маси врз кои се фундирани. Во зависност од нивото на притисокот на контактната површина на теренот со објектот, карактеристиките на подлогата и постоење на некои други инженерски активности под зона на фундаирање, можни се различни видови деформации (Слика 10.1). Деформациите на темелната подлога се појавуваат поради неколку основни причини и тоа:

- Нивото на отповарување, кое се пренесува од објектот врз подлогата е повисоко од јакоста на карпите. Ова може да предизвикува лом со смолкнување на двете страни околу темелот, самиот темел пропаѓа, дел од теренот околу темелот слегнува, а дел поради странично истиснување се издигнува;
- Кај слабоносивите почви и слабо збиени насипи, поради притисокот од темелот или висината на насипот, се случува збивање или консолидација на теренот;

- При постоење на каверни кај карстен терен, подземен објект или ископ од некој рудник под зона на темелење, се случува лом на сводот од подземната шуплина и пропаѓање на теренот или конструкцијата;
- Кај темели фундирани на косина, заради оптоварување од објектот и наклонот на косината, може да се појави заедничко свлекување и на теренот и на објектот.



Слика 10.1 Видови деформации на темелната основа

Најчесто, притисоците на контактната површина, кои се пренесуваат од објектите во високоградбата изнесуваат од 300 до 500 kPa. Поретко, кај многу високите згради, мостовски столбови и кај гравитациски брани може да достигнат и до 1500 - 2500 kPa. Најголеми оптоварувања се среќаваат кај високи лачни брани каде се можни притисоци на контактот и до 5000 kPa. Ако притисокот од објектот ја надминува јакоста на смолкнување на природните материјали од темелната основа, може да настане состојба на **граничната носивост** на подлогата (Q_{gran}) и состојба на **лом**. Основно правило при димензионирање на сите објекти е нивото на притисок, кое ќе го пренесе темелот врз подлогата да не ја надмине т.н. **дозволена носивост** (Q_{doz}). Дозволената носивост во општ случај се дефинира кога граничната носивост се подели со одреден **фактор на сигурност** (F_s):

$$Q_{doz} = Q_{gran} / F_s$$

За најголем број случаи на оптоварување, факторот на сигурност се усвојува да биде во границите од $F_s = 2-3$. При длабоко фундирање и темели фундирани во специфични услови може да се усвои фактор на сигурност и до $F_s = 5$.

Во практиката се разработени различни методи за пресметка на дозволената носивост. Генерално, треба да се укаже дека таа зависи од повеќе фактори како: јакоста на смолкнување на подлогата, видот на темелот и неговите конструктивни карактеристики, видот на оптоварување, длабината на фундирање, состојбата на подземните води и други параметри.

За некои типични видови почвени материјали, дијапазон на вредности на дозволената носивост е прикажан во Табела 10.1.

Кај цврстите карпи, носивоста поретко се појавува како проблем. Некои типични вредности се прикажани во Табела 10.2, а за прелиминарна проценка на носивоста се користат податоци за јакоста на притисок и испуканоста (Слика 10.2).

Табела 10.1 Типични вредности за дозволено оптоварување на подлогата за некои видови почвени материјали

Вид на материјал	Дозволена носивост Qdoz - kPa
меки алувијални глини	< 75 kPa
средно збиена глина	75 - 150 kPa
тврди глини	150 - 300 kPa
растресити слабо збиени песоци	80 - 150 kPa
средно збиени песоци	150 - 250 kPa
збиени песоци и средно збиени чакали	300 - 400 kPa
многу збиен песок и чакал	400 - 500 kPa

Табела 10.2 Типични вредности за дозволено оптоварување на подлогата за цврсто врзани карпести маси

Вид на материјал	Дозволена носивост за неизменети и масивни карпи Qdoz - MPa	Дозволена носивост за многу испукани и изменети карпи Qdoz - MPa
цврсти магматски карпи и свежи гнајсеви	10	6
цврсти варовници и песочници	4	3
цементирани конгломерати	3	2
шкрилци од низок кристалинитет	2	1
лапорци и глинци, креда	0,75	0,40

Јакост на притисок (MPa)	100	4	8	12
	25	1	3	5
	10	0,2	1	2
RQD	25	70	90 (%)	
Ls	60	200	600 mm	

Qdoz (MPa)

Слика 10.2 Шема за груба проценка на дозволена носивост во зависност од јакоста и испуканоста на карпите

Ако објектот пренесува оптоварување во границите на дозволеното ниво, се смета дека не треба да се очекуваат знатни деформации во подлогата.

Во секој случај, пресметката и проценката на носивоста треба да ги опфати сите влезни параметри и очекувани влијанија од објектот, и по потреба, да се изврши контрола со анализа на стабилност на цел систем. Ова посебно е значајно кај објекти поставени на косина, каде стабилноста е померодавна за соодветно димензионирање на објектот.

СЛЕГНУВАЊЕ И ТОНЕЊЕ НА ТЕРЕНОТ

Слегнувањата и тонењето на теренот се процеси кои се резултат на различни влијанија. Тие се изразуваат како деформации со доминантна вертикална и послабо изразена хоризонтална компонента на поместувањата. Суштинска разлика меѓу овие два процеси е што **слегнувањето** (анг. **settlements**) се појавува поради оптоварување на подлогата на теренот од вештачките објекти. Објектите можат да бидат од тип на насипи, згради, мостови, објекти на патна инфраструктура, брани и слично.

Тонењето на дел од теренот и објектите на него (анг. **subsidence**) најчесто е резултат на влијанија на инженерски активности под површина на теренот. Инженерската активност може да се однесува на активен ископ кај подземни рудници, тонење на терен над напуштени рудници, црпење на подземна вода и исушување на теренот, постоење на кавернозни зони од варовнички маси, поранешни гипсни или солни лежишта и друго. Во определени случаи, деформациите на теренот може да се појават и како комбинирано дејство на површински оптоварувања и подземни инженерски интервенции.

СЛЕГНУВАЊА

Дополнителниот притисок од тежината на објектите дејствува на темелната почва како постојан статички товар, под чие влијание една зона од карпестите маси се компримира или збива. Ова доведува до **деформација** на површината на теренот и изградените објекти на неа. Вертикалните поместувања на објектите, кои се предизвикани со збивањето на почвите во темелната основа, се нарекуваат **слегнувања**. Слегнувањата може да бидат **рамномерни или нерамномерни**. Нерамномерните слегнувања често се нарекуваат и **диференцијални** слегнувања. (Слика 10.3)



Слика 10.3 Приказ на рамномерни и нерамномерни слегнувања и шематски изглед на деформации кај објектите

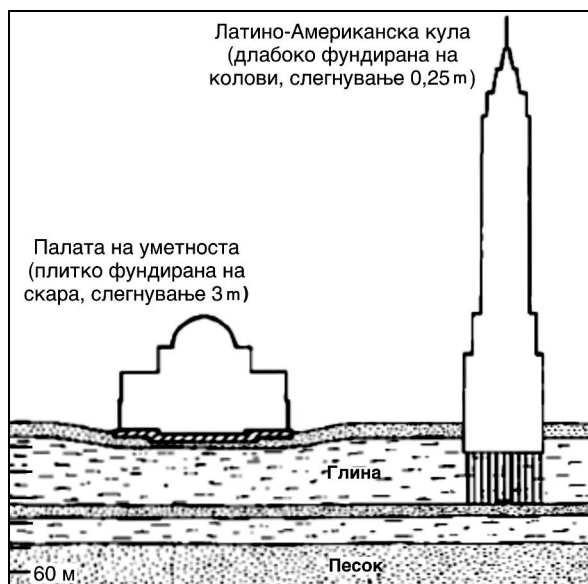
Зависно од положбата на карпестите маси под темелите на објектот, се можни неколку основни начини на слегнување. На пример, случајот на Сликата 10.3-а, прикажува објект со рамномерни слегнувања во вертикален правец, кои не предизвикуваат оштетувања на објектите. Случајот на Сликата 10.3-б укажува дека кога постои деформабилен слој од мека глина над недеформабилен слој од цврста карпа со различна дебелина и наклон, може да се појават нерамномерни слегнувања, а самиот објект да претрпи делумна ротација. Во третиот случај, е можно и напукнување на објектот поради различни слегнувања во различни делови од објектот.

Очигледно е дека сите слегнувања не мора да се опасни за објектите. На пример, рамномерните слегнувања не мора да предизвикаат оштетувања на

објектот, дури и за случаи ако достигнат големини и до десетина сантиметри. Од ова произлегува дека се опасни нерамномерните слегнувања. Тие се најчесто резултат на хетерогениот состав на почвите во зона на темелење и постоење на почви со различен степен на збиеноста, различна дебелина, анизотропија на јакоста на смолкнување, појава на прослојци, леќи, коса слоевитост и слични појави на нехомогена градба на теренот во зона на темелењето.

Понекогаш појава на диференцијални слегнувања е можна и при хомогена градба на теренот во темелната подлога поради ексцентрично оптоварување од објектот, што предизвикува појава на нерамномерна распределба на напрегања во горната инженерска конструкција, ротација или евентуално рушење на објектот.

Слегнувањата обично се движат од неколку милиметри до неколку сантиметри, поретко и до десетина сантиметри. Во исклучителни случаи се јавуваат и слегнувања и над еден метар кај високи насипи и земјени брани, каде тоа е и очекувана појава. Апсолутните големини на слегнувањата зависат од физичко-механичките својства на почвата, големината на предизвиканиот товар, но и избраниот систем на фундаирање на објектот. Интересен пример за објекти со различни конструктивни карактеристики е прикажан на Сликата 10.4.



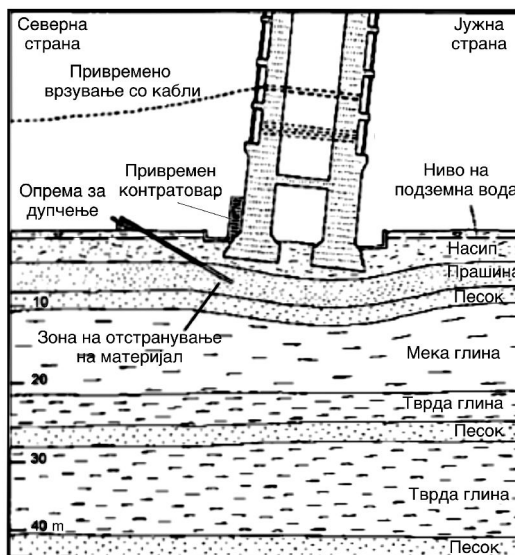
Слика 10.4 Различен ранг на слегнувања, во зависност од избраниот систем за фундаирање кај објекти во градот Мексико (Фигуеро, 1984)

Се работи за познат случај на различно фундирани градби во градот Мексико, кои претрпеле сосема различни слегнувања. На пример, кај Палатата на уметностите е констатирано многу високо ниво на слегнувања и до 3 метри. Оваа зграда, врз подлогата предава ниско ниво на напрегања од околу 110 кРа, но поради избраниот тип на плитко фундаирање на темели на скара врз многу деформабилни монтморионитски глини, претрпела екстремни поместувања. Соседниот многу висок објект наречен Латиноамериканска кула, е фундиран длабоко врз колови кои достигнуваат со својот врв во слој од песок на длабина од околу 32 до 40 метри, а претрпел слегнувања од само 0,25 метри.

Во литературата, често како пример се разгледува **Кривата кула** во Пиза во Италија, која заради искривеноста е позната туристичка атракција. Самата кула е со висина од 58 метри, а од вертикалната оска е поместена за околу 4 метри (Слика 10.5). Кривата кула е тешка околу 14 000 тона, што предизвикува оптоварување во зона на фундаменти до околу 500 кРа. Кулата е фундирана врз насип, прашина и песок, но главните слегнувања се резултат на подебел слој на мека глина кој е застапен од 11-22 метри под површина на терен. Дозволена носивост на подлогата е ниска и се движи до околу 50 кРа. Ова е предуслов за константно слегнување на теренот со ползење. Поради староста на кулата, не се точно познати сите фази на слегнувања, но се смета дека нерамномерните слегнувања се веројатно резултат на нерамномерна градба на глинестиот слој и ексцентрично оптоварување. Слегнувањата со текот на времето добиле големи димензии. На пример, јужната страна слегнала околу 3 метри, а северната околу 1 метар. За да се избегне превртување на кулата, од 1993 до 2001 година, е пристапено кон контролирано одземање на материјал од северната страна на кулата и оптоварување со привремен товар. Одземањето на почвената маса под темелите е извршено со вадење на материјалот преку дупчачки прибор, со цел да се создаде дефицит на маса во тој дел од теренот. Со тоа, се индуцирало вештачко слегнување кон северната страна, со цел да се изврши исправување на кулата која се вратила наназад за околу 445 mm и е доведена во стабилна состојба.

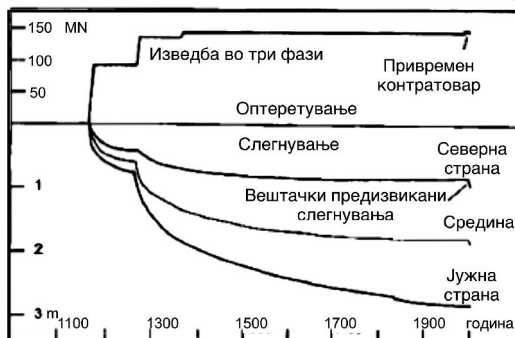


а



б

Слика 10.5 а - Фотографија на Кривата кула во Пиза - Италија, **б** - приказ на остварени слегнувања на северната и јужната страна од време на градба до 2001 год и начин на контрола на слегнувањата со вештачко вадење на материјал од северната страна со дупчатини со цел да се исправи кулата (Гарборгин, 1986)



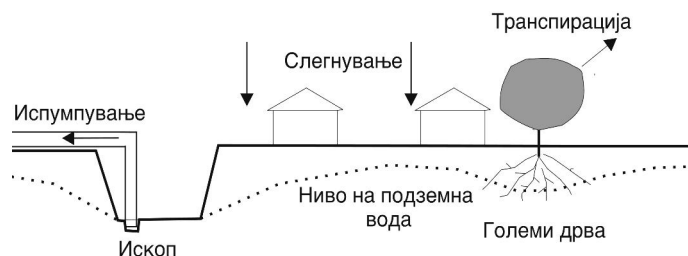
Треба да се нагласи дека стисливоста на почвата е основно својство од кое зависи големината на слегнувањата. Затоа, цврсто сврзаните каменити и полукаменитите карпи за вообичаено ниво на оптоварување, покажуваат мали апсолутни деформации. Деформациите се, главно еластични или се резултат на затварањето на пукнатините и збивањето на пукнатинскиот наполнител, така што немаат некое посебно инженерско значење. Само при изградба на високи лачни брани може да се појави потреба од анализа на деформациите кај цврстите карпи, бидејќи тие предизвикуваат зголемени напрегања во контактната зона. Затоа, за нивно фундавање темелната основа мора да е припремена исклучително добро, бидејќи тие не трпат поголеми промени во нивното тело кои би биле предизвикани од зголемени поместувања во основната карпеста маса.

Стисливоста на чакалестите карпести маси е условена со меѓусебното поместување на зрната и е незначителна во границите на работните оптоварувања. Кај нив слегнувањата се одвиваат брзо **уште при самото градење**, така што тоа нема посебно влијание врз објектот во тек на експлоатација.

Стисливоста на песоците може да се манифестира различно во зависност од степенот на збиеноста на песоците, нивниот гранулометриски состав, влажноста и дали се изложени на статички или динамички оптоварувања. Најголема стисливост е својствена за глинестите почви. Слегнувањата на објектите, кои се изградени на вакви почви, често се придружени со истиснување на почвите под и околу темелната основа, што може да доведе до големи деформации на објектите, па и нивно рушење. Кај глините, големо значење има **временскиот** фактор, бидејќи слегнувањата можат да се одвиваат во тек на повеќе години, па дури и десетина години. Овој процес на збивањето на почвата во функција на време се нарекува **консолидација**. Посебен вид на слегнувања се јавува во **лесните наслаги**, каде што има појави на нерамномерни деформации, кои се движат од неколку десетина сантиметри се до 2.0 m'. Кога е изложен лесот на влажење, тој може целосно да ја изгуби својата структура. Во крајна линија, нерамномерното слегнување доведува до пукање, искривување, тонење, па дури и до рушење на објектите кои се фундаирани во лес.

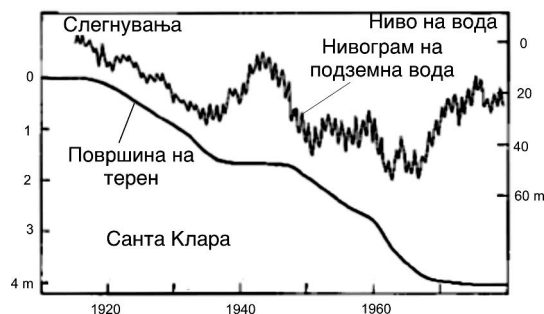
ВЕШТАЧКИ ПРЕДИЗВИКАНИ СЛЕГНУВАЊА

Механичкото однесување на почвите многу зависи од влијанието на подземните води. Посебни проблеми се појавуваат при прекумерно црепење на подземните води, со што може драстично да се промени напонската состојба во теренот. При снижувањето на подземна вода знатно се зголемува нивото на ефективниот напон, така што при ист модул на деформација на почвите доаѓа до слегнување и тонење на површина на теренот (Слика 10.6).



Слика 10.6 Појава на слегнување на теренот заради снижување на нивото на подземни води при ископ, испумпување или исушување на теренот од вегетација

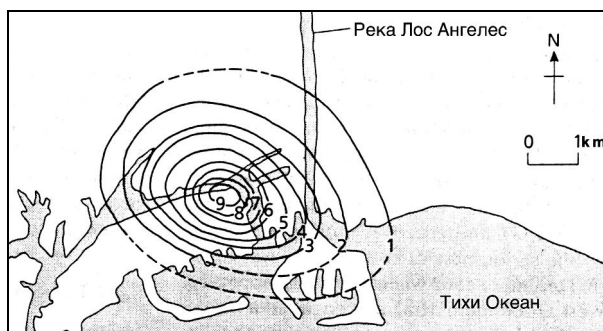
Во литература се познати примери, каде што големи пространства од теренот се зафатени со значајни слегнувања како резултат на интензивни и долготрајни црпења на подземната вода (Слика 10.7).



Слика 10.7 Приказ на влијание на снижување на подземни води врз големината на слегнување на теренот во Санта Клара - Калифорнија

Од сликата се гледа дека поради црпење нивото на подземните води се снижило над 20 метри што предизвикало слегнувања на површината на теренот за 4 метри во период од околу 50 години. Треба да се знае дека слегнувањата во пескливите седименти се од брз и еластичен карактер, а кај глиновитите седименти се бавни, но се од неповратен карактер. Кај терени со хетероген состав иако црпењето се врши од водноносните слоеви, всушност, главните слегнувања се резултат на промена на напонската состојба на пратечките глиновити слоеви. На пример, во градот Мексико, поради црпење на подземна вода од пескливите слоеви и присуство на дебели глиновити неконсолидирани наслаги, констатирани се големи слегнувања кои се движат и до 9 метри, а кај градот Банког слегнувања се со интензитети и до 10 cm/год.

Слични феномени се појавуваат и при црпење нафта и користење земни гасови во големи количини, со оглед дека при тоа се создава голем дефицит на маса во подземјето (Слика 10.8).

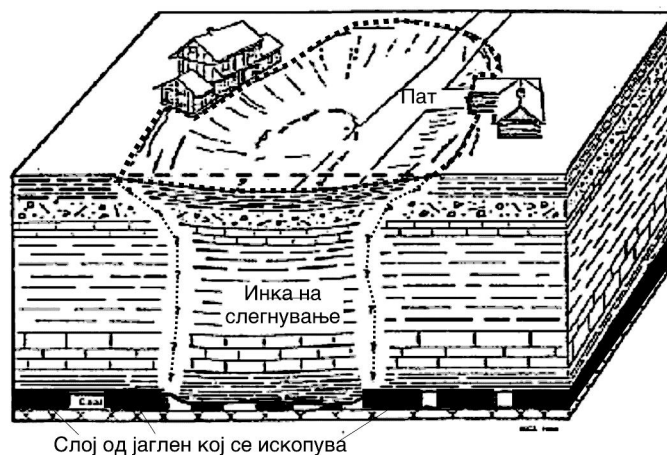


Слика 10.8 Слегнувања на терен поради црпење на нафта во крајбрежје на Лос Ангелес, САД (Анон, 1979)

Очигледно е дека овој проблем бара многу студиозен пристап, бидејќи е неопходно да се обезбеди реален компромис меѓу потребата од користење на подземните води, нафтата и гасот, и потребата од зачувување на животната средина и изградените објекти на површина на теренот.

ТОНЕЊЕ И ПРОЛОМИ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

Тонење и проломи се деформации во карпести маси, кои најчесто се појавуваат кај рудници за јаглен со подземен ископ, рудници на камена сол, природни каверни или други ископи. По ископот на минералната суровина или карпестата маса, непосредно над работниот простор на ископот, во одредена зона теренот може целосно да се поремети. Како резултат на поместувањето површината на теренот се деформира во вид на т.н **инка на слегнување** (Слика 10.9).



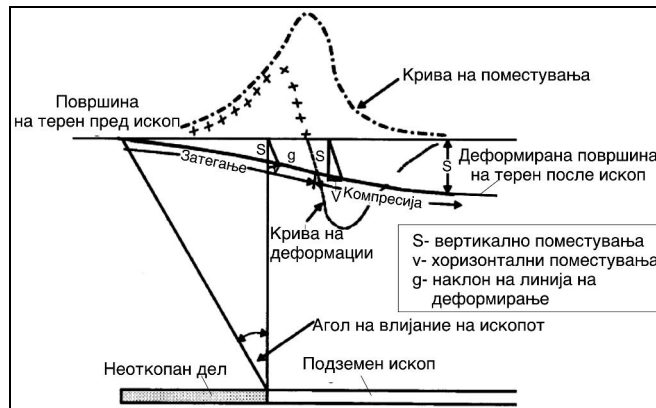
Слика 10.9 Создавање на инка на слегнување над ископ на слој од јаглен

Пореметувањето може да биде изразено како обрушување или испаѓање на делови од карпестата маса во работниот простор на рудникот. Над обрушената зона се јавува комбинирано поместување на теренот, кое може да се манифестира на како: делумно обрушување со свивање на слоевите и пукање на карпестите маси или со чисто свивање и тонење на површината на теренот. Кога тонењето е брзо и ненадејно се нарекува **пролом**, при што се создава вертикална празнина во теренот (анг. **sinkhole**). При тоа, објектите и инфраструктурата кои се во зоната на инката на слегнување трпат сериозни оштетувања (Слика 10.10).



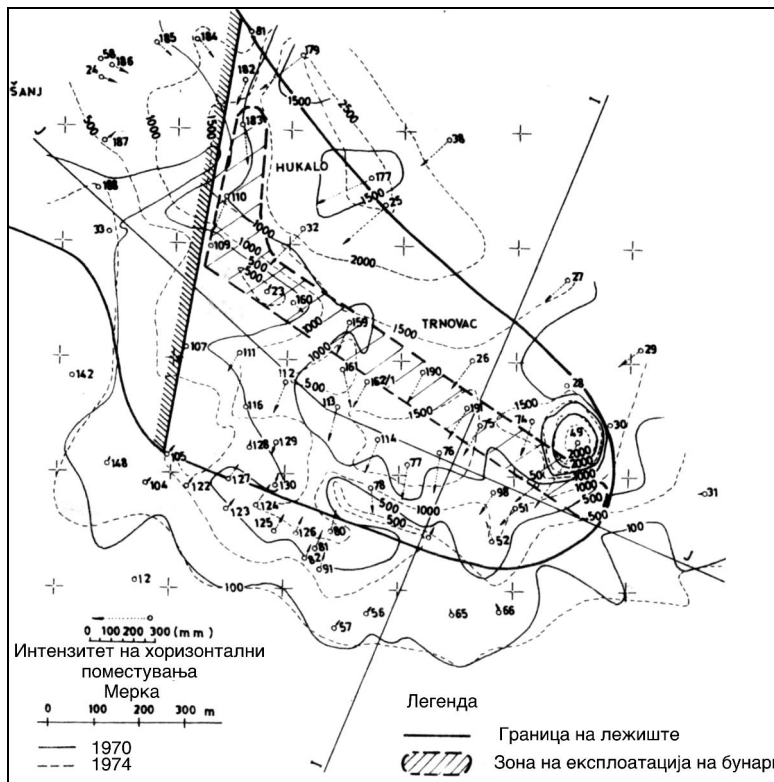
Слика 10.10 Појава на пролом во вид на вертикална јама

При развојот на процесот во склоп на теренот се појавува сложено напонско поле каде што се застапени зони со различни интензитети и големини на поместувањата (Слика 10.11).



Слика 10.11 Карактеристични елементи на зоната зафатена со тонење на теренот поради подземен ископ

Од сликата се забележува, дека поместувањата имаат вертикална и хоризонтална компонента. Во одредени делови од теренот преовладува затегнување, додека во други зони компресија, а поместувањата не се исти во секоја зона (Слика 10.12).



Слика 10.12 Изолиниска карта на поместувања на теренот во градот Тузла во Р Босна и Херцеговина поради подземен експлоатација на камена сол

За прогноза на очекуваните поместувања се користат различни аналитички техники, но тие најточно се определуваат преку долготрајно набљудување. Со обработка на мерените податоци можат да се конструираат изолинии на исти вертикални и хоризонтални поместувања и да се издвојат критични зони каде што треба санација на објектите. Во зависност од утврдениот степен на опасност за објектите на површина на теренот можат да се планираат различни мерки за нивна заштита.

ДЕФОРМАЦИИ НА ИСКОПИ ЗА ТЕМЕЛНИ ЈАМИ И ДРУГИ ИСКОПИ

При ископот на темелните јами, кај длабоки усеци на сообраќајниците, каналите, рововите, отворањето на површинските копови и слични работи, е можно да се појават различни инженерскогеолошки процеси. Тие треба навремено да се предвидат, со цел да се преземат неопходни технички мерки за да се намали нивното неповолно влијание во фаза на градба или експлоатација на објектите. Деформациите можат да бидат предизвикани поради бабрење, испапчување и распукување на почвите во дното на ископот кај објектите, а проследено со продор на течливи песоци и подземна вода (Слика 10.13).

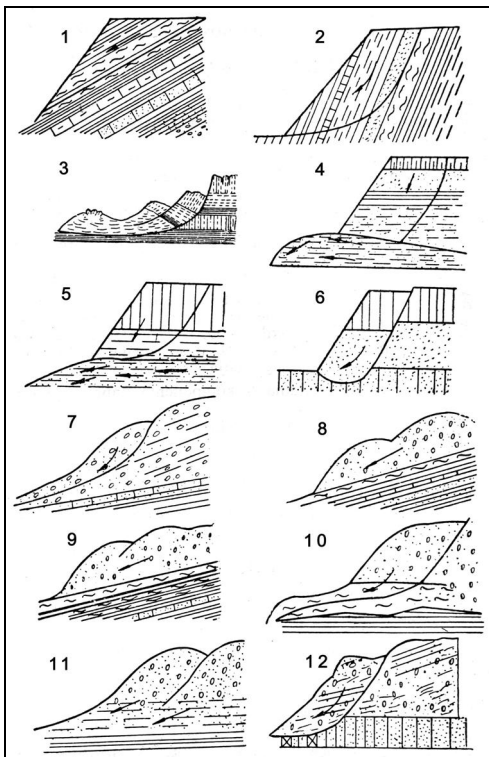


Слика 10.13 а - Деформации на приземен станбен објект, б - деформации на коловозна конструкција заради појава на бабрење на подлогата (Ергулер и Улусаж, 2005)

Бабрењето е најизразено кај експанзивни почви од типот на монтморионитски глини, кои при примање на влага можат да се развијат притисоци и до 600 кРа. Кај експанзивни почви, поради бабрење теренот се издигнува, но при сушење, повторно слегнува. Вакво циклично дејство на издигање и слегнување предизвикува значајни штети кај конструкциите. На пример, според статистички податоци, во САД, штетите предизвикани од санација на објекти од вакви појави ги надминуваат трошоците, кои се предизвикуваат од земјотреси и поплави. Кај површинските копови или кај усеци, нарушувањето на стабилноста на косините се манифестира во вид на свлекување, одронување, истиснување, испирање, јаружање и друго (Слика 10.14).

Ако на косината има појава на истекување на подземни води, деформациите можат да бидат условени со суфозија, хидродинамичкиот притисок, намалување на јакоста на смолкнување на карпите и слично. Кај некои косини во глиновити почви, може да се појават и деформации на ползењето при константни товари. Во глинестите почви се појавуваат и процеси на опаѓање на напоните во вид на релаксација, што предизвикува нивно истиснување после одредено време.

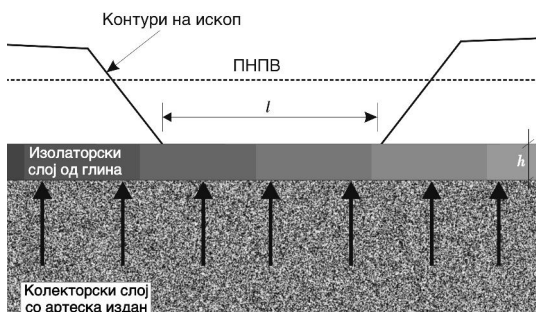
Испирањето и јаружањето на косините обично настанува при непланско сливање на површинските води, посебно после интензивни врнежи и топење на снегот, поради што може да се појават вододерини и јаруги кои придонесуваат кон општата нестабилност на косините.



Слика 10.14 Типови на деформации како резултат на изведба на косини:
 1 - рамнински лом со откинување на карпести маси, 2 - сложено откинување и одронување низ неколку видови карпести маси, 3 - свлекување, 4 - свлекување со истиснување на маси од подлогата, 5 - свлечиште со преод во течиште поради заситени маси во подлога на ископ, 6 - свлекување со втиснување на горните карпести маси во подлогата, 7 - надножично свлекување, 8 - ножично свлекување, 9 - подножично свлекување, 10 - свлекување со странично истиснување, 11 - свлекување со преод кон течење, 12 - свлекување со втиснување (Пањуков, 1965)

ИСПАПЧУВАЊЕ, РАСПУКНУВАЊЕ НА ДНОТО НА ИСКОПИТЕ И ПРОДОР НА ПОДЗЕМНИ ВОДИ

Ваквите процеси можат да се случат ако со ископот се откријат глинести карпи или други изолаторски слоеви, под кои лежи водоносен слој со подземна вода под притисок. Поради влијанието на артескиот притисок на дното на изолаторот се создава потисок нагоре, кој може да се изрази со големината на хидростатичкиот притисок (Слика 10.15).



Слика 10.15 Приказ на можност за продор на вода под артески притисок во дно на ископ

Во зависност од големината на хидростатичкиот притисок може да се појави испапчување на дното на ископот или да дојде до негово распукнување со продор на артеските води во ископот. Една од постапките за определување на

дозволения хидростатички притисок (H_p), кој не предизвикува распукнување и продор на подземните води од подината на ископот е прикажана со следната формула:

$$H_p = \frac{2Gh}{\eta\gamma_v l_e} + \frac{\gamma_o}{\gamma_v} \cdot h$$

Каде што е: G - јакост на глинести карпи, која се определува во специфична апаратура (kN/m^2);

h - пресметана дебелина на хидроизолаторот, m ;

γ_v, γ_o - волуменска тежина на водата и на хидроизолаторот, kN/m^3 ;

η - коефициент на сигурност, кој се усвојува најчесто од 3-4;

l_e - еквивалентна ширина на ископот $l_e = \frac{a \cdot l}{a+1}$;

a, l - должина и ширина на ископот, m ;

При поголема ширина на ископот, можноста за продор на артеските води во се определува по следната едноставна формула:

$$H_o \gamma_v < \gamma_o \cdot h$$

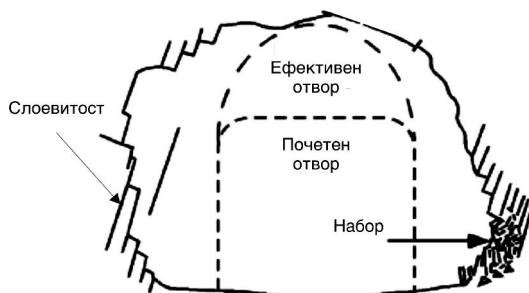
Каде што е: H_o - хидростатички притисок на подината на хидроизолаторскиот слој (m).

Основна техничка мерка со која се намалуваат ваквите опасности е снижување на артескиот притисок до безопасни големини, што се врши со помош на самоизливни дупнатини, бунари и сл.

ПОДЗЕМНИ ПРИТИСОЦИ И ГОРСКИ УДАР

Подземните притисоци се манифестираат во карпестите маси кога во нив се изведуваат подземни работи при што се нарушува природната напонска состојба. Околу ископот се појавува прераспределба на напоните, кои често ја надминуваат јакоста на карпестите маси, при што се појавуваат деформации, со крајна тенденција до целосно затворање на ископот. Карпите што се стремат кон обрушување, вршат на подградбата **подземен** (тунелски или јамски) **притисок**. Големината на притисокот, која се пренесува на облогата кај подземните објекти, се движи во границите од 0-0,5 t/m^2 во времето на изведување на работите, зголемувајќи се во текот на времето и до 120 t/m^2 (1,2 MPa).

При изведба на подземни ископи, посебно во рударството, најопасни се **подземните или горските удари**, кои се изразуваат како брзо рушење на карпестите маси, јагленот или рудите во подземјето. Покрај целосно кршење на карпите, се појавува воздушен удар, потрес и татнеж, при што може да дојде до делумно или целосно зарушување на подземните простории (Слика 10.16).



Слика 10.16 Геолошки предуслов за појава на горски удар кај набрани и слоевити карпести маси

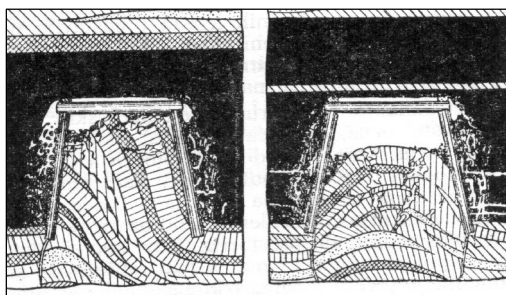
Конкретните начини на манифестирање на подземниот притисок зависат од поголем број фактори, кои најчесто дејствуваат заеднички и тоа: тектонската оштетеност, физичко-механичките својства на карпестите маси, карактерот на слоевитоста, набраноста и другите структурни

својства, длабината на подземните објекти, нивните димензии, форми и взаемен распоред, нивната положба во просторот, ориентацијата на објектите кон елементите на залегање на карпестите маси, брзината на пробивањето и поставувањето на подградата, начинот на подградувањето на кровината, механичките својства на материјалите кои се применуваат и друго.

Подземните удари најчесто се појавуваат на големи длабини во карпестите маси со висока јакост на места со максимална концентрација на напоните. Услови за појава на горски удар има и кај слоевити и набрани карпи, каде најчесто во набраните делови настанува иницијалниот горски удар. Според одредени анализи, горските удари може да се иницираат и при земјотреси. Најопасни се подземните удари кои се поврзани со ненадејно исфрлување на земен гас метан кој бил компримиран во некоја пукнатина кај непроветрена карпа. Големи ризици се поврзани ако има можност за појава на горски удар на поголема длабина каде нема можност за брзо извлекување на работната сила и механизацијата. Во вакви случаи чести се и човечки жртви.

ИСПАПЧУВАЊЕ НА ДНОТО НА ИСКОП КАЈ ПОДЗЕМНИ ПРОСТОРИИ

Овој начин на деформирање се појавува во вид на пластично истиснување на меките карпести маси при изведба на подземните работи (Слика 10.17).



Слика 10.17 Приказ на испапчување на дно на подземен ископ (Пањуков, 1967)

Најинтензивно испапчување се појавува во глинестите почви со монтморионитен состав и други експанзивни почви склони кон бабрење, каде брзината на испапчувањето може да достигне од 20 до 25 см за еден ден.

Негативното влијание од вакви деформации може да се спречи или да се намали ако се примени технологија на брза изведба на подземниот ископ и истовремено подградување. Сите празни шуплини меѓу подградбата и околната карпеста маса треба внимателно да се пополнат веднаш по поставувањето на подградбата, со што ќе се спречи можноста за развој на деформациите на карпестите маси во текот на време во вид на бабрење или на ползење. Инаку, испапчувањето кај експанзивни почви може да дојде и поради примање на влага од воздухот, што е уште еден аргумент за брзо поставување на подградбата.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Наброј ги најзначајните инженерскогеолошки процеси и појави!
- Што означува терминот гранична, а што дозволена носивост?
- Објасни ја разликата меѓу слегнување и тонење!
- Објасни ја разликата меѓу рамомерни и нерамомерни слегнувања!
- Појасни го принципот на исправување на Кривата кула во Пиза!
- На што се должи тонењето на теренот поради црпење на подземната вода, земни гасови или нафта?
- Објасни го механизмот на формирање на проломи!
- Објасни што се подразбира под терминот подземен притисок и што е горски удар?

11 СЕИЗМИЧНОСТ НА ТЕРЕНОТ

ВОВЕД

Под поимот сеизмичност се подразбираат сите природни појави кои се поврзани со земјотресите. Под поимот **земјотрес**, пак, се подразбира брзо, ненадејно и краткотрајно поместување на одделни делови на Земјината кора.

Со проучувањето на оваа проблематика најдетално се занимава **сеизмологијата**, која посебно внимание посветува на изучување на влијанието на земјотресите и придружните појави врз инженерските објекти и животната средина. Инженерската геологија е една од науките, која, исто така, посветува големо внимание на сеизмичноста, но повеќе од аспект на дефинирање на влијанијата од инженерскогеолошките фактори врз оштетувањата на теренот и објектите при земјотрес.

Земјотресите како динамички движења на Земјината кора, на површината на теренот се манифестираат во вид на пукање, поместување и лом на карпестите маси, а нивното дејство може да се почувствува во вид на удар, потрес, вибрации и слично.

Понекогаш како придружна појава на земјотресите се јавува подземна грмотевица и други појави кои се главно последица на триењето на карпестите маси по должина на раседните површини при придвижувањата. Покрај тоа, земјотресите предизвикуваат и голем број други современи геолошки процеси и појави како:

- пукање и набирање на површината на теренот;
- појава на ликвидација;
- реактивирање на стари и појава на нови свлечишта, одрони или сипари;
- избивање на гасови;
- пресушување на старите и појава на нови извори, промена на издашноста, составот и температурата на изворската вода, матење на изворите, промена на нивото на подземна вода и други ефекти;
- оштетување и рушење на објекти;
- појава на големи бранови (цунами) во океаните и морињата и друго.

Годишно на Земјата се случуваат над 1 000 000 земјотреси, а со анализа, се утврдило дека најголем број од нив настануваат во зоните на младите венечни планини, во кои тектонските процеси се уште не сè завршени. Такви се зоните на субдукција и хоризонтално поместување на основните тектонски плочи, геосинклиналните појаси, каде што има натрупување на млади седименти и во старите, набрани терени во кои и ден-денес се вршат движења по должина на активните раседи.

Терените каде што има појава на земјотреси се нарекуваат **сеизмички активни терени**. Најголем процент на земјотреси е сврзан за т.н. Медитеранска или Алпско-кавказско-хималајска зона (53,5 %) и за Циркум-пацифичка или Индо-малајска-јапонска зона (41,8 %). На сите преостанати делови на Земјата доаѓа само 4,7 %.

Во најголем број случаи земјотресите се слаби, не може да се почувствуваат со човековите сетила, а се регистрираат само со специјални инструменти

наречени **сеизмографи**. Поретко, земјотресите се многу силни, разорни и пустошни, кои рушат и најсолидно градени објекти.

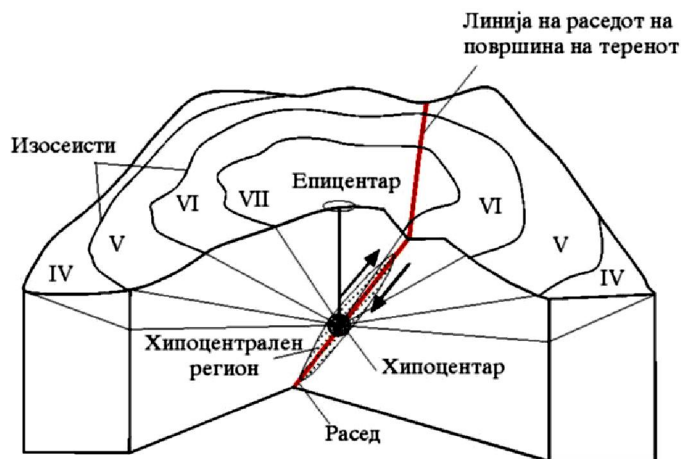
Според **времетраењето**, најголем број траат само неколку секунди, а поретко и по неколку минути. Според **магнитудата**, односно ослободената сеизмичка енергија, на годишно ниво се јавуваат земјотреси со следните магнитуди:

- 1 многу силен катастрофален земјотрес со магнитуда $M > 8$;
- 18 катастрофални земјотреси со $M = 7-7,9$;
- 120 разрушувачки земјотреси со $M = 6-6,9$;
- 1000 средно силни земјотреси со $M = 5-5,9$;
- 8000 слаби земјотреси со $M = 4-4,9$;
- 45 000 земјотреси, кои можат да се почувствуваат со $M = 3-3,9$;
- 350 000 земјотреси, кои можат да се почувствуваат со $M = 2-2,9$;
- 600 000 земјотреси, кои не се почувствуваат со човекови сетила со $M < 1,9$.

Поради честите појави и значајните влијанија врз теренот и објектите, е потребно детално изучување на сите елементи на сеизмичноста. Целта е да се предвидат ризичните зони за градба, условите за антисеизмичка заштита на објектите, мерки на алармирање или заштита од појави на цунами бранови и слично.

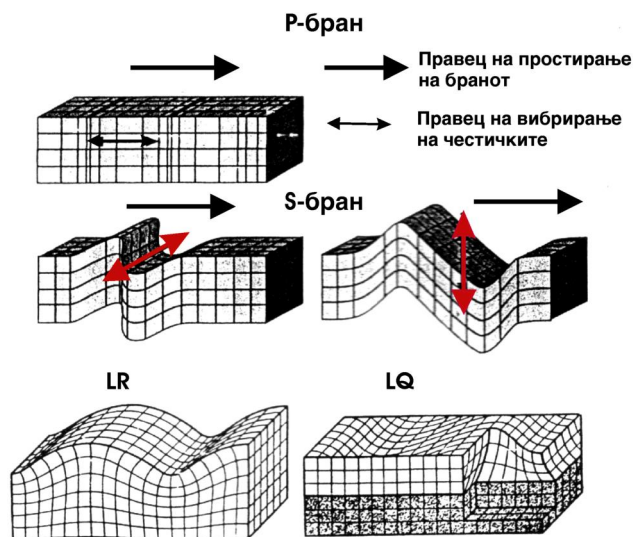
ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА ЗЕМЈОТРЕСИТЕ

Местото на појава на земјотресот под површина на терен се нарекува **жариште или хипоцентар**. Хипоцентарот не преставува само една точка, туку поширока зона, така што е поправилно да се зборува за **хипоцентрален регион**. Хипоцентралниот регион главно, се појавува околу раседите по чија должина настанува движењето на теренот и каде се случува главниот потрес. Вертикалната проекција на хипоцентарот на површина на терен се вика **епицентар или епицентрална зона**, каде што дејството на земјотресот може да се почувствува во вид на вертикални удари, издигања и спуштања на теренот и слично. Покрај тоа, земјотресите предизвикуваат и хоризонтални осцилации на теренот, кои кружно, елипсесто или неправилно се шират околу епицентралната зона. Линиите, кои поврзуваат точки на површината на терен, каде што интензитетот на земјотресот е еднаков се викат **изосеисти**. Со оддалечувањето на брановите од епицентарот интензитетот на земјотресот опаѓа (Слика 11.1).



Слика 11.1 Основни елементи на земјотрес: хипоцентар, епицентар и изосеисти

Потресите од хипоцентарот се пренесуваат во вид на **сеизмички бранови** на сите страни, додека не избијат на површината на теренот. Сеизмичките бранови, кои настанале со потресот, според начинот на простирањето се делат на: **надолжни, напречни и површински бранови** (Слика 11.2).



Слика 11.2 Начин на осцилации на елементарните честички на карпата кај надолжните (P), напречните (S), Рејлиевите (LR) и Ловеовите (LQ) сеизмички бранови

Кај **надолжните** или **лонгитудиналните бранови (P)**, честичките на карпестата маса осцилираат во насока на простирањето на брановите, а движењето се манифестира со наизменично згуснување и разредување на материјата во карпестата маса низ која тие поминуваат. Се протегаат во сите агрегатни состојби на материјата и се со најголема брзина, која во зависност од типот на карпеста маса најчесто има вредност од 0,5-5 km/sec. Кај **напречните** или **трансверзалните бранови (S)** честичките осцилираат во насока нормална на простирањето на брановите, менувајќи ја при тоа само формата на елементарните честички на карпестата маса. Се простираат само во цврста средина. Површинските бранови се простираат низ површинската зона на теренот и се побавни од надолжните и напречните бранови. Од нив се најзначајни Рејлиевите и Ловеовите бранови.

Треба да се истакне дека појаките земјотреси речиси редовно се проследени со еден или со неколку претходни потреси наречени **форшокови**. По главниот потрес се јавуваат дополнителни потреси кои се наречекуваат **афтершокови**.

ВИДОВИ ЗЕМЈОТРЕСИ

Поделбата на земјотресите се врши по повеќе критериуми. Според главните причинителите кои ги предизвикуваат, постои поделба на четири основни видови и тоа: **тектонски, вулкански, обрушувачки и техногени земјотреси**.

Тектонските земјотреси се последица на тектонските движења и тоа, главно, во подлабоките делови од Земјината кора. Нивните хипоцентри се наоѓаат најчесто на длабочина од 10 до 60 km. Зафаќаат големи области, достигнуваат најголем интензитет и предизвикуваат најтешки последици. Гледано процентуално на нив припаѓа околу 90% од сите земјотреси кои се јавуваат во

Земјината кора. **Вулканските земјотреси** се во непосредна врска со движењето и продирањето на магмата или уште почесто со силните ерупции и експлозии на гасовите и пареите од вулканските огништа. Зафаќаат пространства со дијаметар од околу 30-50 km, а интензитетот им е од 4-5 степени по т.н. MCS-скала. Немаат многу изразено влијание врз градежните објекти. **Обрушувачките земјотреси** настануваат како последица на уривање на сводовите или сидовите на подземните отвори или како последица на одронувањето и свлечување на поголеми делови од теренот. Главно имаат само локално значење. Може да се почувствуваат во зона со дијаметар до 15 km, а имаат интензитет до 3 степени по MCS скалата. **Техногените** (вештачки или антропогени) земјотреси настануваат како резултат на дејството на човекот. При тоа, најзначајни потреси може да предизвикаат **подземните атомски** и други експлозии, кои се вршат за различни цели. Според интензитетот, овие земјотреси се приближуваат делумно кон вулканските, а делумно кон обрушувачките земјотреси. Во техногени земјотреси можат да се вбројат и т.н. **индуцирани потреси**. Настануваат најчесто после формирање на вештачките водени акумулации кога, заради дејството на акумулираната вода, се создаваат зголемени хидростатички притисоци на дното и бреговите на акумулациите. Постојат податоци дека при изградбата на една брана на реката Колорадо во САД, се индуцирал земјотрес со јачина околу 5 степени по т.н. Рихтерова скала, а слични ефекти се појавиле и при формирање на водени акумулации во Грција, Индија и Замбија.

Според **длабочината** земјотресите се делат на: **плитки** со длабини на појавување до 80 километри, **средно длабоки** од 80 до 300 километри и **длабоки** со длабини поголеми од 300 километри. Длабочината до хипоцентарот е еден од најзначајните параметри од кои зависи интензитетот на земјотресот врз површина на теренот и зафатеното подрачје на кое се чувствува неговото влијание. Треба да се спомене, дека, на просторите на Балканот, главно се случуваат плитки земјотреси со длабини на хипоцентрите од 5 до 50 km. На пример, скопскиот земјотрес кој се случил во 1963 година бил со длабина на хипоцентарот од околу 5 km, валандовскиот во 1931 на 33 km, а тетовскиот во 1960 на 16 km длабина.

ИНТЕНЗИТЕТ И МАГНИТУДА НА ЗЕМЈОТРЕСИТЕ

Во практиката постојат два основни начини за дефинирање на дејството на земјотресите и тоа преку нивниот **интензитет (I)** или преку **магнитудата (M)**. **Интензитетот** или **јачината на земјотресот** не се мери со инструмент, туку се определува **индиректно**, преку опис на последиците кој ги чувствуваат луѓето, животните или според видовите на оштетување кај градежните објекти и теренот. **Магнитудата** се дефинира преку енергијата, која се ослободува во хипоцентарот. За поконкретно да се определи интензитетот, по секоја појава на посилен земјотрес, специјални стручни екипи вршат прибирање на податоци за последиците врз објектите, теренот или врз живиот свет, кои после тоа се средуваат по однапред определени критериуми. Тие критериуми се дефинирани со сеизмички скали кои содржат одреден број степени. Во светот има неколку различни сеизмички скали со различен број степени. Најчесто е употребувана меѓународната MCS-скала (Merkali-Cankani-Siberg), каде што сите земјотреси според интензитетот се класифицирани во 12 степени. Оваа скала претрпела неколку модификации но е задржана генерална поделба на земјотресите во 12 степени. Нејзините зачетоци датираат од 1931 година, а позначајна модификација е извршена од Рихтер (Richter), 1983 година. Кај оваа скала, покрај

последниците врз теренот и објектите, се даваат препораки околу големината на забрзувањето на земјотресните бранови на површината на теренот (Табела 11.1).

Позната е и скалата според Медведев – Шопенхауер - Карник од 1964 година. Скратено се изразува како MSK-скала. Исто како MCS-скалата има 12 степени, но во неа се попрецизно разработени критериумите за класификација на видот на оштетувања кај објектите и за природата на оштетувањата на теренот. Со тоа, субјективноста при проценката на дејството на земјотресите врз објектите е сведена на минимум.

Табела 11.1 Степени на земјотреси според MCS скалата на Меркали, Канкани и Зибег

Степен	Опис на ефекти врз луѓето, животните или објектите за секој степен на земјотрес според кој се одредува интензитетот	Мах. забрзување (m/s^2)
I	Земјотресот не може да се почувствува со човековите сетила и се регистрира само со сеизмолошки инструменти.	< 0,0025
II	Земјотресот може да се почувствува само од одделни лица кои се чувствителни и нервозни ако се наоѓаат на повисоките катови на зградите.	0,0025-0,005
III	Слаб земјотрес. Во густо населените реони можат да го почувствуваат помал број луѓе, кои се наоѓаат во внатрешноста на зградите, а во куќите само поединци. Потресот потсетува на влијание, кое е предизвикано од брзо минување на возилата.	0,005-0,01
IV	Умерено јак земјотрес. Лесно се забележува. Во зградите има појава на крчкање и поместување на мебелот, се тресат прозорите, а обесените предмети се нишаат. Се чувствува на улица и на отворен терен.	0,01-0,025
V	Јак земјотрес. Во зградите лесно се препознава по јакото тресење и движење на мебелот и на предметите, воопшто. Електричното осветлување трепка или сосема се гаси поради допирањето на електропроводите, течноста се прелива од добро наполнетите садови. Во полето, тревата и гранките на дрвјата се повиткуваат како да дува ветар со средна јачина. Скоро сите кои спијат се разбудуваат.	0,025-0,05
VI	Многу јак земјотрес. Сите луѓе го чувствуваат. Често се појавува страв, така што луѓето во голем број бегаат на отворен простор. По собите паѓаат разни помали предмети, а намештајот се поместува. Помалите камбани свонат. На солидно ѕиданите згради се јавуваат пукнатини во малтерот, а од таваните тој паѓа и во парчиња. На слабо изградените куќи се јавуваат поголеми но сè уште безопасни оштетувања, а се руши и по некој оџак.	0,05-0,1
VII	Силен земјотрес. По собите паѓа мебелот и се крши. Големите црквени камбани сами чукаат. На површинските води се појавуваат бранови. Локално доаѓа до рушење на песокливи и чакалести делови од крајбрежјето. Во бунарите се менува нивото на водата, а некои можат и да пресушат. Се јавуваат помали оштетувања на поголем број солидно ѕидани згради. Доаѓа до поединечно уривање на слабо изградените куќи.	0,1-0,25

Табела 11.1 Степени на земјотреси во скалата на MCS-скала (продолжение)		
VIII	Штетен земјотрес. Во собите и најтешките делови од мебелот лесно се поместуваат или се превртуваат. Скоро 1/4 од зградите се тешко оштетени. Солидно ѕидани каменити огради се распаѓаат и се превртуваат. Се разурнуваат некои помали куќи. Спомениците и статуите се поместуваат и паѓаат. Фабричките оџаци и кули често пати се рушат. Дрвјата се виткаат и се кршат. На стрмните падини се појавуваат пукнатини со често свлекување и одронување. Од влажните терени избива вода која изнесува песок и тиња.	0,25-0,50
IX	Разурнувачки земјотрес. Приближно половина од солидно градените згради се потешко оштетени или срушени. Телефонските, водоводните и канализациските уреди тешко се оштетени.	0,50-1,00
X	Многу разурнувачки земјотрес. Скоро 3/4 од зградите е тешко оштетени, а голем број се и целосно срушени. По голем број мостови се тешко оштетени или разрушени. Браните, насипите и слични конструкции можат да бидат тешко оштетени. Железничките шини се виткаат. Водоводните, канализационите и гасните цевки се откинуваат, се виткаат или се втиснуваат една во друга. Кај патиштата и улиците се јавуваат пукнатини и нерамнини. На теренот се чести појави на одрони и свлечишта, во бунарите нагло се менува нивото на водата или пак ненадејно пресушуваат. Крајбрежните делови на реките, езерата и морињата трпат удари од бранови.	1-2,5
XI	Пустошен земјотрес. Се рушат сите згради изградени од камен. Од рушење може да биде поштедена некоја добро градена зграда од типот на дрвени конструкции. Сите мостови се рушат, како и камените столбови, а ако столбовите се изградени од челик, тие се виткаат. Насипите и браните се прекинуваат на голема должина. Железничките шини се деформираат и прекинуваат. На површината на теренот се јавуваат значителни промени во вид на широки пукнатини, раседи, одрони и свлечишта.	2,5-5
XII	Катострофален земјотрес. Се рушат сите згради, мостови, насипи и сите други објекти што ги изградил човекот. На површината на теренот настануваат интензивни морфолошки промени како: нови водопади, нови езера, реките го менуваат текот. Се рушат и одронуваат долинските страни, а во епицентралната зона теренот има изглед како да е испрекинат со големи пукнатини, раседи, одрони и свлечишта.	5-10

Во Јапонија се користи Јапонска скала (**JMA**), која има 7 степени, а е разработена од Јапонската метеоролошка агенција.

Рихтеровата скала е една од најстарите и има 9 степени. Всушност, Рихтер го вовел поимот **магнитуда**. Според оваа скала, може да се определи ослободената енергија (E) или т.н енергетска класа (K) на земјотресот по следните формули:

$$\log E = 5,24 + 1,44 M_s$$

$$K = \log E$$

Каде што е: E - енергија на земјотресот во Џули

Во поново време во европските држави, доста детаљно е разработена т.н. **Европска макросеизмичка скала (EMS 98)**. Оваа скала е погодна за употреба во практиката, бидејќи има 12 степени како и MCS- и MSK-скалите (Табела 11.2).

Табела 11.2 Скратена форма на Европска макросеизмичка скала (EMS 98)

Степен	Класификација	Опис на ефектите
1	Не се чувствува	Не може да се почувствува дури и под најповолни услови.
2	Слабо чувствителен	Вибрациите можат да се почувствуваат единствено од поединци, кои се одмораат во повисоки катови на зградите.
3	Слаб	Вибрациите се слаби и се чувствуваат во внатрешноста на објектите само од некои лица. Лицата што се одмораат слабо се вознемируваат.
4	Умерено јак	Се чувствува во внатрешност на зградите од голем број лица, а на отворен простор само од некои. Некои лица можат да се разбудат од сон. Нивото на вибрации не е застрашувачко. Прозорите, вратите и чиниите се затресуваат, а висечките работи се нишаат.
5	Јак	Во затворен простор се чувствува од сите лица, а на отворен простор само од некои. Поголемиот број лица, кои спијат, се разбудуваат, а некои од нив бегаат надвор. Зградите се занишуваат, обесените предмети се нишаат значително, а порцеланските садови и чаши се нишаат. Вибрациите се силни, а високите и тешките предмети можат да се превртат. Вратите и прозорите се нишаат, се отвораат и се затвараат.
6	Умерено штетен	Се чувствува од најголем дел лица во затворен и на отворен простор. Голем број лица во зградите се исплашени и бегаат надвор, а помалите предмети паѓаат. Се јавуваат слаби оштетувања кај повеќето градби, со поситни пукнатини и отпаѓање на помали парчиња на малтер од ѕидовите.
7	Штетен	Поголем дел од лицата се исплашени и бегаат надвор. Намештајот се поместува, а закачените предмети паѓаат од ѕидовите. Голем дел од вообичаените објекти претрпуваат средни оштетувања, се јавуваат мали пукнатини во ѕидовите, дел од оџаците се рушат.
8	Земјотрес со тешки оштетувања	Намештајот може да биде превртен, голем дел од обичните градби трпат знатни оштетувања, оџаците се рушат, се појавуваат големи пукнатини низ ѕидовите, а може да се појави делумно рушење кај некои објекти
9	Деструктивен	Спомениците и столбовите паѓаат или се нишаат. Голем дел од обичните градби се рушат делумно, а некои целосно.
10	Многу деструктивен	Голем број на обичните градби се рушат
11	Уништувачки	Скоро сите обични градби се рушат
12	Катас-трофален	Практично сите градби над земјината површина и во подземјето се тешко оштетени или уништени

Погодно е што прирачниците за примена на **EMS 98** во практиката се документирани со примери како да се врши проценка на оштетувањата кај објектите.

Паралелна споредба на најзначајните макросеизмички скали е прикажана во Табела 11.3.

Табела 11.3 Споредбен приказ на енергетската класа (K), големина на магнитудата (M) и споредба со интензитетот по MSK-скала (според Б. Сикошек, 1983)

Енергетска класа K K=Log E (J)	Интензитет според MSK (1964)	Магнитуда според Рихтер
7	I	1,5 - 2
8	II	2 - 2,5
9	III	2,5 - 3,25
10	IV	3,25 - 3,75
11	V	3,75 - 4,25
12	VI	4,25 - 4,75
13	VII	4,75 - 5,25
14	VIII	5,25 - 6,0
15	IX	6,0 - 6,75
16	X - XI	6,75 - 7,5
17	XI - XII	7,5 - 8,5
18	XII	>8,5

Треба да се спомене дека ваквите скали се основа за т.н. **макросеизмичко реонирање** на теренот (Слика 11.3). Суштината на макросеизмичкото реонирање е на пошироки простори за држави или региони, да се издвојат зони од теренот, каде што се очекува да се случи земјотрес со одреден интензитет. Како критериуми за реонирање се користат податоци од порано случени земјотреси, елементи на геолошката градба и морфологијата на теренот и слично. При тоа, очекуваниот интензитет се дефинира со одредена **веројатност** на појавата за одредено време на повторување или **повратен период**. На пример, на Сликата 11.3 е прикажана макросеизмичка карта на интензитети на Република Македонија. Од сликата се гледа дека на нашата територија, главно се очекуваат земјотреси со интензитет до 9^o според MCS-скалата, додека најголем дел од територијата е во зона на очекувани интензитети до 8^o според MCS.

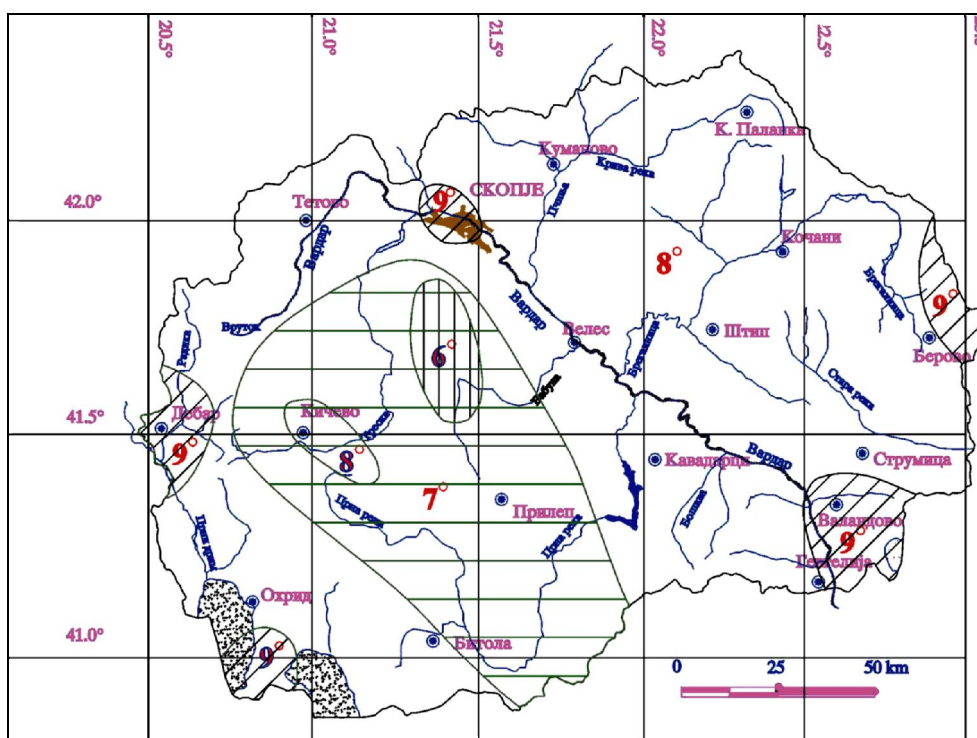
Сеизмичката макрореонизација може да се прави по различни критериуми. При тоа, се врши поделба на теренот во зони со слични очекувани интензитети или забрзувања на површина на теренот. За таа намена и за поврзувањето на податоците, во светот се воспоставените определени корелациски врски меѓу различните скали, интензитетот и магнитудата и други параметри на земјотресот. На пример, често се користи следната корелација:

$$I = 1,5 M - 3,5 \log h + 3$$

Врз основа на голем број на анализи, за територијата на Р Македонија, пак, е воспоставена следната корелација:

$$I = 1,8 M - 4,2 \log h + 3.3$$

Каде што е: I - интензитет на земјотрес во епицентрот, M - магнитуда во хипоцентарот, h - длабина до хипоцентар во km.



Слика 11.3 Карта на интензитети на Македонија за повратен период од 500 години

Постојат и зависности меѓу магнитудата со оддалеченоста од раседите, длабината на хипоцентрите, очекуваните поместувања при земјотрес и друго. На пример, должината и големината на поместување на раседите е поврзана со магнитудата на следен начин:

$$\log 10 L = 1,32 M - 7,99$$

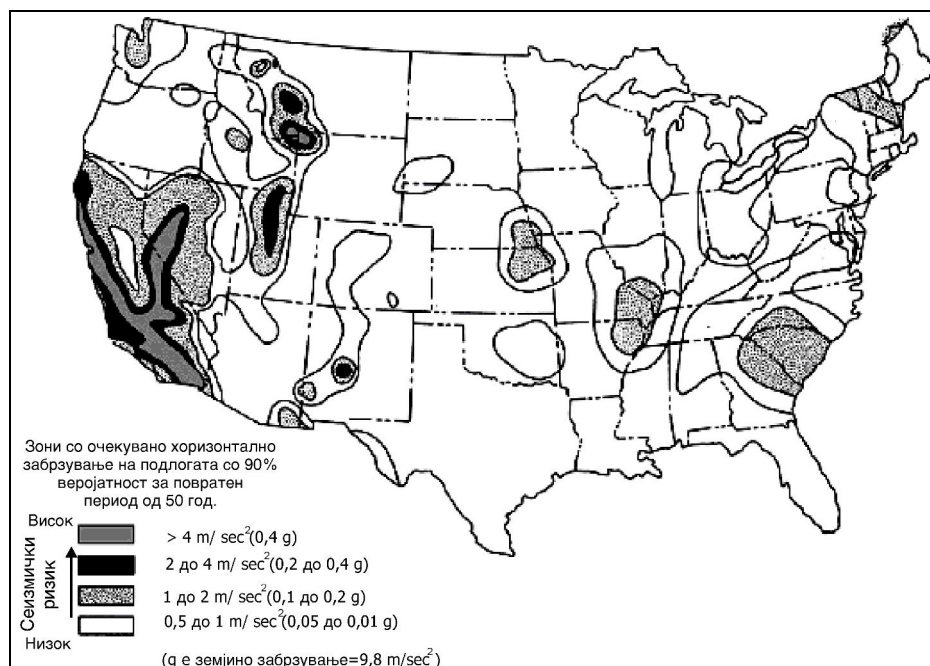
$$\log 10 d = 0,55 M - 3,71$$

Каде што е: M - магнитуда на земјотресот,
L - должина на раседот во km,
d - поместување по должина раседот во метри.

Сите прикажани зависности треба да се користат со внимателност, со оглед дека се добиени за различни локалитети во светот. Нивната примена помага за брзо и релативно точно прогнозирање на некои елементи на земјотресите, но со вклучување на податоци од нови земјотреси, е можно иновирање на зависноста и корекции на претходно прогнозираните вредности.

Во практиката, често се подготвуваат и карти на очекувани хоризонтални забрзувања на ниво на основна карпа. Еден пример е прикажан на Сликата 11.4.

Со помош на овие карти начелно се дефинира **сейзмичкиот ризик** за градба.



Слика 11.4 Зони со очекувани хоризонтални забрзувања во САД со приказ на веројатност на појава од 90% за повратен период од 50 години

ИНДИРЕКТНИ ЕФЕКТИ ОД ЗЕМЈОТРЕСИТЕ

При појавата на земјотресите се случуваат различни придружни ефекти, кои на директен или индиректен начин имаат влијание врз околината. Тука треба да се споменат следните ефекти:

- акустички сеизмички ефекти;
- светлосни појави;
- појава на високи бранови (цунами).
- појава на ликвидација и др.

Акустичките ефекти се поврзани најчесто за епицентралните зони. При движењето на блоковите по должина на раседите во Земјината кора се јавуваат т.н. подземни татнежи, кои се викаат **бронтиди**, кои можат да се појават пред или по главниот удар. Во зависност од јачината на земјотресот, звукот се споредува со експлозија на гранати, ефект од ветар, работа на мотори и сл. **Светлосните појави** се манифестираат како моментални одблесоци. Поврзани се со моменталните празнења на статичкиот електрицитет од карпите, кој се создал при фазите на триење меѓу раседните блокови. Посебно се карактеристични ако земјотресот се случува во ноќно време. Најкарактеристични се, сепак, појавите на големи бранови кои се нарекуваат **цунами**, а се резултат на т.н. **подморски земјотреси**. Потресите од дното на морето се пренесуваат низ водата, при што можат да се создадат огромни бранови со висина и до 30 метри и со голема должина. Овие бранови се многу разорни во крајбрежните зони кога, за кратко време, можат да предизвикаат големи материјални и човечки загуби. Познати се низа примери на големи оштетувања и жртви од брановите цунами. На пример, во регионот на Суматра на 26.12.2004. година се случил исклучително силен подводен земјотрес со магнитуда $M=9-9,15$ според Рихтер (Слика 11.5).



Слика 11.5 Сателитска снимка на продор на брановите цунами во копно кај земјотресот во Суматра (извор интернет)

Ефектот од цунами брановите е почувствуван на огромно пространство од епицентарот. Имено, покрај зоната на најголеми влијанија и оштетувања на Суматра, овие бранови се почувствувани до Јужна Африка. Како резултат на дејството на брановите цунами загинале преку 230 000 лица. Бранот бил со висина од 13 m и со брзина од околу 500 km/h и предизвикал катастрофално уништување на голем дел од населбите околу Индискиот Океан со знатни промени во релјефот на теренот.

Друг многу драстичен пример на влијание на цунами бранови е поврзан за појавата на земјотрес што се случил на 11 март 2011 година во Јапонија кој бил со магнитуда $M = 9$. При земјотресот се појавиле бранови со висина и над 30 метри, кои предизвикале големи оштетувања на брегот, бидејќи на одредени места се пробиле во копното и до 10 km. Поради потресот, островот Хоншу е поместен за околу 2,4 метри кон исток, а самата Земја како планета ја има изместено оската на ротација за околу 10 cm. Посебно негативно влијание има појавата на прекин во доводот за ладење на нуклеарната централа Фукушима, што предизвикало радијација со големини многу пати над дозволените.

Кај брановите цунами, генерално може да се издвојат стадиуми на **создавање, ширење и поплавување**. Создавањето е поврзано со големи пореметување на теренот под ниво на морето во самата зоната на подвлекување на тектонските плочи, така што со појава на земјотресот се врши истиснување на мирната вода. Ширењето на брановите низ длабокиот океан се врши со огромна брзина потоа нивната висина се зголемува и до 600 пати. Бранот кога влегува во поплитки води се успорува и се разлива како поплава.

За навремено информирање на населението од опасноста од цунами бранови и за избегнување на големи човечки жртви се поставуваат цунами детектори, кои даваат информации за приближување на бранот од неколку минути до неколку часа пред неговиот удар на брегот. Посебно се критични регионите кај источниот брег на Јапонија, Индија, Филипините, Антилите, Мексиканскиот залив, Јужна Америка, западниот брег на САД и други.

ЛИКВИФАКЦИЈА

Ликвифакција е специфичен процес, кој се јавува при дејство на силни земјотреси. При овој процес се појавува целосно губење на јакоста на водозаситените слабо гранулирани ситнозрни песоци. Поретко, може да се случи и кај глиновити почви.

Како резултат на динамичките земјотресни влијанија, почвата преминува во течна состојба, при што сите објекти фундирани врз такви терени трпат многу сериозни оштетувања. Посебно се критични случаите кај објекти од

високоградбата, каде што цели станбени блокови можат да бидат доведени во опасност. Карактеристично е што самата вештачка конструкција понекогаш не трпи сериозни конструктивни оштетувања, но цела зграда или блокови од згради може да биде превртена или изместена од стабилна состојба, како ефект од брзи и ненадејни тонења на објектите во зоната на ликвидација (Слики 11.6 и 11.7).



Слика 11.6 Ефекти од ликвидација во вид на превртување на зграда во градот Адапазар -Турција, Јузер и др., 2005



Слика 11.7 Ликвидација на терен при земјотрес во градот Ниагата - Јапонија, со целосно превртување на станбени објекти

Сериозни оштетувања можат да претрпат железничките пруги, гасоводи, нафтоводи, патишта и друго, а во одредени случаи се можни избивања на мешавина на песок и вода од подземјето на површина на теренот и други ефекти (Слики 11.8 и 11.9).

Затоа, овој феномен детално се анализира при урбаното планирање и градбата во активните сеизмички подрачја. За негова прогноза постојат разработени методологии и постапки во инженерската геологија, динамиката на почви и сеизмологијата.

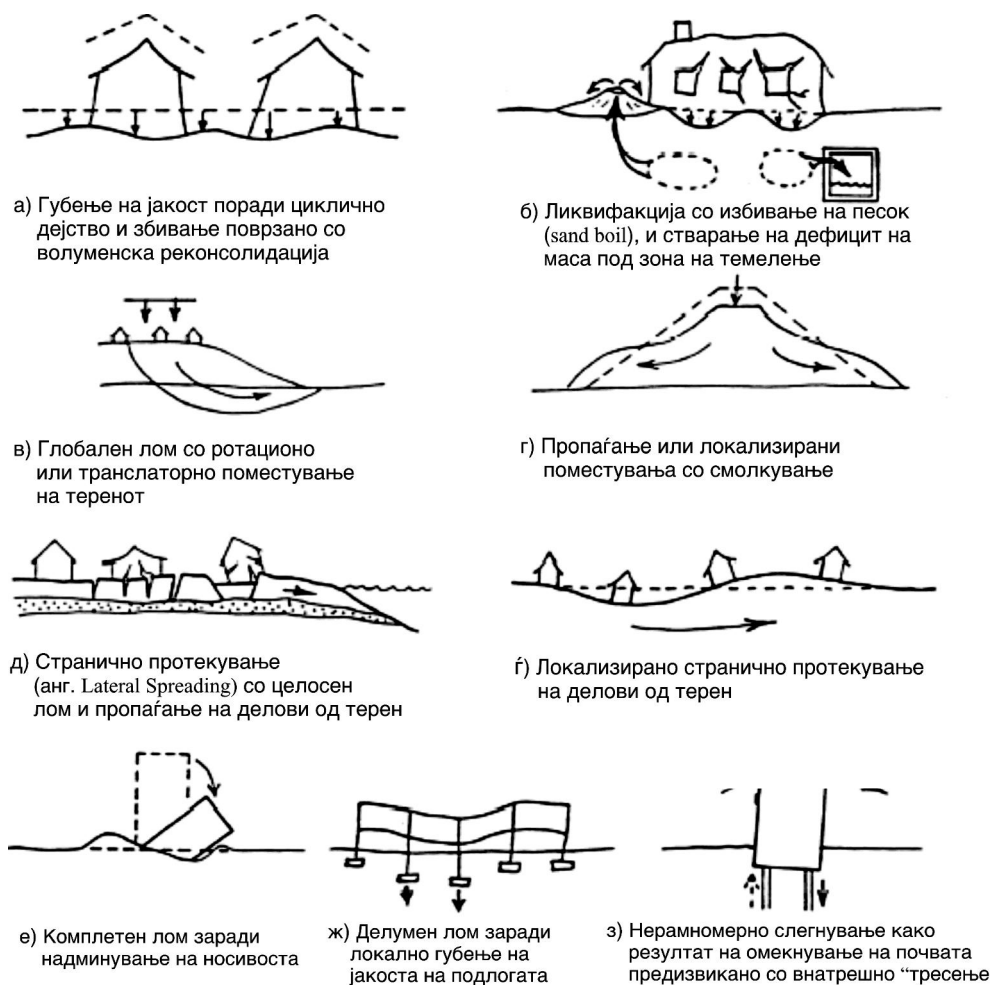


Слика 11.8 Деформации на железничка линија со странично поместување на почвата при ликвидација



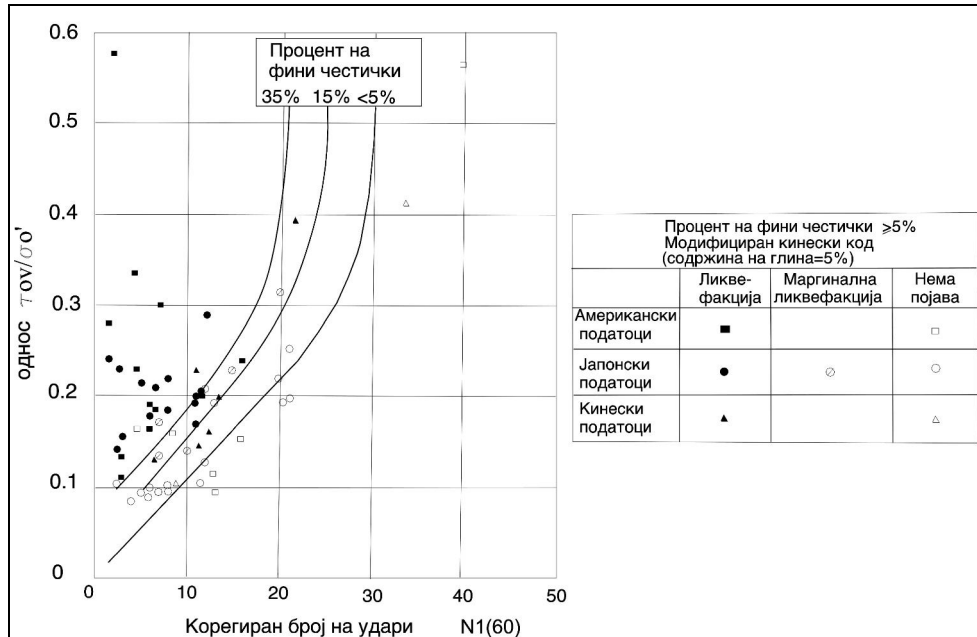
Слика 11.9 Избивање песок со вода при земјотрес во близина на Краљево, Србија (фото Б. Аболмасов, 2010)

Некои од најчестите појави кои можат да бидат предизвикани од ликвифакција, се прикажани на Сликата 11.10.

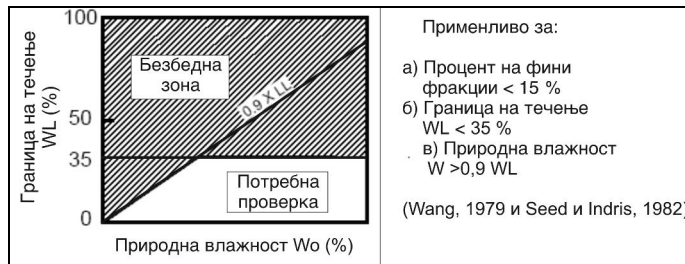


Слика 11.10 Начини на манифестирање на ликвифакцијата врз теренот и објектите

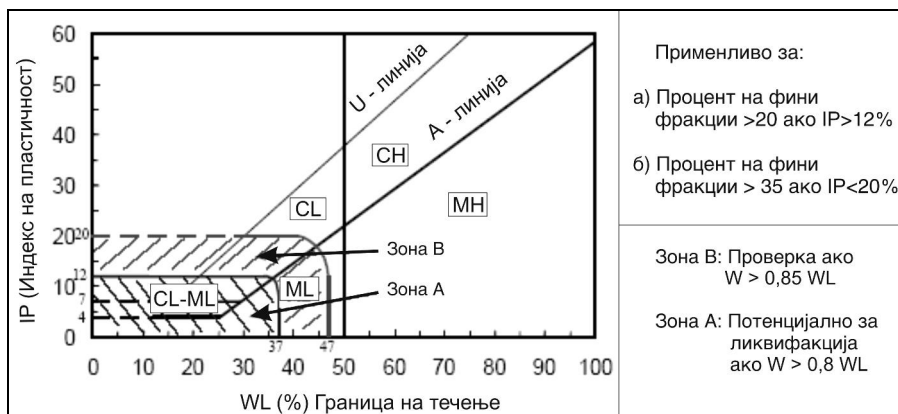
Методите за прогноза на можноста за појава на ликвифакција се засновани на анализа на состојбата на подземна вода, гранулометрискиот состав, пластичноста на материјалите и на збиеноста. Овие податоци се комбинираат со сеизмолошките параметри на потресот (Слика 11.11). На сликата е прикажан дијаграм, каде што на хоризонталната оска, се прикажува т.н. **коригиран број на удари** $N_{1(60)}$ добиен со т.н. стандарден **пенетрациски тест**, додека на вертикалната оска се прикажува односот на т.н. циклични напони кои предизвикуваат ликвифакција (τ_{ov} / σ'_0). На Сликите 11.12 и 11.13, пак, се прикажани дијаграми за проценка на условите за појава на ликвифакција. Како критериуми за проценка се користат процентот на фини честички, индексот на пластичност (I_p), границата на течење (W_L) и природната влажност (W).



Слика 11.11 Дијаграм за проценка на можност од појава на ликвифакција според податоци од различни локалитети



Слика 11.12 Дијаграм за проценка на можност од појава на ликвифакција според Ванг (1979), Сид и Идрис (1982)



Слика 11.13 Дијаграм за проценка на можност од појава на ликвифакција (Сид и Идрис, 1982)

На Сликите 11.14 и 11.5 се прикажани постапки за **примарна** и **секундарна** проценка за можноста за појава на ликвифакција. Кај овие постапки, главно, се користат податоците од испитувања со стандарден пенетрациски опит, гранулометрискиот состав и други класификациони параметри. Доколку при примарната проценка се утврди дека податоците од испитувањата припаднат на зоната **B**, се вршат подетални анализи со процесот на **секундарна** проценка (Слика 11.16). Наједноставниот израз за секундарна проценка е прикажан со следната равенка:

$$F_s = SRL/SR_e$$

Каде што е: F_s - фактор на сигурност (ако $F_s > 1$ нема појава на ликвифакција);
 SRL - фактор кој се определува дијаграмски од Сликата 11.15;
 SR_e - фактор, кој се пресметува по формулата:

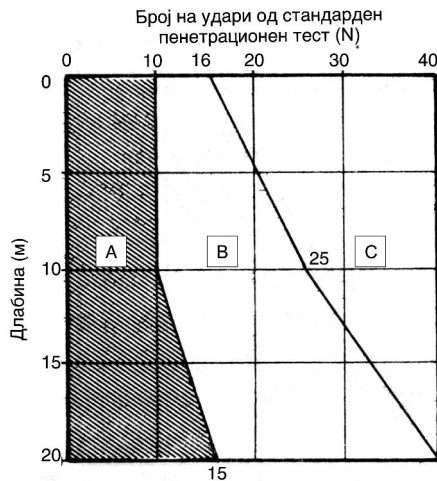
$$SR_e = 0,65 \frac{a_{max}}{g} r_d \frac{\sigma_v}{\sigma_{v'}}$$

$\sigma_{v'}$ - вредност на ефективен нормален напон;

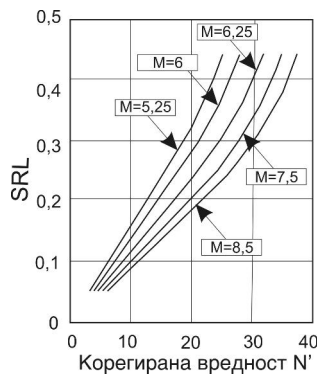
σ_v - вредност на вкупен нормален напон;

a_{max} - можно максимално забрзување како процент од земјино забрзување g ;

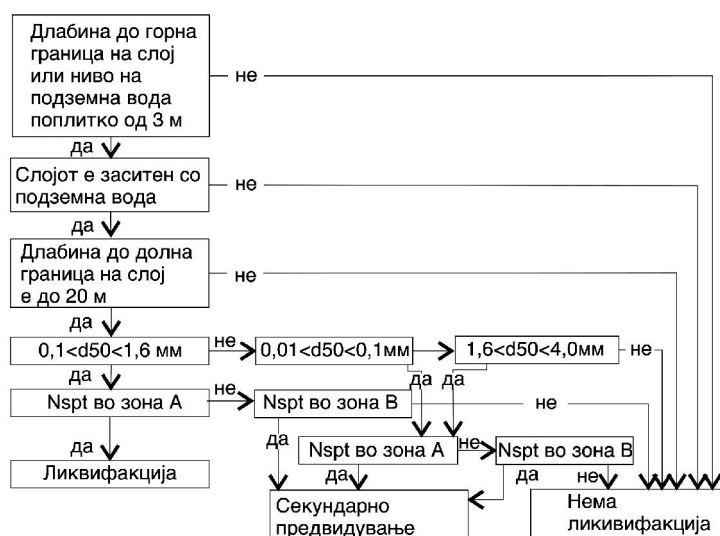
r_d - редукционен фактор за длабина.



Слика 11.14 Дијаграм за проценка на можноста од појава на ликвифакција, според Нишијама и др., 1977 A - зона каде што постојат услови за појава B - зона каде што се потребни дополнителни анализи C - зона каде што не постои опасност од ликвифакција



Слика 11.15 Дијаграм за проценка на параметар SRL, при дадена вредност на магнитудата (M) и вредност N' од стандарден пенетрациски тест



Слика 11.16 Приказ на алгоритам за примарно предвидување на постоење на услови за ликвифакција (Нишијама и др., 1977)

Во поново време, во Европа се користи методата, која е препорачана во ЕВРОКОД 8. Тоа е стандард кој се однесува на проектирање на конструкции во услови на динамички влијанија. Оваа постапка е на некој начин модификација на претходно прикажаните методи.

Табела 11.4 Типови на почви според EUROCODE 8

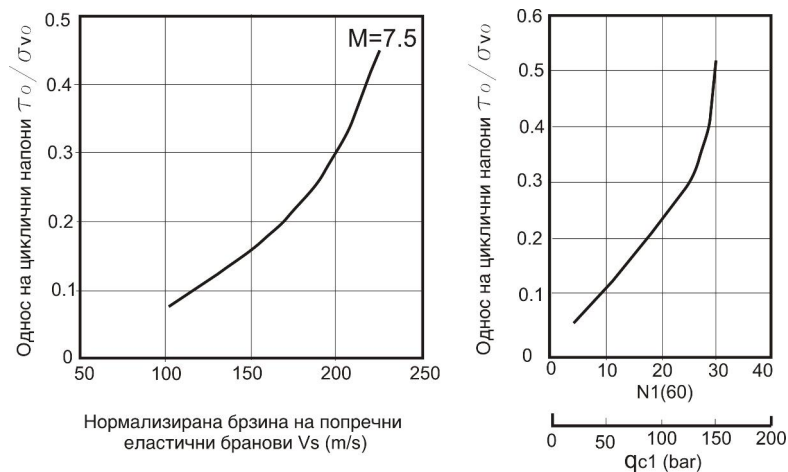
Тип на почва	Опис	Вредност на напречни бранови V_s (m/s)	Број на удари (N_{spt}) и недренирана кохезија C_u	Параметар S
A	Цврсто врзани или полукаменити карпи, изменети површински зони со дебелина до 5 метри и други средини со вредности на V_s и N_{spt} за овај тип	> 800	-	1
B	Многу збиени чакали, песоци или многу тврди глини со дебелини од неколку десетици метри	360 - 800	$N_{spt} > 50$ $C_u > 250$ kPa	1,2
C	Наслаг на збиени или средно збиени песоци, чакали или меки глини со дебелина од по неколку стотина метри	180 - 360	$N_{spt}=15-50$ $C_u=70-250$ kPa	1,15
D	Слабо збиени до растресити и меки седименти, главно неврзани, поретко со помали прослојци на глиновити меки почви	<180	$N_{spt}<15$ $C_u<70$ kPa	1,35
E	Главно површински алувијални почви од типот C или D со дебелина од 5 до 20 m, а лежат врз помеки растресити материјали	Важат параметри за типови C и D		1,4

Очекуваните напони на смолкнување, кои би настанале при земјотрес (τ_d) се пресметуваат според следната формула:

$$\tau_d = 0,66 * a_{max} * \sigma_v * S$$

Каде што е : S - параметар кој зависи од видот на почвата (Табела 11.4)

Податоците што би се припишале на секоја дефинирана категорија на почва, потоа се анализираат подетално со дефинирање на т.н. спектри на забрзување, дејството на сеизмички сили врз објектите и други аспекти значајни за динамичката интеракција на почвата со конструкцијата. При анализата, обично се земаат предвид најкритичните очекувани услови за забрзување на подлогата a_{max} , магнитудата која се очекува на таа локација и друго. Дијаграми што се користат за таа намена се прикажани на Сликата 11.17.



Слика 11.17 Дијаграми за дефинирање на вредности на напони кои предизвикуват ликвификација според EUROCODE 8: V_s - вредност на попречни еластични бранови, N_1 - коригиран број на удари од стандарден пенетрационен опит, Q_{c1} - вредност на отпор на продирање на конус при тест на статичка пенетрација

Во одредени класификации можат да се сретнат и поткласи на почвите. На пример, подкласата S_1 се однесува на наслаги со дебелина најмалку од 10 метри, кои се изградени од многу меки глини или прашини со висока вредност на индекс ($I_p > 40$). Кај оваа подкласа, вредност на $V_p < 100$ m/s, а недренирана кохезија $C_u = 10-20$ kPa. Подкласа S_2 се однесува на почви склони кон ликвификација или многу меки глини кои не припаѓаат кон класите од А до Е.

Јасно е дека ликвификацијата е многу сложен процес, така што за нејзино подетално осознавање е неопходно да се познава материјата од динамиката на почви, инженерската сеизмологија, динамиката на конструкциите и други сродни дисциплини.

ВЛИЈАТЕЛНИ ФАКТОРИ ЗА ОШТЕТУВАЊЕ НА ОБЈЕКТИТЕ ПРИ ЗЕМЈОТРЕС

За време на земјотрес, последиците на теренот и објектите можат да бидат сосема различни, во зависност од повеќе фактори. Имено, сумарното дејство од

еден земјотрес е ефект, кој генерално зависи од три основни групи фактори кои се сумираат по следната општа формула:

$$\Sigma E = S + G + IG$$

Каде што е: ΣE - сумарен ефект од земјотрес врз теренот или објектот;

S - сеизмолошки фактори;

G - градежни фактори;

IG - инженерскогеолошки фактори.

Во групата на **сеизмолошки фактори** спаѓаат: енергијата на потресот, длабината до хипоцентарот, оддалеченост од епицентарот и карактерот на потресот. Во групата на **градежни фактори** припаѓаат карактеристиките на градбите и тоа: тип на конструктивен систем, длабина на фундарање, катност, квалитет на градење и др. Влијанието на **инженерскогеолошките фактори** е многу значајно. Се работи за влијанија на голем број испреплетени геолошки, тектонски, хидрогеолошки и инженерскогеолошки својства на теренот како: литолошкиот состав, тектонската градба, својствата и состојбите на карпестите маси, нивото на подземна вода, макро, мезо и микрорелјефните форми на теренот, наклонот на падините, вид и дебелина на растреситиот покривач, форма и положба на основната карпеста маса и друго.

Може да се случи, при земјотрес со иста јачина, соседни објекти со исти конструктивни карактеристики, поради различни инженерскогеолошките фактори, да претрпат целосно различни оштетувања.

На пример, објект со иста катност и конструктивен систем, може да не претрпи никакви оштетувања при поволни инженерскогеолошки услови во зоната на фундарање, но може и целосно да се сруши ако карактеристиките на подлогата се неповолни или фундарањето не е прилагодено кон условите во теренот.

Исто така, објекти со различни конструктивни карактеристики фундирани на исти инженерскогеолошки средини при ист интензитет на земјотрес, ќе претрпат различни оштетувања.

ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ФАКТОРИ

За квантитативно изучување на влијанијата на инженерскогеолошките фактори посебно внимание се посветува на дефинирање на: степенот на компакност на карпите, формата и големината на зрната кај дисперзните материјали, влијанието на подземната вода, појави на дополнителна консолидација, денивелација по должина на раседи и влијанија на локалните услови на теренот. Како посебно значаен фактор се смета **степенот на компакност** на карпите. Имено, преку детаљни набљудувања на оштетувањата, кои настанале при земјотресите, е утврдено дека исти градби можат да претрпат сосема различни последици кога се фундирани во различни карпести маси. Ова се случува дури и кај исти литолошки видови на карпи, но со различен степен на компакност и распаднатост. Во овој поглед, карпите се поделени на: **компактни и цврсти, испукани, здробени трошни и целосно деградирани карпи**. Илустративно, влијанието на овој параметар е прикажано на Сликата 11.18.

Степенот на компакност, пак, зависи од состојбата на испуканост, распаднатоста или збиеноста на карпите. Од сликата се гледа дека во зависност од степенот на компакност на карпите и нивото на подземна вода, кај исто епицентрално подрачје, може да се случи при земјотрес со почетен интензитет I_0 прираст на интензитетот (ΔI) за неколку степени. Така, за објекти фундирани во разни зони ќе се појави влијание со вкупен интензитет еднаков на:

$$I = I_0 + \Delta I$$



Слика 11.18 Шематски профил на терен во исто епицентрално подрачје со илустрација на влијание на степенот на компактоста на карпата врз прирастот на интензитетот на земјотрес (ΔI), споредено со основниот степен на сеизмичност (I_0)

Медведев предложил класификација на сите карпести маси во неколку основни сеизмички категории на карпи и тоа:

- Категорија 1, која служи како еталон за споредба, за што се усвојува свеж и неиспукан гранит со очекуван прираст на степенот на сеизмичност во степени од $\Delta I = 0^\circ$;
- Категорија 2, варовници и песочници со $\Delta I = 0-1^\circ$;
- Категорија 3, полукаменити карпи (лапорци, глинци) со $\Delta I = 1^\circ$;
- Категорија 4, почва од тип на чакал или дробина со $\Delta I = 1-2^\circ$;
- Категорија 5, почва од тип на песок со $\Delta I = 1-2^\circ$;
- Категорија 6, почва од тип на глина со $\Delta I = 1-2^\circ$;
- Категорија 7, насипан растресит материјал со $\Delta I = 2-3^\circ$;

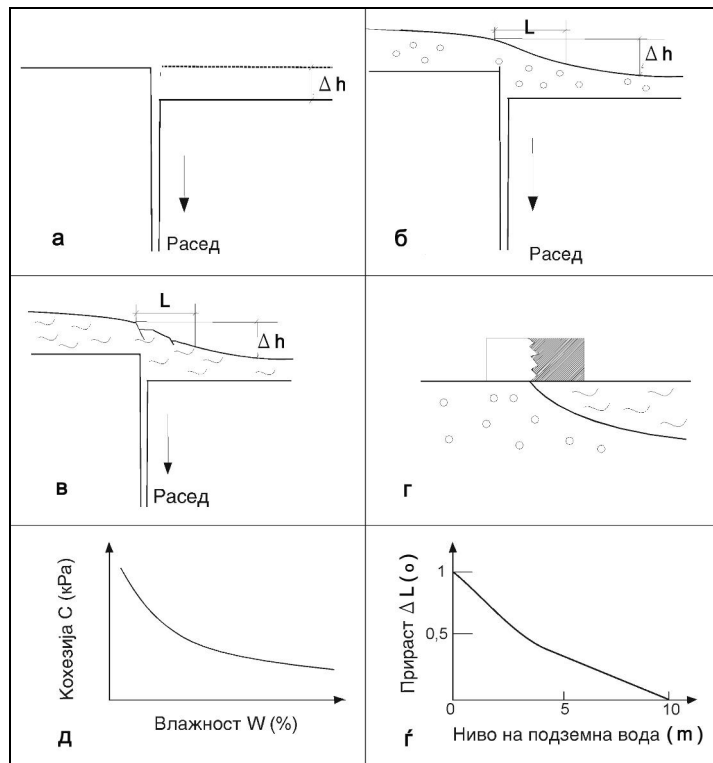
Ако се усвои дека се случил земјотрес со почетен интензитет $I_0 = 7^\circ$ MCS, може да постојат поголем број варијанти за вкупен интензитет, кој би се почувствувал врз градежниот објект (G_0):

- за објект фундиран врз карпи со сеизмичка категорија 1 (свеж и неиспукан гранит): $I = 7 + 0 = 7^\circ$ MCS;
- за објект фундиран врз сеизмичка категорија 6 (глиновит делувијален материјал): $I = 7 + 2 = 9^\circ$ MCS;
- за објект фундиран врз сеизмичка категорија 7: $I = 7 + 3 = 10^\circ$ MCS;

Во реални услови, покрај степенот на компактност, влијаат и голем број други инженерскогеолошки фактори (Слика 11.19).

Денивелација по должина на раседи. При земјотрес може да настанат релативни движењата на блоковите по должина на раседите. Овие релативни движења предизвикуваат деформации на површината на теренот. Во зависност од геолошката градба на теренот и инженерскогеолошките карактеристики на карпестите маси, при што можат да настанат неколку случаи. При денивелација во цврсто сврзани карпи раседот избива непосредно на површината на теренот. При релативното движење на блокот настанува денивелирање на теренот во однос на првобитната положба. Деформацијата има јасно изразен карактер по должина на раседната линија. Ако објектот е фундиран на самиот расед или во непосредна близина трпи различни последици во зависност од износот на извршената денивелација. Денивелација во **растресити несврзани материјали** се појавува кога ваков материјал е наталожен над раседот. Во овај случај поместувањата, кои се извршени во раседот се пренесуваат на површина на теренот преку еден дисперзен слој. Во една зона над раседот означена со „L“ на

Сликата 11.19 - Б се појавуваат различни поместувања на точките, што зависи од дебелината и геотехничките карактеристики на овој слој. Најголемо оштетување ќе претрпат објектите фундирани во зоната на најголеми поместувања над самиот расед.



Слика 11.19 Приказ на различни инженерскогеолошки фактори при земјотрес:
 а - Денивелација на терен кај расед во цврсти карпи; б - Денивелација кај расед покриен со неврзани карпи; в - Денивелација кај расед покриен со глинивити карпи;
 г - Објект фундирани на две средини; д - Влијание на влажноста врз кохезија;
 ф - влијание на ниво на подземна вода;

Интересни феномени можат да се појават кога над раседот има наталожено **слабоврзани глинести почви**. Деформациите кај нив се слични како кај свлечиштата со појава на скалести форми на спуштање на теренот и со локални оштетувања. Најголеми оштетувања ќе претрпат секако објектите фундирани во зоната „L“.

Влијание на локални услови на теренот. При земјотрес, мошне значајно може да биде влијанието на локалните услови на теренот. Под локални услови во случајов се подразбира постоење на разлика во геолошкиот состав и геотехничките карактеристики на микролокацијата под објектот во неговата темелна зона (Слика 11.9 - г). Различната геолошка состојба во прв ред се однесува на разликата во модулот на стисливост, што при земјотрес може да предизвика нееднаква деформација во различни делови под објектот.

Влијание на состојбата на подземна вода. Подземната вода може да има свое влијание на различен начин. Кај глинестите почви, водата има влијание врз

нејзините јакостни карактеристики, пред сè на кохезијата. Познато е дека со зголемувањето на влажноста, кохезијата значително опаѓа. Ова значи дека последиците од земјотресот на различен начин ќе се почувствува во глинести почви кои се водозаситени или суви, а за соседни зони.

Форма и големина на зрната кај растресити почви. Од практичните искуства, познато е дека карпестите маси каде што превладуваат покрупните и незаоблените зрна трпат помали последици од земјотресите, споредено со терени изградени од погрубозрни и обработени зрна. Карпи со воедначени (униформни) големини на зрната се почувствителни на сеизмички влијанија.

Дополнителна консолидација. Во несврзаните, посебно кај слабо збиените материјали од тип на чакал и песок, како резултат на динамичкото влијание на земјотресот настануваат деформации во вид на дополнителна консолидација која на површината на теренот предизвикува слегнување и деформации на градежните објекти. Поретко, оваа појава се случува и кај прашиностите и глинестите материјали.

Кај **неврзаните** почвени материјали, пак, со теренски набљудувања за време на земјотресите е утврдено дека при високите нивоа на подземни води, степенот на сеизмичност се зголемува до одредено ниво. Според С. В. Медведев се усвојува следното зголемување (Табела 11.5):

Табела 11.5 Очекуван прираст на основен степен на сеизмичност во зависност од длабината до ниво на подземна вода

Длабина на ниво на подземна вода под површина на терен (H во m')	Прираст на интензитетот на сеизмичност ΔI
$H \geq 10 \text{ m}'$	0
$H = 4 \text{ m}' (1-4 \text{ m})$	0,5
$H=0-1 \text{ m}' (H \leq 1 \text{ m}')$	1

Влијание на наклонот на падините и косините. Наклоните на теренот имаат големо влијание при земјотресните појави. Слични конструкции фундирани во терен со слична литолошка градба можат да претрпат различни последици при ист интензитет на земјотрес, но при различен наклон. Најголеми последици се очекуваат кај падините со пострмни наклони.

Сепак, треба да се знае дека при анализите на однесување на теренот и објектите градени на падина, мора да се изврши збирно вреднување на поголем број фактори, како што се: литолошкиот состав на падините, просторната положба, структурните и текстурните елементи на карпестите маси, застапеноста на современи геолошки процеси и појави, водозаситеноста и друго. На пример, на падини изградени од деградирани карпести маси со помал наклон, ќе се појават поголеми последици во однос на пострмните падини изградени од цврсти карпести маси. Рамнотежата на падините кај неврзаните материјали може да се изрази преку следната формула:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{(\operatorname{tg} \varphi - k_s)}{(1 - k_s \operatorname{tg} \varphi)}$$

- Каде што β - граничен агол на стабилност на падината;
 φ - агол на внатрешно триење на материјалот;
 k_s - сеизмички коефициент ($k_s = a_{\max}/g$);

На бреговите на реките, доловите или потенцијално нестабилните терени можат да се појават трајни, пластични деформации, кои најчесто се јавуваат во епицентралните зони. За пресметка на површините и должините каде што може да настанат вакви деформации, се користат следните равенки:

$$\log S = M - 3,6(\text{km}^2)$$

$$\log l = M - 6,2(\text{km})$$

Каде што е: S - површина во која се очекуваат трајни деформации;

l - должина на расед по чија должина треба да се очекуваат трајните деформации.

Очигледно е дека инженерскогеолошките фактори мора да се земат предвид во постапките на сеизмичка микрореонизација на просторот, со цел на адекватен начин да се дефинира нивото на сеизмички ризик за градба во сеизмички активни подрачја.

ПОСТАПКИ ЗА СЕИЗМИЧКА МИКРОРЕОНИЗАЦИЈА

Веќе е споменато дека макросеизмичките скали се основа за дефинирање на основниот степен на сеизмичност на пошироки региони, а забрзувањата на подлогата се однесуваат за ниво на основната карпа. Од друга страна, за конкретни проектирања кај инженерските објекти, мора да се примени постапка на сеизмичка микрореонизација, со цел да се дефинираат проектните сеизмички параметри, кои се неопходни при урбанистичките проектирања и градења. Генерално, при постапката за сеизмичката микрореонизација се применуваат следните чекори:

- се проучува регионалната геолошка градба и сеизмолошките карактеристики на теренот;
- се проучуваат локалните инженерскогеолошки карактеристики на теренот и нивното влијание на сеизмична оста на локацијата;
- се проучуваат сеизмичките параметри на земјотресите, критериумите и условите за планирање, проектирање и градење.

При тоа, вкупното влијание на споменатите фактори може да се претстави со општиот израз:

$$U_z(f, q) = F [H(f); G(f, q); g(f, q); Z(f, q)]$$

Каде што е: U_z - дејство на земјотресот врз градежните објекти;

H - влијание на жариштето на земјотресот;

G - влијание на регионалната геологија;

g - влијание на локалните геолошки услови;

Z - влијание на карактери на земјотресот;

f - влијание на фреквенцијата на сеизмичките бранови;

q - пригушувања на сеизмичките бранови.

Првите два члена од равенката ги дефинираат регионалните сеизмогеолошки услови на местото на набљудување, но на нивото на основната карпа $U_0(f, g)$. Со соодветна замена во равенката ја добива следната форма:

$$U_z(f, q) = F_1[U_0(f, q); g(f, q); Z(f, q)]$$

Оваа равенка покажува дека сеизмичноста во точката на набљудување на површина на теренот зависи од сеизмичноста на основната карпа $U_0(f, g)$ и од локалните инженерскогеолошки карактеристики $g(f, q)$ на површинскиот покривач на површината на теренот. При простирање на сеизмичките бранови од

основната карпа до површината на теренот доаѓа до амплитудно-фреквентни промени на сеизмичките бранови, давајќи при тоа свое локално сеизмичко влијание на површината на теренот.



Слика 11.20 Приказ на влијанието на земјотресите на сеизмичноста на површината на теренот и објектот

Треба да се спомене дека при сеизмичката микрореонизација се применуваат или **статички** или **динамички** методи. При примена на статичките методи се врши класификација на почвата по геолошки, инженерскогеолошките или инженерско-геофизички критериуми, а потоа се проценува нивното влијание на јачината на потресот. Кај динамичките методи се прави категоризација на почвата според нејзините карактеристики на движење при природен или вештачки предизвикан потрес.

МЕТОДИ ЗА ПРЕСМЕТКА НА СЕИЗМИЧНОСТ НА ОСНОВНАТА КАРПА

Сеизмичноста на основната карпа го дефинира забрзувањето на осцилирање (a_0), доминантната периода на сеизмичкиот бран (T_0) на основната карпа под точката на разгледување и времетраењето на дејството на земјотресот (t). Дефинирајќи ги овие параметри може да се одреди и временската историја на осцилациите. Во пракса, постојат различни методи за дефинирање на овие параметри. На пример, Канаи, во 1958 година, ја предложил следната равенка за определување на a_0 :

$$a_0 = \frac{1}{T_0} 10^B$$

Коефициентот B зависи од магнитудата на земјотресот и хипоцентралното растојание. За земјотреси со хипоцентрално растојание $R \leq 50$ [km], коефициентот B се дефинира со изразот:

$$B = 0.61M - \left(1.66 + \frac{3.6}{R}\right) \log R + \left(0.167 - \frac{1.83}{R}\right)$$

За земјотреси со жариште кои се на поголемо растојание од 500 [km], коефициентот B е даден со следната равенка:

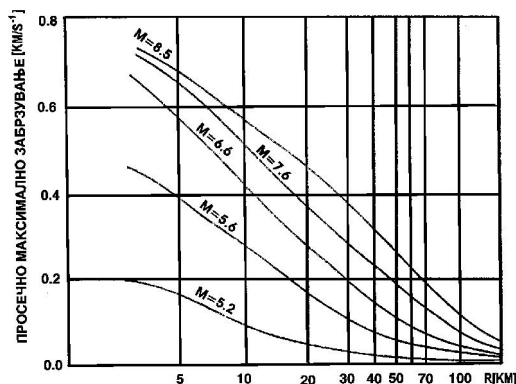
$$B = 0.61M - 1.731 \log R + 0.13$$

Врз основа на податоци за регистрација на јаките земјотреси во западниот дел на САД, во 1973 година американскиот сеизмолог Естева ја предложил следната емпирииска формула за пресметка на максималното забрзување (a_0) на основна карпа:

$$a_0 = \frac{5000 * e^{0.8}}{(R + 40)^2}$$

Каде што e : R - оддалеченост од хипоцентарот во km.

Во практиката, дел од параметрите се определуваат и дијаграмски. На пример, на Сликата 11.21 е прикажана зависноста на максималното забрзување на основната карпа од магнитудата на земјотресот (M) и оддалеченоста на местото од жариштето на земјотресот (R).



Слика 11.21 Зависност $a_0 = f(M, R)$ по Шнабл (1978)

МЕТОД ЗА СЕИЗМИЧКА МИКРОРЕОНИЗАЦИЈА ПО МЕДВЕДЕВ

Постапката на Медведев е всушност заснована на претходно прикажаната поделба на карпите на неколку сеизмички категории. Со оваа постапка се дефинира пресметковната сеизмичност, преку поврзување на резултатите од теренските набљудувања со физичките карактеристики на карпите преку т.н. **сеизмичка импеданца** (крутост). Проблемот се решава со наоѓање на врска меѓу прирастот на степенот на сеизмичност n и сеизмичките карактеристики на одредени категории на карпи како следи:

$$n = 1,67[\log(V_0 \cdot \rho_0) - \log(V_n \cdot \rho_n)]$$

Каде што е: n - прираст на сеизмичкиот интензитет во степени за набљудуваната карпа во споредба со гранитот - како еталон;

ρ_0, ρ_n - густина на гранитот, односно на набљудуваната карпа (kN/m^3);

V_0, V_n - соодветна брзина на простирањето на сеизмичките бранови низ гранитот, односно набљудуваната карпа (km/s).

Вака добиената промена на степенот на сеизмичност n се однесува на карпи и терени со природна влажност. Во случај кога има влијание на подземната вода, Медведев врз основа на макроскопски опсервации, ја предложил следната математичка зависност:

$$n_v = e^{-0.04h^2}$$

Каде што е: n_v - прираст на интензитетот поради дејството на подземната вода;

h - длабина на нивото на подземна вода.

Со внесување на горниот израз во претходната равенка се добива конечниот израз за прирастот на сеизмичкиот интензитет на водозаситената карпа или теренот во однос на гранитот како еталон:

$$n = 1,67[\log(V_0 \cdot \rho_0) - \log(V_n \cdot \rho_n)] + e^{-0.04h^2}$$

Ако почвата се состои од повеќе слоеви со различни сеизмички импеданци, тогаш за број на слојот n за $v_n \cdot \rho_n$ се зема средна вредност до длабочина од 10 m:

$$(v_n \cdot \rho_n)_{\text{сред}} = \frac{1}{\sum h_n} \cdot \sum v_n \cdot \rho_n \cdot h_n$$

Типични вредности за физичките параметри и очекуван прираст на основниот степен на сеизмичност за главните сеизмички категории на карпи се прикажани во Табела 11.6.

