



ГРАДЕЖНИ МАТЕРИЈАЛИ

проф. д-р ТОДОРКА САМАРЦИОСКА

ISBN 9786084510215

9 786084 510215

УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“
ГРАДЕЖЕН ФАКУЛТЕТ - СКОПЈЕ

ГРАДЕЖНИ МАТЕРИЈАЛИ

проф. д-р ТОДОРКА САМАРЦИОСКА





УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“
ГРАДЕЖЕН ФАКУЛТЕТ - СКОПЈЕ



проф. д-р Тодорка Самарциоска

ГРАДЕЖНИ МАТЕРИЈАЛИ

Скопје
2015

ГРАДЕЖНИ МАТЕРИЈАЛИ

Автор:
проф. д-р Тодорка Самарџиоска

Издавач:
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“
Градежен факултет – Скопје

Рецензенти:
проф. д-р Владимир Симовски
проф. д-р Андреј Лепавцов

Лектор:
Лидија Тантуровска

Дизајн на корица:
Сашо Аџески

Печатница:
АЦЕТОНИ - Прилеп

Тираж:
300 примероци

CIP - Каталогизација во публикација
Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски",
Скопје

691(075.8)

САМАРЏИОСКА, Тодорка
Градежни материјали / Тодорка Самарџиоска. - Скопје : Градежен
факултет - Скопје, 2015. - 191 стр. : илустр. ; 20 см

Слика и белешка за авторката: стр. - Библиографија: стр. 190-191

ISBN 978-608-4510-21-5

а) Градежни материјали - Високошколски учебници
COBISS.MK-ID 98931466

ПРЕДГОВОР

Современото поврзување на теориските и практичните знаења дејствува на континуираниот експанзивен развој на градежните материјали. Со новите технологии, со постојаните истражувања и усовршувања, веќе се надминати границите на употреба на постоечките материјали, и се отворени нови хоризонти за новите современи материјали во градежништвото и архитектурата. За да може да се направи правилен избор на градежен материјал и тој адекватно да се употреби, потребно е добро познавање на неговиот состав, структура, својства, како и на промените кои се случуваат за време на неговото производство, изведбата и во тек на експлоатација на објектите.

За потребите од општото и посебното осознавање на градежните материјали, учебникот е поделен во две големи целини. Првата се однесува на значењето на познавањето на градежните материјали, класификацијата на градежните материјали, нивните основни својства и методите за испитување на материјалите. Обработени се составот и структурата на материјалите, физичките, механичките, конструктивните, реолошките и хемиските својства на градежните материјали и нивната трајност. Опишани се деструктивните и недеструктивните начини на испитување на градежните материјали, вклучувајќи ги стандардните испитувања, обработката на резултатите и анализата на евентуални грешки при испитувањата.

Втората целина поединечно се осврнува на определени градежни материјали, нивниот историјат, добивање, класификација, примена и карактеристични својства. Од каменот во Стоунхенџ, керамиката во Египет и зачетоците на бетонот во Стариот Рим, развојот на челичните материјали, па сè до современите стаклени, полимерни и композитни материјали – сите тие оставиле трага во времето и просторот на свој начин и им се спротивставувале на вековите.

Направен е обид наставната материја да биде поприменлива, поконцизна, а истовремено побогата и понова.

Учебников е содржински конципиран според наставната програма на предметот *градежни материјали* за студентите на Градежниот факултет во Скопје, за кои е првенствено наменет. Се надевам дека ќе им користи и на студентите од другите технички факултети, како и на инженерите во практика. Доколку на кој било начин придонесе за надградбата на знаењата, тој ја исполнил својата цел и намена.

Како и секое новороденче, и ова прво издание ќе порасне и ќе доживее трансформација со тек на време. Веројатно ќе се појават определени грешки и пропусти. Секако дека сите добронамерни коментари, забелешки и критики од читателите ќе бидат почитувани за наредните изданија.

СОДРЖИНА

1	ВОВЕД	6
1.1	КЛАСИФИКАЦИЈА НА ГРАДЕЖНИТЕ МАТЕРИЈАЛИ	7
2	ОСНОВНИ СВОЈСТВА НА ГРАДЕЖНИТЕ МАТЕРИЈАЛИ	10
2.1	СОСТАВ И СТРУКТУРА НА МАТЕРИЈАЛИТЕ И ВЛИЈАНИЕ НА НИВНАТА КОНСТРУКЦИЈА ВРЗ СВОЈСТВАТА	10
2.1.1	СОСТАВ НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	10
2.1.2	СТРУКТУРА И СВОЈСТВА НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	11
2.2	ФИЗИЧКИ СВОЈСТВА НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	13
2.2.1	ПАРАМЕТРИ НА СОСТОЈБА	13
2.2.2	СТРУКТУРНИ КАРАКТЕРИСТИКИ	14
2.2.3	ФИЗИЧКИ СВОЈСТВА	16
2.3	МЕХАНИЧКИ СВОЈСТВА НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	25
2.3.1	ЈАКОСТ НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	27
2.3.2	ДЕФОРМАЦИОНИ СВОЈСТВА НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	32
2.3.3	ЈАКОСТ НА МАТЕРИЈАЛИТЕ ПРИ ДИНАМИЧКИ ОПТОВАРУВАЊА	40
2.4	КОНСТРУКТИВНИ СВОЈСТВА НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	43
2.4.1	ТВРДОСТ	43
2.4.2	ОТПОРНОСТ НА АБЕЊЕ	44
2.4.3	КОЕФИЦИЕНТ НА КОНСТРУКТИВНА ПОВОЛНОСТ	44
2.5	ТРАЈНОСТ НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	45
2.6	РЕОЛОШКИ СВОЈСТВА НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	46
2.6.1	ТЕЧЕЊЕ НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	46
2.6.2	РЕЛАКСАЦИЈА НА НАПРЕГАЊА	49
2.6.3	ВОЛУМЕНСКИ ДЕФОРМАЦИИ	50
2.7	ХЕМИСКИ СВОЈСТВА НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	50
3	МЕТОДИ ЗА ИСПИТУВАЊЕ НА ГРАДЕЖНИТЕ МАТЕРИЈАЛИ	52
3.1	ДЕСТРУКТИВНИ МЕТОДИ	52
3.2	НЕДЕСТРУКТИВНИ МЕТОДИ	54
3.2.1	ВИБРАЦИОНА МЕТОДА	56
3.2.2	МЕТОДА СО ТЕРМОВИЗИЈА	56

3.2.3	МЕТОДА СО УЛТРАЗВУК	57
3.2.4	МЕТОДА СО ГАМА ЗРАЧЕЊЕ	59
3.2.5	МЕТОДА СО КОМПЈУТЕРСКА ТОМОГРАФИЈА	60
3.2.6	МЕТОДА СО МЕРЕЊЕ НА ПОВРШИНСКА ТВРДОСТ	60
3.2.7	МЕТОДА СО ДИГИТАЛНА РАДИОГРАФИЈА	61
3.2.8	ОПТИЧКИ МЕТОДИ	61
3.3	СТАНДАРДНИ ИСПИТУВАЊА	62
3.4	ОБРАБОТКА НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОД ИСПИТУВАЊАТА НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	62

4 ГРАДЕЖЕН КАМЕН **64**

4.1	КАРПИ ОД КОИ СЕ ДОБИВА ГРАДЕЖЕН КАМЕН	65
4.2	УПОТРЕБА НА КАМЕНОТ ВО ГРАДЕЖНИШТВОТО	66
4.3	ДОБИВАЊЕ И ПОДЕЛБА НА КАМЕНОТ	67
4.3.1	НЕОБЛИКУВАН КАМЕН	69
4.3.2	ОБЛИКУВАН КАМЕН	70
4.3.3	УКРАСЕН КАМЕН	71
4.3.4	КАМЕН АГРЕГАТ	71
4.4	СВОЈСТВА НА КАМЕНОТ	72

5 МИНЕРАЛНИ (НЕОРГАНСКИ) ВРЗИВНИ СРЕДСТВА **76**

5.1	ГИПСОТ И НЕГОВАТА ПРИМЕНА КАКО ГРАДЕЖЕН МАТЕРИЈАЛ	76
5.1.1	ОПШТО ЗА ГИПСОТ	76
5.1.2	ПРОИЗВОДСТВО И ВИДОВИ НА ГИПС	77
5.1.3	СВОЈСТВА НА ГИПСОТ	78
5.1.4	ПРИМЕНА НА ГИПСОТ	79
5.1.5	СИСТЕМИ ЗА СУВА ГРАДБА	79
5.1.6	ВИДОВИ НА СИСТЕМИ ЗА СУВА ГРАДБА И НИВНА ПРИМЕНА	80
5.1.7	ГИПСКАРТОНСКИ ПЛОЧИ	81
5.2	ГРАДЕЖНА ВАР	82
5.2.1	ОПШТО ЗА ВАРТА	82
5.2.2	ГАСЕНА ВАР	83
5.2.3	ПРИМЕНА	83
5.2.4	ХИДРАТИЗИРАНА ГАСЕНА ВАР	84
5.2.5	ХИДРАУЛИЧНА ВАР	84
5.3	ЦЕМЕНТИ	84
5.3.1	ПОРТЛАНД ЦЕМЕНТ	84
5.3.2	СПЕЦИЈАЛНИ ВИДОВИ НА ЦЕМЕНТ	86
5.3.3	ОЗНАКИ ЗА ЦЕМЕНТ	87

6	МАЛТЕРИ И БЕТОНИ	88
6.1	МАЛТЕРИ	88
6.1.1	ОПШТО ЗА МАЛТЕРИТЕ	88
6.1.2	СОСТАВ НА МАЛТЕРИТЕ	88
6.1.3	ВИДОВИ МАЛТЕРИ	90
6.1.4	СВОЈСТВА НА МАЛТЕРИТЕ	90
6.2	БЕТОНИ	95
6.2.1	ИСТОРИЈАТ НА БЕТОНОТ	95
6.2.2	УПОТРЕБА НА БЕТОНОТ	96
6.2.3	ОСНОВНИ СОСТОЈКИ НА БЕТОНОТ	99
6.2.4	ОСНОВНИ СВОЈСТВА НА БЕТОНОТ	103
7	МЕТАЛИ	104
7.1	РУДИ ОД КОИ СЕ ДОБИВА ЖЕЛЕЗО	104
7.2	ДОБИВАЊЕ НА ЧЕЛИК	105
7.3	КЛАСИФИКАЦИЈА НА ЧЕЛИКОТ	107
7.4	ВИДОВИ ЧЕЛИЦИ	108
7.4.1	ОПШТИ КОНСТРУКТИВНИ ЧЕЛИЦИ	109
7.5	ОБОЕНИ МЕТАЛИ	112
7.5.1	АЛУМИНИУМ	112
7.5.2	БАКАР	112
7.5.3	ОЛОВО	113
7.6	ЗАШТИТА НА МЕТАЛИТЕ ОД КОРОЗИЈА	113
7.6.1	ВИДОВИ КОРОЗИЈА	113
7.6.2	ЗАШТИТА ОД КОРОЗИЈА	114
8	ДРВО	116
8.1	ГРАДБА НА ДРВОТО	117
8.2	ДРВОТО КАКО ГРАДЕЖЕН МАТЕРИЈАЛ	118
8.3	ФИЗИЧКО-МЕХАНИЧКИ СВОЈСТВА НА ДРВОТО	118
8.3.1	ФИЗИЧКИ СВОЈСТВА	118
8.3.2	МЕХАНИЧКИ СВОЈСТВА	120
8.4	ПРОИЗВОДИ ОД ДРВО	121
8.4.1	ДРВЕНА ГРАЃА	122
8.5	ПОДЕЛБА НА КОНСТРУКТИВНИТЕ СИСТЕМИ ОД ДРВО	124
9	КЕРАМИЧКИ МАТЕРИЈАЛИ	126