Табела 11.6 Типски податоци за прираст на сеизмичноста и физичките карактеристики на некои сеизмички категории на карпи

Категорија	v_n (km/s)	ρ_n (g/cm ³)	$v_n \cdot \rho_n$	$\frac{v_0 \cdot \rho_0}{v_n \cdot \rho_n}$	$\log \frac{v_0 \cdot \rho_0}{v_n \cdot \rho_n}$	n
гранит	5,6	2,9	16,2	1	0	0
варовник, песочник	4,5 - 2,5	2,8 - 2	12,6 - 5	1,29 - 3,24	0,11 - 0,51	0 - 1
гипс, лапорци	3 - 1,7	2,4 - 1,7	7,2 - 2,9	2,26 - 5,59	0,35 - 0,75	1
дробина, чакал	2,1 - 0,9	2 - 1,6	4,2 - 1,4	3,9 - 11,6	0,59 - 1,04	1 - 2
глина	1,6 - 0,6	1,9 - 1,6	3,1 - 1	5,22 - 16,2	0,72 - 1,21	1 - 2
нанос	1,5 - 0,6	2 - 1,6	3 - 1	5,4 - 16,2	0,73 - 1,21	1 - 2
заситен чакал, песок и глиновити почви	0,6 - 0,2	1,5 - 1,3	0,9 - 0,26	20,3 - 62,3	1,31 - 1,79	2 - 3

Постапката е релативно едноставна за примена во пракса, но бара детално познавање на својствата на теренот и подземните води.

ПРИРАСТ НА СЕИЗМИЧНОСТА СО АМПЛИФИКАЦИЈА

Во практиката е покажано дека дополнителни неповолни влијанија врз објектите можат да се појават кога површинската зона од теренот е изградена од карпести маси со полоши својства во однос на подолните слоеви. За едноставен модел кога над цврста основна карпа со физички карактеристики (v_0, ρ_0) лежи површински слој со драстично послаби физички карактеристики (v_1, ρ_1) и дебелина h , ако надолжните сеизмички бранови имаат амплитуда A_0 која потекнува од потресот, при прекршување на бранот во површинскиот слој, амплитудата A_1 се зголемува и изнесува:

$$A_1 = A_0 \frac{2}{1 + \frac{v_1 \cdot \rho_1}{v_0 \cdot \rho_0}}$$

Од формулата се гледа дека амплитудата на прекршениот бран ќе биде толку поголема колку што е помал односот $\frac{v_1 \cdot \rho_1}{v_0 \cdot \rho_0}$.

За случај кога слабо збиени и растресити почви лежат над цврста карпа се добива дека $A_1 \approx 2A_0$. Во практика, е покажано дека овој однос може да биде и

значително поголем. Ова се објаснува со фактот дека од површинскиот слој бранот може повеќе пати да се рефлектира на долната и на горната граница, така што има услови при надоаѓање на следниот бран да се случи суперпонирање и зголемување на предходната амплитуда. Ова нараснување на амплитудата зависи од брановата должина (l) и дебелината на слојот (h). Според Саваренски (1959) и Кацу (1961) услови за резонанца постојат кога h и l се во следниве односи:

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{5}{4}, \frac{(2k-1)}{4}, \quad \text{каде што } k = 1, 2, 3.$$

Ова значи дека во ист слој се можни резонантни осцилирања за бранови со различни должини и за различни периоди T . За почва што се состои од еден слој со дебелина h и брзина на ширење на сеизмичкиот бран (v), доминантниот период T_0 е еднаков:

$$T_0 = \frac{4h}{v}$$

Произлегува дека при сеизмичката микрореонизација конечниот износ за прираст на степенот на сеизмичност може да биде резултат и на резонанти влијанија.

ОСНОВИ ЗА ДЕФИНИРАЊЕ НА СЕИЗМИЧКОТО ДЕЈСТВО ВРЗ ОБЈЕКТИТЕ

За да се избегнат големи штети и човечки загуби, во практиката се применуваат антисеизмички мерки за терени, каде што се очекуваат интензитети од $I=7-9^\circ$ по MCS-скалата. За очекувана сеизмичност од $I=10^\circ$ се применува посебна постапка како за објекти вон категорија. Прописите за асеизмичко проектирање се засноваат на определување на еквивалентната сеизмичка сила, која во општ случај се добива како производ на тежината на објектот и еден вкупен сеизмички коефициент:

$$S = K \cdot G$$

Каде што е: S - еквивалентна сеизмичка сила;

G - тежина на објектот;

K - вкупен сеизмички коефициент ($K=K_0 \cdot K_s \cdot K_d \cdot K_p$);

K_0 - коефициент за категоријата на објектот;

K_s - коефициент на сеизмичкиот интензитет;

K_d - коефициент на динамичност;

K_p - коефициент на дуктиленост и пригушување.

Наведените коефициенти се дефинираат на различни начини, во зависност од типот на објектите, интензитетот на земјотресот, периодата на слободни осцилации и од локалните инженерскогеолошки услови. Објектите во зависност од нивното значење најчесто се делат во пет категории, а за секоја од нив се пропишува одредена големина на коефициентот K_0 (Табела 11.7). Вредноста на коефициент на сеизмичкиот интензитет најчесто се доведува во врска со интензитетот или магнитудата на потресот (Табела 11.8 и Слика 11.22). Коефициент на хоризонтално сеизмичко забрзување се дефинира како однос од забрзување на подлогата во хоризонтален правец при земјотрес:

$$K_x = \frac{a_h}{g}$$

Каде што е:

a_h - хоризонтално забрзување како дел од g (земјино забрзување $= 9,81 \text{ m/s}^2$).

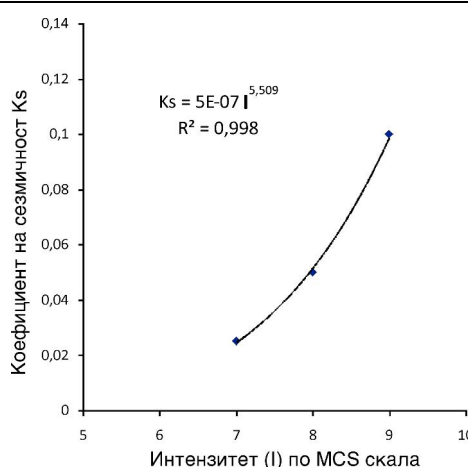
Табела 11.7 Типови на објекти и вредности на коефициент K_0

Категорија на објектот	Тип на објектот	Коефициент K_0
Вон категорија	Нуклеарни центри, брани, енергетски објекти, индустриски оџаци и сл.	Се применува посебна постапка
I категорија	Спортски сали, киносали, сајмишта, училишта, театри, болници, индустриски објекти и сл.	1,5
II категорија	Станбени згради, хотели, ресторани, некои индустриски објекти	1,0
III категорија	Помошно-производни објекти	0,75
IV категорија	Привремени објекти	0,50

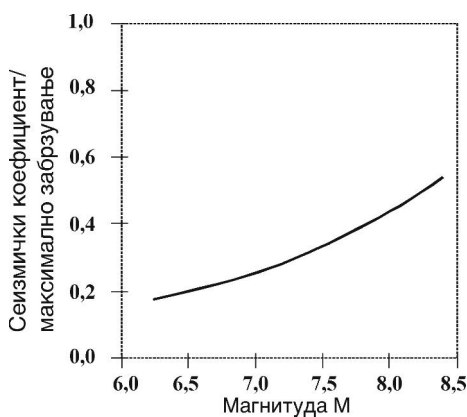
Коефициентот на динамичност K_d се определува во зависност од периодата на осцилации на подлогата T .

Табела 11.8 Вредности за коефициент на сеизмичност во зависност од интензитет

Интензитет според MCS скала	K_s
7	0,025
8	0,050
9	0,100



Слика 11.22 Зависност на сеизмички коефициент од магнитудата



ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА

Коефициентот на динамичност K_d е поврзан со категоријата на почвата, односно инженерскогеолошките услови (Табела 11.9).

Табела 11.9 Зависност на коефициент на динамичност од категоријата на подлогата

Категорија на подлога	K_d	Гранични вредности на K_d
I. Цврсто врзани каменити или полукаменити карпи магматски карпи, шкрилци, мермери, варовници, лапорци, цементираны конгломерати и др.	$K_d = 0,50 / T$	$1,0 > K_d < 0,33$
II. Добро збиени и чакали, песоци, тврди преконсолидирани глини со дебелина над 60 м, таложени над цврста карпа	$K_d = 0,70 / T$	$1,0 > K_d < 0,47$
III. Слабо збиени и меки почви со дебелина над 10 метра, растресит чакал, средно збиен песок, мека глина со прослојувања на песок или други некохерентни материјали.	$K_d = 0,90 / T$	$1,0 > K_d < 0,60$

Коефициентот на дуктилноста и пригушувањето K_p зависи од типот на конструкциите (Табела 11.10).

Табела 11.10 Коефициент на дуктилноста и пригушувањето

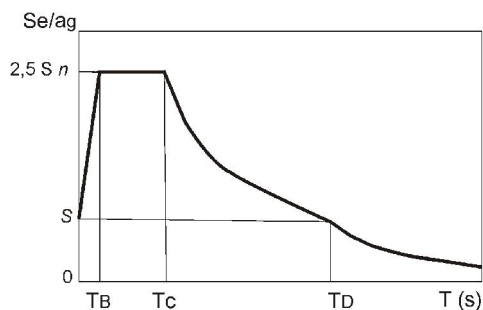
Вид на конструкција	K_p
Сите современи армиранобетонски, челични и сидани конструкции	1,0
Конструкции од армирани сидови и челични конструкции со дијагонали	1,3
Сидани конструкции со вертикални серклажи, високи и витки конструкции, оџаци, антени со $T > 2\text{sek}$.	1,6
Конструкции со флексибилен кат и со нагла промена на крутоста и обични сидани конструкции	2

Во практиката периодите на осцилирање се дефинираат по различни постапки. На пример, според постапката дефинирана во Еврокод 8 се дефинира т.н. еластичен спектар на одговор на подлогата (S_e), во зависност од типот на почвата (Табела 11.11).

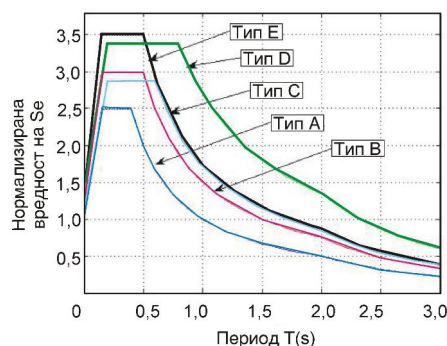
Табела 11.11 Периоди за различни категории на подлогата

Тип на почва за параметри од табела 11.4	Коефициент за тип на почва S	$T_b(s)$	$T_c(s)$	$T_d(s)$
A	1,00	0,15	0,4	2
B	1,20	0,15	0,5	2
C	1,15	0,20	0,6	2
D	1,35	0,20	0,8	2
E	1,40	0,15	0,5	2

На Сликата 11.23 се прикажани карактеристичните видови периоди за одреден тип на еластичен спектар, а на Сликата 11.24, карактеристични спектри за секој тип на почва по ЕС8.



Слика 11.23 Карактеристични периоди за еластичен спектар по ЕС8



Слика 11.24 Карактеристични криви за еластичен спектар на разни почвени типови по ЕС8 за 5% пригушување

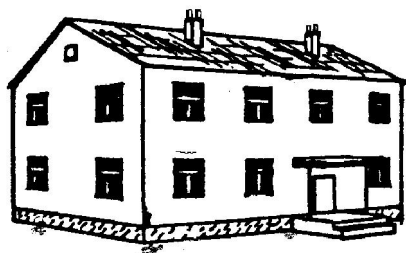
Во стручната литература има и други варијанти за дефинирање на еластичните спектри, но суштината е да се изврши споредба на проектните со мерните спектри, пред да се донесе конечен заклучок за стабилноста на објектот при сеизмички влијанија. Основно е да се дефинира што е можно поблизок модел на теренот, кој би бил основа за анализа. Понатаму, проблемите се решаваат со дефинирање на типот на конструкцијата, мерења на поместувања во лабораториски услови, следење на конструкциите при земјотрес и слично, што детаљно се анализира во теоријата на динамика на конструкциите.

ВИДОВИ ОШТЕТУВАЊА НА ОБЈЕКТИТЕ ПРИ ЗЕМЈОТРЕС

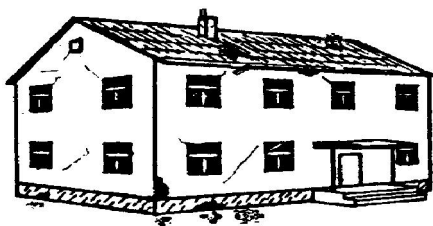
Прикажаните анализи во рамките на ова поглавје се добра илустрација за комплексноста на проблемот на дефинирање на сеизмичноста на теренот. Во практиката, често се јавува потреба по секој посилен земјотрес да се изврши проценка на степенот на оштетувањето на објектите. Овој аспект е соодветно третиран во прирачниците за примена на Европската макросеизмичка скала за различни видови конструкции.

Според препораките од Европската макросеизмичка скала EMS 98 се разликуваат **5 основни категории на оштетувања** кај објектите. Типични случаи се прикажани на следните слики за сидани и армирано-бетонски конструкции.

А. КЛАСИФИКАЦИЈА НА ОШТЕТУВАЊА КАЈ СИДАНИ КОНСТРУКЦИИ

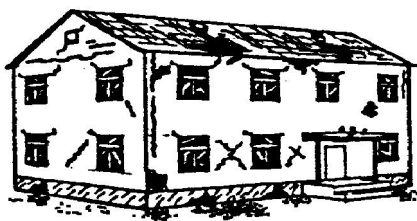


Слика 11.25 Степен на оштетување 1 (Слаби до незначјни оштетувања)
Нема појава на оштетувања на конструкцијата или тие се незначителни. Тенки прснати се забележуваат само кај некои сидови. Се појавува отпаѓање на мали парчиња од малтер. Отпаѓање на ослабени блокови од горните делови на конструкцијата има само во одредени случаи.



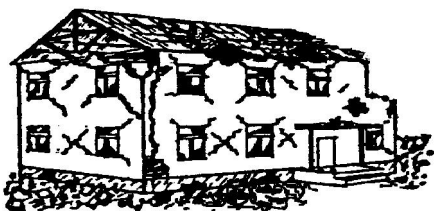
**Слика 11.26 Степен на оштетување 2
(Средни оштетувања)**

Слаби конструктивни оштетувања или средни неструктурни штети. Можна е појава на пукнатини на повеќе сидови. Има појава на отпаѓање на поголеми парчиња од малтер, а може и делумен колапс на оџаците.



**Слика 11.27 Степен на оштетување 3
(Значајни до тешки оштетувања)**

Средни оштетувања на конструктивниот систем и тешки неконструктивни оштетувања. Има појави на големи и долги пукнатини на повеќе сидови. Делови од покривот отпаѓаат, оџаците се рушат, а има и појава на лом на некои неконструктивни елементи.



**Слика 11.28 Степен на оштетување 4
(Многу тешки оштетувања)**

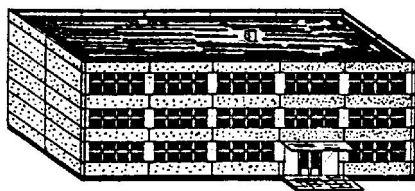
Тешки оштетувања на конструктивниот систем, многу тешки оштетувања на неконструктивните делови, сериозни ломови на сидовите со делумен лом на конструкцијата кај покривот и на катовите.



**Слика 11.29 Степен на оштетување 5
(Деструкција)**

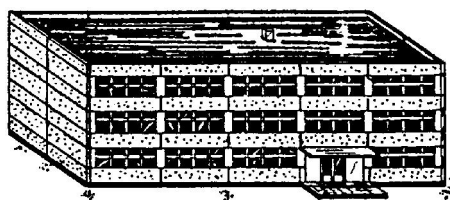
Целосен лом на објектот или состојба пред целосен колапс

Б. КЛАСИФИКАЦИЈА НА ОШТЕТУВАЊА КАЈ АРМИРАНО-БЕТОНСКИ КОНСТРУКЦИИ



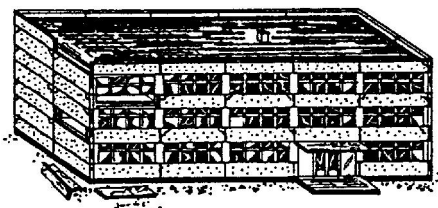
**Слика 11.30 Степен на оштетување 1
(Слаби до незначайни оштетувања)**

Нема појава на оштетувања на конструкцијата или се незначителни. Можни се појави на мали прснатини кај малтерот или на сидовите во основата, како и мали пукнатини во споевите и пополнувањата со малтер.



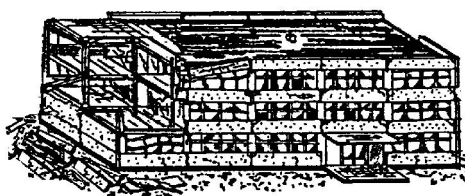
**Слика 11.31 Степен на оштетување 2
(Средни оштетувања)**

Слаби конструктивни или средни неконструктивни штети со појави на пукнатини кај столбови, греди и рамки кај носивите сидови, пукнатини кај преградните сидови, појава на отпаѓање на малтерот од споевите на платната кај сидовите.



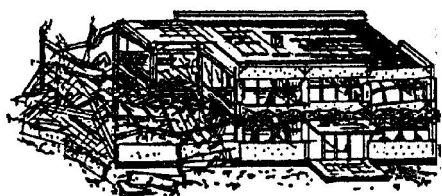
Слика 11.32 Степен на оштетување 3 (Значајни до тешки оштетувања)

Средни оштетувања на конструктивниот систем и тешки неконструктивни оштетувања со пукнатини на столбовите и гредите, кои ги поврзуваат плочите, отпаѓања на бетонските обвивки или свивање на челичните шипки, големи и долги пукнатини кај подот со отпаѓање на одделни панелни плочи.



Слика 11.33 Степен на оштетување 4 (Многу тешки оштетувања)

Тешки оштетувања на конструктивниот и многу тешки оштетувања на неконструктивниот систем, големи пукнатини кај носиви елементи, лом на бетонот и пукање на узенгиите, навалување на столбови и лом кај дел од нив или одделни делови од погорните катови.



Слика 11.34 Степен на оштетување 5 (Деструкција)

(Многу тешки конструктивни оштетувања со колапс на долните катови или делови од крилните сидови на зградата)

На следните слики се прикажани и неколку конкретни примери од реално случени земјотреси.

Тип на градба	Локација на земјотрес	Степен на оштетување				
		1	2	3	4	5
Неармирана сидана конструкција	Фрули, Италија, 1976 Гемона (Удинезе)			X		
		<p>Слика 11.35 Оштетувања во вид на долги дијагонални пукнатини но без појава на лом на сидовите (преземено од Грунтал 1998)</p>				

ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА

Тип на градба	Локација на земјотрес	Степен на оштетување				
		1	2	3	4	5
Армирано-бетонска рамовска конструкција	Спитак, Ерменија, 1998					X
		<p>Слика 11.36 Деструкција на објект (преземено од Грунтал 1998)</p>				

Тип на градба	Локација на земјотрес	Степен на оштетување				
		1	2	3	4	5
Сидана конструкција од природен камен со многу слаб малтер	Валандово, Р Македонија 2009				X	
		<p>Слика 11.37 Многу тешки конструктивни оштетувања со колапс на долните катови или делови од крилните ѕидови на зградата</p>				

Прикажаните примери можат да помогнат кога се вршат конкретни проценки на оштетувањата од некој реален земјотрес од страна на специјални стручни комисији. Целта е осигурителните компании да добијат податоци за реални обештетувања на правните и на физичките лица, издвојување на зони со најголема оштетеност во склоп на населените подрачја и слично.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Што е земјотрес и во кои делови од светот најчесто се појавуваат?
- Што е хипоцентар, епицентар, изосеисти, интензитет и магнитуда?
- Кои се најпознатите сеизмички скали и по колку степени имаат?
- Кои се индиректни ефекти од земјотресите и кои се најопасни од нив?
- Што е ликвидација и како може да се прогнозира нејзината појава?
- Од кои групи фактори зависат сумарните оштетувања кај објектите?
- Објасни ја постапката на Медведев!
- Колку категории на оштетувања кај објектите постојат според Европската макросеизмичка скала?

12 КЛАСИФИКАЦИИ И ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

ВОВЕД

Во геолошката и геотехничката наука методите што се засновани на собирање, анализа, систематизација и класификација на геолошките и геотехнички податоци и искуства од претходно изведени објекти се нарекуваат **емпириски** или **искуствени**. Најчесто кај овие методи се применува постапка на **класифицирање** на карпестите маси во **категории** или **групи** со слични својства, кои се релевантни за инженерските проблеми. За секоја издвоена класа на карпестите маси се очекуваат слични геотехнички услови за изведба и слично механичко однесување. Така се создадени **инженерските класификациони системи**, кои се употребуваат за решавање на голем број практични проблеми. Вредно е да се спомене дека со постапката на класификација се создаваат услови за поедноставно и еднозначно инженерско толкување на сложените процеси и појави во теренот, на јазик кој е разбирлив за лицата кои се занимаваат со инженерството на теренот.

Инженерските класификации според нивниот карактер можат да се поделат на: **општи инженерскогеолошки** и на **геотехнички**. Понатаму можат да се поделат на: **квалитативни**, каде што класите на карпестите маси се делат описно и **квантитативни**, каде што класите се дефинирани со бројна големина на некој параметар. Според бројот на параметри, кои се класифицираат се делат на: класификации по **еден**, **два** или по **повеќе** параметри. Според нивната намена можат да се поделат на: класификации за изведба на **подземни работи**, изведба на **косини**, дефинирање на начин на **ископ**, **дупчивост**, **минирање**, **утоварување**, **транспорт** и друго.

На сегашното ниво на развој на науката и техниката, за најдобри се сметаат **повеќепараметарските** квантитативни класификациони системи, каде што преку избор на повеќе влијателни параметри и нивна комбинација се дефинира т.н. **квалитет на карпеста маса**.

ОПШТИ ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ КЛАСИФИКАЦИИ

Општите инженерскогеолошки класификации се користат, главно, при подготовка на инженерскогеолошките карти и профили. Во инженерската геологија, при издвојување на класите на карпи се поаѓа од цврстината на врските, кои постојат меѓу зрната и јакоста на монолит на карпата. Во светската практика најповеќе се употребува класификацијата предложена од Комисијата на Меѓународното друштво за инженерска геологија (IAEG). Оваа комисија во 1976 година подготвила т.н. „Водич за подготовка на инженерскогеолошки карти“, издаден од страна на УНЕСКО. Суштината на оваа класификација е поделбата на сите карпи во три основни групи и тоа: **цврсто сврзани**, **слабо сврзани** и **несврзани**.

Кај овие групи постојат суштински и остри разлики во нивните физичко-механички својства и нивното механичко однесување. Така, од практична гледна точка, во иста инженерскогеолошка група можат да се сретнат различни генетски видови карпи. Тоа е поради фактот што од инженерски аспект нема значајни разлики во инженерското однесување на гранит, дијабаз, габро, дацит, мермер,

варовник или доломит, меѓу чакал и песок или пак меѓу глините и лапорот. Како основен критериум за класификација се користи јакоста на притисок, според класи дефинирани од IАЕГ (Табела 12.1).

Табела 12.1 Класификација на карпите според јакоста на притисок на монолит

Јакост на притисок - σ_p		
Класа	Дијапазон на јакост (МПа)	Опис
1	1.5 - 15	слаба карпа
2	15- 50	умерено цврста
3	50 - 120	цврста
4	120 - 230	многу цврста
5	>230	исклучително цврста

Комисијата на IАЕГ ги има поделено сите карактеристики на карпите на **класификациски, индиректни и директни**, а сите класи по различни параметрите се прикажани во Анексот 7. Овој класификационен систем се заснована на таканаречениот **литогенетски** критериум, каде покрај литологија, се посветува внимание на генезата на карпестата маса. За издвоените литолошки единици, се издвојуваат класи со слично инженерско однесување. Основните единици се делат на: инженерскогеолошки тип (ЕТ), литолошки тип (LT), литолошки комплекс (LC) и литолошка серија (LS). **Инженерскогеолошкиот тип** има највисок степен на хомогеност на сите својства и состојби на карпата. Ова значи дека издвоениот инженерскогеолошки тип во разгледуваниот волумен треба да е хомогено граден во однос на неговите физичко-механички својства. **Литолошкиот тип**, пак, има хомогеност по однос на неговата литолошка градба, но не мора да биде хомоген по некое својство во склоп на целата негова маса. На пример, карпата гранит, кај некој локалитет може да биде литолошки хомогено градена, со иста структура и текстура, но во различни делови од теренот може да има различен степен на распаднаотост, испуканост, модул на деформација или водопропустност. **Литолошкиот комплекс** се состои од неколку литолошки типови, кои се создадени во слични палеогеографски и геотектонски услови. На пример, во седименти создадени во езерска средина во текот на една геолошка ера, можат да се наталожат различни литолошки типови (одделни слоеви од глина, чакал, песок, кои заедно го сочинуваат литолошкиот комплекс). **Литолошка серија** е составена од неколку литолошки комплекси, кои се создавани во слични палеогеографски и тектонски услови, но секој од литолошките комплекси во склоп на серијата се карактеризираат со јасно изразени литолошки разлики.

ЦВРСТО СВРЗАНИ КАРПИ

Кај цврсто сврзаните карпи, меѓу нивните зрна постојат претежно цврсти кристализациони врски. Нивните основни својства пред се зависат од: видот на минералните состојки, минералниот вид на врзивото и негово количество, склопот на карпите, постоење на разни дефекти во градбата на карпата во вид на пори, пукнатини и други разни шуплини. По своите физичко - механички својства можат да се издвојат во две подгрупи и тоа: **каменити** и **полукаменити**. Каменитите карпи (анг. **hard rocks**) се одликуваат со голема кохезија и цврста врска меѓу минералните зрна.

На ниво на монолит имаат мала деформабилност, голема јакост и генерално се со задоволнителна постојаност на дејство на надворешни влијанија. За некоја

карпа да се класифицира како каменита, јакоста на притисок на примерок треба да е поголема од $\sigma_p \geq 50$ МПа. Во оваа инженерскогеолошка подгрупа припаѓаат сите магматски карпи, варовникот, доломитот, гнајсевите и масивни метаморфни карпи. Научната област која првенствено се занимава со изучување на физичко-механичките својства и механичкото однесување на оваа подгрупа е механиката на карпите.

Полукаменитите карпи (анг. **soft rocks**) имаат понеповолни својства од каменитите карпи. Јакоста на притисок на карпест примерок им е $\sigma_p \leq 50$ МПа. Тука припаѓаат глиниците, лапорците, шкрилци со понизок кристалинитет, гипсот, некои видови туфови, туфити и слични карпи. Во случај кога јакоста на притисок е помала од $\sigma_p < 1.5$ МПа, некои од овие карпи прават преод кон слабосврзаните карпи. Така, за ваквите материјали како синоними можат да се сретнат термините цврсти почви (**hard soils**) или слаби карпи (**weak rocks**).

СЛАБО СВРЗАНИ КАРПИ

Во слабо сврзани (**cohesive soils**) се класифицираат оние карпи, кои се изградени од честички поситни од 0,002 mm. Најтипични претставници се **глини и лапори**. Во оваа инженерскогеолошка група би можело да се класифицираат и **лесоидните** почви во сува состојба. Општо правило за карпите од оваа група е дека покажуваат голема чувствителност на дејството на водата, што многу влијае на променливоста и влошување на нивните својства. Тоа пак е предуслов за појава на голем број процеси и појави, кои по правило се одразуваат негативно врз инженерските конструкции. Од овие причини, во нив, често се јавува потреба од подобрување на нивните својства.

НЕСВРЗАНИ КАРПИ

Во групата на несврзани карпи (**non-cohesive, cohesionless soils**) се класифицираат седименти изградени од минерални зрна или парчиња на карпи, кои меѓусебно само контактираат, т.е. кои се целосно одвоени. Сите позначајни својства зависат од видот, големината, формата и сложеноста - густината на зрната. Најзначајни претставници во оваа инженерскогеолошка група се чакалестите, песокливите и прашичестите седименти.

КЛАСИФИКАЦИОНИ СИСТЕМИ КАЈ ПОЧВЕНИ МАТЕРИЈАЛИ

Во светската практика, разработени се повеќе системи за класификација на дисперзните почвени материјали. Основите на првиот изграден систем се поставени од страна на Артур Казагранде (Arthur Casagrande) во четириесеттите години од дваесеттиот век. Според иницијалите на авторот, овој систем бил наречен **AC**- систем. Тој е делумно модифициран во 1952 година кога е именуван како Унифициран систем на класификација на почвите или **USCS-систем** (од анг. **Unified Soil Classification System**). Денес е прифатен во најголем дел земји во светот иако во практиката се на сличен принцип е разработена и **AASHTO**-класификација за дефинирање на материјалите, кои се користат при изградба на патиштата.

Во Велика Британија се користи класификацијата на почвите по Британските стандарди (**British Soil Classification System for Engineering Purposes**), која е слична на USCS системот, а се користи и за потребите на изработка на инженерскогеолошки карти од крупна мерка. Принцип за издвојување на класите е прво да се стави како префикс симболот за името на основната група, а потоа

се додава симболот за подгрупата. Основните имиња на групите доаѓаат од почетните букви на најзначајните претставници на седиментните карпи според идејата на Казагранде (Табели 12.2, 12.3 и 12.4):

Табела 12.2 Симболи на главни типови на почви според А. Казагранде

Главен тип на почва	Преставник	Симбол во вид на префикс
грубозрнести почви	чакал (анг. G avel)	G
	песок (анг. S and)	S
финозрнести почви	прашина (анг. M o или Silt)	M
	глина (анг. C lay)	C
органиски почви	органиска глина или прашина	O
влакнести почви	тресет (анг. P eat)	Pt

Табела 12.3 Принципи за класификација со додавање на суфикс кон главното име по Казагранде кај грубо зрни почви

Поделба	Состојба на гранулираност	Суфикс кон симбол
За грубозрнести почви	добро гранулирани, без фини честички	W
	добро гранулирани, со фини честички како врзиво	C
	слабо гранулирани без фини честички	U
	слабо гранулирани со слабо присуство на фини честички	P
	слабо гранулирани со високо присуство на фини честички	F

Табела 12.4 Принципи за класификација со додавање на суфикс кон главното име по Казагранде кај финозрни почви

Поделба	Состојба на пластичност	Суфикс кон симбол
за финозрнести почви	ниска пластичност (анг. L ow plasticity)	L
	средна пластичност (анг. M edium plasticity)	I
	висока пластичност (анг. H igh plasticity)	H

Од Табелата 12.4, се гледа дека основен критериум за подетаљна поделба кај финозрните почви е состојбата на пластичност. Понатамошно подетално издвојување може да се изврши според вредноста на границатата на течење (W_l). При тоа, може да се разликуваат почви со ниска пластичност кога границата на течење е $W_l < 35\%$, со средна кога е $W_l = 35-50\%$, со висока кога е $W_l = 50 - 70\%$, со многу висока кога $W_l = 70 - 90\%$ и почви со екстремно висока пластичност кога е $W_l > 90\%$.

При употреба на ваквите класификации треба да се имаат предвид одредени препораки како:

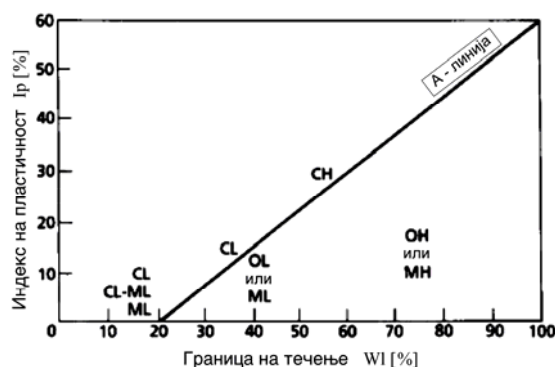
- Кога името на групата и подгрупата е дадено врз основа само на теренски опис без лабораториски испитувања, симболот е пожелно да се стави во заграда. На пример, симбол GC се однесува за заглинет чакал кога класификација се врши ако постојат лабораториски испитувања, а

КЛАСИФИКАЦИИ И ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

истиот симбол во заграда (GC) кога се дава само врз основа на визуелен опис;

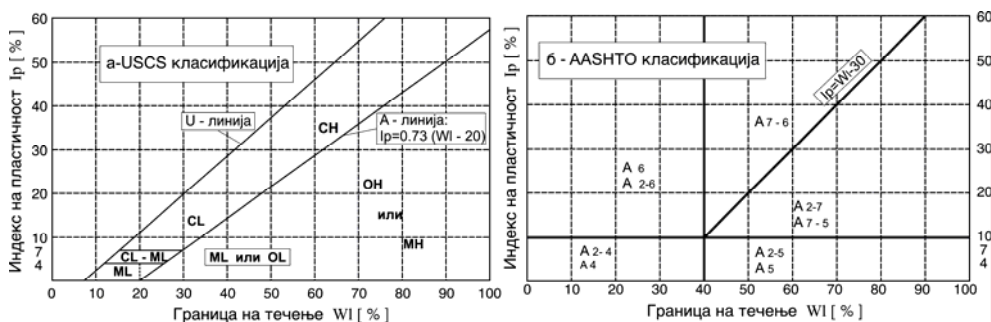
- Можно е наместо ознаката за прашина (M) или глина (C), да се употреби алтернативен симбол F (анг. Fine Soil, Fines) кога не е можно јасно да се направи разлика меѓу нив;
- Понекогаш некоја почва може да биде на граница меѓу две основни групи, така што за тие случаи може да се употреби комбиниран симбол. На пример, ознаката GW-GC, се однесува за мешавина од добро гранулиран чакал, до заглинет чакал. Ознаката GW-SW, означува мешавина меѓу добро гранулиран чакал и добро гранулиран песок итн.

Ако вредноста на границите на пластичност се наоѓа под т.н **A** линија, обично тие се именуваат како **органски почви**, а над линијата **A**, **неоргански почви** (Слика 12.1).



Слика 12.1 Дијаграм на пластичност за генерална класификација на ситнозрнести почви

Во стручната литература се среќаваат различни форми на дијаграмите на пластичност (Слика 12.2)



Слика 12.2 Различни форми на дијаграми според параметрите на пластичност

На дијаграмот на Сликата 12.2-а, се забележува дека покрај **A**-линија, постои и т.н **U**-линија, која се смета како граница до која може да се движат реалните вредности на индексот на пластичност и границата на течење. Ако во практика се појават случаи кога некои резултати се над **U**-линијата, тогаш е потребна нивна проверка со повторување на испитувањата.

Дијаграмот на Сликата 12.2-б всушност ги прикажува основните класи на почви кои се среќаваат при градба на патиштата. Одредени детали, кои помагаат за дефинирање на сите критериуми за класификација и идентификација на почвените материјали, можат да се сретнат во сите учебници за механика на почвите.

ОПИС НА ЦВРСТО ВРЗАНИТЕ КАРПИ СПОРЕД ПРЕПОРАКИ НА МЕЃУНАРОДНО ДРУШТВО ЗА МЕХАНИКА НА КАРПИТЕ

Како и кај почвените материјали, така и кај цврсто врзаните карпи се наметнува потреба од нивни еднозначен опис. Во овој поглед, детаљни препораки за опис на карпестите маси по сите параметри се дадени од страна на Меѓународното друштво за механика на карпи, ISRM, 1981 (ISRM-International Society for Rock Mechanics). Најчесто опис на карпестите маси се користи за намени на површинското геолошко картирање. Детали се прикажани во Анексот 5 на книгата. Таму се прикажани и формулари, кои овозможуваат напореден запис на податоците од површинско картирање на отворени изданоци, објекти и ориентирано јадро од истражните дупнатини. Значајно е што комисијата на ISRM препорачува изработка на **катастри за опис на карпест масив**, во кој се внесуваат податоци за бојата, гранулираноста, јакоста, формата и големината на блоковите, распаѓаноста, бројот на пукнатински системи и др. Исто така, се користи и **катастарот за опис на пукнатинските карактеристики**, каде што се внесуваат податоци за карактеристиките типот, ориентација, континуитет, рапавост, заполнител, доток на вода и друго на секој одделен дисконтинуитет.

ГЕОТЕХНИЧКИ КЛАСИФИКАЦИИ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

Во сегашноста постојат многу добро разработени геотехнички класификации, кои се создадени низ текот на подолг временски период. Историски гледано, треба да се спомене класификацијата на Терцаги од 1946, која се смета како прв практичен систем за заштита на ископот со челични лакови, кој бил во употреба во САД во тунелоградбата. Лауфер 1958 за прв пат го вовел терминот „време на стоење на стабилен отвор“ со кој се дефинира всушност димензијата на отвор, кој може да биде стабилен без примена на примарен подграден систем. Дон Дир (1967) за прв пат го воведува параметрот за дефинирање на испуканоста, кој е наречен RQD-параметар (Rock Quality Design), кој подоцна често е применуван во други класификациони системи. Викхем, Тајдмен и Скинер во САД 1972, го воведуваат за прв пат концептот на рејтинг на карпестиот масив (RSR - Rock Structure Rating), каде што се вклучени неколку параметри во класификацијата.

Големо историско значење има и класификацијата на М. М. Протоџаконов (1926). Овој автор за потребите на рударските работи ја воведува т.н. „скала на јакоста“, каде што за секоја класа се припишува одредена вредност на коефициентот на јакост (f). Овај коефициент и ден-денес се користи во пресметки на минерски работи, дупчивоста, пресметка на оптоварувања од карпестата маса врз тунелската подграда и др.

За нашата градежна практика е важна класификацијата на Браунс-Стини, која била основа за воведување на просечните градежни норми ГН-200. Според овие норми, сите карпести маси на описен начин се делат на седум категории, каде што проценката на начинот на ископ се врши на следен начин:

- Од I до IV категорија ископот може да се врши со **копање** применувајќи рачен ископ, багер лажичар и слично;

- Во V категорија ископот може да се врши со **риперување** или распарување на карпестата маса, како и со разрушување со пневматски чекан и чукање врз карпестата маса;
- Во VI и VII категорија, каде што ископот се врши со **минирање**.

Оваа класификација е доста застарена, бидејќи била развиена кога ископот главно се вршел рачно, но понекогаш се користи и во денешни услови. Чекор напред на ова поле претставуваат трудовите на Френклин 1970 и Френклин, Брох и Волтон 1971, Луи 1974, Абдулатиф и Круден 1983 и др. Отпорот при риперување е анализиран од Вивер 1975, Кирстен 1982, Синг 1987 и др. Значајни се и трудовите на Ржевскиј и Новик (1975 и 1984).

КЛАСИФИКАЦИИ ЗА ПРОЦЕНКА НА СТАБИЛНОСТ НА ПОДЗЕМНИ ОТВОРИ

Најпознати и широко прифатени класификации во геотехниката се **RMR (Rock Mass Rating)** систем на Биенџавски, 1974 и **Q (Quality)** системот од норвешките автори Бартон, Лиен и Лунд 1974. Квалитетот (рејтингот) и категоријата на карпестите маси се дефинира како продукт од повеќе класификациони параметри, а крајниот резултат се добива во вид на бројка преку која се дефинира класата на карпести маси.

RMR (ROCK MASS RATING) СИСТЕМ

Оваа класификација е составена од пет основни и еден дополнителен класификационен параметар. Основните параметри се однесуваат на:

1. Јакост на монолитни делови изразена или преку еднооксијалната јакост на притисок (σ_p) или преку индексот на јакост (J_s);
2. Степен на испуканост дефиниран преку RQD-вредноста;
3. Средно растојание меѓу дисконтинуитетите (L_s);
4. Состојба на пукнатините, која се однесува на отворот, видот на заполнител и неговата дебелина, континуитет и рапавоста;
5. Состојба на подземна вода;
6. Корективен параметар.

Корективниот параметар се однесува на ориентацијата на најмеродавниот пукнатински систем, во однос на правецот на напредување на ископот. Состојбата на подземна вода може да биде изразена описно, како доток на подземна вода во ископот или притисок од водата.

Суштината на класификацијата е што за одредена вредност на параметрите авторот доделува одреден број на **поени**. Збирот на поените го дефинира вкупниот **квалитет** или **рејтинг** на карпестата маса.

Класификацијата претрпела неколку модифиции, така што низ стручната литература се среќаваат неколку верзии (1973, 1974, 1976, 1979 и 1989). Верзијата од 1989 година е прикажана во Табелата 12.5 каде се гледа, дека според квалитетот карпите се поделени во **пет** основни категории. Теоретски, карпите со најслаб квалитет имаат вредност $RMR \leq 20$, а највисок квалитет се однесува за многу цврста карпеста маса без пукнатини, која има вредност на $RMR=100$. Во табелата 12.7, пак, се прикажани подетаљни препораки за усвојување на корекционите вредности поради ориентацијата на главните пукнатини.

За подобро дефинирање на корективниот фактор, на Сликата 12.3 се прикажани варијанти за поволна и неповолна ориентација на главните структурни елементи кај ископи во подземје и на површина на терен.

Табела 12.5 Класификација на карпести маси според Биенјавски (Bieniawski) 1989

А. Параметри за класификација и нивни рејтинг								
Параметар		Дијапазон на вредностите						
1. Јакост на монолитните делови	индекс на јакост Is (MPa)	>10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	<1		
	јакост на притисок σ_p (MPa)	>250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5-25	1-5	<1
Поени		15	12	7	4	2	1	0
2. Вредност RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	<25		
поени		20	17	13	8	3		
3. Средно растојание меѓу пукнатини		>2 m	0.6 - 2m	0.2 - 0.6 m	60 - 200 mm	<60 mm		
Поени		20	15	10	8	5		
4. Состојба на пукнатините		многу рапави пукнатини, неконтинуирани без отвор, свежи пукнатински ѕидови	брановидни пукнатински површини, отвор < 1mm, слабо изменети пукнатински ѕидови	брановидни пукнатински површини, отвор < 1mm силно изменети пукнатински ѕидови	равни и глатки пукнатини или наполнител < 5 mm отвор 1-5 mm, континуирани	мек наполнител >5 mm дебелина или отвор >5 mm континуирани		
Поени		30	25	20	10	0		
5. Состојба на подземната вода	доток на 10 м должина од тунел (l/min)	Без доток	<10	10 - 25	25 - 125	>125		
	однос меѓу притисок од вода и max. главен напон	0	<0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	>0.5		
	генерална состојба	целосно суво	слабо провлажување	влажно	капење	течење		
Поени		15	10	7	4	0		
Б. Поправка заради ориентација на пукнатините								
Ориентација на протегањето и пад на пукнатините		многу поволна	поволна	добра	неповолна	многу неповолна		
поени	тунели и рудници	0	-2	-5	-10	-12		
	темели	0	-2	-7	-15	-25		
	косини	0	-5	-25	-50	-60		
В. Класи на карпести маси одредени од вкупниот збир на бодови								
рејтинг		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<21		
класа бр.		I	II	III	IV	V		
опис		многу добра карпеста маса	добра карпеста маса	поволна карпеста маса	слаба карпеста маса	многу слаба карпеста маса		

КЛАСИФИКАЦИИ И ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

Табела 12.6 Препораки за практична примена на класификацијата на Биенџавски

ЗНАЧЕЊЕ НА КЛАСИТЕ НА КАРПЕСТА МАСА					
Број на класа	I	II	III	IV	V
Кохезија на карпеста маса (кРа)	>400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	<100
Агол на внатрешно триење на карпеста маса (°)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	<15
Агол на стабилна косина (°)	> 70	65	55	45	<40
Дозволена носивост (МРа)	10	4-6	1-2	0,5	<0,2

Табела 12.7 Препораки за подетално класифицирање на ефектот на ориентација

ЕФЕКТ НА ОРИЕНТАЦИЈА НА ПУКНАТИНИТЕ			
Протегање	Паден агол (°)		
	< 20°	20 - 45°	45 - 90°
Попречно на тунелска оска (напредување во ист правец како насоката на пад)	добро	поволно	многу поволно
Попречно на тунелска оска (напредување во обратен правец од насоката на пад)	добро	неповолно	добро
Паралелно со тунелска оска	добро	добро	многу неповолно



Слика 12.3 Приказ на поволна и неповолна ориентација на напредување на ископот во однос на падниот агол на пукнатински систем

Примената на оваа класификација треба да биде внимателна кај згмечени или здробени карпи и карпи што се склони кон бабрење. Тогаш треба да се коригира со примена на т.н Geodurability-системот на Оливије којшто е прикажан во Главата 7. Треба да се спомне дека таа има голема улога во развојот на други слични класификациски системи, кои се засновани на бодување и рангирање, потоа при проценка на деформабилноста и јакоста на смолкнување на масивот, прогноза на стабилноста на косини, услови за ископ, фундаирање во карпа и слично.

КЛАСИФИКАЦИЈА СПОРЕД БАРТОН, ЛИЕН И ЛУНД (Q-СИСТЕМ)

Ова е еден од најпознатите класификациони системи во тунелоградбата. Развиен е во Норвешкиот геотехнички институт (NGI) од страна на Бартон, Лиен и Лунд (Barton, Lien and Lunde) во 1974 година врз основа на анализа на голем број подземни ископи. Авторите предложиле параметар, кој на нумерички начин го

одредува квалитетот на карпестата маса и го нарекле **индекс на квалитет Q** (Quality index). Се пресметува како производ на неколку параметри по следната формула:

$$Q=(RQD/J_n)*(J_r/J_a)*(J_w/SRF)$$

- Каде што е: RQD - показател на степен на испуканост RQD според Дон Дир;
 J_n - показател што се однесува на број на пукнатински системи;
 J_r - параметар што се однесува на рапавоста на пукнатините;
 J_a - параметар што се однесува на изменетоста на пукнатините;
 J_w - параметар за редукција заради воден притисок;
 SRF - фактор за редукција на напонот.

Генерално, првиот член во формулата (RQD/J_n), се однесува на големината на блок во масивот и структурата на масивот. Вториот (J_r/J_a) ја репрезентира рапавоста и својствата на триење на пукнатинските ѕидови или заполнителот, а третиот (J_w/SRF) е репрезент на напонската состојба во масивот.

Вредноста на индексот Q може да се движи од 0,001 до максимум 1000. Влезните параметри за пресметка се прикажани во Анексот 7.

Со цел да се воспостави однос на индексот Q со потребната подграда на тунелот, авторите го вовеле терминот „**еквивалентна димензија на отворот D_e** “. Еквивалентната висина е однос меѓу дијаметарот (или висината на отворот) со дополнителен фактор ESR (скратеница од англ. **Excavation Support Ratio**) и се пресметува по следната формула:

$$D_e = \text{Отвор или висина на ископ} / \text{ESR}$$

Показателот ESR се избира во зависност од типот на објектот (Табела 12.8).

Табела 12.8 Препораки за усвојување на параметарот ESR

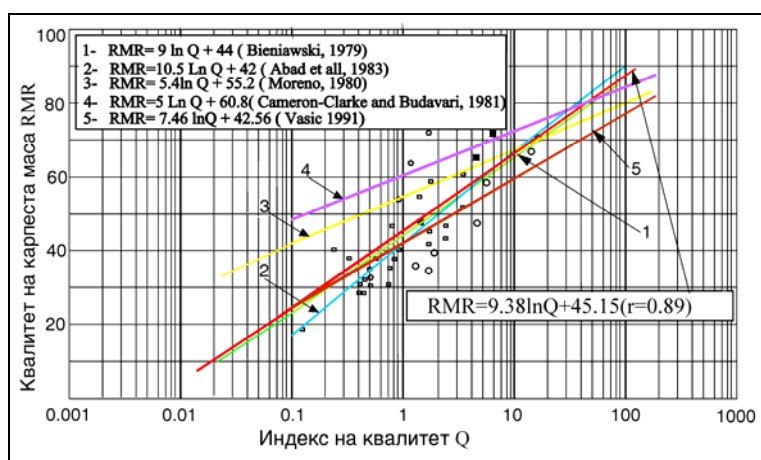
Категорија на ископ	Вредност на ESR
Привремени ископи на подземни рудници	3 - 5
Постојани отвори кај подземни рудници, тунели под притисок кај електрични централи, пилот тунели и големи ископи	1,6
Складишта, резервоари за нафта, гас, понезначајни патишта и железници, пристапни тунели	1,3
Електрични централи, главни патишта, ископи за подземни скривалишта, портали, пресеци на тунели и др.	1
Подземни нуклеарни централи, железнички станици, спортски и јавни подземни објекти, фабрики и др.	0,8

СПОРЕДБА МЕЃУ КЛАСИФИКАЦИИТЕ

Меѓу класификациите на Бартон и Биенџавски е воспоставена корелација врз основа на 111 анализирани случаи, која е претставена со формулата:

$$RMR = 9 \cdot \ln Q + 44$$

Подоцна има воспоставено и други корелации за различни локалитети од светот (Слика 12.4).



Слика 12.4 Корелација меѓу класификациите на Биенјавски и Бартон за локалитети од Р Македонија и други светски локалитети (М. Јовановски, 2001)

Со анализа на податоците се согледува дека има сличности но и значајни разлики во резултатите, што укажува дека класификациите не треба да се применуваат некритички, посебно кога резултатите се однесуваат на региони со сосема различен геолошки развој во текот на геолошката историја.

Целта на извршување на паралелна класификација е да се согледаат можностите за алтернативни решенија, односно да се опфатат колку што е можно поголем број случаи од практиката.

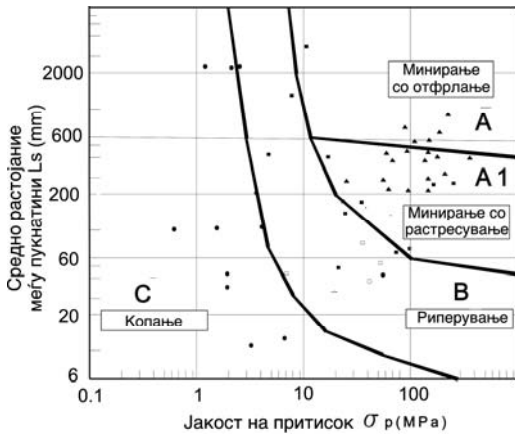
КЛАСИФИКАЦИИ НА КАРПЕСТИ МАСИ КАКО РАБОТНА СРЕДИНА

При изведба на градежните и рударските работи, еден од најчестите проблеми е осознавање на теренот како работна средина, односно дефинирање на најсоодветна постапка за ископ, условите за утовар и транспорт на ископана маса, заштита од подземни води, стабилност на ископот и др.

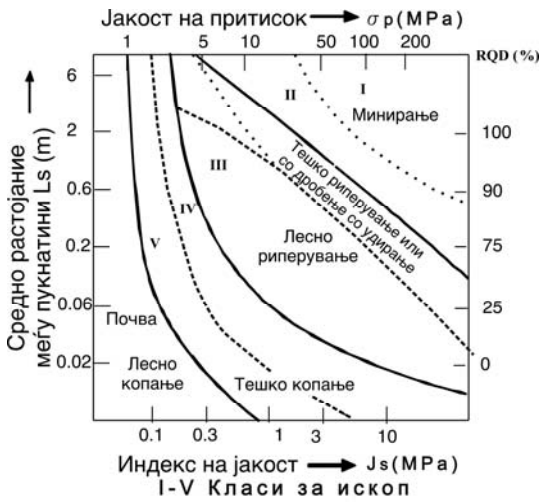
За решавање на овие проблеми ќе бидат прикажани неколку двопараметарски и повеќепараметарски класификации, кои се од посебна помош во почетните фази на истражување и проектирање. Како најпозната двопараметарска класификација за избор на метод на ископ на површина на терен е двопараметарската класификација на Френклин, Брох и Волтон (Franklin, Broch and Walton) од 1971 год. (Слика 12.5).

Оваа класификација ги зема предвид јакоста и испуканоста на карпите, како параметри од кои многу зависи методот на ископ. Јакоста може да се определи или преку индексот на јакост (I_s) или преку јакоста на притисок (σ_p). Испуканоста се изразува преку средно растојание меѓу пукнатините (L_s) или средната димензија на блок во масивот. Од сликата се гледа дека во дијаграмот се издвојуваат неколку главни подрачја, каде се прикажани можните методи на ископ.

Класификацијата, со текот на времето е делумно модифицирана од други автори, со подетално издвојување на класите за ископ. На пример, Пефифер и Фукс направиле делумна промена во границите на класите за ископ и извршиле алтернативното вреднување на испуканоста со воведување на RQD параметрот (Слика 12.6).

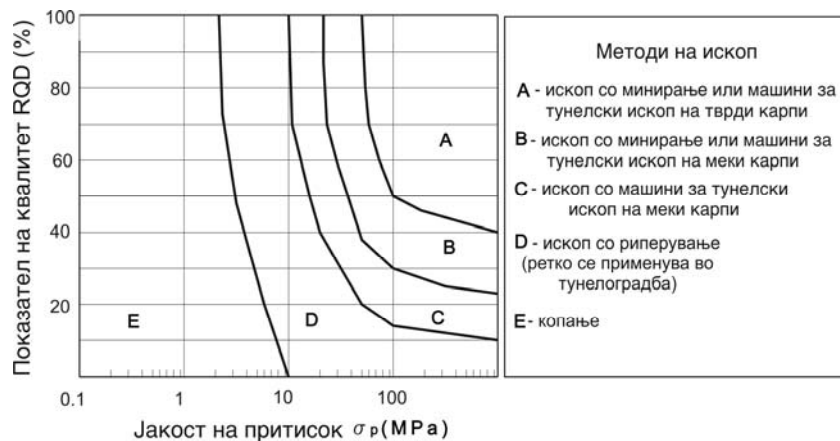


Слика 12.5 Двопараметарска класификација на Френклин, Брох и Волтон за проценка на метод на ископ: Зона А - минирање со отфрлање; Зона А1 – минирање со растресување; Зона В - риперување; Зона С - копање.



Слика 12.6 Модификација на двопараметарската класификација на Френклин, Брох и Волтон, според Пефифер и Фукс, 1994

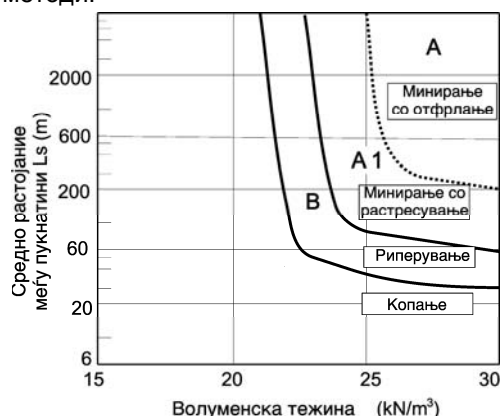
Слична е и класификацијата на Луи (Louis), 1974 која се употребува за решавање на проблеми на ископ во подземјето (Слика 12.7).



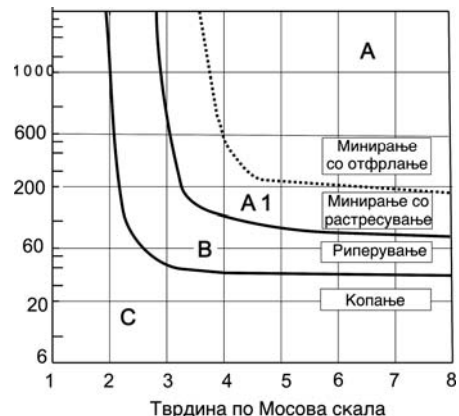
Слика 12.7 Класификација за проценка на метод на ископ во подземјето (Луи, 1974)

КЛАСИФИКАЦИИ И ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

На Сликите 12.8 и 12.9 се прикажани двопараметарски класификации, каде што се комбинира волуменската тежина и тврдината на материјалите со степенот на испуканост. Прикажаните класификации се доста едноставни и погодни за практична примена, но кај нив е потребна внимателна употреба кај изразито анизотропни карпести маси по параметри на испуканост и јакост на монолитите. При евентуална примена во други региони со различен геолошки развој, е потребно нивно прилагодување и внимателна споредба со други класификациони методи.



Слика 12.8 Класификација со комбинација на средна димензија на блок (L_s) и волуменска тежина (γ), М. Јовановски, 2001



Слика 12.9 Класификација со комбинација на средна димензија на блок (L_s) и тврдина според Мосовата скала, М. Јовановски, 2001

Се препорачуваат за употреба за првична прогноза на методите на ископ, за пониски фази на проектирање, додека кај повисоките фази, се препорачуваат повеќепараметрските класификации. Кај капитални објекти се потребни и пробни мерења на терен.

КЛАСИФИКАЦИЈА ERMR (EXCAVATION ROCK MASS RATING)

Класификацијата која скратено се означува како ERMR-систем (анг. **Excavation Rock Mass Rating**) е повеќепараметарска и анализира проблем на услови за ископ кај сите видови материјали. Системот е разработен по принципот на бодување на карпестите маси со избрани параметри за кои се смета дека „рамномерно“ влијаат врз отпорот при копање и се репрезентативни за карактеристиките на масивот и на монолитните делови.

Карактеристиките на монолитните делови се опфатени преку јакоста на монолит (σ_p или J_s), волуменската тежина (γ) и тврдината, додека на масивот преку степенот на испуканост преку средната димензија на блок (L_s), показателот RQD и состојбата на пукнатинските ѕидови. Класификацијата покажува добра усогласеност со измерени вредности за брзините на надолжни еластични бранови, што ја прави компаративна и за други региони од светот.

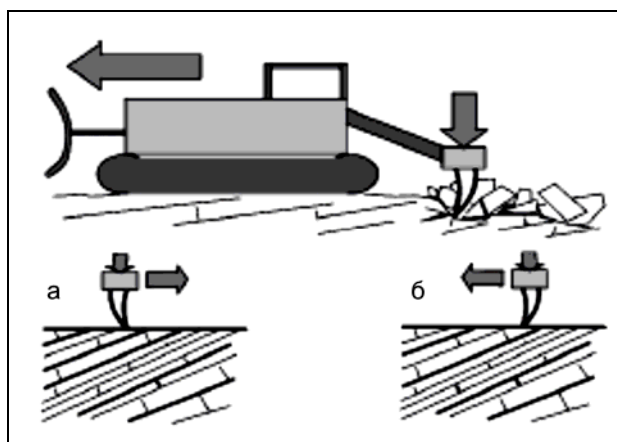
Скоро кај сите параметри е овозможена алтернативна варијанта за нивно определување (Табела 12.9). На пример, тврдината може да се изрази преку Мосовата скала или преку вредноста на отскок од Шмитов чекан (SHRV) по формулата $SHRV=8,72M-0,04$.

КЛАСИФИКАЦИИ ЗА ПРОЦЕНКА НА ОТПРОТ ПРИ РИПЕРУВАЊЕ

Риперувањето е техника на ископ каде што со помош на специјално вградени ножеви, карпестата маса се ископува со парање (анг. **ripping**). При риперувањето треба да се знае дека ефективностa на работата многу зависи од правецот на напредување на машината за ископ, во однос на структурните елементи на карпестата средина (Слика 12.10).

Табела 12.9 ERMR-систем за класификација на карпестите маси како работна средина, М. Јовановски 2001

Параметар	Класа						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1. Јакост на притисок (σ_p)	Неврзани почви	<1	1 - 5	5 - 10	10 - 30	30 - 70	>70
Индекс на јакост I_s (MPa)		<0,1	0,1 - 0,7	0,7 - 1,2	1,2 - 2	2,5 - 4	>4
Поени	0	3	5	8	10	12	20
2. Тврдина по Мосова скала	Врзани почви	1 - 1,5	1,5 - 2	2 - 3	3 - 5	5 - 6	>6
Вредност на SHRВ		<10	10 - 13	13 - 17	17 - 26	26 - 35	35 - 50
Поени	1	3	5	8	10	15	20
3. Волуменска тежина γ (kN/m ³)	Неврзани почви	12 - 15	15 - 18	18 - 22	22 - 24	24 - 27	27 - 30
Поени		3	4	6	8	12	15
4. Средна димензија на блок L_s (cm)	Неврзани почви	<2	2 - 6	6 - 10	10 - 30	30 - 200	>200
Показател RQD (%)		0	0 - 10	10 - 25	25 - 50	50 - 75	75 - 90
Поени	0	4	8	13	16	18	25
5. Состојба на пукнатини	Неврзани почви	1. Глатки 2. Континуирани 3. Отвори > 10 mm, 4. Мека исполна (дебелина >10 mm)	1. Мазни 2. Континуирани 3. Отвори од 5 - 10 mm 4. Мека исполна (дебелина 5 - 10 mm)	1. Средно рапави 2. Континуирани 3. Отвор <1 - 2 mm, 4. Силно изменети сидови	1. Рапави 2. Континуирани 3. Отвор <1mm, 4. Силно изменети сидови	1. Рапави 2. Континуирани 3. Отвор <1mm, 4. Слабо изменети сидови	1. Многу рапави 2. Неконтинуални 3. Без отворстиснати 4. Неизменети сидови
		тип 1	тип 2	тип 3	тип 4	тип 5	тип 6
Поени	0	1	2	4	7	8	15
Вкупно поени (ERMР)	<10	10 - 25	26 - 40	41 - 50	51 - 60	61 - 80	81 - 100
Можен метод на ископ	лесно копање	вообичаени услови за копање	многу тешко копање, лесно риперување	риперување	тешко риперување, минирање со растресување	минирање	тешки услови за минирање
Можна механизација	багер лажичар RH5	багер лажичар RH8	багер лажичар RH9 или булдожер D7	булдожер D8/D7	булдожер D9/D9G	вообичаена потрошувачка на експлозив	голема потрошувачка на експлозив



Слика 12.10 Илустрација на различни ефекти на риперување во зависност од правец на движење на булдозерот: а - неповолен правец; б - поволен правец со поефективно риперување.

Во поглед на отпорот при риперување, познати се голем број класификации, а можат да се споменат онаа на Вивер (1975), Кирстен (1982) и Синг (1987). Основите на класификација на Кирстен се прикажани во Табелата 12.10.

Табела 12.10 Класификација на Кирстен за дефинирање на можност за риперување

Вредност K_r	Граници на риперување
0.1 - 10	Може да се риперува со дозери со јачина од 100-150kW како Caterpillar D6D/D7G
10 - 1000	Може да се риперува со дозери со јачина од 225-300kW како Caterpillar D8K/D9H
>1000	Екстремно тешко се риперува дури и со дозери од 520kW како Caterpillar D10

Коефициентот на можноста за риперување (K_r) се пресметува според формулата:

$$K_r = M_s \cdot K_b \cdot K_d \cdot J_s$$

Во прикажаната формула, параметарот M_s се однесува на јакоста на карпеста маса поделена со волуменска тежина. Коефициентот $K_b = RQD/J_n$, коефициентот $K_d = J_r/J_a$, а J_s е параметар кој се однесува на наклонот на најнеповолниот систем на пукнатини. Се гледа дека овој автор користи слични параметри како во класификацијата на Бартон.

Во практиката често за проценка на условите за риперување се користи и вредноста на брзината на простирање на надолжните еластични бранови (V_p) преку која се дефинираат приближните граници до кои е можна примена на оваа постапка за ископ (Слика 12.11).

Повеќе детали за некои од наведените класификациони системи може да се пронајдат во Анексот 7 како и во стручната литература.



Слика 12.11 Дијаграм за проценка на можноста за риперување врз основа вредности на брзини на надолжни еластични бранови

КЛАСИФИКАЦИЈА ЗА ПРОЦЕНКА НА СТАБИЛНОСТ НА КОСИНИ

За решавање на проблеми поврзани со стабилноста на косини најчесто се користи постапката на Романа (Romana, 1985) која е наречена SRMR систем (Slope Rock Mass Rating). Во суштина, постапката е модификација на класификацијата на Биенјавски, со одредени измени во поправките за ориентација на меродавните пукнатински системи. Според Романа пресметката на рејтингот се врши по следната формула:

$$SRMR = RMR - (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

Каде што е: F_1 - фактор за поправка кој се однесува на степен на паралелност меѓу косината и протегање на дисконтинуитетите;

F_2 - фактор кој се однесува на падниот агол на дисконтинуитетот во однос на наклонот на рамнината на лом;

F_3 - фактор кој се однесува на односот меѓу паден агол на косината и пукнатината;

F_4 - фактор за поправка во зависност од методот на ископ.

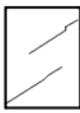


Детали за постапката се прикажани во Анексот 7 на книгата.

ГЕОЛОШКИ ИНДЕКС НА ЈАКОСТ (GSI)

Од страна на Хек и други автори во 1995 година е воведена класификација, која се нарекува Геолошки индекс на јакост-GSI (од англ. **G**eological **S**trength **I**ndex).

КЛАСИФИКАЦИИ И ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

Категориите се прикажуваат во вид на графички приказ поткрепен со краток текстуален опис на состојбата на пукнатинските површини и структурата на карпата (Слика 12.12).

ТИП НА КАРПА: ГЕНЕРАЛЕН ПРИКАЗ ВРЕДНОСТ НА GSI		СОСТОЈБА НА ПУКНАТИНСКИ ПОВРШНИНИ				
		Многу добра	Добра	Доста добра	Лоша	Многу лоша
СТРУКТУРА		Намалување на квалитет на површините →				
	НЕПОРЕМЕТЕНА ИЛИ МАСИВНА КАРПА монолитни примероци или масив изделен со неколку пукнатини на големо растојание	90			НП	НП
	БЛОКОВИТА - многу добро зглобена неоштетена карпеста маса од правоаголни блокови формирани од три пукнатински системи	80	70			
	МНОГУ БЛОКОВИТА - зглобена, делумно оштетена карпеста маса со многубројни плочести и аглести блокови формирани од четири или повеќе пукнатински системи		60			
	ОШТЕТЕНА-БЛОКОВИТА/ФЛИШОЛИКА набрана со аглести блокови, формирани од голем број пукнатини. Блоквите се ориентирани во правец на шкриљавост или слоевитост			40		
	ЗДРОБЕНА - слабо поврзана, многу испукана карпеста маса, мешавина од аглести и заоблени монолити				30	
	ЛИСТЕСТА / ЗОНИ НА СМОЛКНУВАЊЕ блоковитоста не е застапена поради многу блиско растојание кај површините на шкриљавост или површините на смолкнување					20
						10
		НП	НП			

Слика 12.12 Класификација според GSI (Хек и др., 1995)

Од сликата се гледа дека определени комбинации на класи не е можно да се појават и се означени со ознака **НП** на сликата. На пример, не е можно да се случи да имаме листеста и здробена структура на карпата, а истовремено да има многу добра состојба на пукнатинските површини.

Авторот соодветните класи од GSI класификацијата ги искористил за проценка на јакоста на смолкнување и деформабилноста на карпите.

За т.н. хетерогени масиви, кои главно се однесуваат на флишоидни карпести комплекси, оваа класификација е доразработена од страна на Маринос и Хек (2000), со цел да се прави поточна прогноза на параметрите за вакви карпести маси (Слика 12.13).

ВРЕДНОСТ НА GSI ЗА ХЕТЕРОГЕНИ КАРПЕСТИ МАСИ (ФЛИШ) ПО P.Marinos И E.Hoek, 2000 Од опис на литолошкиот состав, структурата и состојбата на пукнатинските површини (особено рамнините на слоевитост) се избира вредност за GSI од дијаграмот. Се препорачува избирање на дијапазон на вредности за GSI, а не единечна вредност. На пример, наместо вредност на GSI=35, подобро е да се избере дијапазон од GSI=33-37. Се напоменува дека критериумот на лом на Hoek and Brown не е применлив за случаи на структурно контролирана нестабилност. Кога има присуство на континуирани ослабнати планарни дисконтинуитети со неповолна ориентација, механичкото однесување на карпестата маса е диктирано од нив. Јакоста кај категориите доста добра, лоша и многу лоша карпа може да се намали под влијание на подземна вода. Од друга страна, притисокот од вода во пукнатините не ја менува вредноста на GSI туку, проблемот се решава со анализа на ефективните напони.		Состојба на пукнатинските површини (главно рамнини на слоевитост)	МНОГУ ДОБРА (многу рапави, нераспаднати површини)	ДОБРА (рапави, слабо изменети површини)	ДОСТА ДОБРА (рамни, средно изменети и средно распаднати површини)	ЛОША (многу рамни, наместа до мазни површини со цврста обвивка или заполнител со аголни парчиња)	МНОГУ ЛОША (многу рамни, мазни или силно изменети површини со глиновита превлака или заполнител)
СОСТАВ И СТРУКТУРА 		70 60	A				
		50 40	B	C	D	E	
		30 20			F		
					G		
						H 10	
: Начин на деформација после тектонските пореметувања							

Слика 12.13 Модифицирана класификација за хетерогени карпи според GSI (Маринос и Хек 2000)

Во практиката има различни модификации на овој систем. На пример: Јовановски, Гапковски, Крвавац, Илијовски 2006, предложиле модификација за карбонатни карпи без изразена карстификација, каде што се прикажани подетално критериуми за усвојување јакоста на монолит и растојанијата меѓу пукнатините, со кои полесно се дефинира вредноста на GSI (Слика 12.14).

Заради увид во реалниот изглед на карпестите маси со различна вредност на GSI во теренски услови, одредени примери се прикажани на Сликите 12.15 -12.19.

Од фотографиите е очигледен широкиот дијапазон на различни појавни форми на карпестите маси.

КЛАСИФИКАЦИИ И ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

ТИП НА КАРПА: КАРБОНАТНИ КАРПИ (ВАРОВНИЦИ, ДОЛОМИТИ, МЕРМЕРИ) ВРЕДНОСТ НА GSI		СОСТОЈБА НА ПУКНАТИНСКИ ПОВРШНИНИ Намалување на квалитет на површините. →					
		Многу добра	Добра	Доста добра	Лоша	Многу лоша	
СТРУКТУРА		ЈАКОСТ НА МОНОЛИТ (MPa)					
		>10	4-10	2-4	1-2	<1	
		>250	100-250	50-100	25-50	5-25 1-5 <1 <25	
	НЕПОРЕМЕТЕНА ИЛИ МАСИВНА КАРПА-монолитни примероци или масив изделен со неколку пукнатини на големо растојание	>2	90			НМ	НМ
	БЛОКОВИТА- многу добро зглобена нештетена карпеста маса од правоаголни блокови формирани од три пукнатински системи	0,6-2	80	70			
	МНОГУ БЛОКОВИТА- зглобена, делумно оштетена карпеста маса со плочести и аглести блокови формирани од четири или повеќе пукнатински системи, релативно свежа во монолит	0,2-0,6		60	50		
	ОШТЕТЕНА-БЛОКОВИТА, аглести блокови, формирани од голем број пукнатини.	0,06-0,2			40		
	ЗДРОБЕНА- слабо поврзана, многу испукана карпеста маса, мешавина од аглести и заоблени монолити, локално глинизирана	0,02-0,06				30	20
	ЗОНИ НА СМОЛКНУВАЊЕ блоковитоста не е застапена поради многу блиско растојание кај површините на шкрилавост или површините на смолкнување, масата е глинизирана	<0,02	НМ	НМ			10

Слика 12.14 Модифицирана класификација за карбонатни карпи без изразена карстификација (Јовановски, Гапковски, Крвавац, Илијовски 2006)



Слика 12.15 Масивни до слабо услоени јурски варовници кај тунел Демир Капија, квазиизотропен до ортотропен масив (GSI=65-70)



Слика 12.16 Банковити варовници од локалитет Бијела на магистрален пат за Сараево во Босна и Херцеговина со GSI=60-65 (фото Азра Крвавац)



Слика 12.17 Доста испукани мермери од пат за брана “Света Петка” со повеќе системи на пукнатини (GSI=30-35)



Слика 12.18 Еоценски флиш, хетероген масив (GSI=30-35)



Слика 12.19 Амфиболити од брана Будинарци, Берово со три изразени ортогонални пукнатински системи (GSI=50-55)

ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

За да се дефинира на соодветен начин инженерското однесување на карпестите маси, основно е да се избере реален физички модел, кој подоцна би се употребил како основа за разработка на аналитички и нумерички модели. Ова е многу тешка теоретска задача, од чие успешно решавање зависи и успехот во изведбата на инженерските објекти.

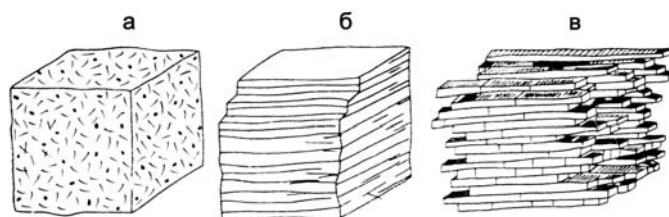
ОСНОВНИ ФИЗИЧКИ МОДЕЛИ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

Како е споменато во Главата 6, карпестите маси по правило се хетерогени, анизотропни, природно напрегнати и дисконтинуирани средини. Значајно е да се истакне дека за реалните геолошки средини ретко може директно да се применат законите на механиката на континуум, односно пореално е ако се користат законите кои се засноваат на претпоставки на **дисконтинуум** на средината. Во

КЛАСИФИКАЦИИ И ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

светската практика овој концепт на анализа се нарекува **DIANE** (Discontinual, Inhomogenous, Anizotropic, Non - Elastic) концепт (Харисон и Хадсон, 2000). Постои и т.н. **CHILE** (Continual, Homogenous, Izotropic Linear-Elastic) концепт, кој почесто се користи при моделирање на однесувањето на една карпеста маса.

При кои било инженерски анализи треба прво да се осознаат можните физички модели на теренот и реалната состојба на карпестите маси во склоп на теренот. Според В. Витке, 1990, начелно се издвојуваат неколку физички модели поврзани со структурата на карпата (Слика 12.20).



Слика 12.20 Физички модели на карпести маси (В. Витке, 1990): а - изотропен и хомоген карпест масив; б - трансверзално изотропен масив; в - ортотропен масив.

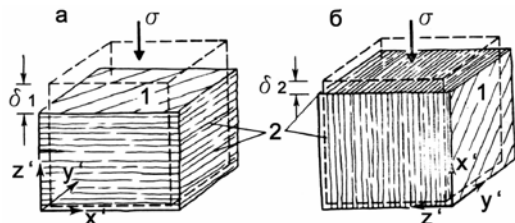
Конкретните физички модели во поглед на напонско - деформациското однесување се дефинираат со соодветни еластични константи, кои се зависни од главните насоки на еластична симетрија. Кај изотропните материјали е доволно да се познаваат модулот на еластичност (E) и поасоновниот коефициент (ν), бидејќи нема привилигирани насоки во карпестите маси кои би условувале анизотропија.

Кај трансверзално изотропните карпи, се потребни пет основни материјални константи и тоа модули на еластичност попречно (E_1) паралелно (E_2) на оската на анизотропија, како и соодветни поасоновни коефициенти (ν_1 и ν_2), и еден модул на лизгање (G). Кај ортотропните карпи има три главни ортогонално поставени насоки на еластична симетрија, за кои се потребни соодветно 9 основни материјални константи (Слика 12.21).



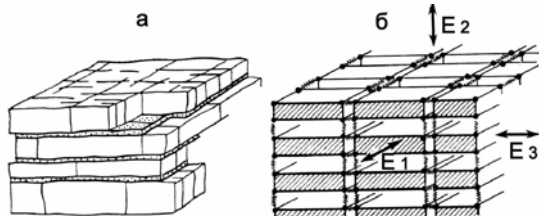
Слика 12.21 Различни типови карпи според структура и напонско-деформациско однесување (В. Витке, 1990)

Начин на деформирање на еден анизотропен слоевит или ушкрилен масив е прикажан на Сликата 12.22.



Слика 12.22 Начин на деформирање на слоевита анизотропна средина по должина на слоевитост (1) за рамнини на анизотропија (2) поставени попречно (а) и паралелно на оптоварувањето (б)

Од сликата се гледа за исто ниво на оптоварување (σ), поместувањето δ_1 е поголемо во однос на δ_2 . Ова значи дека рамнините на анизотропија, како што се рамнини на слоевитост или шкрилавост, имаат големо влијание на напонско-деформациското однесување на средината. За да се согледа разликата во однос на претходниот модел, еден ортотропен масив во вид на физички и механички модел е прикажан на Сликата 12.23.

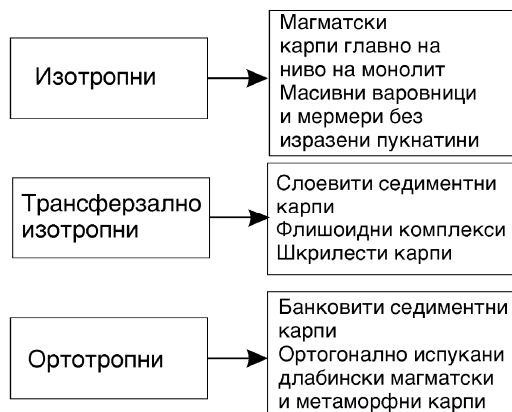


Слика 12.23 Ортотропен карпест масив: а - физички пример; б - механички модел од каде се гледа дека има различни модули на еластичност во три ортогонални насоки.

Општа шема на поделба на карпите според очекуваното механичко однесување е прикажана на Слика 12.24.

Гледано од геолошки аспект, како изотропни масиви најчесто можат да се сметаат некои од длабинските магматски карпи со присуство на повеќе пукнатински системи.

Како трансверзално изотропни најчесто можат да се сметаат шкрилестите карпи, посебно со понизок кристалинитет, флишоидните комплекси и слоевитите седиментни карпи. Ова е случај кога во склоп на карпестиот масив се силно изразени слоевитоста или фолијација, а не се добро развиени други дисконитуитети.



Слика 12.24 Поделба на главните видови карпи според состојбата на изотропија

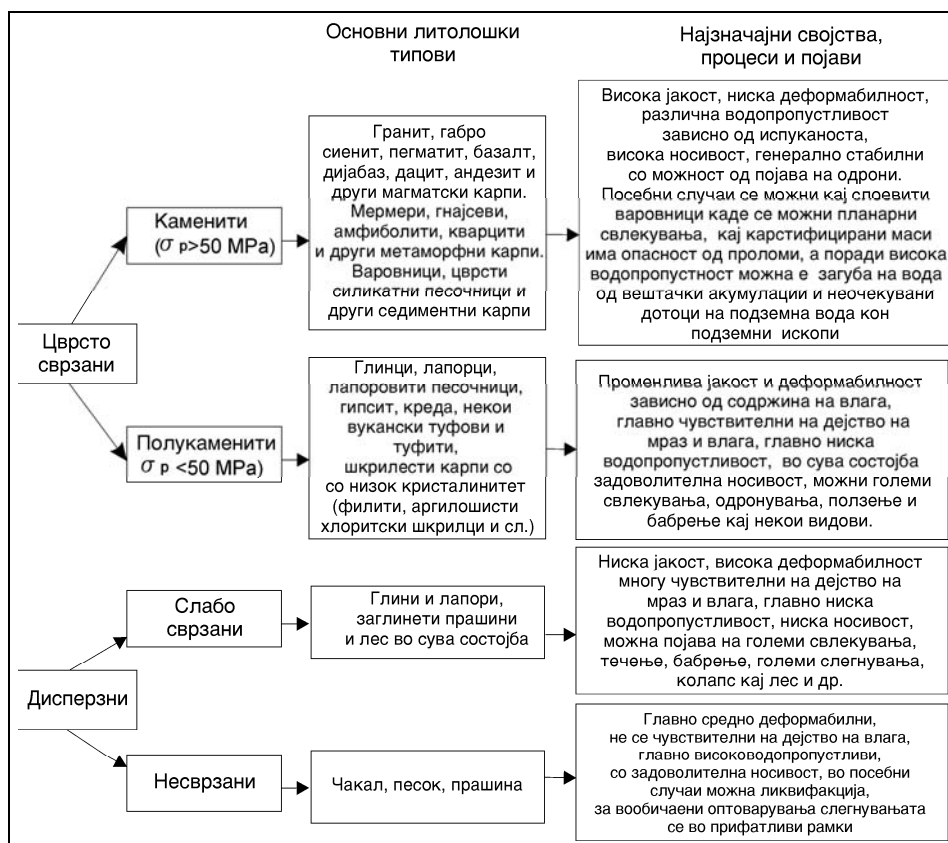
Како ортотропни можат да се појават карпестите масиви од банковити варовници, каде што покрај слоевитоста, често се среќаваат по два други попречно поставени системи на пукнатини. Слична е состојбата и кај некои видови мермери, помасивни гнајсеви или правилно блоковски испукани магматски карпи.

КАРАКТЕРИСТИЧНИ ПРОЦЕСИ И ПОЈАВИ ЗА ОСНОВНИТЕ ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ГРУПИ НА КАРПЕСТИ МАСИ

Развојот на геолошките и инженерскогеолошките процеси и појави е специфичен за секоја инженерскогеолошка група. Тоа е резултат на драстичните разлики во својствата кај секоја основна група. Затоа е можна определена генерализација на инженерскогеолошки проблеми, кои што можат да се очекуваат во цврсто, слабо и неврзаните карпи. Секогаш е можно да има определени исклучоци од правилата, но познавањето на главните феномени и инженерски аспекти е од голема важност за успешно дефинирање на условите за градба на инженерските конструкции. Најзначајните очекувани својства, процеси и појави, за главните инженерскогеолошки групи се прикажани на Сликата 12.25.

КАРАКТЕРИСТИЧНИ ПРОЦЕСИ И ПОЈАВИ ЗА ЦВРСТО СВРЗАНИТЕ КАРПЕСТИ МАСИ

Како што е наведено, цврсто сврзаните карпи, во зависност од јакоста на монолитните делови се делат на каменити и полукаменити. При оптоварувања поголеми од граничните, деформацијата кај нив се манифестира со крт лом. Неоштетените каменити карпи се одликуваат со многу мала порозност, слаба водопропусност или се практично водонепропустливи.

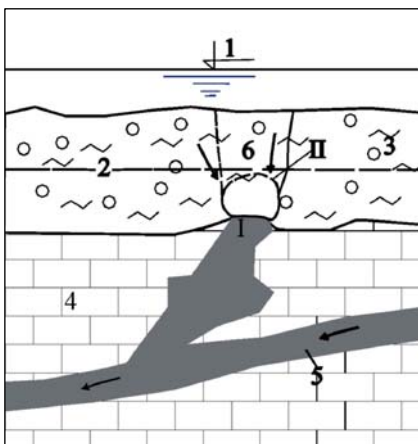


Слика 12.25 Генерален приказ на најзначајни својства, процеси и појави за основните инженерскогеолошки групи на карпи

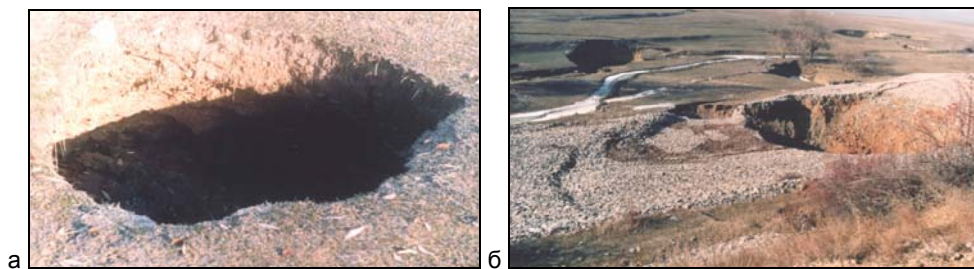
Својствата на испуканите каменити карпи и нивното инженерско однесување најмногу зависат од степенот на нивната испуканост. Кај нив, како најзначајни може да се истакнат следните проблеми:

- појава на локални нестабилности во вид на одронување;
- појава на свлечишта само кај цврсто сврзани карпести маси со изразита слоевитост и неповолна ориентација во однос на падината или косината;
- зголемена водопропустливост кај карбонатните комплекси поради кавернозноста.

Посебни случаи кај оваа инженерскогеолошка група се појавуваат најчесто кај **карбонатните карпи** во зависност од карстификацијата. Кај нив, при изградба на вештачките акумулации е многу значајна проценката на вододржливоста на теренот, а посебно е опасна појавата на **проломи** кога карстифицирани карпести маси се покриени со слабо консолидирани и слабо збиени седименти (Слики 12.26 и 12.27). За појава на проломите, многу влијае честото осцилирање на нивото на вода во акумулацијата, со што дополнително се зајакнува суфозијата и ерозијата во подземјето.



Слика 12.26 Формирање на колапс (пролом) во зона која повремено поплавена: 1 - Ниво на вода која го поплавува просторот, 2 - Ниво на подземна вода, 3 - Неконсолидирани алувијални седименти, 4 - Карстифицирана карпеста основа, 5 - Насока на течење на подземна вода низ карстен канал, 6 - Насока на филтрација на поплавна вода, I - свод на растретување над отвор на понор, II - нов свод на растретување при филтрацијата од површинската вода (Миловановиќ, 1999)

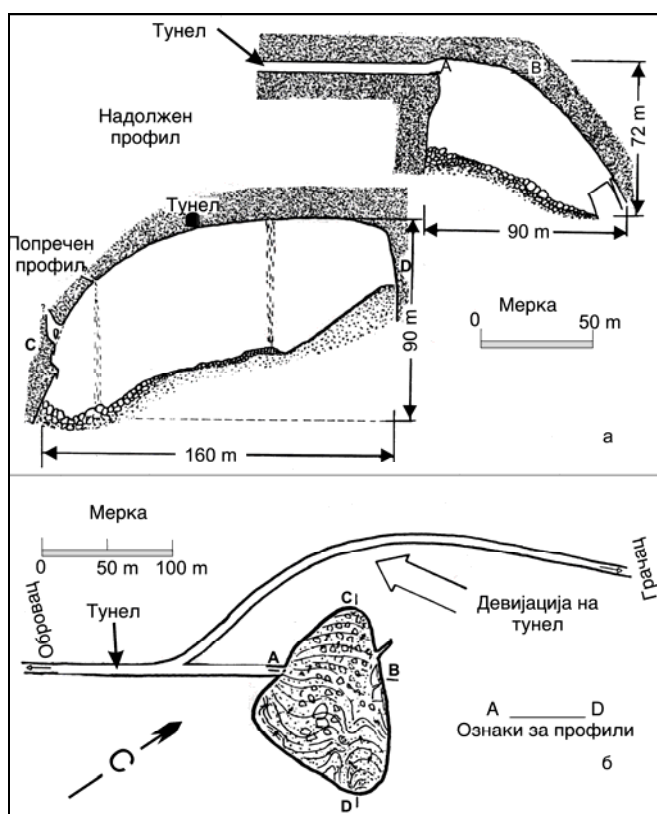


Слика 12.27 Понори во зона на селото Леуново кај вештачка акумулација Маврово, заради карстификација на подлогата: а - детаљ; б - група на понори со оштетувања на заштитниот глинен тепих

Карстните терени може да се проблематични при изведба на објекти во подземје и високоградбата ако во зона на фундарање или ископ се појават големи каверни (Слика 12.28 и 12.29).

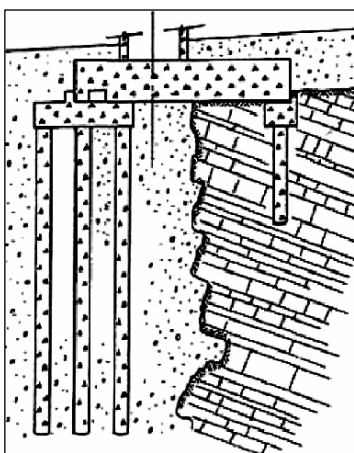


Слика 12.28 Попречен пресек и ситуација на каверни при изведба на станбен комплекс во карбонатен терен во Р Хрватска (Божичевиќ, 1983)



Слика 12.29 Пример за откриена голема каверна при изведба на еден тунел за водоснабдување во Р Хрватска (тунелот е подоцна изведен со голема девијација заради постоење на каверната: а - попречни пресеци; б - положба на објектот пред и по девијација Божичевиќ, 1983)

Во вакви случаи, е можно да се појават драстични измени на решенијата за фундаирање, потреби од пополнување на каверните, примена на различни системи за плитко и за длабоко фундаирање на кратко растојание и слично (Слика 12.30). Очигледно е дека кај ваквите терени треба да се посвети исклучително големо внимание во фазата на нивното истражување за да се избегнат некои драстично-тешки последици во фаза на изведба. Сепак, треба да се укаже, дека поради тешко предвидливиот распоред на карстните феномени во длабина, секогаш се можни одредени изненадувања.



Слика 12.30 Пример за изведба на лентовиден темел во карстен терен по Каценбах и Ромберг, 1987 (темелот е изведен со комбинирано плитко и длабоко фундаирање заради различен материјал во подлога на темелот)

Кога се зборува за условите за примена на технички мерки за подобрување на својствата на цврстоврзаните карпи, тука најчесто се применуваат инјектирање, примена на прскан бетон, сидрење и нивни комбинации. Техничките

решенија најмногу зависат од состојбата на испуканоста.

Во поглед на условите за ископ, кај оваа инженерскогеолошка група најчесто се применува минирање или поретко тешко риперување.

Кај **полукаменитите** карпести маси може да се потенцира дека постојаноста кон надворешните влијанија им е намалена, главно имаат ниска порозност, практично се водонепропустливи, а при дејство на вода се слабо отпорни до растворливи. Нивното механичко однесување може да им е променливо со текот на времето поради влијание на влагата, водата, мразот и другите надворешни агенси. За нивното инженерско однесување најзначајни се следните појави:

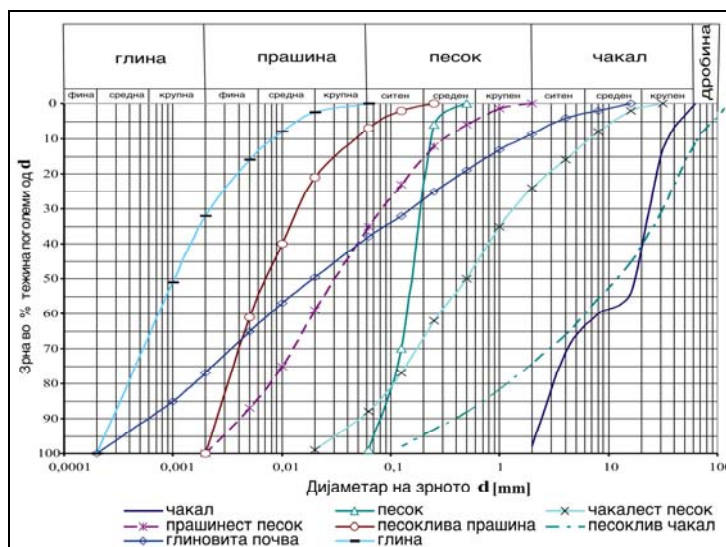
- бабрење кај глинци, лапорци и некои туфови;
- свлечишта од големи размери во глинци, лапорци, туфови;
- распаѓање;
- временски развој на деформации;
- одрони и сипари во шкрилести карпи и друго.

Во одредени случаи, е можна појава на хемиско влијание од **карпата врз бетонот**. Ова е можно кај вулканските туфови доколку содржат киселини во својот состав, како остаток од вулканските активности. Кај **гипсот** е можно создавање на бетонски бацил, хемиско растварање со текот на времето, посебно кога се во контакт со површински води. Во такви случаи чести се појави на абразија и одрони.

Кај полукаменитите карпи, во одредени случаеви се можни **крти ломови** како за цврсти карпи и појави на одрони и смолкнувања на блокови, но при повисоки нивоа на оптоварувања имаат типично механичко однесување како кај почвените материјали со појави на **пластификација, течење, бабрење** и др. Ископот кај оваа подгрупа на карпи може да се врши со тешко риперување и поретко копање. Минирањето најчесто дава слаби ефекти, а генерално ефективност на ископување кај овие карпи е главно мала.

ОСНОВНИ КРИТЕРИУМИ ЗА ПОДЕЛБА НА ДИСПЕРЗНИТЕ МАТЕРИЈАЛИ

Терминот дисперзни материјали се однесува на **слабо сврзаните и несврзаните** почвени материјали. За добра прогноза на условите за изведба и инженерското однесување на дисперзните материјали треба да се познаваат гранулометрискиот состав, границите на пластичноста, збиеноста, влажноста и другите класификациони и идентификациони параметри. Неколку типични дијаграми на гранулометриски состав се прикажани на Сликата 12.31.



Слика 12.31 Типични гранулометриски криви за основните видови дисперзни материјали

Општо земено, инженерското однесување на дисперзните материјали, многу зависи од состојбата на подземната вода, која може да предизвика најразлични состојби на однесување и кај несврзаните и кај слабо сврзаните материјали.

КАРАКТЕРИСТИЧНИ ПРОЦЕСИ И ПОЈАВИ ЗА СЛАБО СВРЗАНИТЕ КАРПЕСТИ МАСИ

Сите инженерски феномени, кои се појавуваат кај слабо сврзаните карпи, главно, произлегуваат од начинот на поврзаноста на нивните честички преку колоидните врски. Нивните својства се условени од соодносот меѓу цврстите честички, водата и воздухот во единица волумен, минералниот и гранулометрискиот состав. Со промената на влажноста им се менува збиеноста и состојба на конзистенција. Во сува состојба се релативно цврсти, при влажење стануваат пластични и лепливи, а презаситени со вода и течливи. Порозноста е редовно голема, но со многу изолирани фини пори. Капиларноста е голема но бавна, а после водозаситувањето практично се водонепропустливи.

При оптоварувања, кои се поголеми од граничните, се појавуваат пластични деформации со истиснување на материјалот. Од инженерскогеолошки аспект кај нив се многу изразени процесите и појавите на: бабрење, консолидациони слегнувања, истиснувања, свлекувања, течишта, пречекорување на носивоста и друго.

Многу е значајно да се спомене, дека кај нив често се јавува значаен пад на јакоста на смолкнување од **максималната** до т.н. **резидуална вредност** на јакоста.

Резидуалната јакост, како параметар е најчесто изразена само со резидуалниот агол на внатрешно триење, кој кај глинестите почви е меродавен параметар при анализи на косини, каде што е потребна долготрајна стабилност (Слика 12.32).

Кај **глините** многу е значајна и нивната **чувствителност** или **сензитивност**, која се дефинира со следната равенка:

$$S_t = \frac{C_u}{C_r}$$

Каде што е: S_t - сензитивност на глиновити почви;

C_u - јакост на непометен примерок;

C_r - јакост на повторно вграден примерок.

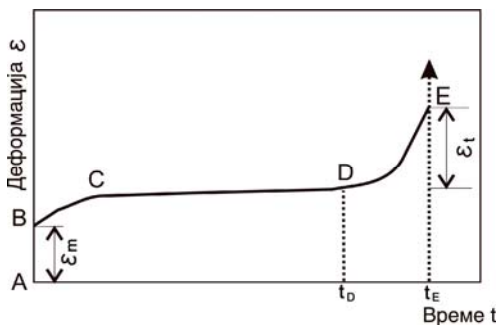
За дефинирање на јакоста на повторно вграден примерок, по испитување на непометениот примерок здробениот материјал вештачки се подготвува со иста димензија и иста влажност, повторно се вградува и се испитува.

Скемптон и Норти предложиле шест класи на глини според сензитивноста и тоа: нечувствителни кога $S_t < 1$, слабо чувствителни кога $S_t = 1-2$, средно чувствителни кога $S_t = 2-4$, чувствителни кога $S_t = 4-8$, многу чувствителни кога $S_t = 8-12$ и претерано чувствителни или „брзи“ глини $S_t > 16$ (анг. **quick clays**). Брзите глини при динамички потрес целосно се пореметуваат, преминуваат во состојба на гел и појавуваат својство на **тиксотропија**. По престанок на потресот, повторно се враќаат во тврда состојба.

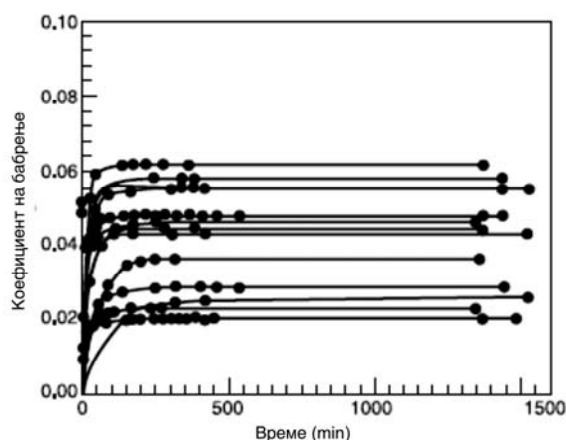


Слика 12.32 Пад од максимална до резидуална јакост дефинирана само со резидуален агол на внатрешно триење (ϕ_r) за нормално консолидирани и преконсолидирани глини

Кај глинестите почви, многу се значајни и појавите на **баврење** и **ползење**. Феноменот на ползење се манифестира како долготрајна појава на деформирање при константно оптоварување. Во одреден момент може да настане значаен прираст во поместувањата кој укажува на состојба пред лом дефиниран со деформацијата (ϵ_t) на Сликата 12.33.



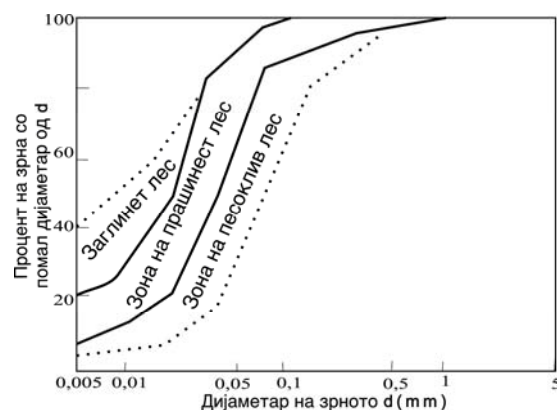
Слика 12.33 Типична крива на ползење кај глиновити материјали



Слика 12.34 Зависност на коефициентот на бабрење од времето

Бабрењето и ползењето, пак се причина за појава на различни деформации на теренот и објектите, свлекување на теренот, долготрајни деформации при константен товар и слично (Слика 12.34)

Во оваа инженерскогеолошка група посебно е карактеристично однесувањето на лесот, кој главно е хомогена (еднородна) ситнозрна, обично неслоевита карпеста маса. Превладуваат прашињестите лесоидни почви, а поретко се среќаваат песоклив и заглинет лес (Слика 12.35).

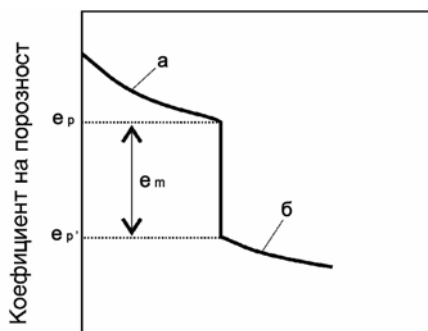


Слика 12.35 Типични гранулометриски криви за лесоидни почви

Лесоидните почви се одликуваат со слаба збиеност и висока порозност, која се движи најчесто од 30-50%. Порите се вертикално распоредени во форма на црева како резултат на гниење на тревите и корењата на билките. Значајна карактеристика им е малата и променлива волуменска тежина ($\gamma=13,9-19,5 \text{ kN/m}^3$).

Се карактеризираат со појава на макропори и воедначен гранулометарски состав со фракции на прашина. Ваквите својства можат да бидат причина за појава на нерамномерни деформации и значителни слегнувања. Нивото на остварени слегнувања зависи од режимот на оптоварувањето, карактерот на порозноста и дебелината на лесот и можноста за влажење на лесот кога целосно

ја губи својата структура. Нерамномерното слегнување на објектите фундирани во лес, доведува до нивно пукање, искривување, тонење, па дури и до рушење односно **колапс** (Слика 12.36).



Слика 12.36 Приказ на момент на колапс кај лес проследен со значителна брза промена во вредноста на коефициентот на порозност од e_p до e_p' при одредено ниво на оптоварување

Според Фукс и Бест, условите за колапс кај лесот може да се дефинираат со индекс на колапс, кој се пресметува според следната формула:

$$i_c = \frac{e_o - e_p}{e_i - e_p}$$

Каде што е: e_o - природна вредност на коефициент на порозност;
 e_i - вредност на коефициентот на порозност на граница на течење;
 e_p - вредност на коефициентот на порозност на граница на пластичност.

Според Феда, лесот треба да има минимум 40% порозност, за да е склон кон колапс, а индекс на колапс, може да се дефинира на следен начин:

$$i_c = \frac{W/S_r - W_l}{W_p}$$

Каде што е: W - природна влажност;
 S_r - степен на заситеност;
 W_l, W_p - граници на течење и пластичност

Специфичен редок седимент со макропорозна структура е трепелот кој е вулканоген прашиност материјал, транспортиран од ветер и наталожен во водена средина. Вариетети на трепел се среќаваат и кај нас, најмногу во склоп на седиментната серија на рудникот за јаглен „Суводол“. Заради брзата седиментација, се карактеризира со многу ниска волуменска тежина ($\gamma = 14 - 16.5 \text{ kN/m}^3$). Во сува состојба е полесен од водата, односно волуменската тежина во сува состојба се движи во граници од $\gamma_d = 8.8 - 9.8 \text{ kN/m}^3$.

КАРАКТЕРИСТИЧНИ ПРОЦЕСИ И ПОЈАВИ ЗА НЕСВРЗАНИТЕ КАРПЕСТИ МАСИ

Несврзаните карпести маси од механички аспект покажуваат значајни разлики споредено со слабо сврзаните. Кај нив, деформациите под притисок главно се неповратни поради преместување и меѓусебно зближување на зрната под дејство на оптоварувањето. Деформациите се одвиваат брзо, веднаш по оптоварување. Генерално гледано, кај оваа инженерскогеолошка група се можни

појави на: **суфозија, ликвифакција, проломи, течишта** и друго. Главно имаат висока водопропустливост и задоволителна носивост. Слегнувањата имаат главно карактер на истовремени слегнувања со оптоварувањето и се извршуваат уште во фазата на градба. Исклучок се само прашињестите седименти, каде што во зависност од содржината на глиновита компонента, се можни слични појави како и кај глините.

Кај овие материјали, многу е значајна состојбата на збиеност (Слика 12.37).



Слика 12.37 Приказ на начин на деформирање кај несврзани почви, во зависност од степенот на збиеност во услови на триаксијална компресија

За овие карпести маси треба да се спомене дека во деловите од Земјата, каде што превладува ладната клима, во најгорните делови на теренот се создава една зона, која е скоро постојано замрзната и се нарекува **пермафрост**. Од инженерски аспект, е многу значајна т.н. дебелина на **активната зона**, бидејќи при

топење на мразот во кратките летни периоди, дел од теренот одмрзнува и се деформира. Зависно од типот на фундамирање на објектот, деформациите може да се пренесат и во него (Слика 12.38).



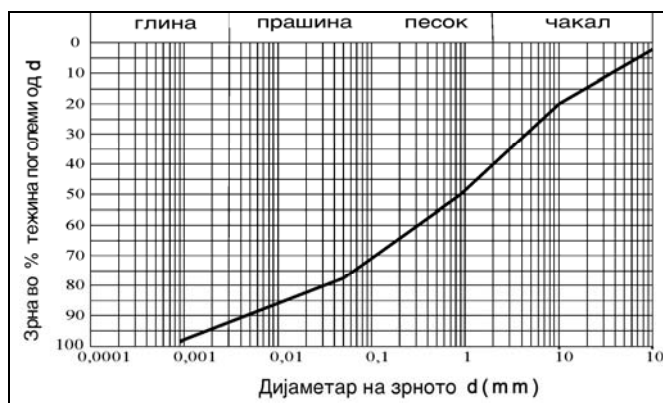
Слика 12.38 а - Објекти кои се деформирани при одмрзнување поради плитко фундамирање во активна зона, б - објект фундиран на колови во пермафрост и в - насип во активна зона но со замрзната подлога

Кај објекти што се фундирани во замрзнатата зона, деформациите при одмрзнување се многу силно изразени, така што се јавува потреба од фундамирање подлабоко или ставање на чакалест насип кај сообраќајниците, кој останува фундиран секогаш во замрзната подлога.

Во зоните на мрзнење се застапени и специфичните појави на течење или лизгање на одмрзнат материјал над замрзната подлога, кое се нарекува **солифлукција**, а се карактеризира со голема брзина.

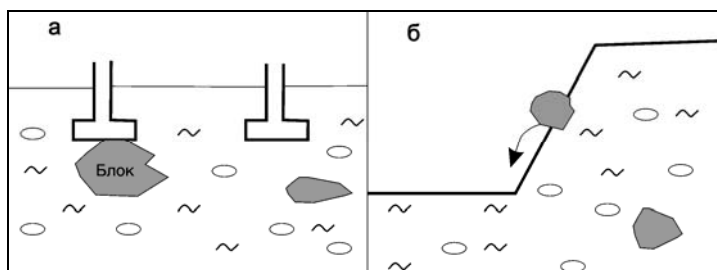
ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА ЛЕДНИЧКИТЕ СЕДИМЕНТИ

При ледничките процеси се формираат **морените** и **флувиоглацијалните седименти** кои се одликуваат со мошне разнолик гранулометриски состав. Низ нивната маса можат да се сретнат фракции од глина, прашина, песоци, чакал па се до блокови со метарски големини. (Слика 12.39).



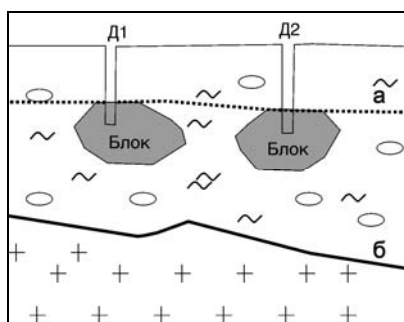
Слика 12.39 Типична гранулометриска крива на моренски наслаги

Поради овој факт, кај моренските и флувиоглацијалните седименти, може да се случи да се појават нерамномени слегнувања кога дел од темелите би биле фундирани врз покрупни блокови, а друг дел би останал во зона со ситнозрн материјал. При ископ може дури да се појави потреба од секундарно дробење со експлозив на поголемите блокови, што укажува дека за изведба на инженерските интервенции во овие наслаги се можни различни проблеми. При засекување и изведба на сообраќајници поголемите блокови може да испаѓаат од косините (Слика 12.40).



Слика 12.40 Можни влијанија на големи блокови низ моренски наслаги:
а - при фундаирање на некој објект; б - изведба на засекување

Посебно внимание треба да се посвети при истражувањата, бидејќи понекогаш, доколку дупнатините останат кратки во блокови со метарски димензии, може да се стекне целосно погрешен впечаток за длабината до основна карпа (Слика 12.41).



Слика 12.41 Пример за погрешна интерпретација на граница меѓу моренски наслаги и основна карпа: а - погрешно дефинирана граница поради кратко изведени дупнатини; б - реална граница.

При вакви случаи може да се дојде и до грешна претстава за условите за фундаирање на објекти што се изведуваат во вакви средини.

ИНЖЕНЕРСКО ОДНЕСУВАЊЕ НА НЕКОИ ОРГАНОГЕНИ СЕДИМЕНТИ

Од органските седименти најпроблематична средина за изведба на инженерски работи е **тресетот**. Тоа е геолошки најмлад и најмалку калоричен вариетет на јаглен. Настанува во мочуриштата и крајбрежните делови на плитките езера, со јагленизација на мочуришните растенија од тип на: трска, мов и друго. Тресетот се одликува со многу голема порозност и многу висока стисливост. Волуменската тежина изнесува $\gamma = 9 - 12 \text{ kN/m}^3$. Овие вредности укажуваат дека може да биде полесен и од водата. Наслагите на тресетот се обично дебели од 1-3 m и можат да се сретнат на различна длабина како прослојки во песоците, чакалите и другите крајбрежни седименти.

Секогаш се неповолна средина за градежната дејност, при што најголем проблем се очекуваните високи слегнувања, дури и тонење на објектите, доколку не се избере соодветен систем за фундаирање. Во Р Македонија посебно се застапени околу Охридското Езеро.

ОСНОВИ ЗА СТАТИСТИЧКИ АНАЛИЗИ КАЈ КАРПЕСТИТЕ МАСИ

При геолошките и геотехничките истражувања се добиваат голем број податоци за физичките и механичките карактеристики на материјалите. За да се дефинира на поблизок начин најверојатната големина на некој параметар, се применуваат методите на математичка статистика.

Добиените податоци од геолошките и од геотехничките истражувања формираат серија или **низа**, која статистички може да се анализира. За дефинирање на низата најчесто се користат неколку основни статистички параметри како: средна аритметичка вредност, средно квадратно отстапување или стандардна девијација и коефициент на варијација. Средната аритметичка вредност (\bar{X}) се пресметува на следен начин:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n}$$

Каде што е: X_1, X_2, \dots, X_n - мерени вредности на секој член во серијата на податоци;
 n - број на членови во серијата на податоци

Стандардната девијација (σ) ја претставува разликата меѓу која било вредност (X_i) и средната вредност во една низа, а за серија на податоци со голем број членови, се пресметува по следната формула:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Кога бројот на членови во низата е помал од $n < 30$, претходниот израз се коригира на следен начин:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Коефициентот на варијација е однос меѓу стандардната девијација и средната вредност:

$$Cv = \sigma / \bar{X}$$

Овие параметри, понатаму се користат за пресметка и на други статистички показатели при формирање на регресионите зависности и др.