9.1	ПОИМ И ИСТОРИЈАТ НА КЕРАМИКАТА	126
9.2	ПРОИЗВОДСТВО НА КЕРАМИКА	127
9.3	СВОЈСТВА НА КЕРАМИЧКИТЕ ПРОИЗВОДИ	130
9.4	ГРАДЕЖНА КЕРАМИКА	131
10	<u>ОРГАНСКИ ВРЗИВНИ СРЕДСТВА – БИТУМЕНИ И КАТРАНИ</u>	133
10.1	БИТУМЕНИ	133
10.2	СВОЈСТВА НА БИТУМЕНИТЕ	135
10.3	КАТРАН	139
10.4	ЈАГЛЕВОДОРОДНИ ВРЗИВНИ СРЕДСТВА ЗА ГОРЕН СТРОЈ НА ПАТИШТА	139
10.5	АСФАЛТИ	140
10.6	БИТУМЕНСКА ШИНДРА	143
11	<u>ПОЛИМЕРНИ ГРАДЕЖНИ МАТЕРИЈАЛИ</u>	144
11.1	СИНТЕТИЧКИ СМОЛИ - ПОЛИМЕРИ	146
11.2	ВИДОВИ ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИЈАЛИ ВО ГРАДЕЖНИШТВОТО	146
11.2.1	ПОЛИМЕР-БЕТОНИ И ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНИ БЕТОНИ	146
11.3	ПЛАСТИЧНИ МАСИ	147
11.3.1	КОНСТРУКТИВНИ МАТЕРИЈАЛИ ОД ПЛАСТИЧНИ МАСИ	148
11.4	КАУЧУК (ЕЛАСТОМЕРИ) И ГУМА	150
12	<u>СТАКЛО</u>	154
12.1	ИСТОРИЈАТ И РАЗВОЈ НА СТАКЛОТО	154
12.2	ПОДЕЛБА НА СТАКЛОТО	155
12.3	ПРОИЗВОДСТВО НА СТАКЛО	156
12.4	ОСНОВНИ СВОЈСТВА НА СТАКЛОТО	158
12.5	СТАКЛОТО КАКО СОВРЕМЕН ГРАДЕЖЕН МАТЕРИЈАЛ	158
12.5.1	ТИПОЛОГИЈА НА СТАКЛО	159
12.6	СТАКЛЕНИ ФАСАДИ	162
12.7	СТАКЛЕНА ВОЛНА	163
13	<u>МАТЕРИЈАЛИ ЗА СПЕЦИЈАЛНА НАМЕНА</u>	165
13.1	МАТЕРИЈАЛИ ЗА ТОПЛИНСКА ЗАШТИТА	165
13.1.1	КЛАСИФИКАЦИЈА НА МАТЕРИЈАЛИ ЗА ТОПЛИНСКА ИЗОЛАЦИЈА	169
13.1.2	КАМЕНА ВОЛНА	169

13.1.3	ЕКСПАНДИРАН ПОЛИСТИРЕН (EPS)	172
13.1.4	ЕКСТРУДИРАН ПОЛИСТИРЕН (XPS)	174
13.1.5	ОСТАНАТИ МАТЕРИЈАЛИ ЗА ТОПЛИНСКА ИЗОЛАЦИЈА	175
13.2	МАТЕРИЈАЛИ ЗА ХИДРОИЗОЛАЦИЈА	176
13.2.1	ЈАГЛЕВОДОРОДНИ МАТЕРИЈАЛИ ЗА ХИДРОИЗОЛАЦИЈА	176
13.2.2	СИНТЕТИЧКИ ХИДРОИЗОЛАЦИОНИ МАТЕРИЈАЛИ	179
13.2.3	МЕТАЛНИ ЛЕНТИ (ФОЛИИ)	180
13.2.4	ВОДОНЕПРОПУСТЛИВИ МАЛТЕРИ	181
13.3	МАТЕРИЈАЛИ ЗА ЗВУЧНА ЗАШТИТА	182
13.3.1	МАТЕРИЈАЛИ ЗА АПСОРПЦИЈА НА ЗВУК	182
13.3.2	МАТЕРИЈАЛИ ЗА ЗВУЧНА ИЗОЛАЦИЈА	187
14	ЛИТЕРАТУРА	190

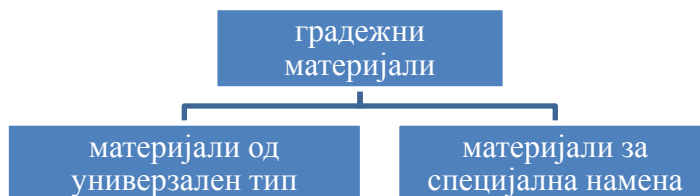
1 Вовед

Проектирањето и изградбата на објектите и конструкциите се базира на темелно познавање на градежните материјали. Без нивно познавање нема да биде возможно да се изградат безбедни, ефикасни и долготрајни објекти, конструкции и живеалишта.