Со регресионите зависности се дефинира меѓусебната поврзаност меѓу два или повеќе параметри. Ова е проблем кој најчесто се нарекува проблем на **корелираност** што овозможува да се дефинираат резултатите од истражувањата и испитувањата, со некоја аналитичка врска односно равенка. Во практиката како многу погоден за вакви намени се покажува **методот на најмали квадрати**. Со негова примена се формираат математички **регресиски модели** меѓу анализираните параметри. На пример, линеарна регресиона врска меѓу две променливи големини е дефинирана со равенката:

$$y = ax + b$$

Како показател на јачината на врската меѓу променливите x и y , се користи вредноста на **коефициентот на корелација**:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{X})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{Y})^2}}$$

Коефициент на детерминација пак е вредноста на коефициентот на корелација подигната на квадратен степен (r^2). Детали за начинот на дефинирање на коефициентите a и b и другите параметри во прикажаните равенки, може да се пронајдат во учебниците за математичка статистика.

Според големината на коефициентот на корелација (r) се утврдува доверливоста на регресионата зависност, при што најчесто се користат следните критериуми:

- При $r = \pm 0,3$ не постои скоро никаква зависност;
- При $r = \pm 0,3$ до $0,5$ постои корелативна зависност;
- При $r = \pm 0,5$ до $0,7$ постои умерена зависност;
- При $r = \pm 0,7$ до $0,9$ постои јака зависност;
- При $r = > 0,9$ постои многу јака зависност.

Во геотехниката често се користат и нелинеарни зависности или варијанти на претварање на нелинеарните во линеарни зависности со одредена трансформација. На пример, следната функција е експоненцијална:

$$Y = aX^n$$

Со нејзино логаритмирање се добива следната линеаризирана врска:

$$\log Y = \log a + n \log X$$

Коефициентот (a) го претставува антилогаритамот на отсечокот од координатната оска, а (n) е коефициент на правецот на правата линија.

Ова значи дека при избор на најдобар регресионен модел се вршат различни видови на трансформација на променливите x и y и развивање на соодветните полиноми до потребен ред.

Некои примери за воспоставени линеарни и нелинеарни зависности се прикажани на Сликата 12.42.

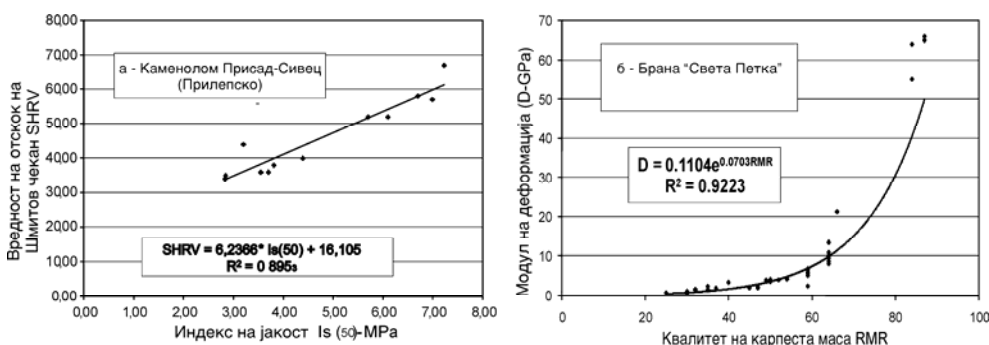
За воспоставување на зависност меѓу повеќе параметри, се користат повеќекратни линеарно регресиони зависности дефинирани со следната основна равенка:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + \varepsilon$$

Каде што ε - зависно променлива

x_i - независно променливи.

За примена на повеќекратната линеарна регресија е потребен внимателен избор на физички логични и највлијателни параметри.



Слика 12.42 а - Пример за линеарна и б - нелинеарна зависност меѓу некои геотехнички параметри

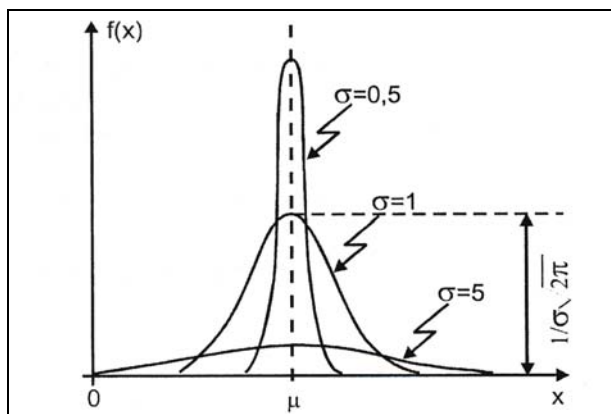
Секоја променлива големина (x), која како резултат на експеримент или набљудување добива бројна вредност со определена **веројатност**, се нарекува случајна променлива. Случајни променливи во геотехниката можат да бидат разни параметри, како на пример: волуменската тежина, аголот на триење, јакоста на притисок, елементи на пад на пукнатините и други.

Од множеството расположиви функции на распределба на веројатноста практична примена во геотехниката наоѓаат само оние што добро се прилагодуваат на емпириските распределби на геотехничките променливи (јакоста, деформабилност, волуменска тежина и други).

Најчесто употребувани функции на распределба е т.н. **нормална распределба** кога случајно променливата (x) е распределена по законот на Gauss-ова (Гаус) распределба и нејзината веројатност е:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Во оваа формула, (μ) и (σ) се параметри на распределбата, кои се определуваат од податоците на примерокот и означуваат средна вредност и стандардно отстапување. Нормалната крива на густина на веројатност е симетрична во однос на параметарот (μ) , кој е параметар на локацијата на функцијата. Параметарот (σ) е параметар од кој зависи обликот на функцијата. На Сликата 12.43 е дадена нормална распределба за различни вредности на (σ) .



Слика 12.43 Нормална распределба во зависност од параметарот σ

Површината под кривата на нормалната распределба од $(x = \mu - \sigma)$ до $(x = \mu + \sigma)$ е 0,6826. Тоа значи дека кај нормалната распределба 68,26% (т.е. околу 2/3) од податоците се наоѓаат во тој интервал.

Во интервалот од $(x = \mu - 2\sigma)$ до $(x = \mu + 2\sigma)$ е опфатена 95,45% од површината, а во интервалот од $(x = \mu - 3\sigma)$ до $(x = \mu + 3\sigma)$ е опфатена 99,73% од површината под нормалната крива на распределба.

Во инженерската геологија и геотехниката практична примена имаат распределби на веројатноста, кои се прилагодуваат добро на емпириските распределби на променливите кои може да бидат поврзани со анализа на појави на земјотреси, јакост и др. Најчесто употребувани се **биномна** и **логаритамско** нормална распределба со два параметри.

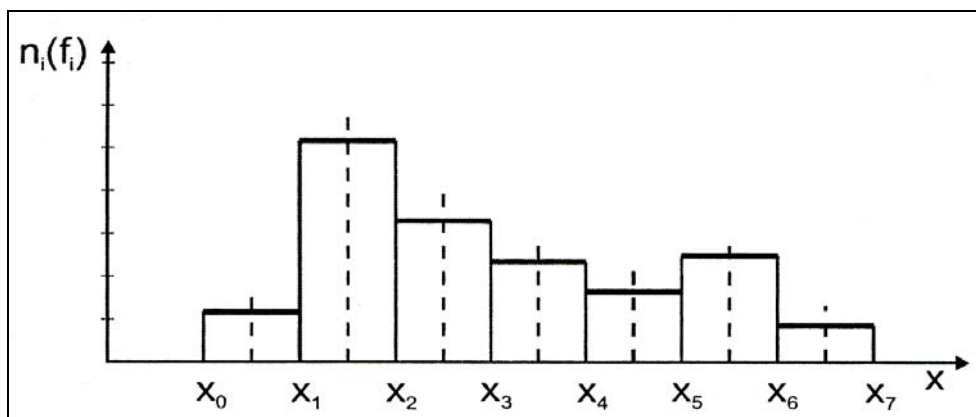
За да може да се изврши анализа на геотехничките податоци и да се определи фреквенцијата (зачестеноста) на нивното појавување потребно е вредностите на променливата да се класифицираат во групи во одреден дијапазон (Слика 12.44).

При изборот на границите на класните интервали важно е првиот и последниот класен интервал да се претстават така што во себе ги содржат минималната и максималната вредност од примерокот. Бројот на класните интервали може да се процени со помош на равенката:

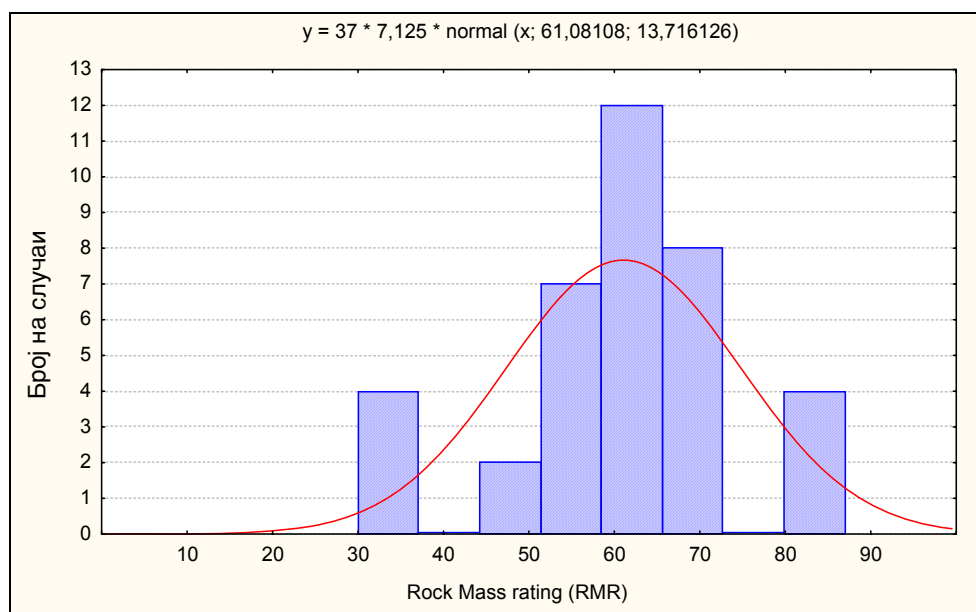
$$k = 1,33 \ln N + 1$$

Во равенката, (k) е број на класни интервали, а (N) е број на елементи. Границите на класните интервали се избираат како цели броеви, а во дефиниран класен интервал припаѓаат вредностите на променливата кои се поголеми од

долната граница, а помали или еднакви од горната граница. На пример, на Сликата 12.45 е прикажан пример на изработен хистограм и кривата на проценета нормалната распределба на веројатноста за квалитетот на карпеста маса според Биенџавски според податоци од локалитети во Р Македонија.

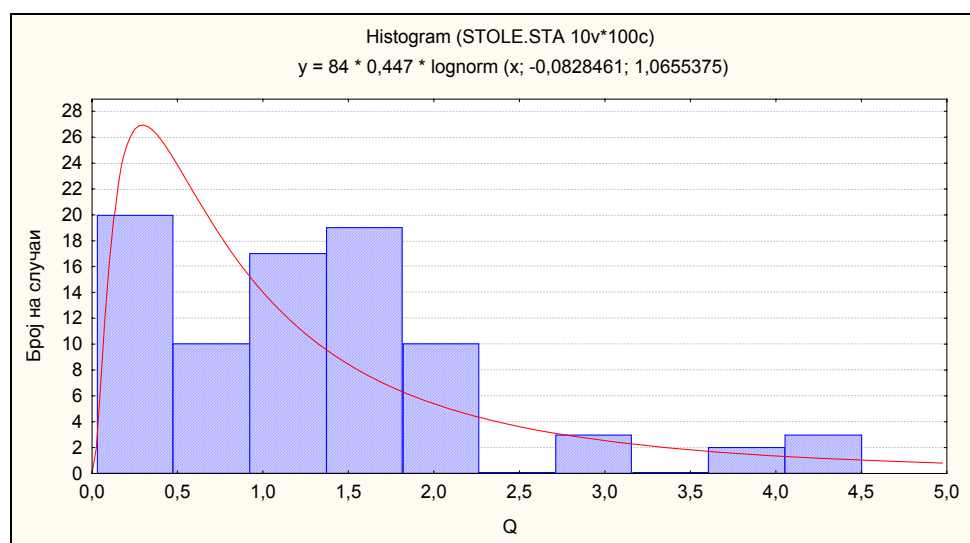


Слика 12.44. Графички приказ на фреквенција на случајните променливи во вид на хистограм



Слика 12.45 Хистограм со распределба на категории на квалитет на карпести маси по RMR системот за карбонатни карпести маси од Р Македонија

На Сликата 12.46, пак е прикажан хистограм со распределби на веројатноста за квалитет на карпата Q според Бартон, за кој подобро одговара лог-нормална дистрибуција на веројатноста.



Слика 12.46 Хистограм со приказ на класи на распределба за индекс на квалитет (Q) на шкрилести карпи за локалитети од Р Македонија

Очигледно е дека бројот на класи е поврзан со бројот на испитувани или анализирани примероци, а изборот на функцијата на распределба, која најмногу одговара на реалните мерења, треба да е внимателно направена. Во случај кога бројот на испитувани примероци е мал, определувањето на емпириската распределба со помош на групирање на елементите во класни интервали е непогоден. За решавање на вакви проблеми, е потребно да се користат негрупирани податоци.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Објасни што подразбираш под терминот класификација и како се делат класификациите во инженерската геологија?
- Кој е основниот параметар за поделба на сите карпи во инженерскогеолошки групи и кои се тие групи?
- Кои се најпознатите геотехнички класификации за подземни работи, на кој принцип се засноваат и кои параметри се потребни за нивно формирање?
- Кои класификации се користат за проценка на условите за ископ и кои се најчесто користените параметри во нив?
- Кои најзначајни инженерскогеолошки појави се поврзани за каменитите, а кои за полукаменитите карпести маси?
- Објасни ги накратко проблемите кои можат да се појават при изведба на објекти во карстни терени!
- Објасни ги накратко проблемите кои можат да се појават во слабоврзаните и неврзаните материјали!
- Што подразбираш под поимот регресииска зависност?

13 КАРПИТЕ КАКО ГРАДЕЖЕН МАТЕРИЈАЛ

ВОВЕД

Општо е познато дека голем број карпи традиционално се користат како природен градежен камен за различни намени. За тоа сведочат големиот број импозантни градби, кои се изведувале низ историјата на човештвото од најстари времиња, па сè до денес, а кои се изградени од природни карпести материјали.

Имено, искористувањето на карпите како природен градежен материјал е познато уште од предисториско време. На пример, првите работи во карпите се вршат при изборот и грубото дотерување на пештерите. Во подоцнежниот неолитик дури се дупчат и окна за вадење на камен кремен, кој се користел како материјал за изработка на орудија и примитивно оружје. Ова е утврдено според остатоци на рудници во Белгија, Франција, Англија и други места.

Независно од рударството, работите во карпестите маси се развивале и во градежништвото, изразено преку изработка на пирамиди, подземни храмови, гробници и стари градови од страна на старите Египјани, Етрурци, Грци, Римјани, Индуси, Маи, Инки и други стари цивилизации (Слика 13.1).



Слика 13.1 Големата сфинга од Гиза во Египет, која е обликувана од основна карпа пред пирамидата на фараонот Кафре (2558-2532 п.н.е.)

Голем дел од овие градби се сметаат за светски чуда и се обвиеени со мистерија, бидејќи не е докрај разјаснето како се градени. Посебно зачувава вештината со која се ѕидани камените блокови кај одредени градби, поради големината на камените блокови, полираноста и формите на спојување (Слика 13.2).

Во денешно време, карпите се употребуваат во градежното и геотехничкото инженерство, индустријата на градежни материјали, голем број други индустриски гранки, електрониката, вајарството, моделарството и за други намени (Слика 13.3). Треба да се потенцира дека карпите се незаменлива суровина за изработка на вештачки подготвени градежни материјали како: **бетон, асфалтни мешавини, малтер, цемент, вар, гипс**, во различни индустриски гранки, уметноста и др. Може да се истакне дека потребите на годишно ниво за различни природни материјали се движат и до неколку стотини милиони тона и дека индустријата на градежните материјали е една од гранките од големо значење за современото стопанство.



Слика 13.2 а - Мачу Пикчу, град на Инките од 15 век, Перу, Јужна Америка, б - типични детали на ѕидови со идеално вклопени форми на каменот



Слика 13.3 Приказ на некои можности за употреба на карпите

Накратко кажано, скоро секоја карпа може да најде определена примена во градежништвото, во зависност од конкретните потреби на градбата.

Од овие причини, во инженерската геологија многу големо внимание се посветува на истражувањето и испитувањето на карпите како градежен материјал, со цел да се создадат предуслови за успешна експлоатација на карпите и нивна употреба во стопанството.

ПРЕГЛЕД НА МОЖНОСТИТЕ ЗА КОРИСТЕЊЕ НА КАРПИТЕ

Познавањето на генетските, структурните, текстурните и техничките карактеристики е потребно за да се процени за која намена може да се примени некоја карпа. Во овој контекст, за секоја од главните генетски групи на карпи се прикажани можностите за употреба во градежништвото или другите области од човековото дејствување.

ПРИМЕНА НА МАГМАТСКИТЕ КАРПИ КАКО ГРАДЕЖЕН МАТЕРИЈАЛ

Магматските карпи генерално имаат голема применливост како градежен материјал. Од групата на длабински магматски карпи, **гранитите** имаат голема и широка примена во градежништвото како архитектонско-украсен односно декоративен камен, како блокови од нафрлен камен кај камено-насипаните брани, при изведба на бранобрани, како дробен и мелен камен, агрегат кај бетон, асфалтбетон и друго. Може да најдат примена за заштита на брегови, потпорни ѕидови, кејски ѕидови и слични објекти, каде што карпата со својата тежина треба да се спротистави на дејството на силите од објектот или надворешните влијанија.

Сиенитите, како и **гранодиоритите**, кога се свежи наоѓаат слична примена како и гранитите. Свежите **диорити** лесно се обработуваат во правилни блокови и коцка. Многу добро, но бавно се полираат.

Свежите маси од **габро** наоѓаат голема примена како декоративен камен, а поретко како дробен или мелен камен, односно нивната примена е слична како и кај другите длабински магматски карпи. Бидејќи имаат темна до црна боја и зголемената тежина ретко се користат за ѕидање.

Перидотитите не се користат многу во градежништвото поради мноштвото пукнатини и прснатини, релативно лесното распаѓање и големата тежина. Тие ретко може да се сретнат во свежа состојба, при што најчесто се посилено или послабо изменети во вид на метаморфни карпи **серпентинити**, кои се, исто така, неповолни за употреба во градежништвото.

Од **вулканските карпи**, одредена примена може да најдат **риолитите** кога имаат целосно искристализирана основна маса и поситни фенокристали и тоа најчесто при изградба на патишта. За изградба на хидротехнички и други објекти, каде што би биле постојано влажни, како и во мочуришна почва не се препорачуваат риолити со стаклеста основна маса, бидејќи имаат намалена отпорност во допир со вода и мраз. Непостојани се во допир со појаки киселини и оган. Кај киселите вулкански карпи при нагло ладење на риолитската лава богата со гасови и пареа, се создава многу порозна карпа **лебденик** со волуменска тежина, која е помала од водата (околу $9,5 \text{ kN/m}^3$). Оваа карпа е со меѓусебно неповрзани пори. Погодна е за изработка на преградни ѕидови кај зградите како природен термоизолациски и материјал за звучна изолација. Наоѓа примена за изработка на термоизолациски малтери и бетон, потоа за брусење и полирање (во зрнеста форма), како природен пуцолан (додаток во цементот во вид на прав).

Перлитот, како вулканско стакло со риолитски состав, исто така има ниска волуменска тежина $\gamma < 10 \text{ kN/m}^3$. Се употребува како термоизолациски материјал во вид на експандиран перлит, кој има својство на брзо и значително ширење при загревањето. Се користи и како додаток на малтерот и бетонот. Кај нас го има на Кожуф и во Мариовско. Овие карпи најчесто имаат стаклеста сјајност и се во аморфна состојба.

Трахитите тешко се полираат, а нивните површини постојано остануваат рапави. Поради тоа, наоѓаат примена за изработка на: скали, плочници, коцка и

слично, под услов да се во свежа состојба и тектонски да не се оштетени. Може да се користат и како грубо кршен камен и дробеник, при изградба на патишта и железници.

Дацитите се одликуваат со незначително абеење и доста рамен, но рапав прелом. Свежите дацити со поволно лачење, релативно лесно и добро се обработуваат. Во технички поглед се поповолни кога се без основна стаклеста маса и со ситни фенокристали. Поради сето ова, дацитите наоѓаат широка примена во градежништвото како грубо кршен камен, при изработка на насипи, нафрлен камен при свртување на речните текови, дренажен наполнител, подлога кај патиштата, каменити брани, како толчаник при изработка на застори кај железничките пруги, агрегат за изготвување на бетон, асфалт-бетон и др. Кога дацитите (заедно со андезитите) се оруднети, тие се редовно хемиски многу изменети и се неупотребливи за градежни намени.

Андезитите кога се во свежа состојба, имаат слична примена како дацитите.

Базалтите често се појавуваат во вид на столбесто и плочесто лачење, што придонесува кон нивна полесна експлоатација. Тогаш може да најдат голема примена во градежништвото при изработка на коцка, квалитетен толчаник или дробеник при изработка на железници и патишта со макадамски и бетонски застор. Тие се одличен минерален агрегат за абечките слоеви на современите асфалтни патни коловози. Многу се користат и при изградба на морски и на речни пристаништа, мостови, каменити брани и други објекти под вода. Треба да се избегнуваат базалтите со појава на т.н „сончеви дамки“ (многу ситни светли прскотини), поради нивната намалена отпорност и полесното распаѓање. Во светот се доста распространети и многу експлоатирани карпи. Кај нас се експлоатираат т.н. трахибазалти, во близина на Ежово Брдо-Штипско (Слика 13.4).



Слика 13.4 Базалти излиени над еоценски флишни седименти (Е3) од локалитет Ежово Брдо - Штипско (фото М. Јовановски)

Дијабазите поради својата офитска структура, кога се свежи, се одликуваат со зголемена жилавост, со што даваат голем отпор при нивната обработка и работењето во нив. Ваквите дијабази наоѓаат примена за изработка на квалитетен толчаник за макадамски патишта и железници. Поретко се употребува за добивање на коцка, мостовски столбови, пристанишни ѕидови и друга слична примена, како и кај базалтите. Свежите дијабази со црна боја често се користат за изработка на надгробни споменици.

Жилните магматски карпи поради начинот на појавување во вид на жили и незначителната застапеност, имаат многу слаба примена во градежништвото, а како работна средина, исто така, немаат посебно значење. **Пегматитите** кога се

појавуваат како грубозрнести жилни карпи од различни магми, често се носители на споредни состојки од типот на рудни минерали, племенити метали, драги камења и слично. Во вакви случаи може да имаат економско значење. Кога се застапени во поголеми маси, се користат како сировини за добивање на фелдспати, односно во индустрија на порцелан.

Вулканските кластични карпи, посебно **туфовите**, кога се добро сврзани и кога не се изменети и не се распаднати можат да бидат добар материјал за зидање, бидејќи најчесто имаат зголемената порозност и мала тежина. Лесно се обработуваат, добро се проветриви и имаат добри топлотни и звучноизолаторски својства. Може да се употребат за декоративно обложување на згради, кога треба да се отпорни на дејство на CO_2 и другите активни гасови во населените места. Сомлени во градежништвото можат да се употребат при изработка на хидраулични врзива, како и за омекнување на водата, кога се бараат туфови со зголемена содржина на стаклеста супстанција.

ПРИМЕНА НА СЕДИМЕНТНИТЕ КАРПИ

Седиментните карпи имаат голема примена во градежништвото како и кај други индустриски гранки.

На пример, **дробината** и **чакалот** имаат голема примена како: агрегат за бетон, филтерски материјал кај браните и во дренажите, тампонски слоеви кај сообраќајниците и др. Во практиката, поголема употребливост има чакалот, бидејќи поради претрпениот транспорт, послабите зрна и штетните состојки се однесени на поголеми растојанија од наоѓалиштата на чакал. Во секој случај, кај ваквите материјали секогаш се вршат минералошко-петрографски и други анализи, со што се определува нивниот состав, состојбата на зрната и други потребни параметри. Според минералошко-петрографскиот состав и квалитет во техничка смисла најповолни се чакалите на големите реки, па езерските, морските и на крај ледничките чакали. Морските чакали се со неповолна леќеста форма и често се и засолени, така што претходно мораат да се плакнат. Чакалите од ледничко потекло по правило се со зголемено количество на глина и многу различна големина на зрната. Така, на едно место се застапени од крупни блокови, па сè до глинести честички и тоа многу нерамномерно низ волуменот на седиментите, што ја отежнува можноста за нивна експлоатација.

Конгломератот и **бречите** како врзани кластични седиментни карпи, поретко наоѓаат примена во градежништвото. Физичко-механичките својства многу им зависат од видот на зрната, видот и количеството на врзивното средство и степенот на дијагенезата. Од бречите, само мермерните можат да се употребат како декоративен материјал и тоа кога имаат добра поврзаност меѓу зрната.

Песокливите карпи, често наоѓаат примена за различни намени. **Песокот** кога не содржи неповолни примеси во вид на каолински минерали и органски примеси има различна и голема примена. Посебно е користен како агрегат за малтер, филтерски слоеви кај браните и во дренажите, за замена на слабоносиви материјали и друго. Чистите кварцни песоци се користат како основна сировина во стакларската индустрија. **Песочникот** може да се примени како материјал за зидање, абразивно средство, украсен камен, камен за поплочување и др., но само оние видови кои имаат доволна јакост и ги задоволуваат потребните физички и механички критериуми. За вакви намени се најчесто погодни кварцни песочници со силициско или карбонатно врзивно средство.

Прашинестите карпи ретко наоѓаат некоја примена, освен некои вариетети на лесот и лесоидната иловица, кои се користат како сировина во индустријата на градежните материјали за производство на блокови, ќерамиди, тули и слично.

Глинестите карпи, посебно **глините** се најмногу користени карпи во историјата на човештвото. За тоа најдобро сведочат остатоците на преисториска керамика. На пример, грнчарска глина поради високата пластичност има својство на добра обработка и моделирање, а при сушење и печење не пука, што е вообичаено кај другите глини. Поради ова се употребува за изработка на земјени садови, како: стомни, земјени тави, грниња, амфори и друго. **Порцеланската глина** е многу пластична и високо огноотпорна, што овозможува нејзина примена во порцеланската индустрија. Покрај овие вариетети постојат и други глини, кои се интересни за градежната индустрија, додека другите од економска гледна точка се многу значајни како суровини за добивање на алуминиум (**боксит** и **латерит**). Може да се користи и во индустријата на **цемент**. Вариетети на црвеницата, кои се викаат окер се користат како суровина за жолти бои. Глини со ниска до средна пластичност се применува како **водонепропустно јадро** во камено – насипните брани, додека **бентонитските глини** се применуваат како материјали за подготовка на **инјекциски смеси** при инјектирање на теренот. **Лапорите** кога содржат околу 75% CaCO_3 , можат директно да се користат како суровина во индустријата на портланд цемент. **Глинците** ретко наоѓаат некоја примена. **Лапорецот** кога има поволен однос на каолински минерали и калцит, може да се користи директно за производство на цемент, така што често се нарекува и **цементен лапорец**. За портланд цемент најповолен е лапорец, каде што соодносот е 22% - 25% каолинска супстанција и 75% - 78% карбонатна супстанција.

Од групата на **хемиски** седиментни карпи поголемо значење имаат: **гипсот**, **бигорот** и **мермерниот оникс**. Чистиот гипс без примеси се вика **алабастер** и се користи како суровина за печење и за добивање гипс како производ за градежништвото, потоа за вајарството, моделарството и друго. **Бигорот** и **травертинот** се многу користени од старите градители при изградба на: манастири, џамии, минариња, мостови и др. Посебно травертинот, поради изразитата лентовидна градба дава многу убав декоративен изглед и е многу ценет градежен и скулпторски камен. **Мермерниот оникс** како јадра, компактна, понекогаш и просирна карпа, многу лесно се обработува и извонредно убаво се политира до дијаманска сјајност. Поради тоа има многу убав декоративен изглед. Се вбројува во најскапоцените декоративни карпи. Поради малата застапеност, главно, се користи за изработка на сувенири и слични предмети како: вазни, ноќни ламби, пепелници и друго.

Од **органогените седименти** е најпознат **варовникот** кој има голема примена во градежништвото и тоа како суровина за добивање вар, потоа како кршен, дробен и мелен камен, агрегат за бетон и за асфалт-бетон, нафрлен камен кај камено-насипните брани, камен за габионски ѕидови и слично. Често се користи и како камен за ѕидање или украсен камен. **Доломитот** кога ги задоволува потребните критериуми може да има слична примена како и варовникот, но генерално гледано, поради поголемата испуканост и полесно дробење е со далеку помало значење во споредба со варовниците.

Од другите органогени седименти, значајна примена има **асфалтот**, како цврст јагленов водород, кој настанува со оксидација на нафтата. Се употребува за изработка на асфалтни коловози кај патиштата и како хидроизолациски материјал.

ПРИМЕНА НА МЕТАМОРФНИТЕ КАРПИ

Споредено со магматските и со седиментните карпи, метаморфните карпи имаат помала применливост во градежништвото. Поради шкрилавоста, лесно се

цепат во плочи и лиски, што условува нивно многу тешко набивање. **Гнајсевите** поради зголемената содржина на лискун ретко се применуваат како агрегат за бетон или за асфалт. Кога имаат помасивна текстура и кога преоѓаат кон **гранито-гнајсеви** може да најдат евентуално примена како нафрлен камен кај камено-насипните брани, камен за насип во трупот на сообраќајниците, камен за поплочување и слично.

Микашистите поради голема содржина на лискун речиси и да немаат применливост. **Филитите** и **аргилошистите** се одликуваат со лесна цепливост, често пати во многу тенки плочи. Поради тоа се нарекуваат **покривни шкрилци** кои во минатото се користеле за покривање на објекти. **Хлоритските, талковите, серицитските, графитичните** и другите видови нискометаморфни карпи, генерално не се погодни за употреба во градежништвото. Можат да се употребат за градба само во исклучителни случаи кога до местото за градба на поголеми растојанија не постои друг поволен материјал.

Секако дека нивната употребливост мора да се докаже со потребни испитувања, со цел да бидат задоволени сите технички критериуми. На пример, браната „Водоча“ во Струмичко, речиси во целост е изградена од нискометаморфни шкрилести карпи.

Од **масивните метаморфни карпи** најголема примена имаат **мермерите**, додека **кварцитите, серпентинитите и амфиболитите** се употребуваат многу поретко. Мермерите како масивни карпи со меки минерали се полираат лесно и извонредно убаво, а нивната обработка е релативно лесна. Затоа, наоѓаат најголема примена како декоративен материјал за обложување на згради, при изработка на споменици, во скулпторската уметност и слично.

Кварцитот без присуство на споредни состојки се нарекува **динас кварцит** и се употребува како огнеотпорен материјал. Поради големата тврдина е многу абразивен и се избегнува за употреба како дробен или мелен камен. Некои видови на кварц-мусковитски шкрилци, можат да се употребат за поплочување.

Амфиболитите се многу цврсти и жилави карпи и може да се искористат како минерален агрегат во асфалтните мешавини, доколку се количински доволно застапени.

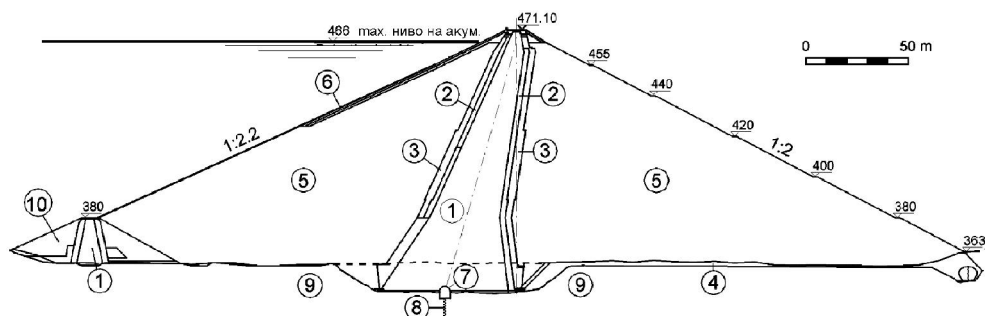
Серпентинитот поради големата испуканост до здробеност, мрсната сјајност и школкастиот прелом се избегнува за примена во градежништвото.

ФОРМИ НА КОРИСТЕЊЕ НА КАРПИТЕ КАКО ГРАДЕЖЕН МАТЕРИЈАЛ

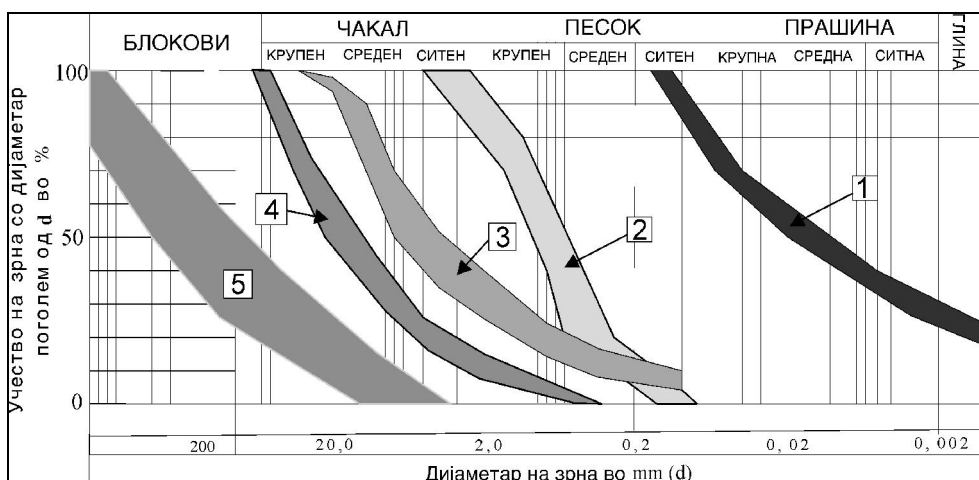
Карпите како градежен камен може да се користат како **кршен, дробен, мелен и обработен камен**. На примерот на еден пресек на камено-насипна брана може најдобро да се илустрира кој материјал каде може да се искористи (Слика 13.5).

Типични големини на зрната на материјалите, кои се користат за различни намени во градежништвото се прикажани на Сликата 13.6. Поради различната гранулација, секој вид на материјал во камено-насипните брани има строго определена функција и може да се вгради само во определени зони.

На пример, глиновитите материјали се вградуваат со цел да се спречи загуба на вода низ тело на браната и имаат функција на водонепропустно јадро (екран). Филтерските слоеви имаат задача да ја елиминираат можноста за развој на критични хидраулички градиенти и внатрешна ерозија во конструкцијата, а каменот во потпорните тела е со функција за подобрување на стабилноста на објектот.



Слика 13.5 Приказ на употреба на различни природни материјали вградени во тело на браната „Козјак“ на реката Треска: 1 - глиновит материјал во водонепропустливо јадро; 2 и 3 - зони од песоклив и чакалест материјал како филтерска зона; 4 - речен нанос во темелната основа; 5 - зони од нафрлен камен во потпорни тела на браната; 6 - реден камен на лице на косината; 7 - инјекциона галерија; 8 - инјекциона завеса; 9 - цврста карпеста основа; 10 - чакал во возведен загат



Слика 13.6 Типични гранулометриски подрачја на природни материјали, кои се користат за различни намени: 1 - глиновит материјал за водонепропустно јадро на брани; 2 - зони од песоклив материјал како суровина за малтерисување; 3 - гранулометриско подрачје за каменит материјал, кој се користи при подготовка на асфалтни мешавини; 4 - гранулометриско подрачје за филтерски зони во тело на брани; 5 - гранулометриско подрачје на кршен камен во потпорни тела на брана.

КРШЕН КАМЕН

Кршениот камен се добива од каменоломите со минирање или риперување. Најчесто блоковите со неправилна форма, нерамни преломни површини и различна големина, што зависи од методата и усвоените параметри на минирање. Кршениот камен може да биде **обичен** и кршен камен за **сидање**. Кај обичниот кршен камен блоковите имаат неправилен полиедарски облик и различни димензии. Тој најчесто се користи како нафрлен камен за насипани брани во потпорните тела на браните, кои имаат функција да ја осигураат стабилноста на браната (Слика 13.7). Често се користи и за изработка на каменити насипи за

утврдување на бреговите кај реки, езера и мориња за заштита од влијанието на водите врз бреговите на: реки, езера и слично (Слика 13.8).



Слика 13.7 Кршен ретен камен за облагање на возводна косина на браната „Кнежево“ - Пробиштипско (фотографија од фаза на прво полнење на браната)

Кршениот камен за зидање се добива без некоја посебна обработка, со кршење од слоевитите или шкрилавите плочести карпи. Кај каменот за зидање е потребно да се обезбедени две рамни површини кои се погодни за зидање.



Слика 13.8 Ретен камен во габионски ѕидови за заштита од ерозија кај излез од опточен тунел на брана „Козјак“ - Скопско

Ваков камен може да се искористи и за зидање на потпорни ѕидови, како подлога кај патишта и улици, при изведба на пропусти, столбови на помали мостови, обложни ѕидови и друго (Слика 13.9).



Слика 13.9 Примена на камен за зидање кај потпорни обложни ѕидови, с. Сопиште, Скопско

Зависно од вештината на градителите, можат да се добијат градби со голема архитектонска вредност и убавина (Слика 13.10).



Слика 13.10 Помошни простории и мост во дворот на манастирот Св. „Јоаким Осоговски“, Крива Паланка, изградени скоро во целост од шкрилест материјал

ДРОБЕН КАМЕН

Дробениот камен или **дробеник** се добива со дробење на грубо кршениот камен преку дробилнични постројки. Дробениот камен обично се сепарира (раздвојува) по големината преку ротациски сита. Во зависност од намената, најчесто се користи гранулација на материјалот меѓу 30 и 60 mm, но може да се добие и груб дробеник со гранулација од 50 - 70 mm или пак фин дробеник со гранулација од 15 - 50 mm. Дробеникот, главно, се користи за изработка на застор кај железничките пруги и патиштата, агрегат за бетон, терацо и вештачки камен.

МЕЛЕН КАМЕН

Мелен камен се добива со мелење на дробеникот. Како почетен материјал се користат компактни и цврсти карпи. Големините на зрната можат да бидат од 1 - 15 mm (камена ситнеж), од 0,09 - 1 mm (фин песок) и со дијаметар $d < 0,09$ mm (камено брашно). Се употребува како агрегат за асфалтни работи, за малтер и за вештачки камен. За оваа намена најпогодни се: варовниците, мермерите и некои магматски карпи.

ОБРАБОТЕН КАМЕН

Обработениот камен наоѓа примена како делкан, полуделкан, или пак посебно обработен камен во каменити коцки и призми. Посебен вид обработен камен се смета **декоративниот** камен за обложување на зградите, кој се добива со рамнење, мазнење и политирање на неговите страни. Делканиот камен е целосно обработен камен со паралелопипедна форма, со остри рабови што се нормални едни на други. Тој може да се користи како материјал за сидање на темелни ѕидови, мостови, мостовски столбови, обложување на монументални згради и друго. Во минатото, но и сега често се користи при изградба на монументални градби со исклучителна архитектонска и декоративна вредност, при изработка на скулптури и споменици во уметноста и слично (Слики 13.11 до 13.15).



Слика 13.11 Камениот мост на река Вардар во Скопје, пример за примена на травертин -бигор како камен за сидање на мостовска конструкција



Слика 13.12 Детал на обработени камени блокови применети за изградба на Каменот мост во Скопје



Слика 13.13 Примена на мермер при изработка на споменици од античко време кај археолошкиот локалитет „Хераклеа“ Битолско



Слика 13.14 Амфитеатар од мермер кај археолошки локалитет „Стоби“

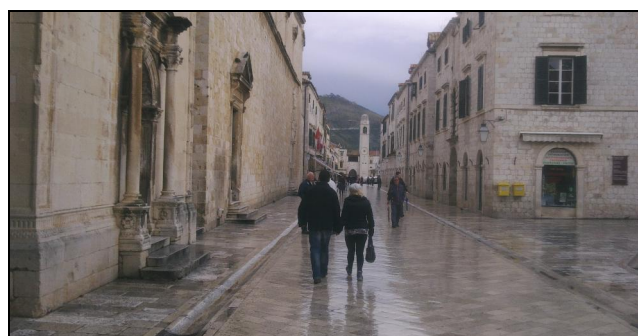
КАМЕН ЗА ПОКРИВАЊЕ И ПОПЛОЧУВАЊЕ

Камен за покривање и за поплочување се добива главно со обработка на слевитите или шкрилестите карпи, каде што поради изразените текстурни елементи, се овозможува релативно лесно цепање во потенки плочи со дебелина од 2 до 5 cm. Ваков камен може да се користи при оформување на подлога кај патишта и улици, при покривање куќи, поплочување површини кај приватни објекти и друго. Поради различните бои со кои се карактеризираат различните седиментни и метаморфни карпи, можат да се добијат обложени или покриени површини со убави декоративни форми (Слики 13.15 до 13.17).

Од изложените примери може да се заклучи дека и покрај големата побарувачка на градежните материјали, кои се применуваат при градба на армиранобетонските конструкции, и ден-денес владее голем интерес за природните геолошки материјали, поради што некои од нив се и исклучително скапи.



Слика 13.15 Подготвени палети со плочи за поплочување од различни метаморфни и седиментни карпи за малопродажба, заедно со други градежни материјали



Слика 13.16 Приказ на примена на камен за поплочување улици (локалитет Страдун во стариот дел на Дубровник, Р Хрватска)



Слика 13.17 Примена на аргилошисти како покривен материјал (уметничка галерија во Крушево, фото Бл. Маркоски)

КАРПИТЕ КАКО СУРОВИНИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ГРАДЕЖНИ МАТЕРИЈАЛИ

Во градежништвото, карпите многу се користат како суровини за производство на разновидни градежни материјали како: блокови, тули, керамици, вар, цемент, стакло, градежен гипс, керамички производи и др.

Како суровина за производство на блокови, тули и керамици најчесто се користат посни глини, иловици, лес и лесовидна иловица, кои се применуваат директно без некои додатоци. Поретко се користат и мрсни глини, лапори, прашиест песок и други слични карпи, но со задолжително додавање на супстанции за подобрување на квалитетот. Неповолни и штетни состојки во суровините за ваква намена се: органски материји, парчиња на варовник, гипсни примеси и стврднати грутки, кои тешко се дробат. Основните суровини треба лесно да се дробат и да се ситнат. Исто така, треба брзо да се месат и лесно да се оформуваат, брзо да сушат без пукање, послабо да се собираат и да се печат на пониски температури. Во Македонија квалитетен материјал за производство на тули и керамици се среќава во околина на: Велес, Скопје, Битола и други места, каде има и одредени капацитети за производство на керамички материјали.

Суровини за производство на вар се карпите, кои во себе го содржат калцитот (CaCO_3) како основна и главна минерална состојка. Најквалитетна печена вар се добива од хемиски чисти варовници, кои се јадри и компактни, а се дробат во парчиња со големина од 7 до 20 см. Варовници со примеси (лапоровити, доломитични и други), како и мермерите се помалку поволни како суровини за вар, со оглед дека се печат на повисоки температури и даваат послаб квалитет на вар.

Како суровина за производство на **градежен гипс** служи гипсот, кој се подложува на печење на температура од 107 до 180°C со цел да се отстрани вкупната количина на кристалната вода. Квалитетот на гипсот зависи од примесите, кои можат да се присутни во карпата, а понекогаш определена содржина на лимонит, каолинит и други примеси можат да придонесат за подобар квалитет. Во Македонија, преработка на гипс и познати гипс-картонски производи врши фабриката Кнауф од гипсот во околината на Дебар.

Суровини за производство на цемент можат да бидат од различни материјали, во зависност од видот на намената и расположливата суровина. Најчесто и во најголеми количини во градежништвото се користи **портланд цементот**, кој се произведува од карпата **лапорец**. Најповолен е лапорец со содржина на 75% карбонатна и 25% глиненa компонентна. Во случај да не се располага со ваков лапорец, се користи вештачка мешавина од варовник и од глина. Со додавање на различни супстанции на портланд цементот, односно **клинкерот**, како готова суровинска маса, се добиваат специјални видови цемент за бавно врзување, брзо врзување, цемент отпорен на разни агресивни влијанија, бел цемент и др. Поретко можат да се користат и додатоци од некои видови на туфови, глинци и друго. Жарењето на цементната суровина се врши при температура од 900°C - 1000°C кога се добива цемент за брзоврзивен бетон или на 1000°C - 1400°C кај бавно врзивниот бетон. Непожелни состојки се MgO , SO_3 , K_2O , Na_2O , кога ги има во поголемо количество, тие имаат влијание на пукањето на цементот. Во Македонија значајни резерви на лапорец се преработуваат во фабриката „Титан -Усје“ која произведува квалитетен портланд цемент.

Како основна **суровина за производство на стакло** се користи ситнозрниот кварцен песок. Потребно е кварцниот песок да биде чист без какви било примеси, со определена гранулација на зрната (од 0,1 до 1,0 mm). Неповолни примеси во стакларскиот песок се: лимонитот, каолински минерали и оксиди на Fe, Ti, Cr и др. Како додаток, за добивање на соодветни својства на стаклото се

употребуваат варовник, калиска или натриска сода, оловен оксид и поретко други супстанции. Во Македонија го има во околината на с. Соње - Скопско.

КАРПИТЕ КАКО СУРОВИНИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА АГРЕГАТ

Карпите можат да се искористат и како суровина за агрегат за: **бетон, малтер и асфалтна мешавина.**

Бетонот во денешницата е многу користен материјал во градежништвото. Всушност, бетонот е мешавина на: **цемент, агрегат од каменит материјал и вода.** Квалитетот на бетонот во голема мера зависи од природниот агрегат, кој може да биде песоклив чакал или дробеник со песок. Агрегатот учествува со 70 - 80% во вкупната маса на бетонот. Така, при изборот на материјал за агрегат се води сметка за минералниот и петрографскиот состав, свежината, формата, големината на зрната, присуството на непожелни состојки и друго. На пример, според гранулацијата, како најповолни се сметаат зрна со димензии од 3 до 7 см.

Како најквалитетен материјал за **бетонски агрегат** се сметаат чакалите, посебно кога зрната им се изградени од свежи магматски карпи, варовник или кварц. По форма се најповолни полузаоблени зрна, со оптимална содржина на ситна и покрупна фракција. Понеповолни се зрна со глатки сидови, кои се заоблени добро, заради послабата атхезија меѓу цементот и агрегатот. Како изразито неповолно се смета присуството на лискунските минерали: биотит, мусковит и вермикулит, заради нивната изразита цепливост и волуменска нестабилност при сушење и влажнење. Така, содржината на лискуни се ограничува максимално до околу 1-2% во однос на вкупната маса. За неповолно се смета и присуството на капиларно-порозни, потоа шкрилави карпи, лапорци, глинци и други помекни карпи. **Пиритот** е, исто така, неповолна состојка, заради хемиската реакција и создавањето на сулфурната киселина. Во хемиската реакција стапуваат и поголеми количини на **рожњаци, јаспис, опал** и други хидроксиди на силициум. Присуството на глинести минерали е, исто така, неповолно и се ограничува на максимално до 2%. На квалитетот на бетонот влијание можат да имаат органските примеси во вид на остатоци од лисја, помали гранки и друго.

За изработка на **малтер** се користат различни видови природен агрегат. Имено, се користат различни видови песок и некои врзивни материјали како вар, цемент, гипс и друго. Малтерот во принцип треба да има висока механичка јакост, постојаност и трајност на надворешни влијанија. За изработка на квалитетен малтер, најдобар е песок кој е создаван со механичко ситнење на свежи магматски карпи со одреден процент на: лискун, кварц, калцит и доломит. Неповолни состојки се пиритот, другите рудни минерали и глинестите минерали, чија содржина не треба да е над 2%. За садање е најповолен крупнозрн песок, додека за малтерисување на сидови подобри се ситнозрните агрегати.

Асфалтот е мешавина на битумен и **минерален (камен) агрегат**. За вакви намени како најповолни се покажале магматските базични карпи од типот на базалти и дијабази, во однос на киселите карпи, со оглед дека е подобра атхезијата со битуменот. Неповолни за вакви намени се сметаат киселите изливни магматски карпи со стаклеста основна маса, потоа со содржина на пирит и ахат, кристали на калцит и друго.

КРИТЕРИУМИ ЗА ИЗБОР НА ГЕОЛОШКО-ГРАДЕЖЕН МАТЕРИЈАЛ

Критериумите за избор на геолошко-градежни материјали се разликуваат од земја во земја, но параметрите според кои се цени квалитетот се слични. Потребните параметри за дефинирање на квалитетот и видот на лабораториските испитувања се дефинирани со различни национални стандарди и правилници, препораки на меѓународните стандарди од ISRM, IAEG и друго.

На пример, за вообичаени намени, при користење на каменот за зидање, се смета дека е доволно материјалот да има јакост на притисок над $\sigma_p = 35$ МПа. Во одредени случаи се бара каменот да поседува и доволна јакост на затегнување и свивање. За специјални намени, во практиката се разработени детални препораки околу дозволените и препорачаните минимални вредности на параметрите, кои најчесто се однесуваат на јакоста на притисок, впивање влага, отпорност кон мрзнење, абеење, трајност кон надворешни агенси, кои се подетално коментирани во рамките на книгата.

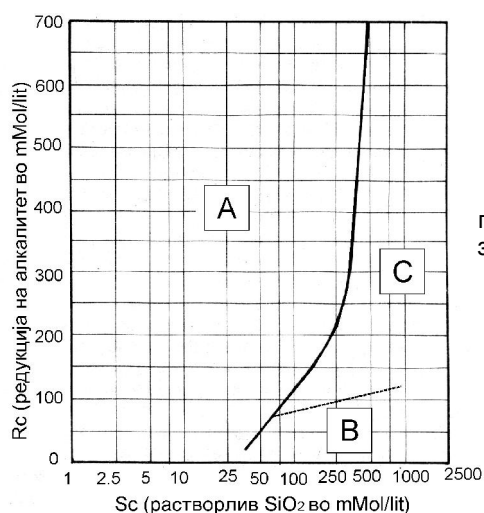
КВАЛИТЕТ НА ПРИРОДЕН МАТЕРИЈАЛ КАКО АГРЕГАТ ЗА БЕТОН

За избор на материјал за подготовка на **бетон** постојат најдетално разработени норми и правилници, каде што се пропишуваат дозволените и најповолни соодноси меѓу одделни фракции во гранулацијата на материјалот, јакоста на притисокот, впивањето на влагата, абеењето и друго (Табела 13.1).

Табела 13.1 Критериуми за проценка на употребливоста на агрегатот за бетон

Параметар за проценка	Услови на квалитет
Јакост на притисок во сува состојба	80 до 130 МПа
Абеење по Лос Анџелес	до 30%
Дробливост	до 25%
Содржина на честици што минуваат низ сито од 0,09mm	
- дробен агрегат	до 10%
- ситен агрегат (до 4mm)	до 5%
- крупен агрегат (поголем од 4mm)	до 1%
Содржина на честици до 0,02mm	до 1%
Содржина на органски и на други штетни примеси	0%
Содржина на грутки глина	
- ситен агрегат (до 4mm)	0,4%
- крупен агрегат (поголем од 4mm)	0,15%
Специфична тежина	мин. 26 kN/m ³
Впивање вода	до 1,5%
Содржина на сулфати и сулфиди како SO ₃	
- во ситен агрегат (до 4mm)	до 1%
- во крупен агрегат (поголем од 4mm)	до 0,5%
Содржина на хлориди (Cl)	до 0,05% (до 0,01% за преднапрегнат бетон)
Постојаност на агрегатот на мраз	постојан
- заситен агрегат (до 4mm)	загуба на тежина до 10%
- за крупен агрегат (поголем од 4mm)	загуба на тежина до 12%
Содржина на лискуни во ситниот агрегат	до 1-2 % од тежина

Минералниот агрегат за бетон мора да биде од свеж, жилав и механички тврд камен, отпорен против трошење, дробење и атмосферски влијанија, посебно против смрзнување и одмрзнување. Во поглед на површинските својства, зрната мораат да имаат добра способност за прилепување со цементот. Агрегатот не смее да содржи состојки, кои влијаат штетно на **хидратацијата** т.е. на врзувањето и стврднувањето на цементот, ниту такви кои можат стврднатиот бетон да го оштетат или да го разорат. Во овој поглед, посебно се внимава агрегатот да не содржи недозволен компоненти на: опал, јаспис или калцедон, кои треба да се максимално застапени до 5% во агрегатот. Доколку во агрегатот овие компоненти се застапени во поголеми количини, можно е да се создаде **алкално - силикатна** реакција, која може да предизвика ширење на зацврснатиот бетон. За проценка на овој аспект, во практиката често се користи дијаграмот на Сликата 13. 18.



Слика 13.18 Дијаграм за проценка на повољност за примена на агрегат од аспект за можност за развој на алкално-силикатна реакција: А - зона на агрегат со повољни својства В - потенцијално штетен агрегат С - штетен агрегат

Агрегатот не смее да содржи супстанции од органско потекло како што се: шеќер, органски масти, органски киселини и нивните соли итн.

Агрегатот за бетон во абечките слоеви на коловозот, за армиран и преднапрегнат бетон и за изработка на риголи, мора да има во водозаситена состојба најниска јакост од минимум $\sigma_p = 130$ МПа. За останатите бетони, е дозволена вредност од $\sigma_p = 80$ МПа. Во водозаситена состојба, јакоста не смее да е помала од 80 % од јакоста на каменот во сува состојба.

КВАЛИТЕТ НА ПРИРОДЕН МАТЕРИЈАЛ КАКО АГРЕГАТ ЗА АСФАЛТ

За изработка на асфалтни бетони како завршни абечки слоеви наменети за многу тешко, тешко и средно сообраќајно оптоварување, материјалот мора да биде со висок квалитет. Каменото брашно, кое се применува, може да биде произведено од карбонатни варовнички карпи или еруптивен материјал од типот на базалти или на дијабази. За асфалтните бетони вградени како абечки слој за многу тешко, тешко и средно сообраќајно оптоварување, се применува, без исклучок, камено брашно од прва класа. Дробената камена ситнеж се произведува со дробење на карпи, карпести дробини или од крупен чакал. Каменот од кој се произведува дробена камена ситнеж мора да ги исполнува

барањата од Табелата 13.2, а кои зависат од нивото на сообраќајното оптоварување.

Табела 13.2 Критериуми за проценка на степенот на употребливост на агрегатот за асфалт

Параметар за проценка	Услов на квалитет за група на сообраќајно оптоварување		
	Многу тешко и тешко оптоварување кај автопати	Средно оптоварување	Многу лесно и лесно оптоварување
Минимална вредност на јакост на притисок во сува состојба во МПа	160	140	120
Впивање на вода, најмногу во %	0,75	0,75	1,00
Абење по Воеһте најмногу $\text{cm}^3 / 50\text{cm}^2$	12	18	35
Постојаност на мраз, загуба во тежина најмногу во %	5	5	5

Минералниот агрегат за асфалт-бетон мора да биде свеж, механички тврд и отпорен против влијанието на атмосфералиите. Во поглед на површинските својства, зрната мораат да имаат добра способност за прилепување со битуменот.

Абењето на агрегатот за абечкиот слој на коловозот се препорачува да биде најмногу $10 \text{ cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$. Загубата на тежината кај фракциите 0 - 8 mm при испитување на постојаност на мраз кај агрегатот за коловозна конструкција се дозволува до 5 тежински проценти.

КРИТЕРИУМИ ЗА КВАЛИТЕТ НА МАТЕРИЈАЛ КАКО ДОЛНА НОСИВА ПОДЛОГА КАЈ ПАТИШТАТА

Материјалот за механички стабилизирани долни носиви или тампонски слоеви мора да биде составен од зрна, кои одговараат на пропишаните барања што детално се дефинираат со стандарди за изведба на земјани работи. Основните параметри, кои мораат да бидат задоволени се прикажани во Табелата 13.3.

Табела 13.3 Критериум за оценка на квалитет на тампонски материјал

Параметар за проценка	Услови на квалитет
Јакост на притисок во сува состојба	мин. 120 МПа
Абење по Лос Ангелес	до 40%
Впивање на вода (%)	до 1%
Вредност на CBR	минимум 80 % за услови на збивање по модифициран прокторов опит
Постојаност на агрегатот на мраз по 25 циклуси на мрзнење и одмрзнување	постојан

ОСНОВНИ КРИТЕРИУМИ ЗА ДЕФИНИРАЊЕ НА КВАЛИТЕТ НА МАТЕРИЈАЛ ЗА ПОПЛОЧУВАЊЕ

При избор на материјал за поплочување, можат да се сретнат различни критериуми кои се користат за оценка на повољноста за вградување. Основните параметри кои мораат да бидат задоволени се прикажани во Табелата 13.4.

Табела 13.4 Основни критериум за оценка на квалитет на материјал за поплочување

Параметар за проценка	Услови на квалитет
Јакост на притисок во сува состојба	мин. 100 МПа, (за карбонатни карпи 70 МПа)
Впивање на вода (%)	до 0,8 %
Волуменска тежина γ (kN/m ³)	минимум 24
Постојаност на агрегатот на мраз после 25 циклуси на мрзнење и одмрзнување	постојан

Секако дека кај секој конкретен проблем треба да се извршат детални истражувања и испитувања пред да се донесе конечен заклучок за употребливоста на материјалот, но наведените критериуми треба да се земат предвид со цел да се донесе оптимално решение. За да се добие одреден впечаток за дијапазонот на можни варирања на параметрите, во Табелата 13.5 се прикажани некои податоци од локалитети кај нас.

Табела 13.5 Некои податоци за основните физичко-механички параметри на материјали од локалитети во Р Македонија

Локација и вид на материјал	Јакост на притисок во сува состојба (МПа)	Волуменска тежина γ (kN/m ³)	Впивање на влага (%)	Отпорност на абење според Воеһте (cm ³ /50 cm ²)	Абење по метод на Лос Анџелес (%)
Мермер од рудник „Сивец“ и Присад-Сивец Прилепско	160 - 170	27,9 - 28,2	0,104 - 1,140	26,9 - 28,5	<22
Андезит за брана „Кнежево“-Пробиштипско	94 - 131	25,40 - 26,56	0,303 - 0,371	8,90 - 16,70	13,30 - 16,70
Зелен шкрилец за каменолом „Кнежево“-Пробиштипско	67 - 88	26,2 - 26,71	0,229 - 0,871	8,92 - 9,2	46 - 50
Варовник од локација „Ребре-Лочки“ Велешко	79 - 106	26,9 - 27,5	0,09 - 0,34	/	22 - 24
Гранит за брана „Отиње“, Штипско	94 - 117	26,21 - 27,2	0,038 - 0,05	/	16 - 18
Црвен тријаски варовник, Охридско	144 - 146	27,2 - 27,8	0,08 - 0,4	/	17 - 23
Сив тријаски варовник, Охридско	166 - 172	26,9 - 27,4	0,07 - 0,34	/	16 - 17

Во табела 13.6 податоци, пак, се прикажани резултати од испитувања на карпи кои се применуваат како дробен камен.

Табела 13.6 Репрезентативни вредности за камен, кој се употребува како дробеник при изградба на патишта (преземено од Бел, 1993)

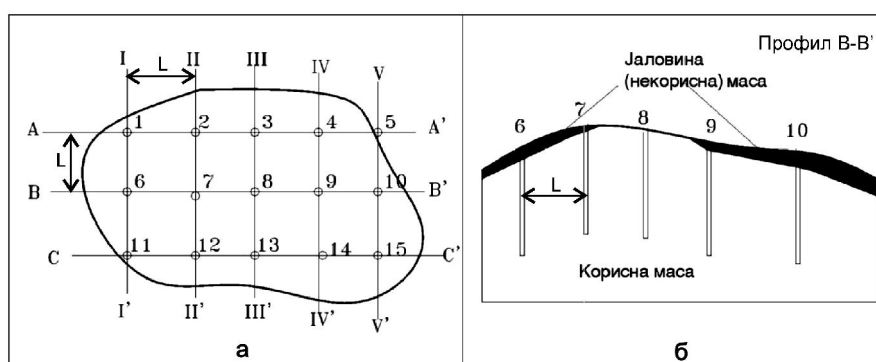
Тип на карпа	Впивање на влага (%)	Спец. тежина γ_s (kN/m ³)	Вредност ACV	Вредност AIV	Вредност AAV	Вредност PSV
базалт	0,9	29,1	14	13	14	58
долерит	0,4	29,5	10	9	6	55
гранит	0,8	26,4	17	20	15	56
кварцит	1,8	28,1	20	18	15	63
варовник	0,5	26,9	14	20	16	54
песочник	0,5	27,2	10	12	7	62

Некои податоци за користен украсен и технички камен од различни локалитети кај нас се прикажани во Табелата 13.5.

Од резултатите се гледа дека можат да се очекуваат значајни разлики во вредностите на параметрите, односно дека кај секој конкретен случај се потребни детални истражувања на сите потребни параметри.

НАОЃАЛИШТА НА ГЕОЛОШКИ ГРАДЕЖНИ МАТЕРИЈАЛИ

Сите локации на карпести маси во склопот на теренот, кои можат да се користат во градежништвото се нарекуваат **наоѓалишта на геолошки градежен материјал**. Понекогаш во практиката за нивните делови, кои можат економично да се експлоатираат се нарекуваат **лежишта** или **позајмишта**. Во принцип, за експлоатација се поповолни наоѓалишта, кои зафаќаат поширок простор, имаат големи резерви на корисна маса, правилно залегање и се наоѓаат покрај постојни сообраќајници. Бидејќи често се користат карпите во големо количество, во секој конкретен случај се тежнее тие да можат непосредно и економично да се експлоатираат од површината на терен. Подземната експлоатација на камен скоро никогаш не се исплатува што важи и за појавата на карпите во вид на жили.



Легенда:

О 6 - истражна дупнатина; А—А' - истражен профил; L - растојание меѓу истражни дупнатини

Слика 13.19 Шема на истражување на наоѓалиште на корисна карпеста маса со паралелни профили со истражни дупнатини (1, 2... 15): а - приказ во план, б - приказ на профил

Геолошките услови за отворање и експлоатација на наоѓалиштата се разноврсни и многу значајни за нивната економска намена. Затоа, пред да се премине кон фаза на експлоатација е потребно детално истражување на квалитетот и резервите на карпестите маси. На пример, за утврдување на резервите на корисна маса се вршат детални геолошки испитувања со кои се дефинираат границата и волуменот на карпестата маса, која би била предмет на идна експлоатација. За таа цел се врши дупчење по одреден систем на профили кои вообичаено се поставуваат во два напречни правци, со точно определено растојание меѓу истражните дупнатини за конкретна минерална суровина (Слика 13.19).

Пресметката на резервите се врши по познатите постапки за определување на кубатурата кај земјаните работи. Најчесто се применува постапка за пресметка по метод на **средна аритметичка средина, паралелни профили**, метод на **блокови** и слично. Најлесно е определување на резервите кај лежиштата со хоризонтално залегање, кои имаат воедначена дебелина, каде што пресметката се врши по следните формули:

$$V = A \cdot h = (a \cdot b) \cdot h$$

Каде што е: V - волумен на наоѓалиштето (m^3);
 A - површина на наоѓалиштето (m^2);
 a - ширина на наоѓалиштето (m);
 b - должина на наоѓалиштето (m);
 h - дебелина на наоѓалиштето (m).

Кај наоѓалишта со неправилна форма на карпестата маса се користи **методот на блокови**. Кај овој метод, волуменот на корисната и јаловата маса се добива со поделба на лежиштето на повеќе блокови. За секој од блоковите со правилна геометриска форма, се наоѓа нивната дебелина и површина. На крајот, вкупната површина на блоковите се множи со аритметичката дебелина на лежиштето. За пресметка се користат следните формули:

$$V = A \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{N}$$

Каде што е: V - волумен на наоѓалиштето (m^3);
 A - површина на наоѓалиштето (m^2);
 h_1 до h_n - дебелина на корисната маса во одделен блок (m);
 N - број на истражни дупнатини.

Кај наоѓалишта со неправилна форма може да се примени **метод на паралелни профили**, каде што е потребно истражните дупнатини да се распоредат во должина на повеќе паралелни профилски линии. За секој од профилите се пресметува површината на пресекот, која потоа се множи со растојанието до соседниот профил, по следната постапка:

$$V_i = \frac{A_1 + A_2}{2} \cdot L; \quad V = \sum V_i$$

Каде што е: V_i - волумен на маса меѓу два профили (m^3);
 A_1, A_2 - површина на маса на два соседни профили (m^2);
 L - растојание меѓу профилите (m);
 V - вкупен волумен на наоѓалиштето (m^3).

По завршување на теренските истражувања следи фаза на лабораториски испитувања на хемиските и физичко-механичките својства и кабинетска обработка на податоците. Врз основа на деталните анализи на сите податоци се

издвојуваат **јалови** (неупотребливи) и **корисни маси** кај секое наоѓалиште, при што геолошките резерви се категоризираат во одредена **категирија на резерви**. За таа намена постојат точно пропишани критериуми во посебни Правилници, каде што корисната маса се класифицира во резерви од **А** до **Ц** категорија. Резервите од **А** - категорија според степенот на истраженост и познавање на сите потребни карактеристики се дефинирани на највисоко ниво со сите потребни параметри, додека **Ц** - категоријата на резерви се со најнизок степен на истраженост.

Во зависност од видот на карпестата маса, која се предвидува да се експлоатира, наоѓалиштата се нарекуваат **каменолом** ако се работи за цврсто сврзани карпести маси, **глиниште**, ако се тоа слабо сврзани разновидни глинести карпести маси или наоѓалиште за **чакал и песок**, ако се во прашање несврзаните материјали.

КАМЕНОЛОМИ

Под поимот каменолом се подразбира место, каде што се врши експлоатација на природен градежен камен. За почеток со експлоатација на некој каменолом е потребно да има доволно количество на корисна карпеста маса. Кај позначајните каменоломи треба да бидат обезбедени резервни за минимум 20-30 години експлоатација. Еден од условите за отворање и за економично работење е каменоломот да биде лоциран во близина на постојни **сообраќајници**. Ова е ограничувачки критериум, со оглед дека и најквалитетните материјали понекогаш не можат да се искористат, бидејќи се далеку од сообраќајниците, а ретко се исплатува инвестициското вложување во нови сообраќајници.

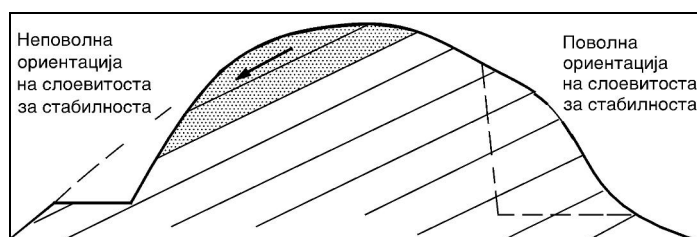
За да се пристапи кон организирана експлоатација треба да се извршат соодветни истражувања и испитувања, кои по својот карактер се вршат во три основни фази и тоа: **теренски** истражувања, **лабораториски** испитувања и изведба на **пробни каменоломи** (пробни минирања).

Со теренските истражувања треба да се дефинираат потребните карактеристики на карпестите маси и да се добијат сознанија за погодноста на конкретниот локалитет за експлоатација. Во прв ред се определуваат: потеклото и квалитетот на карпата, начин на појавување и распоред на масите, резерви на корисна карпеста маса, карактеристиките на „блочноста“ или изделеност на карпестата маса, распаднатоста на карпата, појавата на подземна вода и друго.

Со теренските истражни работи се земаат пробни тела на кои се вршат лабораториски испитувања и се определуваат физичко-механичките својства на каменот. Во лабораториски услови прво се определува потеклото и видот на карпата преку груба **макроскопска** оценка. Со тоа првично се проценува квалитет преку визуелно дефинирање на составот на карпата, степенот на физичко-механичката распаднатоста, застапеноста на тектонски пореметувања и друго. Потоа на специјално припремени примероци од карпата се вршат **микроскопски** и други лабораториски испитувања. Со тоа се добиваат подетални податоци за минералоскиот состав, состојбата на примероците, нивниот степен на зачуваност и друго, а прелиминарно се определуваат и некои физичко-механички својства на карпите.

За да се прогнозираат условите за експлоатација, многу е значајно добро да се определи **залегањето** на карпестите маси, односно нивната просторна и меѓусебна положба во теренот. Тие може да се појават како масивни, слоевити, шкрилести маси, во вид на жили или комбинирани. Сите начини на појавувањето, од практична гледна точка кај каменоломската експлоатација можат да имаат свои поволни и неповолни страни. Така на пример, **масивниот** начин на

појавување ја отежнува експлоатацијата, но од друга страна овозможува добивање на големи компактни блокови на карпи дава стабилни косини и стабилни подземни отвори. **Слоевитоста** ја олеснува експлоатацијата, но во одредени случаи може да влијае неповолно за стабилноста на косините на работните чела (Слика 13.20).



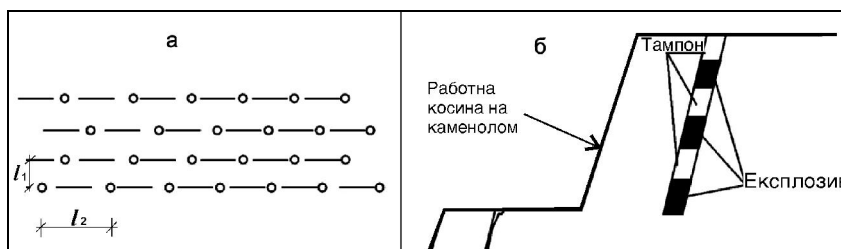
Слика 13.20 Приказ на поволна и неповолна ориентација на слоевитоста за стабилноста на работните косини

Треба да се истекне дека по должина на рамнините на слоевитост е олеснето движењето на подземните води, што исто така може да влијае неповолно кон условите за експлоатација. **Шкрилавоста** ја олеснува работата на терен, бидејќи најчесто овозможува ископување без употреба на минирање, но како појава е неповолна со оглед дека многу влијае на стабилноста на косините. **Испуканоста** има директно влијание врз квалитетот и експлоатацијата на градежниот камен. Од неа зависи големината на блокови, кои можат да се добијат од ископот, потребата од секундарно минирање, услови за дробење и др. Затоа, при проектирањето и разработката на каменоломот треба да се земаат во предвид сите параметри на испуканоста. **Подземната вода** има големо влијание врз експлоатацијата на каменот. Често ја отежнува и усложнува работата, со што го поскапува градежниот камен. Ако се работи за појава на поголеми дотоци на подземна вода, тогаш треба да се преземаат мерки за одводнување со цел работите да се изведуваат на суво.

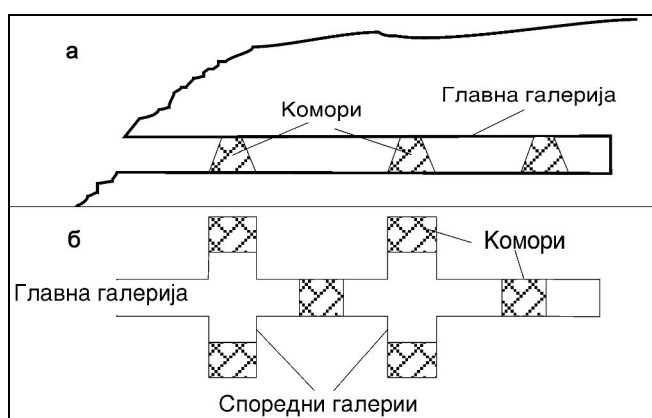
Ако со теренските истражувања и лабораториските испитувања се добијат поволни резултати, пред конечната одлука за отворање на каменоломот за индустриска експлоатација, се приоѓа кон изведба на **пробни каменоломи**, каде што се вршат неколку серии на пробни минирања. Пробните каменоломи служат за дефинирање на низа параметри, кои се потребни да ги знаеме пред конечното отворање на каменоломот како што се:

- избор на метода на минирање;
- определување на најдоброто растојание помеѓу минските дупнатини;
- гранулометрискиот состав на изминираниот материјал;
- чинење на единица волумен на изминираниот материјал.

Постојат две основни методи на минирање и тоа: **масовна и коморна**. Далеку поголема примена има масовната метода, додека коморната метода се употребува само во исклучителни случаи. Кај масовната метода претходно се врши дупчење на систем на дупнатини, до длабочина до која се планира да се изврши минирањето. По извршеното дупчење, во секоја дупнатина се става експлозив со детонатор, кој преку тампон (обично набиена глина) има електричен извод до една заедничка централа. Активирањето се врши по електричен пат во исто време (Слика 13.21). Кај **коморната** метода претходно се изведува една главна галерија во која на одредено растојание и нормално на таа се поставуваат попречни споредни галерии. Во секоја од овие галерии се формираат комори, кои всушност претставуваат одделни мински полиња (Слика 13.22).



Слика 13.21 Шема за масовна метода на минирање: а - приказ во хоризонтална проекција; б - пресек на една косина: l_1 - растојание меѓу мински редови; l_2 - растојание меѓу мински дупнатини.



Слика 13.22 Шема на коморна метода на минирање а - на профил; б - во план

Без разлика на применетата метода на минирање треба да се изврши повеќекратно палење со различни растојанија на минските полиња, со цел да се определи најрационалното растојание и најекономичната метода на ископ. По секое извршено минирање, материјалот се сепарира по големината на зрната и тоа на најчесто во фракции, кои се прикажани во Табелата 13.7.

Табела 13.7 Сепарирање на материјалот кај каменолом по фракции

Фракција	Дијапазон на големина на парчиња во одредена фракција (cm)
1	80 - 100
2	60 - 80
3	40 - 60
4	30 - 40
5	20 - 30
6	15 - 20
7	10 - 15
8	5 - 10

Мерејки ги и тежините на одделните фракции се определува гранулометрискиот состав на изминираниот материјал. Вака добиениот гранулометриски состав служи да ја дефинираме ефикасноста на избраната метода на минирање, како и растојанието меѓу минските полиња. Крајна цел е

определувањето на чинењето на 1 m^3 изминиран материјал, по кое конечно се усвојува методата за минирање и растојанието меѓу минските полиња при каменоломската експлоатација.



Кај наоѓалиштата на украсен камен, многу е значајно да се добијат камени блокови, кои треба да се минимално оштетени. Ова се постигнува со нивно сечење со помош на сајли, кои се поврзуваат со соодветна машина за сечење. (Слика 13.23).

Слика 13.23 Експлоатација на мермерни блокови од бел сахароиден мермер од наоѓалиште „Беловодица“ - Прилепско со сечење преку сајли (фото Д. Галески)

На овој начин можат да се добијат многу високи и вертикални чела на ископот кај одделните етажи и големи блокови, кои подоцна се сечат во плочи со различни димензии (Слика 13.24).

Ваквиот начин на експлоатација е можен кај мермерни и варовнички наоѓалишта со масивен и хомоген начин на појава, со оглед дека се составени од помек минерали, додека кај тврди карпи од тип на гранит, блоковите главно се одвојуваат со контролирано минирање или цепење.



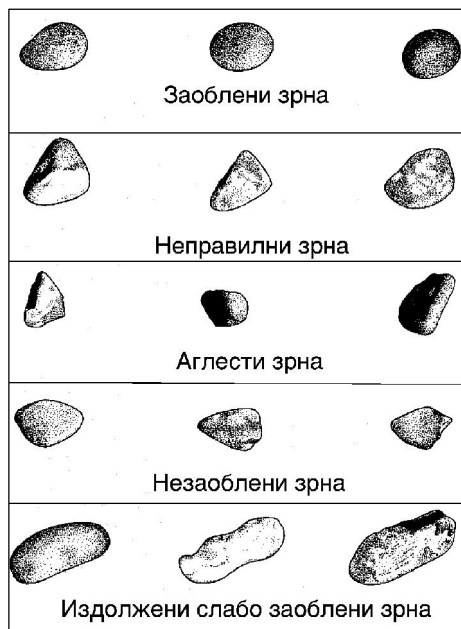
Слика 13.24 Изглед на ископ кај наоѓалиште „Беловодица“ - Прилепско и издвоени блокови со метарски димензии во преден дел на фотографијата (фото Д. Галески)

НАОЃАЛИШТА НА ГЛИНА

Наоѓалиштата на глина или глиништата се места од каде се експлоатира глинеест материјал. Тие се отвараат непосредно на местото на вградувањето на глината кај браните или пак до местата за преработка на глината за најразлични цели. Предност имаат наоѓалишта со поголеми резерви, воедначен состав и својства за определена намена и поблиску до преработувачките капацитети. Принципите на истражување на глиништата се слични како и кај каменоломите, со слични шеми на истражување и идентични методи на пресметка на вкупниот волумен на корисна маса.

НАОЃАЛИШТА НА ЧАКАЛ И ПЕСОК

Наслагите на чакал и песок, кои можат економично да се експлоатираат се наоѓаат најчесто по должина на речните долини. Најповолно е ако ваквите материјали се простираат на поголеми и широки речни рамници со поголема дебелина на овие наслаги, при соодветен гранулометриски состав за конкретна намена, полузаоблени зрна и хомоген минералошко-петрографски состав, кои се наоѓаат над максималното ниво на подземните води, без глина, тиња или растресит материјал.



Критериум за оценка на заобленоста на зрната е прикажан на Сликата 13.25. според Британските стандарди. Како и кај останатите наоѓалишта на природни градежни материјали и кај наоѓалиштата на чакал и песок е потребна примена на соодветни теренски и лабораториски испитувања. Можат да се применат истражувања преку истражни раскривки, дупнатини, окна и друго.

Слика 13.25 Критериуми за проценка на формата на чакалести зрната според Британски стандарди

Поповолни за експлоатација се наоѓалиштата на чакал со хомогена градба, без прослојувања на глини, тиња или органски остатоци. Бидејќи често се

наоѓаат во близина на некој постојни водотеци, при нивната експлоатација скоро по правило има влијание на подземните води. Во вакви случаи, секогаш треба да се посвети внимание на состојбата на стабилност на ископот, со цел да не се појават чести прекини во експлоатацијата.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Објасни каква е примената на карпите во градежништвото низ историјата!
- На кој начин можат да бидат употребени магматските карпи?
- На кој начин можат да бидат употребени седиментните карпи, а посебно глините и лапорецот?
- На кој начин може да бидат употребени метаморфните карпи со посебен осврт на мермерот?
- Објасни ја функцијата на природните материјали во една камено-насипна брана!
- Кои вредности на јакоста на притисок одговараат за агрегат за бетон и асфалт-бетон и која е дозволена вредност на абење по методата на Los Angeles? Кои се неповолните состојки во агрегат за бетон?
- Што подразбираш под поимот наоѓалиште на природен геолошки материјал?
- Со кои методи може да се изврши пресметка на резервите на корисна маса?

14 МЕТОДИ НА ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА

ВОВЕД

Поимот инженерскогеолошки **истражувања** и **испитувања** се однесува на постапки за дефинирање на својствата на теренот во зона на интеракција со вештачкиот објект во теренски или лабораториски услови. Една од дефинициите која често се користи за да се објаснат овие термини гласи: „Теренските истражувања се процес со кој се собираат релевантни информации за теренот, кој е предмет за изведба на некој инженерски објект и на неговата поширока околина. Делот на геотехнички истражувања се однесува на дефинирање на конкретните услови на подлогата на самата локација на некој објект“ (делумно модифицирано според Симонс и други, 2003).

Терминот испитувања, пак, се однесува на конкретни мерења на својствата на примероци од карпите во лабораториски услови или на делови од карпестите маси директно на терен (*in situ*). За да се согледа цената на релативното чинење на истражните работи, споредено со вкупната цена за изведба на објектите или темелите, одредени генерални податоци се прикажани во Табелата 14.1.

Табела 14.1 Споредба на чинење на истражните работи во однос на цена за изведба на објектот или цена за изведба на темелите во процентуални соодноси

Тип на објекти	Учество во цената на чинење на истражните работи во однос на вкупно чинење на објектот (%)	Учество во цената на чинење на истражните работи во однос на чинење на темелите за објектот (%)
згради	0,05 - 0,2	0,5 - 2
патишта	0,2 - 1,5	1 - 5
брани	1 - 3	1 - 5

Многу јасно се согледува дека цената за истражување скоро никогаш не претставува значаен товар на вкупната инвестиција, а придобивките се повеќекратни.

Обратно, ако не се изведат систематски истражувања, можни се голем број проблеми. За ова говорат извршените анализи на причините за рушењето на голем број објекти, при што е несомнено утврдено дека најчесто причините за лом лежат во погрешно или недоволно разјаснување на инженерскогеолошките услови на теренот, а не во конструктивни решенија или вградените материјали во конструкцијата.

Затоа е најдобро кога истражувањата се прават систематски врз основа на релевантни детаљни програми за истражување. Тогаш, проектирањето на објектите се прави врз основа на сигурни податоци, а во фаза на изведба поретко се јавуваат непредвидени услови. Доколку пак, се проектира според податоци кои се добиени преку неадекватно изведени истражувања, тогаш најчесто се појавуваат големи проблеми во фаза на изведба од технички и економски аспект.

Според тоа мора да се знае дека штедењето на средства за истражувања е **лоша економска и инженерска политика**. Всушност, прашањето на квалитетни истражувања и испитувања е едно од најзначајните, ако не и најзначајно во

современото геотехничко инженерство. Ова се потенцира, бидејќи современите алатки и нумеричките методи имаат скоро безгранични можности за анализа и на најсложени проблеми, но, без реални влезни параметри за својствата на подлогата каде се изведуваат објектите, нема да дадат реални податоци за однесувањето на објектот и теренот.

Затоа, во рамките на ова поглавје се прикажани најзначајните аспекти поврзани со методите на истражувањата, принципите за нивно програмирање и начините за презентација на резултатите од истражувањата.

МЕТОДИ НА ТЕРЕНСКИТЕ ИСТРАЖУВАЊА

Теренските истражувања треба да се вршат применувајќи ги принципите на постапност и редоследност. Како прва фаза при секое истражување е детаљна анализа на постојната документација и резултатите од **претходните** фази на истражувања и испитувања. Правило е некои теренски методи да претходат и да служат како основа за програмирање на испитувањата кои се прават во подоцните фази на проектирање. Најчесто применувани теренски истражувања во почетните фази на анализа се: методите на **далечинска детекција**, **инженерскогеолошко картирање** и **геофизичките методи**. Понекогаш, некои истражувања можат да се вршат и паралелно. Тие се нарекуваат и **индиректни** истражни методи, бидејќи без навлегување во длабина на теренот, се прогнозира неговата градба и својства. Овие истражни постапки се релативно ефтини, а резултатите од нив се основа за проектирање на поскапите или **директните** истражни методи.

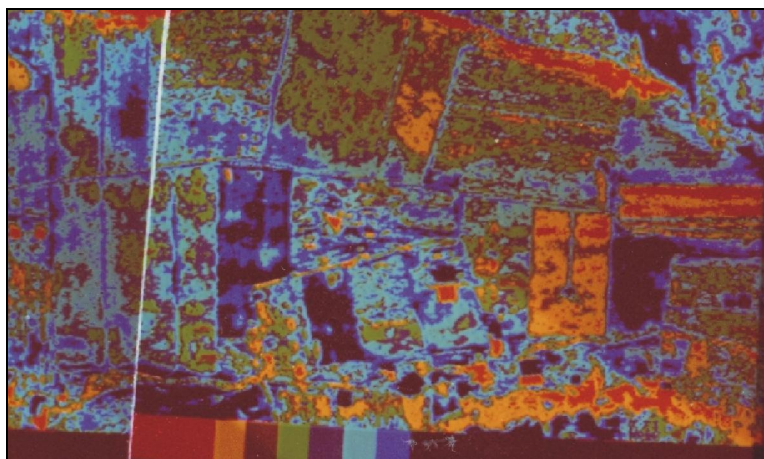
МЕТОДИ НА ДАЛЕЧИНСКА ДЕТЕКЦИЈА

Далечинската детекција е метода на анализа на аерофотографии, сателитски снимки или сканограми, инфрацрвени фотографии и друго. Со помош на овие методи можат да се добијат податоци за: главните геолошки структури на теренот, структурни податоци за теренот пред картирањето, елементите на пад на геолошките структури кај стрмни терени и неистражени подрачја, структурните форми кои можат да се забележат на терен тешко како: големи пукнатини, раседи, вулкански центри, слоевитост, стари свлечишта и сипари и др. Еден пример за аерофотографија на која јасно се издвојуваат пролувијални седименти е прикажан на Слика 14.1.



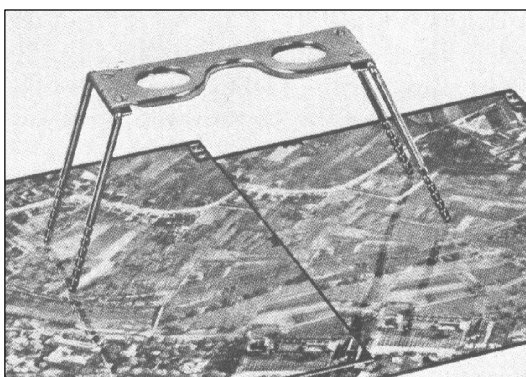
Слика 14.1 Аерофотографија на која јасно се гледаат пролувијални седименти во форма на лепеза (преземено од Н. Думурџанов, 2005)

Аерофотографиите со посебна обработка можат да се прикажат и во вид на **инфрацрвени** фотографии, на кои јасно се забележува одреден спектар на бои. Ваквите инфрацрвени фотографии се посебно погодни за детекција на потенцијално нестабилни терени, геотермални полиња и слично (Слика 14.2).



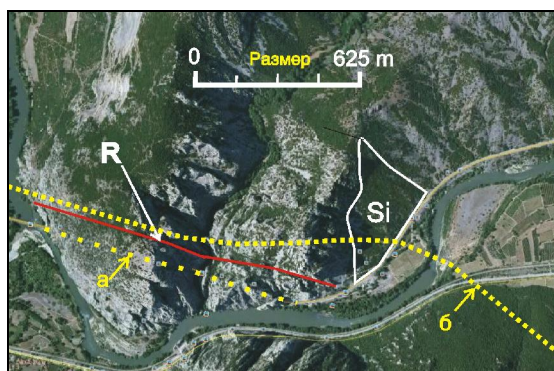
Слика 14.2 Пример на процесуирана и тематски обработена аерофотографија за свлечиште Черевик во Р Хрватска

Со анализа на аерофотографиите на брз начин се собираат многу геолошки податоци за големи површини без да се оди на терен. Подоцна, претпоставките за градбата на теренот добиени со далечинската детекција се проверуваат со контрола директно на терен, користејќи ги методите на **геолошко картирање**. Најчесто, за геолошки истражувања се користат аерофотографии со мерка 1 : 30 000 до 1 : 40 000, кои опфаќаат терен со површина 30 - 50 km². При снимањето од воздух, секоја точка на теренот е снимена два пати од две различни места. Соседните аерофотографии се нарекуваат **стереопар**. Кога ќе се постават тие една до друга и кога едното око ја гледа само едната слика, а другото само другата слика, се добива **тридимензионален** модел на теренот, односно **стереомодел**. **Стереоскопот** е основен инструмент што се употребува за тридимензионално гледање на аерофотографиите. Конструиран е врз принцип на одбивање или прекршување на светлината, на тој начин што едното око ќе гледа само една слика и може да биде џебен или кабинетски (Слика 14.3).



Слика 14.3 Џебен стереоскоп

Во денешно време, големи погодности за брза анализа нудат сателитските снимки (Слика 14.4). На сателитските снимки релативно јасно може да се утврди позицијата на глобалните тектонски структури и односите меѓу главните литолошки и тектонски единици.



Слика 14.4 Сателитска снимка на терен во близина на Демир Капија; а - постојна патна лента; б - проектирана нова автопатска лента; R - расед; Si - сипаришни творби.

Методите на далечинска детекција добиваат на значење ако се проследени со добра фотогеолошка анализа, што подразбира пренесување на податоците од аерофотографските снимки врз топографска карта или геолошка подлога, интерпретација на геолошката градба и други детали. Овие постапки главно се применуваат при фазите на геолошкото картирање, а се од голема помош и при инженерскогеолошките истражувања.

МЕТОДИ НА ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКО КАРТИРАЊЕ

Методите на инженерскогеолошко картирање се применуваат во сите фази на истражување, проектирање и изведба на објектите. Најчесто во почетните фази на проектирањето се изведува т.н. инженерскогеолошка **проспекција** во поситни размери. Под овој поим се подразбира првичен увид во состојбата на теренот, кој е предвиден за градба. При тоа, се регистрираат најзначајните својства и состојби на теренот.

По проспекцијата, следи детално инженерскогеолошко картирање, кое е основа за проектирање на истражните работи, подготовка на проектни програми за истражување и слично. Деталното картирање се изведува во повисоките нивоа на проектирање, но и во фазата на изведба на објектите. За таа цел посебна теренска екипа излегува на терен и врши регистрација на сите потребни геолошки и инженерскогеолошки процеси и појави, литолошката и тектонската градба, својствата, состојбата на теренот и друго. Овие податоци се нанесуваат на геодетски подлоги во соодветна мерка, во зависност од деталноста, која е потребна за секоја фаза на проектирањето за секој објект. По извршеното прибирање и средување на податоците се изработуваат геолошки и инженерскогеолошки карти и профили.

ГЕОЛОШКИ КАРТИ

Геолошката карта претставува основен и најзначаен геолошки документ. По дефиниција геолошката карта е графички приказ на геолошката градба и други појави на површината на одреден терен прикажани на соодветна топографска односно геодетска основа. Геолошките карти се делат по повеќе критериуми, од кои најзначајна е поделбата според **мерката, содржината, намената** и др.

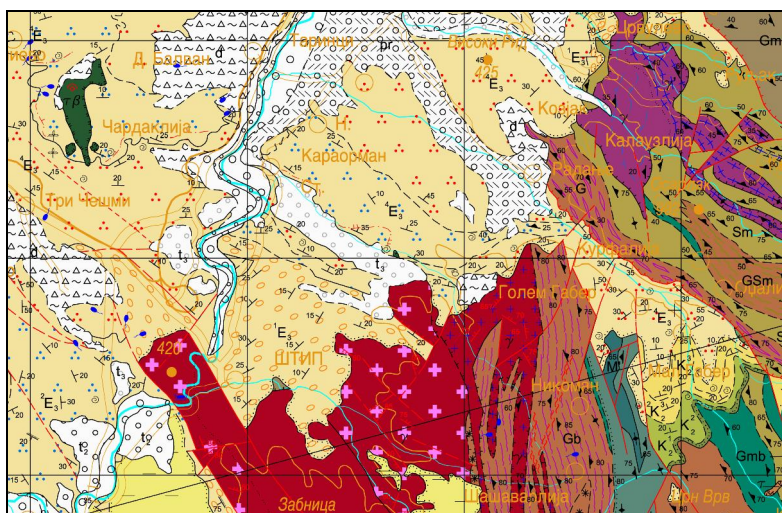
Според мерката (размерот) во која се изработуваат геолошките карти се делат на **карти со мала, средна и крупна мерка**. Геолошки карти со мала мерка

се работат од мерка 1 : 100 000 и помала (1 : 200 000, 1 : 500 000 и др). На нив се прикажува геолошката градба на поголеми области, држави, континенти или на целата Земјина површина, па затоа понекогаш се нарекуваат и прегледни карти. Геолошки карти со средна мерка се изработуваат со мерка поголема од 1 : 100 000, а помала од 1 : 10 000. Геолошки карти со крупна мерка се со мерка 1 : 10 000 и поголема (1 : 5000; 1 : 2 500; 1 : 1 000; 1 : 500 итн.). Се нарекуваат и **геолошки планови** и на нив се прикажува геолошката градба на помали подрачја. Содржински и наменски, најчесто претставуваат **специјални карти**.

Елементите на геолошката карта се состојат од границите меѓу литолошките единици, структурни знаци, симболи, бои, штрафури, знаци за инженерскогеолошки, хидрогеолошки, геоморфолошки и други појави. **Границите** на геолошката карта ги ограничуваат геолошките единици. **Симболите** за означување на единиците се елементи на геолошката карта, кои се ставаат за секоја поголема површина на единицата. **Знаците** за структурните елементи се исцртуваат со цел да се согледаат и разберат структурите на геолошката карта. **Боите** на геолошките карти се комбинираат со литолошките знаци со цел да се овозможи поочигледен приказ на издвоените единици. Значаен елемент кај геолошките карти претставува **литолошката штрафура**, која се исцртува паралелно со слоевитоста и фолијацијата.

Секоја геолошка карта е пропратена со соодветна **легенда, профили, столбови** и други содржини со кои се овозможува подобро толкување на картата. **Легендата** се состои од дел во кој се прикажуваат картираните единици, дел за стандардните структурни знаци, основните инженерскогеолошки, хидрогеолошки и геоморфолошки појави и др. Во легендата со помош на боја, симбол и штрафура се прикажуваат геолошките единици. Вообичаено секоја легенда содржи краток текстуален опис за најважните својства на единиците. Најгоре се прикажуваат најмладите единици, а најдолу најстарите единици.

Според **содржината и намената** геолошките карти се делат на **комплексни** и **специјални**. На комплексните геолошки карти се прикажува положбата на површина на различни карпи и стратиграфски единици, тектонските елементи, основните хидрогеолошки и инженерскогеолошки карактеристики, појави на минерални суровини и др. (Слика 14.5).

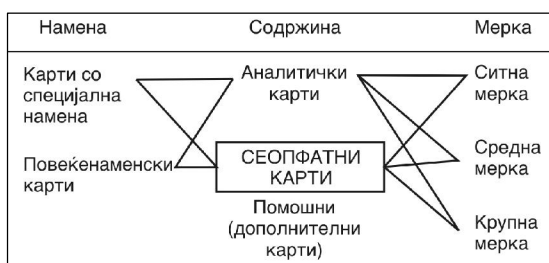


Слика 14.5 Дел од основната геолошка карта, лист Штип, 1 : 100 000

Специјалните геолошки карти се изработуваат наменски кај одделните геолошки дисциплини. Тука може да се вбројат: **тектонски карти** на кои се прикажува тектонската градба на теренот, структурните елементи и форми и меѓусебниот однос на различните геотектонски единици, **неотектонските карти** што содржат податоци за раседните структури и основните тектонски блокови создадени со движења од неотектонската етапа, **сеизмотектонска карта** со приказ на главните сеизмички активни раседи, епицентри на случените земјотреси и нивна магнитуда и други. Треба да се спомнат и **хидрогеолошките карти**, каде што се прикажува распоредот на хидрогеолошките комплекси, параметрите на изворите и изданските зони, правците на движење на подземните води и др. Овие карти претставуваат основа за истражување на питките, минералните, термоминералните и геотермалните води. На **картите на минерални суровини** и наоѓалишта на **градежни материјали** се претставуваат рудните појави и наоѓалишта на металични, неметаличните минерални суровини и каустобиолити. **Картите на дебелина на слоевите**, пак, се карти каде што со помош на изолинии се поврзуваат исти дебелини на слоевите, а најчесто се изработуваат за прикажување на дебелината на рудното тело, надслој од јалов материјал и друго.

ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ КАРТИ

Инженерскогеолошките карти се комплексни повеќенаменски карти од сложен тип со синтетна содржина. Кога се вршат регионални истражувања, се состојат од една општа (основна карта) и редица специјални карти. Според препораките на IAEG издадени од страна на UNESCO, поделбата на инженерскогеолошките карти се прави според шема на слика 14.6.



Според препораките на IAEG издадени од страна на UNESCO, поделбата на инженерскогеолошките карти се прави според шема на слика 14.6.

Слика 14.6 Поделба на инженерскогеолошките карти според Водичот за подготовка на инженерскогеолошка карта издадена од страна на UNESCO

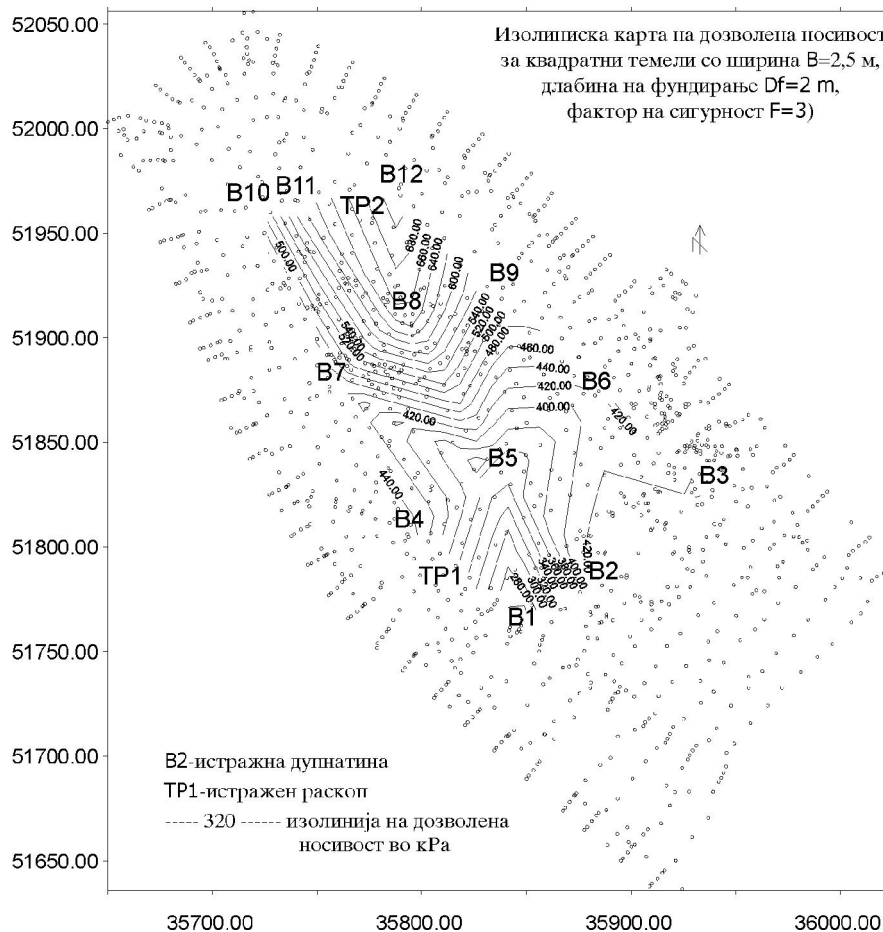
Примери на инженерскогеолошки карти за различни намени се прикажани на следните слики. За инженерски намени се посебно корисни т.н. **изолиниски карти**, на кои во хоризонтална проекција се дава приказ со изолинии по важни параметри за проектирање, како карти на: носивост, наклони на терен, дебелина на распаднат материјал над основна карпа и др. (Слика 14.7).

Изборот на податоците, начинот на нивното прикажување и начинот на анализата зависат од: видот на проектот, условите за градењето и користењето на различни градежни објекти, намената и оценката на условите за користење на просторот во просторното и урбанистичкото планирање, проблеми поврзани со експлоатација на минералните суровини и другите геолошки ресурси, услови за заштита од природни геолошки и техногени хазарди, зачувување и заштита на геолошката средина и др.

На инженерскогеолошките карти, исто така, се прикажуваат податоци за: геолошката градба на теренот, основните морфолошки и хидролошки карактеристики на теренот, својствата кои се значајни за проценка на јакоста, деформабилноста и филтрационите карактеристики на карпестите маси, современите ендегени и егзогени процеси и појави, влијанијата на инженерските

МЕТОДИ НА ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА

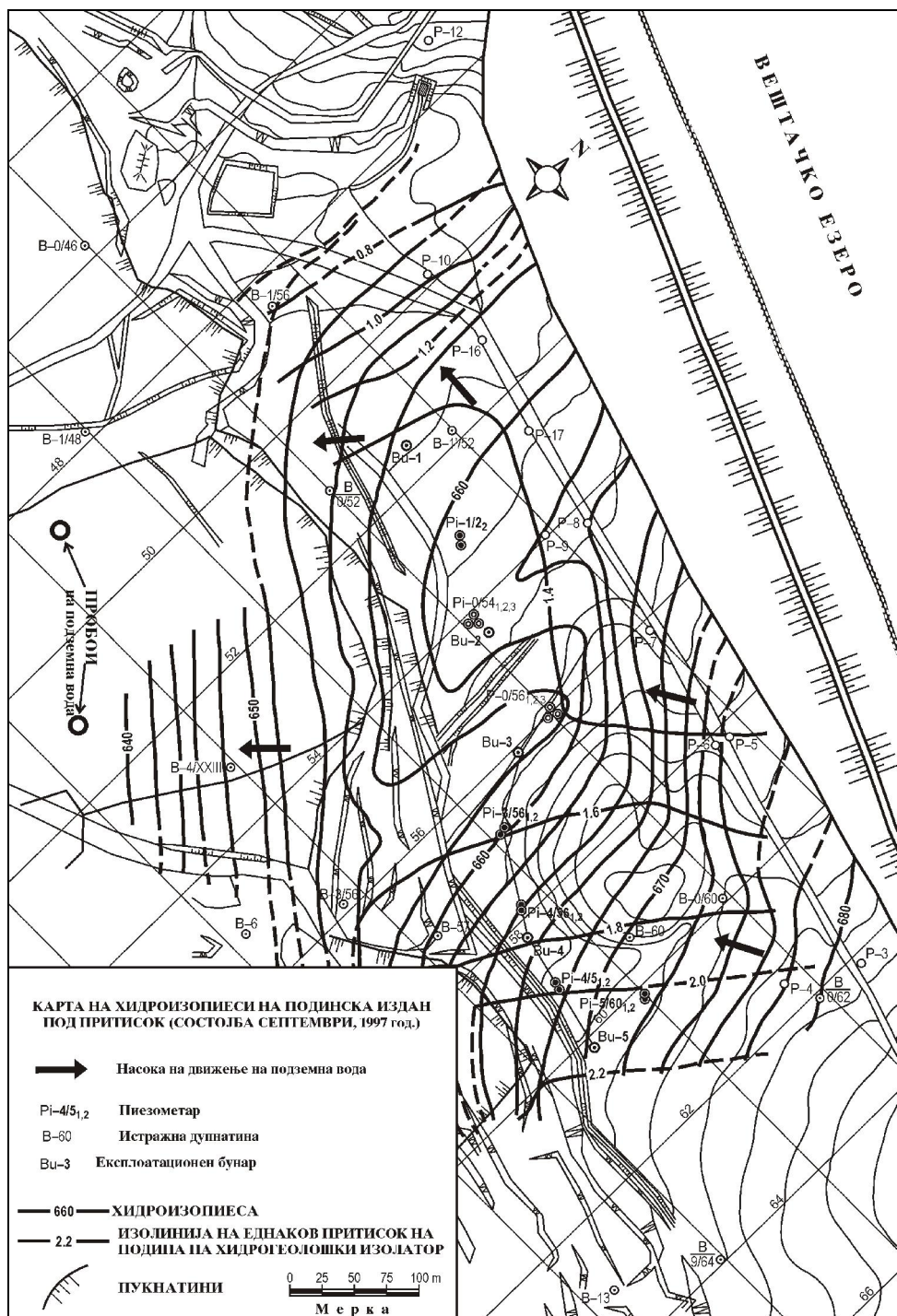
интервенции врз геолошката средина и др. Многу се значајни картите на кои се претставуваат хидрогеолошките податоци кои се значајни за дефинирање на интеракцијата на теренот со вештачките објекти и инженерските работи (Слика 14.8).



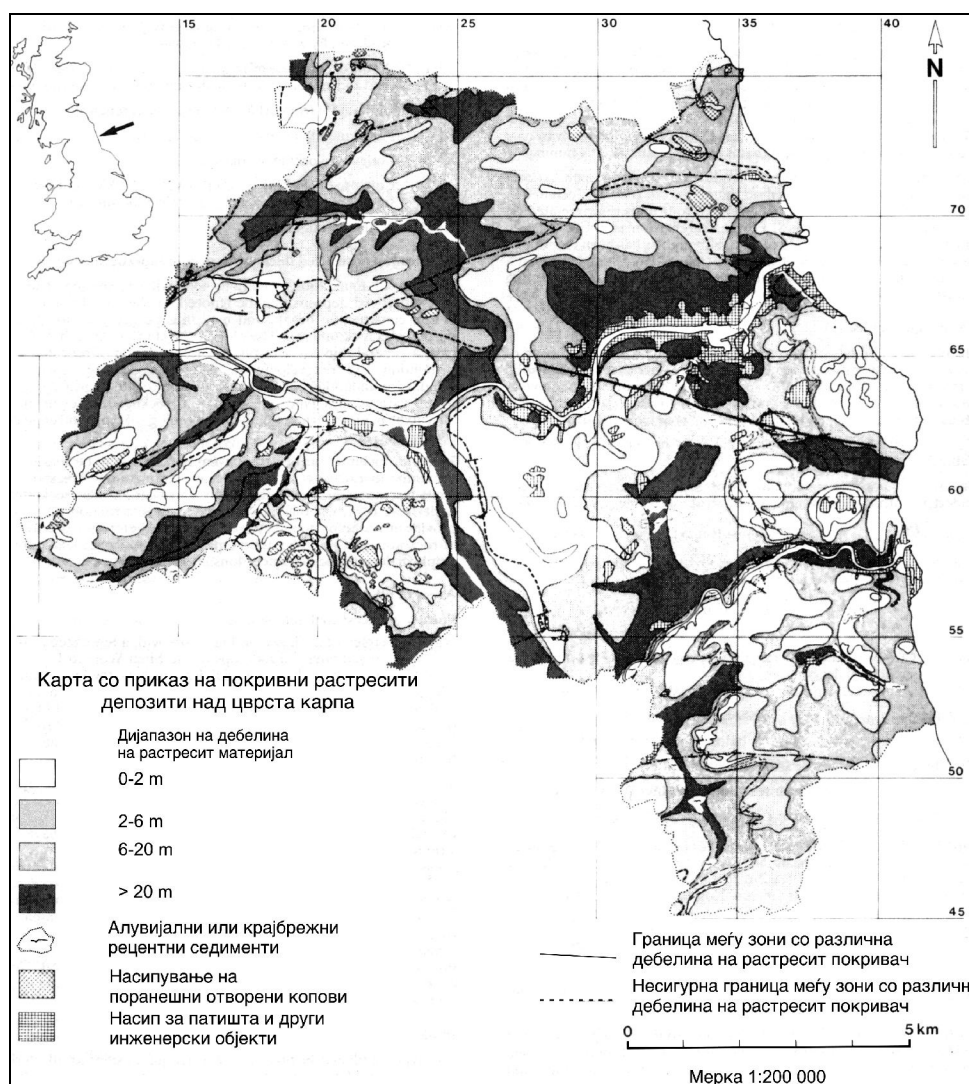
Слика 14.7 Изолитиска карта на носивост на теренот за локација предвидена за градба на локалитет во близина на Скопското Кале

Инженерскогеолошките карти се подлога за решавање на голем број инженерски проблеми и тоа: изработка на просторни планови за државата, региони и единици на локална самоуправа, водостопански основи и студии, генерални проекти на инфраструктурните системи како патишта, железнички пруги, магистрални гасоводи, далеководи, проекти на хидротехничките, индустриските и другите објекти.

Секоја инженерскогеолошка картата се надополнува со инженерскогеолошки профили и столбови, текстуален толкувач со негови табеларни, графички, фотографски и други видови прилози. При картирањето се собираат податоци за различни геолошки и инженерскогеолошки процеси и појави во вид на т.н. **катастар** за свлечишта, одрони, ерозија и друго.



Слика 14.8 Специјална карта на хидроизописи и изолинии на ист притисок на подина на изолатор за СИ дел од површински коп за јаглен, Суводол - Битола



Слика 14.9 Карта со приказ на дебелина на растресити и распаднати материјали над основна карта (Дирман,1979)

Всушност, може да се каже дека инженерскогеолошката карта е **незаменив документ** и подлога за изработка на рационални проектни решенија, а во голем број случаи дава најдрагоцен податоци за правилна изведба и експлоатација на објектите од градежен и рударски карактер.