Градежните материјали имаат разнообразен состав, градба и својства, кои ја определуваат нивната примена во нова изградба и реконструкција на објекти и згради. Тие во општ случај може да се поделат во две групи:

- материјали од универзален тип,
- материјали за специјална намена.

Материјалите од универзален тип се конструктивни материјали: природен камен, малтери, бетони, метали, дрво итн.), додека пак во групата на материјали со специјална намена спаѓаат акустични, топлоизолациони, огноотпорни материјали и др, како што е прикажано на слика 1.

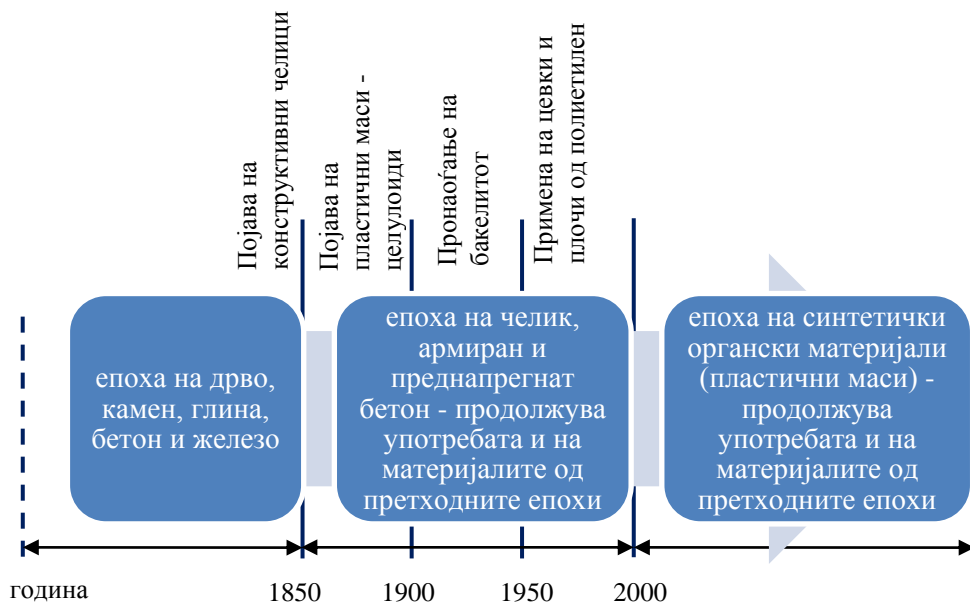


Слика 1.1 Општа поделба на градежните материјали

Според степенот на изработката тие се делат условно на градежни материјали (чакал, песок, вар, цемент) и градежни производи – готови елементи и детали, кои се монтираат во објектите на градилиште (армиранобетонски панели, санитарно-технички кабини, столарија за врати и прозорци итн.).

Вредноста на градежните материјали чини околу 50 – 70 % од вкупната вредност на градежните работи, а тоа ги задолжува градежниците да избираат и ракуваат технички основано и економично со градежните материјали, и грижливо да ги транспортираат и складираат.

Во минатото, претходните генерации имале само ограничен број на градежни материјали (дрво, слама, глина, природен камен, олово, бакар, лиено железо, дувано стакло), за кои низ вековите значајно пораснало познавањето како да се употребат, слика 1.2. Тие се нарекуваат традиционални, но и сега широко се употребуваат во современото градежништво. Со напредокот на индустриското производство започнува појавата на нови градежни материјали, од кои секој има специфични својства и определена област на примена. Во врска со тоа, се олеснува и забрзува градењето на објектите, градежните конструкции стануваат полесни и поефикасни.



Слика 1.2 Историјат на градежните материјали

1.1 Класификација на градежните материјали

Денес се произведуваат различни градежни материјали, и за полесна ориентација во нивната голема разновидност, тие може да бидат класифицирани според различни предзнаци.

I Според својот состав, градежните материјали се делат на неоргански, органски и мешовити (органско-минерални).

- Неорганските материјали можат да бидат нерудни (песок, глина, чакал, цемент, градежна вар, гипс, тули и сл.) и рудни (метали).
- Органските материјали се природни (дрво, природен битумен, растителни отпадоци) и вештачки (пластични маси).
- Мешовити материјали се добиваат со комбинација на неоргански и органски материјали (на пример: асфалтбетон, полимерцементен бетон и сл.).

II Според употребата и условите на експлоатација, градежните материјали се делат на следните групи:

1. **Конструктивни**, кои може да примаат и да предаваат товари и се употребуваат за носиви конструкции. Од своја страна тие може да бидат:

- а) природни карпести материјали,
- б) вештачки карпести материјали:

- добиени врз основа на сврзувачки соединенија без печење (бетон, градежни раствори),
 - добиени со печење на минерална суровина (керамички материјали, стакло),
- в) метали (челик, алуминиум, бакар),
- г) конструктивни пластични маси (стаклопласти и др.),
- д) дрвени материјали.