ГЕОЛОШКИ ПРОФИЛ

Геолошкиот профил претставува приказ на геолошката градба на теренот во длабина по одреден пресек. Најчесто се изработуваат т.н. вертикални пресеци, а поретко можат да се припремат и коси или хоризонтални пресеци. Треба да се спомне дека геолошките профили претставуваат поедноставена претстава на вистинската геолошка градба, односно графички модел на теренот. Точноста и

реалноста на профилот се зголемува со детаљноста на истражувањата, растојанијата меѓу дупнатините и др. Најчесто геолошките профили се делат на:

- недокументирани кои се изработуваат само врз основа на геолошки податоци од картата;
- документиран, во кои покрај податоци од картата се внесуваат и податоци од истражни дупнатини, од јамски работи и од геофизички испитувања;
- прогнозни профили изработени за одреден терен, со кои се прогнозира геолошката градба во вертикален пресек.

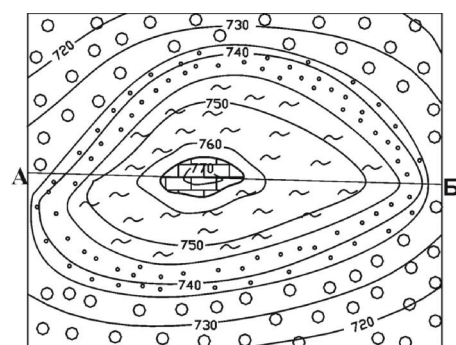
Геолошките профили, вообичаено се изработуваат во ист размер со геолошката карта. Само понекогаш, посебно при конструкција на профили по должина на сообраќајна инфраструктура можат да се изработат во два размера. По хоризонтала најчесто останува мерката на картата, а во вертикала се избира поголема мерка. Во таков случај се добива нереален топографски и геолошки профил, каде што дел од геолошките елементи може да претрпат значителни девијации.

При конструкција на секој геолошки профил се применуваат неколку фази и тоа: избор на профилска линија, изработка на топографски профил, нанесување на геолошките податоци на профилот и опремување на профилот.

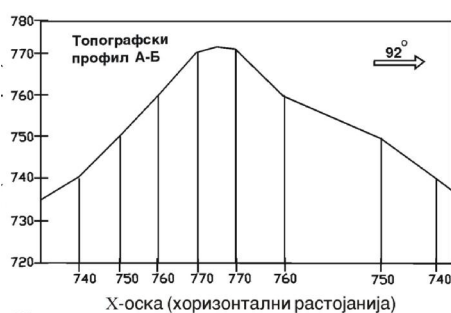
Профилската линија е пресек на некоја линија со Земјината површина. Кај регионалните геолошки истражувања се избира линија со која на најрепрезентативен начин ќе се опфатат литолошките единици или за која има геолошки информации добиени преку истражни дупнатини, геофизички мерења и др. Кај конкретните инженерски објекти, профилите обично се поставуваат во осовина на објектот или напречно на него. На пример, се конструира профил по осовина на брана, тунел, сообраќајница и сл. Според ориентацијата најчесто се разликуваат: **надолжен** геолошки профил, кој се поставува по протегањето на единиците или по должина на објектот, **дијагонален** геолошки профил, кој ги сече геолошките единици или објектот дијагонално и **напречен** геолошки профил кој се поставува напречно на протегањето на единиците или напречно на објектот. Понекогаш, посебно кај линиските објекти се прават и **прекршени геолошки** профили кога протегањето на единиците или ориентацијата на објектот се менуваат.

Конструкцијата на геолошките профили се врши во еден правоаголен координатен систем X-Y. На X-оската се прикажуваат хоризонтални растојанија пренесени од топографска основа, додека на Y-оската се ставаат висинските растојанија дефинирани со соодветни коти на теренот. При изработка на профилите се применуваат неколку чекори (Слика 14.10).

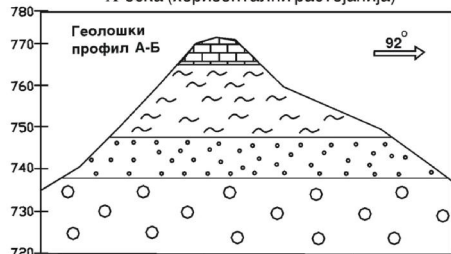
Во **првата фаза** на геолошката карта се нанесува профилската линија. Потоа, на лист хартија се конструира координатниот систем, при што на хоризонталната оска се извлекува профилската линија со иста должина како и на картата. На неа се нанесуваат со црточка и вредноста на сите изохипси кои ги сече линијата. Во **втората фаза** на крајот од двете страни, профилската линија се ограничува и обележува со крајните точки и на нив се извлекуваат вертикални линии. На вертикалите се конструира размерот за геолошкиот профил кој најчесто е ист со размер на геолошката карта. На сите пресеци со изохипсите од хоризонталната оска, по вертикала се издигнува соодветната кота. Пресекот на секоја изохипса обележена на профилската линија со соодветната изохипса на вертикала се обележува со точка и со поврзување на сите тие точки се добива топографскиот профил.



Фаза 1: Извлекување на профилска линија А-Б на геолошката карта



Фаза 2: Конструкција на топографската линија на теренот



Фаза 3: Прикажување на геолошката градба на профилот



Слика 14.10 Приказ на основни фази за изработка на едноставен геолошки профил со конструкција од геолошка карта

По изработката на топографскиот профил, на него се нанесуваат геолошките податоци (геолошките граници, раседи, податоци за ниво на подземни води и друго). Пресеците на геолошките единици со профилската линија се проектираат на топографскиот профил. Притоа, се води сметка во која насока паѓаат геолошките единици и раседните структури.

Поради ефектот на пресек, само кога профилската линија е нормално извлечена на протегањето на системската испуканост, слоевитоста или фолијацијата, тогаш на профилот се нанесуваат мерените падни агли на слоевитоста, единиците, раседите и др. Под кој било друг агол на пресек може да

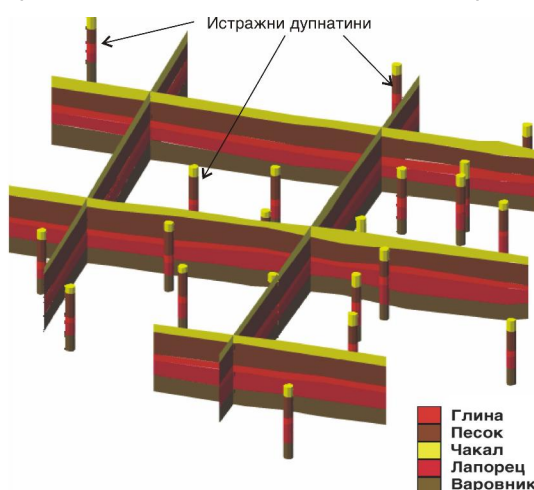
се нанесе само привидниот паден агол на структурите. Секогаш кога постојат геолошки информации од истражни дупнатини, раскопи и слично, а кои се пресекуваат со профилот, тие се вклопуваат на геолошкиот профил. Ориентацијата на профилот се означува со стрелка во горниот десен дел со испишан азимут, што важи и за секое прекршување по должина на профилската линија. Профилот кај карактеристични пресеци (места, реки и коти и друго), се обележуваат со вертикална црткана линија и хоризонтален натпис над профилот.

Геолошките профили како и геолошките карти се дополнети со легенда и други елементи, со што се овозможува максимална прегледност и јасен приказ на геолошката градба на теренот. Легендите за профилите се изработуваат по ист принцип како на картата.

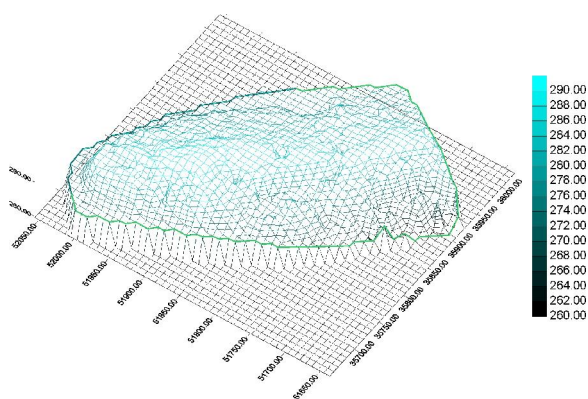
БЛОКДИЈАГРАМ

Блокдијаграмот е специфичен геолошки документ, каде што се врши поврзување на податоците од картата со профилите. На блокдијаграмите се прикажуваат елементи во вертикален пресек и во хоризонтална положба. Со други зборови, блокдијаграмот претставува дводимензионално прикажување на тродимензионалниот изглед на теренот.

Постојат различни видови на блокдијаграми, но најдобар приказ се добива преку **коморни блокдијаграм** (Слика 14.11). Во денешно време, постојат различни софтверски пакети со кои се овозможува изработка на **тридимензионални модели**, каде може да се претстават различни содржини (Слика 14.12).



Слика 14.11 Пример за коморен блокдијаграм



Слика 14.12 Дигитален тридимензионален модел на терен конструиран со програм, SURFER

ГЕОФИЗИЧКИ МЕТОДИ

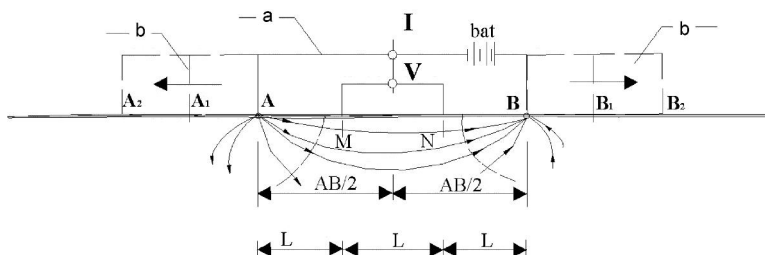
Геофизичките методи детаљно ги изучува посебна наука која се нарекува **геофизика**. Суштината кај овие истражувања е што се мери определено физичко поле на Земјата со цел да се регистрираат разни **аномалии** на мерените вредности во теренот. Детектираните аномалии подоцна се доистражуваат со методи на дупчење или изработка на поткопи, со цел да се потврдат причините за нивната појава. Користејќи го овој принцип, со геофизичките методи можат да се изучуваат: просторната положба на карпестите маси и нивната состојба, индиректно се проценуваат физичко - механичките својства на карпестите маси, нивоата на подземните води и нивното движење, геолошките процеси и појави и друго. Со нив се надополнуваат податоците од геолошкото картирање, а можат да се добијат и подетални сознанија за градбата, својствата и состојбите на теренот воопшто. Се користат и за правилно лоцирање на истражните дупнатини, истражни галерии, пробни полиња за минирање и друго. Значајно е да се спомене дека сите геофизички полиња се резултат на природните својства на карпите, но може да бидат и вештачки предизвикани.

Во зависност од методите за регистрација на физичките полиња, развиени се: **геоелектрични, сеизмички, гравиметриски, магнетни, радиометриски** и други методи. Од сите нив, во геотехниката се користат најчесто геоелектричните и сеизмичките методи кои се користат за решавање на инженерски проблеми. Поради тоа, во склоп на геофизиката се издвојува посебна дисциплина, која се нарекува **инженерска геофизика**.

Сите геофизички методи имаат свои предности и недостатоци. Како предности се истакнуваат: брзата изведба, зафаќање на поголеми пространства и длабини со испитувањата, економичноста и олеснетата изведба, поради портабилноста на опремата. Негативна страна е што резултатите треба да се земат со определена резерва, бидејќи во карпестите маси се секогаш анизотропни, нехомогени и испукани, што отстапува од претпоставените теории на континуална и еластична средина, на која се засноваат геофизичките методи.

ГЕОЕЛЕКТРИЧНИ МЕТОДИ

Овие методи се засновани на мерење на разликите во електричните карактеристики, кои ги поседуваат различните карпи. Имено, секоја карпа поседува одреден специфичен електричен отпор (ρ), сопствен потенцијал, електропроводливост, електрицитет и слично. За мерење најчесто се користи систем од четири електроди, од кои две се емисиони електроди (A и B), а две се приемни (M и N). Во емисионите електроди се пушта (емитира) електрична струја во теренот, а во приемните електроди се врши мерење на електричниот отпор, електричниот потенцијал или некоја друга електрична големина (Слика 14.13).



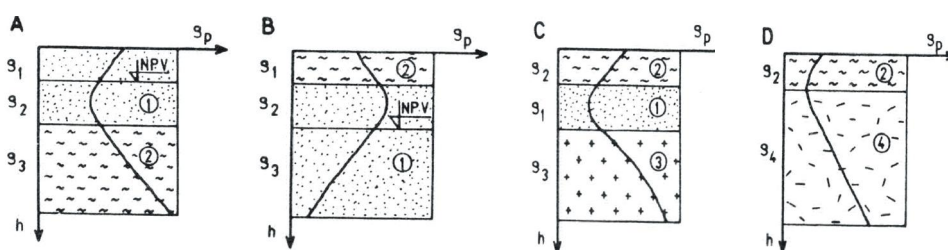
Слика 14.13 Принцип на методата на специфичен електричен отпор (а) и геоелектрично сондирање (б)

Ако во електродите А и В, се пушти електрична струја со јачина I и се измери напонот V , на другите електрични сонди М и N, за дефинирано растојание L , се добива основниот израз за дефинирање на специфичниот електричен отпор:

$$\rho = (V / I) * 2\pi L(\text{Ohmm})$$

Постојат повеќе начини на мерење на отпорот, како: **геоелектрично сондирање** и **геоелектрично картирање**. Геоелектричното сондирање се заснова на принцип на симетрично зголемување на растојанието меѓу емисионите струјни електроди, а без да се менува центарот на системот. Геоелектричното картирање, пак, се заснова на константен распоред на електродите, кои транслаторно се поместуваат по должина на испитуваниот профил. За зголемување на длабината на испитувањата се врши зголемување на меѓусебното растојание на електродите и се зголемува и јачината на електричната енергија.

Преку анализа на мерените податоци може да се претпостави дебелината на карпите со различни електрични карактеристики, положбата на нивото на подземна вода и други параметри. За таа цел се конструираат дијаграми на зависност на геоелектричните параметри во однос на испитуваната длабина од тип $\rho_p=f(h)$ (Слика 14.14).



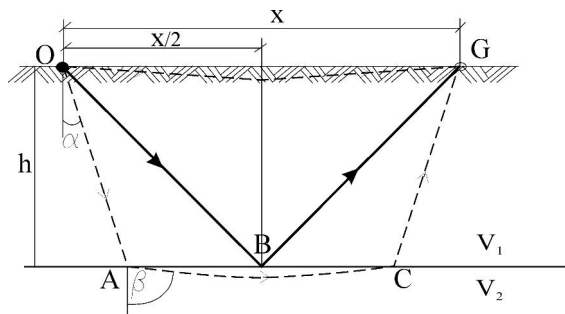
Слика 14.14 Различни дијаграми на специфичен електричен отпор (ρ_p) во зависност од длабината (h), составот на теренот и нивото на подземна вода (NPV)

Геоелектричните методи се посебно погодни кога треба да се определи дебелината на растреситиот деградиран покривач во речните долини и на падините, дебелината на насипани материјали, зони на карстификација, дебелина и длабина на водоносните слоеви, положба на водонепропустни карпи, раседни или здробени зони и слично.

СЕИЗМИЧКИ МЕТОДИ

Сеизмичките геофизички методи се засноваат на мерење на брзината на простирање на еластичните сеизмички бранови низ теренот (Слика 14.15). На сликата е прикажан случај на два хоризонтални, хомогени и изотропни слоја кои се карактеризираат со различни брзини на движење на лонгитудиналните бранови V_1 и V_2 , при што $V_2 > V_1$. При испитувањето во една точка се врши **предизвикување** на еластични сеизмички бранови додека во поголем број други точки се врши мерење на времето на **пристигнување** на предизвиканите бранови со инструменти за регистрација, кои се нарекуваат геофони. Ако на одредено растојание (x) од точката на предизвикување на брановите (O) се

постават инструменти кои се нарекуваат **геофони** (G) за регистрација на времето на доаѓање на сеизмичките бранови, мерејќи го времето (t) од предизвикување на удар до негова регистрација, може да се пресметаат брзините на движење на брановите.



Слика 14.15 Приказ на простирање на сеизмички бранови за случај на два хоризонтални слоја со патеките на движење: O-G-директни бранови; O-B-G-рефлектирани бранови; O-A-C-G-рефракциски бранови

Побудувањето на брановите, може да биде предизвикано од земјотрес, минирање, удар или друг извор. Во принцип, колку е карпата посвежа, неиспукана и со поголема густина, толку побрзо ги пренесува сеизмичките бранови од местото на побуда до местото на регистрација на бранот. Така, брзината на простирање на сеизмичките бранови низ карпата се определува по следната формула:

$$V = \frac{x}{t} \text{ (m/s) - мерена брзина}$$

Од теоријата на еластичност за брановидното движење е познато дека брзината на распространувањето на еластичните сеизмички бранови е во функција од густината (ρ) на карпата и еластичните константи на карпата, преку следните формули:

$$V_p = \sqrt{\frac{E_d \cdot m(m-1)}{\rho \cdot (m+1)(m-2)}}; \quad V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}; \quad \frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2(m-1)}{m-2}}; \quad V_p > V_s$$

Каде што е: V_p - брзина на надолжните бранови (m/s);

V_s - брзина на напречните бранови (m/s);

E_d - динамички модул на еластичноста (MPa);

G - модул на лизгање (MPa);

m - Поасонов број;

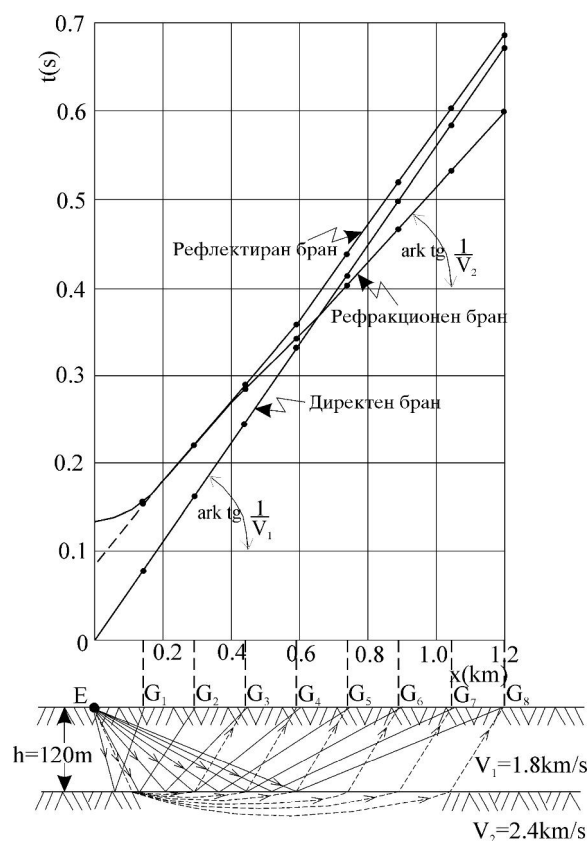
$\rho = \gamma / g$ - специфична маса;

γ - волуменска тежина (kN/m^3);

g - забрзување на земјината тежа (m/s^2)

Ако се искористат податоците од мерење на повеќе геофони може да се конструираат дијаграми, кои се нарекуваат **ходохрони** (Слика 14.16).

На ходохроните, на хоризонталната оска се прикажува растојанието меѓу точките каде се поставени геофоните, додека на вертикалната оска се прикажува измереното време на пристигнување на сеизмичкиот бран.

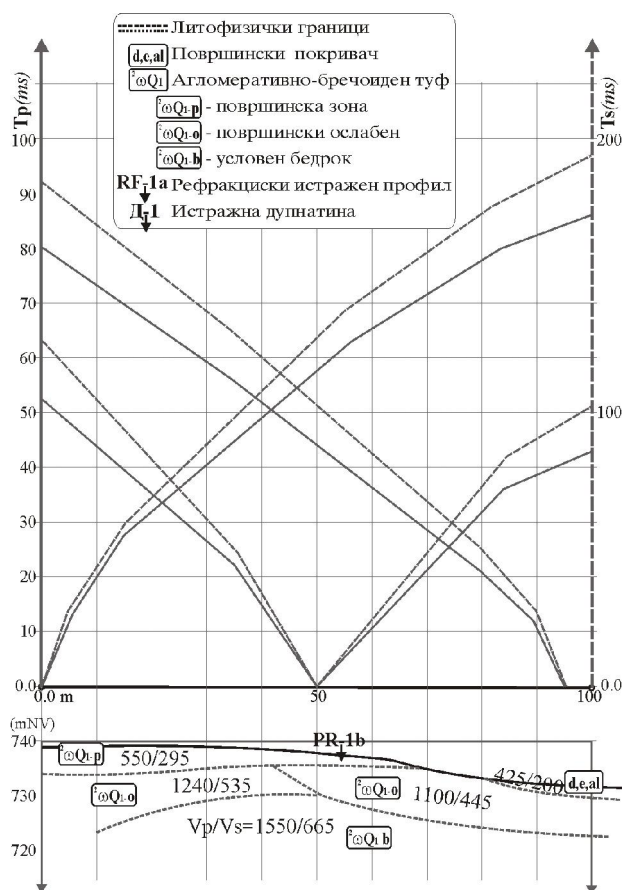


Слика 14.16 Шема на испитување со начин на побуда на бранови во точка Е и места на регистрација на време на наидување на сеизмички бран во повеќе точки, каде што се поставени геофони за регистрација на времето (t_s) на надоаѓање на брановите (G_1 до G_n)

Основните принципи на простирање на брановите се засновани на физичките закони на прекршување односно **рефракција** и одбивање односно **рефлексија**, како и кај светлосните бранови. До рефлексија на еластичните бранови доаѓа кога тие ќе најдат на средина со различни еластични карактеристики од првобитната низ која се движат. До рефракција на еластичните бранови, односно промена на правецот на простирање, настанува кога брановите ја поминуваат границата меѓу две средини со различни еластични карактеристики под агол помал од 90° . Во согласност со тоа, основните сеизмички методи на испитувања се нарекуваат: **рефлективна** и **рефракциона** сеизмичка метода.

За да може успешно да се примени рефракционата метода, е неопходно секој нареден слој или зона со различни својства, почнувајќи од површината надолу да има поголема брзина на простирање на еластичните бранови од претходниот. Во спротивно, горните слоеви со поголема брзина, во однос на подолните, ќе имаат улога на екран и нема да овозможат истражување на хоризонтите под нив.

Споредувајќи ги мерените брзини може да се врши зонирање на геолошката средина по разни параметри (Слика 14.17).



Слика 14.17 Пример за дефинирани ходохрони со мерење на времето на надоаѓање на надолжните (T_p) и попречните (T_s) сеизмички бранови со прогноза на градбата кај еден профил од брана Блато - Кавадаречко: 550/295 - мерени вредности на надолжни и попречни бранови (Алексовски 1999)

Врз основа на дефинираните брзини на различните зони под површината на теренот, со соодветна внимателна интерпретација на ходохроните, индиректно се проценува литолошкиот состав на карпите, се детектираат раседи, дисконтинуитети и други тектонски пореметувања, зони со различен степен на распаднаост, се пресметува дебелината на слоевите и друго. Еден едноставен случај за пресметка на дебелина на растресит покривач над основна карпа е прикажан на Сликата 14.18. Пресметката на дебелината на растреситиот покривач се врши според следната равенка:

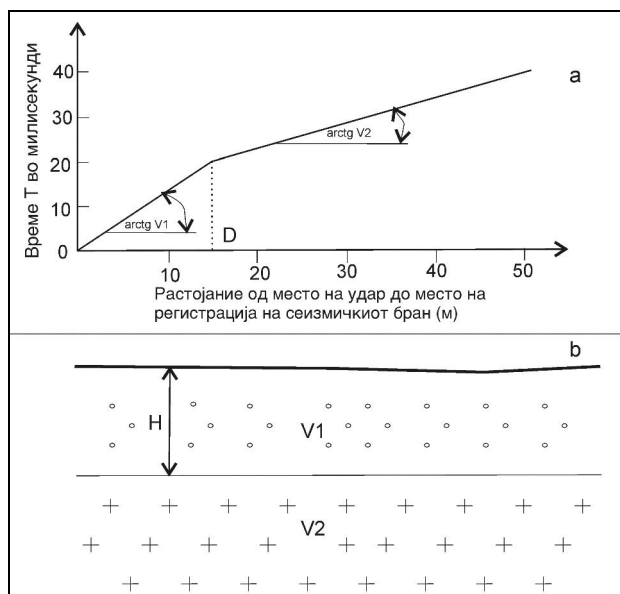
$$H = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

Каде што е: V_1 и V_2 - брзини на надолжните бранови на растресит слој и основна карпа (m/s);

D - растојание, кое се определува од ходохроната, како место на прекршување на дијаграмот како резултат на различните брзини;

H - пресметана дебелина на растресит материјал.

Се подразбира дека пресметаните дебелини на слоевите треба да се земат со определена резерва и покасно да се проверат со директни истражни методи.



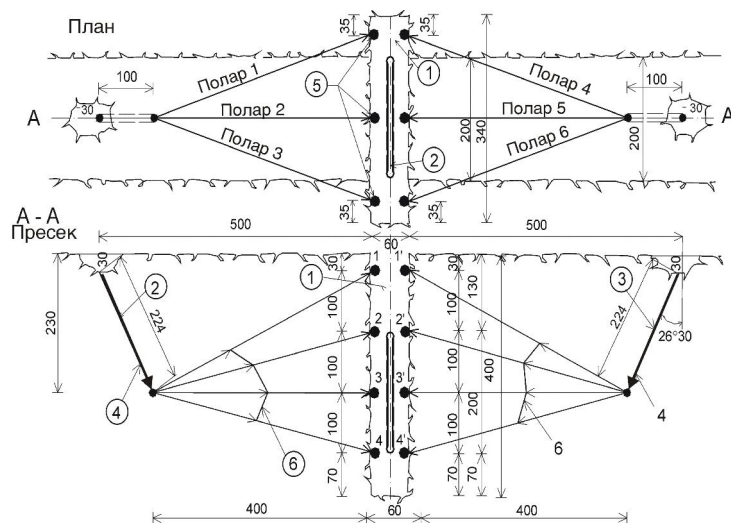
Слика 14.18 Пример за определување на дебелина (H) на растресит слој со пониска брзина на простирање на надолжни еластични бранови (V_1) над основна карпа - гранит со поголема брзина (V_2)

СЕИЗМИЧКИ МЕТОДИ НА ПРОЗРАЧУВАЊЕ НА ТЕРЕНОТ

Во практиката, многу се применуваат разни техники на т.н. **сеизмичко прозрачување** на теренот. Кај одредени варијанти на постапката, се користи и терминот **сеизмичка томографија**. Суштината на овие постапки е што одреден волумен од карпестата маса „се прозрачува“ или условно речено длабински се скенира со сеизмички бранови. Сеизмичките бранови се предизвикуваат меѓу поедини истражни галерии, истражни окна, дупнатини, од површина на теренот кон самите дупнатини или галерии, околу места на испитување на терен или некоја друга комбинација. Како и со претходните постапки, при прозрачувањето се мерат брзините на простирање на еластичните бранови, а со соодветна интерпретација, испитаната карпеста маса може да се подели на квазихомогени зони по контурите на теренот и во функција на длабина. Во овие методи може да се класифицира и **микросеизмичкото испитување** на карпестата маса во околина на мерните места за статички испитувања на деформабилноста со методата на хидрауличката перница (Слика 14.19).

Кај оваа постапка, се припремаат коси дупнатини околу хидрауличката перница. На нивното дно се предизвикува удар и се мери времето на надоаѓање на еластичните лонгитудинални бранови кон геофоните кои се распоредени на ѕидовите на ископот во кој е поставен хидрауличката перница. На тој начин се добиваат дијаграми на брзините, а на основа осреднетите вредности на брзините, се пресметува динамичкиот модул на еластичност (E_d) за карпестата маса за која потоа со опит на статички притисок се одредува и статичкиот модул на деформација (D) и еластичност (E). Добиените резултати од ваквите мерења

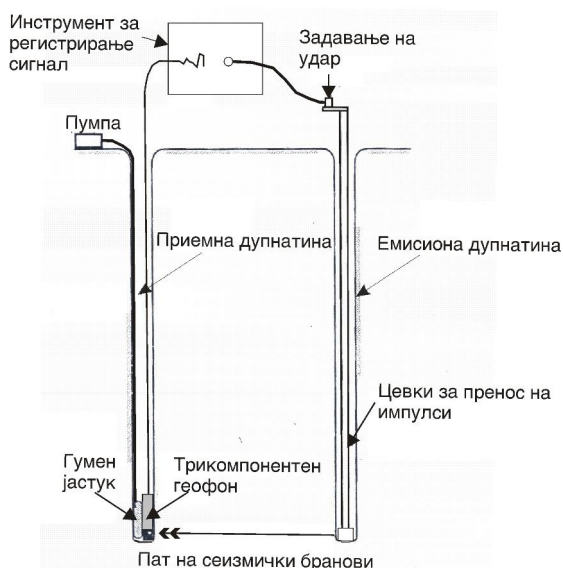
служат за воспоставување на корелациски зависимости на добиените резултати со динамички и статички методи на испитување.



Слика 14.19 Микросеизмичко испитување околу хидрауличка перница : (1) прорез за хидрауличка перница, (2) хидрауличка перница, (3) дупнатини, (4) точки на побуда, (5) геофони, (6) поларни дијаграми на брзините

Во практиката, исто така, се разработени разни варијанти на прозрачување со сеизмички методи меѓу истражните дупнатини. Обично се нарекуваат cross-hole методи за мерење на вредностите на V_p и V_s по длабината на теренот. Мерењата се изведуваат меѓу т.н. емисиони и рецепциони дупнатини. Во емисионата дупнатина со механички удар со опремата за дупчење или со експлозив на одредена длабина на дупчење се произведува импулс, а во

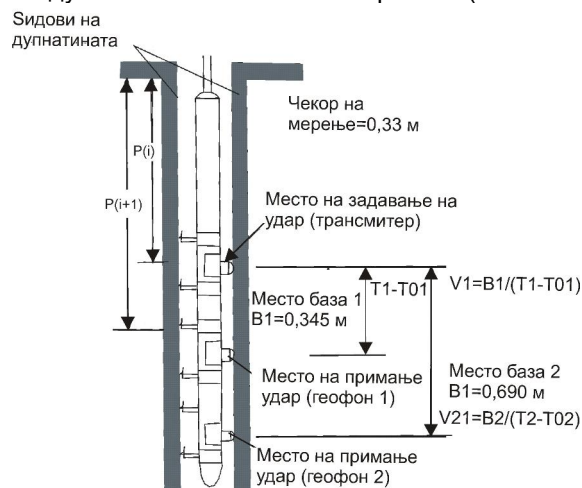
рецепциската дупнатина со геофони се мери времето на наидувањето на брановите. Една можна диспозиција, применета при испитувања на нафтовод од Скопје до Солун е прикажана на Сликата 14.20.



Слика 14.20 Диспозиција на емисиона и рецепциона дупнатина каде удар во емисиона дупнатина се задава преку прибор за стандардна динамичка пенетрација

Од прикажаните примери, е очигледно дека при прозрачување мора да постојат точки на побуда и места на прием на брановите, така што во одредени случаи овие постапки се изведуваат во отежнати услови и со посебна припрема.

Од овие причини, за да се поедностави постапката, во практиката се разработени и методи каде во иста дупнатина се задава побуда и се мерат наидувањата на сеизмичките бранови (Слика 14.21).



Слика 14.21 Опрема за паралелно собирање на податоци за сеизмички бранови во една дупнатина со место на побуда преку трансмитер и две места на прием на бранови (геофон 1 и геофон 2)

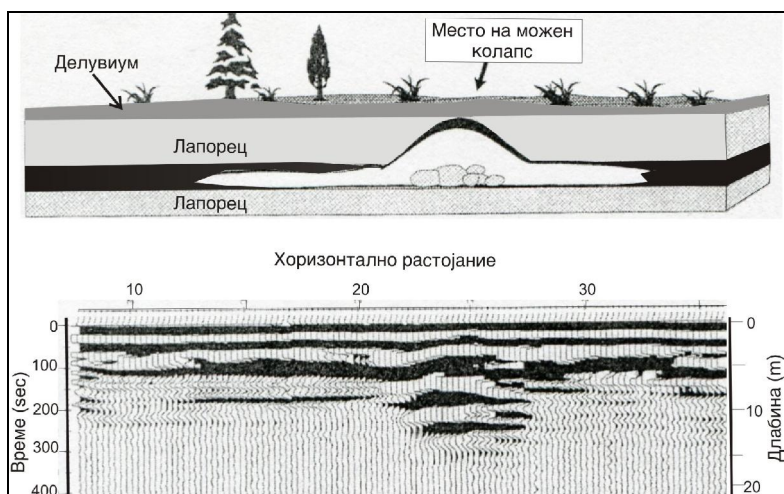
На овој начин, може да се испитаат брзините на еластичните бранови по целата должина на дупнатината. Одреден недостаток на методата е што сидовите на дупнатината со дупчењето делумно се оштетуваат, така што се мерат брзини на делумно пореметена зона, но со одредени корекции и внимателна обработка, може да се добијат голем број на корисни податоци за градбата на теренот.

ГЕОРАДАРСКИ МЕТОДИ

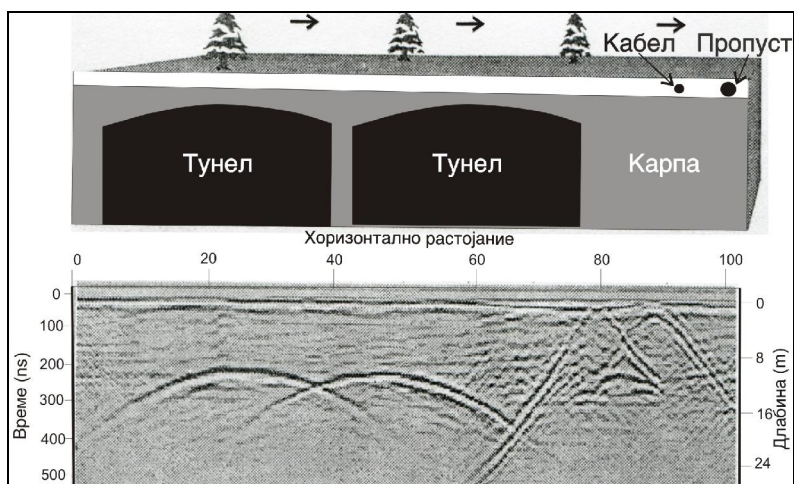
Во геофизиката се развиени и т.н. **георадарски методи** (анг. **ground penetration radar**). Кај георадарските методи се применува постапка на емитурање на електромагнетни бранови од една предајна антена, а истовремено се врши прифаќање на одбиените електромагнетни бранови со друга приемна антена. Одбивањето на брановите се случува кога тие ќе најдат на некоја препрека во подземјето која има различни електромагнетски својства во однос на околината. Така, со внимателно профилирање на теренот, може да се решат низа проблеми значајни за геотехниката. Посебно се од помош при проектирање на објекти во урбани подрачја, кога се наметнува проблемот на прецизно детектирање на подземни објекти, места на подземни инсталации и слично (Слики 14.22 и 14.23).

Основата на постапката лежи во мерење на времето на поминување на двојниот пат кој го поминува еден електромагнетен бран од местото на побуда до објектот кој се детектира и назад кон приемната антена. Со анализа на податоците се добива доста прецизна слика за сите аномалии во подземјето. Методата може успешно да се искористи за анализа на стари и напуштени ископи каде се планира нова градба, потоа при археолошките испитувања и др.

Утврдените аномалии по потреба се потврдуваат со други истражни работи како на пример со постапките на истражно дупчење.



Слика 14.22 Георадарска снимка на терен во зона со плиток подземен ископ од рудници на јаглен на која се детектираат стари ископи



Слика 14.23 Георадарска снимка на терен со цел да се детектираат плитки тунели и друга инсталација во градска средина (кабли, пропусати под пат и друго)

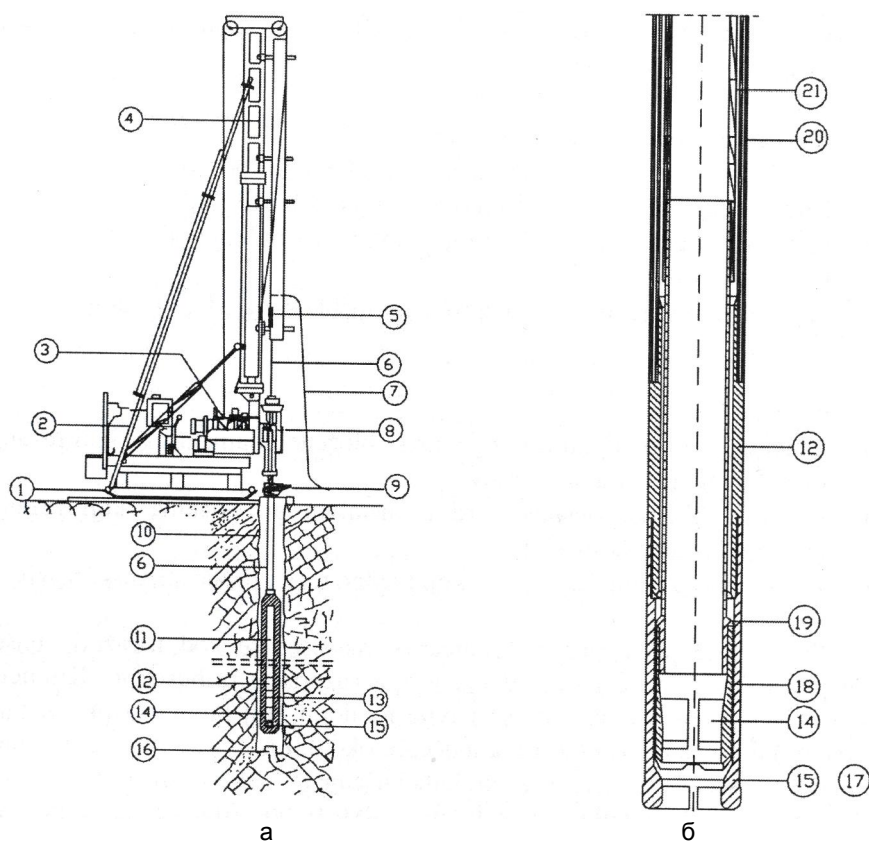
ДИРЕКТНИ ИСТРАЖНИ МЕТОДИ

Директните истражни методи вообичаено се реализираат после фазата на изведба на индиректните претходни истражни методи. Тие се поточни, но и подолготрајни и поскапи методи на истражување. Тука може да се набројат методите на: **истражно дупчење**, изведба на **истражни раскопи**, **истражни галерии**, **пенетрациони**, **пресиометарски** и други методи. Основната разлика во однос на индиректните методи е што дел од теренот се става на директен увид на истражувачот до длабината на истражување и што директно се мерат потребните карактеристики на карпестите маси.

МЕТОДИ НА ИСТРАЖНО ДУПЧЕЊЕ

Истражното дупчење е постапка со чија помош, од површината на теренот се врши продирање до одредена длабина на истражување. Според намената, истражното дупчење може да биде: структурно, инженерскогеолошко, хидрогеолошко, истражно дупчење за нафта и други намени.

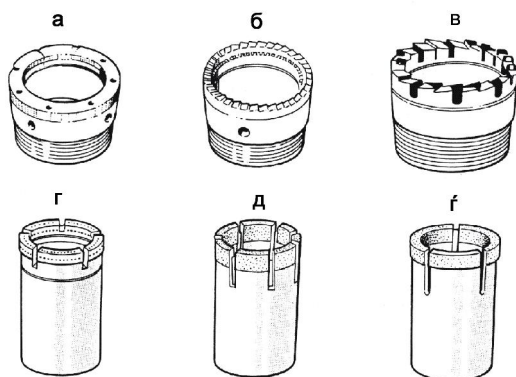
Според начинот на продирање низ карпестата маса, се разликуваат исто така неколку видови на дупчење и тоа: **ротациско**, **ударно** и **ротациско - ударно**. **Ротациското дупчење** се изведува со посебна опрема, која се нарекува машина за дупчење или дупчалка. Самата дупчалка може да е поставена на камион, санка, да биде пренослива и слично. Основните елементи на една машина за дупчење се прикажани на Сликата 14.24.



Слика 14.24 а - Шематски приказ на ротациона дупчалка за вадење на јадро од истражни дупнатини на санка: 1 - санка за транспорт на дупчалката, 2 - погонски мотор, 3 - витло, 4 - јарбол, 5 - испирна глава, 6 - дупчачки шипки, 7 - потисно црево, 8 - хидраулична ротациона глава, 9 – постамент за одвивање на шипките, 10 - сидови на дупнатината, 11 - јадрена цевка, 12 - водилка за одржување на дијаметарот на дупнатината, 13 - држач на јадрото, 14 - фаќач за откинување и подигнување на јадрото; 15 - круна за дупчење, 16 - остаток од карпата настанат со откинување на јадрото; 17- заштита на главата на круната, 18 - подлога на фаќачот на јадро, 19 - наставци за јадро, 20 - надворешна јадрена цевка со различна должина од 1,5 или 3 метра, 21 - внатрешна јадрена цевка; **б** - Приказ на двојна јадрена цевка

При дупчењето, преку погонскиот мотор во дното на дупнатината се задава ротација. Како преносен систем служат т.н. дупчачки шипки, на чиј врв се монтира **јадрена цевка**. Во јадрената цевка се собира издупчениот материјал. На нејзиниот врв е монтирана **круна**, која всушност и го „пара“ материјалот. Круната е изработена од тврд материјал, како дијамант, тврди легури од волфрам карбид, круни во вид на специјални (рол) длета и слично. При дупчењето, поради ротацијата на круната, притисокот и брзината на ротација се развива силно триење со карпестата маса, така што е неопходно да се врши разладување на главата на круната. За таа цел се користи течност, која се нарекува **исплака**. Исплакмата може да биде **чиста вода** или од **бентонит** со или без додатоци, а се втиснува под притисок низ дупчачките шипки до зона на круната за дупчење. Со тоа не само што се разладува круната, туку и се испира (изнесува) ситниот – деградиран материјал од дното на дупнатината. Типот на круна со која ќе се врши истражното дупчење зависи од состојбата и тврдината на материјалот, кој се дупчи. Постојат тенкосидни и дебелосидни круни, со отвори, жлебови и други варијанти и типови (Слика 14.25).

Јадрените цевки може да бидат **еднострани** или **двојни**. Двојните цевки се составени од внатрешен и надворешен дел и даваат подобри резултати при дупчењето. Имено, меѓу двата зида на цевките се насочува исплакмата, која затоа не влијае на јадрото, а внатрешноста не ротира. Ова е посебно значајно кај неврзаните материјали и послабите карпи, кои со обични цевки заради влијанието на исплакмата може да се исперат или доста да се оштетат.

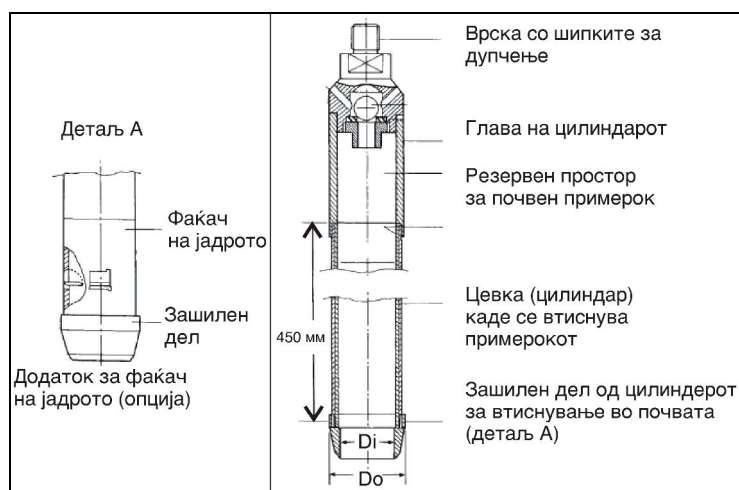


Слика 14.25 Неколку видови круни за ротациско машинско дупчење:
 а - дијамантска круна, б - назабена круна, в - волфрам-карбитска круна,
 г - импрегнирана дијамантска круна,
 д - диадрил импрегнирана круна,
 е - друг тип на диадрил импрегнирана круна

За да се соберат репрезентативни податоци за градбата на теренот, при истражното дупчење мора да се врши опробување на дупнатината и земање на непореметени и пореметени примероци за лабораториски испитувања. Терминот **непореметен** примерок (анг. **undisturbed sample**) се однесува на почвен примерок, каде што се задржани природните карактеристики на материјалот од зоната на испитување. Непореметените примероци се користат за дефинирање на јакостните и деформабилните карактеристики на почвите. Обично лесно се земаат кај глиновити и прашинести почвени материјали, додека кај песоковити и чакалести седименти скоро да не е можно да се добие непореметен примерок поради растреситоста на материјалот. Во исклучителни случаи, постојат можности за земање на т.н **ориентирани** примероци.

За потреби од класификација на почвите можат да се користат и **пореметени** примероци (анг. **disturbed samples**). Кај ваквите примероци е дозволено да има и пореметување на градбата на карпата, бидејќи испитувањата, кои се прават не бараат нужно непореметеност на материјалот.

За да се земе непореметен примерок од одредена длабина на испитување, е потребно да се користат специјални цевки за земање на примероци, кои може да се од различен карактер. Популарно се нарекуваат **цилиндри** за земање на непореметени примероци. Кога ќе се дојде до зона од почвата, каде е потребно да се земе непореметен примерок, дупчењето се прекинува, и на шипките за дупчење се монтираат цилиндрите. Потоа, земање на примерокот се врши со втиснување во почвата, без ротација, со цел да се зачува природната состојба на почвата колку што е можно во поголема мерка. Цилиндриците можат да бидат од различен карактер, но во практиката најмногу се користат т.н. отворени цилиндри, кои обично на врвот се зашипени за полесно да продрат во почвата (Слика 14.26).



Слика 14.26 Приказ на отворен цилиндар за земање на непореметени примероци тип U₁₀₀: D_o - надворешен дијаметар; D_i - внатрешен дијаметар

Покрај отворените цилиндри, можат да се сретнат т.н. цилиндри за **континуирано опробување** од различен карактер.

При геотехничкото истражно дупчење во почвени материјали често се избегнува употребува на вода и бентонит како исплака и се бара т.н. **ротационо дупчење** со јадрвање на „суво“. Ова се прави со цел да се задржи природната влажност и структура на материјалот, која е потребна за испитување во лабораторија. При геотехничкото дупчење е неопходно дупчење со поголем дијаметар. Длабината на дупчењето зависи од видот на објектот, геолошката сложеност на теренот, оптоварувања од објектот и друго. Ротационото машинско дупчење се разликува од дупчењето за мински дупнатини, заради фактот што со него е потребно целиот материјал да биде **јадрован** (зачуван), за да се стекне увид во потребните параметри.

Во одредени случаи, ротационото дупчење може да биде со помош на **сврдел** со разни дијаметри. Недостаток на оваа постапка е што при ротацијата на приборот, со вадење на материјалот, тој се меша и не може точно да се определи литолошкиот состав на теренот, а не е можно да се земат непореметени примероци. Ваквиот тип на дупчење се припрема најчесто при дупчење за потреби на длабоки фундаирања на колови, бунари и слично.

Ударното дупчење припаѓа во групата на механички дупчења и се врши со удар на работниот дел од приборот. Во зависност од начинот на спуштањето на

работниот прибор или длетото за дупчење, се разликува: ударно дупчење со **челично јаже** и ударно дупчење со **шипки - отежнувачи**. Длетото за дупчење може да биде рамно, крстасто или од друг тип. Принципот на ударно дупчење се состои од кршење (дробење) на карпата, кое се предизвикува со ударот на длетото на дното на зоната на дупчење. По ударот, дупчачката шипка заедно со длетото се подига и се ротира за определен агол со цел да се добие рамно дно на дупнатината. Во практиката, дното на дупнатината се нарекува и нејзин **орт**. Здробениот материјал од ударите, на површина се изнесува со посебна лажица, се издувува со воздух или може да се изнесува и со голема количина на вода како исплака при дупчење со шипки - отежнувачи. Ударното дупчење е многу побрзо и поевтино од ротациското, но поради дробењето на материјалот не дава доволно сигурни податоци за геолошката и геотехничката градба на теренот.

Ротациско - ударното дупчење е комбинација на претходните две постапки.

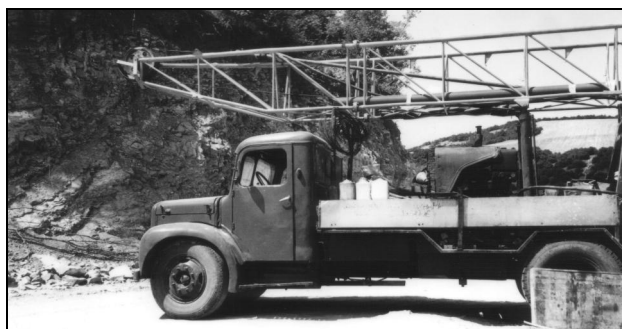
Зависно од условите за работа на терен и пристапноста до локациите за истражување, може да се применат најразлични видови машини за дупчење (Слики од 14.27 до 14.30).



Слика 14.27 Подвижна машина за ротациско дупчење применета за изведба на коса дупнатина при истражување на свлечиште на пат за брана „Кнежево“ ХС „Злетовица“



Слика 14.28 Подвижна машина за ротациско дупчење поставена на гасеници применета за истражување на јаглен при П.К. „Суводол“



Слика 14.29 Машина за ротациско дупчење монтирана на камион



Слика 14.30 Машина за дупчење поставена на санки

За хидрогеолошки цели при изведба на бунарските системи, најчесто се користи т.н **реверсно дупчење**. Дупчењето се изведува машински, строго вертикално, најчесто со чиста вода, како исплака и со поголем дијаметар од 500 - 600 mm. За дупчење се користат разни гарнитуре и длета (Слика 14.31).



а



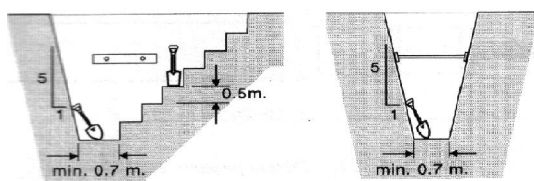
б

Слика 14.31 а - Машина за реверсно дупчење на бунари; б - еден тип на длето за дупчење

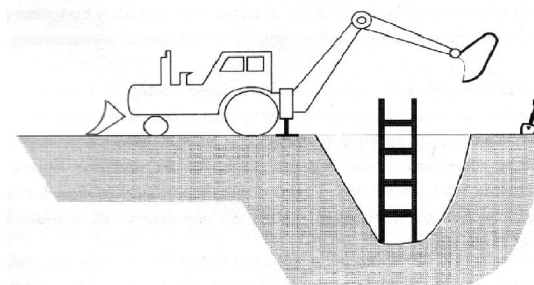
Бидејќи истражното дупчење е обично скапа истражна постапка, многу е значајно да се изведува со внимателен режим на работа и од искусен кадар, бидејќи се можни големи хаварији, заробување на приборот за дупчење, оштетување на опремата за дупчење, добивање на неквалитетно јадро, кое е механички оштетено и не дава вистински податоци за карпестата маса и слично.

ИСТРАЖНИ ЈАМИ, РАСКОПИ И БУНАРИ

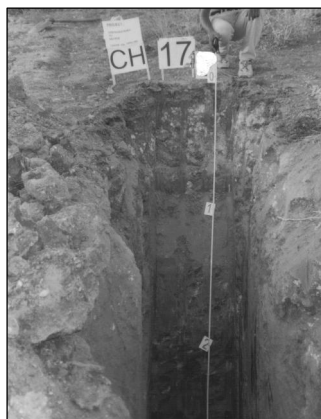
Во инженерската геологија многу често се применуваат истражувања со помош на изведба на истражни јами, раскопи или бунари. **Истражна јама** се изведува рачно или машински и е многу доверлива метода, бидејќи почвените слоеви и нивните одлики се достапни за директно набљудување Сл. 14.32 и 14.33.



Слика 14.32 Шема за изведба на истражна јама со рачен и со машински ископ



Слични истражни работи, кога се прават на природните падини се нарекуваат истражни засеци, ровови, шлицеви и слично. Една машински изведена истражна јама е прикажана на Слика 14.33.



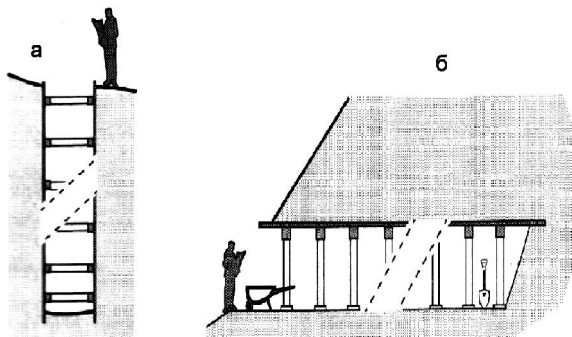
Слика 14.33 Изглед на машински изведена истражна јама

Истражен бунар или окно се изведува за поголеми длабини и има иста намена како и истражната јама. При негова изведба, често се јавува потреба од подградување и борба со подземната вода. Длабината на изведба, при соодветно подградување може да достигне до десетина метри, ретко и повеќе (Слика 14.34 - а).

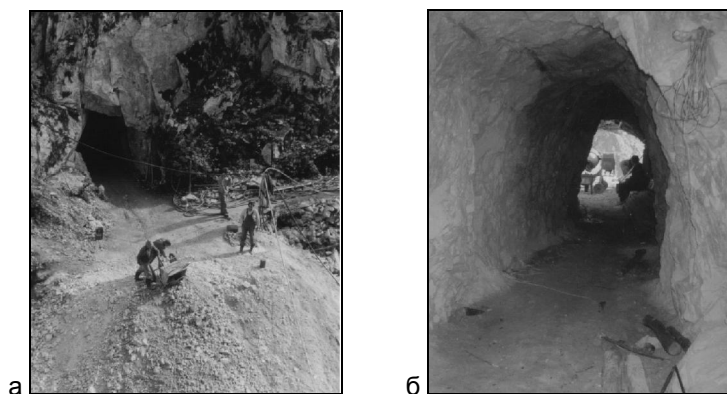
Истражна галерија или потокоп се применува најчесто во карпестите маси при истражување на позначајни објекти како што се браните. Поретко, се изведуваат и во почвени материјали кога треба да биде соодветно подградена, за да не се заруши (Слика 14.34 - б).

Покрај директното набљудување на откриените слоеви, како и можноста за земање на репрезентативни примероци, галериите служат за геотехнички испитувања во голема мерка на деформабилноста, јакост на смолкнување и

друго. Димензиите се дефинираат во зависност од намената, а висината на поткопот треба да овозможи слободно внесување на опрема за работа и нормално работење на човекот.



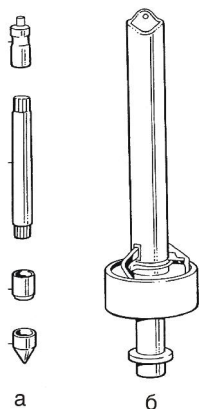
Слика 14.34 Шема за изведба на истражен бунар (а) и галерија (б)



Слика 14.35 Истражна галерија на брана „Света Петка“ на река Треска со изглед од надвор (а) и од внатре (б)

СТАНДАРДЕН ПЕНЕТРАЦИСКИ ОПИТ

Стандардниот пенетрациски опит (анг. **SPT** или **Standard Penetration Test**) во геотехниката е воведен во дваесетите години на дваесеттиот век во САД. За прв пат е стандардизиран во 1930 година. Се изведува во истражните дупнатини на длабини, кои се дефинираат со програмата за истражување, паралелно со самото дупчење. За таа намена, се користи специјален цилиндер или шилец со стандардни димензии кој се монтира на врвот на дупчечките шипки наместо круната за дупчење (Слика 14.36).



Слика 14.36 Прибор кој се користи за испитување при SPT - опитот: а - шилец; б - тег за удирање

Дното на дупнатината предходно треба да е исчистена од заостанат или паднат материјал од ѕидот на дупнатината. При продирањето на цилиндерот, јадрото од почвата навлегува во внатрешниот дел кој е со дијаметар од 35 mm, при што јадрото е со доста разрушена структура. Стандардна постапка при испитувањата е да се регистрира бројот на удари (**N**), кој е потребен за продирање на цилиндерот од **e = 30,48 cm**. Ударите се предизвикуваат со тег кој има тежина од **63,5 kg**. Тегот се пушта слободно да паѓа секогаш од иста висина **h = 76,2 cm**. При изведба на опитот, првото продирање во износ од 15 cm не се регистрира, а како репрезентативен се смета бројот на удари за втиснување на следните 30,48 cm. Интервалите на испитувањето изнесуваат обично од 1,5 - 3,0 m., а зависат од видот на почвата. Кај хомогена почва, интервалите на испитување може да се намалат.

При анализа на резултатите се вршат повеќе корекции на првично добиениот број на удари при испитувањето. Ако испитувањето се прави кај ситнозрни песокливи почви под нивото на подземната вода, бројот на ударите (**N**) се коригира по следната формула:

$$N = 15 + 0,5 (N' - 15)$$

Каде што е: N' - бројот на удари за продирање на цилиндерот за 30,48 cm во почвата под нивото на подземната вода;

N - еквивалентен број на удари за почви над нивото на подземната вода.

Кога испитувањата се вршат со пенетрометар во вид на шилец, бројот на удари, кој е регистриран при изведувањето на тестот се корегира по следната формула:

$$N = 0,7 \text{ до } 0,75N'$$

Каде што е: N' - број на удари регистриран при испитувањето;

N - редуциран број на удари

Понатамошна корекција се врши земајќи го влијанието на ефективниот геолошки товар (σ'_{vo}) на одредена длабина на испитување. Со оваа корекција измерениот отпор при продирање се сведува или **нормализира** за ниво на ефективен геолошки товар од 100 kPa според следната формула:

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,5}$$

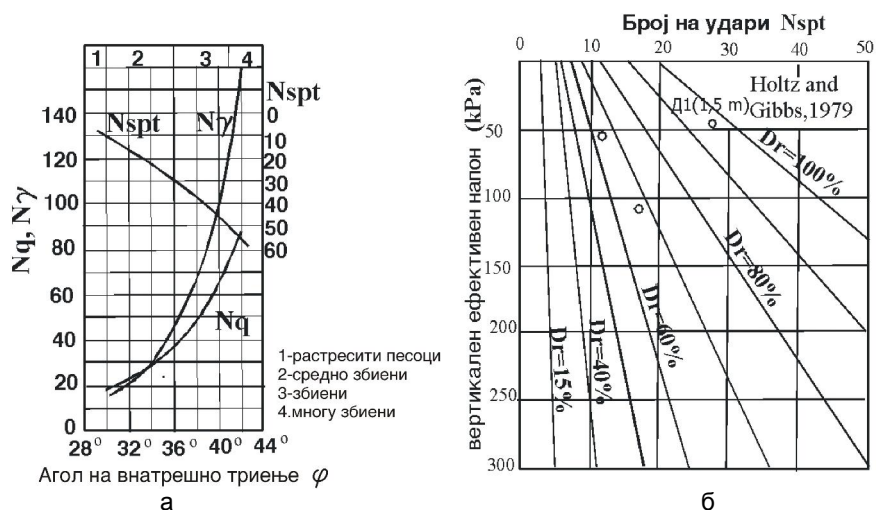
Каде што е: C_N - корекција за нормализирање на ниво на ефективен геолошки товар

Според препораките од Европскиот код EC8 се врши и редуција на измерениот отпор кога испитувањата се вршат на длабочини помали од 3 m. Тогаш, измерениот отпор се намалува за 25%, а се врши и редуција на 60% од енергијата на ударот на чеканот во споредба со теориската вредност на енергијата на слободниот пад. Имено, енергијата која се предава на почвата е 45% од енергијата на слободниот пад. Така се добива фактор за корекција ER_m на следен начин:

$$ER_m = \frac{45}{60} = 0.75 \text{ (редукција на 60\% од енергијата на слободниот пад)}$$

$$N_{60} = ER_m \times C_N \times N$$

Резултатите од пенетрациските испитувања се користат за класификација на збиеноста на почвите, носивоста, можностите за појава на ликвидација, проценка на јакоста на смолкнување, стисливоста и др. (Слика. 14.37).



Слика 14.37 а - Дијаграми за Пек, Хансон и Торнбурн за проценка на фактори на носивост и агол на внатрешно триење; б - дијаграм на Холц и Гибс, за проценка на релативна збиеност на седиментите според резултати од пенетрациски испитувања

Тергаги и Пек предложиле класификација на кохерентните почви според конзистенцијата и јакоста на почвата, користејќи го бројот на удари N добиен со испитувањата (Табела 14.2).

Табела 14.2 Класификација на кохерентните почви по податоци SPT тест

Број на удари N за продирање $e=0,348$ m	Конзистентна состојба на почвата	Јакост на притисок q_u (kN/m ²)
< 2	течно - пластична	27,5
2 - 4	меко - пластична	27,5 - 55,0
4 - 8	пластична	55,0 - 110,0
8 - 15	тврдо - пластична	110,0 - 220,0
15 - 30	полутврда	220,0 - 440,0
$N > 30$	тврда	440,0 - 880,0

Испитувањата се посебно корисни при проценка на параметрите на деформабилноста на неврзаните почви од тип на песок и чакал, каде е тешко да се земат непореметени примероци. Низ литературата се среќаваат повеќе зависимости кои се користат за вакви намени, а како пример е прикажана формулата дефинирана од Шулиц и Мензебах:

$$M_v = 0.49N^{30} + 7.9 \quad (M_v \text{ во MPa})$$

Каде што e : M_v -модул на стисливост на почвата.

Како заклучок, се напоменува дека овие испитувања се само една од можните постапки за дефинирање на потребни параметри за анализа. Пожелно е секогаш кога има можност да се корелираат и со податоците од другите методи на истражување и испитување. Опитот дава најдобри резултати ако се изведува на длабини до околу 15 - 20 m, додека над тие длабини поради тешка контрола на енергијата на ударот, резултатите треба да се прифатат со определена резерва.

МЕТОДИ ЗА ТЕРЕНСКИ ИСПИТУВАЊА НА ЈАКОСТ И ДЕФОРМАБИЛНОСТ

Во практиката многу често има потреба од директно испитување на јакоста и деформабилноста во теренски услови. Предност на теренските методи е што преку нив се добиваат најточни податоци. Во зависност од видот на материјалите во кои се прават овие испитувања, постојат методи за испитување во **почвени** материјали и во **цврсти** карпи, при што во рамките на книгата ќе бидат прикажани основните поставки за реализација на најприменуваните опити.

ОПИТ НА СТАТИЧКА ПЕНЕТРАЦИЈА

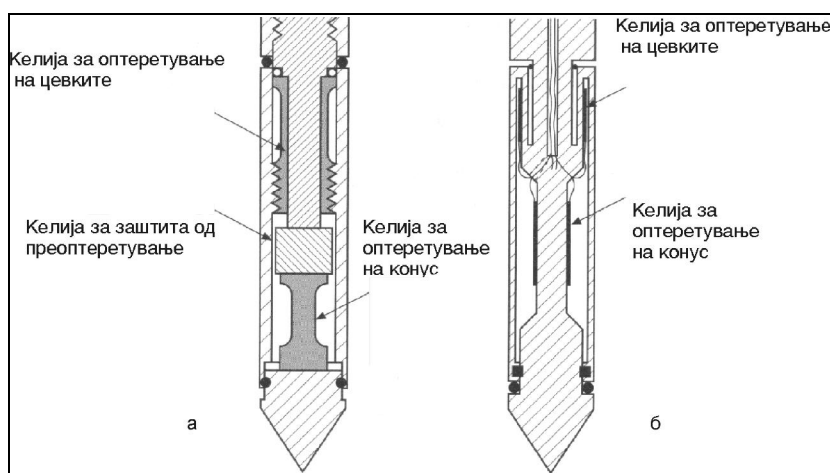
Опитот на статичка пенетрација (анг. **СРТ** или **Cone Penetration Test**) е еден од најпознатите теренски методи. Самото име укажува дека се врши со прилагање на статичко оптоварување со што се врши продирање низ почвата. За првпат е применет во Холандија (1934/35 година), а потоа се применувал во Белгија, Франција и насекаде низ светот. Статичката пенетрација главно се употребува за испитување на слабоносиви ситнозрни материјали од кои е многу тешко да се земаат непореметени примероци. Се врши со помош на специјална опрема, која се нарекува **статички пенетрометар**, кој може да биде од различен карактер. Еден од постарите видови пенетрометри од **хидрауличен тип** е прикажан на Слика 14.38.



Слика 14.38 Статички пенетрометар од хидрауличен тип

Најзначајна компонента на пенетрометарот е неговиот **конус**, кој, со мерните системи, е поврзан со **цевки** за директно спојување, внатрешни челични слободни шипки за притискање на конусот и др. Постојат различни видови конуси (Слика 14.39). Во сегашноста се користат пенетрометри, каде што регистрацијата на потребните параметри се врши по електронски пат. Со нив е можно мерење на поголем број податоци како: отклон на конусот во однос на вертикалата, порен притисок, електрична отпорност, вибрации на почвата преку трокомпонентни геофони, гама радиоактивни мерења, мерење на акустични параметри, притисок и друго.

Статичката пенетрација е значително побрза од дупчењето. Во зависност од условите на збиеност на почвата и видот на опрема за испитување, дневно може да се испитаат од 15 до 150 m. Опитот не се препорачува за изведба во грубозрни почви како: многу збиен чакал и суви тврди глини, поради големиот отпор при продирање на конусот. Во секој случај, опитот треба да се изведува многу внимателно, за да се избегне заглавување на приборот, посебно ако испитувањата се вршат на поголеми длабини. Бидејќи при испитувањата не се вадат примероци од почвата, податоците од статичката пенетрација треба да се комбинираат со податоци од истражно дупчење.



Слика 14.39 Различни видови конуси кај статички пенетрометар

При испитувањето се разликуваат **три** фази, при што најчесто брзината на втиснување на конусот изнесува околу 2 cm/s. Во **првата фаза** конусот се втиснува во почвата преку внатрешните шипки за околу 5-7 cm, а на манометарот се исчитува отпорот кој го дава почвата при продирање на конусот (C_{kd}). Во **втората фаза** силата се пренесува врз цевките, кои исто така се втиснуваат за 5 cm. Во оваа фаза, врз конусот не делува никаква надворешна сила, со оглед дека тој е претходно втиснат, а се мери силата на триењето помеѓу површината на цевките и почвата (L). Во **третата фаза** се врши истовремено втиснување на конусот и цевките, при што се регистрира вкупниот отпор на конусот и триењето по цевките ($C_{kd}+L$). Ваквата постапка се повторува на секои 20 cm. Резултатите од испитувањата се презентираат графички, каде на ординатната оска се нанесува длабината на која се врши сондирањето а на апсисната нивото на оптоварување (Слика 14.40).



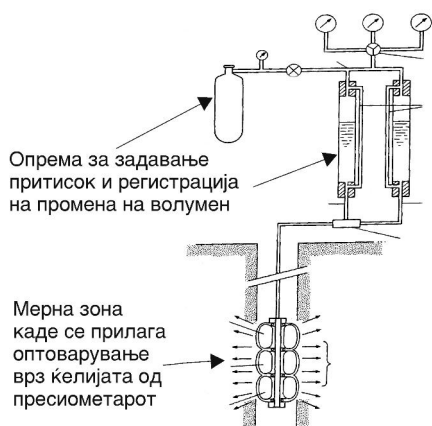
Слика 14.40 Дијаграми на регистрација на различни отпори при продирање на цевките и конусот при опит на статичка пенетрација

Резултатите од испитувањата со статичка пенетрација се користат за проценка на деформабилноста на почвата, јакоста на смолкнување, можноста од појава на ликвифакција и за класификација на почвите.

ИСПИТУВАЊЕ НА ДЕФОРМАБИЛНОСТА СО ПРЕСИОМЕТАР

Една од најпознатите теренски методи за испитување на деформабилноста е **пресиометарската** метода. Се изведува во истражни дупнатини, со цел да се дефинира модулот на деформација во природни услови. Првпат е употребена во Франција од страна на Менард во 1955 год, па затоа апаратурата често се именува и како Менардов пресиометар, иако сличен принцип на испитување е применет од Коглер во САД уште 1933 год.

Во процесот на испитувањето се мерат радијалните деформации на сидовите на истражната дупнатина, кои се предизвикани од притисокот кој преку главната ќелија на инструментот се пренесува на околната почва (Слика 14.41).



Слика 14.41 Шема за изведба на пресиометарски опит во дупнатина (во средината на мерната делница од дупнатината се наоѓа ќелијата за предизвикување на притисокот врз почвата)

Основниот параметар кој се добива со пресиометарските испитувања се нарекува **пресиометарски модул на еластичност (E_p)** кој се пресметува по следната зависност:

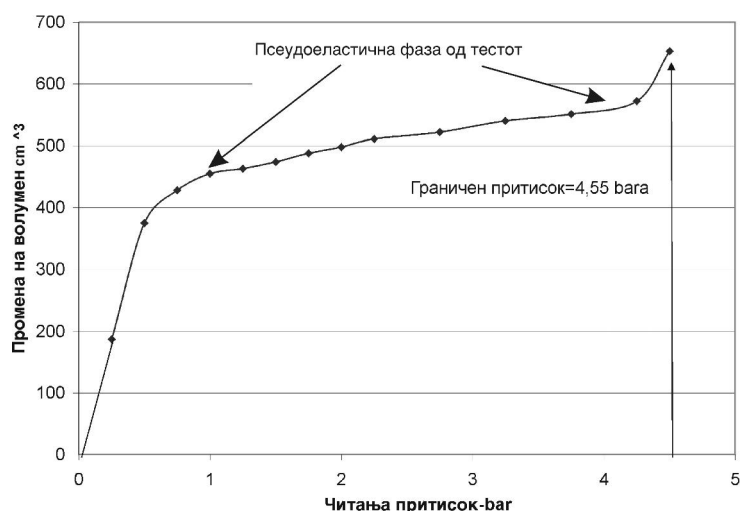
$$E_p = K(\Delta P / \Delta V)$$

Каде што е: ΔP - промена на притисок во бари;

ΔV - промена на волумен во cm^3 ;

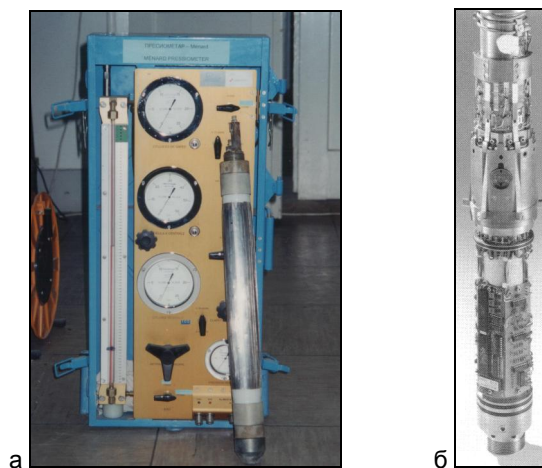
K - коефициент зависен од типот на инструментот.

Пресиометарскиот модул се добива за услови на радијално ширење на цилиндричен отвор од дупнатината за т.н. **псеудоеластична фаза** на тестот. Податоците за промена на волуменот и притисокот се мерат на одредени временски интервали, а се води сметка граничното ширење на мембраната од пресиометарот да не биде поголемо од дозволените вредности бидејќи во спротивно има опасност од нејзино пукање. Многу значаен параметар, кој може да се определи со овој опит е т.н. **граничен притисок P_{lim}** (анг. **limit pressure**), кој кореспондира со гранична состојба на лом на почвата изложена на рамномерен товар на сидовите на цилиндричен отвор (Слика 14.42). Со примена на резултатите од пресиометарските испитувања, користење на одредени теоретски анализи и корелативни соодноси може да се решат голем број на геотехнички проблеми како: пресметка на дозволеното оптеретување за случаи на плитко и длабинско фундаирање, пресметка на слегнувањата на плитки и длабоки темели, пресметка на диференцијални слегнувања, корелативни пресметки на јакост на смолкнување и деформабилност и друго.



Слика 14.42 Типична крива од пресиометарски опит добиена од испитувања за надпатник Удово од автопат Е - 75

Во денешно време, испитувањата се вршат по стандардизирана постапка (ASTM Standard No.D 4719-87) со примена на различни видови пресиометри (Слика 14.43).

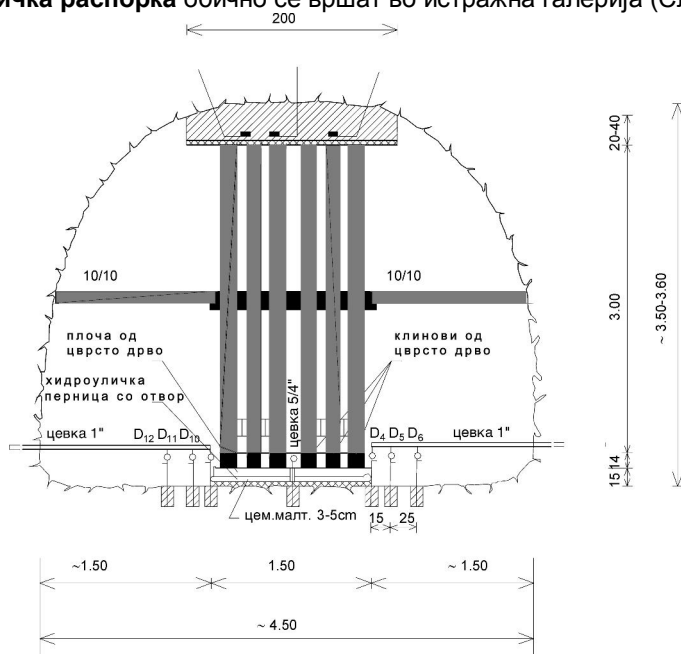


Слика 14.43 а - Менардов пресиометар со приказ на мерна опрема и сонда за испитување за чија примена претходно се припрема истражна дупнатина;
б - самодупчекки пресиометар за кој не е потребна претходна припрема на дупнатини

Како одреден недостаток на оваа метода се смета фактот што оптоварувањето на почвата е во попречен правец во однос на реалното дејство на оптоварувањето од објектот. Исто така, одредени грешки се можни кога испитувањето се врши во потенки слоеви на почвата кога деформирањето се случува во различни материјали.

ТЕРЕНСКИ ИСПИТУВАЊА НА ДЕФОРМАБИЛНОСТА НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

Општо е прифатено дека поради испуканоста и ефектот на размер испитувањата на деформабилните карактеристики на карпестите маси треба да се изведуваат во теренски услови и во голема мерка. Во практика, најчесто се користат методи на: хидрауличка распорка, лимена (хидрауличка) перница, преносни блокови, сондажен дилатометар, радијална преса, пробна комора и др. Принципот на определувањето на деформабилноста се состои од мерење на деформации на карпестата маса кои се предизвикуваат со помош на различни системи за оптеретување при различни гранични услови. На пример, испитување со **хидрауличка распорка** обично се вршат во истражна галерија (Слика 14.44).



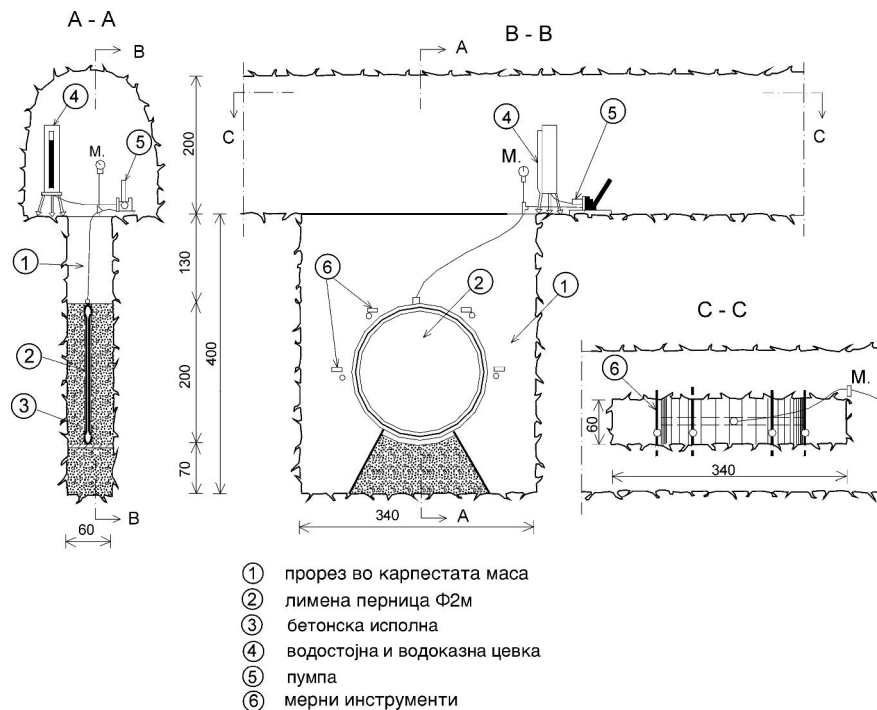
Слика 14.44 Варијанта на метода на хидрауличка распорка според поставка на институт „Јарослав Черни“, Р Србија од 1953 година

За предизвикување на оптеретувањата се користи специјала лимена хидраулична перница со кружна форма и дијаметар од 1.5 m, кој се поставува на израмнета карпеста подлога. Деформациите се мерат по работ и во средината на перницата со соодветна опрема. Пресметката на модулите на деформација (D) и еластичност (E) од средишната деформација се врши според следните равенки:

$$D = \frac{2P(1-\nu^2)}{\pi u_c r}; \quad E = \frac{2P(1-\nu^2)}{\pi u_{ce} r} \text{ [MPa]}$$

- Каде што е: P - вкупно оптеретување (MN);
 ν - Поасонов коефициент;
 r - радиус на оптеретената површина (m);
 u_o - измерена вкупна рабна деформација (m);
 u_c - деформација измерена во центарот на оптеретената површина (m);
 u_{ce} - повратен дел на централната деформација.

Методата на **хидрауличка перница** е разработена во Институтот „Јарослав Черни“ од Белград, Р Србија под раководство на проф. Б. Кујунџиќ и за прв пат е применета 1951 год. На одредено избрано мерно место во истражна галерија, се изработува специјален прорез во карпестата маса во кој се вградува лимена перница со дијаметар $d=2\text{ m}$. Просторот меѓу перницата и карпата се заполнува со бетон, се монтираат инструменти за мерење на деформациите и слично (Слики 14.45 и 14.46).



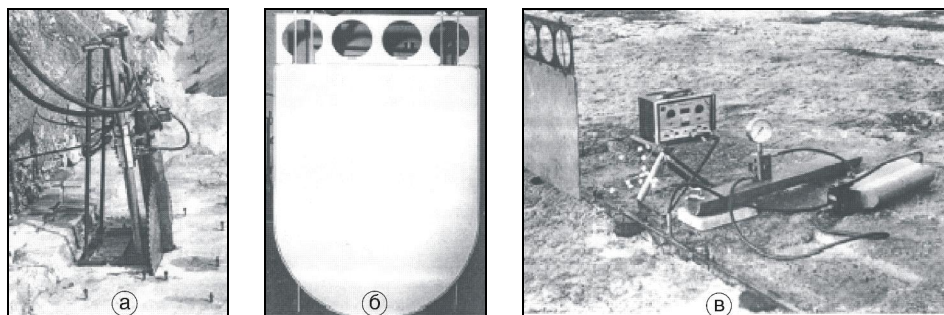
Слика 14.45 Метода на хидраулична перница според диспозиција на институтот „Јарослав Черни“



Слика 14.46 а - Изглед на перница пред вградување во истражна галерија;
б – поглед кон забетонирана хидрауличка перница во прорез во карпестата маса (локација брана „Света Петка - Скопско“)

Во денешно време се применува и метода, која е предложена од Меѓународното друштво за механика на карпи, која е поедноставна за изведба.

Кај оваа варијанта, прорезот во карпа се прави со засечување со пила, а во него се вградува тенка лимена перница која се поврзува со едноставен систем за мерење деформации (Слика 14.47)



Слика 14.47 Диспозиција и изглед на перница според поставка на ISRM: а - Припрема на мерно место за испитување на површина на терен преку правење прорез со дијамантска пила; б - изглед на перница; в - мерна апаратура.

При испитувањето, со помош на рачна пумпа се уфрлува вода од водостојната цевка во лимената перница и се предизвикува хидростатичен притисок во него, кој преку бетонскиот преносник се пренесува на карпата. Карпата се деформира под притисокот, при што може да се пресмета вкупната промена на волуменот на перницата и просечната деформација на карпестата маса. Пресметката на модулите D и E се врши по решението на Бусинеск за еластичен полупростор оптеретен со рамномерно распределен товар преку кружна површина, што е прикажано со следните формули.

$$D = 0,54P \frac{1 - \nu^2}{u_s r}; \quad E = 0,54P \frac{1 - \nu^2}{u_e r}$$

Каде што е: P - вкупна сила (MN);

u_s - вкупна средна деформација (m);

u_e - повратен дел од вкупната средната деформација (m);

r - радиус на оптеретената кружна површина (m).

Методата на **сондажен дилатометар** е првично разработена во Институтот за водопривреда „Јарослав Черни“ во 1958 година. Дилатометарот всушност претставува специјален цилиндричен уред со гумена обвивка во зона, каде што се мерат деформациите. На избрани делници, тој се спушта во дупнатините, се вршат оптоварувања на карпестата маса со високи хидростатички оптоварувања и се мерат соодветните радијални деформации. Деформациите се изразуваат како промена на дијаметарот на дупнатината, а пресметката на модулите се врши според следните равенки на Lame:

$$D = \frac{pd}{u} (1 + \nu); \quad E = \frac{pd}{u_e} (1 + \nu)$$

Каде што е: p - притисок кој се пренесува на карпестата маса;

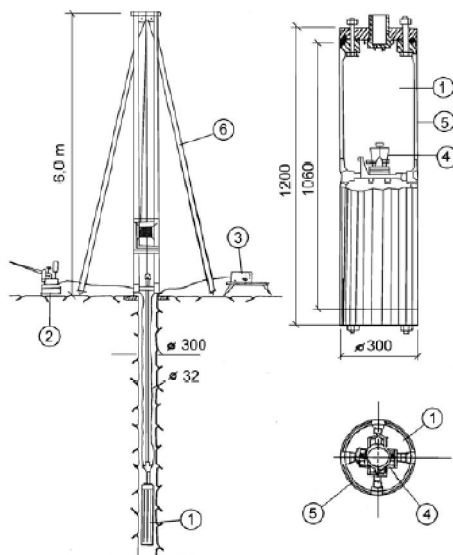
d - дијаметар на дупнатината;

u - вкупна деформација изразена како зголемување на дијаметарот на дупнатината;

u_e - повратен дел од оваа деформација;

ν - Поасонов коефициент.

Според оригиналната поставка, испитувањата се вршеле во дупнатини чиј дијаметар е $\phi 200$ или 300 mm, додека во денешно време се користат диалтометри со дијаметар од $\phi 76$ - 101 mm (Слики 14.48 и 14.49).

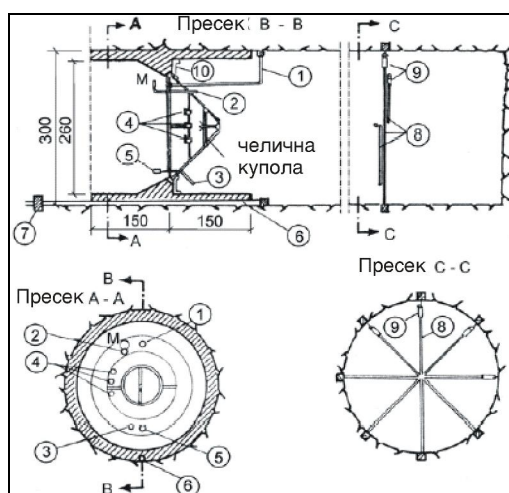


Слика 14.48 Изглед на сондажен диалтометар според оригинална форма на Институтот „Јарослав Черни“: 1 - тело на диалтометарот, 2 - пумпа, 3 - регистрирање на деформациите, 4 - инструмент за мерење на деформациите, 5 - гумена обвивка, 6 - трonoжец - дигалка



Слика 14.49 а - Сондажен диалтометар со дијаметар 96 mm на локација на испитување во рудник Ржаново, б - детал на диалтометарот

Методата на **пробна комора** е најстара метода за испитување на деформабилноста на карпестите маси. Прв пат е применета 1925 година во Швајцарија кај ХЕ Амстег. Се применува за експериментално испитување на деформабилноста и водопропустливоста на карпестите маси кај хидротехничките тунели и окна под притисок (Слика 14.50).



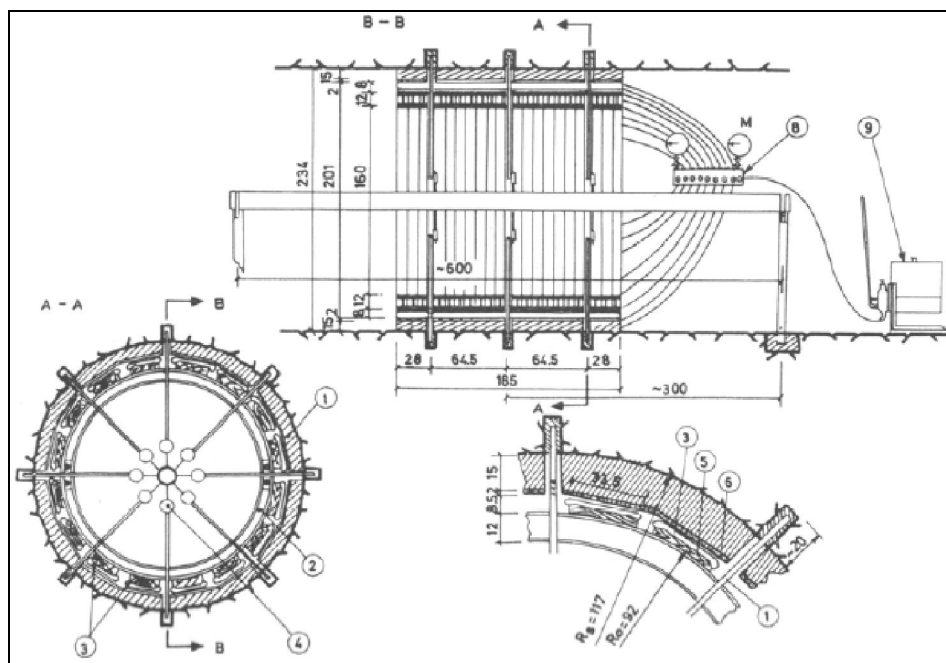
Слика 14.50 Метода на пробна комора: 1 - цевка за воздух, 2 - цевка за манометар, 3 - термометер, 4 - цевки за кабли, 5 - водоказна цевка, 6 - цевка за довод и одвод на вода, 7 - Томпсонов прелив, 8 - носачи на инструментите, 9 - електрични инструменти, 10 - изолација

За нејзина примена е потребно еден дел од тунелот или посебно изработена галерија, да се затвори од едната или обете страни со челни прегради. Потоа, таа се полни со вода и со пумпа се става под внатрешен хидростатички притисок. Деформациите на карпите се мерат со помош на специјални инструменти, кои овозможуваат регистрација на деформациите по електричен пат. Со оваа метода може да се определи и водопропустливоста на карпестите маси, која се изразува во количина на вода која за одредено време ќе се втисне на одредена овлажнета површина од тунелот ($l/s/1000 \text{ m}^2$ овлажнета површина).

Методата на **радијалната преса** е оригинална метода разработена во Институтот „Јарослав Черни“. Служи за испитување на деформабилноста на карпестите маси во хидротехничките тунели и окна под притисок. За **прв пат** е применета 1951 година во доводниот тунел на **ХЕ Маврово** во **Р Македонија**. На мерното место внимателно се обработува една делница во истражната галерија во форма на шеснаестоаголник и по посебна постапка се вградуваат 16 лимени перници должина 185 cm и ширина 33,5 cm, кои се приклучени на рачна пумпа (Слика 14.51). Притисокот се предизвикува со уфрлање на вода во лимените перници, а деформациите на карпата се изразуваат како промена на радиусот на поткопот. Модулите на деформацијата D и еластичноста E се пресметуваат по теорија на дебела цевка оптоварена со рамномерно распределен внатрешен товар на конечна должина:

$$D = \Psi \frac{p \cdot R}{u} (1 + \nu); \quad E = \Psi \frac{p \cdot R}{u_e} (1 + \nu), \quad [\text{MPa}]$$

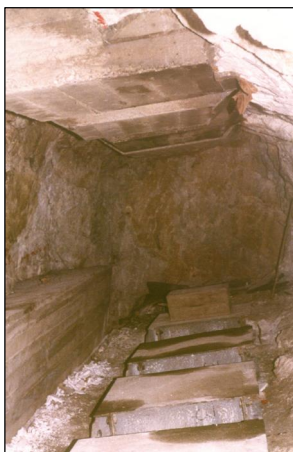
Каде што е: p - притисок на карпата,
 u - вкупна деформација (промена на должината на радиусот),
 u_e - повратен дел од таа деформација,
 R - радиус на кружниот ископ,
 ν - Поасонов коефициент,
 $\Psi < 1$ - коефициент кој зависи од димензии и форма на оптоварената површина.



Слика 14.51 Радијална преса: 1 - бетонски порамнувачки слој; 2 - челичен монтажен отпорник; 3 - лимени перници; 4 - инструменти за мерење деформации; 5 - дрвени подметачи; 6 - слој на малтер; 7 - мерна шипка; 8 - разводник; 9 - пумпа; 10 - азбест - цементна цевка во чиј однос се мерат промените на должините на радиусот на поткопот.

Методот на **блок-преносник** се состои од користење на блокови со различна форма, преку кои се врши оптоварување на карпестата маса. Тие уште се нарекуваат и **штампови**, а можат да бидат бетонски, армиранобетонски, од самоникла карпа, челик. Пресметката на модулите D и E се врши по различни формули, во зависност од видот на оптоварената површина. Оптоварената површина може да им биде со квадратна, правоаголна или кружна форма, а

блоковите може да имаат дециметарски до метарски димензии (Слика 14.52).



Слика 14.52 Подготвени блокови за испитување во истражна галерија на браната „Света Петка“ (лево) и оптоварен бетонски блок за испитување на деформабилност во истражна галерија на браната „Стрежево“ (десно)

Методите на блокови - преносници имаат широка примена во инженерството поради релативно лесната подготовка на мерното место, едноставната опрема и мерна техника, прилагање на релативно високи оптоварувања, економичноста во однос на другите методи, можноста по завршениот опит на деформабилност да се помине кон опит на смолкнување на исто мерно место со истите блокови, опрема и мерна техника.

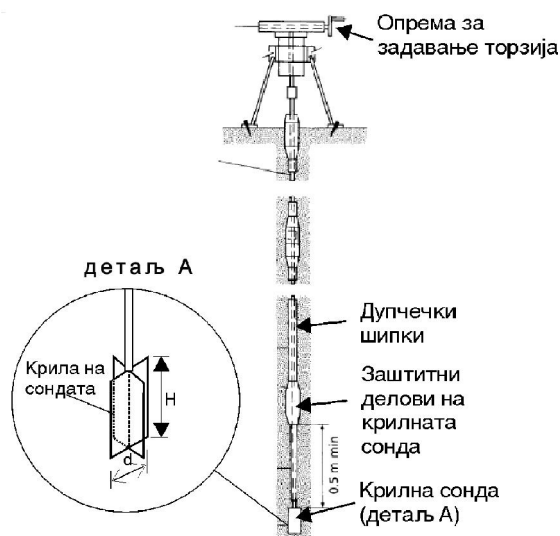
ТЕРЕНСКИ МЕТОДИ ЗА ДЕФИНИРАЊЕ НА ЈАКОСТА НА СМОЛКНУВАЊЕ

Јакоста на смолкнување во теренски услови се определува по неколку методи како на пример методите на: крилна сонда, смолкнување во голема мерка на систем карпа-карпа, смолкнување во голема мерка на систем бетон-карпа, смолкнување во голема мерка вдолж пукнатина и др.

Методот на **крилна сонда** се применува за испитување на јакоста на смолкнување кај слабоносиви почвени материјали од кои е многу тешко да се земаат непореметени примероци. Такви се: водозаситени растресити песоци, тиња, тресет, меки глини со променлива конзистенција и слично. При испитувањата, во прва фаза се врши втиснување на крилната сонда во почвата, а потоа се врши мерење на големината на силата, која е потребна за нејзино целосно ротирање до појава на лом. Всушност, се мери максималниот момент, кој е потребен за ротирање на крилната сонда (M_{max}). При ротацијата се јавува отсечување на почвата по цилиндрична површина со висина „H“ и дијаметар „d“. Јакоста на смолкнување се пресметува на следен начин:

$$\tau = \frac{M_{max}}{\pi \left(\frac{D^2 H}{2} + \frac{D^3}{6} \right)}$$

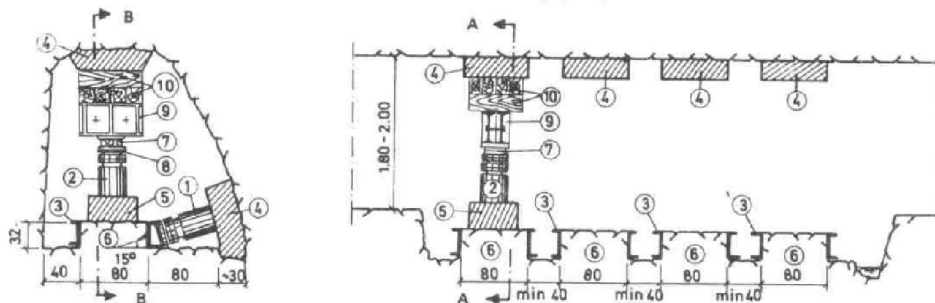
Со овој опит може да се определи само недренирана вредност на кохезијата (C). Аголот на внатрешно триење (φ) може да се определи само во комбинација со други методи на испитување. Крилната сонда се состои од две челични плочи со одредена висина кои се поставени меѓусебно под прав агол (Слика 14.53).



Слика 14.53 Метод на крилна сонда

Теренските опити на смолкнување во голема мерка систем **карпа - карпа** се применуваат за дефинирање на јакоста на смолкнување кај цврсто сврзаните карпести маси. Опитот најчесто се изведува на батерија од 4 блока од карпестата маса со димензии 0,80 x 0,80 x 0,40 m³, кои се

засечуваат во подината на истражната галерија. Страната на која се нанесуваат силите на смолкнување е изработена косо со наклон од 16° кон хоризонталната, така што резултатата на силите од бочните преси проаѓа низ тежиштето на површината на смолкнувањето. Блоковите од долната страна се сраснати во карпестата маса, додека страните се опфатени со армиранобетонски или челични монтажни рамки, со цел да се спречи бочната деформација при оптоварување на блоковите (Слика 14.54).



Слика 14.54 Една диспозиција на теренски опит на смолкнување во голема мерка систем карпа-карпа: 1 и 2 - хидраулични преси, 3 - челични монтажни рамки, 4 - бетонски опорец, 5 - преносен бетонски блок, 6 - карпести блокови кои се смолкнуваат, 7 - валци (покретен зглоб), 8 - зглоб, 9 - челичен подметач, 10 - дрвени подметачи.

На сличен начин се изведува и теренски опит на смолкнување по систем на смолкнување **бетон-карпа**. Целта на овие испитувања е по експериментален пат да се испита врската меѓу бетонот и карпата на која се фундаира обектот, со што се добиваат квалитативни и квантитативни показатели за јакоста на оваа врска при смолкнувањето. Самиот опит, според диспозицијата на блоковите кои се бетонираат врз карпестата основа, формата и опремата за испитување е сличен како и испитувањата на системот карпа-карпа (Слика 14.55).

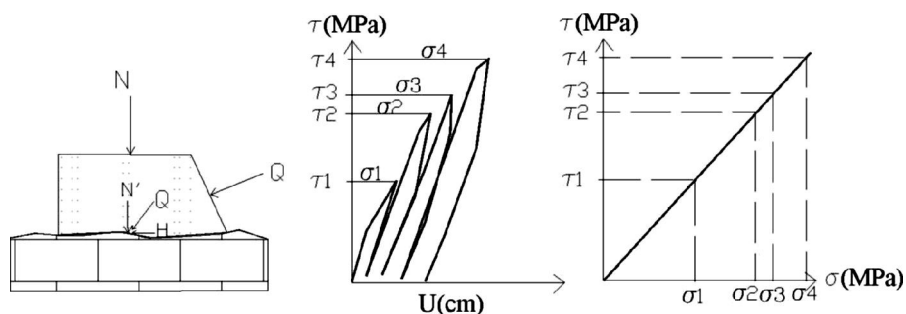


Слика 14.55 Теренски опит на смолкнување во голема мерка систем бетон-карпа применет во една истражна галерија од лачната брана „Света Петка“:

- 1 - хидраулични преси за задавање на вертикален товар;
2 - хидраулични преси за задавање на хоризонтален товар; 3 - блок што се смолкнува.

Интерпретацијата на резултатите е слична како и постапката на директно смолкнување кај почвите, која е опишана во Глава 7.

Во практика се применуваат и опити на смолкнување во **голема мерка по пукнатини**, бидејќи ако има опасност да се надмине јакоста на смолкнувањето по постоечките пукнатини во карпестата маса, е неопходно да се познаваат и соодветните параметри на јакоста на смолкнување. Опитот по правило се изведува на еден блок поради големи технички тешкотии за изведувањето на повеќе исти блокови на карпа вдоль пукнатина. (Слика 14.56).

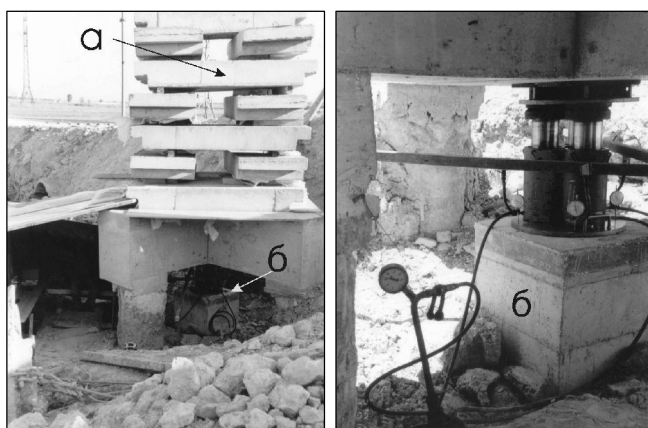


Слика 14.56 Шема за изведба на теренскиот опит на смолкнување вдолж пукнатина во хоризонтална положба

Пукнатината може да има каква било положба во просторот, а блокот треба да се изделка во подината или боковите на истражната галерија. Постапката при испитувањето се состои од предизвикување на силата N , а со тоа и нормалниот напон на пукнатината σ_i . Потоа, со бочна преса се предизвикува силата Q и со разложување на силата H , односно напонот на смолкнување τ_i . За да биде опитот успешен, на истиот блок мора да се добијат барем 4 пара на вредности на тангенцијалните и вертикалните напони, така што се применува постапка на оптоварување и растоварување со регистрирање на соодветните парови на големините (τ_i, σ_i) барем 4 пати, за да се добијат доволен број на податоци за конструкција на дијаграмот $\tau = f(\sigma)$.

ПРОБНО ОПТОВАРУВАЊЕ

Пробните оптоварувања се вршат во теренски услови со цел најреално да се дефинираат слегнувањата, стисливоста и носивоста на почвата за одредено ниво на оптоварување. Ваквите испитувања најчесто се вршат кога се анализираат решенија со длабоки фундарања со колови. Површинското оптоварување зафаќа поголема површина на оптоварување со тоа и значителна ангажирана зона на почвата. При пробното оптоварување, почвата се оптеретува со хидраулична преса преку крута плоча, а како контратовар кој има функција на реакција на пресата од горната страна, се става тежина (баласт) преку посебно изработени конструкции (Слика 14.57).



Слика 14.57
(а) Диспозиција за пробно оптоварување на армиранобетонски кол за фундарање на надпатник „Лушње“, Албанија со приказ на контратовар од бетонски плочи и со систем за мерење на притисок и деформации (б)

При оптоварувањето во фази, се регистрираат слегнувањата на подлогата, а со анализа на податоците, може да се определи најточно носивоста на почвата, преку контрола на дозволеното слегнување. За контрола се користи дел на дијаграмот на слегнувањето каде тој е во линеарна зависност од нивото на притисок (Слика 14.58).

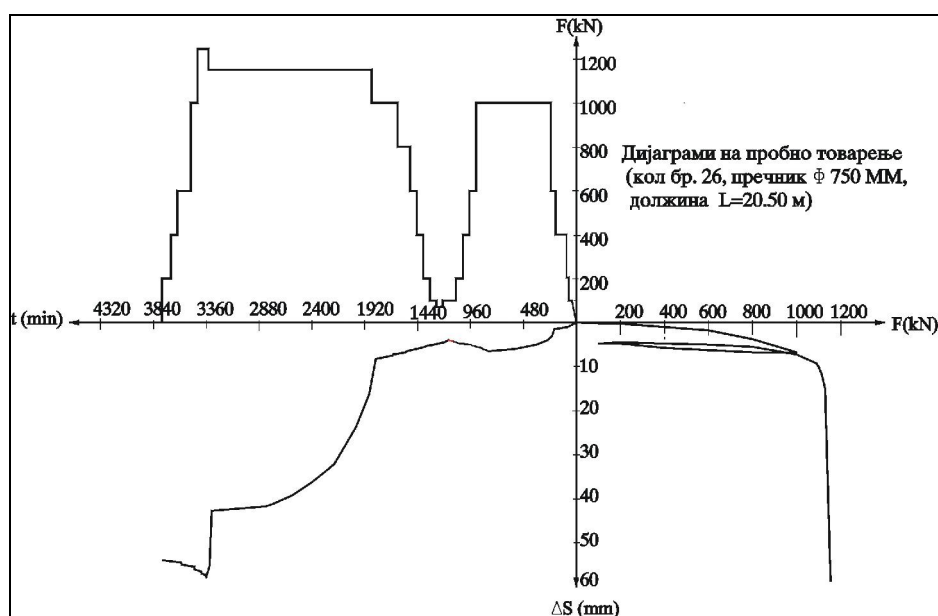
Со анализа на податоците може да се пресмета и модулот на стисливост според следната формула:

$$M_V = (1 - \nu^2) * w * (\Delta P / \Delta S)$$

Каде што w - коефициент кој зависи од формата на крутата плоча

(за кружна форма $w = 0,79$; за квадратна $w = 0,88$);

$\Delta P, \Delta S$ - интервали на оптоварување и соодветно слегнување;



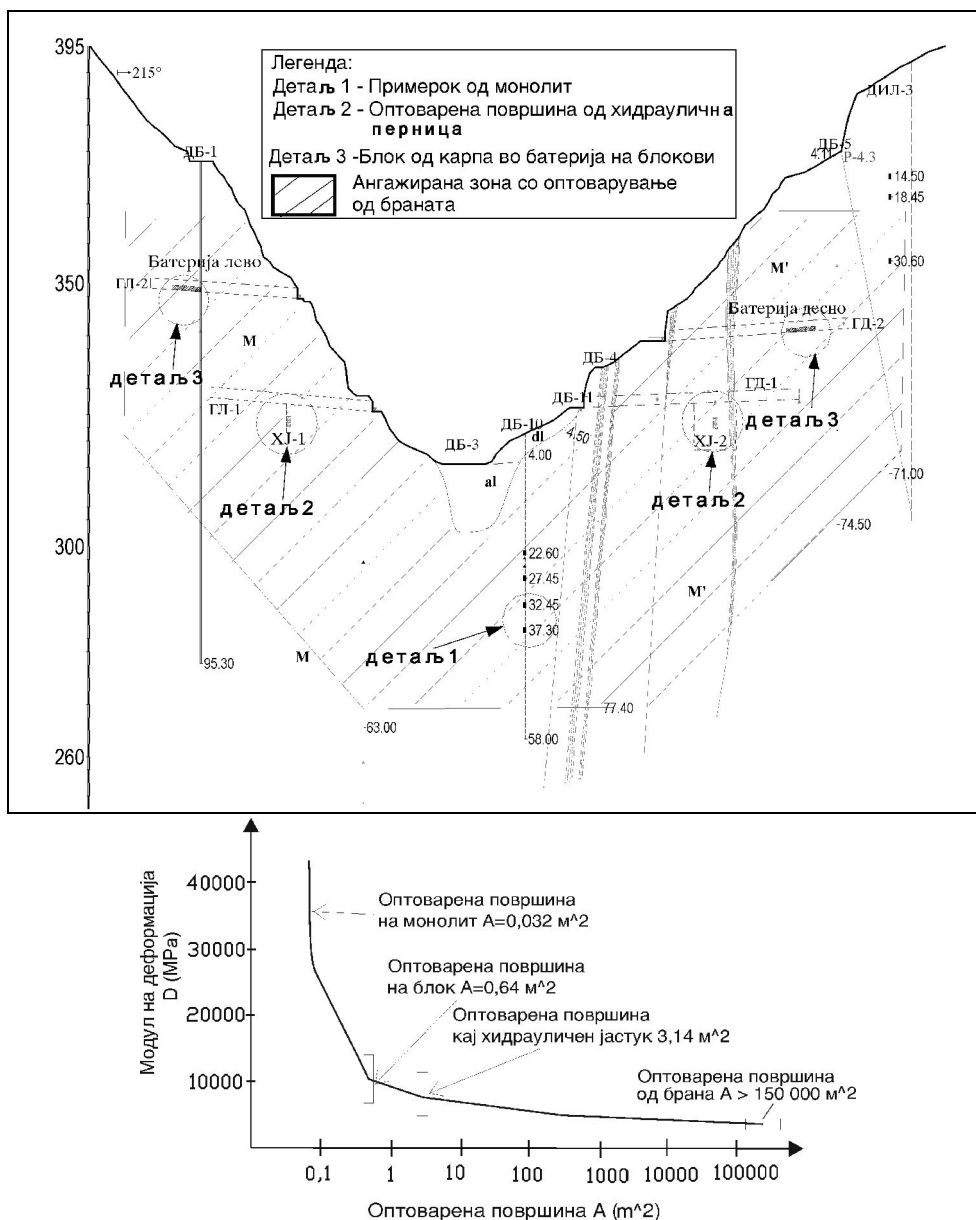
Слика 14.58 Дијаграми на зависност на слегнувањата (ΔS) во функција на силата (F) за случај на пробно оптоварување на армиранобетонски кол кај натпатник „Лушње“, со приказ на зависност на слегнувањата и оптоварувањата во функција на времето на испитување (t)

Често ваквите испитувања се изведуваат до појава на големи деформации, односно лом во почвата, што се користи за оценка на носивоста на почвата по критериумот за лом.

КОМБИНИРАНИ СТАТИЧКО - ДИНАМИЧКИ ИСТРАЖУВАЊА

Во практиката често се појавува потреба од **пренесување** или **екстраполација** на параметрите, кои се испитани на помали примероци или волумен, до волумен кој е реално потребен за анализа на објектот.

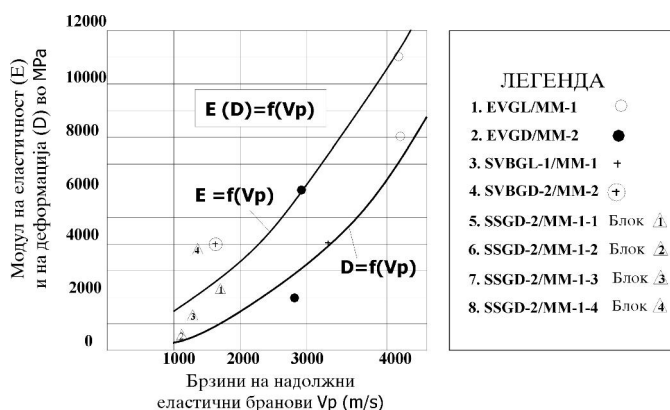
Проблемот на екстраполација е посебно значаен ако се знае дека димензиите на примероците за лабораториски испитувања, но и оптоварената површина кај испитувањата во голема мерка се обично мали во однос на реално оптоварената површина и ангажиран волумен во целата зона на интеракција со објектот. Овој факт јасно може да се согледа од Сликата 14.59.