2. **Материјали со специјална намена**, неопходни за заштита на конструкциите од штетните влијанија на околната средина, а исто така и за подобрување на експлоатационите својства на објектите и создавање на комфор. Тие се делат на:

- материјали за топлинска изолација,
- материјали за хидро изолација,
- материјали за звучна изолација,
- покривни и херметички материјали,
- материјали за завршни работи,
- материјали за посебна намена (отпорни на пожар, отпорни на киселини, за заштита од радиоактивни зрачења и сл.).

3. **Материјали за општа употреба**, кои служат како суровина за добивање на други градежни материјали и производи (цемент, вар, дрво и сл.). На пример, бетонот е вообичаено конструктивен материјал, но некои бетони може да имаат сосема поинаква употреба: многу лесните бетони – како топлоизолациони материјали, а бетоните со декоративни полнежи – како материјал за завршни работи.

III *Според технолошкиот предзнак*, градежните материјали се класифицираат врз база на видот на излезната суровина и начинот на нивното производство. На тој начин, тие се делат на природни и вештачки.

1. **Природните градежни материјали и производи** се добиваат непосредно од Земјата (карпите) или од растителниот свет. На тие материјали им се дава определена форма и рационални димензии, без да им се променат внатрешниот состав и својствата. Најчесто се употребуваат дрвените и карпестите материјали и производи.

2. **Вештачките градежни материјали и производи** се добиваат главно од природни и поретко од вештачки суровини, кои се изложуваат на топлинска, хемиска или друг вид на обработка и преработка, во фабрики со помош на специјални алати и опрема. Изработените градежни материјали се разликуваат од своите суровини по својата градба и хемиски состав. Освен основните, при индустриската преработка учествуваат и други органски суровини (дрво, нафта, гас и др.) и неоргански (минерали, карпи, руди и др.) суровини, благодарение на што се добива богат асортиман на градежни материјали. Такви вештачки материјали се тулите, керамидите, различни видови плочки, сите метални производи и сл.

За да можат објектите да ја исполнат својата намена и да бидат долготрајни, неопходно е да се направи правилен избор на материјалите за нивна конструкција, откако ќе се земат предвид експлоатационите услови при кои ќе работи конструкцијата. Тие материјали треба да одговорат на определени барања. Некои од барањата, како јакост и помала волуменска маса, се однесуваат на речиси сите градежни материјали, но други, како што се способноста за топлинска и звучна изолација или отпорноста на мраз важат само за некои материјали.

2 Основни својства на градежните материјали

Ова поглавје се осврнува на компонентите, структурата на материјалите и влијанието на нивниот состав врз својствата; акцентот го става на физичките својства и механичките својства на материјалите; а исто така прави вовед и во декоративноста и трајноста на материјалите.

Градежните материјали имаат различни улоги во градежното инженерство и во архитектурата, па заради тоа треба да поседуваат и различни својства. На пример, конструктивните материјали треба да имаат добри механички својства; водоотпорните материјали треба да бидат отпорни на вода и водонепропустливи; материјалите за сидови треба да имаат и термоизолациони и звуко-апсорпциони својства. Покрај тоа, градежните материјали треба да се трајни, бидејќи тие најчесто се под влијание на различни надворешни влијанија, како што е ветрот, дождот, сонцето и мразот.

Основните својства на градежните материјали ги вклучуваат физичките својства, механичките својства, трајноста и декоративноста. Заедничките особини и својства се дискутирани во ова поглавје, а поединостите ќе бидат разгледани во релевантните поглавја.

2.1 Состав и структура на материјалите и влијание на нивната конструкција врз својствата

2.1.1 Состав на материјалите

Составот на материјалите го вклучува нивниот хемиски состав и минералниот состав, кои се решавачки фактори за својствата на материјалите.

- **хемиски состав**

Хемискиот состав се однесува на хемиските компоненти. Различни хемиски состави резултираат со различни својства. На пример, со порастот на содржината на јаглерод во јаглеродниот челик, се менува неговата јакост, тврдост и жилавост; јаглеродниот челик е лесно подложен на корозија. Не'рѓосувачкиот челик станува таков со додавање на хром, никел и други хемиски компоненти во челикот.

- **минералоски состав**

Многу неоргански неметални материјали имаат различни минерални состави. Минералите се мономерни и соединенија со определен хемиски состав и структура. Минералните состави се главен фактор за својствата на некои градежни материјали (како природниот камен, неорганскиот гел и други материјали). Цементот покажува различни карактеристики заради различниот клинкер. На пример, кај портланд цементниот клинкер

кондензационото зацврстување е брзо и јакоста е висока доколку учеството на трикалциум силикатот – клинкерниот материјал – е поголемо.