Слика 14.59 Споредба на оптоварена површина кај пробно тело, опити во голема мерка и од браната „Света Петка“ на реката Треска

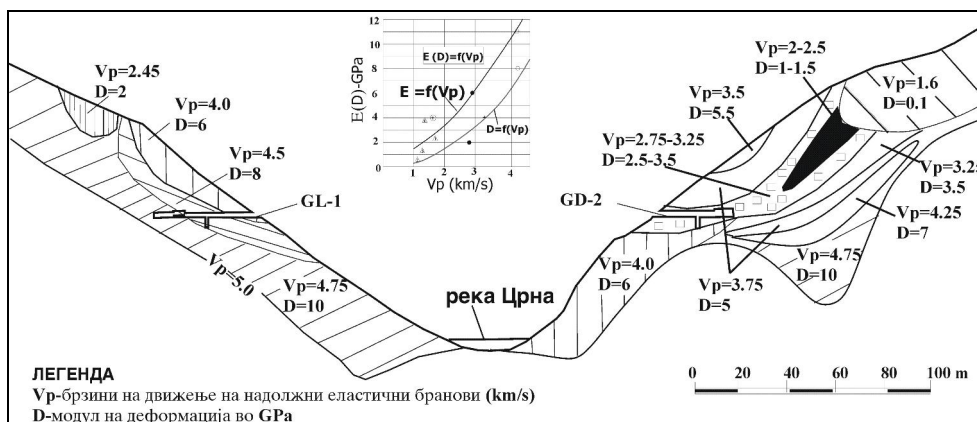
За оваа намена, многу е корисна комбинацијата на **динамичките** со **статичките** методи на испитување. Предноста на динамичките сеизмички методи лежи во фактот што може да се испита цел волумен кој е ангажиран од објектот, а недостаток што преку нив се добиваат само динамички вредности, кои поретко се користат за пресметки споредено со статички добиените параметри. Суштината на комбинирање на методите е со сеизмичките методи да се издвојат

квазихомогени зони од теренот, каде што брзините на еластичните лонгитудинални бранови V_p имаат определена константна вредност. Тогаш, ако се примени геофизичката **микросеизмичката метода** паралелно со статичките опити на доволен број на мерни места, се добиваат парови на вредности од статичките и динамичките карактеристики на теренот за исти испитувани зони. Всушност, на овој начин се овозможува воспоставување на корелациони врски, на пример од видот $D = f(V_p)$, при различни нивоа на оптеретување (Слика 14.60).



Слика 14.60 Корелациони зависимости меѓу модул на деформација (D) и еластичност (E) со брзини на простирање на еластични бранови (V_p) за преградното место „Галиште“ на реката Црна во Р Македонија за испукани гнајсеви

Со користење на вакви корелации, е овозможено во квазихомогените зони по параметарот на брзината V_p , да се пренесат (екстраполираат) соодветните вредности на модулот на деформацијата (D) или еластичност (E) преку конструкција на инженерскогеолошките модели (ИГМ) по параметар на деформабилноста за цел истражуван волумен (Слика 14.61).



Слика 14.61 Инженерскогеолошки модел по деформабилност за брана „Галиште“ на реката Црна добиен со екстраполација на параметри со корелација $D = f(V_p)$

Треба да се спомене дека е можно корелирање на статичките и динамичките параметри не само при истражување на браните, туку и кај други капитални објекти, што е еден и од најтешките проблеми за анализа во инженерската геологија и геотехниката.

МЕТОДИ НА НАБЉУДУВАЊЕ НА ТЕРЕНОТ

При геотехничките испитувања, посебно место заземаат методите на набљудување или **оскултација** на однесувањето на теренот. Основна цел на нивната примена е да се утврди дали одредени точки од објектот или самиот терен се во фаза на движење или на мирување. Со набљудување на теренот, посебно со инструменталните методи се добиваат најточни податоци за неговото реално однесување во фаза пред изведба на објектите, при нивна градба и што е посебно значајно и во фаза на експлоатација.

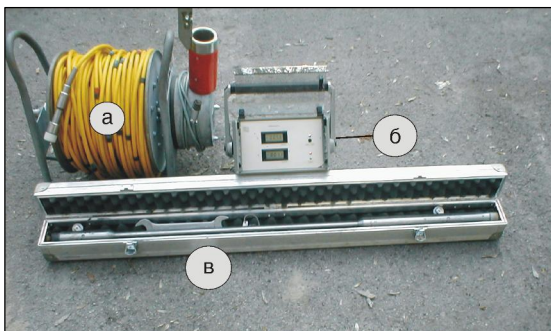
Разработени се повеќе постапки на набљудување, кои грубо можат да се поделат на: **визуелни** и **инструментални методи**. Визуелните методи се засноваат на визуелен преглед на објектот, ископот или теренот при што врз основа на инженерско искуство и картирање на теренот, можат да се добијат многу корисни сознанија за однесувањето на конструкцијата. Инструменталните методи може да се поделат на: **геодетски**, **геотехнички** и други методи. Инструменталните методи обично се вршат систематски во дефинирани временски периоди по одреден систем на набљудување и преку нив можат да се утврдат точно повеќе феномени, како:

- дали е завршен процесот на консолидација на подлогата;
- дали, ископот со промена на примарната напонска состојба, има тенденција за натамошен прираст на поместувањата;
- дали, кај нестабилните терени, има тренд на активни поместувања;
- дефинирање на зоните на лизгање и друго.

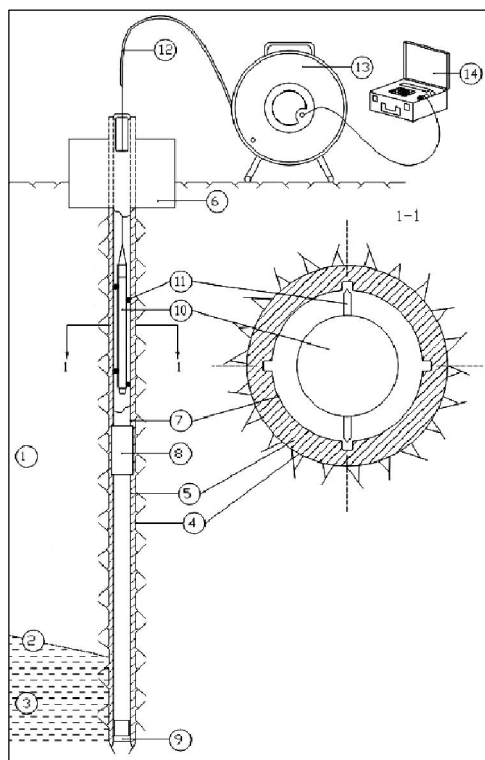
Сите познати методи на оскултација се комбинираат со различни **геодетски мерења**, кои детаљно ги изучува геодезијата.

ИНКЛИНОМЕТАРСКИ МЕРЕЊА

Под поимот инклинометарските мерења, се подразбира следење на поместувања на теренот во длабина. Мерењата се вршат со специјална апаратура, која се нарекува мобилен вертикален **инклинометар**. Инклинометарската опрема се состои од неколку главни делови, како: инклинометарска сонда со жirosкоп („торпедо“), пластични цевки, во кои се спушта сондата за мерење, апарат за обработка и меморирање на податоците и кабел за пренос на информацискиот импулс со ознаки за должина (Слики 14.62 и 14.63).



Слика 14.62 Фотографија на мобилен вертикален инклинометар со составни делови: а - кабел со означена должина поставен на котур; б - апарат за меморирање и обработка на податоците; в - инклинометарска сонда

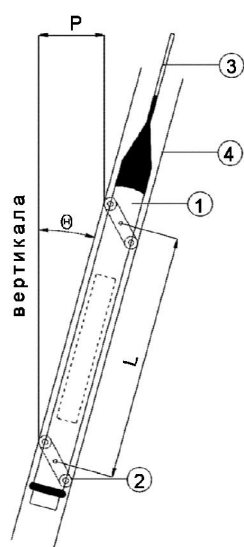


Слика 14.63 Основни елементи на една инклинометарска конструкција и прибор за мерење: 1. тело на потенцијална зона за свлекување; 2. можна површина на лизгање; 3. стабилна зона; 4. сид на дупнатината; 5. полнетица од песок; 6. заштита на главата на инклинометарот; 7. пластични цевки; 8. спојни елементи; 9. заштита на дното на цевката; 10. инклинометарска сонда со жироскоп; 11. тркала за поместување на сондата по должина на жлебовите од цевката; 12. кабел со означена должина; 13. котур; 14. апарат за меморирање и обработка на податоците

Пластичните цевки се со посебно изработени четири ортогонално распоредени жлебови со различен дијаметар, најчесто со должина од по 3 m и се опремени со потребни делови за нивно наставување и поврзување (спојници и заштитници на врвот и дното на цевката). Цевките се вградуваат во претходно издупчени истражни дупнатини со дијаметар обично над 76 mm. Методологијата на изведба на мерењата во инклинометарските дупатини се состои во спуштање на инклинометарската сонда на одредени длабини од дупнатината.

За секоја цевка постојат две основни рамнини на очитување, односно четири насоки што се совпаѓаат со насоките на жлебовите. Според најчесто прифатената конвенција во геотехниката се разликуваат: **две интерни** рамнини за очитување на мерењата (A и B) и **четири интерни правци** (A+; A-; B+ и B-). Правецот A+ всушност преставува правец во кој се очекуваат главните поместувања и е дефиниран со азимутот, кој е зафатен со насоката север. Се нарекува уште и **нулта насока**. Покрај оваа нулта насока очитувања, се вршат и со ротирање на инклинометарот за 180 (т.н **180 насока**). Во принцип се вршат четири мерења за секоја инклинометарска цевка и тоа за двете насоки по две мерења. Мерењата најчесто се вршат на секој метар во длабина почнувајќи од горе надолу, по што следи читање во насока од долу нагоре. Зависно од проблемот кој се решава, мерењата може да се вршат и на пократки растојанија.

На избрано место од цевката се регистрира аголот на отклон на цевката од вертикалата и тој податок како електричен импулс се пренесува до логерот. Врз основа на измерениот агол на отклон и должината на сондата L се пресметува хоризонталното поместување на теренот (P) на дадена длабина (Слика 14.64).



Слика 14.64 Шема на инклинометарска сонда:
 1 - сонда со жироскоп; 2 - тркала со федер; 3 - кабел;
 4 - пластична цевка; L - доложина на сонда; Θ - агол на отклон;
 P - поместувања; $P = L \sin \Theta$

Многу е значајно, дното на инклинометарската конструкција да биде поставено во стабилна зона за да може точно да се дефинираат потенцијалните зони на лизгање. Исто така, дното на инклинометарот треба да е затворен со водонепропустлива капа, бидејќи во спротивно конструкцијата може да биде наполнета со талог, со текот на времето. Делот меѓу инклинометарската конструкција и сидот на дупнатината мора да биде внимателно наполнет, за да се овозможи сигурно пренесување на евентуалните движења од теренот врз инклинометарските цевки. За наполнување може да се искористи густа цементна исплака или песок. Врвот на инклинометарската конструкција е потребно да биде добро заштитен со изработка на бетонски темел и соодветен капак (Слика 14.65).



Слика 14.65 Заштита на врвот на инклинометарската конструкција со припрема на бетонски темел

Внимателното сместување на инклинометарот е потребно за да се добијат реални информации за поместувањата на теренот. Податоците од мерењата се обработуваат компјутерски, а сите поместувања, без разлика дали се вкупни и разлики во поместувања во однос претходните мерења, се споредуваат со т.н. нулто или почетно читање. Типичен дијаграм на поместувања за една насока на читање е прикажан на Сликата 14. 66.

Инклинометарските мерења можат да се применат и за контрола на поместувањата при изведба на длабоки градежни јами и други проблеми, каде што се очекува дека ќе има доминантно поместување во хоризонтална насока.



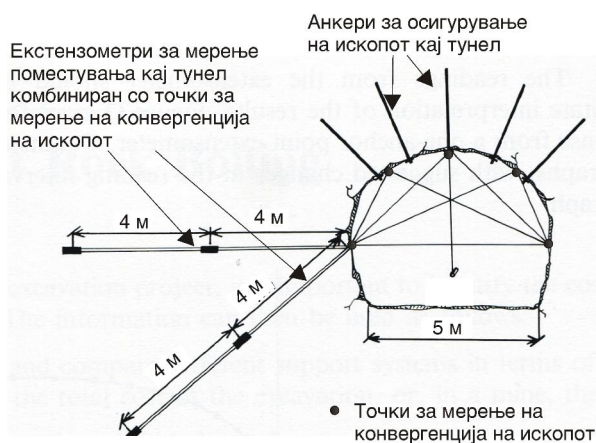
Слика 14.66 Презентација на начин на интерпретирање на податоци од инклинометарски мерења: 1 - шема за означување на 4 главни насоки за мерење; 2 - шематски приказ на вграден инклинометар во нестабилна зона (а) со зона на лизгање (б) и стабилна подлога (в) ; 3 - дијаграм на разлики во читања за три серии на мерења (I до III).

Расположивоста на софтверска и хардверска техника во денешно време овозможува брза контрола на поместувањата, што понекогаш е многу значајно при анализа на однесување на теренот и потреба од брзо донесување на решенија за санација на теренот.

ЕКСТЕНЗОМЕТАРСКИ МЕРЕЊА

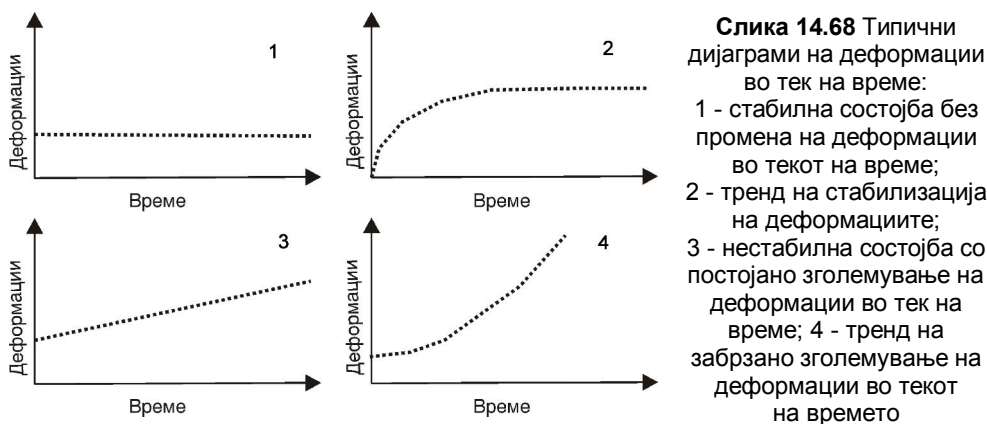
Во одредени случаи во теренот се очекуваат доминантни вертикални поместувања или поместувања во различни насоки во однос на хоризонталата. Тогаш мерењата се вршат со помош **екстензометарски** инструменти. Во практиката се користат различни екстензометри, кои најчесто се вградуваат во дупнатини. Во дупнатините се врши анкерисување на екстензометрот во делови од карпата каде се мерат поместувања, а жиците на кои се мерат релативните поместувања обично се заштитени со пластични цевки и се заинјектирани. Изборот на мерната опрема, типот на инструменти и други технички детали зависат од проблемот што се анализира. Постојат различни начин на

организација на мерењата кога се анализираат поместувања кај косини, кај лачни брани во подлогата или кај подземни објекти (Слика 14.67).



Слика 14.67 Екстензометар вграден за следење на поместувања во карпест масив во комбинација со точки за мерење на конвергенција на подземен ископ

Многу е значајно, читањата да бидат организирани во временски чекори, кои ќе укажат на трендот на процесот (Слика 14.68). Доколку се констатира неповолен тренд, треба да се дефинираат мерки за смирување на поместувањата. На пример, ако со мерење кај некој подземен објект се констатира дека поместувањата имаат тренд на зголемување (Слики 14.68-3 и 14.68-4), можат да се предложат дополнителни мерки за стабилизација на ископот. Истото важи и за случаи кај косини, темели и други објекти.



Според типот на конструкцијата, за вакви намени можат да се вградуваат еднократни и повеќекратни екстензометри (Слика 14.69).



Еднократните екстензометри мерат поместувања само на една длабина, додека кај повеќекратните можат да се вршат мерења во повеќе точки во длабина во истата дупнатина. Во овој контекст, треба да се спомне, дека, детали за инсталацијата и начин на следење на поместувањата се дефинираат со специјален проект за оскултација на теренот.

МЕТОДИ НА МЕРЕЊЕ НА НИВО НА ПОДЗЕМНА ВОДА

Следењето на нивоата на подземни води има големо значење во геотехниката и хидротехниката. Во зависност од положбата на нивото на подземната вода и нејзините осцилации со текот на времето, се и промените во порните притисоци и напонската состојба, вертикални и хоризонтални поместувања на теренот и можноста на развој на современите геолошки процеси. За оваа намена се користат специјални конструкции кои се нарекуваат **пиезометри**, кои се вградуваат во истражни дупнатини.

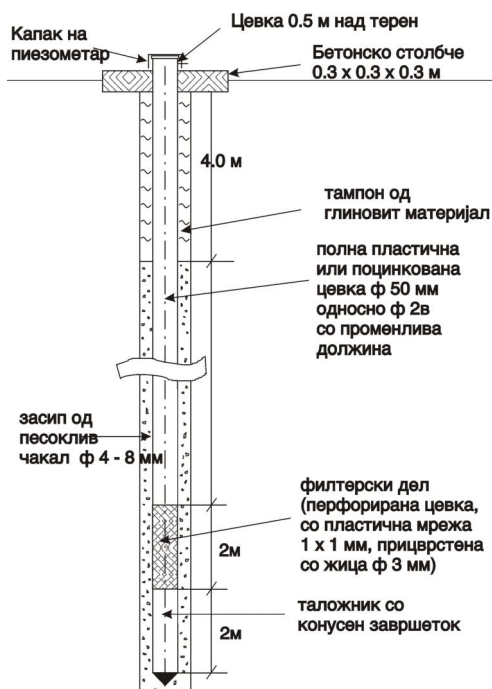
Според карактерот, функцијата и начинот на мерење се различни. На пример, според карактерот може да бидат единечни и групни (двојни, тројни и сл). **Единичните** пиезометри се поставуваат кога во теренот постои само една изданска зона, а **групните** се поставуваат во различни издански зони. Целта е да се дефинираат нивоата на подземна вода и притисоците за секој издан поединечно (Слика 14.70).



Слика 14.70. Изглед на пиезометри вградени во ПК. „Суводол“ - Битолско:
а - единечен пиезометар; б - двоен пиезометар со појава на артески води од две различни зони под притисок; в - троен пиезометар

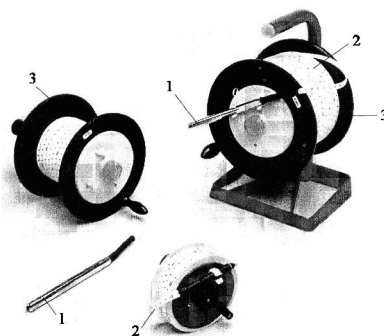
Во практика, често се користат т.н. **отворени пиезометри**. Тие се подготвуваат од поцинкувани или пластични цевки, кои најчесто се со дијаметар од 6/4 - 2'. Основните конструктивни елементи на еден пиезометар се прикажани на Сликата 14.71. Од сликата се гледа дека кај пиезометрите од овој тип, основните конструктивни елементи се состојат од: **таложник, водопропустлив или филтерски дел, полна цевка и глава** на пиезометрот. Таложниот дел од долната страна се затвара со чеп, а се поставува со цел да се овозможи таложеење на поситни честички, кои би продреле од теренот во конструкцијата низ филтерскиот дел. Филтерскиот дел е многу значаен и е составен од **перфорирана** цевка. Филтерскиот дел треба да се постави во хидрогеолошкиот колектор, каде што се наоѓа подземната вода.

Низ изолаторските слоеви се поставува полна цевка. Просторот меѓу пиезометарската цевка и ѕидовите на дупнатината се наполнува со филтерски материјал или се обвива со геотекстил, со цел да се спречи продор на ситни честички од околната средина. Во горната зона, над филтерскиот материјал, до површината на теренот се поставува тампонски материјал за изолација за да се спречи продорот на вода од површината на теренот.



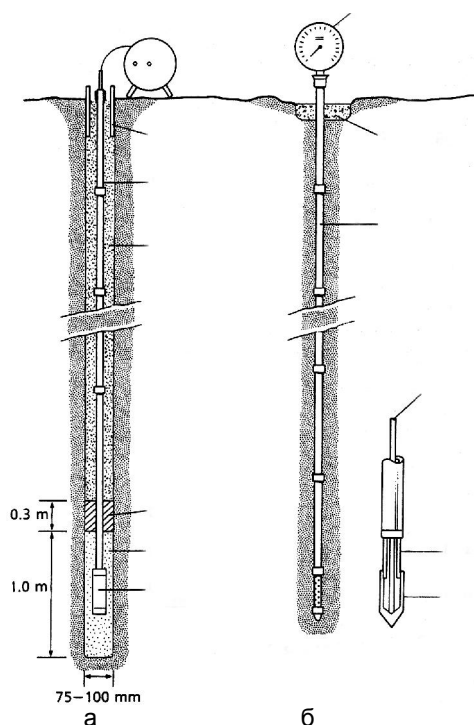
Слика 14.71 Основни конструктивни делови на еден пиезометар

Главата на пиезометрите се заштитува со бетонски темел и поклопец. Мерење на нивото на подземната вода во пиезометрите се мери со специјална апаратура која регистрира нивото по електричен пат или преку звук (Слика 14.72).



Слика 14.72 Електричен мерач на подземна вода: 1 - електрична сонда; 2 - кабел; 3 – котур со ознаки за мерење на длабината на појава на подземната вода

Во практиката се користат и други видови специјални пиезометри, каде што мерењата на притисокот се вршат преку инсталирани манометри на врвот на пиезометарот по електричен пат (Слика 14.73). Бидејќи пиезометарските конструкции се од големо значење за: вршење на долготрајни мерења на нивоата на подземни води, следење на правилното функционирање на објектите во хидротехниката, решавање на проблеми во водоснабдувањето, различни хидрогеолошки анализи и друго, нивната изведба мора да биде многу внимателна.



Слика 14.73 Типови пиезометри; а - Казагранде тип; б - Кембриџ тип

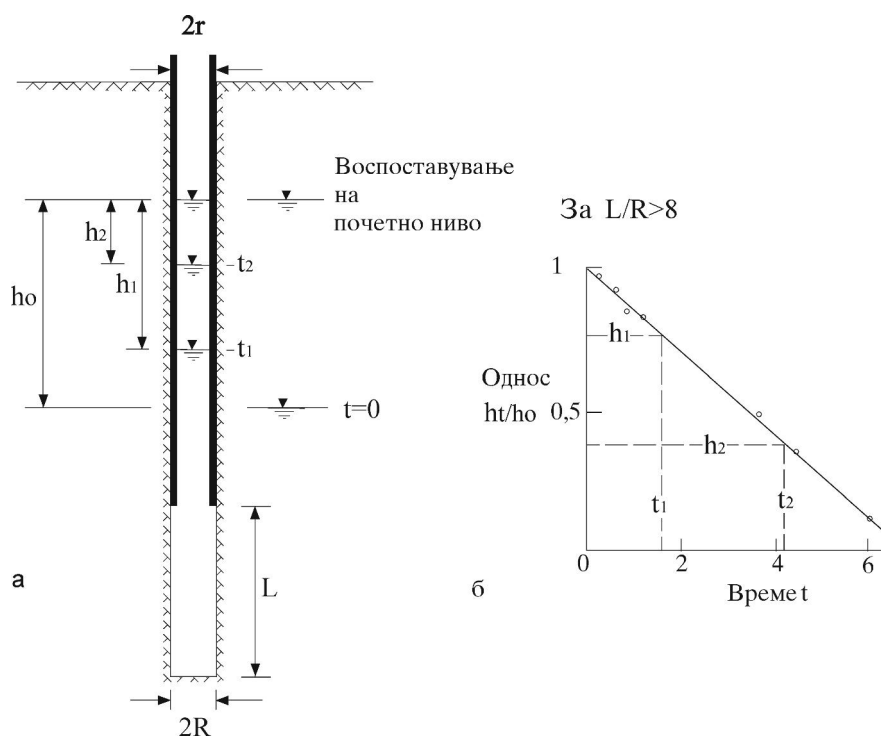
Исто така, многу е значајно да се врши нивно одржување тековно и постојано, со цел да се овозможи нивна долгорочна функционалност. Во спротивно, може за кратко време да се наполнат со талог и да бидат надвор од функција.

ИСПИТУВАЊЕ НА ВОДОПРОПУСТЛИВОСТ ВО ТЕРЕНСКИ УСЛОВИ

Теренските методи на испитување за одредување на **водопропустливоста** и на другите хидрогеолошки параметри, се многу значајни, бидејќи преку нив се врши нивно дефинирање во природни услови на најточен начин. Постојат различни теренски опити засновани на постапки на **црпење** вода од истражни дупнатини, бунари или ровови. Можат да се користат и постапки со **набљудување** на промената на нивото на изданот и депресионата инка, потоа со **налевање** на вода во надизданската зона, или пак со **втиснување** на вода под притисок во истражните дупнатини или некој друг објект.

Налевањето на вода може да се врши во вливни бунари, дупнатини, или некој друг отвор и тоа во **надизданската** или **изданската** зона. По постигнување на одредено ниво, тоа се одржува подолго време со стално долевање на ново количество на вода, кое се мери. Самата инфилтрација може да се врши само низ дното или сидовите, или пак истовремено од дното и сидовите на бунарот.

Една од наједноставните постапки за испитување е т.н. МААГ-метода, каде што се применува само фаза на испитување со променливо ниво на водата (Слика 14.74). Од сликата се гледа дека во дупнатината се изолира една делница со должина L , по што се врши определено снижување на нивото до почетната положба h_0 . Потоа се следат промените на нивото на водата во дупнатината за конкретен временски период.



Слика 14.74 Шема за испитување на коефициент на филтрација со променливо ниво на вода во истражна дупнатина

Коефициентот на филтрација се пресметува на едноставен начин по следната формула: $k = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$

Каде што е: k - коефициент на филтрација во $\text{cm}^2/\text{сек}$;
 A - внатрешен пресек на дупнатината cm^2 ;
 F - коефициент на формата = $2,75 D$;
 $D = 2r$ - дијаметар на дупнатината;
 t_2, t_1, h_2, h_1 - време на мерење на висината на водата во дупнатината.

Една од најпознатите постапки за испитувањето на коефициентот на филтрација, каде што обично се применуваат фази на одржување на константно и со променливо ниво на водата е методата Ле Франк. Ако се применува постапката со променливо ниво, за одредено време на испитување се мери брзината на покачувањето или на опаѓањето на нивото на дупнатината. Пресметката се врши по следните формули:

➤ За фаза на испитување со константно ниво:

$$K = 0.37 \frac{q}{Lh} \log \frac{L}{r}$$

➤ За испитување со опаѓање или со покачување на нивото:

$$K = 2.64 \frac{r^2}{L \Delta t} \log \frac{L}{r} \log \frac{h_0}{ht}$$

Каде што е: q - количина на вода која се инфилтрира во дупнатината;

L - должина на етажата за испитување;

r - радиус на дупнатината;

$t_2 - t_1 = \Delta t$ - временски интервал за кој се мери покачување или опаѓање на нивото за дефинирање на H_1 и H_2 ;

h_0 - почетно ниво на мерење.

h_t - ниво на вода по одредено време на испитување.

Во практиката има разработено голем број методи за испитување на водопропустливоста во зависност од тоа дали налевањето се врши во надизданската или изданската зона, дали изданот е со слободно или со артеско ниво, дали налевањето се врши во совршен или несовршен бунар, дали инфилтрацијата е од дното, странично или комбинирано, со одржување на постојано ниво, негово опаѓање - подигнување и др. При овие испитувања се тргнува од претпоставка за хомогено порозна растресита средина, ламинарно движење и постојан режим на водата. Како пример се наведува изразот за коефициентот на филтрацијата при налевање на вода во совршен бунар, во издан со слободно ниво:

$$k = \frac{0,733 \cdot Q \cdot \log \frac{R}{r}}{h^2 - H^2} \text{ [m/ден]}$$

Каде што е: Q - константен проток (примање) на вода при налевањето со константно ниво во дупнатината;

R - радиус на влијание (m);

r - радиус на дупнатината (m');

h - висина на водениот столб во дупнатината (m');

H - дебелина на изданската зона (m').

Ако, пак, налевањето се врши во надизданската зона на хидроколекторот, тогаш коефициентот на филтрацијата, при постојано ниво во дупнатината, се определува со равенката.

$$k = 0,423 \frac{Q}{L_0} \log \frac{2L_0}{r}$$

Каде што е: L_0 - висина на водениот столб во дупнатината над нејзиното дно (m'),

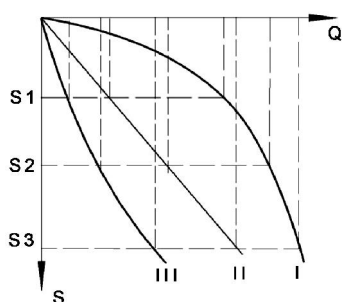
r - радиус на дупнатината (m').

Други можни случаи се прикажани во Анексот 8 на книгата.

ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ФИЛТРАЦИОНИ ПАРАМЕТРИ СО ЦРПЕЊЕ НА ВОДА ОД ВОДОСОБИРНИ ОБЈЕКТИ

Црпењето вода од водособирни објекти може да се врши на повеќе начини, во зависност од поголем број влијателни хидрогеолошки фактори. Така, разликуваме: црпење од поединечни дупнатини, црпење од батерија на дупнатини, групно црпење, опитни црпења, опитно-експлоатациски црпења и др. Податоците од ваквите испитувања се користат за определување на коефициентите на филтрацијата, нивопроводноста и пиезопроводноста.

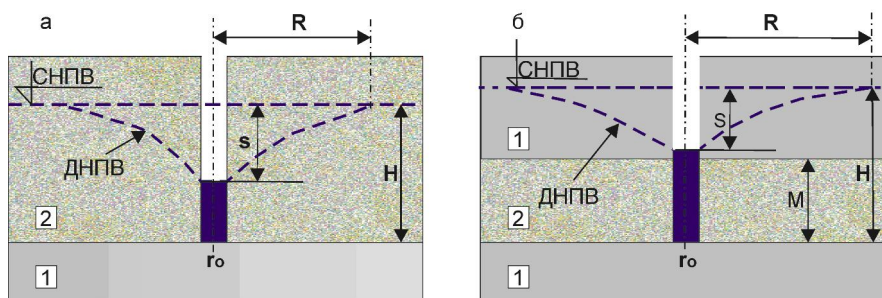
Обработката на резултатите се состои во конструкција на разни графички прилози во вид на хидрогеолошки пресеци по профилите на набљудувачките дупнатини, дијаграми на промената на издашноста, на нивото на водата за време на црпењето, дијаграми на зависноста на издашноста од снижувањето на нивото на изданот и др. Уште во текот на црпењето, успешноста на самиот опит може да се контролира од дијаграмот од тип $Q = f(s)$, прикажан на Сликата 14.75.



Слика 14.75 Дијаграм на зависноста на издашноста (Q) од снижувањето на нивото на изданот (s) за време на црпењето $Q = f(s)$: I - крива на издашноста за издан со слободно ниво, II - за издан со артески притисок, III - крива на неправилно изведен опит, кој мора да се повтори.

Пресметката на хидрогеолошките параметри се врши по различни формули во зависност од граничните хидрогеолошки услови, начинот на црпењето, постоење на слободна или артеиска издан, близината на дупнатините до некој површински водотек како река, езеро и слично.

Постапка за определување на коефициентот на филтрација кога поединечна совршена дупнатина е на значително растојание од површинска вода според решението на Дипи (Dupuit) е прикажано на Сликата 14.76.



Слика 14.76 Шеми за пресметка на коефициент на филтрација од единечна совршена дупнатина за издан со слободно ниво (а) и под притисок (б) според Дипи

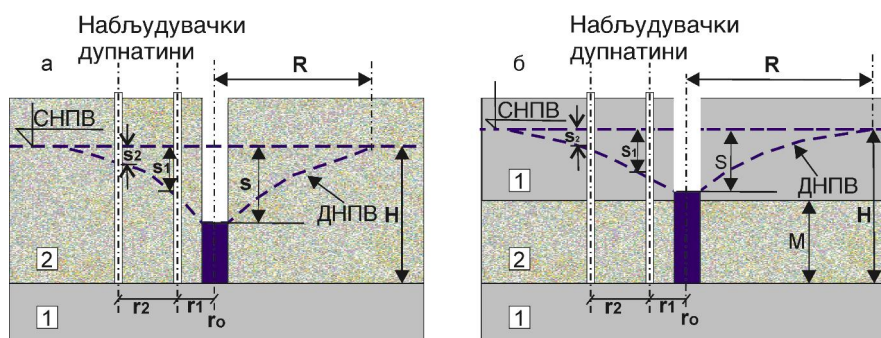
За пресметка се користат следните формули:

$$a) \text{ за слободна издан } k = 0,732Q \frac{\frac{R}{r_0} \log \frac{r_0}{s}}{s(2H - s)};$$

$$b) \text{ за издан под притисок } k = 0,366Q \frac{\frac{R}{r_0} \log \frac{r_0}{m \cdot s}}{m \cdot s}$$

Каде што е: Q - издашноста на дупнатината при црпењето ($m^3/\text{ден}$);
 H - дебелина на изданската зона во слободната издан;
 m - дебелина на артески издан (m');
 s - снижување на нивото на водата во дупнатината или пиезомерот (m');
 R - радиус на влијанието (m');
 r_0 - радиус на филтерскиот дел од дупнатината (m').

Случај со црпење од батерија на совршени дупнатини е прикажан на Слика 14.77.



Слика 14.77 Батерија на совршени дупнатини во слободна (а) и издан под притисок (б) за случај кога се поставени далеку од површински водотек

Изразите на Дипи за вакви црпења гласат:

$$k = 0,732Q \frac{\log \frac{r_2}{r_1}}{(2H - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)} ; \quad k = 0,366Q \frac{\log \frac{r_2}{r_1}}{m(s_1 - s_2)}$$

Каде што е: r_1 , r_2 - растојание на првата, односно втората набљудувачка дупнатина од централната (опитна) дупнатина (m');
 s_1 , s_2 - снижување во набљудувачките дупнатини (m').

Кај несовршените дупнатини, коефициентот на филтрација може да се пресмета со трансформација на равенките за пресметка на дотек на вода, кои се прикажани во Главата 8. Како посебна група на теренски методи може да се издвои постапката на втиснување на водата во карпестата маса под притисок. Оваа метода ја разработил швајцарскиот геолог **Лижон (Lugeon)** во дваесеттите години од дваесеттиот век.

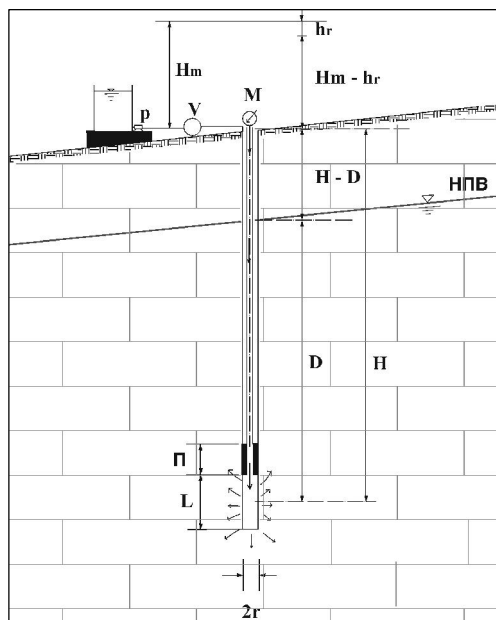
По името на авторот се нарекува **Лижонова** постапка, која, иако претрпела одредени модификации, и ден - денес е најчесто применуваната метода за испитување кај цврстите карпи. При испитувањето се изолира дел од дупнатината кој се нарекува **етажа**, која најчесто е со должина од $L = 5$ m. Потоа овој изолиран дел се става под директен хидростатички притисок, при кој се мери количината на втисната вода во карпата (Слика 14.78). При испитувањето обично се применува фаза на **зголемување** и **намалување** на притисокот во чекори од 2-4-6-8-10-8-6-4-2 атмосфери во траење од по 5 минути до постигнување на константен проток за секое ниво на притисок. Ова се нарекува **целосна постапка** на испитување. Кај оваа постапка, со помош на **гумена обвивка** или **пакер** се изолира долниот дел на дупнатината во должина околу 1,0 - 5 m (Слика 14.79).

Во практиката, во одредени случаи се применува и **скратена постапка** со помалку нивоа на притисок иако крајниот максимален притисок од $P_{\max} = 10$ бара останува ист. По оваа методологија, водопропустливоста квантитативно се изразува со **Лижоновата единица**, која претставува губиток (проток) на 1 литар вода во 1 минута на 1 метар должина во дупнатината, при притисок од 1 МПа (10 бари). Притисокот обично се мери во средината на етажата во која се испитува и се одржува најмалку 10 минути, така што Лижоновата единица ја добива својата димензија $1 \text{ Lu} = 1 \text{ lit} / \text{min} / \text{m}^3 / 1 \text{ МПа}$. Хидростатичкиот притисок P_h се добива кога на манометарскиот притисок (P_m), кој се мери на влезот на

дупнатината, ќе се додаде геодетската висина на водениот столб меѓу влезот на дупнатината и половината на етажата. Во случај на подземна вода, на оваа висина се одзема висината на водениот столб од подземната вода:

$$p_h = p_m + \frac{H-D}{10} - P_c$$

Каде што е: P_c - пад на притисокот на делот на манометарот до етажата заради загуби на притисок при течење во цевководот.



Слика 14.78 Шема за испитувањето на водопрпусноста на карпестите маси со Лижоновата постапка: П - место на изолирање на етажата со пакер; L - должина на етажата; М - манометар; V - водомер; P - сад со вода за задавање притисок; H_m - манометарски притисок; H - висинска разлика од влезот на дупнатината (манометарот М) до средината на етажата, D - висинска разлика од нивото на подземната вода (НПВ) до средината на етажата.



Слика 14.79 Изглед на гумен дел наречен пакер, поставен на дупчечките шипки за изолирање на делницата за испитување

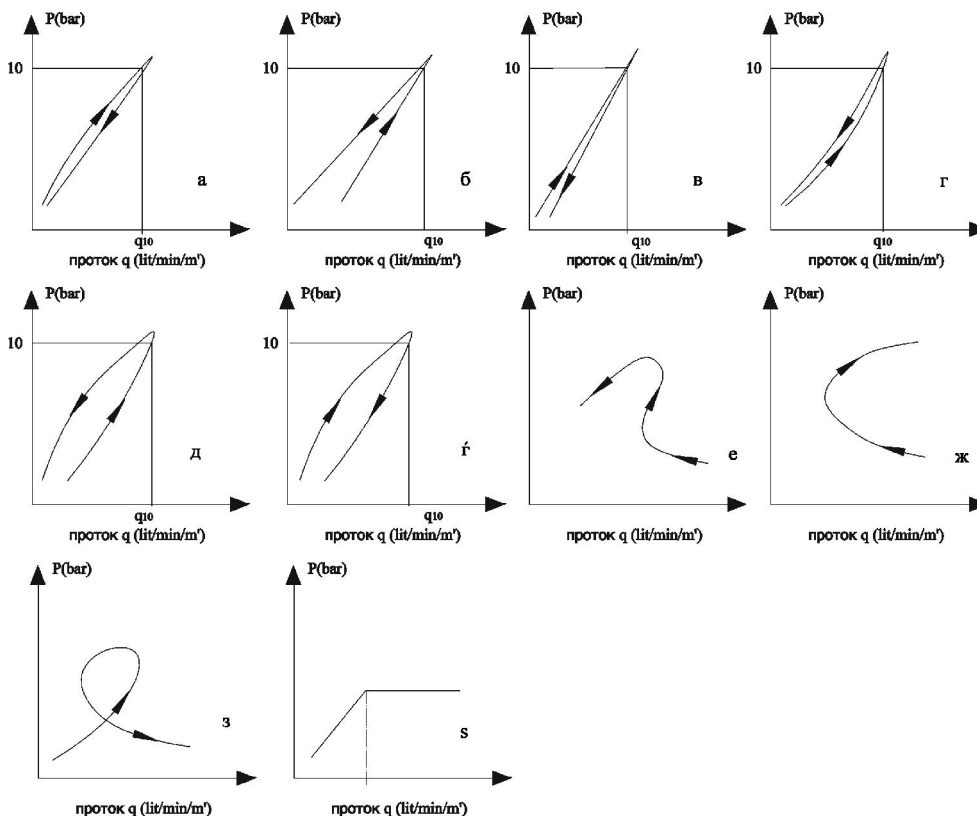
Со оглед дека големината на овој притисок е по правило релативно многу мала при кратки и мазни цевоводи овај пад на притисок практично може да се занемари.

Лижон сметал дека водопрпусноста на карпестите маси е незначителна при $ВДП < 1Lu$, така што вакви карпи се сметаат како практично водонепропустливи.

Во практиката, за хидрауличните пресметки воспоставени корелационски зависимости меѓу Лижоновата единица и коефициентот на филтрацијата (K). Една од зависностите е прикажана со следната равенка:

$$K (m / s) = 1.3 * 10^{-7} Lu$$

Како услов за примена на оваа зависност се претпоставува дека протокот на водата низ пукнатините е ламинарен и дека пукнатинскиот систем е хомогено распределен во карпестата маса, односно дека карпестата маса е хомогено испукана. Покрај самите испитувања, многу е значајно да се изврши правилно толкување на типовите на дијаграми, кои ја дефинираат зависноста меѓу протокот и притисокот $q = f(P)$ или $P=f(q)$ (Слика 14.80).



Слика 14.80 Карактеристични дијаграми на водопропусноста во вид на влијание на притисокот (P) врз протокот „q“ во lit / min / m

Со анализа на овие дијаграми (Слика 14.80) може да се донесат определени заклучоци за карактеристиките на карпестата маса, која се испитува. Праволиниски дијаграм (в) укажува на ламинарен режим на движење. Криволинискиот карактер на дијаграмот (г) укажува на турбулентен режим на филтрацијата и обично одговара на појавата на крупни пукнатини на карпестите маси. Дијаграмот (б), укажува на појава на наполнување (колматација) во пукнатините со трошен материјал. Дијаграмот (в), укажува на процес на плакнење (испирање) на пукнатинскиот запонител, додека дијаграмите (д, е), одговараат на истите појави како и дијаграмот (в), но за турбулентен режим на филтрација. Дијаграмот (ж), укажува на колматација на пукнатините при намален притисок, потоа на продор при зголемувањето на притисокот и на крајот пак на зголемувањето на колматацијата при високи притисоци. Дијаграмот (з) укажува на колматацијата при низок притисок, но и за испирање на пукнатинскиот запонител

при високи притисоци. Појава на моментот на хидрауличен лом на карпестите маси е илустриран под (s), кога во точката К се јавува остар прелом, а протокот на водата се зголемува без подигање на притисокот, што укажува дека во овој случај испитувањето треба, исто така, да се прекине.

Во стручната литература понекогаш водопропустливоста на карпестите маси се определува преку **специфична водопропусност** (q). Под специфична водопропусност се подразбира водопропусност, која се однесува на 1 m притисок од водениот столб и 1 m на дупнатината. Се определува по формулата:

$$q = \frac{Q}{H \cdot l} \quad (\text{lit} / \text{min} / \text{m}' / 0.01 \text{ MPa})$$

Каде што е: q - специфична водопропусност;

Q - вкупен проток на водата на испитуваната етажа (lit / min);

l - должина на етажата (m);

H - притисок (m).

Очигледно е дека специфичната водопропусност е за 100 пати помала од единицата на Лижон.

Треба да се нагласи дека испитувањето на водопропустливоста по оваа методологија се користи, главно, кај браните за фаза пред инјектирање или по инјектирањето. Од особена помош е при пресметка на потребниот обем на инекциските работи и сите други елементи на инектирањето.

ПРОГРАМИРАЊЕ НА ОБЕМ И ВИД НА ИСТРАЖНИТЕ РАБОТИ

Програмирање на обемот и видот на истражните работи се смета за една од најзначајните работи во геотехничката практика. При тоа, секогаш треба да се имаат предвид карактеристиките на теренот и на објектот. Во прва фаза, врз основа на расположливи податоци е потребно да се изврши категоризација на теренот според т.н. геолошка сложеност во неколку категории.

На пример, Јовановски 2001 година разработува класификација користејќи го принципот на бодување на неколку најзначајни параметри на теренот (Табела 14.3).

Потоа, се врши и категоризација на објектите според нивните конструктивни карактеристики, за на крај да се изврши определена комбинација на категориите со цел да се прогнозираат потребните проектни елементи на истражните работи.

Оваа проблематика повеќе добива на значење, а се тежнее дури да биде на некој начин стандардизирана. На пример, во Европскиот код 7, кој се занимава со геотехничките аспекти на проектирање, постојат препораки за обезбедување на потребен обем и квалитетот на геотехничките истражувања, во зависност од поголем број фактори со чија помош се дефинирани **три геотехнички категории** на објекти.

Геотехничка категорија 1 ги опфаќа малите и релативно едноставни конструкции како: едноставни едноспратни и двокатни куќи фундирани на плитките темели со максимални проектни оптоварувања на подлогата до 250 kPa, потпорни ѕидови и подгради со длабина на ископ, кој не е поголем од 2 m, плитките мали ископи за дренажи, полагање на цевоводи и др. За оваа геотехничка категорија, проектирањето може да биде засновано на искуство и квалитативни геотехнички испитувања, односно т.н. „споредбено искуство“ и рутински методи.

Во **геотехничка категорија 2** се опфатени вообичаени видови на конструкции и темели без посебен ризик по околината како: плитките темели, темелни плочи, тунели во цврсти неиспукани карпи каде не постојат посебни барања за водонепропустност и сл. За вакви објекти, се потребни и квантитативни

геотехнички податоци за проектирање, а лабораториските испитувања, можат да се вршат со рутински методи.

Табела 14.3 Класификација на теренот според геолошката сложеност

Параметар	Категорија на терен по геолошка сложеност		
	I	II	III
1. Покриеност на терен	Откриен терен (делувиум само на ретки места)	Слабо покриен и слабо пошумен терен (дебелина на делувиум до 1 метар)	Многу покриен терен (откриени изданоци не се среќаваат или се среќаваат многу ретко поради голема пошуменост на теренот)
Поени	4	12	20
2. Литолошка хомогеност	Еден литолошки член	Два литолошки членови	Интензивна хетерогеност по параметар на литологија по вертикала и хоризонтала
Поени	4	12	20
3. Присуство на современи геолошки процеси или појави кои влијаат кај објектот	Без застапеност	Слаба застапеност со лесна можност за решавање	Силно изразено присуство на современи геолошки процеси кои имаат влијание врз објектот и кои се решливи само со примена на технички интервенции (не е можно да се избегнат со менување на локација на објектот)
Поени	4	16	20
4. Склоп на терен, залегање на слоеви и тектоника	Слабо изразена тектоника, без раслојувања и раседнувања	Средно изразена тектоника, слабо набирање и раседнување	Силно изразена тектоника, чести раседнувања набрани терени, со неповолно залегање на структурните елементи во однос на објектот
Поени	4	12	20
5. Број на структурни блокови од прв ред на профил	Еден	Два	Повеќе од два
Поени	4	12	20
Вкупен збир	<32	33-64	65-100

Во геотехничка категорија 3 припаѓаат објекти кои не се во претходните категории како: посебни конструкции со големи ризици по околината, објекти кои

МЕТОДИ НА ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА

се фундаираат во невообичено тешки услови на почвата или при посебни случаи на оптоварувања, во зони на висока сеизмичност и сл.

Конкретни постапки и препораки се прикажани за сите позначајни видови објекти.

ПРЕПОРАКИ ЗА ПРОГРАМИРАЊЕ НА ИСТРАЖНИ РАБОТИ КАЈ БРАНИТЕ

Браните се сметаат за најсложени и најкомплексни објекти, бидејќи можат да предизвикаат најголеми и најдрастични оштетувања и влијанија врз животната средина. Затоа, при програмирање на истражните работи се посветува многу големо внимание. Многу е значајно да се знае дали објектот е од типот на насипана, гравитациона бетонска или бетонска лачна брана, со оглед дека типовите на механичка и хидродинамичка интеракција со теренот не се одразуваат на ист начин кај секоја од нив. Како главни критериуми за категоризација на браните најчесто се земаат: нивната висина, условите за изведба, типот на брана и можностите за појава на нестабилност во склоп на акумулациониот басен.

Со особено внимание се анализира опасноста од појава на поплавен бран, кој би ги загрозувал самата брана и низводните населби. Една можна шема за категоризација на големите брани е прикажана во Табелата 14.4.

Табела 14.4 Класификација на големи брани врз основа на повеќе критериуми

Параметар	Класификација за категорија на брана		
	А	В	С
1. Услови за изведба (*)	поволни услови, во цврста карпа, без опасност од појава на нестабилност во фаза на ископ	средно тешки, низ меки карпести маси, шкрилци, лапорци и туфови	специфични услови, фундаирање врз почвена маса со можност за бабрење и појава на нестабилност во фаза на ископ и друго
поени	4	22	33
2. Влијание на објектот врз околината	нема значајно влијание, далеку од урбани подрачја, без опасност од појава на нестабилност во рамки на акумулациониот басен што би предизвикало неконтролиран поплавен бран	можни помали влијанија при изведба на работите, посредни влијанија од потреси при минирање, мали можности за појава на нестабилност во акумулациониот басен, мала опасност од неконтролиран поплавен бран	можни значајни влијанија кон околната средина, со можност за нестабилност на поголем волумен во склоп на акумулациониот простор и голема опасност од неконтролиран поплавен бран
поени	4	22	33
3. Висина (m)	< 40 m	40 -100 m	>100
Поени	4	11	20
4. Тип на брана	насипана	гравитациона бетонска брана	бетонска лачна брана
поени	4	11	14
вкупно поени	<33	34 - 66	67 - 100

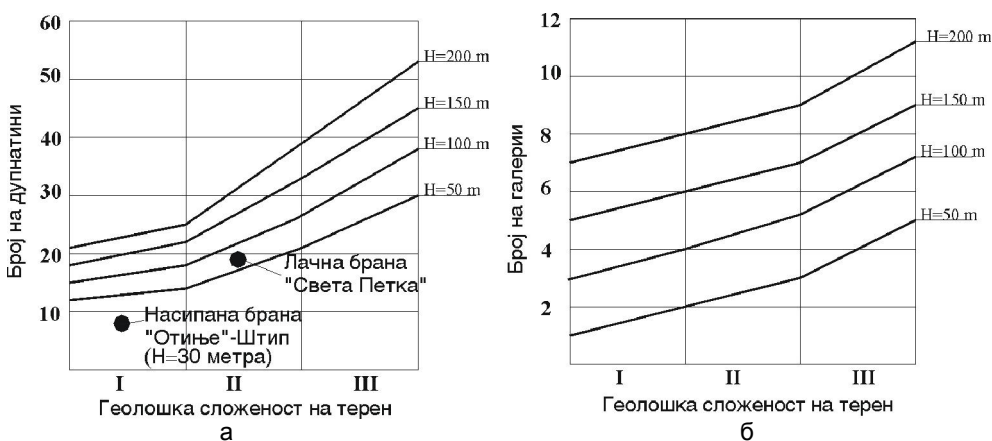
Категориите за висина се усвоени главно по препораките на Меѓународното друштво за големи брани (ICOLD).

При истражување на браните најзначајни истражни објекти се истражните дупнатини и галериите. Во согласност со позитивни искуства од практиката, се

разработени различни методи за прогноза на потребниот број на истражни дупнатини и галерии. На пример, П. Локин и С. Остојик (1992), предлагаат методологија, каде што се комбинира категоријата по геолошка сложеност со висината на браните. При проектирање на обемот и видот на истражувања, за различни висини на браните се воведува релативен коефициент (K), кој е еднаков:

- K = 1 за брани со висина до 50 метри;
- K = 1,25 за брани со висина до 100 метри;
- K = 1,50 за брани со висина до 150 метри;
- K = 1,75 за брани со висина до 200 метри.

Принципот за програмирање на истрагите со комбинација на податоците за геолошка сложеност на теренот и категоријата на објектот е прикажан низ примерите на изведени истражни работи за насипаната брана на р. „Отиње“ - Штип и лачната брана „Света Петка“ на р. Треска (Слика 14.81).



Слика 14.81 а - Дијаграм за проценка на број на истражни дупнатини за браните „Отиње“ - Штипско и „Света Петка“ на реката Треска; б - дијаграм за проценка на број на истражни галерии.

Прикажаните критериуми на сликата важат за бетонски брани, додека кај насипаните брани, авторите препорачуваат 20-30% помал број на истражни дупнатини.

Покрај бројот на истражни работи, многу е значајно со истрагите да се опфати доволна **длабина** на истражување. Во практиката, понекогаш се дефинира и т.н. **простор за истраги**, при што можат да се искористат критериумите според Јапонски национален комитет за брани (Табела 14.5).

Ова е практична задача која многу тешко се дефинира со една единствена методологија, но генерално изборот на длабината на истражување се прави со земање предвид на: геолошката сложеност на теренот, фазата на истражување, висината на браната, водопропустливоста на теренот, видот и намената на пратечките објекти.

Обично, подлабоки дупнатини се прават во средината на речниот профил, при што длабината на истражување би требало да биде најмалку колку што е висината на браната. Во прелиминарните фази од истражувањата треба да се прават подлабоки дупнатини, а по добивање на почетните сознанија, во наредните фази, може поточно да се дефинира потребната длабина на истражување.

Табела 14.5 Дефинирање на подрачје на истражување во зависност од висината на браните по Јапонски национален комитет (преземено од М. Селимовиќ, 2004)

Тип на брана	Коефициент со кој се множи висината на браната		
	возводно	низводно	брегови на браната
лачна брана	1,0	1,5	1,5
други бетонски брани	1,0	1,0	1,0
насипани брани	0,5	0,5	1,0

Многу е значајно да се укаже дека истражните работи треба да се распределат во неколку фази. П. Локин и С. Остојик (1992) предлагаат распределба на обемот на истражувањата во процентуален сооднос според главните фази на проектот на следен начин:

- фаза на идејни решенија и основна проектна концепција од 10 -15 %;
- фаза на идеен проект - основен обем од 60 - 70%;
- фаза на основен (главен) проект-дополнителен обем од 15 - 30%.

Се гледа дека во сите случаи најголемото внимание при истражувањата треба да се посветува за фазата на Идејниот проект. Поради комплексноста на проблемот, при истражувањето на браните е потребно максимално залагање на сите инволвирани страни во процесот на истражување и проектирање. Програмирањето на истражните работи се прави со соодветна **Програма** или **Проект** за детаљни истражувања, каде покрај истражните дупнатини се дефинираат и бројот на опити за испитување на водопропустливоста, дилатометарски испитувања, механички испитувања во голема мерка во галериите, прозрачувања и друго.

Се подразбира дека за секој конкретен случај мора да се обезбеди релевантен фонд на податоци за проектирање и изведба со цел да се осигура функционалност и стабилност на објектот и да не се предизвикаат негативни влијанија врз околината.

ПРЕПОРАКИ ЗА ИСТРАЖУВАЊЕ НА УСЕЦИ, ТУНЕЛИ, НАСИПИ И КАНАЛИ

При програмирање на истражните работи за усеци, тунели, насипи и канали можат да се примени сличен пристап како и кај браните, користејќи повеќепараметарско класифицирање на теренот и на објектите (Табели 14.6 и 14.7).

Во поглед на длабината на истражување за тунели и усеци, треба да се тежнее таа да биде минимум по 5 метра под нивелетата на објектот. Целта е да се добијат податоци за детална анализа на стабилноста, можноста за развој на свлекување со т.н. подножичен лом и друго. Дупатините најчесто се лоцираат по осовина на усекот или тунелот. Кај усеци со знатни висини, како и кај влезните и излезните (порталните) делови на тунелот, каде што има потенцијална можност за свлекување, истражувањата може да се постават и попречно на протегањето на објектот. Целта е да се добијат податоци за подготовка на попречни профили на теренот, кои би биле основа за анализа на стабилност.

Кај многу длабоки тунели во високи планински предели, дупчењето понекогаш се прави само на најкритичните влезни делови, додека длабината на теренот се испитува со геофизички методи.

За дефинирање на геолошката сложеност, кај насипите се користат следните критериуми:

- **Категорија I:** наједноставни геолошки услови, кои се однесуваат на литолошки хомогени и добро носиви терени, главно покриени, со

водонепропустни карпести маси во подлога на насипот (1 дупнатица/ km за висина до 3 m);

- **Категорија II:** средно сложени геолошки услови, поврзани за литолошки хомогени или делумно хетерогени, добро носиви терени, главно покриени, со ниво на подземна вода до ниво на терен (1 - 3 дупнатини/ km за висина до 3 m);
- **Категорија III:** многу сложени геолошки услови, кои се однесуваат на хетерогени литолошки терени, стислива подлога, условно стабилни или нестабилни терени со ниво на подземна вода близу до површина на терен (3 - 5 дупнатини/ km за висина до 3 m).

За насипи повисоки од 3 m, се воведува релативен приближен коефициент (K) којшто е еднаков на: K=1 за насипи до 3 m висина, K=1,25 за насипи од 3 - 6 m висина и K=1,5 за насипи преку 6 m висина.

Во поглед на длабината на истражување, кај насипите би требало да се испита длабина до околу 5 m под котата на која е фундиран насипот врз природната подлога. Во одредени карактеристични случаи кога подлогата е градена од високо деформабилни почви, може да се јави потреба и од подлабоко испитување на теренот, за добро да се пресметаат можните слегнувања.

Дупнатините најчесто се лоцираат по осовина на насипот, но кај постројни терени, каде што има потенцијална можност за свлекување на контакт насип-подлога, истражните работи можат да се постават и попречно на неговото протегање.

Табела 14. 6 Класификација на терен и усеци врз основа на повеќе критериуми

Параметар	Геотехничка категорија на усеци		
	I	II	III
1. Услови за изведба	лесни за изведба, во цврста карпа, без опасност од појави на нестабилност во фаза на ископ	средно тешки, низ меки карпести маси, шкрилци, лапорци во сува состојба	специфични услови, постојни свлечишта, подземна вода, бабрење
поени	5	22	33
2. Влијание на објектот врз околината	нема влијание, се гради надвор од урбани подрачја, без опасност од одрони, свлечишта	влијание само во момент на изведба на работи во вид на потреси од минирање, без можност за уништување на објекти и загадување на околина, појави на нестабилност не се од пресудно значење и се лесно решливи	има големо влијание врз околината (урбанистички услови, еколошки влијанија, влијанија врз соседни објекти, снижувања на вода и др, блокирање на сообраќај)
поени	5	22	33
3. Должина на усек	кратки усеци до 50 метри	должина од 50-300 метри	подолги од 300 метри
Поени	5	11	20
4. Висина	висина до 5 метри	висина до 5 -18 метри	висина >18 метри*
поени	5	11	14
вкупно	0 - 33	34 - 66	67 - 100

(*) **Напомена:** Ако се појави потреба за изведба на повисоки усеци од 18 m, при проектирањето треба да се анализира и варијанта со тунел.

Табела 14.7 Класификација на тунели врз основа на повеќе критериуми

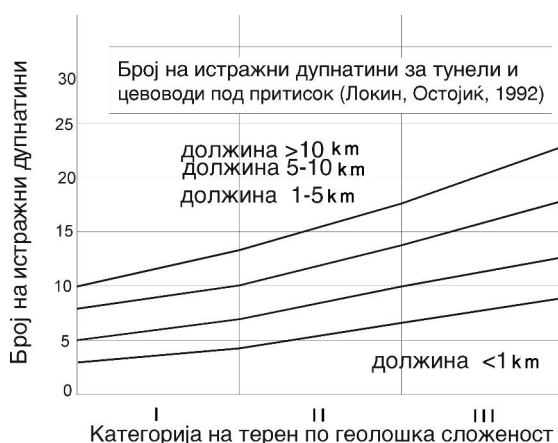
Параметар	Геотехничка категорија на тунел		
	I	II	III
1. Услови за изведба (*)	лесни, во цврста карпа, без опасност од појави на нестабилност во фаза на ископ	средно тешки, низ меки карпести маси, шкрилци, лапорци и туфови во сува состојба,	специфични услови, гасови, температури, високи напони, бабрење
поени	5	22	33
2. Влијание на објектот врз околината	нема влијание, надвор од урбани подрачја, без опасност од слегнувања на теренот и др.	влијание само во момент на работи, посредни влијанија од потреси при минирање, без можност за загрозување на соседни објекти и околина	значајно влијание врз околината (урбанистички услови, еколошки влијанија, влијанија врз соседни објекти, пореметување на режим на подземни води и сл.
поени	5	22	33
3. Големина на објект (површина на отвор)	мал профил (< 27 m ²)	профил 27- 56 m ²	профили > 56 m ²
поени	5	11	20
4. Должина	краток тунел со должина помала од 100 m	должина од 100 - 1000 m	должина поголема од 1000 метри
поени	5	11	14
вкупно	<33	34-66	67-100

(*) **Напомена:** Условите за изведба се дефинираат глобално, а нивно детаљно дефинирање се прави за секоја квазихомогена зона од теренот по завршување на истражувањата и во фаза на изведба

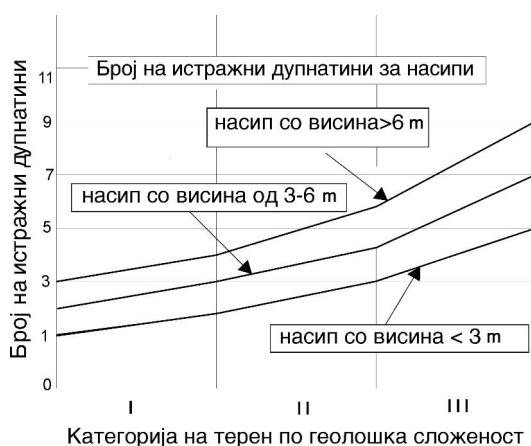
Ако се имаат предвид овие генерални напомени, соодветни дијаграми за проценката на бројот на дупнатините или растојанијата меѓу истражните работи се прикажани на Сликите: 14.82 за усеци или засеци, 14.83 за тунели и 14.84 за насипи.



Слика 14.82 Дијаграм за проценка на потребни растојанија меѓу истражни работи кај усеци и засеци



Слика 14.83 Дијаграм за проценка на потребен број на истражни работи кај тунели и цевководи под притисок



Слика 14.84 Дијаграми за проценка на потребни растојанија меѓу истражни дупнатини кај насипи

За канали, при одредувањето на бројот на истражните работи, се користат следните критериуми:

- **Категорија I:** наједноставни геолошки услови, за плитки канали до 3 метра кај целосно откриени терени со едноставни литолошки и хидрогеолошки услови, кои се градат во цврсти карпести маси, истражното дупчење може да се изостави, а теренот се испитува со истражни раскопи, картирање и геофизички истражувања,
- **Категорија II:** средно сложени геолошки услови, што подразбира делумно покриени терени со повеќе литолошки членови, со или без изразена тектоника и со можно ниво на подземна вода над нивелетата на каналот, се прават минимум **1-2 дупнатини** во секоја квазихомогена зона со приближно исти инженерскогеолошки услови.
- **Категорија III:** многу сложени геолошки услови, изразито покриени терени со хетерогени литолошки терени, стислива подлога, условно стабилни терени или нестабилни терени со ниво на подземна вода близу до површина на

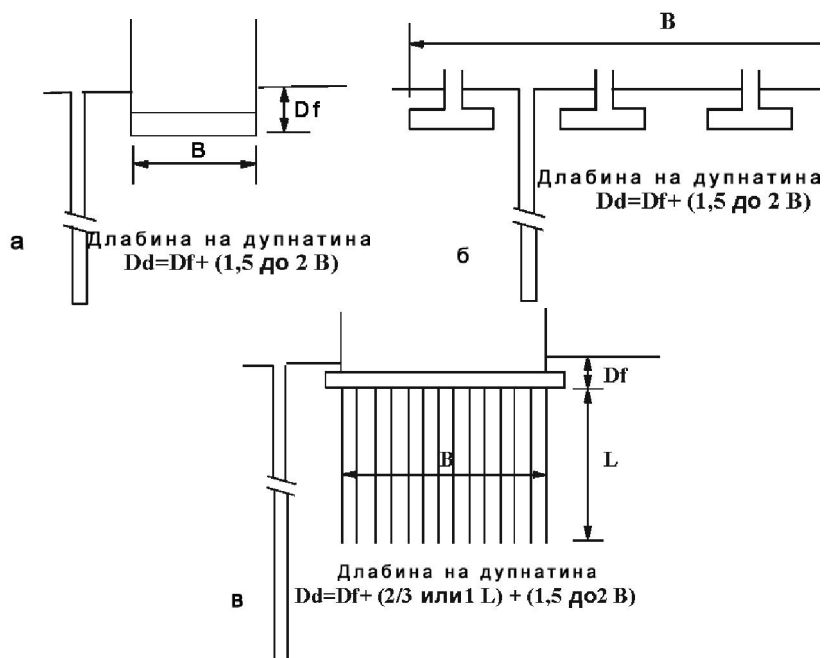
терен, се прават по **2-3 дупнатини** во секоја квазихомогена зона со приближно исти инженерскогеолошки услови. При евентуално нестабилни терени се поставуваат и попречни профили со по минимум **3 дупнатини на профил**.

Кај каналите, истражните раскопи или дупнатините најчесто се лоцираат по осовина на каналот, но по потреба може да се примени и друг распоред, зависно од теренските услови.

Овие препораки можат да се искористат и при проектирање на заштитни мерки при регулација на водотеци, посебно кога за регулација треба да се изведат и одредени конструкции.

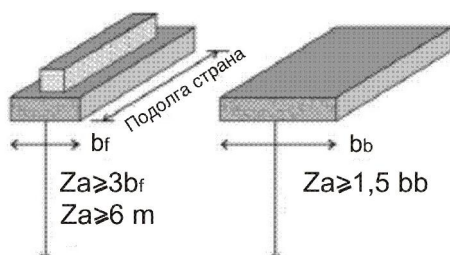
ПРОГРАМИРАЊЕ НА РАСПОРЕД, ДЛАБИНА И БРОЈ НА ДУПНАТИНИ ЗА ОБЈЕКТИ ОД ВИСОКОГРАДБАТА

За потреби на проектирање на објектите од високоградбата истражувањата се проектираат во зависност од типот на темелот, неговата ширина (B), длабината на фундарање (D_f) и други карактеристики. Целта е да се обезбедат доволно податоци за темелната основа до длабини, каде би се почувствувале влијанијата од објектот. Ова е неопходно за да се направи реална пресметка на слегнувањата, носивоста на подлогата, условите за ископ и стабилноста на ископот при изведба на темелната јама. Конкретни препораки за конструкции фундарани на темели самци, група темели со плитко фундарање или пак за потреби на фундарање на колови се прикажани на Сликата 14.85.



Слика 14.85 Препораки за потребна длабина на истражување во зависност од тип на темел и длабина на фундарање: а - темел самец; б - група на темели самци поставени блиску еден до друг; в - фундарање на колови.

Слични препораки се дадени и во материјалите каде се разработуваат принципи на проектирање според Еврокодот 7 за различни видови на темели (Слика 14.86).



Слика 14.86 Препорачана длабина на истражување (Z_a) за темели со ширина b_f односно b_b (Бонд и Харис, 2008)

Постојат препораки за минимална длабина на истражување (Z_a) под најниската точка на објекти како: патишта, аеродроми, ископи од различен карактер, ископ за гасоводи и нафтоводи, потпорни сидови, група на колови и др. (Слики: 14.87, 14.88 и 14.89).

Случајот на Сликата 14.88 се однесува за гравитациски потпорни сидови, каде што се можни неколку варијанти. На пример, кога нивото на подземна вода е подлабоко од кога на терен тогаш се препорачуваат следните големини:

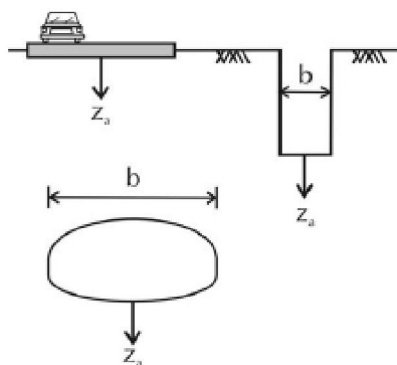
$$Z_a \geq 0,4 h \text{ и } Z_a \geq (t+2m)$$

Кога нивото на подземна вода е над кога на фундаирање:

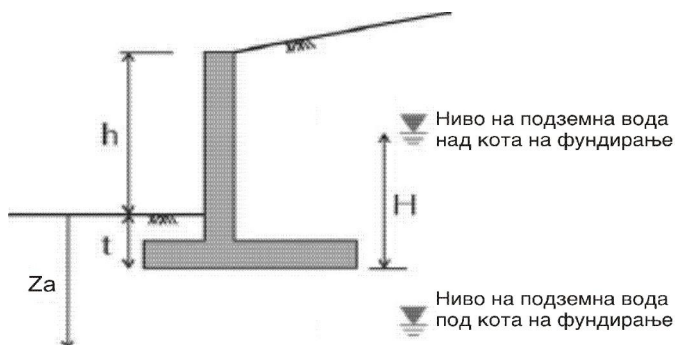
$$Z_a \geq (H+2m) \text{ и } Z_a \geq (t+2m)$$

За водонепропустен слој во подлога:

$$Z_a \geq (t+5m)$$

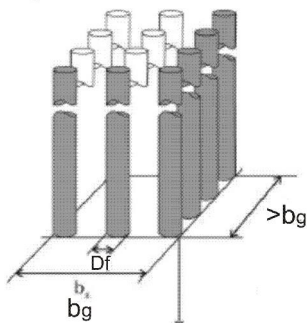


Слика 14.87 Минимална длабина на истражување под најниска точка на различни објекти: а - за патишта и аеродроми (горе лево), б - ископи и гасоводи (горе десно) в - за мали тунели или каверни (долу) $Z_a \geq 2m$ (за патишта и аеродроми) $Z_a \geq 2m$ и $Z_a \geq 1,5$ (за ископи и гасоводи) $Z_a \geq 2m$ (за мали тунели и каверни)



Слика 14.88 Препораки за минимална длабина на истражување кај потпорен сид

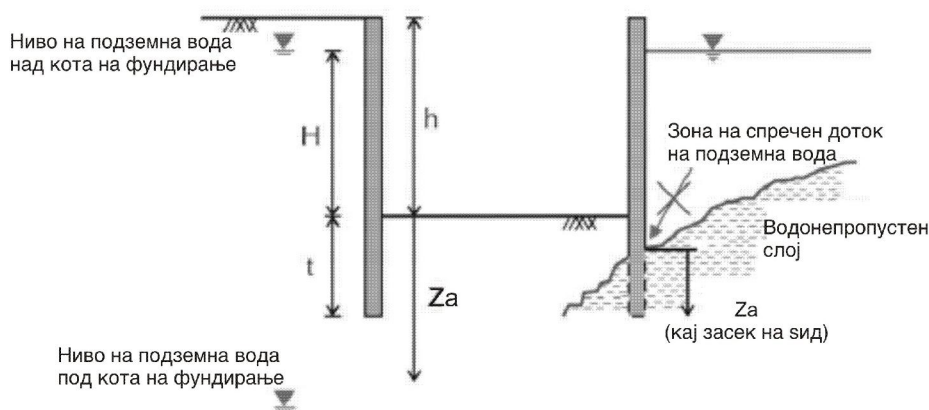
За случај на фундарање на колови се применуваат критериуми, кои се прикажани на Сликата 14.89.



Слика 14.89 Препораки за минимална длабина на истражување кај група на колови:

$$\begin{aligned} Z_a &\geq b_g; \\ Z_a &\geq 3D_f; \\ Z_a &\geq 5\text{m}. \end{aligned}$$

Ако се појави потреба од фундарање со шпундова подграда при подлабок ископ, потребната длабина на истражување се дефинира според препораките на Сликата 14.90.



Слика 14.90 Препораки за минимална длабина кај ископи

Во вакви случаи кога нивото на подземната вода е под котата на фундарање се користат препораки за минимална длабина на истражување која треба да биде во следните граници:

$$Z_a \geq 0,4 h \text{ и } Z_a \geq (t+2\text{m})$$

Кога нивото на подземна вода е над ката на фундарање:

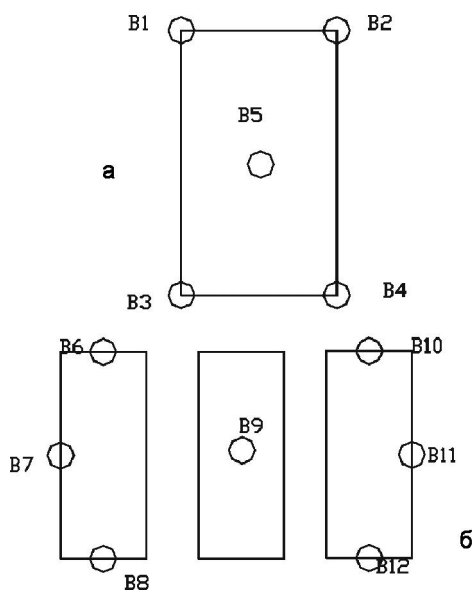
$$Z_a \geq (H+2\text{m}) \text{ и } Z_a \geq (t+2\text{m}).$$

Кога има водонепропустен слој во подлога:

$$Z_a \geq (t+5\text{m})$$

Гледано во хоризонтална проекција, растојанието кај дупнатините би требало да се движи од 20 до 40 m. Кај помалите згради, дупнатините обично се поставуваат по кошевите, а добро е да се постави и една контролна дупнатина на средина од објектот. Некои можни шеми се прикажани Сликата 14.91.

Во принцип, сите прикажани препораки кај конкретните објекти можат да се прилагодуваат кон условите на теренот и се сметаат само како генерална водилка за дефинирање на длабините на истраги. На пример, при постоење на цврста карпеста основа, длабината на истражување кај пониски објекти може да се скрати, а дупнатините да се заменат со истражни раскопи.

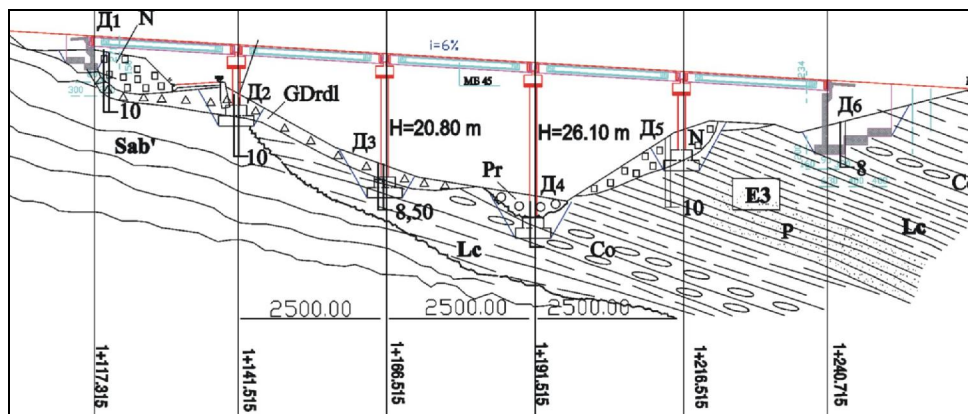


Слика 14.91 Шема за распоред на истражни дупнатини (B1 до Bn) кај единечен објект (а) и неколку блиско поставени објекти (б)

Кај терени со многу сложени геолошки услови и кај слабо носиви почви, многу е значајно да се прогнозира и влијанието од објектот на поголеми длабини. Обично, препорака е да се опфати зона до која оптеретувањето од објектот се сведува на околу 10% од контактното оптеретување.

ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ЗА ИСТРАЖУВАЊЕ НА МОСТОВИ, ВИЈАДУКТИ, НАДПАТНИЦИ И ПОДПАТНИЦИ

Кај конструкции од типот на мостови, вијадукти, надпатници и подпатници надвозници - подвозници, видот, обемот, длабината и локацијата на истражните работи, е во строга функционална зависност од: геолошките услови, типот на објектот, неговите распони, конструктивниот систем, условите за еродирање на подлогата и друго. Некои можни шеми од конкретни примери кај изведени или проектирани мостовски конструкции се прикажани на Сликите 14.92 и 14.93.



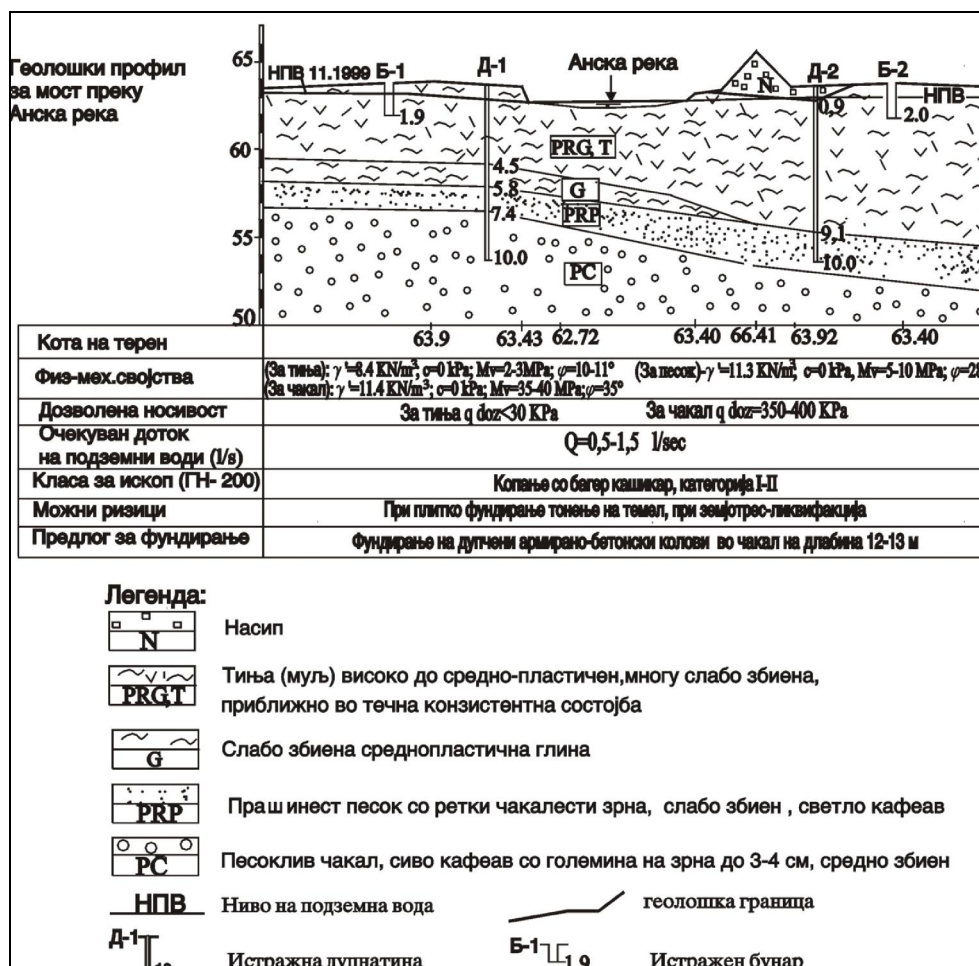
Слика 14.92 Применет распоред на истражни дупнатини за мост од автопатски коридор К8 во Р Македонија, каде што столбовите би се фондирале врз полукаменити карпи од тип на флиш на темели самци на растојание од по 25 метри

Кај вакви конструкции, генерално треба да се предвиди барем по една дупнатина за секое столбно место, но и тоа понекогаш не е доволно. Посебно

МЕТОДИ НА ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА

внимание треба да се посвети кога постои контакт на речен нанос и цврста карпа. Ова е значајно, бидејќи на контактот е можно постоење на раседни зони, кои се препокриени со наносот, еродирани делови од основата и други проблеми, кои не е можно да се дефинираат само со една истражна дупнатина.

Кај ваквите објекти се препорачува паралелна примена на геосеизмички или георадарски методи како дополна на истражните дупнатини.

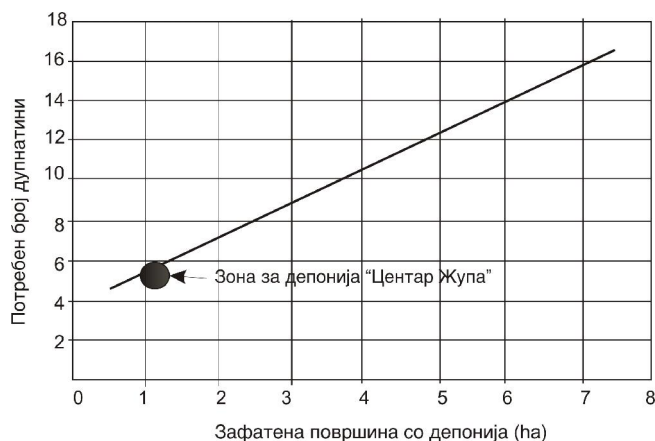


Слика 14.93 Примената шема за истражување за мостот на Анска Река, Валандовско (мост со мал распон, локациите на дупнатините се на столбните места, теренот е слабо носив и е потребно фундирање на колови)

ПРИНЦИПИ ЗА ДЕФИНИРАЊЕ НА БРОЈОТ НА ДУПНАТИНИ КАЈ ДЕПОНИИ НА ЦВРСТ ОТПАД

Депониите на цврст отпад се специфични објекти, кои бараат многу детален и совесен пристап при истражувањето. Минималниот број на истражни работи, за потребите на проектирање на нова депонија, треба да се распоредат така да покријат барем за 25% поголема површина од онаа зафатена со депонија. Во

принцип, минимум пет истражни дупнатини треба да се направат на првиот хектар од површината на депонијата, а понатаму се додаваат по две додатни за секој нареден хектар. Дупнатините при тоа, треба да бидат добро распоредени, а нивната длабина да биде минимум 7,50 m под дното на депонијата. Според упатствата на Баги, (2004) еден дијаграм за проценка на бројот на дупнатини е прикажан на Сликата 14.94.



Слика 14.94 Дијаграм за проценка на бројот на истражни дупнатини кај депонии за цврст отпад

Од сите прикажани анализи, е очигледно дека проблемот на истражување и испитување на теренот е клучна постапка од која во голема мера зависи изборот на оптимални технички решенија за објектите во градежништвото и другите технички гранки, на кои треба да се посвети најголемо можно внимание.

ПРИКАЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОД ИСТРАЖУВАЊАТА И ИСПИТУВАЊАТА

Добро е познато дека при инженерскогеолошките истражувања или при изведба на инженерските работи, е потребна подготовка на графичка документација со многу детали. Поради тоа, многу е значајно да се припреми добра графичка и текстуална документација со која на соодветен начин би се прикажале потребните геолошки и геотехнички одлики на теренот. При приказот на резултатите, треба да се има предвид фактот дека постојат голем број специфичности, кои мораат да се земат предвид при прикажување на геолошките елементи кај истражните раскопи, дупнатините, истражните галерии, тунелите и другите објекти кои се предмет на анализа.

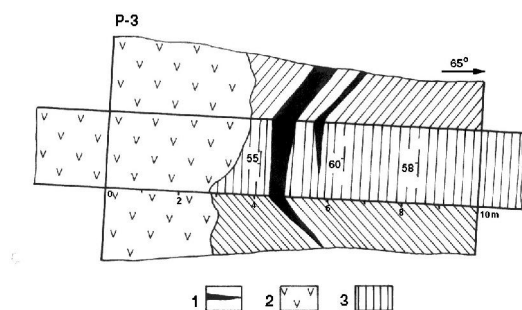
ГЕОЛОШКА ГРАФИКА КАЈ ИСТРАЖНИ РАСКОПИ И ДУПНАТИНИ

Истражните раскопи најчесто се документираат во т.н. **развиен план**, често со многу крупна мерка (до 1:10). Страните на раскопот се соборуваат во рамнината на неговиот под. На финалниот цртеж се прикажуваат сите геолошки елементи, и тоа структурна градба, раседните и поважните пукнатини, рудни појави, места за опробување и друго (Слика 14.95).

Податоците од истражното дупчењето се документираат со помош на специјални формулари, кои се различни, во зависност од видот на геолошките истражувања. Овие формулари се своевидни геолошки столбови на кои мора да

МЕТОДИ НА ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА

постојат податоци за: XYZ координатите на дупнатината, нејзин број, име на изведувачот и авторот на картирањето, период на дупчењето, пречник на дупчењето и процент на изваденото јадро, колона за длабочината, колона за графички приказ на карпите и единиците, колона за текстуален опис на карпите, колона за земените проби, резултати од испитување на водопропустливоста, испуканоста и др. (Слика 14.96).



Слика 14.95 Шематски приказ на развиен план на раскоп со исцртана геологија (преземено од Н. Думурџанов, 2005)

Објект: Брана "Плаваја" -Радовиш				Објект: Брана "Плаваја" -Радовиш																			
М1:200 Геотехнички пресек на истражна дупнатина				Дупнатина бр: Д1		Кота:467.69																	
Изведувач на дупчењето: ПРМБ "БУЧИМ"-Радовиш				Гарнитура: Diames 251																			
Длабочина (м)	Литолошки симбол и ознака	Основни инженерскогеолошки карактеристики	RQD(%)						Ls(cm)	ВДП		Состојба на распаѓаност						Процент на јадро	Проба за ластест	Забелешка			
			<25	25-50	50-75	75-90	90-100	<6		6-20	20-60	60-200	>200	Lu	K	I	II				III	IV	V
0.0	Sab	Албит-кварц мусковит-хлоритски шкрилец, физичко-хемиски доста изменет, наместа трошен и глинизирани, боја сивозеленикава (р.зона од 7-9.5)							6	20-60	27.5	3.5*10 ⁻⁶									50	○	
9.5	Sab	Албит-кварц -мусковит-хлоритски шкрилец, релативно свеж, испукан до здробен во "см" блокови							6	20-60	2.2	8*10 ⁻⁷									50	○	
13.0									6	20-60											50	○	

Слика 14.96 Приказ на дел од столб со основни елементи кои се прикажуваат кај една дупнатина

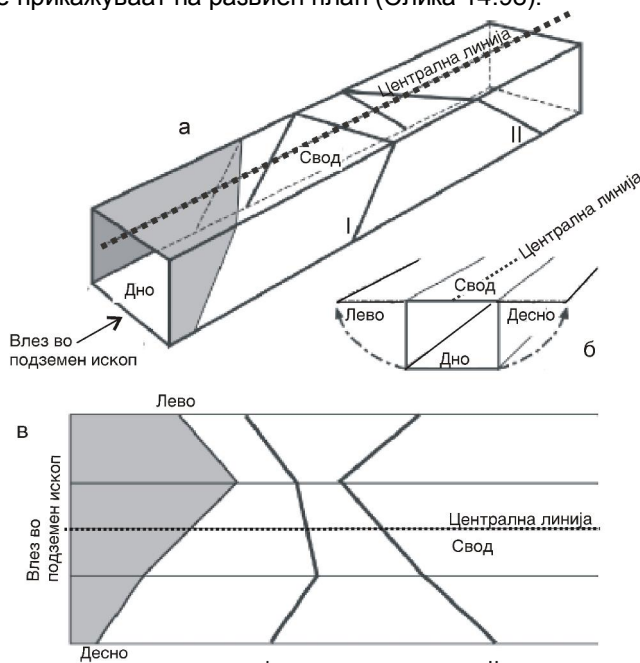


Јадрото вообичаено се складира во дрвени сандаци, и обврзно се фотографира (Слика 14.97). Описот на јадрото се врши мошне детално, а паралелно се земаат проби за разни лабораториски анализи (зависно од намената на дупчењето).

Слика 14.97 Приказ на јадро од истражна дупнатина за брана „Кнежево“ во близина на Злетово

ГЕОЛОШКА ГРАФИКА КАЈ ПОДЗЕМНИ ПРОСТОРИИ

При изведба на подземни работи во градежништвото и рударството, од посебно значење е постојано следење и собирање на податоци за геолошката градба, својствата и состојбите на карпестите маси, местата за опробување и испитување и др. Во фазата на изведба на рударските поткопи, ходници, сообраќајните тунели, машински хали и сл., најмногу геолошки информации се добиваат со картирање на свежо изработените подземни простории. Сите тие вообичаено се прикажуваат на развиен план (Слика 14.98).

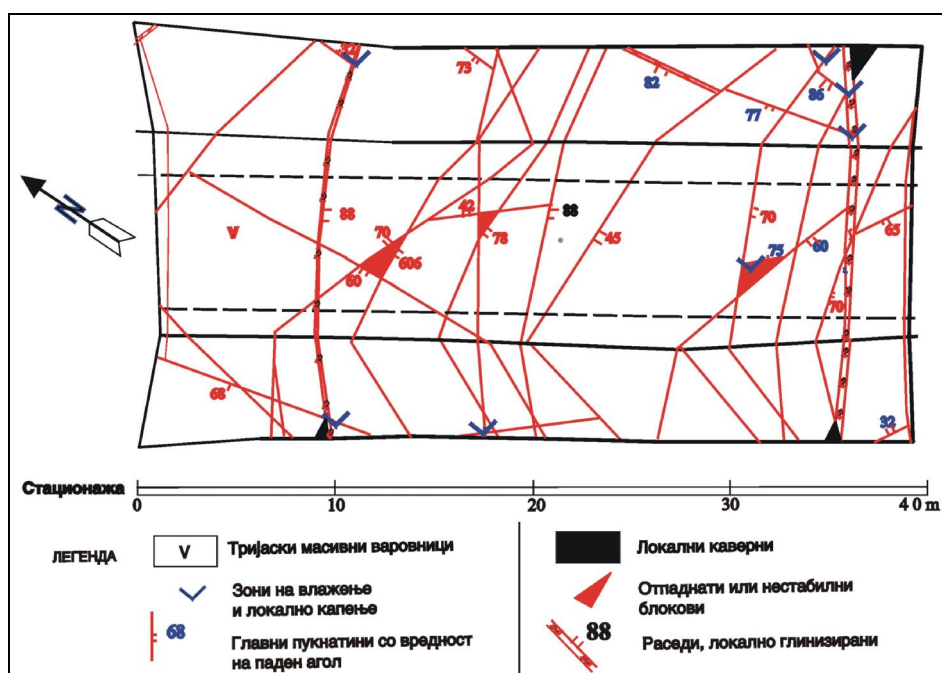


Слика 14.98 Шематски приказ за претставување на графика кај подземен ископ: а - тримерен приказ на подземен ископ; б - начин на соборување (развивање) на страните на ископот во сводот на подземниот ископ; в - приказ на геологијата со две различни геолошки единици (сиво и бело) и пукнатини со различен пад прикажани на развиениот план.

Поради затрупаност со материјал, движење на механизација и техниката за работа, картирањето на подземните работи најчесто се врши на сводите и сводот на ископот. На развиениот профил треба да се прикажат сите детали поврзани со литолошкиот состав, формата и составот на геолошките тела (жили, слоеви, леќести или неправилни тела и т.н.), детали за тектонските елементи, измените во околните карпи, појави на подземна вода, категорија на карпеста маса, нестабилни блокови, состојба на карстификација и др.

Развиениот план подоцна е основа за припрема на документација на изведбената состојба, при евентуални идни санации и друго. Еден пример за претставување на геологијата на еден тунел е прикажан на Слика 14.99.

Картирањето кај подземните објекти мора да се врши континуирано со напредувањето на работите. Ова е особено важно кај градежните објекти, со оглед дека после ископот, најчесто карпестата маса се заштитува со прскан бетон или трајна облога, по што таа не е достапна на директен увид.



Слика 14.99 Развиен план за тунел изграден во тријаски варовници

ТЕКСТУАЛЕН ДЕЛ НА ГЕОЛОШКАТА ДОКУМЕНТАЦИЈА

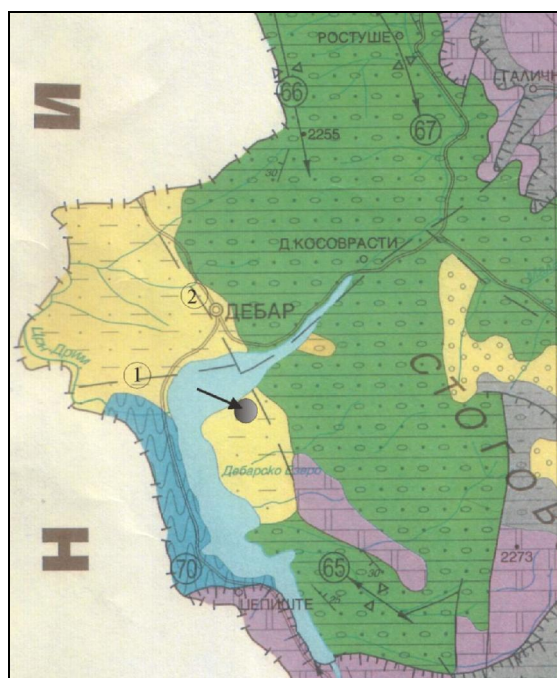
Сите геолошки и геотехнички истражувања, покрај со графичка документација, задолжително се документираат со соодветен текстуален дел. Текстуалниот дел може да биде во вид на **Извештај** или **Елаборат** од истражувањата и испитувањата. Извештаите кај комплексните геолошки карти се даваат во вид на т.н. **Толкувачи**. Толкувачот е документ во кој се прикажани накратко сите податоци добиени од истражувањето, поткрепени со резултати од поранешни испитувања.

Во текстуалниот документ се прикажуваат сите податоци за истражуваното подрачје во вид на вовед, географски преглед, преглед на досегашните испитувања, приказ на општата градба на теренот, опис на картираните единици, тектониката, преглед на природни ресурси, современи геолошки и инженерскогеолошки процеси, инженерскогеолошки и хидрогеолошки карактеристики, геотехнички услови за изведба, список на литература, разновидни дијаграми, табели и фотографии и слично.

ГЕОЛОШКА ДОКУМЕНТАЦИЈА И ГЕОГРАФСКИ ИНФОРМАЦИСКИ СИСТЕМИ

Информатичките технологии овозможуваат припремање на геолошката документација со помош на технологијата на подготовка на Географски информационален систем (ГИС). Во практиката, најчесто се користи дефиниција според која: „Географски информациски систем е научна методологија и технологија, со која се собираат, се внесуваат, се меморираат, се ажурираат, се обработуваат, се анализираат, интеракциски се поврзуваат (се програмираат) и се прикажуваат во: картографска, графичка, фотографска, табеларна и

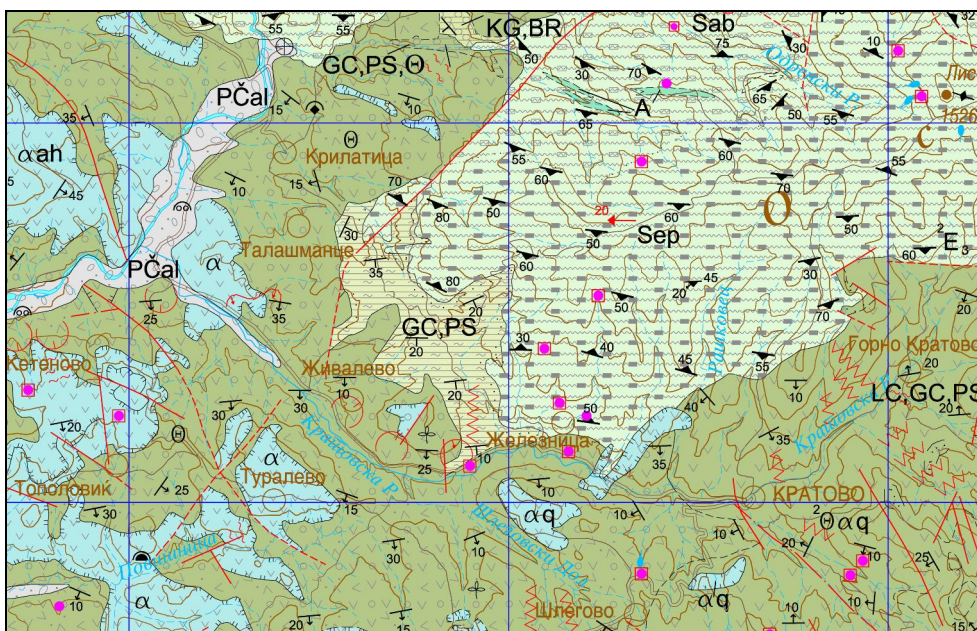
алфанумеричка форма просторни и други податоци, со цел, да се креираат нови информации и излезни производи во алфанумеричка, табеларна, графичка и картографска форма...“. За изработка на ГИС се потребни: стручни кадри, соодветна техничка опрема, софтвер за анализа и формирани бази на податоци. Формирање на ГИС опфаќа три поголеми операции и тоа: **картографска подготовка**, формирање **бази на податоци** и воспоставување на **интеракциски врски**. Секоја од наведените операции се состои од повеќе работни постапки со кои се формираат потребните претпоставки за функционирање на географски информациски систем. Претходно избраните картографски извори како картографски основи во аналогна форма со примена на посебни апарати (скенери) се скенираат, така што се претвараат во **електронска растерска форма** (Слика 14.100). Таа може да биде црно-бела или во колор. Најзгодно е да биде во колор и со поголема резолуција заради подобра прегледност во процесот на дигиталната обработка.



Слика 14.100 Скенирана картографска подлога за локација на депонија во близина на Центар Жупа: 1 - локација на депонија; 2 - раседи (извадок од тектонската карта на Р Македонија, М. Арсовски, 1997)

Со картографската подготовка се формира дигитална **векторска форма**, која за случај на ГИС за вакви намени се прикажува како дигитална инженерскогеолошка карта со најосновни дигитални записи за сите површински, линиски и точкести објекти организирани во **различни леери**, каде се групираат целини и логични содржини. Различните леери се своевидна база на податоци по **одредени содржини**, кои за конкретен ГИС претставуваат непосредните **атрибути** со сите потребни **ентитети** организирани во една или во повеќе независни или меѓусебно поврзани табеларни прикази. Врз основа на детаљна анализа и подготовка, на крај сите леери се групираат и се подготвува синтезна

дигитална инженерскогеолошка карта (Слика 14.101). Софтверските пакети, кои се наменети за организација на ГИС, самите за себе имаат можности за формирање на **интерни бази на податоци**, кои се задаваат уште во текот на процесот на дигитализација. На пример, кај инженерскогеолошките карти, можат да се побараат податоци за распространетост на свлечишта со поголема длабочина од 5 метри итн. Картите во електронска форма можат да бидат креирани директно, над картографскиот цртеж со негова доработка и дизајн и како излезен резултат со пребарување и аналитички операции од базите на податоци.



Слика 14. 101 Дигитализирана карта за дел од лист Кратово како дел од Основна инженерскогеолошка карта (ОИГК) во мерка 1: 100 000

Голема предност на ГИС е што тој перманентно може да се дополнува со нови податоци, со што е овозможено негово максимално искористување за разни практични намени.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Што се подразбира под поимот инженерскогеолошки истражувања, а што под поимот испитувања?
- За кои објекти се потребни најголеми трошоци за истражување и зошто?
- Наброј ги методите на далечинска детекција и што може да се добие преку нив!
- Што се прикажува на инженерскогеолошка карта и што е профил?
- Наброј ги геофизичките методи и објасни кои од нив се најприменувани во геотехниката!
- Што се дефинира со сеизмичките методи и на кој начин се вршат мерењата?

- Објасни каде може да се искористат георадарски методи!
- Кои се најпознати теренски методи за дефинирање на деформабилноста и јакоста на смолкнување?
- Опиши една од теренските методи за дефинирање на јакоста и деформабилноста!
- Кои постапки на истражно дупчење постојат и кои се составните делови на една гарнитура за дупчење?
- Кои видови проби постојат и како се земаат пробите?
- Опиши постапка на стандардна динамичка пенетрација или на статичка пенетрација и кои параметри се добиваат преку мерење со овие постапки!
- Опиши ја суштината на комбинираните статичко-динамички методи!
- На кои принципи се заснова проектирањето на истражни работи кај објектите и нацртај еден дијаграм за проценка на број на истражни дупнатини за брана, тунел, усек или за насипи по избор?
- Што се прикажува на столб на истражна дупнатина, што е истражен раскоп и што е развиен план на подземен ископ?
- Како се нарекува текстуалниот дел од документацијата, каде што се анализираат податоците од истражните и испитувачките работи?
- Што е ГИС и кои се основните поголеми операции за да се формира ГИС?

15 ПРИМЕНА НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА ВО ПРАКТИКАТА

ВОВЕД

Инженерската геологија, иако е пред сè **истражувачки** ориентирана научна дисциплина, има посебно значење и при **проектирањето** на инженерските објекти. Проектирањето може да се дефинира како процес на планирање на карактеристиките на објектот, неговите димензии, негово вклопување во теренот без предизвикување негативни влијанија врз животната средина, планирање на изведбата со потребни материјали за: градба, технологија и организација на изведба на работите и на крај планирање на неговото одржување во фаза на експлоатација.

Инженерската геологија посебно помага за правилно насочување на техничките решенија на објектите, планирање на инженерските интервенции, дефинирање на условите за градба, користењето на просторот за потреби на урбанизацијата, проектирање на мерките за набљудување на теренот, прилагодување на технологијата на изведба кон реалните теренски услови, проектирање мерки за зачувување на животната средина и др. Значењето на инженерската геологија посебно се нагласува при анализа на **геолошките хазарди** врз условите за проектирање, изведба и експлоатација на сите видови објекти.

ПОИМ ЗА ГЕОЛОШКИ ХАЗАРД

При дефинирање на можностите за појава на одреден процес и можните негативни ефекти, во практиката често се јавува потреба од проценка на природните хазарди и ризиците, кои произлегуваат од нив. Низ литературата можат да се сретнат повеќе дефиниции за овие термини, но најчесто се користат следните дефиниции:

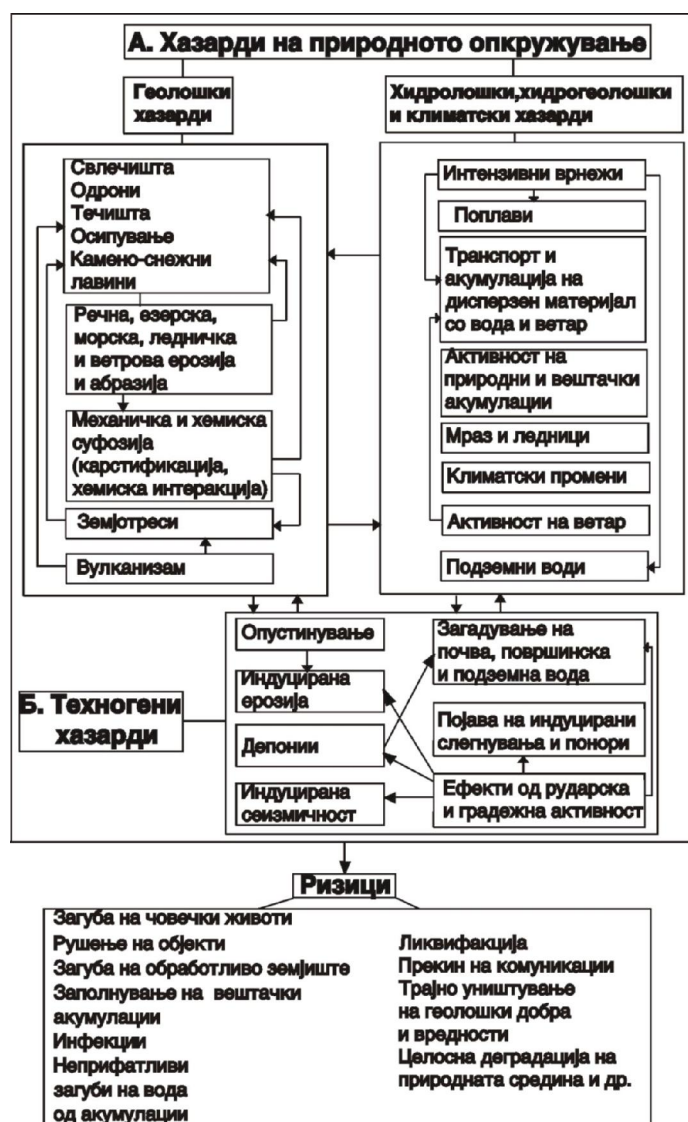
Геолошки или **техноген хазард (H)** се дефинира како веројатност за активирање на одреден природен геолошки процес или процес предизвикан од техничка активност, вклучувајќи го неговиот интензитет и обем.

Чувствителноста или **повредливоста (vulnerability-V)** на одредено подрачје се означува како степен на веројатност или потенцијалност да се случат некои негативни последици и оштетувања од природните процеси.

Ризик (R) од геолошкиот или техногениот хазард се дефинира како веројатност за активирање на одреден процес и големината на штетата, која, тоа активирање може да ја предизвика, вклучувајќи ги сите материјални загуби, па и бројот на човечки жртви. Ризикот може да се дефинира како **вкупен ризик (Rt)**, кој е производ на **специфичниот ризик (Rs)** и **елементите на ризикот (E)**.

$$R_t = (E)(R_s) = (E)(H \cdot V)$$

Поделба на природните и техногените хазарди со приказ на можните ризици е прикажана на Сликата 15.1.

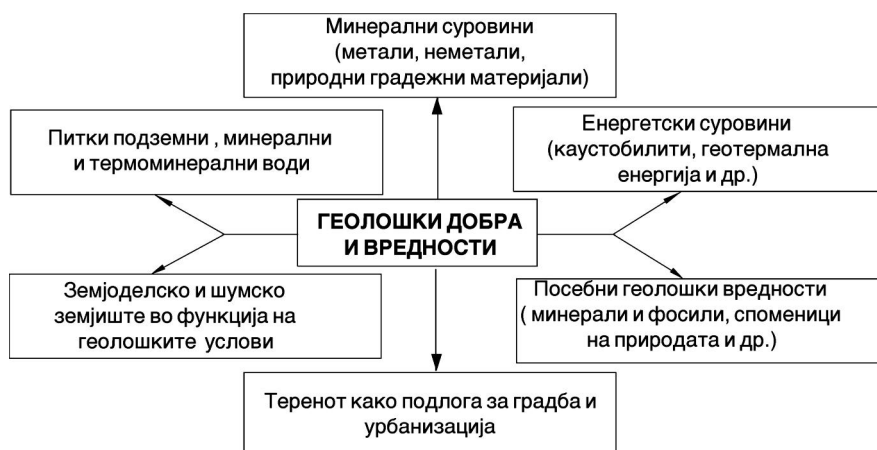


Слика 15.1 Приказ на влијанија меѓу природни, техногени хазарди и можни ризици

Значењето на правилно дефинирање на хазардите и ризиците е произлегува и поради фактот, што природната геолошка средина поседува разновиден **геолошки потенцијал**, изразен преку голем број **геолошки добра и вредности**, кои можат да треба да бидат соодветно користени и заштитени (Слика 15.2). Користење на геолошките потенцијали е неизбежно поврзано со инженерски активности во теренот, кои се изразуваат на неколку основни начини:

- активности кои што предизвикуваат позитивно влијание врз развојот на општеството преку користење на минерални сировини, подземни води, терени со поволни услови за градба и др.;
- активности кои што предизвикуваат негативно влијание врз средината и материјалните добра, како појави на свлечишта, одрони, земјотреси и др.;

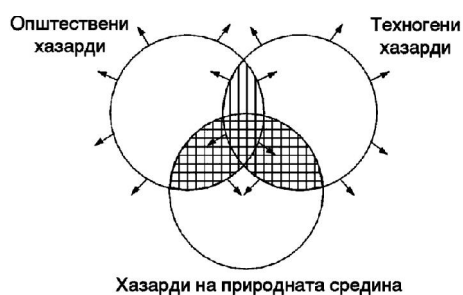
- активности што се резултат на лошо осмислена техногена интервенција, како неконтролирана рударска активност, неконтролирано депонирање на отпад, загадување на подземните води, рушење на објекти, заради градба врз терени со неповолни геотехнички карактеристики, вештачко иницирање на нестабилност на теренот, на објектите и друго.



Слика 15.2 Основни елементи на геолошкиот потенцијал (Јовановски М., Гапковски Н., 2006)



Афирмативната страна на користење на геолошкиот потенцијал подразбира преземање на сите неопходни мерки за заштита на средината, што не може да се замисли без квалитетна проектна документација со која се дефинираат оптималните услови за искористување на сите геолошки добра и вредности.

Од друга страна, во реалноста, честите појави на свлекување, одронување, ерозија од различен карактер, земјотреси, поплави, вулканската активност и други процеси предизвикуваат многу често несакани последици. Тие се најчестите геолошки хазарди, кои во комбинација со хидролошките хазарди како: поплави, интензивни врнежи и суши, можат да бидат причина за огромни материјални и човечки загуби.



Со комбинација на природните и техногените хазарди се добиваат т.н. **хибридни** и **квази-природни хазарди** (Слика 15.3).

Слика 15.3 Можни комбинации на различни видови хазарди (Џонс, 1993)

 Хибридни хазарди
  Квази-природни хазарди

Од сликата, може да се процени дека природните и техногените хазарди речиси секогаш се меѓусебно зависни.

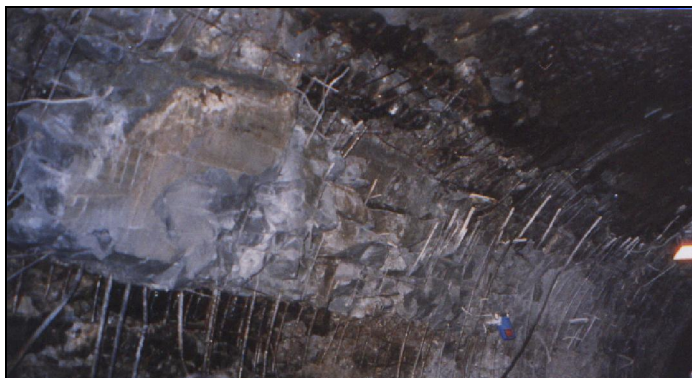
Според одредени статистички анализи, се проценува дека на годишно ниво има над **250 000 човечки жртви**, а материјалните загуби се огромни иако тешко може реално да се проценат (Бартон и др. 1978). За илустрација, при појава на земјотрес на источниот брег на островот **Хоншу, Јапонија** во 2011 година со магнитуда од $M > 9$, поради појава на бранови цунами, е оштетен нуклеарниот реактор на централата Фукушима. Покрај големите човечки загуби, се настанати материјални штети во висина од над 350 милијарди долари, а последиците од зголемената радиоактивност дополнително ќе се проучуваат. Очигледно е дека се можни драстични појави, кои се резултат на природните и на вештачките услови или при нивна комбинација. За потврда на тоа, неколку примери се прикажани на Сликите од 15.4 до 15.8.



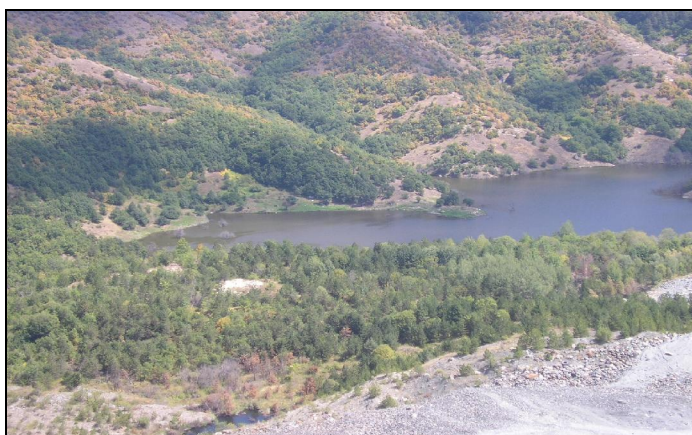
Слика 15.4 Рушење на мост преку река Црна во близина на Росоман поради ерозија на темелната основа (фото Ц. Поповска)



Слика 15.5 Одронување на карпест блок во зона на пристапен пат за браната „Св. Петка“, Скопско, поради комбинација на неповолно ориентиран пукнатински системи (фото З. Николовски)



Слика 15.6 Оштетувања на облога на Тољански тунел од Мавровски хидросистем, во зона на пресек со расед, поради дејство на слаб земјотрес во ноември, 2003 година



Слика 15.7 Појава на свлекување на депониран материјал кај рудник за никел и железо „Фени“, Кавадаречко, преградување на водотек и формирање на вештачка акумулација



Слика 15.8 Појава на колапс во хидројаловиште на рудник Саса, поради ефект на вакуум при протекување на јаловина низ опточен тунел

Очигледно е дека изучувањето на геолошките хазарди е од првостепена важност за проектирањето и градба на сите објекти од градежен и од рударски карактер. Ова може да биде направено на соодветен начин само преку добро осмислени фази на истражување и проектирање.

ОСНОВНИ ФАЗИ НА ИСТРАЖУВАЊЕ И ПРОЕКТИРАЊЕ

Успешна реализација на некој објект не е можна без **добро подготвен проект**. Дobar проект, пак, не може да се направи без добро подготвени **технички подлоги** за проектирање, кои се од геодетски, геолошки, геотехнички, хидрогеолошки и друг карактер. Затоа, е потребно доследно почитување на основните принципи при истражувањето и тоа: **постапност, целосност рамномерност и економичност при истражувањето**.

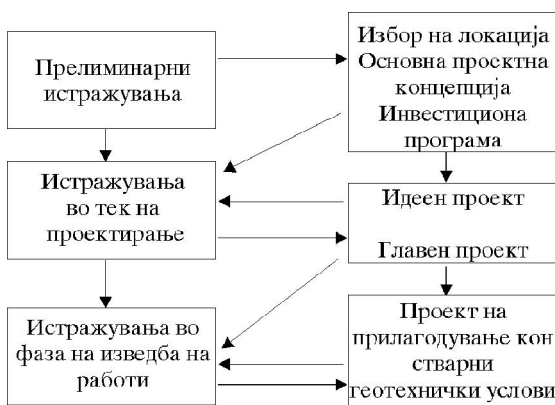
Принципот на **постапност** значи дека мора да постои **повеќефазна реализација** на истражувањето. Во секоја фаза сите испитувани карактеристики на теренот мораат да бидат дефинирани на доверлив начин, за да во следната фаза на истражување не бидат демантирани со новите истражувања.

Принципот на **целосност** означува дека со истражувањата треба во целост да се опфатат сите потребни карактеристики на теренот.

Рамномерноста на истражувањата значи обезбедување на приближно ист степен на истражување за секој дел од теренот, каде што се планира градба. Ова не значи дека е потребно да се употреби **иста густина** или **распоред на истражни објекти** во секој дел од просторот, туку дека рамномерноста треба да е поврзана со сложеноста на теренот. Терен со посложена градба треба да се истражува со погуста мрежа на истражни работи во однос на поедноставните терени.

Принципот на економичност е поврзан со фактот дека е потребно со оптимални трошоци да се испитаат потребните параметри на теренот.

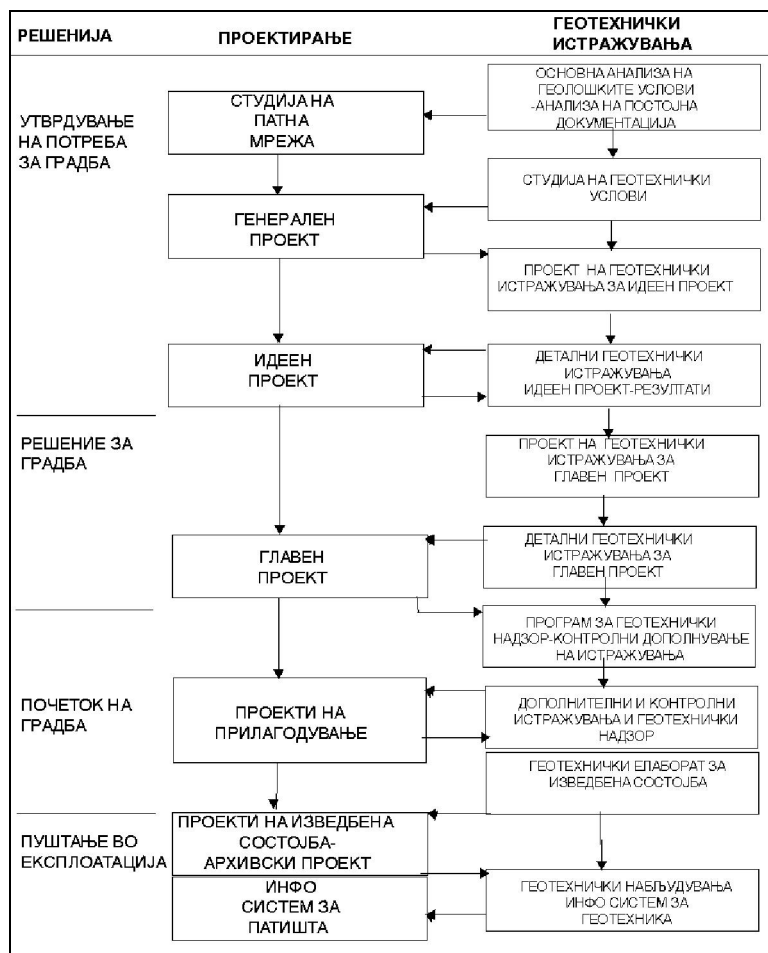
Многу е значајно да има строга меѓузависност и условеност на фазите на **истражување и проектирање**. Во светската практика не постои општо прифатен став за број на фази за истражување и проектирање, но без разлика на тоа, мора да се дефинираат потребните карактеристики на теренот кај секој објект за да не се доведе во прашање неговото сигурно функционирање во фаза на експлоатација. Податоците од секоја претходна фаза на истражување максимално треба да се користат и дополнуваат со нови сознанија за теренот од следните фази. Овој концепт е фундаментален за планирањето на сите активности при реализација на капиталните проекти. (Слика 15.9).



Слика 15.9 Меѓусебна условеност на фазите на истражување и проектирање (П. Локин и др., 1986)

ПРИМЕНА НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА ВО ПРАКТИКАТА

Овој концептот на условеност првично е разработен за подземните објекти, но во принцип слични препораки важат и кај проектите во сообраќајната инфраструктура (Слика 15.10), како и за сите објекти од градежен и од рударски карактер (Табела 15.1).



Слика 15.10 Зависност меѓу фази на истражување и проектирање за патна инфраструктура (В. Вујаниќ, П. Локин 1998)

Овде треба да се укаже дека во фазата на **прелиминарните истражувања** се користат главно индиректни истражни методи, кои помагаат за избор на **алтернативни локации** за градба. Во оваа фаза се анализираат неколку решенија и се прави техно-економска анализа со прелиминарна пресметка на можните трошоци за проектот. Целта е на крај да се избере **оптималната** варијанта за наредната фаза на проектирање. Во фазата на **идеен проект**, се вршат детални директни истражувања на избраната варијанта, додека во наредните фази на **основен или изведен проект** се деталзира решението од идејниот проект. Понекогаш се прават истражувања во вид на пробни делници, пробни инјекциони полиња, пробно оптоварување и слично. Во фазата на

изведба се вршат т.н. контролни испитувања кои се потребни за евентуално **прилагодување** на проектот кон стварните геолошки и геотехнички услови. Сите констатирани состојби се документираат во **проектот на изведбена состојба**. При експлоатација на изведените објекти се врши директен **мониторинг (оскултација)** на објектите. Кај одредени објекти (на пример браните), законските регулативи налагаат и потреба од изработка на **проект на рушење**.

Табела 15.1 Однос меѓу фазите на истражување и проектирање за објекти од рударски и градежен карактер

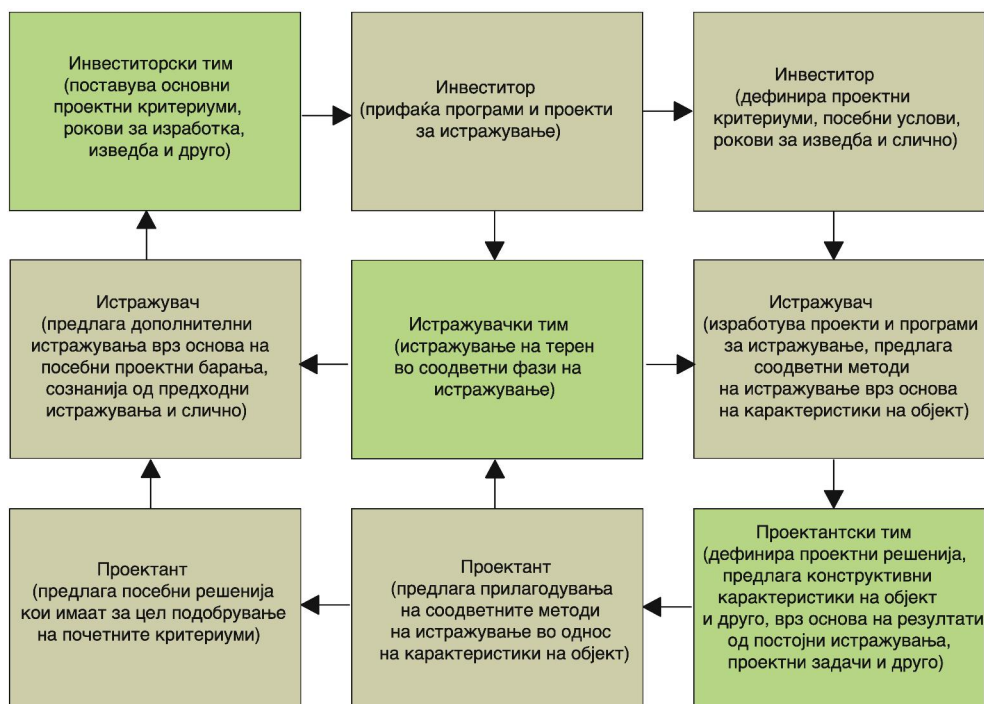
Објекти од градежен карактер		Објекти од рударски карактер	
Фаза на истражување	Фаза на проектирање	Фаза на истражување	Фаза на проектирање
Прелиминарни истражувања	Избор на локација; Основна проектна концепција; Инвестициска програма.	Инвестициска програма со студиски анализи врз основа на Елаборат за рудни резерви	Претходни истражувања
Истражувања во текот на проектирањето	Идеен проект; Основен проект; Изведбен проект	Главни рударски проекти	Детаљни истражувања
Истражување во текот на изведбата	Проект на прилагодување или проект на изведбена состојба	Дополнителни рударски проекти	Истражувања во текот на експлоатација на лежиште

Очигледно е дека проблемот на истражување и проектирање е **повеќеслоен** и треба да се решава заедно од тимови на Инвеститор, Истражувач и Проектант. Треба да се применува принципот на **интерактивна** соработка каде **проектантот** е задолжен да даде неопходни податоци за предвидена локација за градба, димензиите и карактеристиките на објектот, услови за ископ, посебни услови за изведба и др. Податоците од проектот, пак се неопходни на **истражувачот** за да изврши правилно лоцирање на местото и длабината на истражните работи. Врз основа на резултатите од истражувањата, проектантот може да изврши прилагодувања на почетните решенија кон карактеристиките на теренот. Сето ова е во координација со **инвеститорскиот** тим, кој ги обезбедува средствата за реализација на проектот (Слика 15.11).

Со ваквата поставеност се овозможува полесно дефинирање на условите за работа. Условите за работа се поврзани со **отпорот, сигурноста** и останатите **специфични услови за работа**. Отпорот при работа се однесува на дефинирање на условите за копање, минирање или дупчење, сигурноста е поврзана со елиминирање на можностите за појави на непредвидени нестабилности, дотоци на подземни и површински води, гасови, температури и друго. Останатите специфични услови се однесуваат на отежната работа во морфолошки неповолни терени, зголемени температури во подземјето, работа под ниво на подземна вода, во зимски услови, под посебни екогеолошки услови и друго.

Поаѓајќи од овие факти, при проектирањето и изведбата мора да се најде начин на соодветна анализа на инженерскогеолошките услови, со цел да се изведе објект кој ќе соработува со геолошката средина и нема да предизвика неконтролирани влијанија врз околината.

ПРИМЕНА НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА ВО ПРАКТИКАТА



Слика 15.11 Интеракциона шема за дефинирање на улогата на сите заинтересирани страни во некој проект (М. Јовановски, 2001)

ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА ПРИ ПЛАНИРАЊЕ НА ПРОСТОРОТ

За потреби на планерски активности при урбанизација на просторот, проширувања или изградба на нови населени места, користење на земјиштето за различни намени и др., е потребно детаљно изучување на голем број карактеристики на теренот и карпестите маси, како: **морфологијата** на теренот, **геолошката** градба, **хидрогеолошките** карактеристики, **сеизмичноста**, појави на **свлечишта**, **одрони** и друго. Посебно се значајни и **геотехничките својства** на теренот, како: стабилност на карпестата маса во текот на ископот, отпор при ископ, услови за заштита од подземни води, влијанија на работните операции врз природната средина во фаза на ископ, влијание на изведен објект врз природната средина во услови на експлоатација, носивост на теренот и др.

За вакви потреби, според резултатите од детаљното истражување на теренот, се врши **зонирање** или поделба на теренот во одделни **реони** според погодноста на просторот за градба. Најчесто поделбата се врши во четири основни категории, според критериуми за зонирање, коишто се прикажани низ Табелите 15.2 и 15.3.

Морфологијата на теренот е значајна, бидејќи од релјефните форми, наклоните на падините и нивните висини зависат димензиите на ископот и стабилноста на теренот. По правило, кај терени со наклон од 1-5% е потребен мал обем на земјани работи, односно изведба на ниски усеци, засеци, ниски насипи и слично. Овој наклон е погоден и за лесно одводнување од атмосферските води и изработка на канализационите системи. Кај терени со наклон помал од 1%, е отежнато површинското одводнување, додека кај терени

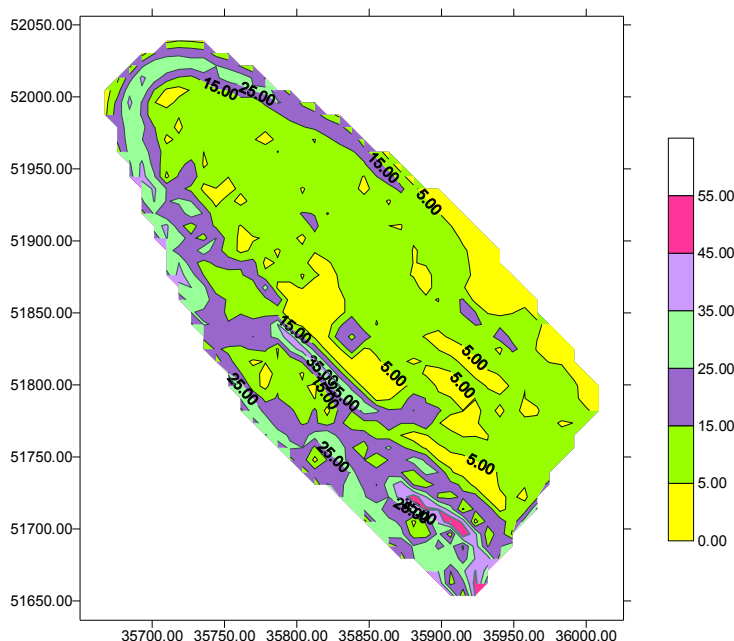
со пострмни наклони е отежнат ископот и тие се склони кон појави на нестабилност. Во таквите случаи е отежната и изведбата на комуналната и индустриска инфраструктура. За да се проценат наклоните на теренот, во денешно време најчесто со помош на специјализирани софтверски пакети се припремаат изолиниски карти на наклони (Слика 15.12).

Табела 15.2 Критериуми за дефинирање на повољноста за градба врз основа на литолошкиот состав на теренот

Степен на повољност за градба	Литолошки состав
1. Оптимално поволен терен без никакви ограничувања за градба	Терени изградени од каменити карпести маси и чакалести седименти
2. Поволен терен со помали ограничувања за градба, кои се решаваат без поголеми проблеми	Терени изградени од чакалести и песокливи седименти
3. Условно поволен терен, каде што градбата е со поголеми тешкотии, но кои можат економично да се разрешат	Терени изградени од високо-пластични прадини и глини и органски високо пластични глини
4. Неповолни терени со големи тешкотии, каде што е потребна примена на скапи и големи технички интервенции	Терени изградени од лесно растворливи карпи, тресет, тиња, депонии на ѓубриште

Табела 15.3 Проценка на услови за градба врз основа на морфологијата (наклонот) на терен

Степен на повољност за градба	Наклон на терен во %
1. Оптимално поволен терен	1 - 5
2. Поволен терен	< од 1 и 5 -10
3. Условно поволен терен	10 - 20
4. Неповолни терени	>20



Слика 15.12. Карта на наклони на терен за дел од терен во близина на Скопско Кале

ПРИМЕНА НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА ВО ПРАКТИКАТА

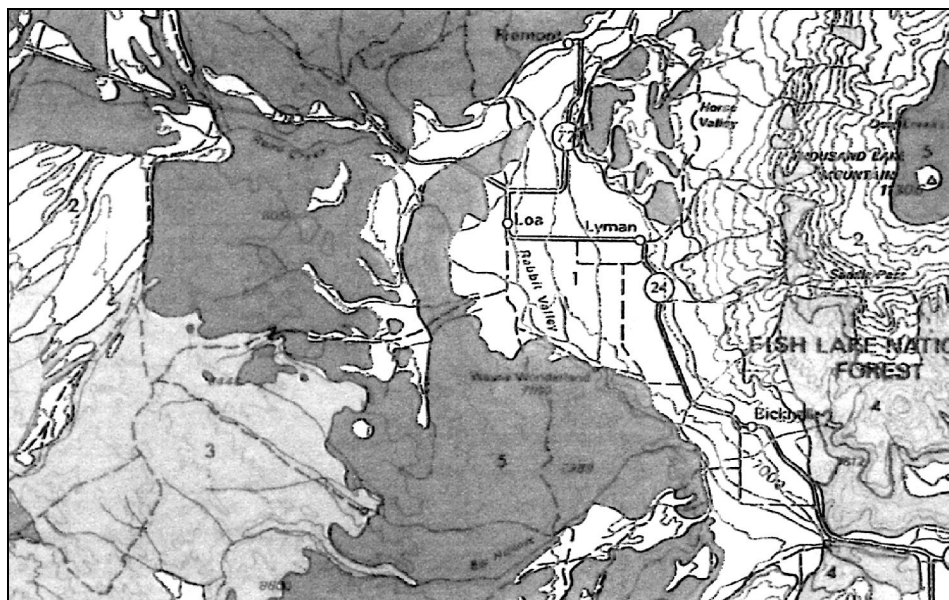
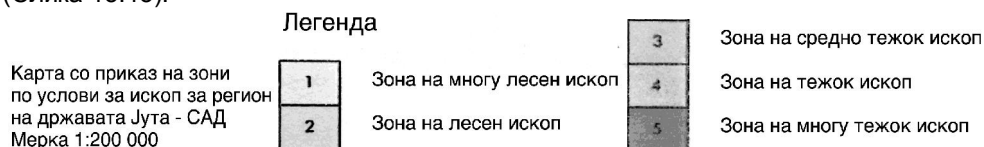
Многу е значајно и влијанието на подземните води, поради можните дотоци при изведба на градежните јами, агресивност на подземната вода, условите за развој на суфозија, намалување на носивоста и друго. Најчесто, како параметар за зонирање се користи податокот за максималната длабина до нивото на подземна вода (Табела 15.4).

Табела 15.4 Степен на поволност за градба од аспект на хидрогеолошки услови

Степен на поволност за градба	Максимална длабина до ниво на изданот (m)
1. Оптимално поволен терен	>12
2. Поволен терен	3 - 12
3. Условно поволен терен	1,2 - 12
4. Неповолни терени	<1,2

Најнеповолни се случаите кога изданската зона е многу плитко под површина на теренот, бидејќи тогаш се појавуваат големи проблеми со одводнување на градежната јама, капиларни заситувања на темелите и конструкцијата, условите за развој на ликвидација и др.

Од групата на т.н. **геотехнички услови** за градба, најзначајни се дозволената носивост, стабилноста на теренот и отпорот при ископ. За вакви намени често се припремаат специјални инженерскогеолошки карти (Слика 15.13).



Слика 15.13 Карта со приказ на можни методи на ископ
(Водич за подготовка на инженерскогеолошки карти, УНЕСКО, 1979)

Од носивоста на теренот зависи економичното проектирање на темелите, а од стабилноста однесувањето на објектот со текот на времето. Од применетиот метод на ископ (копање, минирање, риперување), зависи цената на чинење на метар кубен ископ. Квалитативни критериуми за зонирање се прикажани во Табелата 15.5.

Табела 15.5 Степен на поволеност за градба од аспект на различни геотехнички услови

Степен на поволеност за градба	Дозволена носивост Q_{doz} (кN/м ²)	Стабилност изразена преку фактор на сигурност во статички услови	Отпор при работа изразен преку категорија на ископ според ERMR систем (*)
1. Оптимално поволен терен	>1000	$F_s > 2,5$	10 - 25
2. Поволен терен	200 - 1000	$F_s = 1,5 - 2,5$	26 - 40
3. Условно поволен терен	50 - 200	$F_s = 1,1 - 1,5$	41 - 50
4. Неповолни терени	<50	$F_s = 1 - 1,1$	51 - 100

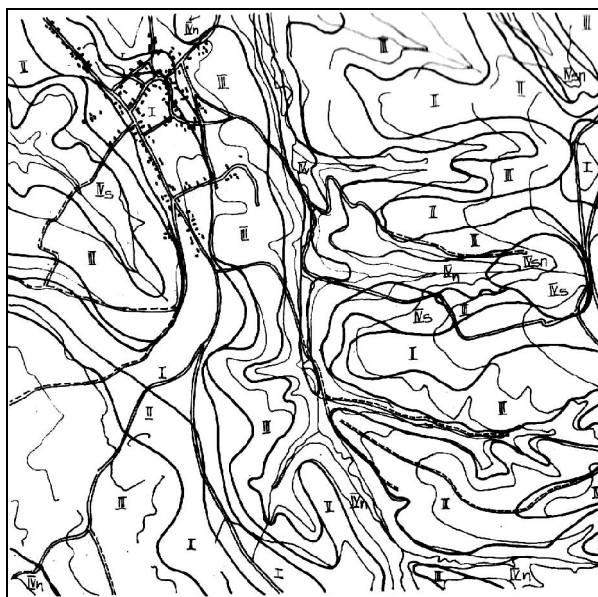
(*)Забелешка: Категориите по ERMR-системот се прикажани во Главата 12

Геодинамичките својства на теренот, исто така многу влијаат врз однесувањето на теренот. Критериуми за поделба се прикажани во Табела 15.6.

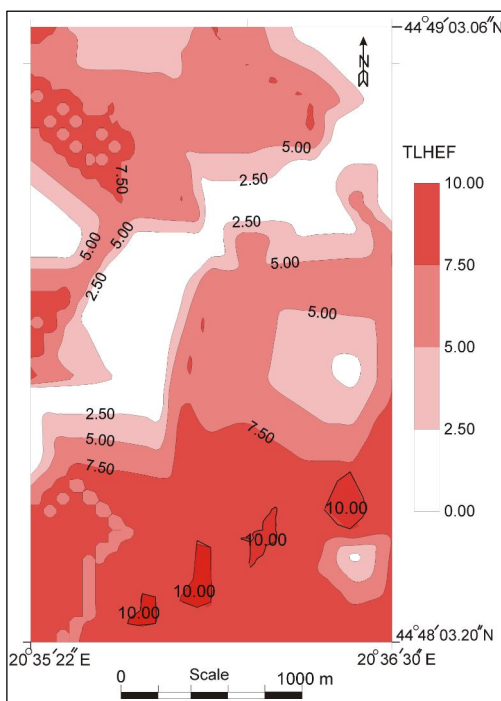
Табела 15.6 Степен на погодност на терен за градба, врз основа на присуство на современи геодинамички процеси при изградба на населени места

Степен на погодност за градба	Појава на свлечишта, одрони, порои	Појави на поплавување на просторот	Сеизмичност на терен по MCS скала
1. Оптимално поволен терен	Без појава	Без појава	<5°
2. Поволен терен	Со многу ретки помали појави	Со многу ретки појави	5° - 6°
3. Условно поволен терен	Со неколку поголеми и многубројни помали појави	Со ретки појави	6° - 9°
4. Неповолен терен	Со многу чести и големи појави	Со чести појави	>9°

Неколку примери за реонирање на теренот по различни критериуми се прикажани на следните слики. На пример, на Сликата 15.14 е прикажана една карта на погодност за урбанизација на населени места. На Сликата 15.15 е прикажан пример на зонирање на теренот од аспект на условите за појава и развој на процес на свлекување на теренот. Ова е многу значајно за правилен избор на локации за градба во населени места, траси на инфраструктурни сообраќајни објекти, гасоводи и слично. Постапката на зонирање е наречена LHZ-постапка (од англ. Landslide Hazard Zonation), при што се дефинираат соодветни LHZ-класи и се пресметува вкупниот евалуационен фактор за проценка на hazard од свлекување (англ. TLHEF-Total Landslide Hazard Evaluation Factor).



Слика 15.14 Пример за изработена карта на погодност за урбанизација на населени места (П. Локин и др. 1972); Легенда: I - оптимално поволен терен; II - поволен терен; III - условно поволен терен; IV - неповолен терен



Слика 15.15 LHZ-карта изразена со TLHEF за област Велико Село како основа за правилна урбанизација на просторот (Јовановски, Пешевски, Аболмасов, 2011)

На картата се издвоени зони со пресметана вредност на TLHEF (види и Табела 15.7).

Табела 15.7 Врска меѓу LHZ-класа и вредност на TLHEF

LHZ класа и опис на состојба на стабилност на теренот	Вредност за TLHEF
0 - стабилни зони	0
1 - зони со многу мала можност за свлекување	2,3
2 - зони со мала можност за свлекување	4,5
3 - средна можност за свлекување	6,5
4 - висока можност за свлекување	7,5
5 - многу висока можност за свлекување	9
6 - активни свлечишта	10

Крајна цел на сите анализи е да се подготват карти каде што би се дефинирале зони за оптимално користење на земјиштето и по потреба проектирање на мерки за заштита на средината (Слика 15. 16).



Слика 15.16 Карта со издвоени зони за оптимално користење на просторот (Матула, 1979):

- A - зона со најпогодни услови за градежни работи од секаков карактер, со мала потреба од заштита;
- B - зона која е погодна за индустриска градба со мала потреба од примена на заштитни мерки;
- C - зона со погодни услови само за помалите градежни зафати;
- D - зона на умерено поволни услови за градежни активности;
- AP - зона со неповолни услови за градежни активности каде се бара висок степен на заштита;
- R - зона со многу неповолни услови за работа и потреба од примена на највисок степен на заштита, која треба да се избегнува за градба.

Како заклучок, може да се потенцира дека ваквите карти се од голема помош за правилно насочување на инженерските интервенции и се основа за успешна урбанизација на просторот.

ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ПЛАНИРАЊЕ НА ЛИНСКИ ОБЈЕКТИ

Терминот **линиски објекти** се однесува на патишта, железници, гасоводи, нафтоводи, водоводни системи, цевководи, канализациони системи, каналски мрежи за наводнување и одводнување и др. Сите овие објекти имаат свои специфики, но заедничко им е што нивната должина е далеку поголема од нивната ширина. Специфично за нив е тоа што поради различни геолошки влијанија е доволно да бидат оштетени на кратко растојание, а при тоа, целиот

објект да биде надвор од функција. Поради тоа, при проектирање кај ваквите објекти се посветува големо влијание на дефинирање на: морфологијата на теренот, геолошката градба, сеизмичноста, условите за развој на современите геолошки процеси и појави, хидрогеолошките и хидролошките карактеристики, геотехничките својства, близината на локации за користење на материјали за изведба на насипи, близина на поволни локации за депонирање на вишок од ископ и др. Зависно од типот на објектот, некои влијанија може да се од примарно, а некои од секундарно значење. Така, при истражувањето и проектирањето, значајно е да се изврши поделба на теренот во квазихомогени зони со приближно исти услови за градба по должина на нивната траса.

ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ПЛАНИРАЊЕ НА СООБРАЌАЈНА ИНФРАСТРУКТУРА

При проектирање на сообраќајната инфраструктура од типот на патишта и железници посебно се значајни следните геотехнички услови:

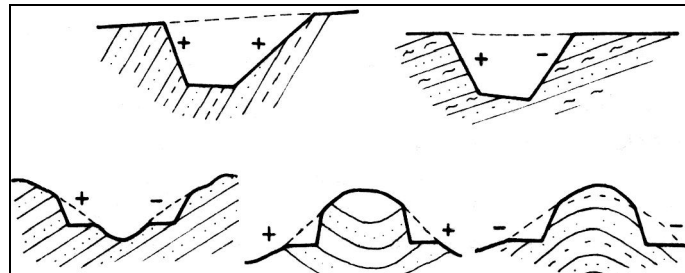
- обезбедување на стабилноста на теренот при усечување и засечување во фаза на изведба на косините и во фаза на експлоатација;
- отпор при копање, минирање, дупчење или друга работна операција;
- услови за заштита од површински и од подземни води;
- услови за утовар и транспорт на ископан материјал;
- влијанија на работните операции врз природната средина во фаза на ископ;
- влијание на изведен објект врз природната средина при негова експлоатација;
- носивост на подлогата;
- дефинирање на погодноста на материјалот од ископ за вградување во насип или за негово користење како агрегат за бетон, асфалт - бетон или асфалт;
- услови за депонирање на вишок на материјал од ископот и др.

Треба да се нагласи дека поригорозни се критериумите при проектирање на железниците во однос на патиштата. Имено, доколку се појави некоја поголема нестабилност на теренот, кај железниците не е можна девијација или имена на нивната траса, додека кај патиштата е релативно полесно да се пренасочи сообраќајот по алтернативни патишта.

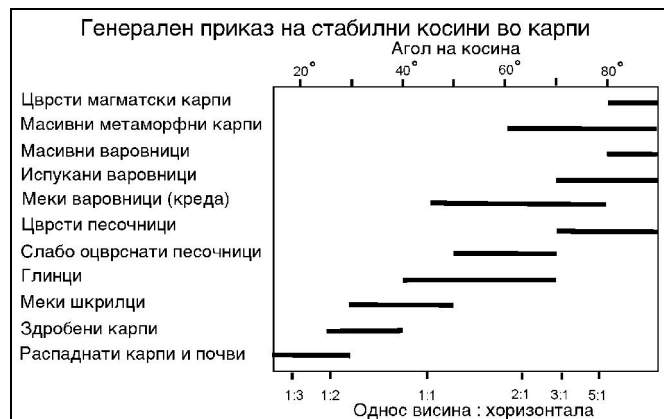
Најголемите проблеми кај патиштата и железниците се појавуваат кај стрмни планиски терени, каде што има потреба од изведба на усеци или засеци со големи висини.

За да се пронајде оптимално решение, при проектирање и изведба на ископите за усеци и засеци треба да се почитуваат неколку главни правила. Основно правило е, секогаш кога е можно, да се избегнуваат терени со активни свлечишта. Покрај тоа, кај слоевитите, шкрилавите и испуканите карпести масиви, ископот за косината треба да се прилагоди кон елементите на пад на структурните елементи. Најтешки за проектирање се косините кај набрани, раседнати и пошумени терени кога е многу тешко прилагодување на наклоните на ископот кон условите на теренот (Слика 15.17). Од сликата се гледа дека наклонот на ископ во усеци може да биде и **несиметричен** во зависност од падните агли на главните пукнатински системи.

За вакви намени, во почетните фази на проектирањето најчесто се користат некои препораки за проектирање на стабилни наклони на ископот (Слика 15.18).

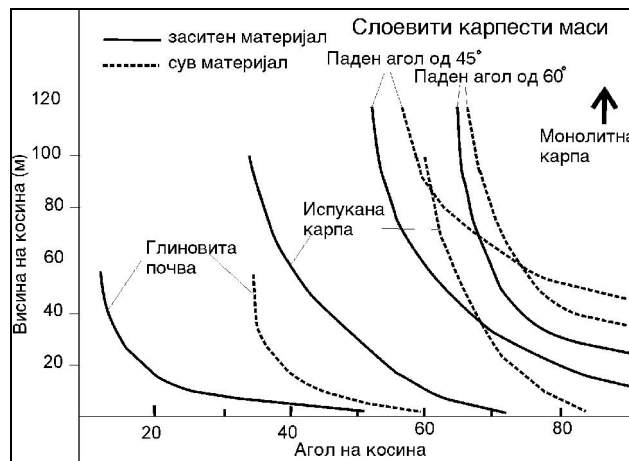


Слика 15.17 Влијание на геолошки структури врз стабилноста на теренот при усечување и засечување: (+) стабилни косини; (-) нестабилни косини (М. Јањиќ, 1982)

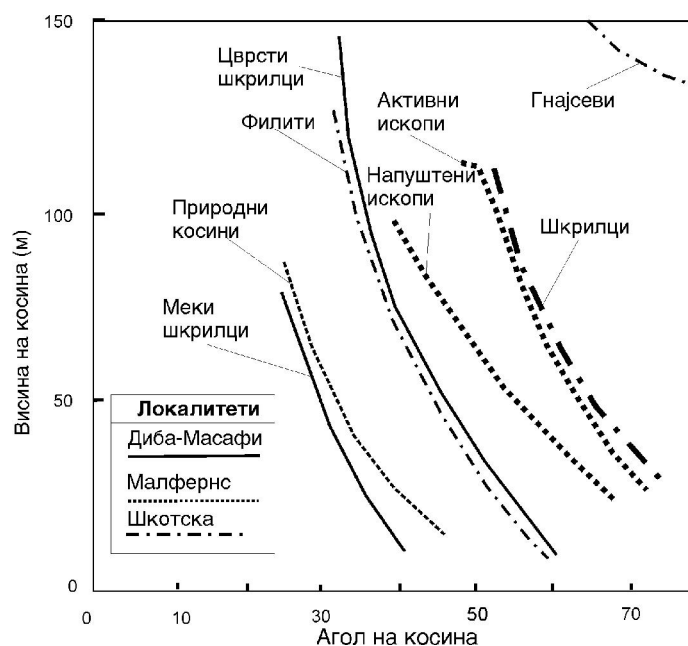


Слика 15.18 Преглед на наклони на стабилни косини во различни карпести маси

Постојат и зависимости меѓу висината и наклонот на природните или вештачки косини кои може да бидат корисна водилка за правилно проектирање (Слики 15.19 и 15.20).



Слика 15.19 Однос меѓу агол и висина на стабилни косини за различни карпести маси



Слика 15.20 Однос меѓу агол и висина на стабилни косини во шкрилести карпести маси

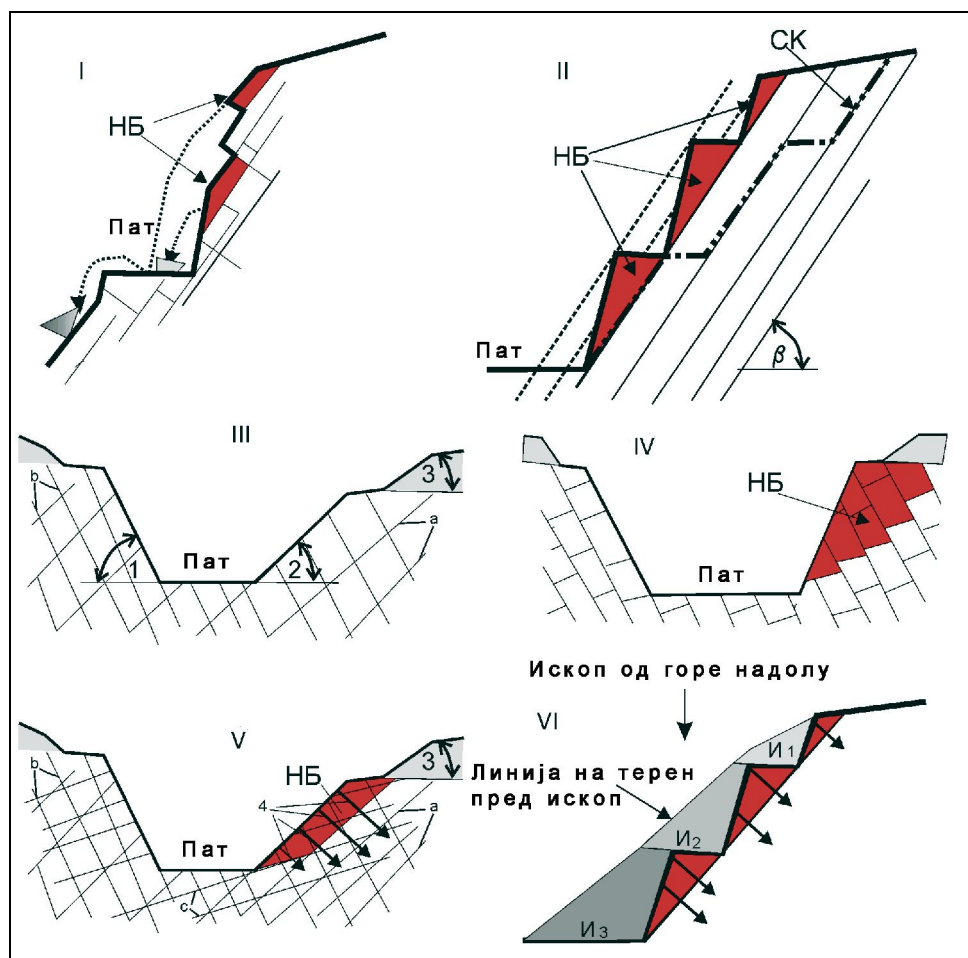
Одредени препораки за изведба на косини во усеци и засеци се прикажани на Сликата 15.21. Кај стрмни засеци или усеци со голема висина, треба да се применува постапка на **ископ од горе надолу**. Во погорните зони, каде што теренот е обично покриен со распаднат делувијален материјал, треба да се примени поблаг наклон или изведба на берма. Ако, поради ограничувања во природата или постоење на веќе изградени објекти мора да се применат пострмни ископи, тогаш треба да се применат плански заштитни мерки со анкерисување, прскан бетон, потпорни ѕидови или некоја друга комбинација (Слика 15.22).

Друг многу значаен аспект за безбедно функционирање на сообраќајниците е правилниот третман на поголемите насипи. Тука, посебно внимание треба да се посвети на добра припрема на подлогата за насипување, а за долготрајна стабилна состојба е потребно добро дренаирање на подлогата и трупот на насипот. Кај многу високи насипи, соодветно внимание треба да се посвети и на проблемот на големи слегнувања (Слика 15.23). Кај повисоки насипи, посебно ако изведбата е во градските средини, добро е да се разгледуваат варијанти со армирана земја, потпорни ѕидови и слично, за да се намали зафаќање на поголеми корисни површини.

При проектирање на сообраќајниците, треба да се тежнее да се искористи вишокот на материјал од ископот од усек или засек кај некој најблизок соседен насип, со цел да се избалансира транспортното растојание за пренос на масите.

Очигледно е значењето на инженерскогеолошките услови за проектирање на ваквите објекти. Сепак, мора да се знае дека никогаш не е можно да се истражи цела траса на патиштата и железниците со целосна точност. Дури и при најдетални истражувања, сепак меѓу истражните работи останува непокриен простор. Така, вистинската градба на теренот точно може да се дефинира само

во фазата на ископ. Ова значи дека секогаш постои одредено ниво на непознавање на теренот и ризик за појава на нестабилност.



Слика 15.21 Приказ на можни случаи за изведба на засеци и усеци во цврсти карпи:

I - засек во слоевити карпи со неправилно проектиран пострмен наклон од падот на слоевитоста; II - засек во шкрилести карпи со приказ на неправилно проектиран ископ со пострмен наклон од падот на фолијација и формирање на нестабилни блокови (НБ) и правилно проектирана стабилна косина (СК), која го следи падот на фолијацијата; III – правилно проектирана косина во испукан карпест масив со два доминантни системи на пукнатини (a и b), каде што падниот агол на косината (1 и 2) ги следи падовите на пукнатините, а во горна зона во почвен материјал се изведува ископ со поблаг наклон (3); IV – неправилно проектирана косина во слоевит карпест масив без земање предвид на услови за можно формирање на нестабилни блокови (НБ); V – проектирана косина во карпест масив со три доминантни системи на пукнатини (a, b и c), каде што нестабилните блокови (НБ) се анкерисуваат (4); VI – правилно проектирана технологија на ископ за стрмна косина со фази на ископ од И1 до И3 и фазно анкерисување на нестабилните блокови (НБ), кои би се појавиле со отворање на ископот.



Слика 15.22 Приказ на систематски анкерисана косина со припрема на берми на определени висини (фото Б. Димитров)



Слика 15.23 Приказ на деформиран насип на автопат Е-75 од Катланово до Велес, каде што се забележува надградуван асфалт и до 1 метар како компензација на слегнувањата

Во експлоатационата фаза, пак, треба да има многу добро одржување на објектите, а повремени интервенции и санации се често неопходни.

ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ПЛАНИРАЊЕ НА ГАСОВОДИ, НАФТОВОДИ, КАНАЛСКИ И ВОДОВОДНИ МРЕЖИ

Основна карактеристика, која ги поврзува гасоводите, нафтоводите, каналските и водоводните системи е што се фундаираат релативно плитко, најчесто на длабини до околу 2 метра. Од овие причини, за вакви објекти е најзначајно да се дефинираат влијанијата на современите геолошки процеси и сеизмичноста. Покрај испитувањата на морфологијата на теренот, геолошката градба, хидрогеолошките услови, отпорот при ископ, стабилноста при ископ и слично, кај гасоводите и нафтоводите е посебно значајно да се дефинира

евентуалната агресивност на почвата и водата кон челикот, за што најмногу се користат податоци од геоелектричните методи на испитување. Посебно внимание се посветува на еродибилни терени, речни премини, пресеци со активни раседи, зони на можни свлекувања и слично (Слика 15.24).



Слика 15.24 Зона на еродирање на терен по траса на нафтовод од рафинерија „Окта“ до Солун

Од друга страна, пак, носивоста и вертикалните слегнувања на теренот не се толку значајни, бидејќи оптоварувањата од објектот се мали, а гасоводните или нафтоводните цевководи можат да трпат деформации до 30 сантиметри на

100 метра должина од објектот. Кај каналските мрежи за наводнување, е значајно да се испита и можноста за инфилтрација на вода од каналот кон подземјето, што повратно може да предизвика влажење и бабрење на подлогата.

ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ПЛАНИРАЊЕ НА ДЕПОНИИ

Депониите се специфични објекти, каде што од првостепена важност е да се изберат локации, каде што би имало најмали влијанија кон животната средина. При избор на локацијата за изградба најчесто се земаат предвид следните фактори:

- оддалеченост на депонијата од населено место;
- ограничувања кај локациите од различен карактер;
- расположлив простор и пристап до земјиштето за изградба;
- топографски, геолошки, геотехнички, хидролошки и хидрогеолошки услови;
- локалните услови на околината;
- век на траење на депонијата.

Проектирањето на депониите се смета за многу сложена постапка, каде што е потребен активен однос на голем број стручни лица од геолошките и геотехничките науки, градежништвото, машинството и други науки. Исто така, е неопходно да се проанализира мислењето на општествената јавност (Слика 15.25).

Во практиката, најчесто се изведуваат депонии на цврст и комунален отпад, а поретко и специфични складишта на нуклеарен и друг опасен отпад. Во секој случај, при проектирањето на депониите постојат голем број ограничувачки фактори. Од геотехнички аспект е значајно да се утврди дали има доволно **покривен материјал** во близина на локацијата за депонија, бидејќи современиот пристап на работа со цврстиот отпад подразбира секојдневно покривање со почвен материјал. По завршување на векот на полнење на депонијата, обрзно се изведува **крајна** (завршна) покривка на отпадот. Затоа, треба да се осознае дали ископаниот материјал од подлогата може да се употреби и како покривен материјал. Посебно е значајно, што со распаѓање на органскиот дел на отпадот се создава т.н. исцедок или **филтрат**, кој е доста токсичен и ризичен за загадување на почвата и подземните води. Исто така, се создаваат и гасови, кои,

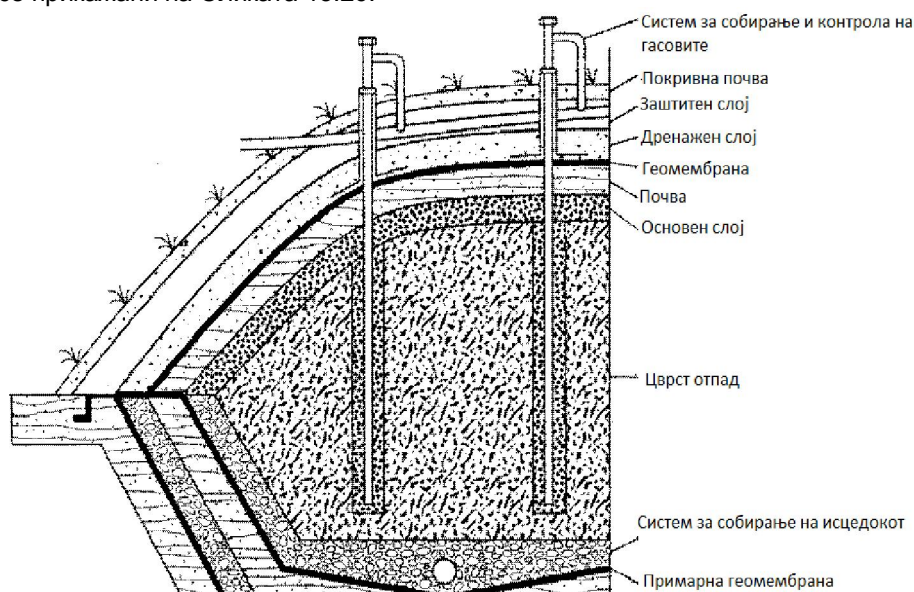
ПРИМЕНА НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА ВО ПРАКТИКАТА

ако не се ослободат со соодветни системи, можат да доведат и до експлозија на депонијата.



Слика 15.25 Значајни аспекти при истражување, проектирање и правилна експлоатација на депониите за цврст отпад (М. Јовановски и др., 2008)

Новите депонии, исто така, не смеат да се наоѓаат поблиску од **60 метри** до земјиште каде што е констатирано постоењето на **активни раседи**. Затоа, при проектирање на депониите, најчесто мораат да се предвидат составни елементи, кои се прикажани на Сликата 15.26.

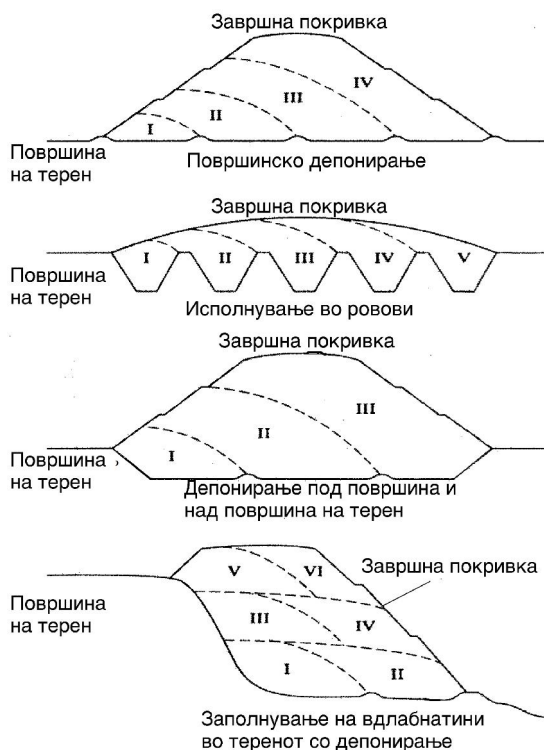


Слика 15.26 Карактеристичен напречен пресек на депонија со подземен и надземен дел

Хидрогеолошките услови се исклучително важни за воспоставување на критериуми за заштита на животната средина, односно за проценка на условите за загадување на земјиштето. Овие анализи се потребни за да се осигура дека движењето на гасовите и филтратот од депонијата нема да влијае врз квалитетот на подземна вода или пак нема да влијае штетно на водоносниот слој, кој лежи под зоната на депонирање. Од аспект на водопропустноста, најдобри се терените кога коефициентот на филтрација на подлогата има пониски вредности од

$K=1 \cdot 10^{-9}$ m/s, кога всушност постои многу мала веројатност за загадување на подлогата.

Во проектните решенија кај депониите на цврст отпад, најчесто се анализираат депонии со геометриската конфигурација како на Сликата 15.27.



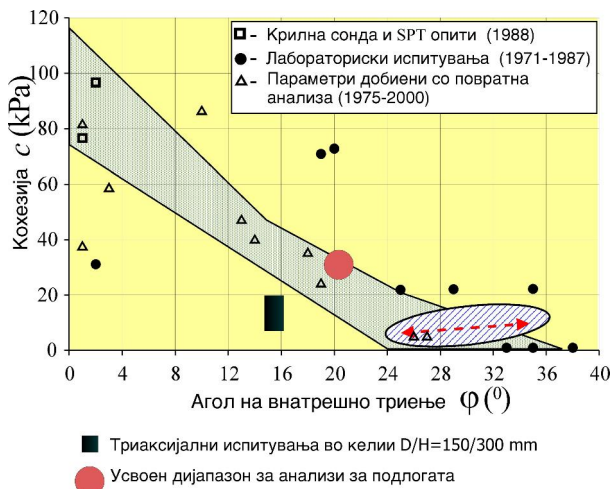
Слика 15.27 Приказ на неколку начини на полнење на депонија

Карактеристика на депониските тела е што кај нив се јавуваат **големи слегнувања**. Се напоменува дека овој процес кај депониите е многу сложен и зависи од голем број механички фактори, биохемиската декомпозиција, механичко ползење и друго. Познати се случаи на слегнувања и до **30%** од висината на депониското тело. Затоа, од посебна важност е да се дефинираат физичко - механичките карактеристики на подлогата за градба и на цврстиот отпад, кој ќе се вградува во депонијата. За таа намена се користат вообичаени класификациони испитувања, но и специјални испитувања на деформабилноста во голема мерка.

При анализите на стабилност на косините на депонијата, многу да се внимава да се изберат соодветни влезни параметри, бидејќи ако се случи некоја нестабилност, може да бидат уништени системите за заштита во вкопаниот и надземниот дел на депонијата. Обично, кај цврстиот отпад, вредностите на јакоста на смолкнување варираат во широк дијапазон (Слика 15.28).

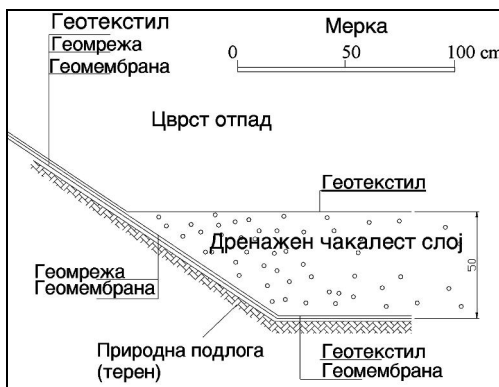
Современиот пристап за проектирање на депонии по правило се прави со користење на различни варијанти за заштита на подлогата со **геосинтетски**

темелен слој од вештачки материјали и дренажен систем за зафаќање на филтратот.

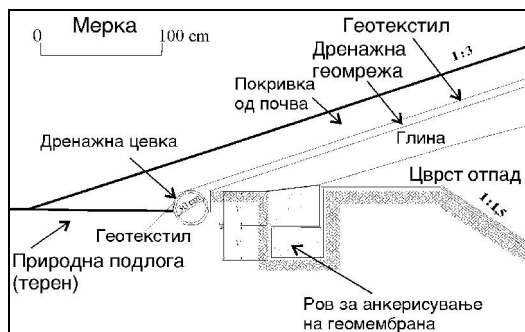


Слика 15.28 Приказ на дијапазон на јакостно-деформабилни параметри за цврст отпад добиени во голема триаксијална ќелија

Посебно внимание се посветува на елементите кои се поставуваат на страните, дното но и на завршната покривка на депонијата (Слики 15.29 и 15.30).



Слика 15.29 Детал за поставување геосинтетски и дренажен заштитен слој во дно и страни на депонија



Слика 15.30 Детал за поставување покривен, геосинтетски и дренажен заштитен слој на косините од површинскиот дел од депонијата

Геосинтетската подлога се поставува врз природната геолошка подлога. Најдолу се поставува **геомембрана** со висока густина, која е водонепропустна и има основна функција да спречи продор на исцедокот. Над геомембраната се формира **дренажен слој од крупен песок и чакал**. Тој има улога да го острани филтратот од телото на депонијата и да го смалува хидрауличкиот градиент во темелниот заптивен слој. Дебелината на овој слој обично е околу 50 см. Меѓу геомембраната и чакалот со цел да се спречи оштетување на геомембраната и подобрување на филтрацијата се поставува **геотекстил**. Филтерскиот чакалест материјал треба да содржи мала концентрација на зрна од карбонатен или гипсен состав кои се растворливи во контакт со филтратот. Дозволена е концентрација на карбонатни материјали до максимум 5% од вкупната маса. Дренажниот материјал треба да е водопропустлив, но истовремено и да го спречува пренесувањето на честички од отпад во филтратот. Ова својство се обезбедува со изолирање на отпадот со геотекстил и од горната страна. На страните на ископот, покрај наведените материјали, обично се поставува и **дренажен геосинтетик**. Негова примарна функција е да обезбеди филтрација и полесна евакуација на депонските гасови и да се спречи појава на оштетување на мембраната при депонирање на отпадот.

При избор на материјалите и елементите на геосинтетската подлога треба да ги задоволат одредени технички критериуми. На пример, геомембраните треба да имаат дебелина од 1,2 до 1,5 mm, тежина минимум 1550 g/m^2 , јакост на затегнување $1500 - 1700 \text{ N/cm}^2$, флексибилност на ниски температури до $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ и постојаност на агресивни влијанија и ултравиолетово зрачење. Геотекстилот треба да има дебелина од 3 - 5 mm, тежина од $300 - 500 \text{ g/m}^2$, сила на кинење од $300 - 600 \text{ N}$, отпорност на атмосферски влијанија, постојаност на микроорганизми, ултравиолетово зрачење, постојаност на агресивни влијанија од филтрат и др. Дренажниот геосинтетик треба да е со дебелина од 10 до 22 mm, тежина од 500 до 900 g/m^2 прекидна сила $1000 - 1200 \text{ N}$, отпорност на атмосферски влијанија, постојаност на микроорганизми, ултравиолетово зрачење и на агресивни влијанија од филтрат. Може да се заклучи дека геотехничките аспекти се многу значајни при проектирање на депониите, но уште е позначајно во фаза на експлоатација совесно да се спроведуваат проектните решенија и да се следи однесувањето на телото на депонијата во тек на време.

ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ПЛАНИРАЊЕ НА ПОДЗЕМНИ ОБЈЕКТИ И РАБОТИ

Проектирањето на подземните објекти и работи е особено сложена постапка, каде што во најголем дел доаѓа до израз потребата од познавање на инженерскогеолошките услови. За правилно дефинирање на технологијата на работа и заштита на ископот треба да бидат на соодветен начин дефинирани стабилноста на карпестата маса во текот на ископот, стабилност на поединечни големи блокови, отпор при копање, минирање и дупчење, услови за заштита од подземни води, услови за заштита од високи температури и гасови, услови за утовар и транспорт, меѓусебно дејство на карпестата маса и вградените или складираните материјали, влијанија на работните операции врз природната средина во фаза на ископ и др.

Како основа за успешно проектирање е да се изврши поделба на теренот во **квазихомогени зони**, каде што се очекуваат слични услови за градба на објектот (Слика 15.31).

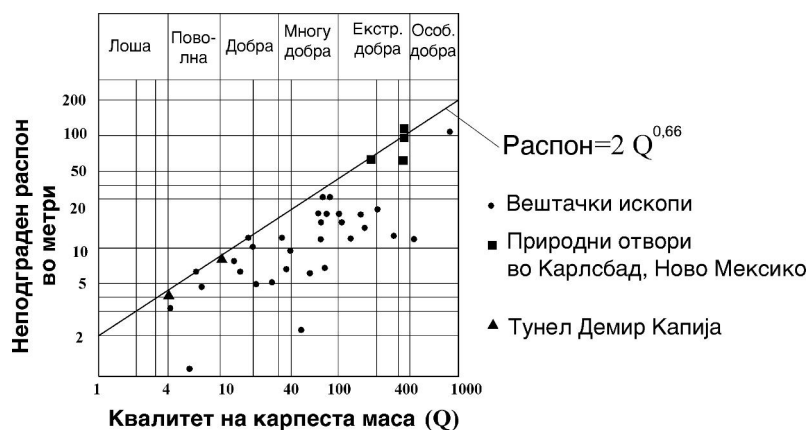
ПРИМЕНА НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА ВО ПРАКТИКАТА



Слика 15.31 Пример за издвоени квазихомогени зони (А до Г) за тунел 2 од автопат Е75 од Демир Капија до Гевгелија

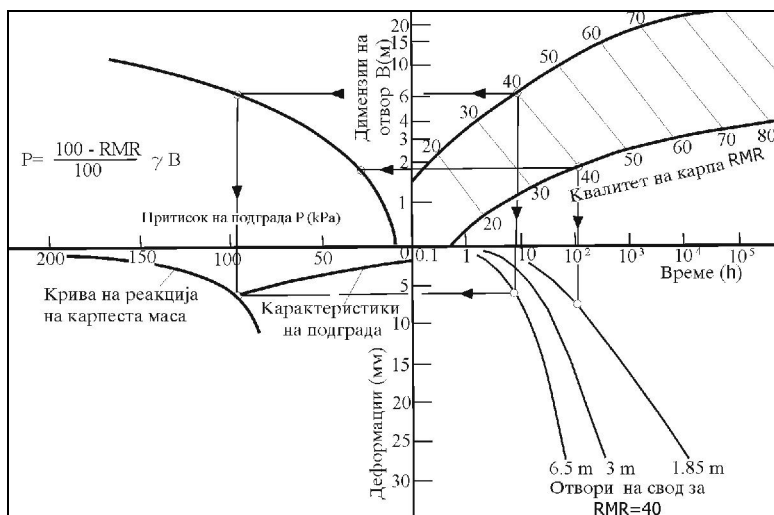
Поделбата на зони се врши врз основа на дефинираната литолошка градба на теренот, тектонските својства, висината на надслој над ископот, испуканоста и јакоста на карпите и слично. Обично, за секоја издвоена зона се доделуваат соодветни вредности за квалитетот на карпата, се врши избор на технологија за ископ, се дефинира примарната и завршната подградба, се дефинираат посебни мерки за заштита при работа и сите други значајни аспекти за сигурна изведба на објектот.

Во почетните фази на проектирањето од голема помош се класификационите методи, бидејќи со нивна примена можат да се прогнозираат голем број потребни параметри. На пример, за проценка на димензиите на стабилни отвори може да се искористи Q - системот (Слика 15.32).

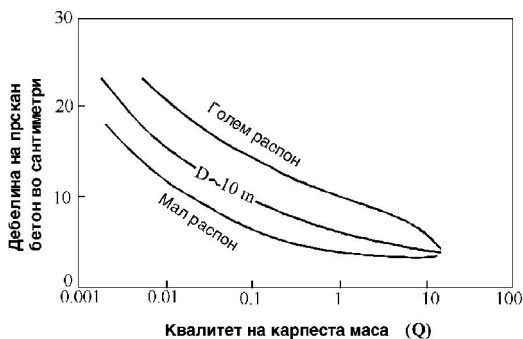


Слика 15.32 Дијаграм за прогноза на димензии на стабилен неподграден ископ за разни случаи од практиката

На Сликата 15.33, пак, е прикажан дијаграм, каде што паралелно се врши проценка на времето на стабилност на подземен отвор со користење на класификациските методи на Биенџавски и Бартон.



Слика 15.33 Дијаграм за проценка на време на стабилност на неподграден распон кај подземен ископ, деформации притисок на подградба

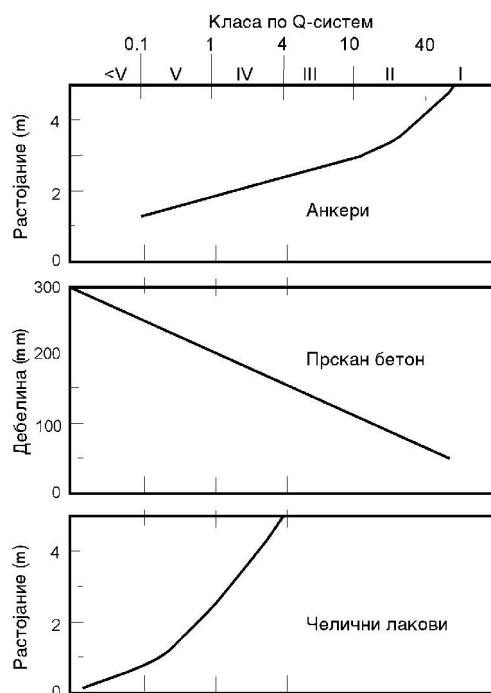


Класификационите методи се корисни и при проценка на елементите на подградниот систем (Слики од 15.34 до 15.36 и Табела 15.8).

Слика 15.34 Прогноза на дебелина на прскан бетон кај подземни распони во зависност од квалитет по Бартон и други

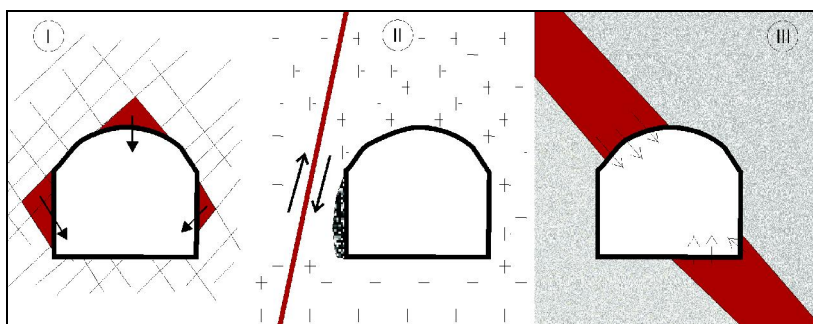


Слика 15.35 Синтезен дијаграм за проценка на тип на подградба во зависност од квалитетот на карпеста маса според Q-системот



Слика 15.36 Дијаграми за проценка на растојанија меѓу анкери, дебелина на прскан бетон и растојанија меѓу челични лакови во зависност од квалитетот на карпеста маса

Очигледно е дека класификационите методи овозможуваат решавање на поголем број практични проблеми, но овие методи не нудат решенија за одредени **специфични случаи**. На пример, со нив не е можно да се дефинира стабилноста на **големи индивидуални блокови**, можности за појава на **горски удар**, решавање на проблеми со појави на здробени течливи карпести маси или карпи склони кон бабрење (Слика 15.37).



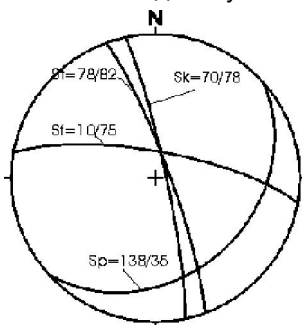
Слика 15.37 Специфични случаи кај подземни ископи: I - појава на потенцијално нестабилни блокови формирани од пукнатински системи во свод и страни на ископ; II - активен расед во близина на ископ кој е можна причина за странично обрушување на ископ во цврста карпа на големи длабини и појава на горски удар; III - пресек на ископ на тунел со здробена раседна зона или зона склона кон бабрење (стрелките и штрафираната зона укажуваат на правци на можни поместувања)

Табела 15.8 Предлог на подграда во зависност од класа на карпеста маса според Бињавски

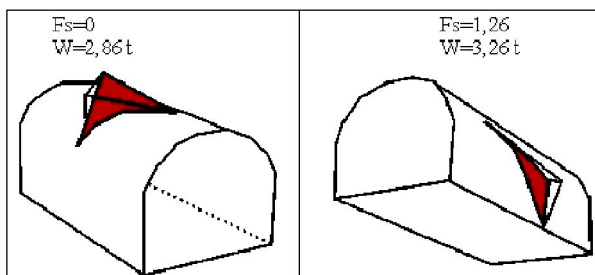
Класа на карпеста маса	Ископ	Сидра	Прскан бетон	Челични лакови
I - Многу добра карпа RMR=81-100	Цел отвор, напредување по 3 m	Главно не е потребна никаква подграда, освен локално поединечно сидрење		
II - Добра карпа RMR=61-80	Цел отвор, 1 - 1,5 m напредување, целосна подграда на 20 m од челото на ископот	Локално сидрење во сводот со 3 m должина на растојание 2,5 m повремено и со мрежа	50 mm во свод каде што е потребно	Не е потребно
III - Поволна карпа RMR=41 - 60	Избивање на свод, 1,5 - 3 m напредување, во сводот привремена подграда паралелно со ископот, комплетна подграда 10 m од челото на ископот	Систематско сидрење 4 m должина, на растојание од 1,5 до 2 m во сводот и сидовите со челична мрежа мрежа во сводот	50-100 mm во сводот и 30 mm на страните	Не е потребно
IV - Слаба карпа RMR=21 - 40	Избивање на сводот по 1 - 1,5 m, вградување на комплетната подграда паралелно со ископот 10 m од челото	Систематско сидрење 4 - 5 m должина, на растојание од 1-1.5 m во сводот и сидовите со челична мрежа	100 - 150 mm во сводот и 100 mm на страните	Лесни до средно тешки на растојание од 1 m каде што е потребно
V - Многу слаба карпа RMR<20	Ископ во фази со напредување од 0,5 - 1,5 m и инсталирање на подградата паралелно со ископот, торкретирање што е можно побргу после минирањето	Систематско сидрење 5 - 6 m должина, на растојание од 1 -1,5 m во сводот и сидовите со мрежа. Сидрење и на подножен свод	150 - 200 mm во сводот, 150 mm на страните и 50 mm на челото	Средно тешки до тешки челични лакови на растојание од 0,75 m

Кога има можност за појава на одделни нестабилни големи блокови од посебна важност е дефинирањето на **кинематските услови за лом**.

Ова подразбира анализа на ориентацијата на ископот во однос на елементите на пад на пукнатините (Слика 15.38 и Слика 15.39).



Слика 15.38 Потенцијално нестабилни блокови формирани од три главни пукнатински системи за ископ на доводни тунели за брана "Света Петка" (приказ на стереографска проекција)

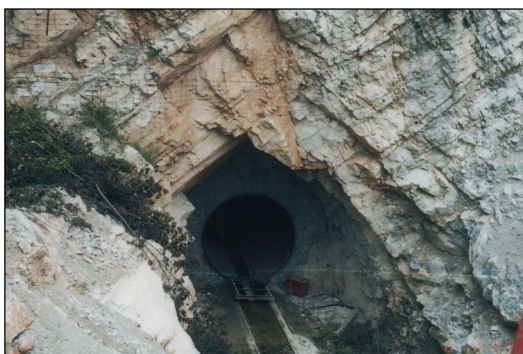


Слика 15.39 - Потенцијално нестабилни блокови во свод и страната на ископ (F_s - фактор на сигурност, W - тежина на блок)

Реален изглед на неповолни комбинации на пукнатински системи се прикажани на Сликите: 15.40, 15.41 и 15.42.



Слика 15.40 Потенцијално нестабилни и отпаднати блокови во излезен (портален) дел и во свод кај опточен тунел на брана „Света Петка“ на реката Треска

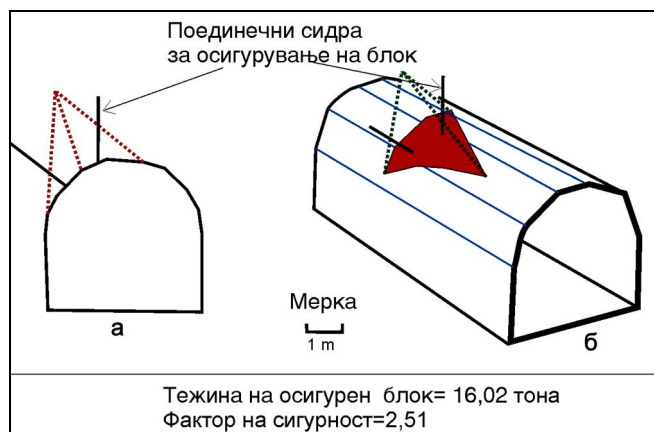


Слика 15.41 Неповолна комбинација на два коси пукнатински системи во излезен дел од доведен тунел на брана „Козјак“ на реката Треска



Слика 15.42 Лом на свод на отвор со мали димензии кај субхоризонтални слоеви комбинирани со два попречни пукнатински системи во карпи со слаб квалитет (лапорци) за ископ кај Скопско Кале

Во денешно време, за анализа на ваквите проблеми, на располагање стојат различни софтверски решенија, каде што директно се внесуваат податоци за елементите на пад на пукнатините, ориентацијата на ископот, јакоста на смолкнување, параметрите на заштита на ископот со примена на систематско или несистематско сидрење, прскан бетон и сл. Како излез од анализите се добива **факторот на сигурност** на потенцијално нестабилните блокови (Слика 15.43).



Слика 15.43 Начин на осигурување на блокот во сводот на ископ за тунел кај хидројаловиште за рудник „Саса“ со несистематско сидрење

Обично, при изведба на подземните објекти, најголемите проблеми се појавуваат во зона на влезните и излезните (**порталните**) делови, поради специфични услови за пристап, мал надслој кој е склон кон обрушување, појава на распаднат материјал во површинските делови и слично.

На пример, на Сликата 15.44 е прикажан случај за изведба на два доводни тунели кај браната „Матка“ - Скопско, кои се изведени на специфичен начин и каде во фаза на изведба се појави потреба од осигурување на потенцијално нестабилен блок на излезот на тунелот.



Слика 15.44 Приказ на специфична положба на два паралелни доводни тунели за брана „Матка“ - Скопско

На Сликата 15.45, пак, е прикажан случај за обрушување на влезен дел од тунел на Саска Река, Македонска Каменица заради мал надслој од сипаришен материјал.



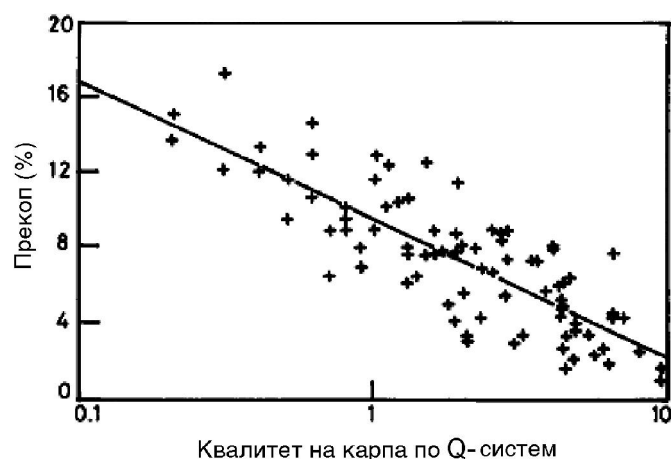
Слика 15.45 Обрушување на влезен дел од тунел на Саска Река, Македонска Каменица заради мал надслој од сипаришен материјал

На порталните делови се чести и проблеми на стабилноста ако падните елементи на шкрилавоста, фолијацијата и слоевитоста имаат неповолен пад во однос на правец на напредување на ископот (Слика 15.46).



Слика 15.46 Појава на смолкнување на шкрилести карпи со неповолен пад во зона на излез од опточен тунел за брана „Кнежево“, Злетовско

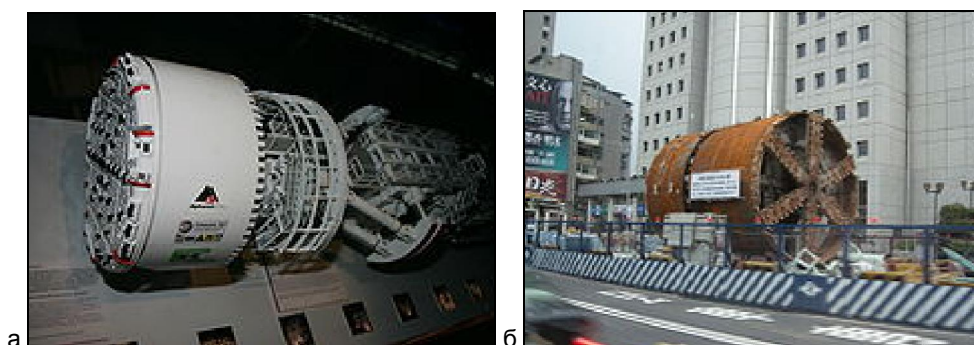
Во зависност од состојбата на карпестата маса, но и од технологијата на ископ, е и волуменот на **прекопана маса** (прекоп). Во прогноза на цената на чинење на ископ кај подземните работи обично се признава т.н. **дозволен прекоп**, кој е во функција на квалитетот на карпата (Слика 15.47).



Слика 15.47 Дијаграм за проценка на можен прекоп во зависност од квалитетот на карпата

Од друга страна, поради примена на неадекватен начин на минирање, ненавремено поставување на примарната подградба, подолговремено оставање на неподградени карпи, кои се склони кон бабрење при примање на влага и друга неадекватна технологија на ископ, се случуваат појави на недозволен прекоп, па и до најдрастични примери на целосно затварање на ископаниот отвор.

Може да се каже дека навремено поставената примарна подградба, примената на соодветна технологија и механизација на ископ, е клучен фактор за сигурно и економично изведување на подземните работи. Посебно кај подолги тунели од 4 km, секогаш кога дозволуваат геолошките и геотехничките услови, се планира изведба со тунелски машини за дупчење од различен карактер (Слика 15.48).



Слика 15.48 Тунелски машини за дупчење: а - глава на машина за дупчење
б - штит за тунелска машина

Со тунелските машини се добива глатка површина на ископот на минимален прекоп, е овозможено брзо напредување и паралелно поставување на подградбата, но за нивна примена е неопходно пред сè добро познавање на геолошките услови на теренот, со цел да не дојде до нејзино заглавување.

ПОЈАВА НА ШТЕТНИ ГАСОВИ ПРИ ИЗВЕДБА НА ПОДЗЕМНИ РАБОТИ

Кога при изведба на подземните работи има можност за појавата на штетни гасови, тоа претставува посебен проблем, кој бара примена на специфични технологии за работа. Штетните гасови се поделени на: загушливи како азот (N₂) и јаглероддиоксид (CO₂), отровни како: јаглеродмоноксид (CO), азотдиоксид (NO₂), сулфурводород (H₂S), запаливо-експлозивни како: водород (H₂), метан (CH₄) и други и радиоактивни како радон (Ra).

Најчесто присутен гас во подземјето е метанот. Ако се утврди негово постоење, прописите во рударството и тунелоградбата обврзуваат на примена на таканаречен **метански режим** на работа, што ја смалува продуктивноста на работата и го поскапува објектот за 10 - 20 % (П. Локин, 1987). Метанот е најчесто присутен кога изградбата на подземните објекти се врши во јагленови наслаги. Понекогаш има и појави на гасови, кои се нетипични. На пример, при изведба на тунелот „Крижевичи“ кој се изведувал со големи временски разлики и фази, се појавиле гасови поради гниење на дрвената подградба, која била вградена во претходна фаза на изградба (П. Локин и други, 1989). Поради испуканоста и кавернозоста на карпестите маси, некогаш е можна циркулација на гасовите и на големи далечини од местото на нивна оригинална појава. Во фаза на изведување на објектот, врз основа на постојано следење на количината и видовите на гасови се донесува одлука за режимот на работа. Ова е само еден од аспектите кои прават подземните објекти да се практично и најтешки за изведување.

ПОЈАВА НА ВИСОКИ ТЕМПЕРАТУРИ

Познато е дека со зголемување на длабочината се зголемува и температурата во карпестата маса, што се изразува со температурниот градиент на некоја конкретна локација. Големината на температурата во зона на работниот простор на подземниот ископ зависи од температурата на површината на теренот, топлотната проводливост на карпестата маса, висината на надслојот и склопот на карпестата маса. За прогнозирање на температурите во тунелот се користат повеќе емпириски формули, како на пример:

$$T_h = t_b + h - (n/T)$$

Каде што е: T_h - температура во тунелот на длабочина h под површина на теренот;

t_b - средна годишна температура на воздухот на местото, каде што се гради тунелот;

h - длабочина на тунелот (m);

n - длабочина до зоната со постојана температура;

T - геотермиски градиент.

Појавата на високи температури бара посебна организација на работа, вентилација на ископот и други мерки, така што поради отежнатите услови за работа се поскапуваат вкупните трошоци за изведба.

ВЛИЈАНИЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ

Влијанието на подземните води кај подземните работи по правило е негативно и сложено. Во зависност од проблемите кои може да се појават, вкупните трошоци за изведба на работите можат да бидат зголемени и за повеќе пати. На условите за работа влијаат и физички слободните и физички сврзаните подземни води. При тоа, треба да се посвети внимание на условите за продор на големи количини на подземни води и потопување на работилиштето, дејството на хидростатичките и хидродинамички притисоци, ерозионо механичко и хемиско

дејство, намалување на физичко - механичките својства на карпестите маси и агресивното дејство на подземните води на градежните материјали.

Посебно негативно влијание имаат појавите на продор на подземните води кон ископот. На пример, кај подземниот рудник „Стари трг“ во Косово, при дупчење на т.н. смерни дупнатини кај еден од подземните хоризонти, била продупчена голема каверна, а подземната вода од неа го потопила поголемиот дел од рудникот. Така, работите за испумпување на подземната водата условиле прекин на нормалното производство на рудникот за период од 6 месеци.

Понекогаш дејството на водата може да се почувствува и по завршувањето со изградбата. Ова е посебно карактеристично за карстните терени каде е можно продирање на вода од карстните канали при поголеми врнежи. Таков е и случајот на тунелот „Созина“, кој се наоѓа на железничката линија од Белград до Бар во Р. Црна Гора. Кај овој тунел се појавил продор на големи количини на вода после 6 години од завршување на изградбата (П. Локин, 1989)

Многу се значајни хидростатичките и хидродинамичките притисоци од подземните води, кои влијаат на напонската состојба на карпестите маси. Ова, од друга страна, бара примена на посебни технички мерки за намалување на ваквото дејство, што секако дека влијае многу врз процесот, времетраењето и цената на изведување на работите. Хидродинамичкото дејство на подземните води може да услови појава на механичка суфозија, која може да се манифестира во текот на изградбата и експлоатацијата на објектот. Хемиската суфозија може да е значајна при изведба во карбонатните и гипсните карпести маси. Влијанието на влагата од подземните води може да се согледа во промената на физичко-механичките својства на карпестите маси. Ова е посебно значајно кај глиновитите, лапоровитите и туфогените карпести маси, бидејќи од влажноста многу зависи нивното однесување со текот на времето и посебно се изразува преку појавите на лепливост и нивно бабрење.

Кај машинското ископување, потешкотиите произлегуваат од лепливоста, а појавата на бабрење, условува појава на големи подземни притисоци, потешкотии при дупчењето, заглавување на тунелските машини за ископ и сл.

Секој од наведените проблеми бара посебен инженерски третман, при што е потребно да се предвидат посебни мерки за заштита при работа и соодветен начин за намалување на дејството на подземни води со постапки на дренаирање, инектирање, замрзнување или нивно комбинирање.

ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ПЛАНИРАЊЕ НА ПОВРШИНСКИ КОПОВИ И КАМЕНОЛОМИ

Проектирањето на површинските копови и каменоломи не е можно без детаљно познавање на инженерскогеолошките услови. Најзначајно е добро да се дефинира стабилноста на карпестата маса во текот на ископот, да се избере соодветна технологија на ископ, условите за заштита од подземните води, условите за утовар и транспорт, меѓусебно дејство на карпестата маса и вградените материјали, влијанијата на работните операции врз природната средина во фаза на ископ и по ископот.

Во одредени случаи, се можни влијанија од подземните гасови. На пример кај површинскиот коп за јаглен „Суводол“ - Битолско, гасовите имаат влијание врз стабилноста на теренот со оглед дека се наоѓаат во подина на т.н. продуктивната серија и дејствуваат како динамички удари. Влијанијата на појавите на гасови и хемиски агресивната подземна вода се истражуваат и од геоеколошки аспект, бидејќи ако има агресивни подземни води, не е дозволено директно испумпување од работниот простор кон некој водотек.

Кај големите и длабоки површински ископи е значајно да се прогнозира влијанието на масовните минирања врз стабилноста на завршните и работните косини и соседните објекти (Слика 15. 49).



Слика 15.49 Масовно минирање на површинскиот коп за железо и никел „Ржаново“ - Кавадаречко

Влијанието на подземните води и кај ваквите објекти е многу значајно, така што при проценка на условите за работа покрај вообичаените пресметки за проценка на дотокот на подземна вода кон ископот, е значајно да се проценат условите за работење под ниво на подземна вода и зголемена влажност, намалување на продуктивноста и трошоците за дополнителна заштита при работата и др. Затоа, во практиката се предвидуваат различни мерки за зафаќање и планско изведување вон зоните на работа и експлоатационите полиња (Слика 15.50).



Слика 15.50 Изглед на етажен канал за одведување на подземните води од работен простор за ископ (П. К. „Суводол“ - Битола).

Ако се имаат предвид сите овие фактори, е јасно дека кај секој ваков конкретен инженерски проблем, потребно е детално да се истражат сите потребни аспекти во проекти за експлоатација и одводнување на ископите.

ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ИЗГРАДБА НА БРАНИ И ВЕШТАЧКИ АКУМУЛАЦИИ

При проектирање на хидротехничките објекти, посебно кај браните, е потребно да се поседуваат податоци за голем број геолошки и инженерскогеолошки својства на теренот. Тоа е поврзано со фактот, што при евентуално рушење на вакви објекти постојат најголеми ризици по околната средина. Затоа, просторот што е предвиден за градба и формирање на вештачки акумулации секогаш треба да се истражува со најголемо внимание, а проектните решенија треба да се прилагодат максимално кон теренските услови. Во фазата на истражување и проектирање, е потребно да се дефинираат следните услови:

- избор на микролокација и тип на брана во зависност од локалните морфолошки, геолошки, хидрогеолошки и други услови на теренот;
- услови за фундаирање на браната преку дефинирање на дозволено оптеретување на подлогата, длабината на фундаирање, заштита на темелната јама во фаза на ископ од одронување и од подземни води, потреба од подобрување на подлогата за фундаирање и др.;
- стабилност на браната и нејзината подлога при различни статички, хидростатички, хидродинамички земјотресни и други влијанија;
- анализа на можност за загуба на вода под телото на браната и од акумулациониот простор;
- присуство на локални градежни материјали во близина на браната и др.

Позитивните искуства при проектирање на високите брани покажале дека е многу корисно кога резултатите од испитувањата на својствата и состојбите на карпестите маси се прикажуваат во вид на **инженерскогеолошки пресеци (ИГП) и модели (ИГМ)**. Оваа методологија главно се заснова на постапките афирмирани од Б. Кујунџиќ 1973, која со текот на времето е постојано надградувана.

На инженерскогеолошките пресеци се прикажуваат резултати добиени со мерење, испитување и истражување во природата и тие всушност претставуваат фактографски приказ на добиените резултати.

Интегралниот инженерскогеолошки пресек (**ИИГП**) е синтеза на сите испитувани параметри и е производ на анализа, интерпретација и вклопување на сите резултати од истражувањето во една логична целина.

Инженерскогеолошките модели претставуваат упростена претстава на теренот со негова поделба во разграничени квазихомогени зони со исти својства. Крајна цел на сите анализи е да се подготви **геотехнички модел**, кој е основа за проектирање на техничките мерки за заштита и подобрување на својствата на теренот. На геотехничките модели (**ГМ**) се претставува карпестата маса изделена на поедини зони, каде што се планира изведба на: **ископ, консолидациско инјектирање, длабина за изведба на инјекциска завеса, анкерисување, дренаирање** итн. Најчесто се изработуваат следните инженерскогеолошки пресеци и модели:

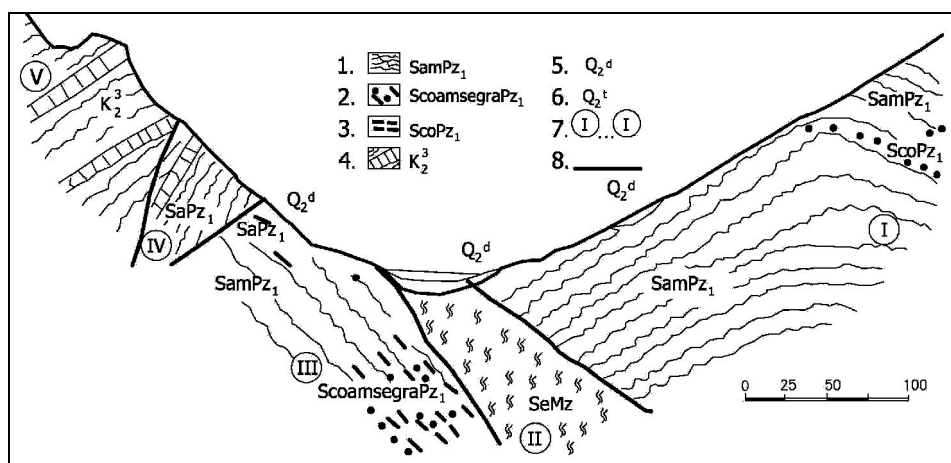
- ИГП по параметар на литологија;
- ИГП и ИГМ по параметар на распаднатост;
- ИГП и ИГМ по параметар на испуканост;
- ИГП и ИГМ по параметар на водопрпусност;
- ИГП и ИГМ по параметар на брзини на еластичните бранови;
- ИГП и ИГМ по параметар на деформабилност;

ПРИМЕНА НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА ВО ПРАКТИКАТА

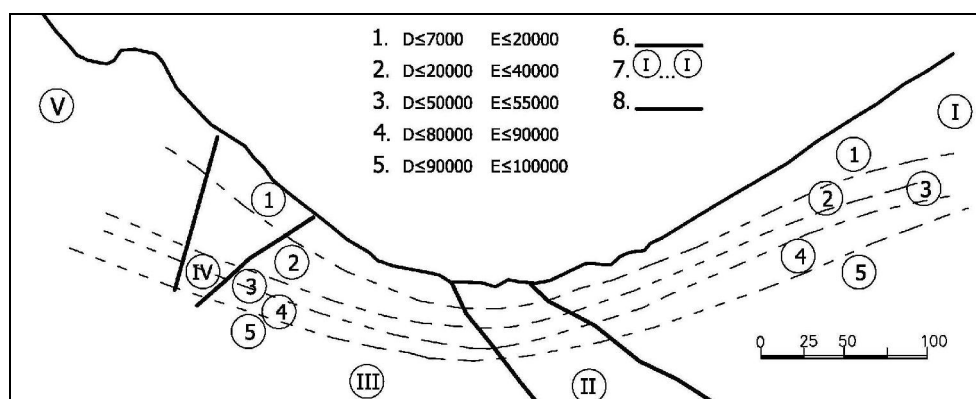
- ИГП и ИГМ по параметар на јакост на смолкнување на карпестите маси;
- ИГМ по параметар на квалитет на карпеста маса;
- ИИГП (интегрален инженерскогеолошки пресек).

Инженерскогеолошките пресеци и модели се **истражувачко** видување за геотехничките интервенции, кои се потребни за изведба на објектот, додека крајно решение и детали за технологијата на работа донесува **проектантот**.

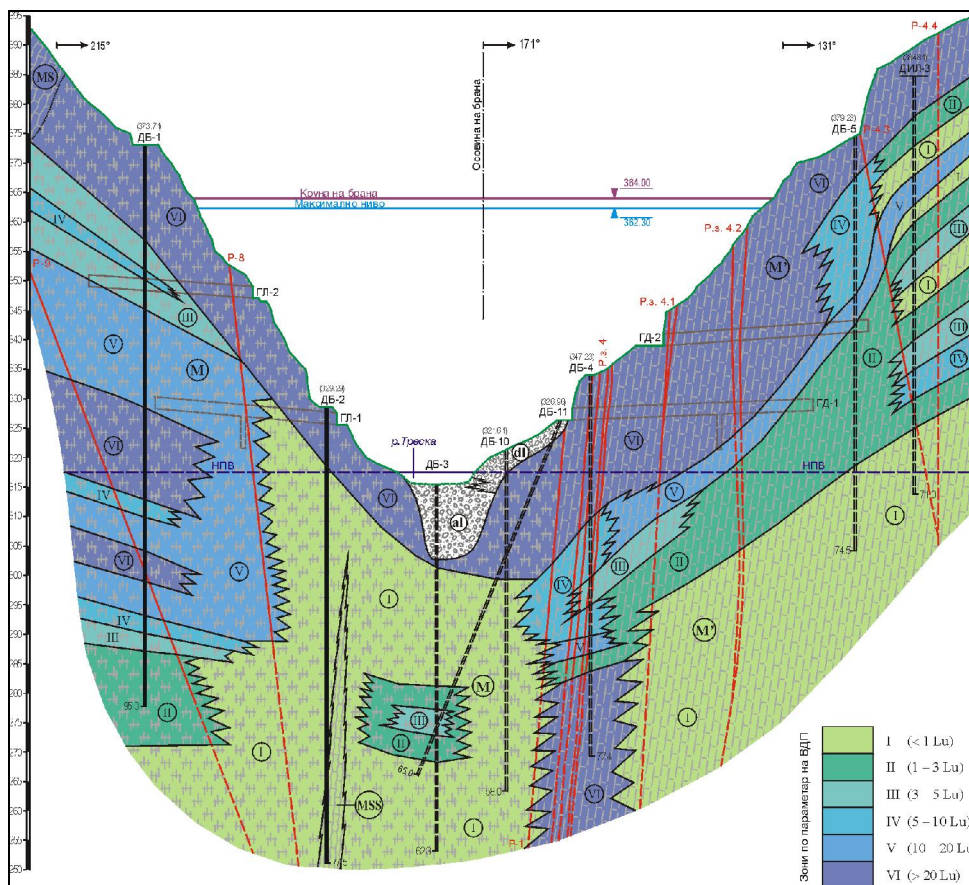
За да се согледа содржината на пресеците и моделите, неколку примери се прикажани на следните слики за различни гравитациони бетонски, лачни и насипни брани кај нас.



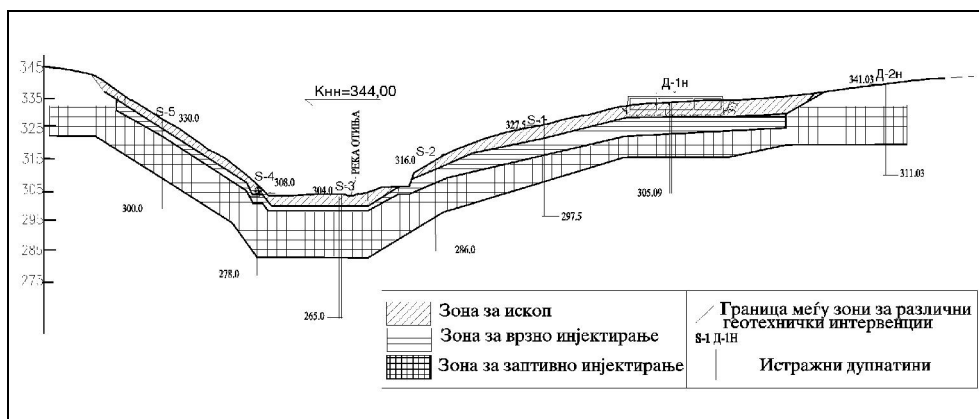
Слика 15.51 Инженерскогеолошки пресек по параметар на литологија со елементи на тектонската градба за преградно место за гравитациона брана „Башино село“ во близина на Велес: (1) палеозоиски амфиболски шкрилци; (2) палеозоиски амфиболско-хлоритско-серицитски шкрилци; (3) палеозоиски хлоритски шкрилци; (4) кредни песочници и рожњаци, флиш: песочници, глинци, лапори, варовници; (5) делувиум; (6) алувиум; (7) тектонски блокови; (8) тектонски граници.



Слика 15.52 Инженерскогеолошки модел по параметар на деформабилност за преградно место за брана „Башино село“: (1), (2), (3), (4) и (5) зони на деформабилност на притисок, D - модул на деформација, E - модул на еластичност (k_p/cm^2); (6) граница на зоната; (7) тектонски блокови; (8) тектонски граници

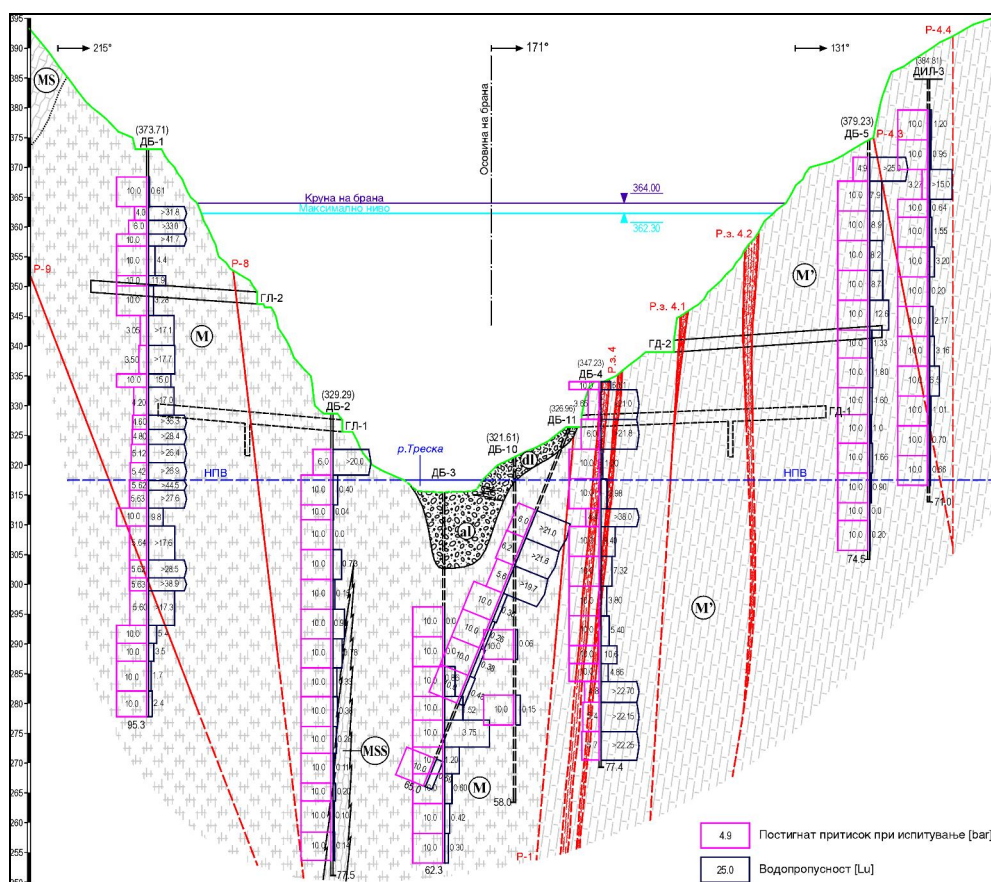


Слика 15.53 Инженерскогеолошки модел по параметар на водопрopusност на профилот на лачната брана „Света Петка“ на река Треска



Слика 15.54 Геотехнички модел на преградното место на насипна брана „Отије“ - Штип.

ПРИМЕНА НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА ВО ПРАКТИКАТА

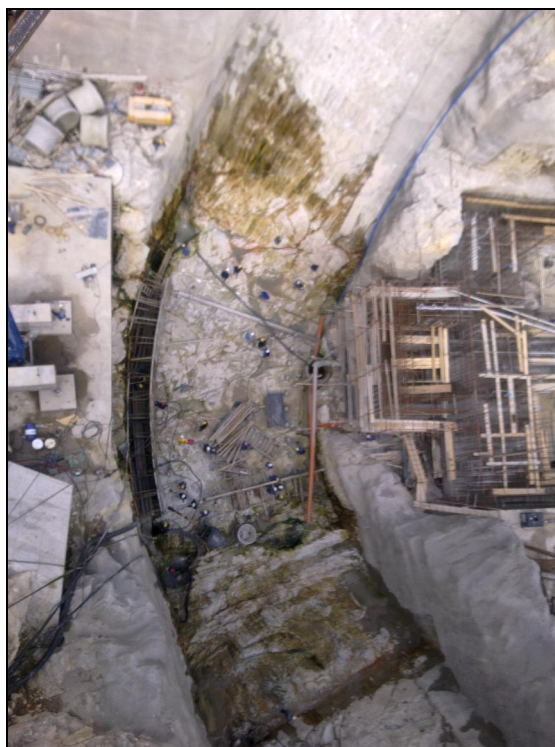


Слика 15.55 Инженерскогеолошки пресек по параметар на водопропусност по профилот на лачната брана „Света Петка“

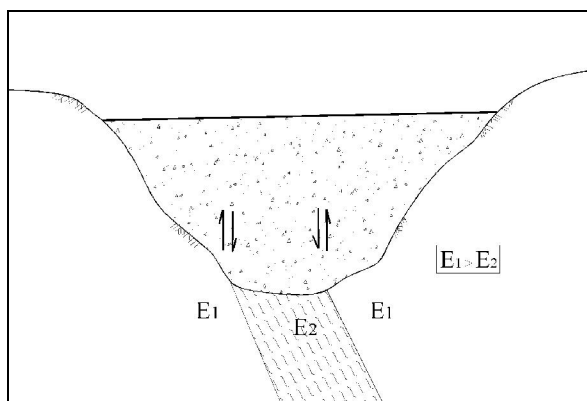
Од сите видови брани, најчувствителни и најтешки за проектирање и изведба се лачните брани. Кај нив оптоварувањето од објектот се пренесува главно во хоризонтална насока по лакот на браната. Затоа, посебно внимание се посветува и на анализа на стабилноста на карпестата основа во **боквите на браната**.

Исто така, самиот темелен ископ треба да се подготви исклучително внимателно и прецизно, а дното на ископот пред бетонирање треба да биде идеално чист за да се оствари добар контакт на бетонот и карпестата маса. Треба да се спомене, дека вакви објекти не е дозволено да се проектираат врз активни раседи.

Посебно е значајно да се укаже дека е потребна детаљна анализа на можноста за појава на **потенцијално нестабилни блокови во ископот и нерамномерни деформации** на темелната основа заради постоење на зони со драстично различни вредности на модулите на деформации (Слики: 15.56, 15.57 и 15.58).



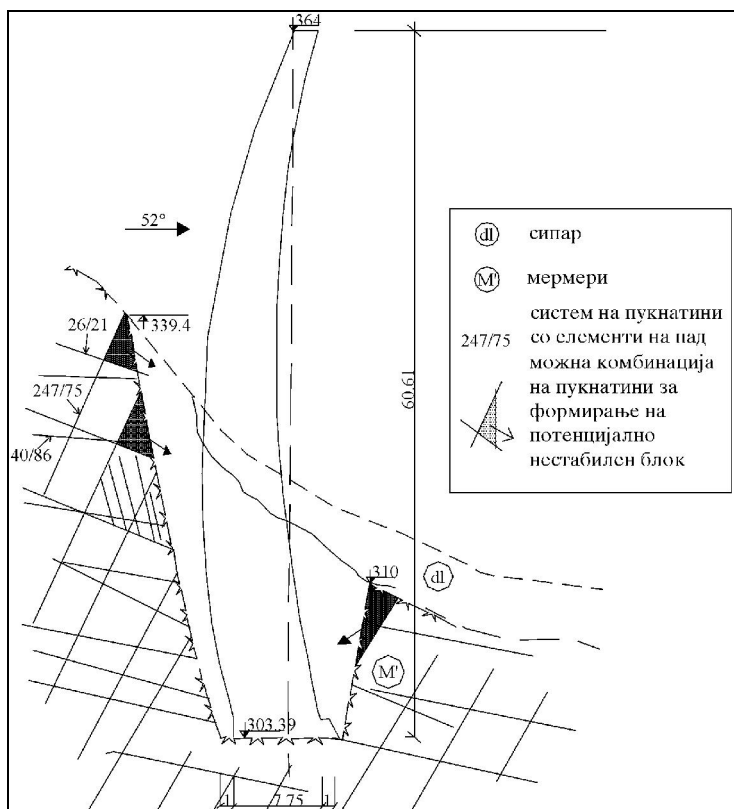
Слика 15.56 Птичја перспектива на изведен ископ за лачна брана „Света Петка“



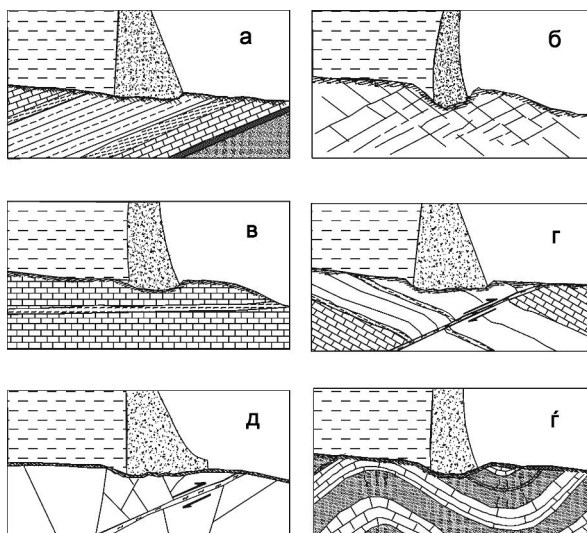
Слика 15.57 Приказ на нерамномерно деформирање на лачна брана фундирана на различни геотехнички средини со различни модули на еластичност ($E_1 > E_2$)

Затоа, кај секој објект од ваков карактер мора да се изврши интегрална анализа на сите геолошки карактеристики во зоната на фундирање, посебно кога има различни услови за потенцијална нестабилност.

Тука треба да се набројат можностите за смолкнување по должина на различни литолошки средини, набрани терени, раседи, неповолна комбинација на пукнатински системи и слично (Слика 15.59).



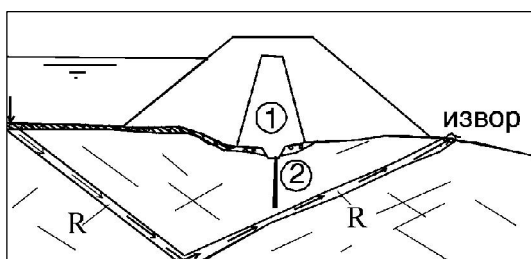
Слика 15.58 Проектиран ископ за лачна брана „Света Петка“ на река Треска со приказ на потенцијално нестабилни блокови за кои е потребно осигурување во фаза на ископ



Слика 15.59 Некои случаи на геолошки структури, кои можат да влијаат на стабилноста на подлогата на гравитациони и лачни бетонски брани

Случајот на Сликата 15.59-а е карактеристичен, бидејќи во зоната на влијание од браната се застапени коси слоеви со различна јакост на смолкнување, што може да е предиспозиција за смолкнување по некој од послабите контакти. На Сликата 15.59-б, пак е прикажан испукан карпест масив со два системи на пукнатини, кои формираат потенцијално нестабилни клинови. На Сликата 15.59-в е прикажан масив со хоризонтални варовнички слоеви, каде што по некои од меѓуслојните пукнатини е застапена заглинет дел со ниска јакост на смолкнување, додека на Сликата 15.59-г е прикажан пример на реверсен расед во слоевити карпести маси кој има влијание како потенцијална зона за смолкнување. На Сликата 15.59-д е прикажан, исто така, реверсен расед во испукан карпест масив, каде по раседната зона е застапена и глина. На крајот, на Сликата 15.59-ѓ е прикажан случај на набрани слоеви, каде во зона на фундаирањето е можно смолкнување по должина на синклиналниот дел. Ова се само некои од можни случаи, каде што треба внимателна анализа на геолошките услови во зона на фундаирање.

Кај насипните брани, деформабилноста на подлогата не е толку значајна, бидејќи оптоварувањата обично се пренесуваат на големи површини и не е изразен ефект на нивна концентрација. Кај нив е потребно да се изврши добра композиција на материјалите во телото на браната за да се намали ефектот на хидростатичките и хидродинамичките сили, со цел да се избегне суфозија на некој од контактите, што може да е критично за нивното однесување во тек на време. Понекогаш, може да се појават **неочекувани** појави на извори низводно од браната, што може да е резултат на неповолна комбинација на поголеми геолошки структури, кои се водопропустни (Слика 15.60).



Слика 15.60 Појава на извор под телото на брана поради инфилтрација на вода од акумулацијата по раседни структури (R) под глиненото јадро (1) и инјекциската завеса (2)

При истражување и проектирање на браните најголемо внимание се посветува на преградното место, но никако не смее да се занемарат можните проблеми во **акумулацискиот простор**. Тука е најзначајно да се познаваат можностите за **загуба на вода** од акумулацијата кон некој соседен слив, одосно да се познава **вододржливоста** на теренот во акумулацијата. Многу се значајни проблемите на **стабилноста на падините акумулацијата** пред првото полнење и при состојби на нагло полнење и празнење. Во поглед на значењето на стабилноста на бреговите во акумулација, многу поучен е примерот на акумулацискиот простор за браната Вајонт во Италија којшто е опишан во Главата 9.