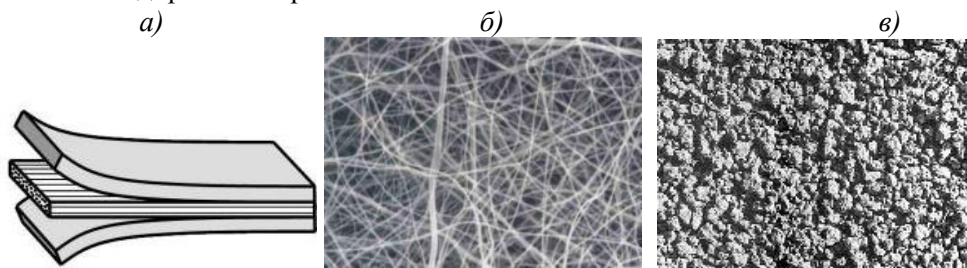
2.1.2 Структура и својства на материјалите

Структурата на материјалите може да се разгледува на три нивоа:

- макро-структура, видлива со голо око,
- микроструктура, набљудувана со микроскоп,
- внатрешна градба на супстанцијата, изучувана на молекуларно – јонско ниво по методите на рендгено-структурни анализи, електронска микроскопија и др.

1. Макро – структурата на тврдите градежни материјали (без карпите, кои имаат сопствена геолошка класификација) може да биде конгломератна, клеточна, ситнопорозна, влакнеста, слоевита, зрнеста и прашињеста.

Во вештачки конгломерати спаѓаат бетоните, некои керамички материјали, растворите и сл. Клеточната структура е карактеристична за пено-бетоните и гас-бетоните и за некои пенопласти. Влакнестата структура има внатрешна организација со правец. Таа е присутна кај дрвенестите материјали, стаклопластите, производите од минерална волна и памукот. Слоевитата структура е јасно изразена кај листестите и плочкастите материјали, како и кај пластичните маси со слоевити полнежи (текстил, картон и сл.). Таа има композитна структура од слепени слоеви или нивоа од различни листови или анизотропни листови. Неврзана зрнеста и прашињеста структура имаат насипните материјали – адитивите за бетон, каменото брашно, цементот, гипсот и сл. Ова се растресити грануларни материјали, како песокот, чакалот или експандираниот перлит.

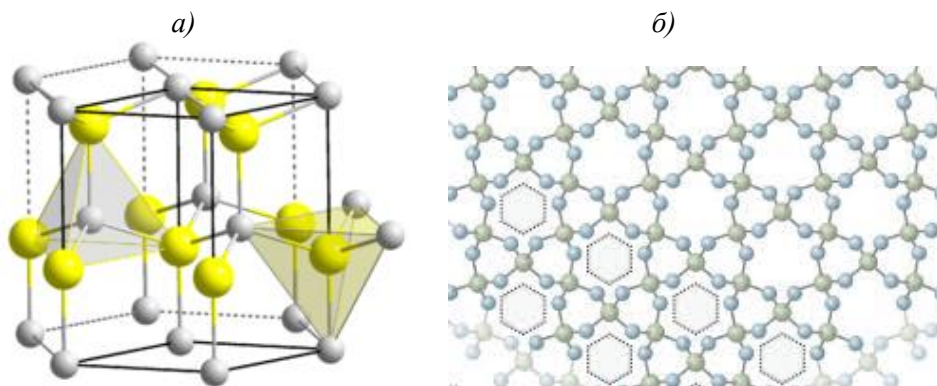


Слика 2.1 Макроструктури на материјалите: а) слоевита, б) влакнеста, в) зрнеста

2. Микроструктурата на материјалите е онаа која може да се набљудува со оптички микроскоп. Во оваа структура воглавно се изучува големината, формата и меѓусебното дејство на честичките и зрната, како и големината, формата и распределбата на порите и микропукнатините. Микроструктурата има големо влијание на механичките својства и трајноста на материјалите. Таа може да биде кристална и аморфна, слика 2.2.

Цврстите тела чии честички (молекули, атоми, или јони) се подредени во правилен распоред, со шема на повторување во сите три димензии, се познати како кристални решетки. Кристалната решетка се карактеризира со фиксна геометрија и анизотропија. Различните механички својства на кристалните материјали се во зависност од распоредот на честичките и нивните меѓусебни хемиски врски. Материјалите со кристална градба имаат определена температура на топење, поотпорни се на надворешни влијанија и се помалку активни во хемиски реакции.

Материјалите со аморфна градба се добиваат кога растопената маса со определен хемиски состав се лади нагло така што честичките не можат да бидат спакувани во правилен распоред, па се зацврстуваат во цврсти тела познати како аморфни или стаклести тела. Тие немаат фиксна геометриска форма и изотропија. Голем број од нив имаат хемиска нестабилност, и лесно реагираат со други супстанции. На пример, гранулираната згура од печки, вулканската пепел и летечката пепел може да реагираат со вар во вода заради зацврстување. Тие немаат точно определена точка на топење. Некристалните тела ја имаат улогата на атхезиви во производите од печена глина и некои природни карпи.



Слика 2.2 Микроструктура на материјалите: а) кристална, б) аморфна

3. Внатрешната градба на супстанцијата ја определува јакоста, деформабилноста, тврдоста, топливоста и други својства на материјалите. Врските помеѓу честичките на материјалот на молекуларно-јонско ниво се *ковалентни, јонски, молекуларни и метални*.

Материјалите со ковалентна врска се одликуваат со голема механичка јакост, тврдост, голема густина и тешко се топат (дијамант, кварц, карборунд и сл.). Ковалентната врска е врска помеѓу два атома кои делат заеднички електрони.

Материјалите со јонска врска формираат врска со анјони и катјони. Јоните се поврзани помеѓу себе со електростатско привлекување (Кулонова врска), која е генерално стабилна. Јакоста, тврдоста и точката на топење се

високи, но непостојани. Некои од нив се растворливи, а густината им е средна. Не се водоотпорни, како на пример гипсот. Покрај гипсот, во оваа група спаѓаат и варовникот, калциум хлоридот итн.

Молекуларните кристали се формираат од молекули кои меѓусебно се поврзани со молекуларна сила (Ван дер Валсова врска). Врската е слаба. Јакоста и тврдоста се мали. Тие имаат ниска точка на топење и мала густина. Такви се восокот и некои органски соединенија.

Металните кристали се формираат со метални катјони меѓусебно поврзани со метални врски (Кулоново привлекување). Јакоста и тврдоста се променливи, но густината е голема. Бидејќи металните јони имаат слободни јони, металите како железото, челикот, алуминиумот, бакарот и нивните легури имаат добра топлинска спроводливост и електрична спроводливост.

Само некои од кристалните материјали, како што се на пример кварцот и талкот имаат еден тип на врска, останатите се комплексни материјали со повеќе од два типа на комбинирани врски.

Секој материјал има оптимални области на употреба, кои се определуваат од неговиот состав, структура и својства.

2.2 Физички својства на материјалите

2.2.1 Параметри на состојба

2.2.1.1 Волуменска маса

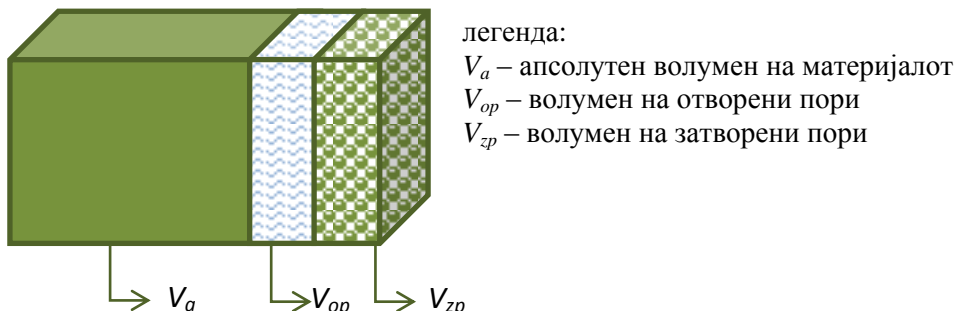
Волуменската маса се определува како маса на единица волумен од материјалот во природна состојба (со пори и празнини).

$$\gamma = \frac{m_0}{V} \quad [\text{kg/m}^3]$$

каде што:

m_0 е маса на материјалот во сува состојба, [kg],

V е волуменот на материјалот во природна состојба, [m³], слика 2.3.



Слика 2.3 Шема на основните составни делови на структурата на порозен материјал

Волуменската маса не е постојана. Големината ѝ зависи од порозноста и влажноста на материјалот.

Волуменската маса на насипните материјали (песок, чакал, ситен камен и др.) се нарекува уште и насипна волуменска маса и претставува однос на масата на зрнестиот или прашинестиот материјал и целиот од него заземен волумен заедно со празнините меѓу одделните зрна.

2.2.1.2 Специфична маса

Специфичната маса се определува како маса на единица волумен од еднороден материјал во апсолутна состојба, т.е. без пори и празнини.

$$\gamma_s = \frac{m_0}{V_a} \quad [\text{kg/m}^3]$$

каде што:

m_0 е маса на материјалот во сува состојба, [kg],

V_a е волумен на материјалот во апсолутна состојба, без пори и празнини [m^3], слика 2.3.

Специфичната маса на секое соединение е физичка константа која не може да биде изменета без да се промени неговиот хемиски состав или молекуларна структура. Во тоа се состои суштинската разлика помеѓу специфичната и волуменската маса.

2.2.2 Структурни карактеристики

2.2.2.1 Порозност

Порозноста (p) е процент на волуменот на порите во однос на вкупниот волумен на супстанцијата. Се дефинира како:

$$p = \frac{V_p}{V} \cdot 100 (\%) = \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_s}\right) \cdot 100 (\%)$$

$$p = p_o + p_z$$

каде што:

p е порозност,

p_o е отворена порозност,

p_z е затворена порозност,

V_p е волумен на пори, $V_p = V - V_a$,

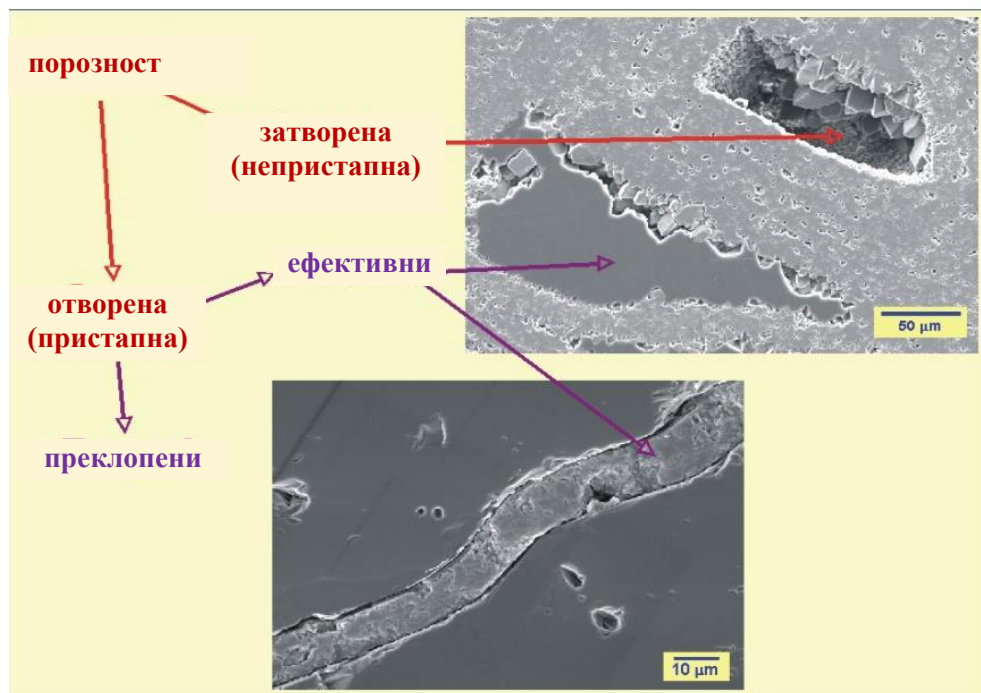
$$p_o = \frac{V_{op}}{V} \quad \text{и} \quad p_z = \frac{V_{zp}}{V},$$