Внимание се посветува и на **можноста на пополнување на акумулацискиот простор со нанос**, можни влијанија на акумулираната вода врз **околната средина** и друго. Ова произлегува од фактот што со акумулацијата се зафаќаат значајни простори каде што целосно се менува природниот амбиент по полнењето со вода (Слика 15.61). Проблемите на загуби на вода од акумулацискиот простор понекогаш можат да имаат и енергетско значење, бидејќи се познати случаи на загуби, кои достигнуваат и до неколку десетици метри кубни во секунда.



Слика 15.61 Поглед кон акумулација за браната „Козјак“ на реката Треска (фото Бл. Маркоски)

На пример, кај браната **Кебан** во Турција загубите изнесувале над **26 m³/s**. Кај системот на акумулации во Никшичкото Поле – Р Црна Гора составен од браните **Крупац, Слано, Вртац и Сливље**, вкупниот капацитет на понорите бил и над **150 m³/s**. Кај овие акумулации, заради санирање се вршени повеќефазни санации со инјектирање, за кои се дадени средства што ја надминуваат почетната цена за градба на браната. Кај нас, познати се случаи на константи загуби од околу **2 m³/s** кај браната **Шпилје**, а при појава на понори во акумулациониот простор за браната **Маврово** имало загуби на вода и над **9,5 m³/s**. Заради споредба, повеќегодишниот средногодишен проток на вода на реката Вардар низ Скопје е околу **25 m³/s**. Затоа, кога со истражувањата ќе се утврдат можности за големи загуби на вода од акумулациониот простор, пред фаза на полнење на акумулацијата тогаш се применуваат опсежни технички мерки за облагање и заштита на бреговите (Слика 15.62).



Слика 15.62 Заштита од идни загуби на вода на голем дел од акумулациониот простор на брана „Ц'нков камен“ – Р Бугарија со примена на анкерисување, прскан бетон, берми и други технички мерки (фото И. Русев)

Од овие причини, полнењето на акумулациониот простор кај поголемите брани се врши по пропишана програма и режим на полнење, со цел да се следи однесувањето на теренот. Врз основа на резултатите од следењето, по потреба се преземат и технички мерки за санација и намалување на загубите.

ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ИЗГРАДБА НА ДРУГИ ВИДОВИ ОБЈЕКТИ

За потреби на проектирање на објектите од високоградбата и мостовските конструкции, најчести проблеми кои треба да се дефинираат се:

- дефинирање на условите за фундаирање на објектот, односно дозволеното оптоварување на подлогата, длабината на фундаирање, слегнувањата итн.;
- дефинирање на отпорот и технологијата за ископ;
- анализа на глобалната стабилност на теренот и соседните објекти при различни статички, хидростатички, хидродинамички, земјотресни и други влијанија;
- услови за заштита на темелната јама во фаза на ископ од нестабилности, влијанија на подземни води, потреба од подобрување на подлогата за фундаирање и др.

Сите услови за изведба се проектираат во зависност од геолошките и геотехничките услови на теренот, типот на темелната конструкција, потребната длабина за фундаирање на објектот и лимитирачките фактори од околниот простор.

Посебно специфични за проектирање се мостовските конструкции, каде што изборот на системот за фундаирање, пред сè, зависи од инженерскогеолошките услови на теренот кои најпрегледно се претставуваат на инженерскогеолошки надолжни профили на теренот (Слика 15.63).



Слика 15.63 Инженерскогеолошки профил за мост преку Киселичка Река од автопатското решение за Коридор К-8 од Крива Паланка кон Деве Баир, како основа за избор на тип на фундаирање на мостот

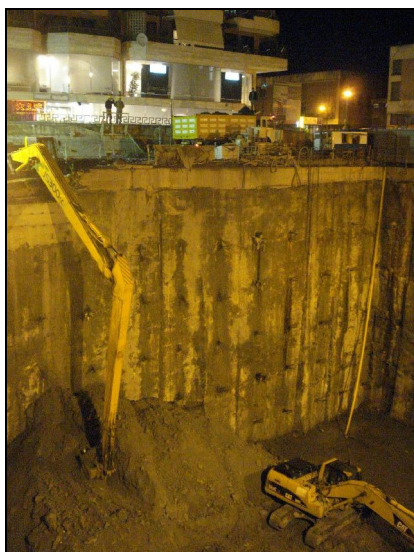
Примерот од Сликата 15.63 укажува дека во зависност од геолошката градба треба да се примени соодветен систем на плитко или длабоко фундаирање на мостовските столбови. Ова произлегува од фактот што за мостови со конзолна конструкција, која се изведува со големи распони, не е дозволено да има диференцијални слегнувања. Тогаш, најдобро е столбовите да се фундаираат врз цврста карпеста средина. Кај мостовските конструкции, каде што дел од темелната конструкција е под вода, се можни одредени специфични аспекти како агресивност на водата кон бетонот и челикот, можност за ерозија и поткопување на столбовите од водата или на самите брегови, појава на одрони кои би можеле да ја загорзат конструкцијата и слично (Слика 15.64).

Кај столбови, кои се фундаирани во морска средина, има и интересни случаи, каде што морски полжави или школки се зафаќаат на мостовските столбови. Доколку агрегатот е од карбонатен состав го користат и го раствараат за надградба на нивните скелети. Со тоа може да дојде и до целосно ослабување на мостовската конструкција.



Слика 15.64 Поглед кон крајбрежен столб на Мелнички мост по заштита со насип (во позадина е видлива лузна од одрон)

При изведба на објекти во градски средини, често е потребна примена на специфични техники на ископ од горе надолу со подградување на ископот со дијафрагми, анкери, армиранобетонски конструкции и др. (Слика 15.65).



Слика 15.65 Специфични услови за изведба на длабока темелна јама во градска средина и постоење на изградени соседни објекти во Тирана, Р Албанија (фото Ј. Јосифовски)

Од овие причини, е очигледно мноштвото на проблеми кои може да се појават кај објекти од ваков карактер, при што условите понекогаш налагаат примена на различни технички мерки за подобрување или санација на подлогата за фундаирање.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Што се подразбира под поимот проектирање и каде помага инженерската геологија во овој процес?
- Дефинирај што е геолошки hazard, ризик и повредливост!
- Кои принципи при истражувањето мора да се зачуваат за да се добијат добри податоци за проектирање?
- Кои се основните фази на проектирање и што подразбираш под терминот условеност на фазите на истражувањето и проектирањето?
- Колку основни категории на терен, според условите за градба се издвојуваат најчесто за потреби на урбанистичкото планирање на просторот?
- Кои се најчестите критериуми за реонирање?
- Што подразбираш под терминот LHZ-постапка, а што под терминот TLNEF?
- Кои се најзначајните геолошки и геотехнички аспекти кои треба да се земат предвид при проектирање на линиските објекти?
- Наброј ги основните препораки за изведба на високи усеци!
- Кои се најзначајните фактори за правилен избор на локацијата за изградба на депонии?
- Наброј ги основните функции на вградените геосинтетски системи кај депониите!
- Што треба да се познава за да се изврши правилен избор на технологијата на ископ кај подземните работи?
- Како може да се искористат класификационите методи при проектирање на технологијата на подградување на подземните ископи и кои се специфични случаи кои не може да се дефинираат со овие методи?
- Кои делови од тунелите се најкритични и кои се можни проблеми при нивна изведба?
- Наброј ги основните проблеми при појава на гасови, подземни води и високи температури во подземје!
- Кои се најзначајните услови при избор на локација на браните и кои проблеми се значајни за акумулационите простори?
- Што е инженерскогеолошки пресек, инженерскогеолошки модел, геотехнички модел, интегрален инженерскогеолошки пресек и по кои параметри се подготвуваат овие документи?
- Кои се најзначајните проблеми кај лачните брани?
- Што е најзначајно да се дефинира при проектирање на мостови, од аспект на влијанија на подлогата?
- Наброј некои специфични аспекти кои треба да се земат предвид при фундаирање на столбови во река, во езерски и во морски услови!

16 ГЕОТЕХНИЧКИ МЕЛИОРАЦИИ И ИНЖЕНЕРСКИ ТЕХНИКИ ЗА ИСКОП

ВОВЕД

При решавањето на проблемите, кои се предмет на анализа во геотехниката, често се јавува потреба од примена на **геотехнички мелиорации**. Под овој термин се подразбираат различни технички постапки на **подобрување на својствата на теренот**, кои се често поврзани и со условите за **заштита** при работа. Во практиката најчесто се применуваат постапки на: инјектирање, сидрење, примена на прскан бетон, замрзнување, електрохемиско зајакнување, замена на материјалите, зајакнување со геосинтетици, дренажање и др.

За правилна примена на техниките на подобрување, ископ и заштита при работа, е потребно врвно познавање на сите дисциплини од: геологијата, геотехничкото инженерство, конструкторството, хидротехниката или сообраќајното инженерство. Изборот на постапките зависи од својствата на карпестите маси и карактеристиките на објектите, а често тие даваат најдобар ефект ако се применуваат комбинирани.

ОПШТО ЗА ИНЈЕКТИРАЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

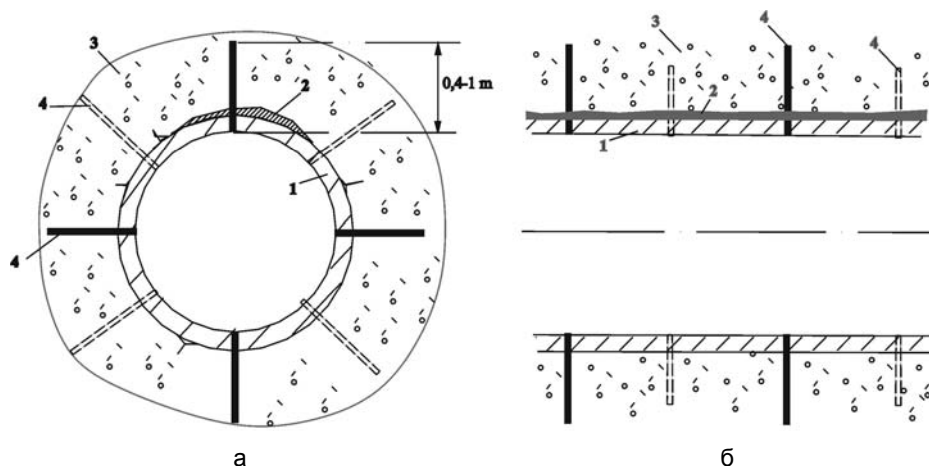
Под поимот **инјектирање** се подразбира техничка постапка со која се врши втиснување под притисок на **инјекциона смеса** во теренот. На тој начин се врши подобрување на физичко-механичките карактеристики на испуканите карпести маси, почвите или делови од објектите, а се воспоставува и добар контакт и поврзување меѓу теренот и вештачките конструкции. Конкретно, со примена на разни начини на инјектирање се постигнуваат следните ефекти во теренот или кај вештачките конструкции:

- намалување на водопропустливоста на карпестите маси;
- подобрување на јакоста на смолкнувањето и деформабилноста на карпестите маси;
- хомогенизација и поврзување на хетерогената и дисконтинуалната карпеста маса и нејзино доведување во состојба на континуум.
- хомогенизирање на дисконтинуалните бетонски објекти во масивни објекти,
- фиксирање на арматурите и затегите за преднапрегање;
- пополнување на контактните фуги меѓу темелите, облогите на тунелите со карпестата средина и другите контакти.

Методите за инјектирање најмногу зависат од видот и карактерот на карпестата маса која се инјектира. Имено, постојат разлики при инјектирање кај цврстите карпести маси со пукнатини, каверни и прскотини, споредено со неврзаните материјали како: песоци, чакали, дробина или други почвени материјали со меѓузрнеста порозност. Инјектирањето се изведува преку **инјекциони дупнатини**, од кои се пополнуваат пукнатините, порите и друг празен простор во карпите со специјални течни инјекциони смеси, кои, со текот на времето стврдуваат во празниот простор на карпестата маса.

Постојат неколку основни видови инјектирање како: **контактно, врвно, заптивно, консолидационо и напонско инјектирање**. Контактното инјектирање

најчесто се применува кај подземните објекти како: тунели, каверни, машински сали и други објекти (Слики 16.1 и 16.2).

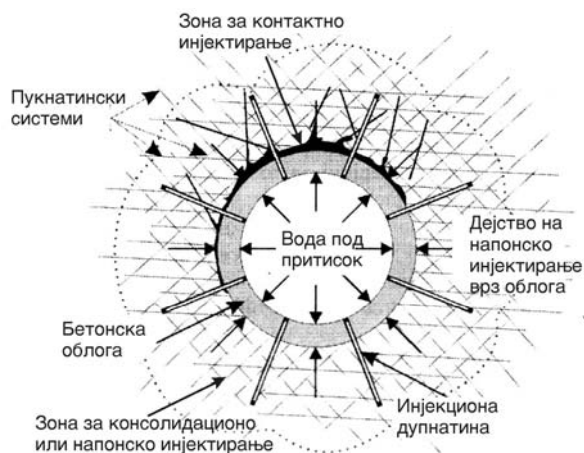


Слика 16.1 Шема за контактното и врзното инјектирање кај тунелите: а - напречен пресек, б - надолжен пресек, 1 - бетонска облога, 2 - празен простор во калота меѓу бетон и основна карпа за основно контактното инјектирање, 3 - заинјектирана зона, 4 - инјекциски дупнатини во различни пресеци

Цел на овој начин на инјектирање е да се пополни празниот простор кој останува меѓу облогата на подземниот објект и карпестата маса со инјекциски смеси. Со **врзното инјектирање** се врши меѓусебно поврзување на објектот и карпестата маса, без оглед на тоа дали се работи за подземен или објект фундиран на површината на теренот. При тоа, истовремено се пополнуваат празнините меѓу објектот и карпестата маса, како и пукнатините во карпата. Со тоа се остварува не само контакт, туку и врска помеѓу објектот и карпата. Со **консолидациското инјектирање**, пак, се врши подобрување на механичките карактеристики на карпестата маса или почвата. При тоа, испуканата карпеста маса се претвора во континуум, се намалува нејзината деформабилност, се зголемува јакоста на притисок и смолкнување, а истовремено се врши хомогенизација на хетерогената испукана маса и се намалува анизотропијата. Се подразбира дека се постигнува и ефикасно намалување на водопропустноста. **Напонското инјектирање** по правило се применува во хидротехничките тунели и окна под притисок. Целта на ова инјектирање е да се предизвикаат напони во карпестата маса при високи инекциони притисоци во зоната околу ископот, која е ослободена од напоните и е раздробена. Со тоа и во самата тунелска облога се постигнува **преднапрегање**, односно **преднапон на притисокот**, со што се предусловува кај бетонот да се користи само јакоста на притисок како негова најдобра карактеристика (Слика 16.2).

Под поимот **заптивно инјектирање** се подразбира техничка постапка со која се намалува водопропустноста на карпестата маса под објектот на дозволено ниво. Може да се применува и како привремена техничка мерка со цел да се овозможи извршување на одредени градежни работи. Со оваа постапка се овозможува заштита на градежните јами од подземните води и други влијанија, заштита на тунели во многу водопрпусни зони, при работа во течливи песоци и сл. Уште почесто се применува и како трајна техничка мерка со цел да се намали водопропустноста на теренот во тек на подолг временски период. Тоа најчесто се

применува кај големите брани во зона на преградното место, а по потреба и по ободот на акумулациониот простор, ако се утврдат потенцијални зони со значителни загуби на вода кон некој соседен слив.



Слика 16.2 Приказ на зони за контактното, консолидационо или напонско инјектирање кај хидротехнички тунели под притисок

Покрај наведените основни видови, во практиката понекогаш се применува и методологијата на **млазно инјектирање** (анг. **jet grouting**). Принципот на млазното инектирање е заснован на „разбивање“ на неврзана средина со млазови (бликови) од инјекциска смеса под **висок притисок**. Инјекциската маса во дупнатината се спроведува преку приборот за дупчење, кој, за време на инјектирањето, цело време ротира.

ОПШТО ЗА ИНЈЕКЦИСКИ СМЕСИ

Инјекциските смеси можат да бидат во вид на: **суспензии, емулзии или различни раствори**. Тие, во времето на инјектирањето, треба да се во течна состојба, а нивното стврднување и оцврстување треба да започне и заврши во празнините на карпестите маси по фазата на инјектирање. За инјектирање најчесто се користат: суспензии на цврсти честички во вода, хемиски раствори, кои се најчесто од силикатен состав, емулзии на битумен, битумен, органски смоли и др.

Суровини за подготвување на суспензии се: **вода, цемент, глина, бентонит, песок, суровини за стабилизација** и др. Водата како материјал за приготвување на инјекциските смеси мора да ги задоволи условите кои се пропишуваат при нејзината употреба за бетон, а најзначајно е да нема агресивно дејство на материјалите од инекционата смеса.

За инјектирање најмногу се користи **портланд цемент**, на кој можат да се додадат и средства за зголемување на отпорноста према агресивната вода. **Глината** во инјекциската суспензија се употребува со цел да изврши две функции и тоа: како материјал за пополнување за да се заштеди поскапниот цемент, но и како стабилизатор, кој ја намалува седиментацијата на цементните зрна во суспензијата. **Бентонитот** како монморионитна глина со голема пластичност често се користи при инјектирање, а е карактеристично што кај него границите на конзистенцијата се движат од 30 до 100%.

При инјектирањето на поголеми пукнатини и шуплини во карпестите маси, може како исполнител да се искористи и природен речен, езерски или морски **песок** или, пак, песок добиен по вештачки пат со дробење и мелење на карпите. Примената на песок во ваквите случаи е со цел да се заштеди цементот. По правило, за инјектирање се користи песок со максимална големина на зрната од 1 мм. Во карстифицираните карбонатни предели има примери и на употреба на чакал. Од сите видови инјекциските смеси, значително најголема примена имаат инјекциските суспензии поради нивното релативно мало чинење, а поретко, во практиката можат да се употребат и: **воденото стакло, битуменот, битуменски емулзии и органски смоли.**

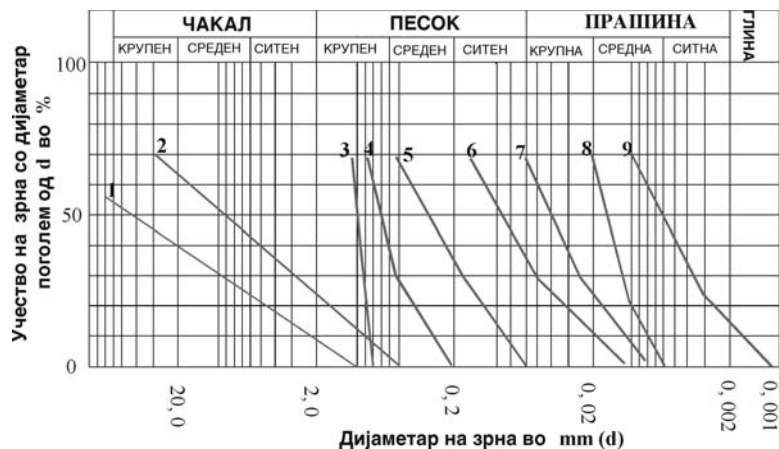
Составот на инјекционата смеса се дефинира со тежинскиот сооднос на сува смеса (S_m) во однос на тежината на водата (V). Еден пример на изразување на составот на една инјекциска смеса е прикажан со следниот однос:

$$S_m \text{ (сува смеса)} = 0,2 \text{ ц} : 0,75\text{г} : 0,04\text{б} : 0,01\text{п (вкупно 1)} \text{ и}$$

$$S_u \text{ (суспензија)} = 1 S_m : 1,5 V \text{ до } 1 S_m : 4 V$$

Во овој случај, се работи за суспензија на цврсти честички, која се состои од 1 дел на цемент, 3,75 дела на глина, 0,20 дел на бентонит и 0,05 дел на разни додатоци (пептизатори), а кои треба да се мешаат со вода во тежински односи од 1.5 до 4.

Подрачјето на примената на разните инјекциски постапки и инекциските смеси е прегледно прикажана на Сликата 16.3.



Слика 16.3 Можност на примена на различните постапки на инјектирање: 1 - цементни инјекции, 2 - бентонитски инјекции, 3 - колоидно - цементни инјекции, 4 - хемиски инјекции тип Josten I, 5 - хемиски инјекции тип Josten II, Rodio, „Monosol“, 6 - хемиски инјекции „Monodur“, 7 - хемиски инјекции хром - лигнински, 8 - хемиски инјекции, 9 - електро - хемиски инјекции.

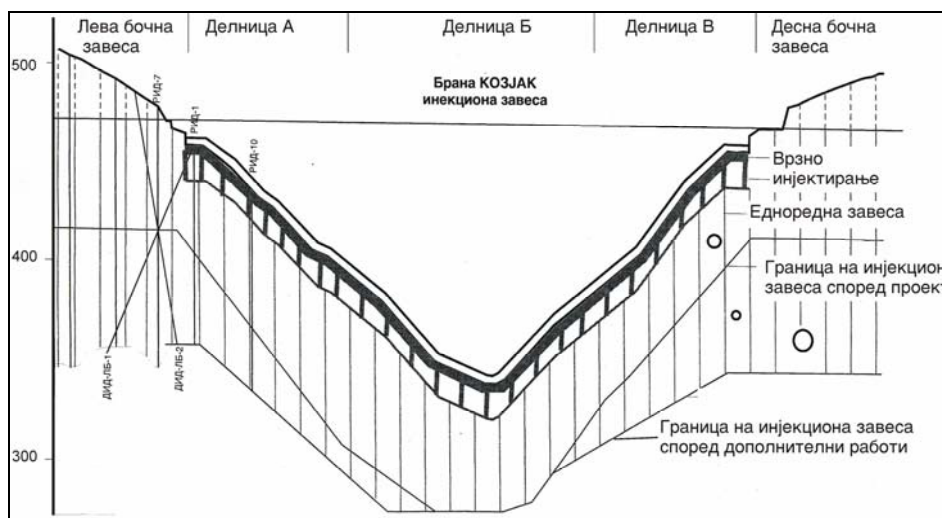
ОПШТО ЗА ИНЈЕКЦИСКИ ЗАВЕСИ

Инјекциските завеси се вештачки објекти, кои се изведени со инјектирање. Основна задача на завесата е да се намали водопропустливоста на инјектираната карпеста маса до дозволени големини. Во зависност од

геолошката средина во која се изведуваат, се делат на: инјекциски завеси во цврсто сврзани карпести маси и инјекциски завеси во несврзани почви.

Според положбата во однос на објектот, се делат на: **длабински**, кои се поставуваат под објектот (браната) во коритото на речниот тек и во долинските страни, потоа **бочни**, кои се поставуваат во боковите на објектот (браната), односно на падините на речните долини вон објектот и **ободни** завеси, кои се поставуваат по ободот на акумулацискиот базен, на места на кои карпестата маса има зголемена водопропусност. При тоа, завесите можат да се изведуваат како **сврзани**, кои на својот крај се поврзани со водопропусна зона на карпестата маса и **лебдечки** или **висечки**, кои не се поврзани за водонепропустни зони, ако во теренот не постојат водонепропустни зони или тие се наоѓаат на голема длабина. Во такви случаи, со лебдечката длабинска завеса се оди до длабини во кои водопропустливоста на карпестата маса е помала од $1L_u$, или пак се сведува на дозволена водопропустливост, која се дефинира со проектот.

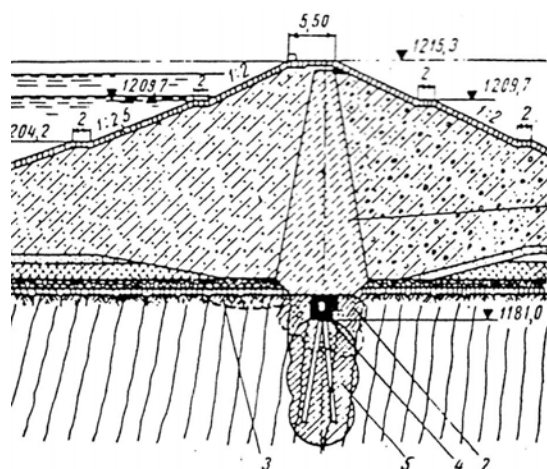
Инјекциската завеса се состои од инјекциски дупнатини, кои се распоредени во редови по должина на профилски линии на одредени растојанија (Слика 16.4).



Слика 16.4 Пресек на инјекциската завеса за брана „Козјак“ на реката Треска

Според бројот на редовите, инјекциските завеси се делат на: **едноредни**, **дворедни**, **троредни** и **повеќередни завеси**. Според времетраењето, се делат на: **трајни завеси**, чиј век на траење е сврзан со траењето на самиот објект и **привремени завеси**, кои ја вршат својата функција само за време на изведба на некоја специјална работа (ископ на темели, пробивање на подземни објекти, спречување на локални продори на подземни води и слично). Според типот на браната, се делат на: **завеси кај бетонски** и **кај насипни брани** (Слики 16.5 и 16.6).

Во практиката е познато дека во фаза на изведба на инјекциските работи се појавува честа потреба од прилагодување на решенијата за инјектирање кон теренските услови, така што оваа техничка интервенција не е возможна без многу добра организација на работите, ангажирање на соодветна опрема и стручен кадар за изведба.



Слика 16.5 Пример за инјекциска завеса кај насипна брана:
 1 - глинесто водонепропустно јадро, 2 - зона на консолидациско инјектирање,
 3 - зона на врзно инјектирање, 4 - инјекциска галерија, 5 - инјекциска завеса.



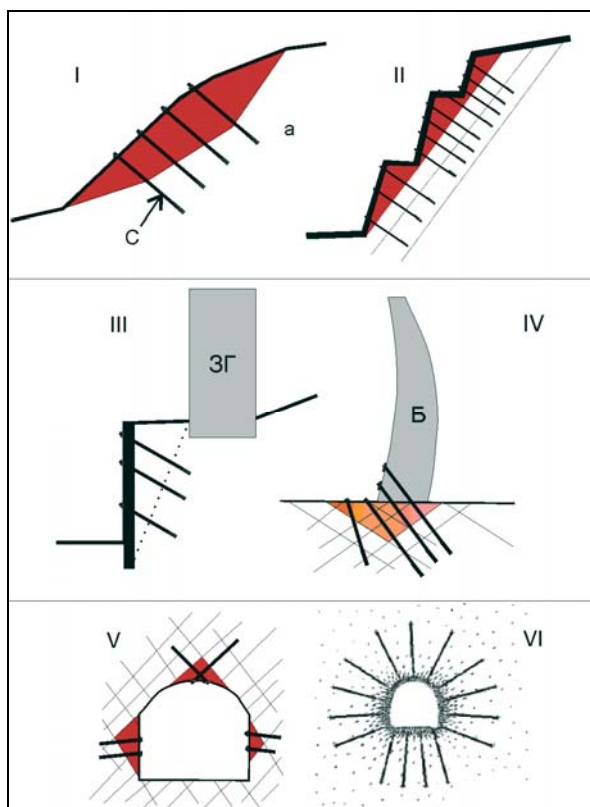
Слика 16.6 Инјекциски завеси под бетонски брани: а - повеќередна завеса под бетонска гравитациона брана, б - едноредна завеса под лачна брана (1 - завеса, 2 - врзно инјектирање).

СИДРЕЊЕ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

Сидрењето е една од најприменуваните и најефективни мерки за подобрување на носивоста и стабилноста на теренот. Во принцип, подобрувањето се остварува со вградување во карпестата маса на **челични елементи** во вид на шипки или јажиња од различен карактер, кои се нарекуваат **сидра** или **анкери**. Како техничка мерка, скоро секогаш се применува заеднички со **прскан бетон** и **арматурна мрежа**, кога ефикасноста на сидрењето најмногу доаѓа до израз.

Сидрата најчесто се вградуваат во каменити карпести маси, со цел да се изврши осигурување на лабилните блокови, деловите од нестабилни падини и вештачки изведени косини. Има случаи сидрењето да се применува и на терен изграден од полуврзани или неврзани карпи. Во таков случај, дел од сидрот треба да е вграден во релативно цврсти карпести маси за да се постигне потребен ефект

на дејство на сидрот. Сидрењето се користи за заштита на ископи на површина и подземјето, во тунелоградбата, при санација на свлечишта и друго. Кај бетонските брани, геотехничките сидра се употребуваат за зголемување на стабилноста на браната од превртување под дејство на хидростатичкиот притисок, за зголемување на сигурноста на конструкциите и друго. Примената на геотехнички сидра е честа и во високоградбата, посебно при осигурувањето на длабоките темелни јами (Слика 16.7).



Слика 16.7 Илустрација на примена на постапка на сидрење (С) кај разни објекти I - при санација на свлечишта; II - засек во шкрилести карпи со неповолен пад на фолијацијата; III - заштита на ископ во близина на изведена зграда (ЗГ); IV - сидрење на терен кај лачна брана (Б) каде што е можно формирање на нестабилен блок во подлогата; V - несистематско сидрење кај подземни објекти за осигурување на нестабилни блокови; VI - систематско сидрење кај подземен објект.

Сепак, нивна најмасовна примена е при изведба на високи усеци и засеци и во тунелоградбата.

ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ И МЕХАНИЗАМ НА ДЕЈСТВУВАЊЕ НА СИДРАТА

Сидрата се елементи што имаат функција да ги прифаќаат и ги пренесуваат силите од објектот на карпестата маса. Се вградуваат преку дупнатини, а се составени од три основни дела: **глава, тело и сидришна база** (Слика 16.8).



Слика 16.8 Приказ на едно сидро со основни составни делови

Главата е надворешниот дел на сидрот, преку кој се врши зацврстување на сидрот за објектот или на површината на карпестата маса. Главата на сидрот служи и при преднапрегнување и затегнување на сидрот. Може да биде со едноставна конструкција од тип на навој со матица и подложна плочка, но и со сложени решенија како затегнати челични кабли преку армирано-бетонски блок. **Телото** е средниот, слободен дел кој ја пренесува силата од главата на сидришната база. Во зависност од типот на сидрот, телото може да биде составено од челични шипки, сноп од челични жици, кабли итн. Благодареејќи на еластичните својства на челикот, телото на сидрот може да биде изложено на сили на затегање и преднапрегање без штетни деформации, однесувајќи се како арматурата во преднапрегнатите бетонски елементи. **Сидришната база** е крајниот дел на сидрот со кој е фиксирано, цврсто поврзано во карпестата маса, на која ги пренесува силите од сидрот. Просторот во карпестата маса во која е извршено усидрувањето се вика **зона на сидрење**. Зацврстувањето на сидрата може да биде остварено на неколку начини:

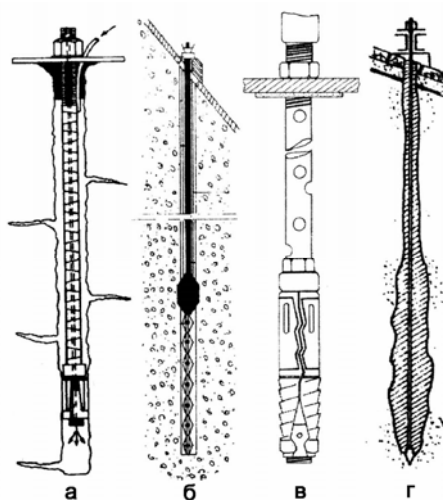
- механичко зацврстување, преку ширење на посебно обликувана сидришна база и нејзино опирање во карпестата маса во зоната на сидрење.
- формирање на цврста врска меѓу сидришната база и карпестата маса, со помош на цементна инекциска смеса, со која се исполнува завршниот дел на дупнатината со одредена должина.
- со проширување на дупнатината во делот на зоната за усидрување и зацврстување на посебно обликувани сидришни бази со помош на цементна смеса, со крушковиден облик, кога освен со атхезиска отпорност по површината на контактот овозможува и прифаќање на силата од сидрот.

Суштината на дејствување на сидрата е во тоа што силите од главата, преку телото се пренесуваат во зоната на сидрењето. Во врска со ова може да се дефинира **граничната носивост** при која доаѓа до престанување на функцијата на сидрот. **Дозволената носивост** во сидрот се добива со делење на граничната носивост со некој фактор на сигурност.

ПОДЕЛБА НА СИДРАТА

Поделбата на сидрата може да се врши по повеќе критериуми. Според времето кое е потребно да дејствуваат сидрата, се разликуваат два вида: **трајни и привремени**. Според механизмот на сидрење најчесто се делат на: **сидро со клин и расцепка, сидро со експанзиона чаура, перфо-сидро, атхезиони сидра, сидро со инјектирана глава, преднапрегнати сидра** и др.

Според начинот на сидрење во сидришната зона, зависно од производителот, се разликуваат повеќе видови сидра (Слика 16.9).



Слика 16.9 Основни типови на геотехнички сидра: а - сидро тип Вилијамс, б - сидро тип IPR, в - експанзионо сидро со перфо - обвивка, г - сидро систем Бауер

Според начинот на работа сидрата се делат на **пасивни** и **активни**. Пасивните сидра се активираат, односно почнуваат „да ја носат“ карпестата маса дури откако ќе се изврши определено поместување во склоп на теренот (Слика 16.10).

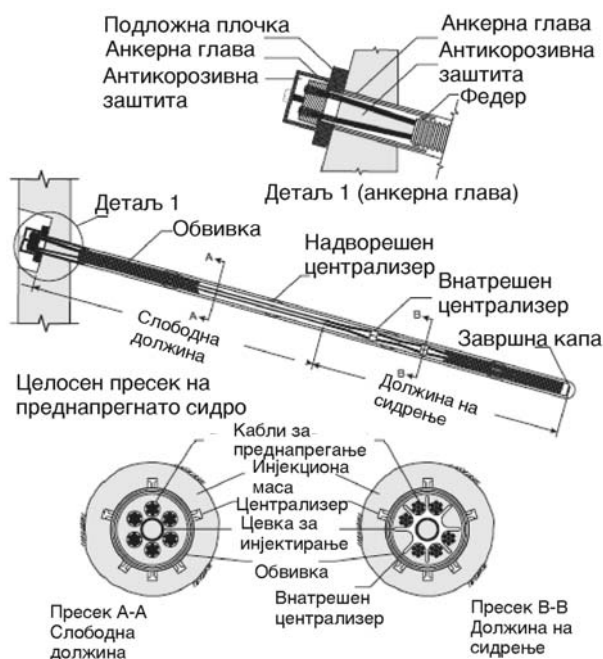
Од Сликата 16.10, може да се воочи дека при вградување на пасивните анкери, е потребно паралелно да се изведуваат и кратки дренажни дупнатини за прифаќање на подземните води, а за завршување на арматурната мрежа треба да се применат и кратки анкери. Овие помошни елементи овозможуваат најдобра и ефективна работа на сидрената конструкција.



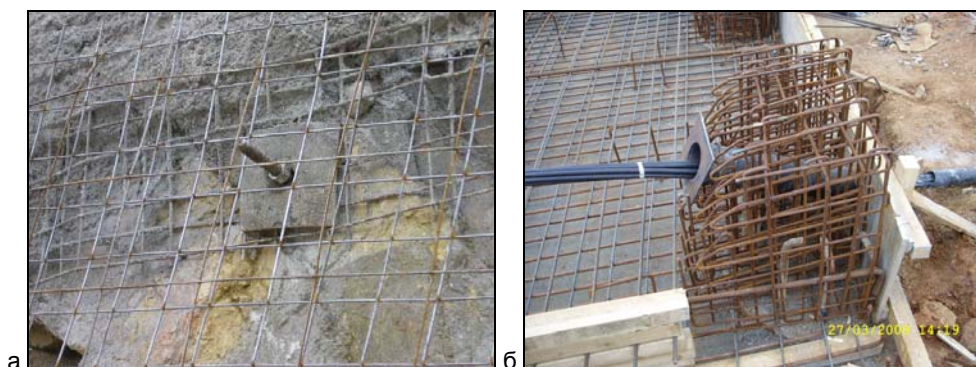
Слика 16.10 Основни елементи на еден атхезионен SN-анкер

Активните сидра се разликуваат според механизмот на работа, бидејќи се активираат веднаш по нивното вградување со помош на сила на преднапрегање, која се приложува преку анкерната глава (Слика 16.11).

Детали за изведени сидрени конструкции во реални теренски услови се прикажани на Сликата 16.12.



Слика 16.11 Основни елементи на едно кабелско-преднапрегнато активно сидро



Слика 16.12 Детали на глава на вграден пасивен анкер од портален дел кај тунелот Злетовица (а) и блок на преднапрегнато сидро пред бетонирање вградено за санација на свлечиште „Рамина“ во Велес (б)

Процесот на вградување на сидрата опфаќа повеќе постапки, а најважни се следните:

- подготовка на сидрото;
- дупчење на дупнатини во кои се инсталира сидрото;
- вградување на сидрото;
- инјектирање на сидрената зона (прва фаза);
- технолошка пауза (најчесто 7 дена) за да може инјекцискиот малтер да се зацврсти;
- изработка на анкерен блок;

- поставување на анкерната глава;
- подготовка на крајот на сидрото;
- претходно напрегање на сидрото со посебна хидраулична опрема, зависно од системот за преднапрегање;
- инјектирање на цементниот малтер (втора фаза);
- завршна обработка на анкерната глава.

Треба да се потенцира дека за правилен избор на видот на сидрото и правецот на негово оптимално вградување е потребно да се познаваат сите механички и структурни својства на карпестите маси, големината на потребните сили за прифаќање и преднапрегање, а посебно е значајно да се определат точно потенцијалните површини на лом со цел сидрената зона да биде во стабилен дел од теренот.

ПРИМЕНА НА ПРСКАН БЕТОН

За подобрување на стабилноста на карпестите маси, често се применува **прскан бетон**. Во практиката се среќава и терминот **торкретирање**. Тоа е специфична постапка со која се оформуваат тенки слоеви на цементен малтер, кој се нафрлува на карпестата површина со помош на посебна опрема и под голем притисок (Слика 16.13).



Слика 16.13 Примена на прскан бетон во комбинација со арматурна мрежа и дренажни цевки за заштита на ископ за темелна јама кај браната „Света Петка“ на реката Треска

Со прсканиот бетон отворената површина на карпестите маси се штити од атмосферски влијанија, со навремено поставен прскан бетон можат да се избегнат проблемите со бабрење, отворените пукнатини се пополнуваат со бетон и слично. На овој начин се создава подобрен квалитет на карпестата маса. Најдобри ефекти прсканиот бетон дава кога се нанесува врз испукани цврсти карпести маси, а поретко се применува кај полукаменити и почвени материјали. Прсканиот бетон не смее да се приложи врз неисчистени површини или влажни и течливи зони. За изведување на слоеви од прскан бетон, кои се подебели од 25 cm е потребно да се примени армирање, за што најчесто се користат арматурни мрежи.

Квалитетот на прсканиот бетон, во голема мерка зависи од технолошките карактеристики на опремата што се употребува за негово нанесување.

Опремата представува технолошка целина во чиј состав се обезбедува снабдувањето со основните компоненти на мешавината за прсканиот бетон, нивно дозирање во барани тежински односи, квалитетно мешање на компонентите, одведување на мешавина до излезната зона на опремата, односно **млазницата** под доволен притисок (Слика 16.14).



Слика 16.14 Опрема за прскан бетон во функција кај подземен објект

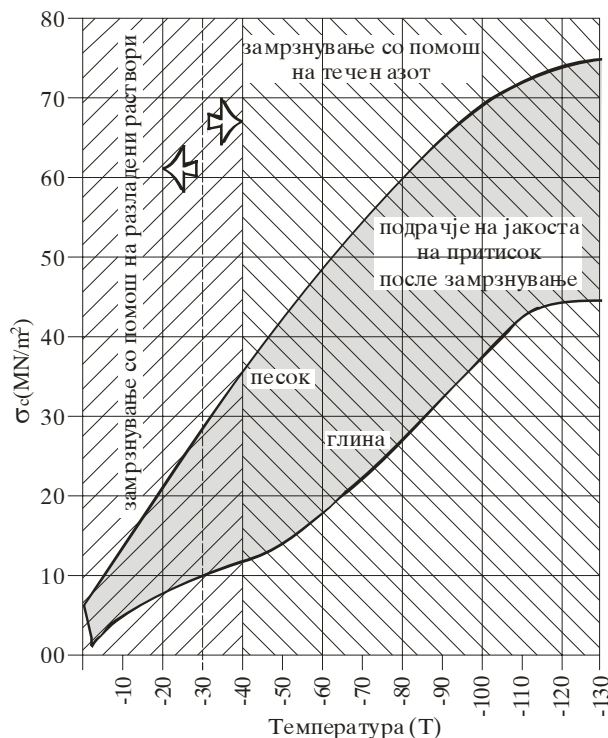
Како што е споменато претходно, прсканиот бетон скоро секогаш се користи во комбинација со сидра и мрежа од најразличен тип кога се постигнува најефикасна заштита на ископите.

ВЕШТАЧКО ЗАМРЗНУВАЊЕ

Вештачко замрзнување е метода за привремено подобрување на својствата на теренот кога почвата е со мала јакост и е заситена со вода. Методата се заснова на разладување на почвата до температура која е пониска од температура на мрзнење на водата. При тоа, водата во порите се трансформира во мраз, а замрзнатата средина добива подобрени карактеристики. Благодарение на овие ефекти, со вештачко замрзнување може безбедно да се работи и да се изградат различни градежни објекти како што се: широки отворени ископи, фундаирање на различни објекти, подземни објекти итн. Посебно е ефективна ако кај подземните ископи се изврши замрзнување на течен песок, заситени раседни зони кои се во зона на пресек со објектите. Јакоста на замрзнатите карпести маси зависи од голем број на параметри како: **гранулометриски состав, порозноста и содржина на вода**, а според резултати од бројни испитувања се покажало дека таа расте нелинеарно со намалување на температура. Така, замрзнатите песоци можат да достигнат јакост на притисок и над 25 МПа при температура од - 25°C, а глините и до 8 МПа (Слика 16.15).

Проектирањето на елементите на вештачко замрзнување е проследено со бројни тешкотии, кои произлегуваат, од хетерогеноста на средината, во која се врши замрзнување, но и сложеноста на самиот процес на замрзнување. Сигурно проектирање на вештачко замрзнување се заснова на познавање на

структурните, механичките и топлотните својства на карпести маси. Затоа, оваа постапка е релативно помалку применувана во однос на другите методи за подобрување на теренот.



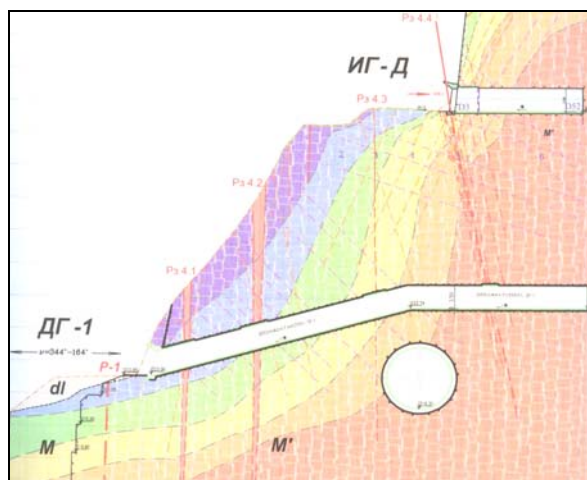
Слика 16.15 Зависност на јакоста на притисок (σ_c) на замрзната почва од температура (Т)

ДРЕНИРАЊЕ

Дренирањето претставува техничка мерка за снижување на нивото на подземната вода и намалување на нејзините притисоци. Влезните параметри за пресметка на дотоците на подземна вода се детаљно прикажани во Главата 8. Со помош на дренирањето можат да се постигнат многу поволни ефекти, што е посебно значајно кај браните, каде узгонот по должина на некоја пукнатина може дури да биде причина и за нејзино рушење. Ваков бил случајот на браната Малпасе во Франција.

За да се дојде до оптимално решение, кај секој конкретен случај се прави детална анализа на потребата од дренирање, која доколку правилно се примени, може да помогне најмногу кон подобрување на генералната стабилност на теренот и објектите.

Заради илустрација на поставеноста на дренажните објекти, на Сликите 16.6 и 16.7 се прикажани конкретни случаи.



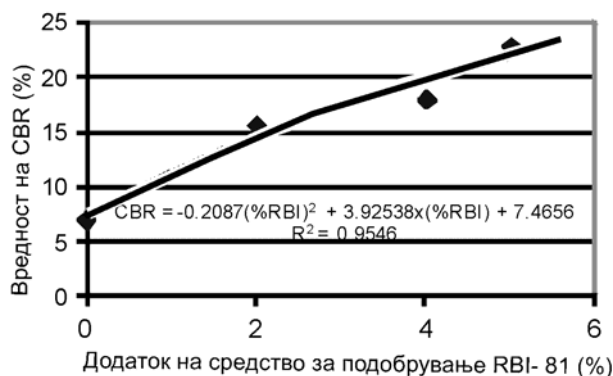
Слика 16.16 Дренажна галерија проектирана за снижување на притисоците од подземни води за браната „Света Петка“ на реката Треска во пресек



Слика 16.17 Дренирање на подземен ископ со помош на едноставни пластични дренажни цевки

ДРУГИ ПОСТАПКИ ЗА ПОДОБРУВАЊЕ

Кај слабо носивите почвени материјали се применуваат различни постапки кои се засновани на електроосмотски и хемиски влијанија меѓу почвата и некое средство кое се додава и се меша со почвениот материјал. Познати се постапки на додавање на **цемент**, **вар** или некои **специјални адитиви**, кои, кога во одреден процент, ќе се додадат кон почвата можат значително да ја подобрат нејзината носивост (Слика 16.18).



Слика 16.18 Подобрување на носивоста на теренот изразена преку зголемување на калифорнскиот индекс на носивост (CBR) со додавање на специјално средство наречено RBI за почвен материјал на патот за Водно, Скопско

Во современото геотехничко инженерство, за подобрување на носивоста и стабилноста на почвените материјали се користат и различни видови вештачки произведени или **геосинтетски** материјали. Имено, се користат најразлични видови **геомембрани** кои имаат основна задача да овозможат водонепропустност, за подобрување на филтрацијата и спречување на мешање на различни материјали се користи **геотекстил**, а често се употребуваат и различни варијанти на **геомрежи** и **дренажни геосинтетици**.

Може да се заклучи дека и овие геотехнички постапки за подобрување се многу значајни при проектирање и изведба на депониите, кај патиштата, темелните основи кај слабоносивите почви, при изведба на филтерски слоеви и друго.

ОПШТО ЗА СПЕЦИЈАЛНИ ТЕХНИКИ НА МИНИРАЊЕ

При изведување на масовни минерски работи на површинските копови, усеци, засеци, подземните ископи и др., доколку се работи неконтролирано, се создаваат сеизмички потреси и дополнителни механички оштетувања на карпите. Од теоријата за ширење на сеизмички бранови, е познато дека околу одредена минска дупнатина, се создава зона на дробење во карпестата маса до одредена длабина. (Слика 16.19).



Слика 16.19 Зона на дробење околу една минска дупнатина на пристапен патот за браната „Кнежево“ - Пробиштипско

Како резултат на минирањето се создаваат пукнатини кои се шират во длабочината на карпестиот масив и доаѓа до нарушување на стабилноста на средината. Во тунелоградбата, при лошо минирање, се создава голем прекоп, кој подоцна мора да се заполни со вишок на бетон. Така, покрај нарушување на стабилноста на ископот, се предизвикуваат и неповолни економски ефекти. Може да се каже дека при примена на несоодветни техники на ископ се јавува потреба и од зголемен обем на работи за подобрување на карпите.

Од овие причини, во практиката се користат поголем број методи на **контролирано дејство** на експлозијата. Со нивна примена се добиваат мазни површини на карпестата маса, без нејзино големо дополнително оштетување. Овие методи добиле разни имиња, како што се: **контурно минирање** (анг. **perimeter blasting**), **мазно минирање** (анг. **smooth blasting**) и минирање со претходно создавање на пукнатини (анг. **presplitting**).

Кај методот на мазно минирање, минските полнења на контурниот ред на дупнатини се иницираат **подоцна** од полнењата кои имаат улога да вршат основно дробење на карпата. Кај методот на претходно создавање пукнатини, експлозивните полнења на контурниот ред дупнатини се иницираат **порано** од дупнатините кои имаат улога за основно дробење на карпата.

Методите на контролирано минирање прв пат почнале да се применуваат меѓу 1950 и 1960 година во Шведска и во САД. Со примена на овие методи на минирање се добиле мазни површини без оштетувања во длабина на карпестата маса како и на површина.

Резултатите од минирањата на контурен ред мински дупнатини зависат од многу фактори и тоа: **видот на експлозивот, густината на полнењето, брзината на ширење на брановите, растојанието меѓу дупнатините, пречникот на дупнатините, дијаметарот на патроните, со експлозивот, распоредот и обликот на полнењето во рамнината која се минира** и др. Основниот принцип на техниката на контурното минирање се состои во тоа што минските дупнатини со мал пречник се издупчуваат по проектираната контура на ископот на покусо растојание, додека останатите разорни мински дупнатини се подготвуваат на поголеми растојанија во неколку редови (Слика 16.20).



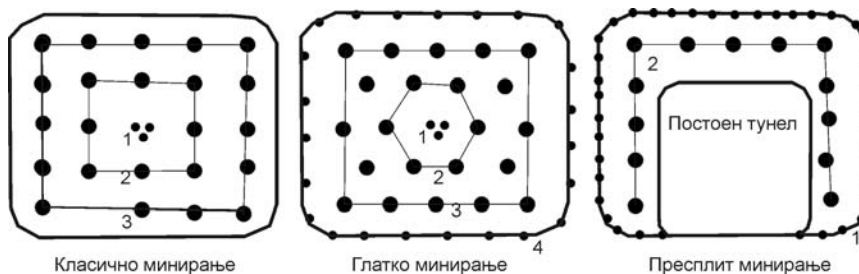
Слика 16.20 Шема на контурно минирање примената за ископот на браната „Света Петка“ - Скопско

Контурните мински дупнатини се полнат со експлозив со помала разорна моќ, а меѓу видот на дупнатината и патронот експлозив останува воздушен меѓупростор кој се заполнува со прашина или останува празен. Кај методата на **претходно создавање пукнатини** експлозивните полнења на контурниот ред дупнатини се иницираат порано од дупнатините, кои имаат улога за основно дробење (Слика 16.21).



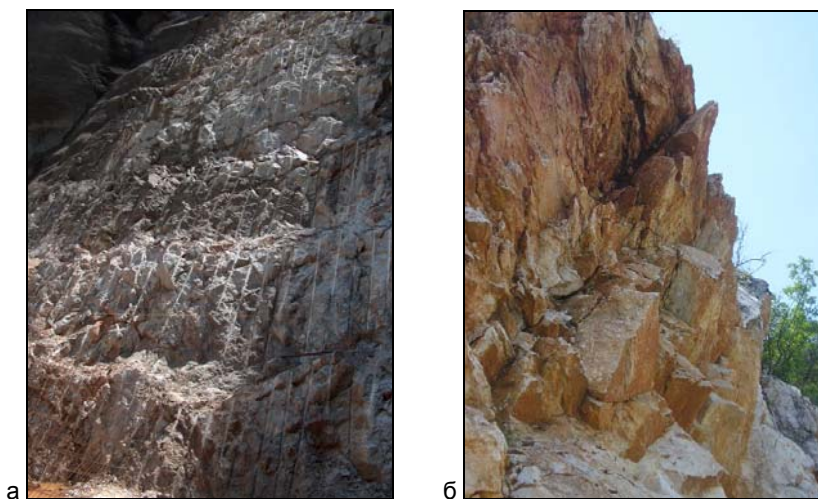
Слика 16.21 Приказ на пресплит техника на минирање кај отворени етажи

Во тунелоградбата пак, со примената на техниката на мазно или пресплит-минирање се овозможува многу добро оформување на контурата на ископот, со минимален прекоп. Неколку шеми за минирање на еден подземен ископ се прикажани на Сликата 16.22.

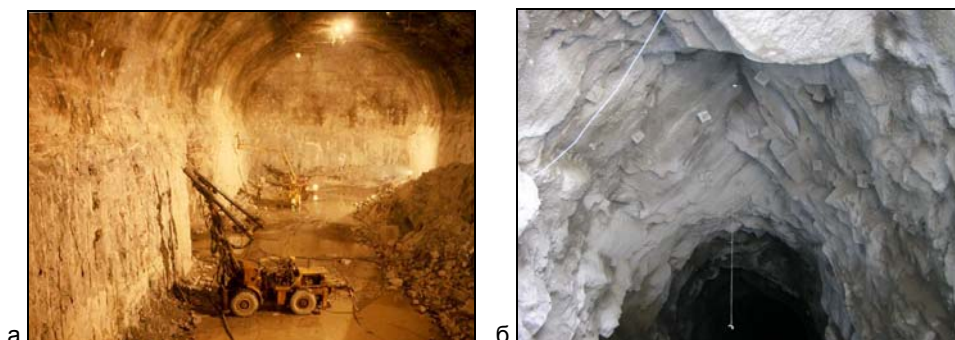


Слика 16.22 Приказ на разни техники на минирање кај подземни ископи

Реален изглед на добро и на лошо изминирани карпести масиви е прикажан на Сликите 16.23 и 16.24.



Слика 16.23 а - Мермери од ископ за темелна јама на браната „Св.Петка“ со техника на претходно создавање на пукнатини; б - Мермери од пристапен пат за браната „Св. Петка“ изминирани со класична техника на минирање



Слика 16.24 а - Ископ за подземен објект минираан со метода на мазно минирање; б - Оптичен тунел на Саска Река, изминираан со класична техника на минирање

Од сликите е очигледна разликата во оштетувањата на карпестите маси со една или друга техника на минирање, што укажува дека секогаш кога е можно, треба да се тежнее да се применуваат постапките на контролирано минирање.

Значајно е да се спомне дека зачувувањето на стабилноста на завршните контури на ископот зависи и од интервалот на забавување на електро - детонаторите, кои се користат за иницирање на експлозивот. Другите параметри на дупчеките и минерските работи треба да бидат прилагодени кон карактеристиките на карпестата маса.

За ориентациско согледување на интервалните вредности, во Табелата 16.1 се прикажани параметрите на дупчење и минирање за мазно минирање на површински ископи, за длабина на дупнатини од 10 m.

Табела 16.1 Основни елементи за контролирано мазно минирање на површински ископи

Дијаметар на дупнатина (mm)	Дијаметар на патрон од експлозив (mm)	Линија на најмал отпор (m)	Растојание на дупнатини (m)	Пробно полнење (кр)	Столбно полнење (кр/m)	Должина на чепот (m)
50	40	1,5	1,5	4,3	1,30	1,5
63	50	2,0	2,0	8,0	2,20	1,8
75	60	2,5	2,5	16,0	3,20	2,0
87	75	3,0	3,8	28,0	4,80	2,5
100	85	3,4	3,4	36,0	6,25	3,0

Релативно мазна и рамна површина на завршните контури на етажите на површина на терен може да се добие и со примена на методата на претходно создавање пукнатини. Со оваа постапка се создава една подолжна пукнатина меѓу контурните дупнатини која има улога да ја штити соседната карпеста маса од оштетување, а истовремено обезбедува рамна површина на карпата.

Во Табелата 16.2 се прикажани ориентациски параметри за методата на контурно минирање со претходно создавање пукнатини во карпи со различен коефициент на јакост.

Табела 16.2 Основни елементи за контролирано минирање со претходно создавање пукнатина

Коефициент на јакост на карпата f	Експлозивно полнење (кг/м) дупнатина при одредено растојание меѓу дупнатините (m)				
	0,8 - 1,0	1,0 - 1,2	1,2 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5
	Дијаметар на дупнатините, m				
	80 - 100	80 - 100	100	100 - 150	100 - 200
12 - 16	0,7	0,8	1,0	1,5	1,8
6 - 12	0,5	0,6	0,8	1,2	1,5
4 - 6	0,4	0,5	0,7	1,0	1,2

Иницирањето на контурните мински полнења се врши пред минските дупнатини за основното минирање. Обично се препорачува контурните мински полнења да се палат порано за 30-50 милисекунди во однос на останатите мински полнења. Покуси временски интервали на забавување можат да предизвикаат ширење на пукнатината зад главната контура, а подолги интервали на забавување во контурните мински дупнатини можат да ги прекинат главните мински полнења и така да ја пореметат целата технологија на минирање.

РАДИУС НА ОПАСНА ЗОНА ОД СЕИЗМИЧКО ДЕЈСТВО НА ЕКСПЛОЗИВОТ

Минирањата на површината предизвикуват осцилации и поместувања на карпестот масив во зона на дејствувањето, што се манифестира како мал земјотрес. Ефектите од тие осцилации можат да бидат незабележливи или да се манифестираат како појава на помали или поголеми пукнатини и други оштетувања на околината и градежните објекти.

Со примена на контролирано минирање, влијанието кон блиските објекти се сведува во дозволените граници, а дејството се контролира преку неколку основни параметри. Тука најзначајни се радиусите за опасна зона околу експлозивното полнење, а нивните параметри се одредуваат со:

- радиус на опасна зона од расфрлање од миниран материјал:

$$R_m = 140 \times n \times \sqrt{W} \quad (m')$$

- радиус на опасна зона од протегање бранови за луѓе:

$$R_l = 15 \times \sqrt{Q} \quad (m')$$

- радиус на опасна зона од протегање бранови за објекти:

$$R_o = k_v \times \sqrt{Q} \quad (m')$$

Каде што e: W линија на најмал отпор (m');

n = 5 - 10 показател на дејство на експлозијата;

Q - количина на вграден експлозив во минското поле;

k_v = 5 коефициент на пропорционалност.

Трансферот на енергијата е во функција на карактеристиките на експлозивот и на карпестата маса, која го прима ударот од експлозивот. Овие карактеристики се дефинираат со т.н. **акустична импеданција** на масивот и на експлозивот. Енергијата што се пренесува е под влијание на факторот на импеданција која се одредува со:

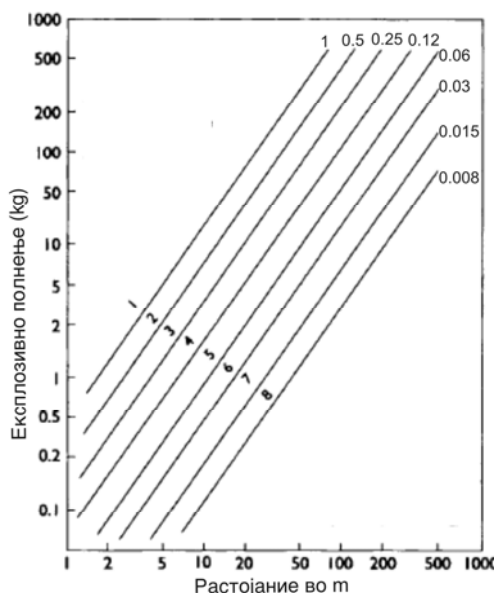
$$\eta_1 = 1 - \frac{(I_e - I_k)^2}{(I_e + I_k)^2}$$

Каде што e: η_1 - фактор на импеданција,

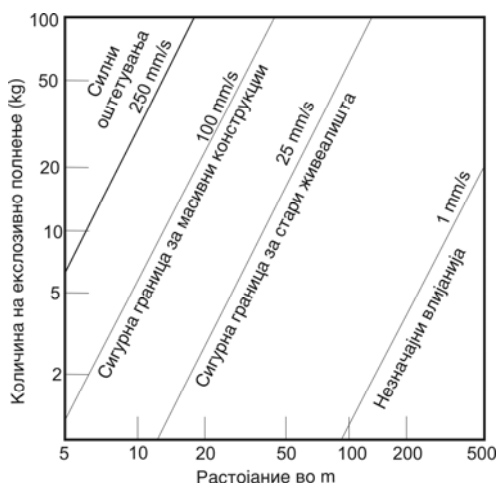
I_e - акустична импеданција на експлозивот,
 I_k - акустична импеданција на карпата.

Акустичната импеданција на експлозивот е дефинирана како производ на неговата густината и брзината на детонација, а акустичната импеданција на карпата е дефинирана како производ од густината на карпата и брзината на протегање на надолжните еластични бранови низ карпата.

За регистрирање на осцилациите на карпестиот масив се користат вибрографи и магнетноелектрични осцилографи, кои се поставуваат по профилна линија во повеќе точки. Со помош на овие инструменти се регистрира брзината на придвижување и забрзувањето на честичките на теренот. Во практиката постојат различни зависимости за дефинирање на дозволени количини на експлозив и дозволени вибрации кои не би предизвикале значајни оштетувања на објектите (Слики 16.25 и 16.26).



Слика 16.25 Дијаграм за проценка на можни појави на оштетувања во зависност од растојание на објекти при одредено експлозивно полнење:
 1 - појави на пукнатини во цврста карпа;
 2 - појави на одрони 3 - појави на оштетувања и пукнатини во гранит
 4 - појави на пукнатини во глина
 5 - мали прснатини во гранит
 6 - незабележливи прснатини 7 - нема појава на прснатини 8 - локално отпаѓање на гипс од таваници



Слика 16.26 Дијаграм за проценка на ефекти од потрес и големини на вибрации во зависност од количина на експлозивно полнење

Анализите на радиусите на опасни зони се посебно значајни кога се планира минирање во близина на изведени објекти. Во вакви случаи, се применуваат различни специфични проектни решенија за заштита на објектите (Слика 16.27).

Од прикажаните примери може да се согледаат предностите на примената на методите на контролирано минирање во однос на класичните методи, кои се состојат во следново:

- се обезбедува стабилноста на завршните контури на етажите и косините на ископот;
- се смалува создавањето и ширењето на пукнатини во внатрешниот дел на карпестиот масив и се сведува на минимум намалувањето на механичките својства на масивот, што е од посебно значење кај подземните отвори и фундаментите на специфичните градежни објекти;
- се снижуваат сеизмичките потреси;
- се добива рамна и мазна површина на завршната контура;
- се подобрува степенот на дробење на одминираниот карпеста маса;
- комплетно се смалуваат производно економските трошоци.

Во оваа смисла, современите барања за градба и посебно барањата за минимални оштетувања на природната средина, сè повеќе налагаат примена на ваквите техники. При тоа, треба да се знае дека почетните вложувања за ваков начин на минирање се поголеми, но долгорочно гледано, ефектите се далеку поповолни.



Слика 16.27 Еден начин на заштита на објект од евентуално отфрлени парчиња од карпа за случај на правење ископ со минирање во непосредна близина

Ова е од посебно значење кај објектите од патна инфраструктура, со оглед дека кај косините се минимизира опасноста од одронување и свлекување. Во тунелоградбата, пак, вишокот на ископ се сведува на минимум, самата примарна облога многу полесно се оформува, а карпестата маса е во вистинска соработка со облогата.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- Што се подразбира под поимот геотехнички мелиорации?
- Наброј ги основните постапки за подобрување на својствата на теренот и објасни што се постигнува со нив!
- Кои основни постапки на инјектирање се применуваат во практиката?
- Што е инјекциска завеса и како може да се поделат завесите?

- Што е инјекциска смеса, какви видови смеси постојат и кои смеси најповеќе се употребуваат во практиката?
- Што е постапка на сидрење и кои се основните елементи на едно сидро?
- Која е основна разлика меѓу активно и пасивно сидро?
- Објасни ја суштината на дејствување на прсканиот бетон!
- Што е вештачко замрзнување, а што дренирање и што се постигнува со нив?
- Кои постапки се применуваат за подобрување на слабоносиви почви?
- Кои се основните методи на контролирано минирање и објасни ја разликата меѓу нив?

ЛИТЕРАТУРА

- Abolmasov B., Stojkov K., (1994): The influence on the landslide in urban planning in Belgrade City, Proceedings of VII IAEG Congress, Vol.III, Lisboa, pp. 2161-2168
- Abolmasov B., Stojkov K., (1995): Jedan primer izrade karte mogućnosti pojave i razvoja klizanja, Drugi Simpozijum Istraživanje i sanacija klizišta, Donji Milanovac
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.J & Hacket, G., (1987): DRASTIC - a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings, US-EPA Report 600/2-87-035, Washington DC, USA
- Abramov S.K., Semjonov M.P., Calisev A.M., (1959): Zahvati podzemnih voda, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1959
- Annandale, G.W. (1995) Erodibility. *J. Hydraulic Research*, 33(4), 471–93.
- Арсовски М., (1997): Тектонска карта и тектоника на Македонија. Посебно издание на Рударско-геолошки факултет, Штип.
- Barton N.: Physical and discrete element model of excavation and failure in jointed rock, NGL, Oslo, 1994.
- Bell F.G., 1994: Engineering geology, University of Natal Durban, Blackwell Science
- Bieniawski, Z. T. (1976) Rock Mass Classification in rock engineering. In: Exploration for Rock Engineering, Proc. Symp. Vol. 1, Cape Town, Balkema, pp. 97–106.
- Bieniawski Z.T., (1993): Classification of Rock Masses for Engineering: The RMR System and future trends. *Comprehensive Rock Engineering*, Pergamon Press
- Блажев К., Арсовски М., 2001: Општа геологија, Учебник на Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“, Скопје.
- Blyth F.G.H., Freitas M.H., 1984: A Geology for Engineers, Seventh Edition, Edward Arnold
- Боев Б., Стојанов Р., 1994: Петрографија. Учебник на Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“, Скопје.
- Боев Б., Миловановиќ, 2001: Тектоника на плочи и магматизам. Учебник на Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“, Скопје.
- Bond A., Harris A., Decoding Eurocode 7, Taylor&Francis, 2008
- Božičević, S., (1983): Otkrivanje i proučavanje šupljine pod građevinama u kršu. *Mehanika stijena, temeljenje, podzemni radovi*, Knjiga 1, Društvo GIT Zagreb, Društvo MSPR Hrvatske, Zagreb, str. 19-53.
- Božičević, S., (1983): Otkrivanje i proučavanje šupljine pod građevinama u kršu. *Mehanika stijena, temeljenje, podzemni radovi*, Knjiga 1, Društvo GIT Zagreb, Društvo MSPR Hrvatske, Zagreb, str. 19-53.
- Brady B.H.G, Brown E.T. : Rock Mechanics for underground mining, Kluwer Academic, Third Edition, 2004
- Brown E.T., Hoek E.: Determination of shear envelope in rock masses, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.194, 1980.
- Cavers, D.S: Simple methods to Analyze Buckling of Rock S, *Rock Mechanics Vol 14*. No 2 august 1981
- Dearman, W. R. and Fookes, P. G. F. (1974). Engineering geological mapping for civil engineering practice in the United Kingdom. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 7, 223-56.
- Deere D.U.: Geological consideration, *Rock Mechanics*, John Wiley and sons, 1969
- Duncan C.W., 1999: Foundations on Rock, Second Edition, E&FN Spon, London and New York
- Eddleston M, Walthall S, Cripps J, Culshaw MG (eds) (1995) Engineering geology of construction. Geological Society of London (Engineering Geology Special Publication No. 10)

-
- Franklin A.J.: Observations and Tests for Engineering Description and Mapping of Rock, Second Congress of the International Society for Rock Mechanics, Beograd, 1970
- Franklin A.J.: Use of tests and monitoring in design and construction, General report, III International Conference of Engineering geology, Madrid, 1978
- Franklin, J.A. & Desseault, M.B., 1991. Rock Engineering Hill. McGraw Hill, 401 pp.
- Fookes PG (1997) Geology for engineers; the geological model, prediction and performance. Q J Eng Geol 30:293–424
- Гапковски Н., Јовановски М., 2007: Општа геологија, Учебник на Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, ISBN 978-9989-2469-7-5.
- Garbognin L., Gatto P., 1986, An overview of the subsidence of Venice, Int.Ass.Hydrol Sci Publ, 151, 321-328
- Goodman R.E., 2005: Engineering Geology, Rock in Engineering Construction, John Wiley & Sons, 1993
- Думурџанов Н., 1999: Структурна геологија, Учебник на Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“, Скопје.
- Думурџанов Н., Петров Г., 2005: Геолошко картирање, Учебник на Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“, Скопје.
- Hazarika M., Honda K. (2001): Estimation of Landslide Using Remote Sensing and GIS, Its Valuation and Economic Implication on Agricultural Products. In D.E. Stott, R.H. Molnar and G.C. Steinhardt (eds.) 2001. Sustaining the Global Farm. pp. 1090-1093
- Herak M., 1987: Geologija, Školska knjiga, Zagreb
- Hoek E., Bray J.W., Rock Slope Engineering, revised third edition, Institution of mining and metallurgy, E&FN SPON, 1997
- Hoek, E., and Brown E.T., (1997): Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts. 34(8), pp 1165-1186.
- Hoek, E., Marinos, P., Benissi, M., (1998): Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. Bull Eng Geol Environ (1998) 57, pp 151-160.
- Hoek, E., (2000): Rock engineering, Course notes by Evert Hoek. <http://www.rocksciennce.com>.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B., (2002): Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. <http://www.rocksciennce.com>.
- Hoek, E., Marinos, P., Marinos, V., (2005): Characterization and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 42 (2005), pp 277-285.
- Hudson J.A., Brown, E.T., Fairhurst, C and Hoek E., 1993: Comprehensive Rock Engineering, 5 vols. Pergamon, Oxford
- Hudson, J.A., Harrison, J.P., (1997): Engineering Rock Mechanics. Pergamnon Press.
- Huma lo, Radulsecu D., (1978): Automatic production of thematic maps of slope stability, Bulletin of IAEG, No 17, Krefeld, pp.95-100
- Ilijovski, Z., Jovanovski, M., Veleviski, A., (2004): Metodologija na inženerskogeološko modeliranje na pregradnoto mesto za brana „Sveta Petka“. Prvi nacionalen kongres za brane, Ohrid.
- International society for Rock Mechanics, (1981b) Suggested methods of Quantitative description of Discontinuities in Rock masses (ed. E.T. Brown), Pergamon Press, Oxford, UK
- Jašarević, I. (1999): Prikaz novog klasifikacionog postupka „JAK“ za stijenske mase. Zbornik radova, Simpozij Mehanika stijena i tuneli, Zagreb.
-

-
- Jašarević, I., Kovačević, M.S., Mišćević, P., (1995): Modeliranje geotehničkih problema u stijenskim masivima, kompjuterski program FLAC. Građevinski godišnjak 95, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, 503-540, Zagreb.
- Janjić M., 1982: Inženerska geologija sa osnovama geologije, Naučna knjiga, Beograd
- Jovanović R., 1986: Uloga inženerske geologije u razvoju geoloških i tehničkih nauka, Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, Beograd
- Jovanovski, M., Gapkovski N., Manasiev, J., Martinovic A., 1997: Methodology and results of the investigation of the groundwater conditions on the NE part of the coal mine SUVODOL, 6th International conference of the MINE WATER ASSOCIATION, Bled, Slovenia, 8-12 September
- Јовановски М., Гапковски Н., Геоструктурни и математички модели за анализа на стабилност на шкрилести карпести маси, Зборник на трудови на 6-ти Симпозиум за теоретска и применета механика, Струга, 1998
- Јовановски М., Прилог кон методологија на истражување на карпестите маси како работна средина, докторска дисертација, Градежен факултет, Скопје, 2001
- Jovanovski, M., Gapkovski, N., Ilijovski, Z., (2002): Correlation between Rock Mass Rating and deformability on a profile for arch dam Sveta Petka. 10-th International Conference of the DGKM, Ohrid.
- Јовановски М., Гапковски Н., Локин Петар, Илијовски Златко: Принципи на истражување на теренот за проектирање на лачни брани низ примерот на браните Чебрин и Света Петка, Зборник на трудови за прв Симпозиум за геотехника, Охрид, 2002
- Јовановски М., Гапковски Н., 2004: Принципи за истражување на теренот при проектирање на големи брани, Зборник на трудови од прв конгрес за големи брани, Охрид, 2004
- Jovanovski M., Gjorgevski S., Josifovski J. Dolenec Vckova K., (2005): A landslide in town Veles, from a natural hazard to prevention, International Symposium on Latest natural disasters-New Challenges for Engineering Geology, Geotechnics and Civil Protection, Sofia, Bulgaria, September 5-8 2005
- Jovanovski M., Papic J., DONEVSKA K., Vitanov V., Gjorgevski Sp., Josifovski J., Investigations and design for solid waste landfill in specific environment, 11th International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia 2007
- Jovanovski M., Papich J., Dambov, R., Pesevski I., (2009) Stability aspects of excavations in landslide zone at coal mine „Suvodol“, Macedonia, 3rd BALKAN MINING CONGRESS, Izmir,
- Jovanovski M., Krvavac-Spago A., Peshevski I., Range of Engineering-geological properties for some carbonate rock complexes from Balkan Peninsula, Geologica Macedonica, Vol.24, No.1, pp.23-30, ISSN 0352-1206, 2010
- Jovanovski M., Popovska C., Donevska K., Peshevski I., Interaction Matrix Method in Hydrogeological Analyses at Coal Mines, 11th International Symposium on WATER MANAGEMENT AND HYDRAULIC ENGINEERING, Ohrid, R.Macedonia, September 04-09, 2009
- Jovanovski M., Donevska K., Peshevski I., Implementation of Interaction Matrix Method in Solid Waste Landfill Engineering, From Sanitary to Sustainable Land filling, - why, how, and when? 1st International Conference on Final Sinks, 23rd – 25th September 2010, Vienna
- Jovanovski M., Abolmasov B., Pesevski I., Analyses of Landslide Hazard Evaluation Factors using polynomial interpolation, Secon Landslide World Forum Rome, 2010
- Капрически П., Јовановски М., Пешевски И. (2010): Еден пристап за формирање бази на податоци за нестабилности за терени во Р Македонија, Зборник од
-

-
- третиот симпозиум на Друштвото за геотехника на Македонија, Струга, 481-488
- Kious W. J., and Tilling R.I., 2001. This Dynamic Earth, the Story of Plate Tectonics, Online version, USGS
- Knill JL (2003) Core values: the first Hans-Cloos lecture. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 62:1-34
- Kujundžić, B., (1973): Sadržina i metodika izrade inženjersko-geoloških preseka i inženjersko-geoloških i geotehničkih modela. Saopštenja IX kongresa Jugoslovenskog komiteta za visoke brane, Zlatibor.
- Kujundžić, B., Petrović, Lj., (1980): Korelacija statičkih i dinamičkih karakteristika deformabilnosti krečnjačkih stenskih masa. V simpozij JDMSPR, 1, 5 -12, Split.Kujundzic B.: Ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstva stenskih masa, Generalni izveštaj, V Simpozijum, JDSMPR, Split, 1980
- Lapcevic, R., Pavlovic N., Vujanic, V.: Istrazivanje i sanacija padina i kosina u cvrstim stenskim masana, II Simpozijum Istrazivanje i sanacija klizista, D. Milanovac, 1995
- Lapcevic R.,Lokin P.,Grbovic C., Petricevic M., Geotehnicki uslovi za osiguranje bezbednog saobracaja u podrucju odrona Platije, Treci simpozijum istrazivanje i sanacija klizista , Donji Milanovac , 2001
- Legget RF, Karrow P (1982) Handbook of Geology in Civil Engineering. McGraw-Hill, New York
- Lokin P., Lapcevic R., Petricevic M., : Principi i kriterijumi zoniranja, izbora uzoraka i ekstrapolacije rezultata ispitivanja na stenski masiv kod podzemnih objekata, VII JDMSPR, Beograd, 1989
- Lokin P., (1993), Parametri i klasifikacija stenskih masa, Seminar Principi istrazivanja ispucalosti u geotehnici, Beograd
- Lokin P., Lapcevic R., Petricevic M, Matkovic O., Identifikacija hazarda i procena rizika od odronavanja na kosinama puteva i pruga, Treci simpozijum istrazivanje i sanacija klizista , Donji Milanovac , 2001
- Lokin P., Ostojic S.: Uputstvo za projektovanje i izvodjenje geoloskih istrazivanja za potrebe projektovanja hidrotehnickih objekata, Studija, Energoprojekt-Hidroinzenjering MDD, Beograd,1992
- Simons N., Menzies B., Matthews M., A short course in Geotechnical Site Investigations, Thomas Telford, 2002
- Ломтадзе В.Д., 1977: Инженерна геологија (инженерна геодинамика), Недра, Ленинград, 1977
- Marinos, P., Hoek, and E., (2000): GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proceedings of the International Conference on Geotechnical & Geological Engineering (GeoEng 2000), Technomic Publishing Co. Inc., Melbourne, Australia, pp 1422-1440.
- Marinos, P., Hoek, E., (2001): Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. Bull Eng Geol Environ (2001) 60, pp 85-92.
- Matula M., (1976):Principles and types of engineering geological zoning. Mem. Soc. Geol.Italiana,14,Rome,pp.327-336:
- Matula M. (1978): Engineering geological evaluation for regional and urban development. Proc. 3rd Int. Congress IAEG, Madrid.
- McLean A.C., Gribble C.D, 1985, Geology for Civil Engineers, Second Edition, University of Glasgow, E&FN Spon, London
- Milevski I., Markoski B., Gorin S., Jovanovski M. (2009): Application Of Remote Sensing And Gis In Detection Of Potential Landslide Areas. Proceedings of the International Symposium Geography and Sustainable Development, Ohrid, 453-463
-

-
- Milevski I., Markoski B., Jovanovski M., Svemir G. (2010): Landslide Risk Mapping by Remote Sensing and GIS in Gevgelija-Valandovo Basin. *Geologica Balcanica*, No39, Sofia, BAS, 255
- Милојевић Н., 1967, Хидрогеологија, Завод за издавање уџбеника, Београд
- Milovanović B., 1949: *Opšta geologija*, Beograd
- Müller, L., (1963): *Der Felsbau*, B.I. Ferdinand Enke Verlag, 623, Stuttgart.
- Müller, L., (1969): *Gesteins und Gebirg, Seigenschaften in Abhängigkeit vo Betrachteten Grössenbereich*. Z. deutsch. Geol. Ges., Jahrgang 1967, 119, Hannover.
- Nikolić P., 1990: *Osnovi geologije i opšta geologija*, Naučna knjiga, Beograd,
- Olujić, M., (1977): *Daljinska istraživanja u inženjerskoj geologiji*. *Mehanika stijena, temeljenje, podzemni radovi*, Knjiga 1, Društvo GIT Zagreb, Društvo MSPR Hrvatske, Zagreb, str. 19-53.
- Pasek J., (1974): *Thesaurus of Engineering Geology*, Bulletin of the International Association of Engineering Geology No 10, pp.5-8, Krefeld
- Panjukov P.N., 1965, *Inzenerska geologija*, *Gradjevinska knjiga*, Beograd, 1965
- Pavlović, N., (1996): *Interakcija geološke sredine i inženjerske djelatnosti*. The International Conference: Trends in the Development of Geotechnics, Beograd, str. 136-145.
- Pavlović, N., (1996): *O metodologiji geotehničkog modeliranja*. The International Conference: Trends in the Development of Geotechnics, Beograd, str. 239-248.
- Peffer, G.S. & Fookes, P.G., 1994. A revision of the graphical method for assessing the excavability of rock. *Quart. Jour. Eng. Geol.* 27, 145-164
- Пенџерковски Ј., Хаџи-Митрова С., 1975: Геолошка карта на СР Македонија, 1:200 000. Геолошки завод на СРМ, Скопје.
- Peshevski I., Jovanovski M. (2011): *Interaction Matrix Method in Hydrogeological Analyses at Coal Mines*, Scientific journal on Mathematical Modeling in Civil Engineering Volume 7-No.2, June, 2011, Technical University of Civil Engineering, Bucharest, Romania,
- Pešić L., *Opšta geologija: 2001*, Rudarsko geološki fakultet, Beograd
- Poulos, H.G., Davis, E. H., (1974): *Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics*, John Wiley & Sons, New York.
- Price N. J. and Cosgrove J. W., 1991: *Analysis of Geological Structures*.
- Price D.G, (1983): *Engineering Geology, Principles and Practice*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Поповска Ц., *Хидраулика*, 2000, Универзитетски учебник, Градежен факултет, Скопје,
- Ramsay J. G., 1967: *Folding and Fracturing of Rocks*. New York, Mc Graw- Hill, 567 pp.
- Selimović, M., (1974): *Statical Analysis of Percentage of Failed Rock for the Purpose of Selecting the Location on the Salakovac Diversion Tunnel*. Proceed, Third Congr., ISRM, II/B, Denver, pp.1326-1331.
- Selimović, M., (2003): *Mehanika stijena, Prvi dio, Teoretske osnove*. Građevinski fakultet Univerziteta „Džemal Bijedić“ u Mostaru, Mostar.
- Spasojevic, A., Susić N.: *Koriscenje anvelope parametara smicuce otpornosti u utvrdivanju faktora sigurnosti nakon obavljenog klizanja*, II Simpozijum Istrazivanje i sanacija klizista, D. Milanovac, 1995
- Stepanovic B., 1962, *Principi opste hidrogeologije*, Rad, Beograd
- Vasić M., *Inzenjerska geologija*, S print, Novi Sad, 2001
-

-
- Шпаго А., Јовановски М., Пешевски И. (2010): Физички модели за анализа на карбонатни маси со примена на GSI класификација. Зборник од третиот симпозиум на Друштвото за геотехника на Македонија, Струга, 351-358
- Qian X., Koerner R.M., et al. (2001) *Geotechnical Aspects of Landfill Design and Construction*, Prentice-Hall, New Jersey
- UNESCO-IAEG (1976): *Engineering geological maps. A Guide to their preparation*. UNESCO Publish. House, Paris, 79 pp.
- Varnes, D. (1984): *Landslide hazard zonation: A review of principles and practice*, UNESCO Press, Paris.
- U.S. Geological Survey., (1982): *Goals and Tasks of the Landslide Part of a Ground-Failure Hazards Reduction Program*, U.S. Geological Survey Circular 880 (Reston, Virginia: U.S. Geological Survey,
- Waltham T., 2002: *Foundations of Engineering Geology*, Second Edition, Spon Press, London and New York
- White, B.G., J.K.Whyatt, and D.F. Scott. 1995. Geologic factors in rock bursts in the Coeur d'Alene Mining District: Structure. In *Proceedings: Mechanics and Mitigation of Violent Failure in Coal and Hard-Rock Mines*, H. Maleki,P.F. Wopat, R.C. Repsher, and R.J. Tuchman, eds. U.S. Bur. Mines Spec. Pub. 01-95, pp. 217-230.
- Zanbac, C.: *Design charts for Rock Slopes Susceptible to toppling failure*, Journal of Geotechnical Engineering, Vol 109, No 8, 1983
- Zaruba, Q. and V.Mencl 1969. *Landslides and their control*. Amsterdam: Elsevier.
- Zaruba, Q. and V.Mencl 1976. *Engineering geology*. Prague: Academia.
- Zeevaert, L., 1957, *Foundation design and behavior of the Tower Latino Americana in Mexico City*, geotechnique, 7, 115-133
- Zeynal A.E., Resat U., 2005, *An Investigation on Ankara Clay with Regard to Swelling and Associated Damages, and Swelling Potential Maps*, International Symposium on Latest natural disasters-New Challenges for Engineering Geology, Geotechnics and Civil Protection, Sofia, Bulgaria, September 5-8

АНЕКС 1 - ТАБЕЛАРЕН ПРЕГЛЕД НА ГЕОЛОШКАТА ХРОНОЛОГИЈА

Геолошки ери	Период со времетраење во милиони години (Ma)	Епоха	Старост во милиони години	
Кенозоик - Kz (нов век на Земјината историја)	квартер - Q (2 Ma)	холоцен (геолошка денешница)		
		плеистоцен (појава на човекот од камено доба)		
	терциер - Tc (63 Ma)	неоген (Ng)	плиоцен (Pl)	65
			миоцен (M)	
		палеоген (Pg)	олигоцен (O)	
			еоцен (E) палеоцен (Pc)	
Мезозоик - Mz (среден век на Земјината историја)	креда - K (70 Ma)	горна креда	250	
		долна креда		
	јура - J (70 Ma)	горна јура		
		средна јура долна јура		
	тријас - T (45 Ma)	горен тријас		
		среден тријас долен тријас		
Палеозоик - Pz (стар век на Земјината историја)	перм - P (40 Ma)	горен перм	570	
		долен перм		
	карбон - C (65 Ma)	горен карбон		
		среден карбон долен карбон		
	девон - D (55 Ma)	горен девон		
		среден девон долен девон		
	силур - S (28 Ma)	горен силур		
		долен силур		
	ордовициум - O (72 Ma)	горен ордовициум		
		среден ордовициум долен ордовициум		
	камбриум - Cm (60 Ma)	горен камбриум		
		среден камбриум долен камбриум		
Протерозоик Ptz	неопротерозоик	венд (рифеј-камбриум)	2 500	
		мезопротерозоик палеопротерозоик		горен протерозоик
	среден протерозоик			
	долен протерозоик			
Архаик A	архаик	горен	2 600	
		долен	4 000	
Прискоан	постанок на Земјата		4 500	
			5 000	

ГЛАВНИ ФАЗИ НА ЕВОЛУЦИЈА НА ЗЕМЈИНАТА КОРА ВО ГЕОЛОШКАТА ИСТОРИЈА

Космичка фаза - траела околу 100 Ма (милиони години). Земјата немала јасно издиференцирана сферна градба, што значи дека немала уште зацврската Земјина кора.

Прагеосинклинална фаза. Во оваа фаза со процесите на гравитациона диференцијација на основната маса се создава сферната градба на Земјата: јадро, мантија и правата Земјина кора. Покрај сè уште интензивната вулканска активност во водената средина се таложат првите седименти од материјал носен од тогашните мали копна (вулкани) од вулкански материјал. Со оглед дека тогашните водени средини биле плитки и наталожените прагеосинклинални седименти биле со мала дебелина околу 1-2 km. Овие седименти потоа биле зафатени со интензивен регионален метаморфизам и денес тие претставуваат фундамент на многу стари платформи и континенти.



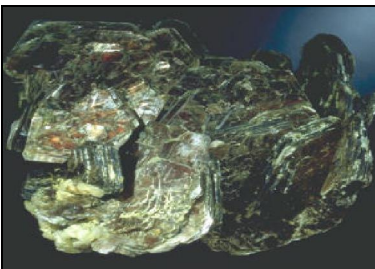
Геосинклинална фаза. Во оваа фаза Земјината кора јасно се оформува и зацврстува. Под влијание на сè уште интензивните магматски, а со тоа поврзани и тектонски движења и други фактори, кората се крши и се создаваат депресиони простори, т.е. геосинклинални простори со интензивна седиментација. Во нив се таложат плитководни и длабоководни седименти и во зависност од брзината и времетраењето на таложењето на овие области се создаваат седиментни маси дебелы преку 15-20 km. Временски, оваа фаза трае околу 1500-2000 Ма. Во почетниот период на геосинклиналниот развој седиментацијата била придружувана и од иницијален магматизам (главно базичен до интермедијарен) со што се создадени вулканогено-седиментни маси. Во завршните фази на геосинклиналниот развој се појавува интензивен гранитоиден магматизам и интензивно набирање и на тој начин се создадени венечни планини кои преминувале во копно.

Океанска фаза. Оваа фаза го опфаќа периодот од почетокот на мезозоик до денес. Кон крајот на палеозоикот северната хемисфера претставувала еден континент наречен Лауроазија а јужната хемисфера го претставувала континентот Гондвана, односно заедно го претставувале прастариот континент Пангеа. Во тријаскиот период почнал процес на распарчување на Пангеа на помали континенти и на создавање на големи водени области-океани. Со тоа дошло до зголемување на океанскиот тип на Земјина кора на сметка на континенталниот тип. Со распарчување на Лауроазија се создадени континентите Северна Америка, Европа и Азија, а од Гондвана се создадени Јужна Америка, Тихиот, Индискиот, Северниот и Јужниот Океан. Ваквото придвижување на континентите и океаните и процесите поврзани со нив го проучува еден дел од геологијата, кој се нарекува тектоника на плочи.


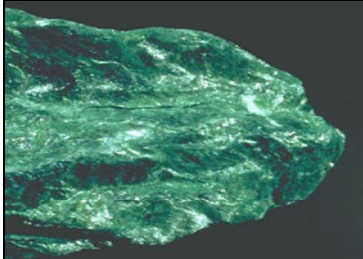



Со проучувањата на повеќе стотина илјади разновидни фосили, започнувајќи од првите најпримитивни и едноставни организми, па сè до најсложените, е извршена реконструкција на општата еволуција на органскиот свет. Историската геологија посебно внимание посветува на дефинирање на тектонските фази, кои се значајни за оформување на планински масиви (т.н. оргенеза) и епохи на мирувања (епирогенеза). Постојат одредени разлики во дефинирањето на границите на одделните орогени фази, но според В. Е. Хаин (1971), се среќава следната поделба:


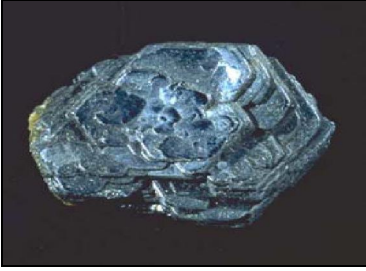


- гренвилска фаза во одделни делови од протерозоик;
- бајкалска фаза со почеток во рифеј-камбриум до среден камбриум;
- каледонско набирање врзано за период од среден камбриум, ордовициум, силур до крајот на девон;
- варисциско или херцинско набирање карактеристично за време од почеток на карбон до крајот на перм;
- старокимериско набирање во текот на тријас;
- младо кимериско во јура и долна креда;
- алпско набирање со повеќе фази на активност во горна креда и низ кенозоикот.

АНЕКС 2 - СИСТЕМАТИКА НА ПЕТРОГЕНИ МИНЕРАЛИ

Фотографија	Фелдспати
	<p>Име: ортоклас Хемиски состав: $K(AlSi_3O_8)$ Боја: бел, жолт, црвеникав, кафеав Цепливост: совршена во две нормални насоки Тврдина по Мос: 6,0 Специфична тежина: 25,6 kN/m^3 Сјајност: стаклеста Место на појавување: гранит, гранодиорит</p>
	<p>Име: албит Хемиски состав: $Na(AlSi_3O_8)$ Боја: бела, сива, зелено-сива Цепливост: совршена во две насоки под тап агол Тврдина по Мос: 6,0 – 6,5 Специфична тежина: 26,1 kN/m^3 Сјајност: стаклеста Место на појавување: ефузивни магматски и други карпи</p>
	<p>Име: биотит Хемиски состав: $K(Fe,Mg)_3 AlSi_3O_{10} (F,OH)_2$ Боја: темнокафеав, темнозелен, црн Цепливост: совршена Тврдина по Мос: 2,5 Специфична тежина: 28 - 32 kN/m^3 Сјајност: стаклеста до бисерна Место на појавување: гранит, гнајсеви, шкрилци</p>
	<p>Име: мусковит Хемиски состав: $KAl_2 AlSi_3O_{10} (F,OH)_2$ Боја: бела, сребрена, жолта, зелена, кафеава Цепливост: совршена Тврдина по Мос: 2,0 - 2,5 Специфична тежина: 28 kN/m^3 Сјајност: стаклеста до бисерна Место на појавување: гранит, пегматит</p>

	<p>Амфиболи</p> <p><u>Име:</u> хорнбленда <u>Хемиски состав:</u> $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe, Al})_5(\text{Al, Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ <u>Боја:</u> црна до темнозелена <u>Цепливост:</u> несовершена <u>Тврдина по Мос:</u> 5,0 - 6,0 <u>Специфична тежина:</u> 29 - 34 kN/m^3 <u>Сјајност:</u> стаклеста до темна <u>Место на појавување:</u> амфиболити, диорит</p>
	<p>Пироксени</p> <p><u>Име:</u> оливин <u>Хемиски состав:</u> $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$ <u>Боја:</u> маслинесто - зелена <u>Цепливост:</u> нема <u>Тврдина по Мос:</u> 6,5 - 7,0 <u>Специфична тежина:</u> 34 - 43 kN/m^3 <u>Сјајност:</u> стаклеста до смолеста <u>Место на појавување:</u> базалт, габро</p>
	<p>Име: аугит <u>Хемиски состав:</u> $(\text{Ca, Na})(\text{Mg, Fe, Al})(\text{Al, Si})_2\text{O}_6$ <u>Боја:</u> темнозелен, кафеав, црн <u>Цепливост:</u> нема <u>Тврдина по Мос:</u> 5,0 - 6,0 <u>Специфична тежина:</u> 32 - 36 kN/m^3 <u>Сјајност:</u> стаклеста до метална <u>Место на појавување:</u> дијабаз, андезит, габро</p>
	<p>Секундарни минерали од група силикати</p>
 	<p>Име: каолинит <u>Хемиски состав:</u> $(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH}))_4$ <u>Боја:</u> бел, жолтеникав, зеленкаст <u>Цепливост:</u> совршена <u>Тврдина по Мос:</u> 1,5-2,0 <u>Специфична тежина:</u> 26 kN/m^3 <u>Сјајност:</u> земјаста</p> <p>Име: монтморионит <u>Хемиски состав:</u> $(\text{NaCa})(\text{Al, Mg})_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})_3(\text{OH})_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ <u>Боја:</u> бел, сив, розов <u>Цепливост:</u> совршена <u>Тврдина по Мос:</u> 1,0 - 2,0 <u>Специфична тежина:</u> 23 - 30 kN/m^3 <u>Сјајност:</u> без сјајност <u>Место на појавување:</u> хидротермални лежишта</p>

	<p>Име: <u>хлорит</u> Хемиски состав: $(\text{Fe, Mg, Al})_6(\text{Si, Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ Боја: зелена, бела, жолта Цепливост: совршена Тврдина по Мос: 2,0 - 3,0 Специфична тежина: 26 - 34 kN/m^3 Сјајност: стаклеста до бисерна Место на појавување: зелени шкрилци</p>
	<p>Име: <u>талк</u> Хемиски состав: $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ Боја: зелена, сива, бела, сребрена Цепливост: совршена Тврдина по Мос: 1,0 Специфична тежина: 27 - 28 kN/m^3 Сјајност: темна до мрсна Место на појавување: серпентинити, талкшисти</p>
	<p>Име: <u>серпентин</u> Хемиски состав: $(\text{Mg, Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ Боја: маслинесто-зелен, темнозелен Цепливост: нема Тврдина по Мос: 3,0 - 4,5 Специфична тежина: 22 - 26 kN/m^3 Сјајност: мрсна, восоклива до свилеста Место на појавување: серпентинит</p>
Оксиди	
 	<p>Име: <u>кварц</u> Хемиски состав: SiO_2 Боја: безбоен - горски кристал млечно бел - белуток жолт - цитрин виолетов - аметист црн - морион Цепливост: слаба во три насоки Тврдина по Мос: 7,0 Специфична тежина: 26,5 kN/m^3 Сјајност: стаклеста Место на појавување: најраспространет минерал во сите карпи</p>

	<p>Име: <u>магнетит</u> Хемиски состав: Fe_3O_4 Боја: црна Цепливост: нема Тврдина по Мос: 5,5 - 6,5 Специфична тежина: 52 kN/m^3 Сјајност: металична Место на појавување: во разни видови карпи</p>
	<p>Име: <u>хематит</u> Хемиски состав: Fe_2O_3 Боја: метална до црна Цепливост: нема Тврдина по Мос: 5,0 - 6,0 Специфична тежина: 53 kN/m^3 Сјајност: металична Место на појавување: во разни видови карпи</p>
Хидроксида	
	<p>Име: <u>лимонит</u> Хемиски состав: $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ Боја: жолта, портокалова Цепливост: нема Тврдина по Мос: 4,0 - 5,5 Специфична тежина: $29 - 43 \text{ kN/m}^3$ Сјајност: земјеста Место на појавување: со оксиди на железо</p>
	<p>Име: <u>опал</u> Хемиски состав: $SiO_2 \cdot nH_2O$ Боја: бел, жолт, црвен, син Цепливост: нема Тврдина по Мос: 5,5 - 6,0 Специфична тежина: $19 - 23 \text{ kN/m}^3$ Сјајност: стаклеста Место на појавување: во седименти и распаднати силикатни карпи</p>

Карбонати	
	<p><u>Име:</u> калцит <u>Хемиски состав:</u> CaCO_3 <u>Боја:</u> безбоен, жолт, розов, црвен, син <u>Цепливост:</u> совршена во три насоки <u>Тврдина по Мос:</u> 3,0 <u>Специфична тежина:</u> 27 kN/m^3 <u>Сјајност:</u> стаклеста до матна <u>Место на појавување:</u> во седиментни карпи</p>
	<p><u>Име:</u> доломит <u>Хемиски состав:</u> $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ <u>Боја:</u> безбоен, бел, жолт, розов, до црн <u>Цепливост:</u> совршена во три насоки <u>Тврдина по Мос:</u> 3,5 - 4,0 <u>Специфична тежина:</u> 28.6 kN/m^3 <u>Сјајност:</u> бисерна до стаклеста <u>Место на појавување:</u> во седиментни карпи</p>
	<p><u>Име:</u> магнезит <u>Хемиски состав:</u> MgCO_3 <u>Боја:</u> безбоен, бел, сив, жолтеникав <u>Цепливост:</u> совршена во три насоки <u>Тврдина по Мос:</u> 4,0 - 4,5 <u>Специфична тежина:</u> 30 kN/m^3 <u>Сјајност:</u> стаклеста <u>Место на појавување:</u> во седиментни карпи</p>
Сулфати	
	<p><u>Име:</u> анхидрит <u>Хемиски состав:</u> CaSO_4 <u>Боја:</u> безбоен, бел, жолт <u>Цепливост:</u> изразена <u>Тврдина по Мос:</u> 3,5 <u>Специфична тежина:</u> 30 kN/m^3 <u>Сјајност:</u> стаклеста</p>
	<p><u>Име:</u> гипс <u>Хемиски состав:</u> $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ <u>Боја:</u> безбоен, бел, жолт <u>Цепливост:</u> добра <u>Тврдина по Мос:</u> 2 <u>Специфична тежина:</u> 23 kN/m^3 <u>Сјајност:</u> стаклеста <u>Место на појавување:</u> од хемиски раствори</p>

АНЕКС 3 - СИСТЕМАТИКА НА КАРПИ

Магматски карпи	
Фотографија	Длабински магматски карпи
	<p>Име: гранит Гранитите се едни од најраспространетите длабински магматски карпи. Главни минерални состојки им се: фелдспатите, кварцот, лискуни. Имаат зрнеста или порфиرويدна структура, а масивна или шкрилеста текстура. Постојат повеќе вариетети зависно од минералниот состав: дволискунски, амфиболски, рапакиви гранити, чарнокит, аљаскити. На површина, под влијание на надворешните фактори се распаѓа до гранитен грус.</p>
	<p>Име: сиенит Претставуваат преодни (неутрални) длабински магматски карпи, со зрнеста структура и масивна текстура. Изградени се алкални фелдспати, амфиболи, биотит и хорнбленда. Имаат зрнеста структура и масивна текстура. Зависно од боените минерали примероците на сиените се именуваат како биотитски, амфиболско-биотитски и плагиокласни. Бојата им е обично светлосива и сива, поретко розеникава или зеленикава.</p>
	<p>Име: гранодиорит Слично како сиенитите и тие се преодни длабински магматски карпи. Изградени се од: ортоклас, плагиоклас, кварц, боени минерали. Имаат зрнеста структура и масивна текстура. Бојата им е главно сива, а кај порфиرويدните вариетети и розеникава поради вака обоените ортокласи. Се разликуваат монцонитски гранодиорити, кварцмонцонити и други видови. Краен продукт на физичко-хемиското распаѓање е гранодиоритскиот грус.</p>
	<p>Име: диорит Диоритите се релативно малку застапени карпи. Претставуваат преодни карпи според содржината на SiO₂. Структурата им е зрнеста и порфиرويدна а текстурата масивна. Најважни состојки се плагиокласите и хорнблендата, со помала количество на биотит и аугит. Постојат повеќе вариетети и тоа: аугитски, хиперстенски, хорнбленда диорит. Бојата им е обично сива, темносива до црна поради значителното количество боени минерали.</p>

	<p>Име: габро Претставува длабинска магматска карпа со зрнеста структура и масивна текстура. Изградена е од базичен плагиоклас, пироксени. Освен типичната зрнеста структура габровите можат да имаат и специфична габровска зрнеста структура, кај која минералните состојки навлегуваат длабоко едни во други. Ваквата врска меѓу минералите придонесува за нивна голема жилавост. Постојат повеќе вариетети: норит, хиперит, троктолит, анортозит (зависно од минералниот состав)</p>
	<p>Име: перидотит Длабинска магматска карпа со ултрабазичен состав главно изградена од еден или повеќе феромагнетски минерали. Има зрнеста структура и масивна текстура. Дунитот е вариетет на перидотит, каде што главна состојка е оливинот, други вариетети се харцбургит, лерзорит, верлит, кортландит. Многу ретко може да се сретнат во свежа состојба, при што најчесто се посилено или послабо изменети во вид на метаморфни карпи серпентинити.</p>
Изливни магматски карпи (вулкански)	
	<p>Име: риолит (липарит) Кисела магматска карпа со порфирска структура и флуидална текстура. По минералошки состав се еквивалентни на гранитите, односно изградени се од санидин, плагиокласи, кварц, биотит, хорнбленда. Бојата на риолитите е, главно, светлосива, имаат најчесто делумно стаклеста основна маса и поситни фенокристали. Зависно од составот се јавуваат повеќе вариетети од кои најважни се: лебденик, обсидијан, перлит, пехштајн, (вулкански стакла).</p>
	<p>Име: трахит Преодни вулкански карпи, кои по минералошки состав се еквивалентни на сиенитите. Имаат порфирска структура и масивна до флуидална текстура. Како главни минерали се јавуваат ортоклас (фенокристали), биотит, хорнбленда и аугит. Основната маса е главно изградена од ситни стапчести кристали на ортоклас и пироксени. Бојата им е сива до темнозеленикава. Постојат повеќе вариетети од кои најзастапени се: албитски трахит, порфири, палеотрахити, кератофири.</p>

	<p>Име: дацит Тоа се преодни неовулкански карпи по состав еквивалентни на гранодиоритите. Изградени се од: плагиокласи, кварц, боени минерали. Структурата им е порфирска, а текстурата масивна, ретко флуидална. Фенокристалите се со големина од неколку mm па до неколку cm. Бојата им е светлосива до темносива и темнозеленикава, што зависи од видот на застапените состојки. Вариетети се дацитоандезити, амфиболски, биотитски, хиперстенски дацит и др.</p>
	<p>Име: андезит Преодна вулканска карпа по минерален состав еквивалентна на диоритот. Изграден е од: плагиоклас, биотит, амфиболи и пироксени. Структурата е порфирска, а текстурата масивна, ретко флуидална и мандолеста. Свежите андезити се со зголемена постојаност. Со физичко-хемиско распаѓање се создава андезиски грус. Зависно од составот постојат: андезит базалти, порфирити, дацитоандезити, аугитски, биотитски, амфиболски андезити и други видови.</p>
	<p>Име: базалт Претставува неовулканска базична магматска карпа, по состав еквивалентна на габрото. Како главни состојки се јавуваат: базичен плагиоклас, пироксени, оливин. Структурата е зрнеста, порфиرويدна, офитска, додека текстура е масивна, потоа флуидална, понекогаш до офитска. Бојата на базалтите е кафеава, темнокафеава до црна, а светлозеленикава до светлокафеава кога се во распаѓање. Како вариетети се јавуваат: трахибазалти и др.</p>
	<p>Име: дијабаз Палеовулканска базична карпа, изградена од: базичен плагиоклас, пироксени, биотит и оливин. Сите состојки се скоро редовно зафатени со процесот на распаѓање бидејќи на површина е доста непостојана. Поради тоа добиваат зелена до љубичесто-кафеава боја, па се нарекуваат зелени карпи. Структурата на дијабазите е офитска, а текстурата масивна до мандолеста. Од вариететите најзастапени се: оливински дијабази, кварцдијабази, толеити, спилити.</p>

	<p>Име: мелафир Тоа се палеовулкански базични магматски карпи. По минералошки состав и многу други карактеристики се слични на дијабазите. Структура им е профирска, а поретко се јавува и офитска. Текстурата им е мандолеста. Нивите (шуплини) мандоли често се дополнително наполнети со секундарни минерали како: калцит, хлорит, поретко кварц. Бојата им е зелена до темновиолетова. Најесто се јавуваат како помали маси покрај дијабазите.</p>
Жилни магматски карпи	
	<p>Име: пегматит Пегматитите се жилни магматски карпи кои настануваат со втиснување на магмата во пукнатините на веќе создадените магматски карпи, а поретко и во другите карпи околу нив. Во својот минерален состав содржат ортоклас-микроклин, албит, кварц и пнеуматолитски минерали. Пегматитите често се носители на рудни минерали, благородни метали, драги камења и слично. Постојат гранатски пегматит, пегматити со дистен, пегматити со турмалин и др.</p>
Седиментни карпи	
Механички (кластични) седименти	
	<p>Име: бреча Претставува врзана дробина со некое природно цементно средство (карбонатно, силициско, лапоровито и др.). Изградена е од незаоблени фрагменти на една или повеќе видови карпи и цементна маса. Зависно од составот на фрагментите бречите можат да бидат варовнички, мермерни, серпентинитски и др. Зависно од местото на формирање бречите се поделени на падински, крајбрежни, тектонски, раседни вулкански, магматски.</p>
	<p>Име: конгломерат Претставува цементиран чакал со природно цементно средство (карбонатно, силициско, лапоровито и др.). Големината на фрагментите како и степенот на заобленоста се исти како кај чакалот. Можат да бидат изградени од истородни или различни фрагменти на карпи. Зависно од местото на постанок се делат на речни и крајбрежни, трансресивни, интраформациски, регресивни.</p>

	<p>Име: песочник Претставува цементиран песок со природна цементна материја. Во основа песочниците се изградени од исти минерали, како и песоците а тоа се: кварц, лискуни, апатит, магнетит, гранат, фелдспат како и фрагменти од карпи. Врзвото може да биде карбонатно, лапоровито, доломитско, лимонитско или пак од органско потекло. Зависно од составот се делат на кварцни песочници, грауваки, аркози, субаркози, вулкански песочници и др.</p>
	<p>Име: лес Претставува полуврзана кластична карпа, која настанува со сврзување на наталожената прашина донесена на местото на седиментација со ветерот. Изграден е од: ситни зрна на кварц, каолинизирани фелдспати, лискуни, ситни честички на калцит и др. Се одликува со голема вкупна порозност од 30 до 50%. Во допир со вода лесно доаѓа до разрушување на неговата структура поради растворливоста на карбонатното врзиво и капиларните напони.</p>
	<p>Име: трепел Специфичен редок седимент со макропорозна структура, кој настанува од вулканоген прашиност материјал, кој по транспортот со ветер, се таложи во водена средина. Заради брзата цементација се карактеризира со многу ниска волуменска тежина. Во сува состојба е полесен од водата, односно волуменската тежина во сува состојба изнесува $\gamma_d = 8,8 - 9,8 \text{ kN/m}^3$. Кај нас, трепел се среќава во склоп на седиментната серија на рудникот за јаглен „Суводол“.</p>
	<p>Име: глини и глинци Глините се слабо врзани седименти настанати со распаѓање на фелдспатите, поретко и други минерали на магматските и седиментните карпи, со поматамошна дијагенеза на глините, односно, потполно исушување се добива седиментна карпа, која се нарекува глинец. Изградени се од каолин, монморионит, хидролискуни и др. Постојат повеќе типови глини: каолинска, монморионитска, ума, иловица, црвеница, лапоровита глина, др.</p>

	<p>Име: лапор и лапорец Лапор е полуврзана кластична седиментна карпа многу слична на глината. Всушност може да се каже дека лапорот е глина со зголемена содржина на калциумкарбонатна супстанција. Содржината на CaCO_3 се движи од 20-75%. Со нивна дијагенеза настанува лапорец. По минералоски состав тој претставува премин меѓу глиниците и варовниците или доломититите. Според тоа се разликуваат глинест лапорец, варовнички лапорец, лапоровит варовник.</p>
Хемиски и органогени седиментни карпи	
	<p>Име: гипс и анхидрит Тоа се мономинерални карпи изградени од минералите гипс, односно анхидрит. Настануваат со испарување (евапорација) на водата при посебни услови во плитководни езерски и морски басени. Скоро секогаш се јавуваат заедно, често пати придружени со други соли (хемиски сединемти). Анхидритот во допир со вода преминува лесно во гипс зголемувајќи го притоа волуменот. Како резултат на овој процес, доаѓа до зголемување на деформабилноста на самата средина што претставува неповолност од инженерски аспект. Чистиот гипс без примеси се вика алабастер и се користи како сировина за добивање на производи за градежништвото, потоа за вајарството, моделарството и друго.</p>
	<p>Име: бигор и травертин Бигорот е калциумкарбонатна карпа, која настанува со исталожување од ладни води, кои во себе содржат значително количество на растворен калциумхидрокарбонат. Се среќава кај преливните делови на поголеми карстни извори, околу водопади и слапишта, на ѕидовите на пештерите. Травертинот, пак настанува од топли изворски води богати со калциумхидрокарбонат. Има умерена порозност и изразена лентовидна градба што му дава декоративен изглед.</p>

	<p>Име: мермерен оникс Генетски многу сличен на бигорот со кој често се среќаваат заедно. Настанува со кристализација на калциумкарбонат од топли или поретко ладни води. Се појавува во форма на лентовидни наслаги околу термалните извори и нивните преливни делови. Ониксот често се одликува со многу нежни бои, кои потекнуваат од малото количество на различни примеси (хидроксида на железо, манган, бакар). Многу е лесен за обработка и полирање.</p>
	<p>Име: варовник Настанува со исталожување на калциумкарбонатите скелети и оклопи на изумрените морски и езерски животни како амонити, корали, полжави, школки, нумулити и др., кои со процесот на дијагенеза се преобразуваат во јадри и компактни маси. Варовникот е најчеста седиментна карпа воопшто. Зависно од составот се среќаваат глинест, песоков, доломитски, железен, битуминозен, силифициран и др. вид на варовник.</p>
	<p>Име: доломит Настанува најчесто со доломитизација на варовникот, односно со замена на дел од калцијата супстанција со магнезиска. Често се јавуваат заедно, но доломитот волуменски е помалку застапен. Изградени се од минералот доломит. Има сиво-бела боја, а по правило е повеќе испукаан до здробен во коцкасти и паралелопипедни форми. При распаѓање се добива доломитичен грус.</p>
	<p>Име: рожњак Претставува силициска карпа изградена од зрнца на калцедон, опал и кварц. Настанува со таложење на скелетите на алгите, радиоларии, кои се изградени од SiO₂ супстанција. Со процесите на дијагенеза преминува во многу компактна тврда маса. Бојата му е сиво-бела, зеленкаста а понекогаш до целосно црна. Рожњаци се јавуваат во вид на слоеви, прослојки или леќи во варовниците и другите седименти.</p>

	<p>Име: каустобиолити Тоа се фитогени и фитозоогени карпи, кои запалени можат да горат. Во оваа група се најзначајни сите видови на јаглен како тресет, лигнит, кафеав јаглен, камен јаглен, антрацит. Покрај јагленот во оваа група се: нафтата, асфалтот, битуминозниот шкрилец и др. Претставуваат фосилни горива од кои се добива најголемиот дел на светското производство на енергија.</p>
Метаморфни карпи	
Шкрилести метаморфни карпи	
	<p>Име: гнајс Гнајсот е метаморфна карпа, која настанува најчесто со метаморфоза на магматски гранитоидни карпи или пак на седиментни карпи од типот на т.н. аркозни песочници. Главни минерали се кварц, фелдспати и лискуни. Зависно од составот се издвојуваат мусковитски, биотитски, амфиболски, хлоритски итн. Вариететите со леќести зрна на фелдспати со големина до 5 cm се нарекуваат окцести гнајсеви.</p>
	<p>Име: микашист Изграден е од кварц и лискуни. Според видот на лискуните се разликуваат дволискунски микашист со биотит и мусковит, како и биотитски и мусковитски микашист. Доколку концентрацијата на лискуните е многу поголема од концентрацијата на кварцот преминуваат во лискунски шкрилци. Бојата на мусковитските вариетети е бела, кај дволискунските сива, па сè до темносива кај биотитските вариетети.</p>
	<p>Име: филити и аргилошисти Филитот е изграден од многу ситни, со голо око, невидливи зрна на кварц и на лискуни. Од лискуните се среќаваат серцити и помалку хлорит. Настанува со метаморфоза на глинестите карпи, односно аргилошистот. Бојата им е сивозеленикава до црна, со свилеста сјајност и светликава површина. Аргилошистот настанува со метаморфоза на глиниците, кои биле изложени на дејство на послини притисоци. Има црна боја.</p>

 	<p>Име: хлоритски, талкови, амфиболски шкрилци</p> <p>Хлоритскиот шкрилец е изграден од ситни зрнца на кварц и хлорит. Има мала тврдина и се карактеризира со интензивна ушкриленост. Бојата му е темнозелена. Вообичаено ги следат останатите шкрилци од низок кристалинитет. Талков шкрилец (талкшист) е изграден од ситни листови и лушпички на талк, понекогаш проследени со ретки зрнца на кварц. Бојата му е бледозеленикава од зелено-сива. Има мрсен опип, и мала тврдина. Амфиболскиот шкрилец е составен во целост само од издолжени зрна на амфиболот-хорнбленда. Доколку покрај хорнблендата содржи и фелдспати, а при тоа поседува изразена шкрилеста текстура, се нарекува амфиболитски шкрилец. Покрај овие постојат и други шкрилци, како што се: серицитски, графитични и др.</p>
<p>Масивни метаморфни карпи</p>	
	<p>Име: мермер</p> <p>Мермерот е масивна карпа изградена од кристалести зрна на калцит и поретко на доломит. Се разликуваат калцитски и доломитски мермери. Настануваат со метаморфоза на варовник, односно доломит. Имаат масивна, слоевита и поретко шкрилеста текстура. По боја се најчесто млечно бели, а од примесите можат да бидат и различно обоени. Кога имаат зголемена содржина на лискуни се нарекуваат циполини.</p>
	<p>Име: кварцит</p> <p>Изграден е, главно, од минералот кварц. Има зрнеста структура и масивна текстура. Покрај кварцот можат да се појават во мали количини и лискуни, фелдспати, оксиди на железо и др. Вариететите без присуство на споредни состојки се нарекуваат динас кварцити. Кварцитите настануваат со метаморфоза на кварцните песочници и рожњаџи. Обично се со бела, сиво-бела или темно-кафеава боја.</p>

	<p>Име: амфиболит Масивна метаморфна карпа изградена од амфиболот хорнбленда и плагиокласите (фелдспати). Структурата му е зрнеста, слично на габро, текстурата најчесто масивна, а поретко шкрилеста. Настанува со метаморфоза од габро, а кога не е докрај метаморфизиран, може да носи име како: метагабро, метадијабаз и слично. Амфиболот е многу цврста и жилава карпа. Има типична зелена до темно-зелена боја.</p>
	<p>Име: серпентинит Карпа изградена од минералот серпентин. Покрај него може да се сретнат и: оливин, пироксени и амфиболи. Тој е јадра карпа и настанува со метаморфоза на ултрабазичните карпи-перидотити и базичните карпи од типот на: габро, базалт, дијабаз, кои, во себе, содржат: оливин, амфиболи, пироксени. Бојата им е светлозелена, темнозелена до црна. Има мрсна сјајност и школкаст прелом.</p>

АНЕКС 4 - ПРЕТСТАВУВАЊЕ НА ГЕОЛОШКИТЕ СТРУКТУРИ

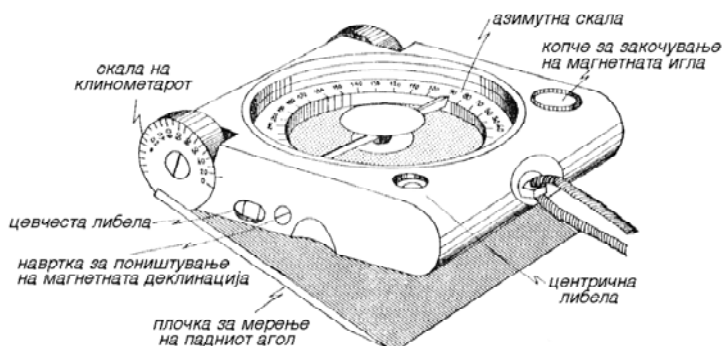
ОПШТО

Просторната ориентација на планарните структури, т.е. на слоевитоста, фолијацијата, границите, раседите, пукнатините, кливажот, шкрилавоста и др. и на линеарните, т.е. на оските на наборите, линеацијата, стриите и др., се дефинира со нивните елементите на пад (ЕП) и со падниот агол. Елементите на пад (ЕП) на структурите се испишуваат на следниот начин: азимут на падна насока/паден агол. На пример: 90/10; 130/65, 210/45.



Слика 1 Илустрација на протегање, насока на пад и паден агол на една рамнина

Положбата во просторот на структурните елементи од тип на раседи, пукнатини, слоевитост, фолијација, линеација и кливаж, на терен се мерат со геолошкиот компас. Геолошкиот компас е конструиран за директно читање на азимутите на насоката на пад и падните агли. За разлика од географскиот компас (бусола), на геолошкиот компас, исток лежи на западната страна, а запад на - источната страна (Слика 2).

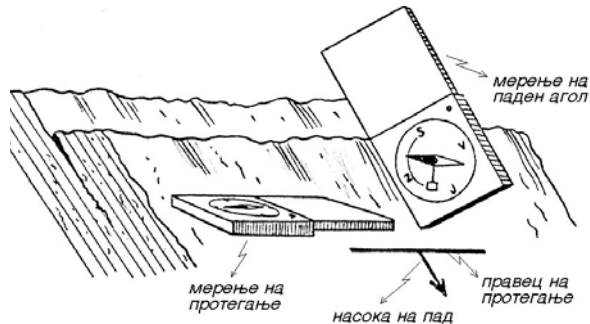


Слика 2 Геолошки компас од типот Clag

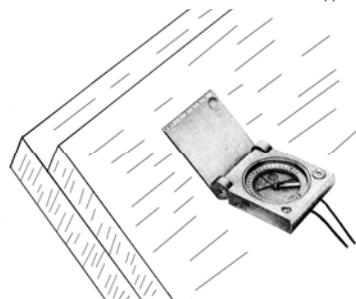
Со компасот **елементите на пад** или **падната насока** (ЕП) се мерат на следниот начин: компасот се поставува, така што 0° е свртен кон падната насока на слојот или каква било друга рамнина (пукнатина, расед, фолијација), додека кукиштето на компасот е во хоризонтална положба (со помош на либелите) допрен на слојот што го мериме. По смирување на магнетната стрелка на нејзиниот северен дел се отчитува азимутот на падната насока на слојот (планарата). **Азимутот на протегање** се добива со додавање или одземање 90° на азимутот на падната насока или директно се мери на следниот начин: страната С-Ј на кукиштето на компасот се поставува паралелно со протегањето на слојот или планарата и по смирувањето на стрелката се отчитува едниот или двата азимута на стрелката (Слика 3).

Падниот агол на рамнините се мери со клинометар, кој е составен дел на геолошкиот компас. Компасот со клинометарот-плочката се наслонува на мерената

површина (слој или друго) и се нивелира во хоризонтална положба, потоа истовремено се чита азимутот на падната насока и падниот агол на планарата (ЕП) (Слика 4).



Слика 3 Начин на мерење азимут на протегање и паден агол на планара



Слика 4 Начини на мерење на падна насока и паден агол на рамнина (слој, пукнатина)

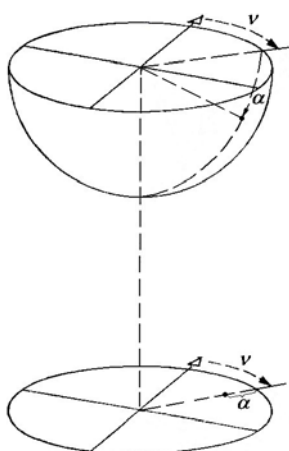
СТЕРЕОГРАФСКА АНАЛИЗА СО ПОМОШ НА ШМИТОВА МРЕЖА

Ориентацијата на геолошките структури во просторот најлесно и многу прегледно се прикажува со помош на Шмитовата мрежа. На оваа мрежа се врши т.н. стереографска проекција и стереографска анализа на структурите. Денес постојат и готови компјутерски програми за изработка на различните видови на стереограми. Во рамките на Анексот, ќе бидат прикажани само основните постапки, кои треба да се познаваат за прикажување на дијаграми на траси на прави, рамнини, полови на права и рамнина, нивни пресеци, дефинирање на агли меѓу рамнини и др., кои се значајни за кинематските анализи на стабилност. За таа намена и решавање на задачите во книгата, можат да се користат поларната и екваторијалната мрежа на Сликата 9.

ПРОЕКЦИЈА НА ПРАВА НА ШМИТОВА МРЕЖА

Секоја права е просторно определена со своите ЕП. На позиционата топка со својот продор низ нејзината обвивка, тој продор се нарекува **пол на правата**. Полот на правата се нанесува на следниот начин:

- врз поларната мрежа се поставува паус или просирна хартија, се исцртува периферниот круг, се означува центарот и северот и на тој начин се добива **олеата**;
- на така исцртаната и поставена олеата се отчитува азимутот на падната насока и на соодветниот полупречник се обележува точка оддалечена од периферијата за падниот агол на правата (Слика 5);
- полот на вертикална права лежи во центарот на дијаграмот.



Слика 5 Пол на права на позициска топка и на дијаграм;
 v - азимут на права, α - паден агол на права

ПРОЕКЦИЈА НА РАМНИНА НА ШМИТОВА МРЕЖА

Рамнините можат да се прикажат со **полот на падната права**, со својата **траса** и со полот на **нормалата на рамнината**. **Полот на падната права на рамнината** ја дефинира секоја рамнина, со исклучок на хоризонталните и на вертикалните, бидејќи хоризонталните рамнини немаат падни прави, а вертикалните сите имаат иста падна права без оглед на различното протегање. Полот се нанесува на ист начин како полот на правата.

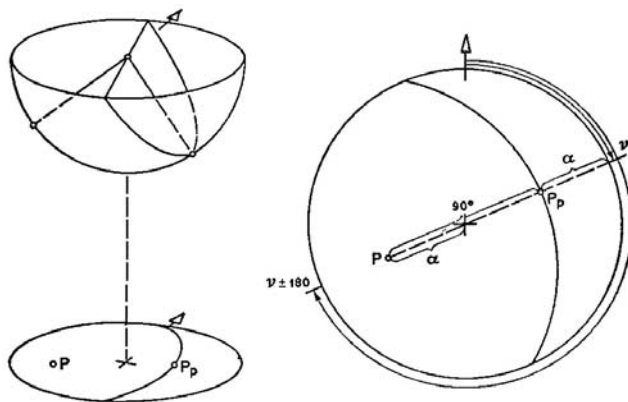
Траса на рамнината (анг. great circle) претставува круг со кој рамнината ја сече површината на топката. Трасата се нанесува на следниот начин:

- на олеатата врз поларната мрежа се обележува полот на падната права;
- олеатата се префрлува на екваторијалната мрежа и се ротира полот да падне на источниот или западниот полупречник на екваторот. Се исцртува меридијанот на кој лежи полот и се добива трасата на рамнината (Слика 6 и Слика 8).

Полот на падната права на рамнината ја дефинира секоја рамнина, освен вертикалните и хоризонталните рамнини. За да можат на дијаграмот да се прикажат вертикалните и хоризонталните рамнини се користи пол на рамнината. За таа цел низ центарот на позициската топка се извлекува нормала, а продорот на таа нормала на површината на топката го дава **полот на рамнината**. Полот на рамнината се наоѓа на истиот пречник, но на спротивниот полупречник во однос на полот на падната права, а е оддалечен од центарот за падниот агол. Што значи, полот на рамнина лежи на полупречник, кој одговара на азимутот на падната права на рамнината изменет за 180° , а оддалечен од центарот на мрежата за вредноста на падниот агол на рамнината. Најлесен начин на нанесување на полот на рамнината е следниот (Сл. 6):

- се исцртува олеата на поларната мрежа и таа се ротира, така што северната ознака е свртена за 180° (на југ). На тој начин и вредностите на сите азимути се изменети за 180° ;
- полот на рамнината се нанесува како точка на полупречникот, кој на мрежата одговара на азимутот на падната насока, оддалечен од центарот на мрежата за вредноста на падниот агол;
- по нанесувањето на полот на рамнината, олеатата се враќа во почетната положба и полот лежи на своето место.

Половите на хоризонталните рамнини лежат во центарот на дијаграмот, а половите на вертикалните рамнини се наоѓаат на периферијата на дијаграмот.



Слика 6 Приказ на рамнина на позициска точка: P_p - пол на падна права, P - пол на рамнина, ν - азимут на падна насока на рамнина, α - паден агол на рамнина

ОДРЕДУВАЊЕ НА ПРИВИДНИОТ ПАД НА ПЛАНАРИТЕ

Привиден пад (α') Пронаоѓањето на привидниот пад е потребно при повеќе геолошки операции, а најчесто при конструкција на геолошки профил, на блокдијаграм и др. Аголот на привидниот пад може да се одреди на повеќе начини, и тоа, по геометриски пат, со помош на Шмитовата мрежа и на други начини. Со помош на Шмитова мрежа постапката се состои во следното:

- на поларната мрежа се извлекува азимутот на профилската линија;
- се извлекува трасата на правиот пад на планарата (на екваторијалната мрежа);
- привидниот пад има агол даден со пресекот на трасата на планарата со профилската линија, читано од периферијата на екваторијалната мрежа (Слика 7).

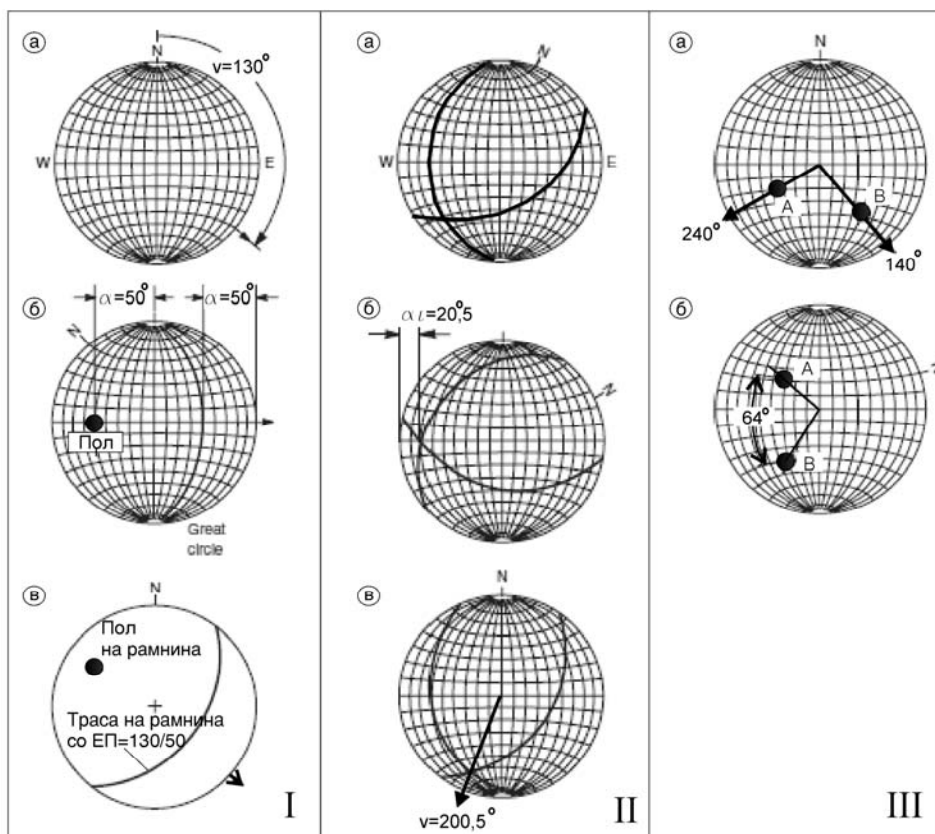


Слика 7 Одредување на агол на привидниот пад (α') за некоја профилска линија со Шмитова мрежа

ПРИКАЖУВАЊЕ НА ПРЕСЕЦИ И НА АГЛИ НА РАМНИНИ НА СТЕРЕОГРАФСКА ПРОЕКЦИЈА

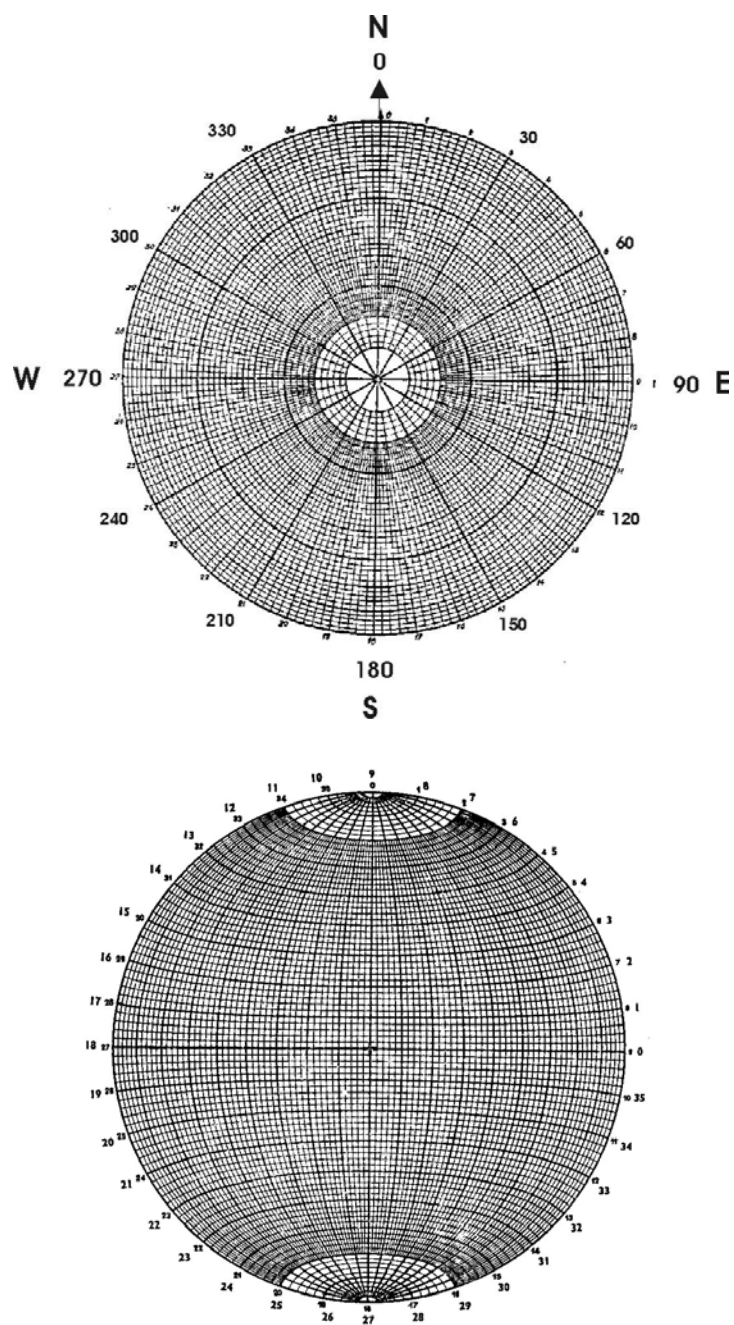
За проценка на условите за лом во геотехниката, често е потребно да се дефинираат пресечните прави меѓу две рамнини и аглие меѓу нив. Ова е од посебно значење кај **кинематските анализи на стабилност**. Постапката се состои од нанесување на трасите на секоја рамнина, при што во нивниот пресек се формира пресечна права која со својот продор низ полупоката. Пример за дефинирање на пресек е прикажан за две рамнини со $EP=130/50$ и $EP=250/30$ на слика 8_ц. Овие две рамнини прават пресек со насока на пад од $\nu_i=200,5^\circ$ и паден агол од $\alpha_i=20,5^\circ$.

Кога е потребно да се пронајде агол меѓу некои прави или рамнини се пористи ротација на половите на рамнините A и B со цел да паднат на еден заеднички меридијан на екваторијалната мрежа. Пример за дефинирање на агол меѓу две прави со $EP=240/54$ и $EP=140/50$ е прикажан на Слика 8_{III}. Овие две прави зафаќаат агол од $\Theta = 64^\circ$.



Слика 8 I - Прикажување на траса и пол на рамнина на позициона топка со елементи на пад $EP=130/50$; **II** - Прикажување на пресек на траса на две рамнини со $EP=130/50$ и $EP=250/30$; **III** - Начин за дефинирање на агол меѓу две линии со елементи на пад $EP=240/54$ и $EP=140/50$

Со вакви операции е можно да се решат голем број проблеми при анализа на стабилност на испукани карпи, анализа на блокови во подземје и друго, што детаљно се анализира во секој учебник по Механика на карпи.



Слика 9 Поларна и екваторијална Шмитова мрежа

АНЕКС 5 - КАТАСТРИ ЗА ОПИС НА ПУКНАТИНИ И КАРПЕСТА МАСА

КАТАСТАР НА ПУКНАТИНИ:															
Локација (Објект):		Место (Душнатина):			Картирал:			Број на лист:		ол:					
Длабочина:	Тип	Елементи на пад	Континитет	Видливост	Отвор/ширина	Вид на запорнител	Јакост на запорнител	Рапаваост на површина	Вид на пловршина	Должина на бран	Амплитуда на бран	Коефициент на рапаваост JRC	Состојба на вода	Расторанине (Ls)	Забелешка
Тип:	Континитет (должина)	Ширина (отвор)			Вид на запорнител		Јакост на запорнител (SHRV) - MPa		Состојба на вода (пукнатини без запорна)			Состојба на вода (со запорнител)			
0. Раседна зона 1. Расед 2. Пукнатина 3. Кливаж 4. Шкрилавоост 5. Пукнатина на смолкнување 6. Пренатина 7. Тензиона пукнатина 8. Фолијација 9. Слоевитост	1. Многу мала (<1м) 2. Мала (1-3 м) 3. Средна (3-10 м) 4. Голема (10-20 м) 5. Многу голема (>20 м)	1. Многу стисната (<0, 1 мм) 2. Стисната (0, 1-0, 25 мм) 3. Делумно отворена (0,25-0, 5 мм) 4. Отворена (0,5-2, 5 мм) 5. Средно отворена (2,5-100 мм) 6. Широка (>10 мм) 7. Многу широка (1- 10 см) 8. Екстремно широка (10-100 см) 9. Каверна (> 1м)	1. Без запорнител 2. Измена на површина 3. Песоклив 4. Неактивна глина 5. Глина која бубри 6. цементрана 7. Хлорит, талк, гипс 8. Друг вид	S1-многу мекска глина (<0,025) S2-мекска глина (0, 025-0,05) S3-Конс.глина (0,05-0, 1) S4-Цврста глина (0,1-0,25) S5-Цврста глина(0,25-0,5) S6-Цврста глина(>0,5) R0-Најслаба карпа(0, 25-1) R1-Многу слаба карпа(1-5) R2-Слаба карпа(5-25) R3-Средно цврста к.(25-50) R4-Цврста карпа(50-100) R5-Многу јака к.(100-250) R6-Екстремно јака(>250)	0. Сува, не е можно влажење 1. Сува, без евидентно влажење 2. Сува, но со можна појава на влажење 3. Влажна, без слободна вода 4. Капење 5. Континуирано течење	6. Запорнителот е збиен и сув, можно е слабо течење 7. Запорнител е влажен (без видно течење) 8. Влажен запорнител, повремено капене 9. Постојано течење, со слабо испирање 10. Постојано течење, испирање е видно (да се опише количина притисок и сл.)									
Видливост на краев	Вид на површина на пукнат.	Рапаваост		Меѓупукнатински растојанија											
0. Дваа краев се невидливи 1. Еден крај е видлив 2. Дваа краев видливи	1. Скалеста 2. Брановидна 3. Рамна	1. Рапава 2. Глатка 3. Полирана 4. Мазна		1.Екстремно мало (< 20 мм) - 2.Многу мало (20-60 мм) - 3.Мало (60-200 мм) 4.Средно (200-600 мм)- 5.Големо (600- 2000 мм)- 6.Многу големо (2000-6000 мм) 7.Екстремно големо (> 6000 мм)											

ЛИСТ ЗА ОПИС НА КАРАКТЕРИСТИКИ НА КАРПЕСТА МАСА							
ЛОКАЦИЈА: (ОБЈЕКТ)	СТАЦИОНАЖА (ДУПНАТИНА)	ДАТА:	КАРТИРАЛ:				
	Тип на локалитет:	Должина на косина		Скница	Фотографија бр:		
	Висина на косина	0. Не 1. Да	Број на соодветен лист за катастар на пукнатини кој одговара на локацијата:				
	Дијаметар на дупнатина			Забелешки: (вид на издано, старост, појави на нестабилност, проектни карактеристики и др.)			
ИНФОРМАЦИИ ЗА ТИП НА КАРПА:							
БОЈА:	1. СВЕТЛА 2. ТЕМНА	1. РОЗЕВА 2. ЦРВЕНА 3. ЖОЛТА 4. КАФЕАВА 5. МАСЛИНЕСТА 6. ЗЕЛЕНИКАВА 7. СИНА 8. БЕЛА 9. СИВА 10. ЦРНА	Големина на зрна: 1. Многу гребозрни (>60 мм) 2. Грубозрни (2- 60 мм) 3. Среднозрни (60 x-2 мм) 4. Ситнозрни (2- 60 x) 5. Финозрни (<2 x)	Јакост на притисок (МРа) S1-многу мека глина (<0.025) S2-мека глина (0.025-0.05) S3-Конс.глина (0.05-0, 1) S4-Цврста глина (0.1-0.25) S5-Цврста глина(0.25-0.5) S6-Цврста глина(>0.5) R0-Најслаба карпа(0, 25-1) R1-Многу слаба карпа(1-5) R2-Слаба карпа(5-25) R3-Средно цврста к.(25-50) R4-Цврста карпа(50-100) R5-Многу јака к.(100-250) R6-Екстремно јака(>250)	Начин на проценка 1. Мерна 2. Описно	Тип на карта Квалитативен опис на карта	
							ПРОФИЛИ ЗА ОДРЕДУВАЊЕ НА РАСТОЈАНИЈА НА ПУКНАТИНИ:
ИНФОРМАЦИИ ЗА КАРАКТЕРИСТИКИ НА КАРПЕСТ МАСИВ:		ПРОФИЛИ ЗА ОДРЕДУВАЊЕ НА РАСТОЈАНИЈА НА ПУКНАТИНИ:					
Грваба (структура)	Големина на блокови	Состојба на распаднаост	Број на главни пукнатински системи	Ориентација на линија за мерење	Број на пукнатини	Растоја- нија	Забелешка
	1. Многу големи (>8 м ³) 2. Голем (0, 2-8 м ³) 3. Средни (0, 008-0, 2 м ³) 4. Мали (0,0002-0, 008 м ³) 5. Многу мали (< 0, 0002 м ³)	1. Свежи 2. Слабо изменети 3. Средно изменети 4. Високо изменети 5. Комплетно изменети 6. Резидуална почва	Број на главни пукнатински системи	Линија 1 Линија 2 Линија 3			
1. Блокочита 2. Призматична 3. Столбеста 4. Хаотична							

АНЕКС 6 - ФИЗИЧКО-МЕХАНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ**Табела 6.1** Вредности на порозност на некои вообичаени карпи

Тип на почва или карпа	Максимална порозност (%)
хумус	> 50
песок и чакал	20 - 47
глина	> 40
цементиран песок	5 - 25
песочник	10 - 15
варовник (и мермер)	5
оолитски варовник	10
креда	до 50
магматски карпи	< 1.5
метаморфни карпи	Генерално, многу ниска

Табела 6.2 Инженерски својства на некои нераспаднати магматски карпи

Генеза	Карпа	Специфична тежина	Впивање на влага (%)	Јакост на притисок (MN/m ²)
длабински	гранит	2,6 - 2,7	0,3 - 0,8	100 - 240
	диорит	2,7 - 2,85	0,3 - 0,8	100 - 250
	габро	2,75 - 3,0	0,1 - 0,3	100 - 250
	ултрабазични вариетети	2,8 - 3,3	0,1 - 1,5	75 - 300
хипоабисални	порфирит	2,6 - 2,7	0,2 - 1,0	100 - 350
	долерит	2,7 - 2,9	0,1 - 0,7	120 - 300
	риолит	2,5 - 2,7	0,3 - 2,5	<100 - 280
вулкански	андезит	2,6 - 2,8	0,2 - 2,0	<100 - 350
	базалт	2,7 - 2,9	0,1 - 1,0	150 - 300

Табела 6.3 Инженерски својства на некои нераспаднати седиментни карпи

Карпа	Специфична тежина (густина)	Порозност (%)	Впивање на влага (%)	Јакост на притисок (MN/m ²)
конгломерат	2,5 - 2,8	1 - 20	-	-
песочник	1,9 - 2,6	5 - 25	<14,0	20 - 179
глинец	2,2 - 2,5	2 - 24	< 6,0	-
лапорец	2,0 - 2,4	10 - 35	< 6,0	5 - 100
тврд варовник	2,5 - 2,7	0 - 10	< 2,0	60 - 200
мек варовник	2,3 - 2,5	5 - 50	< 4,0	20 - 50
доломит	2,5 - 2,75	1 - 5	< 1,5	30 - 200

Табела 6.4 Инженерски својства на некои метаморфни карпи

Карпа	Специфична тежина	Порозност (%)	Впивање на влага (%)	Јакост на притисок (MN/m ²)
филит	2,6 - 2,8	0,1 - 0,5	< 0,5	70 - 200
шкрилец	2,6 - 2,8	0,1 - 1,5	< 1,5	50 - 150
гнајс	2,7 - 3,0	0,5 - 1,5	< 1,0	50 - 200
кварцит	2,6 - 2,7	0,1 - 0,5	< 0,5	150 - 300
мермер	2,4 - 2,7	0,5 - 3,0	< 1,0	70 - 150

НЕКОИ ИНЖЕНЕРСКИ ПАРАМЕТРИ НА КАРПЕСТИ МАСИ ОД МАКЕДОНИЈА И ОКОЛИНАТА

Табела 6.5 Физичко-механички својства на магматските карпи

Реден број	1	2	3	4	5
јакост на притисок (МПа)	221,9	278,0	227,0	81,0	252,0
јакост на свиткување (МПа)	12,7			13,0	24,3
отпорност на абење (cm ³ /50cm ²)	8,23	14,2	9,0	20,03	8,21
густина (kg/m ³)	2700	2710	2720	2650	2880
волуменска тежина (kg/m ³)	2650	2690	2670	2220	2860
порозност (%)	1,9	0,8	1,9	16,2	0,8
впивање на вода (%)	0,38	0,27	0,31	4,08	0,23

1. гранит – Књажевац, Р.Србија
2. гранодиорит <Кукул>Прилеп
3. тоналит - Нови Пазар, Р.Србија
4. андезитска лава - Нови Пазар, Р.Србија
5. габро – Јабланица, Р.Босна и Херцеговина

Табела 6.6 Физичко-механички својства на кластичните седименти

Реден број	1	2	3	4	5	6	7	8
јакост на притисок (МПа)	79,0	141,2	210,0	155,0	192,0	166,0	176,1	151,0
јакост на свиткување (МПа)	11,9	10,6		11,0	7,2	12,5	12,3	18,1
отпорност на абење (cm ³ /50 cm ²)	31,59	27,62	24,53	17,41	22,85	15,8	16,0	14,6
густина (kg/m ³)	2700	2700	2698	2740	2850	2727	2700	2709
волуменска тежина (kg/m ³)	2680	2680	2690	2610	2490	2691	2670	2681
порозност (%)	0,8	0,8	0,3	4,8	12,7	1,32	1,1	1,1
впивање на вода (%)	0,26	0,13	0,25	0,22	4,09	0,16	0,19	0,24

1. мермерна бреча <венчац плав> Пожега
2. мермерна бреча <император> Горна Баница, Гостивар
3. варовничка бреча <клењак> Посушје
4. варовничка бреча <румија> Бар
5. доломитска бреча <оклад> Брач
6. варовнички конгломерат <мултиколор> Сињ
7. варовнички конгломерат <розалит> Паков Село, Дрниш
8. биокалкаренит <јадран зелен> Долен Долац, Дугопоље

Табела 6.7 Физичко-механички својства на варовници

Реден број	1	2	3	4	5	6	7	8
јакост на притисок (МПа)	235,3	148,4	177,0	102,1	196,5	191,3	159,1	123,9
јакост на свиткување (МПа)	6,44	15,8	13,4		12,0	12,9	18,6	16,9
отпорност на абење (cm ³ /50cm ²)	36,3	15,5	14,0	16,05	19,8	30,9	20,76	22,05
густина (kg/m ³)	2850	2770	2711	2703	2740	2680	2750	2700
волуменска тежина (kg/m ³)	2710	2708	2682	2696	2659	2580	2520	2560
порозност (%)	5,0	2,3	1,1	0,26	3,0	3,8	7,7	5,2
впивање на вода (%)	0,6	0,1	0,24	0,15	0,64	1,17	2,32	0,95

1. доломит <слатина> Фоча
2. микритски варовник <лесно брдо> Љубљана
3. микритски варовник <кирмењак> Пореч
4. биомикрит <осоје> Посушје
5. онколитки варовник <канфанар> Канфанар
6. биомикрит <кликовача> Даниловград
7. доломитски варовник <сивац> Брач
8. биоспарит <купиново унито> Брач

Табела 6.8 Физичко-механички својства на некластични седименти

Реден број	9	10	11	12	13	14	15	16
јакост на притисок (МПа)	13,5	81,0		109,0	136,2	118,0	72,0	82,6
јакост на свиткување (МПа)	3,1		3,8	16,0	18,4	16,6	10,3	10,5
отпорност на абење (cm ³ /50 cm ²)	134,3	25,92	24,1	20,3	20,64	29,33	44,3	32,6
густина (kg/m ³)	2690	2700	2730	2685	2750	2700	2703	2730
волуменска тежина (kg/m ³)	1660	2480	2350	2680	2510	2500	2377	2550
порозност (%)	38,3	8,2	14,0	0,2	8,8	7,5	12,1	6,48
впивање на вода (%)	16,82	1,73	2,3	0,1	2,48	1,06	4,0	1,72

1. интрабиоспарит <бихаџит> Бихаџ
2. травертин <травертин Кучково> Скопје
3. травертин <травертин Матка> Скопје
4. мермерен оникс <оникс Мариово> Мариово, Прилеп
5. доломитски варовник <Сан Гиоргио> Брач
6. биоспарит <веселје фиорито> Пучишка
7. варовник <винкуран унито> Пула
8. биоспарит <височани унито> Дубровник

Табела 6.9 Физичко-механички својства на некои мермери

Реден број	1	2	3	4	5
јакост на притисок (МПа)	102,8	100,6	224,0	223,1	109,0
јакост на свиткување (МПа)		12,1			
отпорност на абење (cm ³ /50 cm ²)	29,61	29,67	38,0	19,6	30,0
густина (kg/m ³)	2710	2710	2880	2900	2750
волуменска тежина (kg/m ³)	2660	2690	2850	2860	2720
порозност (%)	1,9	0,8	1,1	1,4	1,1
впивање на вода (%)	0,16	0,26	0,19	0,06	0,12

Табела 6.10 Типични вредности на отскок (SHRV) на L-тип на Шмитов чекан за различни карпи

Карпа	SHRV _(L)	Извор
андезит	28-52	Dincer et al. (2004); Aydar & Goktan (1992)
базалт	35-58	Stacey et al. (1987); Dincer et al. (2004)
креда	10-29	Bell et al. (1999)
дијабаз	36-59	Stacey et al. (1987); Aydar & Goktan (1992)
доломит	40-60	Stacey et al. (1987); Sachpazis (1990)
габро	49	Xu et al. (1990)
гнајс	48	Stacey et al. (1987)
гранит	45-56	Stacey et al. (1987); Aydar & Goktan (1992)
гипс	30-44	Yilmaz & Sendir (2002)
варовник	16-59	Stacey et al. (1987)
мермер	31-47	Stacey et al. (1987); Aydar & Goktan (1992)
лапор	18-39	Aydar & Goktan (1992)
мудстоне	15	Xu et al. (1990)
перидотит	45	Aydar & Goktan (1992)
кварцит	39	Stacey et al. (1987)
сол	23	Stacey et al. (1987)
песочник	30-47	Stacey et al. (1987)
шкрилец	29-41	Stacey et al. (1987); Xu et al. (1990)
серпентинит	45	Xu et al. (1990)
туф	13-40	Stacey et al. (1987); Aydar & Goktan (1992); Dincer et al. (2004);

Табела 6.11 Вообичаени вредности за модул на еластичност на монолитни карпи
(според AASHTO, 1989)

Тип на карпа	Број на вредности	Број на видови на карпа	Модул на еластичност (GPa)			Стандардна девијација
			макс.	мин.	средна	
гранит	26	26	100	6,41	52,7	24,5
диорит	3	3	112	17,1	51,4	42,7
габро	3	3	84,1	67,6	75,8	6,69
дијабаз	7	7	104	69,0	88,3	12,3
базалт	12	12	84,1	29,0	56,1	17,9
кварцит	7	7	88,3	36,5	66,1	16,0
мермер	14	13	73,8	4,00	42,6	17,2
гнајс	13	13	82,1	28,5	61,1	15,9
глинец	11	2	26,1	2,41	9,58	6,62
шкрилец	13	12	69,0	5,93	34,3	21,9
филит	3	3	17,3	8,62	11,8	3,93
песочник	27	19	39,2	0,62	14,7	8,21
лапорец	5	5	32,8	2,62	16,5	11,4
филит	30	14	38,6	0,007	9,79	10,0
варовник	30	30	89,6	4,48	39,3	25,7
доломитит	17	16	78,6	5,72	29,1	23,7

Табела 6.12 Вообичаени вредности за Поасонов коефициент на монолити
(според AASHTO, 1989)

Тип на карпа	Број на вредности	Број на видови на карпа	Поасонов коефициент			Стандардна девијација
			макс.	мин.	средна	
гранит	22	22	0,39	0,09	0,20	0,08
габро	3	3	0,20	0,16	0,18	0,02
дијабаз	6	6	0,38	0,20	0,29	0,06
базалт	11	11	0,32	0,16	0,23	0,05
кварцит	6	6	0,22	0,08	0,14	0,05
мермер	5	5	0,40	0,17	0,28	0,08
гнајс	11	11	0,40	0,09	0,22	0,09
шкрилец	12	11	0,31	0,02	0,12	0,08
песочник	12	9	0,46	0,08	0,20	0,11
лапорец	3	3	0,23	0,09	0,18	0,06
глинец	3	3	0,18	0,03	0,09	0,06
варовник	19	19	0,33	0,12	0,23	0,06
доломитит	5	5	0,35	0,14	0,29	0,08

Табела 6.13. Базичен агол на внатрешно триење (ϕ_b) за различни типови на карпи
(според Бартон и Чобе, 1977)

карпа	ϕ_b во сува состојба (°)	ϕ_b во влажна состојба (°)
песочник	26-35	25-34
силтстоне	31-33	27-31
варовник	31-37	27-35
базалт	35-38	31-36
ситнозрнест гранит	31-35	29-31
крупнозрнест гранит	31-35	31-33
гнајс	26-29	23-26
слате	25-30	21
долерит	36	32
порфирит	31	31
глинец		27
амфиболит	32	

Табела 6.14 Јакостни својства на карпи

Тип на карпа	Вол.теж. во сува состојба T/M ³	Порозност (%)	Јакост на притисок во сува состојба МПа	Јакост на притисок (средна вредност) МПа	Јакост на притисок во заситена состојба МПа	Модул на еластичност GPa	Јакост на затегање МПа	Јакост на смолк. МПа	Агол на внат. триење φ
гранит	2,7	1	50-350	200		75	15	35	55
базалт	2,9	2	100-350	250		90	15	40	50
граувака	2,6	3	100-200	180	160	60	15	30	45
песочник-карбон	2,2	12	30-100	70	50	30	5	15	45
песочник-тријас	1,9	25	5-40	20	10	4	1	4	40
варовник-карбон	2,6	3	50-150	100	90	60	10	30	35
варовник-јура	2,3	15	15-70	25	15	15	2	5	35
креда (карпа)	1,8	30	5-30	15	5	6	0,3	3	25
глинец-карбон	2,3	10	10-50	40	20	10	1		30
лапорец-карбон	2,3	15	5-30	20	5	2	0,5		25
глина-креда	1,8	30	1-4	2		0,2	0,2	0,7	20
јаглен	1,4	10	2-100	30		10	2		
гипс	2,2	5	20-30	25		20	1		30
сол	2,1	5	5-20	12		5			
хорнфелс	2,7	1	200-350	250		80			40
мермер	2,6	1	60-200	100		60	10	32	35
гнајс	2,7	1	50-200	150		45	10	30	30
шкрилец	2,7	3	20-100	60		20	2		25
слате	2,7	1	20-250	90		30	10		25

Табела 6.15 Листа на типични вредности за брзини на еластични бранови V_p и V_s од Press, 1966

Материјал	V_p (m/s)	V_s (m/s)
алувиум	500-2100	
глина	1100-2500	
песок	200-2000	
гласијален тилл	400-1700	
песочник	1400-4500	
схале, слате	2300-4700	
варовник		
мек	1700-4200	
тврд	2800-6400	
кристалест	5700-6400	
доломитит	3500-6900	
гранит, гранодиорит	4600-6000	2800-3200
дијабаз	5800-6000	
габро	6400-6700	3400-3600
базалт	5400-6400	2700-3200
шкрилец	4200-4900	2500-3200
гнајс	3500-7500	3300-3700
вода	1450	
воздух	335	

АНЕКС 7 - КЛАСИФИКАЦИИ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

КЛАСИФИКАЦИЈА НА ПАРАМЕТРИ СПОРЕД КОМИСИЈАТА НА МЕЃУНАРОДНОТО ДРУШТВО ЗА ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА (IAEG)

Во светската практика најмногу се употребува класификацијата која е предложена од Комисијата на Меѓународното друштво за инженерска геологија (IAEG). Оваа комисија во 1976 година подготвила т.н. „Водич за подготовка на инженерскогеолошки карти“, издаден од страна на UNESCO. Параметрите за класификација се користат за поделба на класите на карпи, главно за потреби на еднозначен опис и рангирање при изработка на инженерскогеолошките карти. Во следните табели се прикажани различни **класификациски, индиректни и директни параметри** за класи дефинирани од IAEG .

Табела 7.1 Класи на карпи според големина на зрната

Големина на зрно		
Класа	Гранични вредности (mm)	Описен термин
1	>60	грубозрни
2	60- 2	крупни зрна
3	2-0,06	среднозрни
4	0,06 -0,002	ситнозрни
5	<0,002	многу ситнозрни

Табела 7.2 Класи на карпи според форма на зрната

Форма на зрна	
а. заобленост на зрната	аглести; полуаглести; полузаоблени; заоблени
б. форма	рамномерна форма; сплескани; издолжени; сплескани и издолжени; со неправилна форма
в. површинска текстура	рапава; нерамна; глатка

Табела 7.3 Термини за одредување нијанси и боја на карпите

Боја		
Осветленост	Нијанса	Боја
светла	виолетова црвенкаста жолтеникава	виолетова црвена жолта
темна	кафеавкаста зеленкаста синкаста сивкаста	кафеава зелена сина сива црна

Табела 7.4 Класификација на растојанијата на пукнатините и степен на испуканост

Степен на испуканост			
Класа	Растојание меѓу пукнатините (mm)	Опис	Степен на испуканост на карпите
1.	>2000	многу големо растојание;	многу слабо испукани;
2.	2000 - 600	големо растојание;	слабо испукани;
3.	600 -200	средно растојание;	средно испукани;
4.	200- 60	мало растојание;	многу испукани;
5.	<60	многу мало растојание;	многу силно испукани.

Табела 7.5 Категорија по степен на распаднатост на карпите

Класа	Степен на распаднатост (%)	Опис
1.	0 - 25	слабо распаднати
2.	25 - 50	умерено распаднати
3.	50 - 75	многу распаднати
4.	75 - 100	целосно распаднати
5.	100	резидуална почва

Табела 7.6 Релативна збиеност на песокот и чакалот

Класа	Релативна збиеност (D_r -%)	Опис
1.	<20	многу растресити
2.	20 - 33	растресити
3.	33 - 66	умерено растресити
4.	66 - 90	збиени
5.	90 - 100	многу збиени

Табела 7.7 Класификација на карпите според јакоста на притисок на монолит

Класа	Јакост на притисок σ_p (МПа)	Опис
1.	1.5 - 15	слаба карпа
2.	15 - 50	умерено цврста
3.	50 - 120	цврста
4.	120 - 230	многу цврста
5.	>230	исклучително цврста

Табела 7.8 Класификација на слабоврзани почви врз основа на конзистенција, дефинирање преку теренска идентификација

Класа	Опис	Теренски показатели	Приближна недренирана јакост на смолкнување τ (kPa)
1.	многу мека	се ослободува вода кога примерокот ќе се згмечи меѓу прсти;	<20
2.	мека	лесно се гмечи под прстите;	20 - 40
3.	тврда	може да се гмечи под прстите под јак притисок;	40 - 75
4.	крта	не може да се гмечи;	75 - 150
5.	многу крта	кршлив или многу крт примерок	>150

Табела 7.9 Деформабилност на цврстоврзани и меки карпи

Класа	Модул на деформабилноста D (МПа * 10^3)	Опис
1.	<5	многу висока
2.	5 - 15	висока деформабилност
3.	15 - 35	средна деформабилност
4.	35 - 60	ниска деформабилност
5.	>60	многу ниска

Табела 7.10 Класи на карпи според водопропустливоста

Класа	Коефициент на филтрација K (m/s)	Опис
1.	< 10^{-2}	многу висока
2.	10^{-2} - 10^{-4}	висока
3.	10^{-4} - 10^{-5}	средна
4.	10^{-5} - 10^{-7}	ниска
5.	10^{-7} - 10^{-9}	многу ниска
6.	> 10^{-9}	практично водонепропустливи

Табела 7.11 Класи според волуменска тежина за почви и карпи

Класа	Волуменска тежина (kN/m^3)		Опис
	Почва	Карпа	
1.	<14	<18	многу ниска
2.	14-17	18-22	ниска
3.	17-19	22-25,5	средна
4.	19-22	25,5- 27,5	висока
5.	>22	>27,5	многу висока

Табела 7.12 Класификација според порозноста

Класа	Цврсти и меки карпи		Почви		Опис
	Коефициент на порозност (%)	Порозност n (%)	Коефициент на порозност (%)	Порозност n (%)	
1.	>0,43	>30	>1,00	>50	многу висока
2.	0,43 – 0,18	30 - 15	1,00 – 0,80	50 - 45	висока
3.	0,18 – 0,05	15 - 5	0,80 – 0,55	45 - 35	средна
4.	0,05 – 0,01	5 - 1	0,55 – 0,43	35 - 30	ниска
5.	0,01	<1	< 0,43	<30	многу ниска

Табела 7.13 Класификација на карпите по степен на заситеност со вода (S)

Класа	Степен на водозаситеност (%)	Опис
1.	0 – 0,25	природно суво
2.	0,25- 0,50	влажно
3.	0,50 – 0,80	многу влажно
4.	0,80 – 0,95	многу водозаситено
5.	0,95 – 1,00	целосно водозаситено

Табела 7.14 Класи на карпи според брзини на надолжни еластичните бранови

Класа	Брзина на еластични бранови $V_p(\text{m/s})$	Опис
1.	<2500	многу мала
2.	2500 - 3500	мала
3.	3500 - 4000	средна
4.	4000 - 5000	голема
5.	>5000	многу голема

Табела 7.15 Класи на почви според индексот на пластичност

Класа	Индекс на пластичност I_p (%)	Опис
1.	<1	нема пластичност
2.	1 - 7	ниска пластичност
3.	7 - 17	средна пластичност
4.	17 - 35	висока пластичност
5.	>35	многу висока пластичност

КЛАСИФИКАЦИЈА СПОРЕД ИНДЕКС НА КВАЛИТЕТ (Q)

Табела 7.16 Класификација на индивидуалните параметри, кои се употребуваат во пресметка на индексот на квалитет на карпеста маса-Q (по Бартон и др. 1974)

Опис	Вредност	Забелешки
1. Показател на квалитет на карпеста маса RQD %	RQD	1. Ако RQD е пресметан или добиен со вредност ≤ 10 , се усвојува номинална вредност од RQD=10 при пресметка на Q 2. Интервали за RQD од 5%, (на пример 100, 95, 90) се доволно прецизни за пресметка
А. многу слаба	0-25	
Б. слаба	25-50	
В. поволна	50-75	
Г. добра	75-90	
Д. многу добра	90-100	
2. Параметар за број на системи на пукнатини	J _n	1. За места на пресеци на подземни отвори, се употребува (3xJ _n) 2. За портали се употребува (2xJ _n)
А. масивна карпеста маса, без системи или по некоја случајна пукнатина	0.5-1	
Б. еден пукнатински систем	2	
В. еден систем плус некоја случајна пукнатина	3	
Г. два пукнатински системи	4	
Д. два системи плус случајни пукнатини	6	
Е. три пукнатински системи	9	
Ж. три пукнатински системи плус случајни пукнатини	12	
З. четири или повеќе системи, случајни пукнатини, многу испукана кареста маса,	15	
3. здробена карпеста маса, до степен на почва	20	
3. Показател за рапавост на пукнатините	J _r	Напомена: 1. Се додава 1 ако средното растојание меѓу релевантниот систем на пукнатини е поголемо од 3m 2. J _r = 0,5 може да се употреби во случаи на мазни и глатки пукнатини кои имаат линеација ако линеацијата е ориентирана, така што овозможува услови за минимална јакост
а. Контакт на сидовите на пукнатините		
б. Контакт на сидовите пред смолкнување од 10 см		
А. дисконтинуални (прекинати) пукнатини	4	
Б. рапави и нерегуларни, брановидни	3	
В. рамни и брановидни	2	
Г. мазни и брановидни	1,5	
Д. рапави и неправилни, планарни	1,5	
Е. рамни, планарни	1	
В. мазни и планарни	0,5	
в. Нема контакт меѓу сидови при смолкнување		
Ж. зони кои содржат глиновити минерали, со доволно дебелина да оневозможат контакт меѓу сидовите	1	
З. песокливо чакалеста зона, доволно дебела да оневозможи контакт меѓу сидовите	1	
4. Показател за изменетост на пукнатините	J _a	агол на триење ϕ_r (приближно)
а. Контакт на сидовите		
А. цврсто стиснати, со тврд наполнител на пример кварц или епидот	0,75	-
Б. неизменети пукнатински површини, со појава само на слаба површинска измена	1	25-35°
В. слабо изменети пукнатински површини, без обвивка од меки минерали, со песокливи честици, без глина и слично	2	25-30°

Опис	Вредност	Забелешки
Г. превлаки од песоков или песоков-прашинест материјал со слабо присуство на глиновита фракција	3	20-25°
Д. меки или глиновити минерали со слаб отпор при триење, како каолинит, хлорит, талк, гипс, графит, со мало присуство на глини кои бабрат (дебелина на превлаките 1-3 mm)	4	8-16°
Б. Со допир на сидовите на карпата пред смолкнување до 10 cm		
Г. ситна распадина од карпата, без глина	4	25-30°
Е. јак прекоконсолидиран тврд глинено-минерален заполнител (континуиран, дебелина < 5 mm)	6	16-24°
Ж. Средно или ниско прекоконсолидиран мек глинесто-минерален заполнител (континуиран, дебелина < 5 mm)	8	12-16°
З. Заполнител од глина која што бабри - монтморионит (континуиран, дебелина < 5 mm), Вредноста на Ја зависи од процентот на глинената фракција и можноста за впивање на вода	8-12	6-12°
В. Кога нема допир на сидовите на карпата при смолкнување		
С, И, Ј. зона во која карпестата маса е интензивно физичко-хемиски изменета (здробена карпеста маса или глина, види Е, Ж, З за опис на квалитет на глината)	6, 8 или 8-12	6-24°
К. зона на заглинета ситна дробина, мало количество на глинената фракција која не е мека	5	-
Л, Љ. голема континуирана зона на глина (види Е, Ж, З за опис на квалитет на глината)	10, 13 или 13-20	6-24°
Б. Фактор за редуција заради влијание на водата	Jw	Приближен притисок од вода (MPa)
А. ископи во суво или помал доток на вода т.е. < 5 l/min локално	1	<0,1
Б. среден доток на вода или притисок во повремено заситени пукнатини со вода	0,66	0,1-0,25
В. голем доток на вода или висок притисок во карпеста маса со незаполнети пукнатини	0,5	0,25-1
Г. голем доток или притисок на вода, со знатна презаситеност на пукнатинскиот заполнител	0,33	0,25-1
Д. посебно зголемен доток или притисок од вода во тек на минирање кој во тек на време опаѓа	0,2-0,1	>1
Е. посебно зголемен доток или притисок од вода кој трае без нагласено опаѓање	0,1-0,05	>1
Забелешки:		
(I) Факторите В до Г се груби проценки, така што ако постојат дренажи, да се зголеми Jw		
(II) Специјални проблеми, кои настануваат со формирање на мраз, не се разгледувани		
Б. Фактор за редуција на напонот	SRF	
а. Ослабени зони го пресекуваат ископот, а можат да поредизвикаат негова нестабилност		
А. повеќе слаби зони што содржат глина или хемиски изменета карпеста маса, (без разлика на длабина)	10	1. Да се намалат овие вредности за 25-50 % ако релевантните зона на смолкнување само влијаат, но не го пресекуваат ископот
Б. одделни слаби зони, кои содржат глина или хемиски изменета карпа (длабина на ископ <50 m)	5	
В. одделни слаби зони, кои содржат глина или хемиски изменета карпа (длабини на ископ >50 m)	2.5	
Г. повеќе зони на смолкнување во дадена карпеста маса (без глина со слаба околна карпеста маса без разлика на длабина)	7.5	

ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА

Опис	Вредност			Забелешки
Д. одделни зони на смолкнување (без глина, длабина на ископ <50 m)	SRF			
	5,0			
Г. одделни зони на смолкнување (без глина, длабина на ископ >50 m)	2,5			
Е. отворени пукнатини, силно испукана карпеста маса во блокови (без разлика на длабина)	5			
б. Цврста компактна карпеста маса, проблеми на јакост				
	σ_p/σ_1	σ_2/σ_1	SRF	2. За јако анизотропно поле на напонот (ако се мери) кога $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, да се редуцираат σ_p и σ_z до 0.8; Кога $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, да се редуцираат σ_p и σ_z до 0.6; σ_p - јакост на притисок; σ_z - јакост на затегање; σ_1 - главен нормален напон; σ_3 - минимален нормален напон. 3. Кога дебелината на надслојот е помала од ширината на тунелот, SRF да се зголеми од 2,5 на 5 (види Ж).
Ж. низок напон, блиску до површина	>200	>13	2,5	
З. среден напон	200-10	13-0,66	1,0	
С. висок напон, многу цврста структура (обично поволна за стабилност, поретко неповолна за стабилноста на ѕидовите)	10-5	0,66-0,33	0,5-2	
И. масивна карпа со слаба можност за горски удар	5-2,5	0,33-0,16	5-10	
Ј. масивна карпа со висока можност за горски удар	<2,5	<0,16	10-20	
в. Интензивно физичко-хемиски изменети карпи, пластично течење на карпата дури и при слаби до средни притисоци				
К. Слаби подземни притисоци	5-10			
Л. Јаки подземни притисоци	10-20			
г. Карпа која бабри, активност на бабрењето зависи од присуството на вода				
Љ. слаби притисоци заради бабрење на карпата	5-10			
М. јаки притисоци заради бабрење на карпата	10-15			
Дополнителни генерални забелешки за употреба на претходните табели				
При проценката на вредноста на Q индексот, покрај деталните забелешки од табелата, би требало да се следат и следните препораки:				
1. Кога не е достапно јадро од дупнатини, RQD може да се пресмета преку бројот на пукнатини на единица волумен, каде, се сумира бројот на сите пукнатини на метар должен од сите пукнатински системи. Се користи следната формула за случај на карпести маси без глина: $RQD=115-3.3xJv$ (приближно), каде што: Jv =вкупен број на пукнатини на m^3 (RQD=100 за $Jv<4.5$).				

2. Параметарот J_n го претставува бројот на пукнатински системи често ќе зависи од фолијацијата, шкрилавоста, слоевитоста и др. Доколку се изразито развиени овие паралелни „пукнатини“ треба да се бројат како пукнатински систем. Меѓутоа, доколку само мал дел од ваквите „пукнатини“ е видлив, или се ретки во јадрото, тогаш при пресметката на J_n посоодветно би било да се сметаат како „случајни пукнатини“.
3. Параметрите J_r и J_a (кои ја репрезентираат јакоста на смолкнување) треба да бидат релевантни на најслабиот пукнатински системи или дисконтинуитетите пополнети со глина во дадената зона. Меѓутоа, доколку пукнатинскиот систем со најниска вредност на (J_r/J_a) е повољно ориентиран во поглед на стабилноста, тогаш вториот, помалку повољно ориентиран пукнатински систем или дисконтинуитет понекогаш може да биде позначаен, а неговата повисока вредност на J_r/J_a треба да се користи при пресметката на Q .
4. Кога карпестата маса содржи глина, треба да биде пресметан фактор SRF кој е соодветен на оптоварувањата од растресена зона. Во такви случаи јакоста на монолитот е од мал интерес. Меѓутоа, кога испуканоста е минимална и глината е целосно отсутна, јакоста на монолитот може да претставува најслаба врска и стабилноста, тогаш ќе зависи од односот карпа-напрегања/карпа-јакост. Силно анизотропно поле на напрегања е неповолно во поглед на стабилноста и за истото е дадена редукција (забелешката 2 во табелата за одредување на SRF).
5. Јакоста на притисок и затегање (σ_p и σ_z) на монолит треба да бидат пресметани во заситена состојба доколку тоа е соодветно за постигнување на сегашните или идни состојби „in situ“. Многу конзервативна пресметка на јакоста треба да се направи за карпите кои, при влажење или заситена состојба, се распаѓаат многу лесно.

Табела 7.17 Класификација на карпести маси за оценка на можност за риперување според Weaver 1975 (Rippability rating chart)

Параметар за класификација	Класа I (многу добра карпа)	Класа II (добра карпа)	Класа III (поволна карпа)	Класа IV (слаба карпа)	Класа V (многу слаба карпа)
брзина на Vp бранови (m/s)	>2150	2150-1850	1850-1500	1500-1200	1200-450
Поени	26	24	20	12	5
јакост на притисок (MPa)	>70	20-70	10-20	3-10	1,7-3
Поени	10	5	2	1	0
распаднатост	без измени (нераспадната)	слабо изменета	изменета	високоизменета	целосно распадната
Поени	9	7	5	3	1
растојание меѓу пукнатини (mm)	>3000	3000-1000	1000-300	300-50	<50
Поени	30	25	20	10	5
континуираност на пукнатини	неконтинуирани	слабо континуирани	континуирани без наполнител	континуирани со слабо присуство на наполнител	континуирани со наполнител
Поени	6	5	3	0	0
заполнител	без отвор (стиснати)	слабо изразен отвор	отвор <1 mm	заполнител <5 mm	заполнител >5 mm
Поени	5	5	4	3	1
ориентација на дисконтинуитети	многу неповолна	неповолна	релативно неповолна	поволна	многу поволна
Поени	15	13	10	5	3
вкупен рејтинг	100-90	90-70	70-50	50-25	<25
оценка за можност за риперување	минирање	екстремно тешко риперување и минирање (*)	многу тешко риперување	тешко риперување	лесно риперување

*. За случаи на поголема вредност од 75 не може да се риперуват без употреба на претходно минирање со растресување

Табела 7.18 Класификационен систем за риперување (Rippability Classification Chart Singh, 1987)

Параметар	Класа 1	Класа 2	Класа 3	Класа 4	Класа 5
јакост на притисок (MPa)	<2	2-6	6-10	10-15	>15
Поени	0-3	3-7	7-11	11-14	14-17
распаднатост	целосна	висока	средна	слаба	нераспадната
Поени	0-2	2-6	6-10	10-14	14-18
брзина на еластични бранови (m/s)	400-1100	1100-1600	1600-1900	1900-2500	>2500
Поени	0-6	6-10	10-14	14-18	18-25
абразивност	многу мала	мала	средна	висока	екстремна
Поени	0-5	5-9	9-13	13-18	18-22
растојание меѓу пукнатини (m)	<0,06	0,06-0,3	0,3-1	1-2	>2
Поени	0-7	7-15	15-22	22-28	28-33
Вкупен рејтинг	<30	30-50	50-70	70-90	>90
проценка за можност за риперување	лесно	средно	тешко	многу тешко	минирање

Табела 7.19 Модификација на RMR класификација за косини (т.н. SMR-Slope Mass Rating), според Romana, 1985)

А. Параметри за класификација и нивни рејтинг								
Параметар		Дијапазон на вредностите						
1. јакост на монолитните делови	индекс на јакост J_s (MPa)	>10	4-10	2-4	1-2	за ниски вредности еднооксијалната јакост е попогодна		
	јакост на притисок σ_p (MPa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
поени		15	12	7	4	2	1	0
2. показател на квалитет RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
поени		20	17	13	8	3		
Параметар		Дијапазон на вредностите						
3. растојание меѓу пукнатини		>2 m	0.6-2m	0.2-0.6 m	60-200 mm	<60 mm		
поени		20	15	10	8	5		
4. состојба на пукнатините		многу рапави пукнатини; неконтинуирани; без отвор; свежи пукнатински ѕидови	брановидни пукнатински површини; отвор < 1mm слабо изменети пукнатински ѕидови	брановидни пукнатински површини; отвор < 1mm; силно изменети пукнатински ѕидови	равни и глатки пукнатински површини или наполнител со дебелина < 5 mm или отвор на пукнатините 1-5 mm континуирани	мек наполнител >5 mm дебелина или отвор >5 mm континуирани		
поени		30	25	20	10	0		
5. состојба на подземна вода		генерална состојба	целосно суво	слабо провлажување	влажно	капење	течење	
поени		15	10	7	4	0		
Б. Поправка заради ориентација на пукнатините								
Случај на лом		Многу поволна	Поволна	Добра	Неповолна	Многу неповолна		
рамнински лом (P)	(a_1-a_s)	>30	30-20	20-10	10-5	<5		
превртување (П)	(a_1-a_s-180)	>30	30-20	20-10	10-5	<5		
Р/П	F_1	0,15	0,4	0,7	0,85	1		
Р	(b_1)	<20	20-30	30-35	35-45	>45		
Р	F_2	0,15	0,4	0,7	0,85	1		
П	F_2	1	1	1	1	1		
Р	b_1-b_s	>10	10-0	0	0-(-10)	<-10		
П	b_1-b_s	<110	110-120	>120				
Р/П	F_3	0	-6	-25	-50	-60		

ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА

В. Поправка за начин на ископ на косините					
Метод на ископ	Природна косина	Пресплит минирање (претходно оконтуривање)	Глатко минирање	Вообичаено минирање	Многу лошо минирање
фактор на поправка F4	+15	+10	+8	0	-8
$SMR=RMR-(F_1*F_2*F_3)+F_4$					
Опис на SMR класи					
Класа бр.	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
опис	многу слаба карпа	слаба карпа	поволна карпа	добра	многу добра
стабилност	многу нестабилна	нестабилна	делумно стабилна	стабилна	целосно стабилна
начин на лом	големи планарни ломови или во вид на почва	рамнински лом или големи клинови	лом вдолж некои од пукнатини или неколку клинови	само некои блокови	без појава на лом
Подград- ување	растеретување или целосен ископ	корективни мерки од голем обем	систематски подградување	повремено подградување	без подграда

Забелешки од табелата:

a_s-насока на пад на косина;

b_s-паден агол на косина;

a₁-насока на пад на пукнатина;

b₁-паден агол на пукнатина;

F₁-фактор за поправка кој се однесува на степен на паралелност меѓу косината и протегањето на дисконтинуитетот;

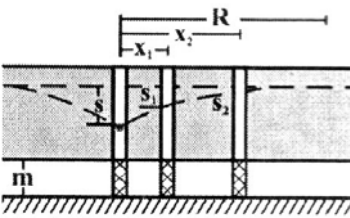
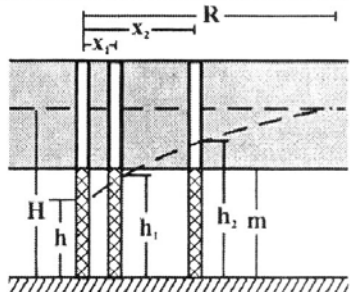
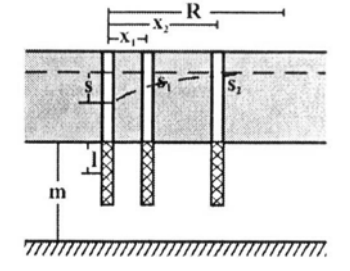
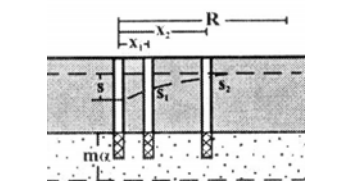
F₂-фактор што се однесува на падниот агол на дисконтинуитетот во однос на наклонот на рамнината на лом (можен тип на лом);

F₃-фактор што се однесува на односот меѓу паден агол на косината и пукнатината;

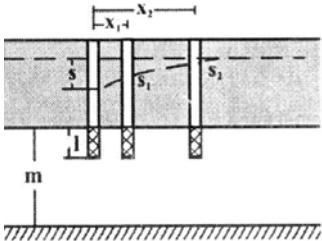
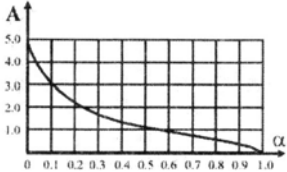
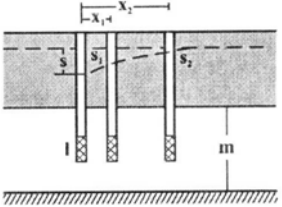
F₄-фактор за поправка во зависност од методот на ископ.

АНЕКС 8 - ОБРАСЦИ ЗА ХИДРОГЕОЛОШКИ ПРЕСМЕТКИ

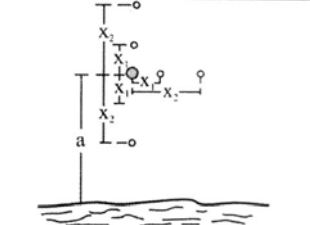
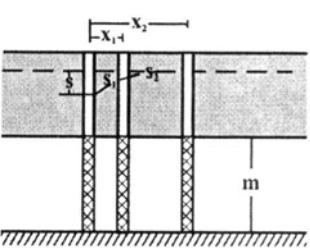
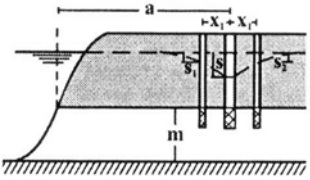
8.1. Обрасци за одредување на коефициентот на филтрација при стационарни услови на филтрација кај издан со ниво под притисок без директно влијание на површинските води

Шема за пресметка	Автор и формула	Забелешка
	а) совршен бунар $k = \frac{0.366Q \lg \frac{x_2}{x_1}}{m(s_1 - s_2)}$ (Dupuit)	два набљудувачки бунари или пиезометри
	$k = \frac{0.366Q \lg \frac{x_1}{r}}{m(s - s_1)}$ (Dupuit)	еден набљудувачки бунар или пиезометар
	$k = \frac{0.366Q \lg \frac{R}{r}}{m \cdot s}$ (Dupuit)	без набљудувачки бунар
	$k = \frac{0.733Q \lg \frac{x_2}{x_1}}{(2h_2 - m) \cdot m - h_1^2}$ (Dupuit)	два набљудувачки бунари; во првиот динамичкото ниво на изданот делумно е слободно
	$k = \frac{0.733Q \lg \frac{R}{r}}{(2H - m) \cdot m - h^2}$ (Dupuit)	без набљудувачки бунари; случај ако во времето на црпењето динамичкото ниво е пониско од повлатата на водоносниот слој
	б) несовршен бунар $k = \frac{0.366Q \lg \frac{x_2}{x_1}}{m(s_1 - s_2)} \cdot \frac{1}{b}$ (Dupuit)	два набљудувачки бунари или пиезометри
	$k = \frac{0.366Q \lg \frac{x_1}{r}}{m(s - s_1)} \cdot \frac{1}{b}$ (Dupuit)	еден набљудувачки бунар или пиезометар
	$k = \frac{0.366Q \lg \frac{R}{r}}{m \cdot s} \cdot \frac{1}{b}$ (Dupuit)	без набљудувачки бунар $b = \sqrt{\frac{1}{m}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2m-1}{m}}$
	$k = \frac{0.366Q \lg \frac{x_2}{x_1}}{m_\alpha(s_1 - s_2)} \cdot \frac{1}{b}$ (Dupuit)	два набљудувачки бунари или пиезометри

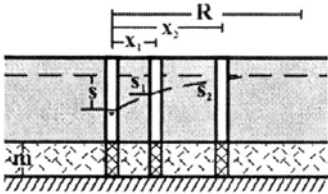
ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА

	$k = \frac{0.16Q}{1 \cdot (s_1 - s_2)} \cdot \left(\operatorname{ar sinh} \frac{1}{x_1} - \operatorname{ar sinh} \frac{1}{x_2} \right)$ <p>(Girinski)</p>	<p>два набљудувачки бунари $1 < 0.3m$ $x_2 < 0.3m$ $x_1 < 0.3m$</p>
	$k = \frac{0.366Q}{l \cdot s} \lg \frac{1.61}{r}$ <p>(Girinski)</p>	<p>без набљудувачки бунар $1 < 0.3m$ филтерот со горниот дел ја допира повлатата на водоносниот хоризонт</p>
	$k = \frac{0.08Q}{l \cdot (s_1 - s_2)} \cdot \left[\left(\operatorname{ar sinh} \frac{0.41}{x_1} + \operatorname{ar sinh} \frac{1.61}{x_1} \right) \cdot \left(\operatorname{ar sinh} \frac{0.41}{x_2} + \operatorname{ar sinh} \frac{1.61}{x_2} \right) \right]$ <p>(Girinski)</p>	<p>два набљудувачки бунари $1 < 0.3m$ $x_2 < 0.3m$</p>
	$k = \frac{0.08Q}{l \cdot (s_1 - s_2)} \cdot \left[4.6 \lg \frac{1.61}{r} - \left(\operatorname{ar sinh} \frac{0.41}{x_1} + \operatorname{ar sinh} \frac{1.61}{x_1} \right) \right]$ <p>(Girinski)</p>	<p>еден набљудувачки бунар $1 < 0.3m$ $x_1 < 0.3m$</p>

8.2 Обрасци за одредување на коефициентот на филтрација при стационарни услови на филтрација во издан со ниво под притисок во услови на постоење на хидрауличка врска со површинските води

Шема за пресметка	Автор и формула	Забелешка
	<p>а) совршен бунар</p> $k = \frac{0.366Q}{m(s_1 - s_2)} \lg \frac{x(2a \pm x_1)}{x(2a \pm x_2)}$ <p>(Образец на Forchheimer, дополнет од Babuskin)</p>	<p>два набљудувачки бунари поперечно на реката; знак (-) се зема кога бунарите за набљудување се наоѓаат помеѓу бунарот и реката, а (+) кога тие се наоѓаат од другата страна на бунарот</p>
	$k = \frac{0.366Q}{m \cdot s_1} \lg \frac{2a \pm x_1}{x_1}$	<p>еден набљудувачки бунар знак (-) се зема кога бунар за набљудување се наоѓа меѓу реката и бунарот, а (+) кога тој бунар се наоѓа од другата страна на бунарот</p>
	$k = \frac{0.366Q}{m(s_1 - s_2)} \left(0.5 \lg \frac{4a^2 + x_1^2}{4a^2 + x_2^2} + \lg \frac{x_2}{x_1} \right)$ <p>(Образец на Forchheimer, дополнет од Babuskin)</p>	<p>два набљудувачки бунари групата на бунари и набљудувачките бунари се паралелни на реката</p>
	$k = \frac{0.366Q}{m \cdot s} \lg \frac{\sqrt{4a^2 - x_1^2}}{x_1}$ <p>(Образец на Forchheimer, дополнет од Babuskin)</p>	<p>еден бунар за набљудување; групата на бунари и бунарот за набљудување се паралелни на реката</p>
	$k = \frac{0.366Q \lg \frac{2a}{r}}{m \cdot s}$ <p>(Образец на Forchheimer, дополнет од Babuskin)</p>	<p>без набљудувачки бунари</p>
	<p>б) несовршен бунар</p> $k = \frac{0.16Q}{1 \cdot s_1} \left(\operatorname{ar sinh} \frac{1}{x_1} - \operatorname{ar sinh} \frac{1}{2a \pm x_1} \right)$ <p>(Babuskin)</p>	<p>еден бунар за набљудување; линијата поперечно на текот на реката; ако набљудувачкиот бунар се наоѓа меѓу бунарот и реката се зема 2a-x односно 2a+x кога набљудувачки бунар е на спротивната страна a>m x1<0.3m</p>
	$k = \frac{0.16Q}{1 \cdot s_1} \left(\operatorname{ar sinh} \frac{1}{x_1} - \operatorname{ar sinh} \frac{1}{\sqrt{4a^2 + x_1^2}} \right)$ <p>(Babuskin)</p>	<p>еден бунар за набљудување паралелен на реката x1<0.3m a>m</p>
$k = \frac{0.16Q}{1 \cdot s} \left(2.3 \lg \frac{1.321}{r} - \frac{1}{2a} \right)$ <p>(Babuskin)</p>	<p>без набљудувачки бунари a>21</p>	

8.3. Образец за одредување на коефициентот на филтрација во рамки на издан со ниво под притисок, бунар оддалечени од површинските води

Шема за пресметка	Автор и формула	Забелешка
	<p>а) совршен бунар</p> $k = \frac{0.16Q\sqrt{x_2 - x_1}}{m\sqrt{x_2x_1}(s_1 - s_2)}$ <p>(Krasnopolski)</p>	<p>два набљудувачки бунари</p>
	$k = 0.275Q\sqrt{\frac{\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2}}{3hm^2 - 2m^3 - h_1^2}}$ <p>(Skabalanovic)</p>	<p>два набљудувачки бунари; во првиот динамичкото ниво е под водонепропусната повлата</p>
	$k = \frac{0.16Q\sqrt{x_1 - r}}{m\sqrt{x_1r}(s - s_1)}$ <p>(Krasnopolski)</p>	<p>еден набљудувачки бунар</p>
	$k = \frac{0.16Q\sqrt{R - r}}{m\sqrt{Rrs}}$ <p>или кога r е многу мало во однос на R</p> $k = \frac{0.16Q}{m\sqrt{rs}}$ <p>(Krasnopolski)</p>	<p>без набљудувачки бунар</p>
	$k = 0.275Q\sqrt{\frac{\frac{1}{r} - \frac{1}{R}}{3hm^2 - 2m^3 - h^3}}$ <p>(Skabalanovic)</p>	<p>без набљудувачки бунар; динамичкото ниво е под водонепропусната повлата</p>

8.4 Обрасци за одредување на коефициентот на филтрација за стационарни услови на филтрација во издан со слободно ниво во отсуство на хидраулична врски со површинските води

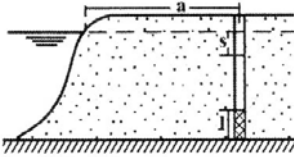
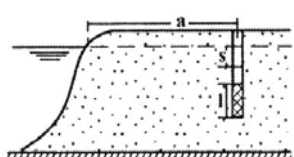
Шема за пресметка	Автор и формула	Забелешка
	а) совршен бунар $k = \frac{0.733Q \lg \frac{x_2}{x_1}}{h_2^2 - h_1^2}$ (Dupuit)	два набљудувачки бунари или пиезометри
	$k = \frac{0.733Q \lg \frac{x_1}{r}}{h_1^2 - h^2}$ (Dupuit)	еден набљудувачки бунар или пиезометар
	$k = \frac{0.733Q \lg \frac{R}{r}}{H^2 - h^2}$ (Dupuit)	без набљудувачки бунар
	б) несовршен бунар $k = \frac{0.733Q \lg \frac{x_2}{x_1} \cdot \frac{1}{b}}{h_2^2 - h_1^2}$ (Dupuit)	два набљудувачки бунари или пиезометри
	$k = \frac{0.733Q \lg \frac{x_1}{r} \cdot \frac{1}{b}}{h_1^2 - h^2}$ (Dupuit)	еден набљудувачки бунар или пиезометар
	$k = \frac{0.733Q \lg \frac{x_2}{x_1} \cdot \frac{1}{b}}{(2H\alpha - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)}$ (Dupuit)	два набљудувачки бунари или пиезометри
	$k = \frac{0.733Q \lg \frac{x_1}{r} \cdot \frac{1}{b}}{(2H\alpha - s - s_1)(s - s_1)}$ (Dupuit)	еден набљудувачки бунар или пиезометар
	$k = \frac{0.733Q \lg \frac{R}{r} \cdot \frac{1}{b}}{H\alpha^2 - h\alpha^2}$ (Dupuit)	без набљудувачки бунар $h\alpha = H\alpha - s$ $b = \sqrt{\frac{1}{h}} \sqrt{\frac{2h\alpha - 1}{h\alpha}}$

ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА

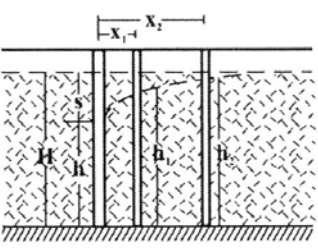
	$k = \frac{0.16Q}{1 \cdot (s_1 - s_2)} \left(\operatorname{ar\,sinh} \frac{1}{x_1} - \operatorname{ar\,sinh} \frac{1}{x_2} \right)$ <p>(Babuskin)</p>	два набљудувачки бунари $1 < 0.3H$ $x_2 < 0.3H$
	$k = \frac{0.16Q}{1 \cdot (s - s_1)} \left(2.3 \operatorname{lg} \frac{1.321}{r} - \operatorname{ar\,sinh} \frac{1}{x_1} \right)$ <p>(Babuskin)</p>	еден набљудувачки бунар $1 < 0.3H$ $x_1 < 0.3H$
	$k = \frac{0.366Q}{1 \cdot s} \operatorname{lg} \frac{1.321}{r}$ <p>(Babuskin)</p>	без набљудувачки бунари $1 < 0.3H$
	$k = \frac{0.16Q}{1 \cdot (s_1 - s_2)} \left(\operatorname{ar\,sinh} \frac{1}{2x_1} - \operatorname{ar\,sinh} \frac{1}{2x_2} \right)$ <p>(Girinski, Babuskin)</p>	два набљудувачки бунари $1 < 0.3H$ $c = 0.3 - 0.4H$
	$k = \frac{0.16Q}{1 \cdot (s_1 - s_2)} \left(2.31 \operatorname{lg} \frac{0.661}{r} - \operatorname{ar\,sinh} \frac{1}{2x_1} \right)$ <p>(Girinski, Babuskin)</p>	еден набљудувачки бунар $1 < 0.3H$ $c = 0.3 - 0.4H$
	$k = \frac{0.366Q}{1 \cdot s} \operatorname{lg} \frac{0.661}{r}$ <p>(Girinski, Babuskin)</p>	без набљудувачки бунари $1 < 0.3H$ $c = 0.3 - 0.4H$
	$k = \frac{0.16Q}{1 \cdot (s_1 - s_2)} \left(\operatorname{ar\,sinh} \frac{1}{x_1} - \operatorname{ar\,sinh} \frac{1}{x_2} \right)$ <p>(Girinski)</p>	два набљудувачки бунари $1 < 0.3H$ $l_0 = \frac{H}{2}$ $l = l_0 - 0.5(s_1 + s_2)$

8.5 Обрасци за одредување на коефициентот на филтрација при стационарни услови на филтрација во изданот со слободно ниво при услови на постоење на активна хидраулична врска со површинските води

Шема за пресметка	Автор и формула	Забелешка
	<p>а) совршен бунар</p> $k = \frac{0.733Q}{(s_1 - s_2)(2H - s_1 - s_2)} \lg \frac{x(2a \pm x_1)}{x(2a \pm x_2)}$ <p>(Forchheimer)</p>	два набљудувачки бунари на линијата попречно на текот на реката
	$k = \frac{0.733Q}{s_1(2H - s_1)} \lg \frac{2a \pm x_1}{x_1}$ <p>(Forchheimer)</p>	еден набљудувачки бунар знак (-) се зема кога наб. бунар се наоѓа меѓу реката и бунарот, а (+) кога се наоѓа меѓу наб. бунар и реката a < 0.5R
	$k = \frac{0.733Q}{(s_1 - s_2)(2H - s_1 - s_2)} \left(0.5 \lg \frac{4a^2 + x_1^2}{4a^2 + x_2^2} + \lg \frac{x_2}{x_1} \right)$ <p>(Forchheimer)</p>	два набљудувачки бунари во долж текот на реката a < 0.5R
	$k = \frac{0.733Q}{s_1(2H - s_1)} \lg \frac{\sqrt[3]{4a^2 - x_1^2}}{x_1}$ <p>(Forchheimer)</p>	еден набљудувачки бунар; системот е паралелен на реката a < 0.5R
	$k = \frac{0.733Q \lg \frac{2a}{r}}{H^2 - h^2}$ <p>(Forchheimer)</p>	без набљудувачки бунар
	<p>б) несовршен бунар</p> $k = \frac{0.733Q}{s \left(\frac{1+s}{\lg \frac{2a}{r}} + \frac{1}{\lg \frac{0.661}{r} - 0.22ar \sinh \frac{0.44}{a}} \right)}$ <p>(Babuskin)</p>	без набљудувачки бунар a < 1 дебелината на водоносните наслаги неограничена
	$k = \frac{0.733Q}{s \left(\frac{1+s}{\lg \frac{2a}{r}} + \frac{1}{\lg \frac{0.661}{r} - 0.11 \frac{1}{a}} \right)}$ <p>(Babuskin)</p>	без набљудувачки бунар a < 1

Шема за пресметка	Автор и формула	Забелешка
	$k = \frac{0.16Q}{1 \cdot s} \left(2.3 \lg \frac{1.321}{r} - \operatorname{ar sinh} \frac{0.91}{a} \right)$ <p style="text-align: right;">(Babuskin)</p>	без набљудувачки бунар; филтерот се наоѓа на долниот дел на колекторот
	$k = \frac{0.16Q}{1 \cdot s} \left(2.3 \lg \frac{0.661}{r} - \operatorname{ar sinh} \frac{0.451}{a} \right)$ <p style="text-align: right;">(Babuskin)</p>	без набљудувачки бунар; филтерот се наоѓа во средината на колекторот

8.6. Образец за одредување на коефициентот на филтрација за стационарни услови на филтрација во издан со слободно ниво за бунари оддалечени од површинските акумулации на вода

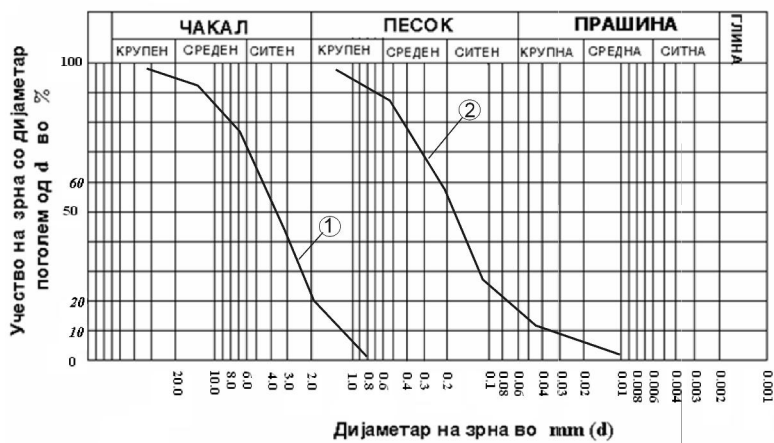
Шема за пресметка	Автор и формула	Забелешка
	<p>а) совршен бунар</p> $k = 0.16Q \sqrt{\frac{3(x_2 - x_1)}{x_2 x_1 (h_2^3 - h_1^3)}}$ <p style="text-align: right;">(Krasnopolski)</p>	два набљудувачки бунари
	$k = 0.16Q \sqrt{\frac{3(x_1 - r)}{x_1 r (h_1^3 - h^3)}}$ <p style="text-align: right;">(Krasnopolski)</p>	еден набљудувачки бунари
	$k = 0.16Q \frac{Q}{H \sqrt{rs}}$ <p style="text-align: right;">(Krasnopolski)</p>	без набљудувачки бунар; r е многу мало во однос на R; s е мало во однос на H.

Легенда за употребени симболи:

- k - коефициент на филтрација
- Q - издашност на бунар
- s - снижување на вода во бунар
- s₁, s₂ - снижувања на вода во набљудувачките бунари (пиезометри)
- x₁, x₂ - растојанија на набљудувачките бунари (пиезометри) од опитен бунар
- a - растојание меѓу бунарот и реката
- h - дебелина на издан во зона на бунар
- h₁, h₂ - дебелина на издан во зона на набљудувачки бунари
- r - радиус на бунар
- l - должина на филтерски дел
- m - дебелина на водоносен слој кај издан под притисок

ЗАДАЧИ

1. Пресметај го коефициентот на анизотропија (K_{an}) за измерен индекс на јакост на анизотропна средина. Вредностите се: $J_{sH}=1$ МПа, $J_{sL}=5$ МПа.
2. Пресметај го степенот на анизотропија за вредности на модули на деформација (D) мерени во подземен хидротехнички тунел во четири насоки по сличен распоред како за Слика 6.15 во книгата. Вредностите се: $D_1=2000$ МПа, $D_2=1000$ МПа, $D_3=3500$ МПа, $D_4=5000$ МПа.
3. Пресметај ја големината на природните вертикални и хоризонтални напони за карпест масив со волуменска тежина $\gamma=27$ kN/m³ во точка на 500 метри под површина на терен. Да се применат хипотезите на Хајм и Терцаги. Да се усвои вредност на поасонов коефициент $\nu=0,25$. Коментирај ги резултатите?
4. По избор, за крива 1 или 2 од дијаграмот на гранулометриски состав од наредната Слика 1, дефинирај ги дијаметрите на зрната потребни за пресметка на параметрите C_u и C_z , и изврши ги потребните пресметки.



Слика 1. Дијаграм на гранулометриски состав

5. Според податоците за специфична тежина, волуменската тежина во природна состојба и влажноста да се определат: порозноста (n), коефициентот на порозност (e), волуменската тежина во сува, заситена и потопена состојба. Влезните параметри да се усвојат во следен дијапазон: волуменска тежина на водата $\gamma_w = 9.81$ kN/m³, специфична тежина $\gamma_s = 25-27$ kN/m³, волуменска тежина во природна состојба $\gamma = 21-24$ kN/m³ и влажност $w = 12$ (%).
6. За коефициент на растреситост $K_r=1,3$, дефинирај го волуменот на карпа (V_r) после ископ, ако волуменот на карпа (V_m) пред ископ бил 100 m³.
7. Во табелата се дадени податоци за мерени густини и ориентации на пукнатини кај еден локалитет. Да се пресмета вредноста на RQD по метод на Палстром. Елементите на пад да се претстават со траси и нивни пресеци на стереографска проекција.

Систем број	Мерена густина на пукнатини ($G_i=p/m$)	Елементи на пад на секој систем ($E_i=p/\alpha$)
1	2	EP1=90/30
2	4	EP2=185/65
3	6	EP3=330/10

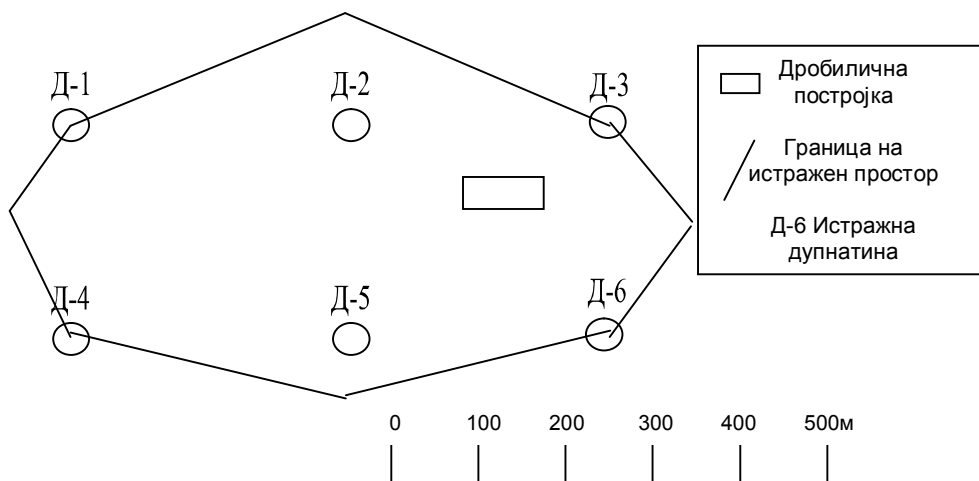
8. Според податоци во следната табела, за примерок со неправилна форма да се пресмета индексот на јакост (J_s) и корегираната вредност на индексот на јакост J_{s50} . По корелација $\sigma_p = 22 * J_{s50}$, да се пресмета јакоста на притисок (σ_p).

Растојание меѓу точките на лом D (mm)	Димензија на примерок W_1 (mm)	Димензија на примерок W_2 (mm)	Притисок при лом P (bar)
34-56	36-60	36-60	40-120

9. За интервал на дупчење од 200 cm, според методологијата на Дон Дир и податоци од следната табела, да се пресмета средното растојание меѓу пукнатините L_s и RQD показателот.

Реден број на парче јадро во истражна дупнатина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Должина на парче (cm)	8	12	13	20	23	6	28	9	6	9	40	8

10. Да се пресмета вредноста на јакоста на пукнатинските сидови по формулата на Милер, а за следните влезни податоци: γ - волуменска тежина на пукнатинските сидови = 25 kN/m³, SHRV - (Schmidt Hammer Rebound Value) = 32;
11. Врз основа на пресметаните вредности на параметрите σ_p , RQD и L_s , а со слободен избор на поени за состојбата на пукнатинските сидови, состојбата на подземна вода и поправка за ориентација на пукнатините, да се одреди класата на карпести маси според Биењавски.
12. Според пресметаните вредности на σ_p и L_s од претходните задачи, како и дадените податоци за тврдината по Мосова скала (M) да се процени методот на ископ по двопараметарските класификации кои се прикажани на Слика бр.12.5; Слика 12.8 и Слика 12.9 од книгата (тврдина да се усвои по сопствен избор од M= 3-6).
13. Врз основа на дадената шема на слика 2, да се пресметаат резервите на варовник по метод на блокови и паралелни профили. Длабината на варовникот во истражните дупнатини е: Д-1=14 м, во Д-2=10 м, во Д-3=8 м, во Д-4=13 м, во Д-5=9 м и во Д-6=8 м. Да се претпостави дека теренот е рамен на 500 м.н.в.



Слика 2. Распоред на истражни дупнатини за пресметка на резерви на варовник

ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА

За пресметка да се користат следните формули:

Метод на блокови

$$V = A \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{N}$$

каде е:

V-волумен на наоѓалиштето (m³)
 A-површина на наоѓалиштето (m²)
 h1 до hn-дебелина на корисната маса
 во одделен блок (m)
 N-број на истражни дупнатини

Метод на паралелни профили

$$V_i = \frac{A_1 + A_2}{2} * L ; \quad V = \sum V_i$$

каде е:

V_i-волумен на маса меѓу два профили (m³)
 A₁, A₂-површина на маса на два соседни
 профили (m²)
 L-растојание меѓу профили (m)
 V-вкупен волумен на наоѓалиштето

14. Според податоци од табелата, да се определи јакоста на притисок за цилиндрични примероци на базалт. Односот H:D е поголем од 2. Да се одреди средна аритметичка вредност за јакоста на притисок и стандардната девијација за волуменската тежина.

Примерок	Сила во момент на лом P [MN]	Површина на напречен пресек на примерокот A [m ²]	Волуменска тежина γ (kN/m ³)
БХ-1	0.370	0,0023	28.60
БХ-2	0.450	0,0023	28.40
БХ-3	0.470	0,0023	27.92
БХ-4	0.260	0,0023	28.27
БХ-5	0.400	0,0023	27.99
БХ-6	0.340	0,0023	28.25
БХ-7	0.300	0,0023	28.55

15. Според методот за сеизмичка микрореонизација по Медведев, да се одреди степенот на сеизмичност за карпа со дадените физички карактеристики, споредено со вредности за еталон гранит по табела 11.6 од глава 11, а за терен со природна влажност: густина на карпата ρ_n = 1.7(g/cm³); брзина на простирање на сеизмичките бранови V_n = 1.6 (km/s).

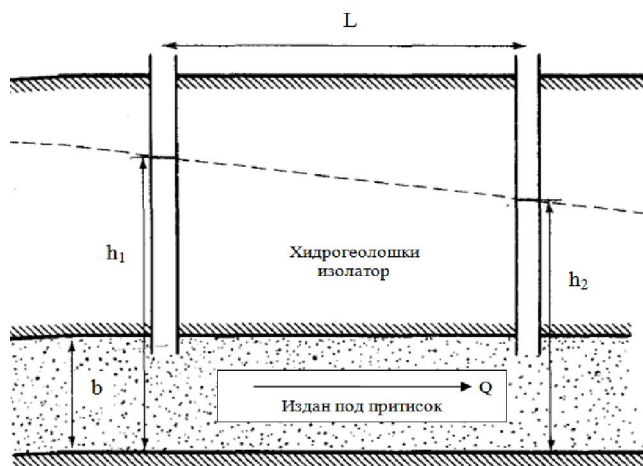
16. Артески издан има дебелина од b=32 m и ширина од M=5000m. Два пиезометри се лоцирани на меѓусебно растојание L=1193m во насока на токот на водата. Притисокот во пиезометарот h₁= 101m, а во пиезометарот h₂= 88m. Коефициентот на филтрација е 5m/den. Кој е вкупниот дневен проток на вода низ изданот (Q)? Која би била висината на нивото на водата (h) во точка (x) лоцирана на 300 m од пиезометарот h₁? Единечен проток q'=Q/M.

Формули за пресметка:

$$Q = k \cdot b \cdot \frac{h_1 - h_2}{L} \cdot M;$$

$$q' = Q / M;$$

$$h = h_1 - \frac{q'}{kb} \cdot x$$



Слика 3. Издан под притисок

17. Според подолу дадените податоци, за случај на ископ на дренажен канал, да се пресмета вкупниот доток за случај на доток од една и двете страни:
 H - дебелина на изданот = 7 m, h - дебелина на водата во ровот = 5 m, L - вкупна должина на ровот = 111 m, R- радиус на влијанието=50 m, k-коэффициент на филтрација = 13 m/den.
18. Пресметај ја големината на дозволен притисок на подина на изолаторски слој за следни параметри: a - должина на ископот=200 m'; l - ширина на ископот=10 m'; G= 50 kN/m²; H=3 m'; $\gamma_w=10 \text{ kN/m}^3$; $\gamma_o=20 \text{ kN/m}^3$; n = 3.
19. Да се определи критичниот хидрауличен градиент по формулата на Zihart, за вредност на коэффициент на филтрација $K= 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ ($l_{kr}=1/15 \sqrt{k}$).
20. Да се провери можноста за појава на контактна суфозија од песоклив слој кон чакалест слој за брзина на филтрација на подземната вода од $V=5.2 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$, за вредност на дијаметрите на зрната од чакал и песок од нивните гранулометриски криви $d_{60}=0.12 \text{ mm}$ и $D_{60}=1.2 \text{ mm}$ по формулата: $V_{kr}=0.26 d_{60}^2 (1+1000 (d_{60}/D_{60})^2) \text{ cm/sec}$.
21. За потреби на проектирање на несовршен бунар за артеиска издан, да се провери можноста за развој на суфозија при хидрауличен градиент по методот на Истомина В.С, за следните параметри: хидрауличен градиент $I=0,1-0,2$ коэффициент на нееднородност $C_u=5-10$
22. Според прикажаните податоци на слика 4, по методот на Фисенко, да се определи аголот на косината со висина од 20 метри, при која нема опасност од одронување:

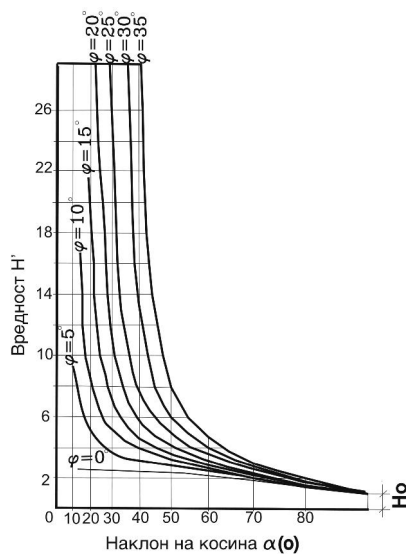
$$H_{90} = \frac{2C}{\gamma} \left[\text{ctg} \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \right]$$

каде се:

H₉₀ - максимална висина на вертикална косина за дефинирани јакосни параметри;

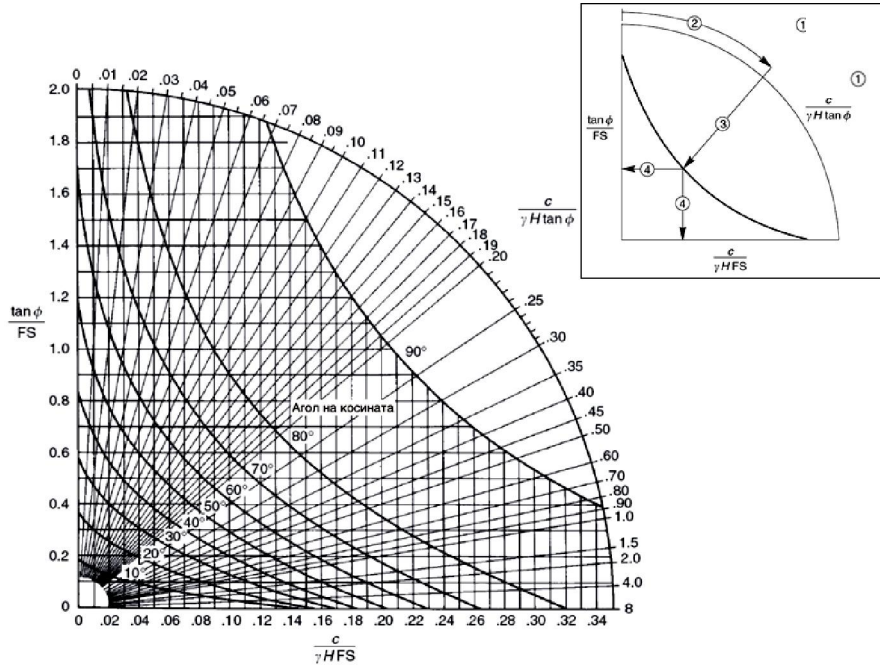
c - кохезија на карпата=30-50 kPa; ϕ - агол на внатр.триење = 30-35°;

γ - волуменска тежина=26 kN/m³.



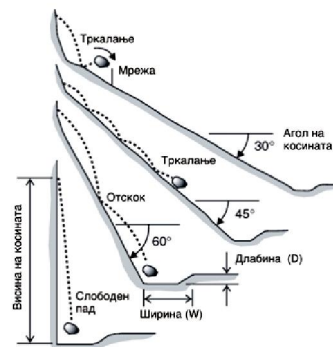
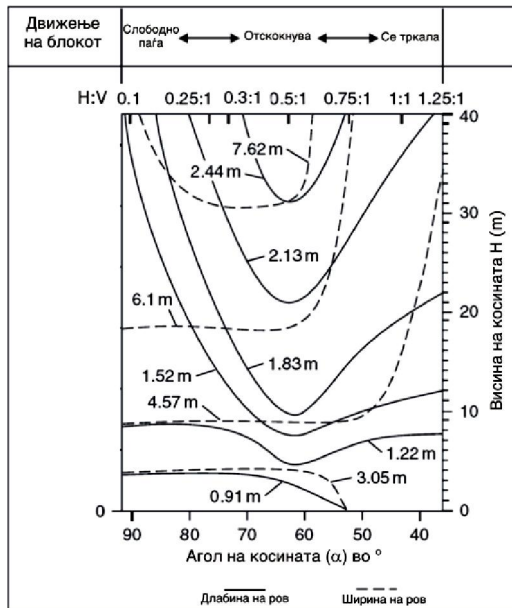
Слика 4. Дијаграм за проценка на стабилна косина дефинирана преку наклонот на косината и со изведен параметар N' ($N'=H/H_{90}$ каде е: H – висина на косина која се анализира)

23. Според чекорите илустрирани на сликата 5 во десниот горен агол, а врз основа на дадените вредности за $H=25\text{ m}$, $\alpha=60^\circ$, $\gamma=20\text{ kN/m}^3$, $c=60\text{ kPa}$ и $\phi=36^\circ$, да се определи факторот на сигурност за почвената косина (косината е целосно сува).



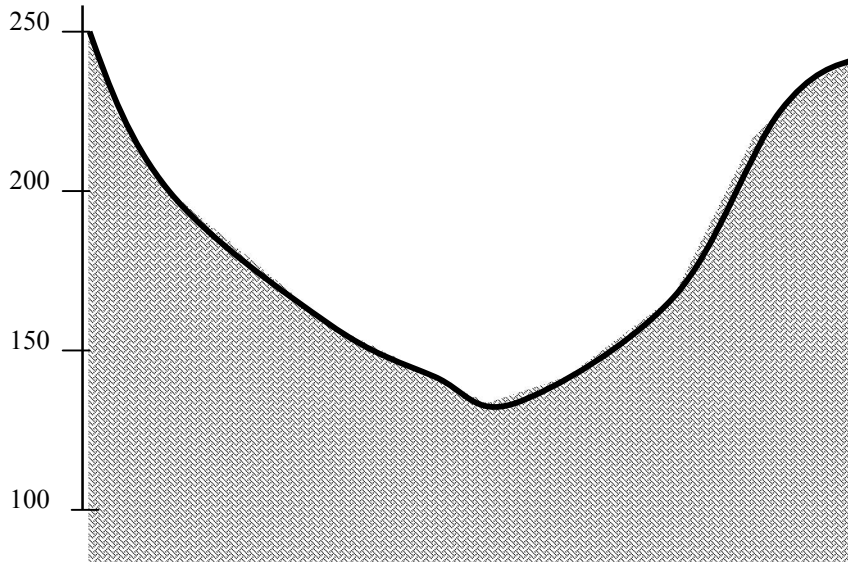
Слика 5. Дијаграм за определување на фактор на сигурност за целосно сува косина по метод на Хек.

24. Со помош на дијаграмот на Ричи (слика 6), за висина на косината $H=60\text{ m}$ и наклон $\alpha=40^\circ$, да се пресметаат димензиите на ров за зафаќање одрони.



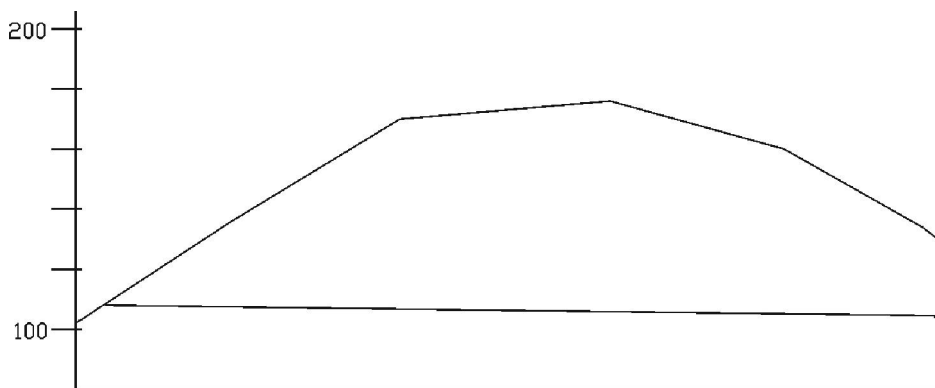
Слика 6. Дијаграм за проектирање на димензии на ров

25. За профил на една брана кој е шематски прикажан на слика 7, да се прогнозира бројот на потребни дупнатини и галерии, а за геолошка сложеност на теренот по избор. Висина на брана $H=100$ m.



Слика 7 Шематски приказ на профил за брана

26. За профил на еден тунел со должина $L= 500$ m, кој е шематски прикажан на слика 8, а по податоци од Слика 14.83 во книгата, да се прогнозира бројот на потребни дупнатини за геолошка сложеност на теренот по избор.



Слика 8 Шематски приказ на профил за тунел

27. За различни видови на темели (Слика 14.85 во книгата), да се пресмета длабината на истражни дупнатини со варирање на димензиите на темелот B , D_f и L до +20%.
- за темел самец: $B = 2; 3; 5$ m и $D_f = 1,5; 2; 2,5$ m
 - за група на темели самци блиско поставени еден до друг: $B = 20; 25; 30$ m и $D_f = 1,5; 2; 2,5$ m
 - фундирање на колови: $B = 10; 15; 30$ m, $D_f = 1,5; 2; 2,5$ m, и $L = 10; 15; 18$ m.