V_{op} е волумен на отворени пори,

V_{zp} е волумен на затворени пори.

Порозноста е основна структурна карактеристика која ја рефлектира компактоста на материјалот. Порозноста и карактеристиките на порите (вклучувајќи ја големината, поврзаноста, дистрибуцијата итн.) влијаат врз својствата на материјалот, како што се водовпивливост, топлоспроводноста,

отпорност на мраз, јакост, акустични својства и др. Во општ случај, за еден ист материјал, колку е помала порозноста, толку порите се помалку поврзани. Така јакоста ќе биде поголема, водовпивливоста ќе биде помала, а пермеабилноста и отпорноста на мраз се подобри, но топлинската спроводливост е поголема.



Слика 2.4 Видови порозност на материјалите

Во табелата 2.1 се дадени волуменската и специфичната маса и порозноста на неколку градежни материјали.

Табела 2.1:

Материјал	Волуменска маса γ [kg/m^3]	Специфична маса γ_s [kg/m^3]	Порозност p [%]
гранит	2600 – 2700	2700 – 2800	0 – 2
тежок бетон	2200 – 2500	2600 – 2700	0 – 2,5
керамички блокови	1600 – 1800	2500 – 2600	25 – 35
дрво	400 – 800	1500 – 1550	45 – 70
пластични маси	20 - 100	950 - 1200	90 - 98

2.2.3 Физички својства

На сликата 2.5 се дадени сите поважни физички својства, групирани во три поглавни групи:

- хидрофизички својства,
- термотехнички својства,
- други поважни физички својства.



Слика 2.5 Физички својства на градежните материјали

2.2.3.1 Хидрофизички својства

а) *хигроскопност* – Својството на материјалот да ја врзува влагата (водената пареа) од околниот воздух, кога меѓу влагата во воздухот и влажноста на материјалот нема рамнотежа, се нарекува хигроскопност. Хигроскопни се, на пример, дрвото и гипсот. На слика 2.6 е претставен соодносот на содржината на влага во материјалот и релативната влажност на воздухот, односно т.н. изотерма на апсорпција со која се поделени реоните на апсорпција и кондензација.

б) *влажност* – Се изразува со количеството вода, која се содржи во капиларите, порите и по површината на материјалот во единица од неговата маса, соодветно и во единица од неговиот волумен:

$$H_a = \frac{m_{ov} - m_o}{m_o} \cdot 100\% = \frac{m_v}{m_o} \cdot 100\%$$

каде што:

H_a е апсолутна влажност на материјалот,
 m_{ov} е масата на влажниот материјал, [kg],

m_o е масата на сувиот материјал, [kg],

m_v е маса на впиена вода, [kg],

$$m_v = m_{ov} - m_o,$$

$$V_v = \frac{m_v}{\gamma_{sv}},$$

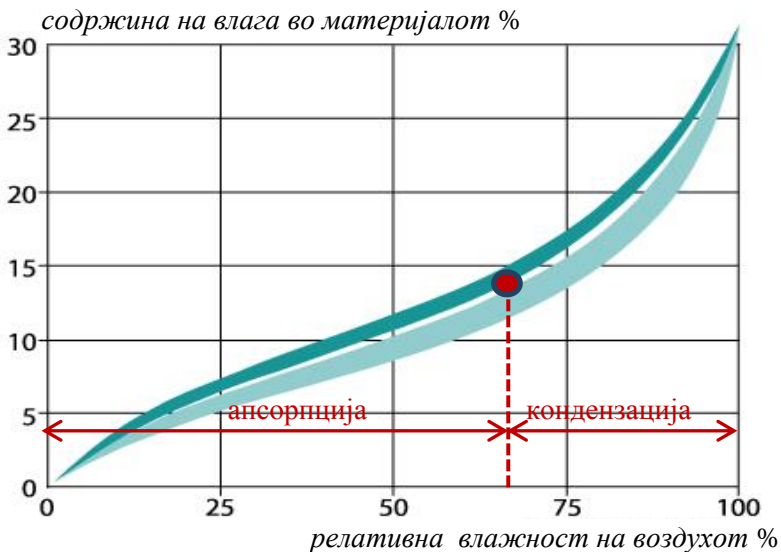
V_v е волумен на впиена вода, [m³],

γ_{sv} е специфична маса на водата; $\gamma_{sv} = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Соодветно, релативната влажност се изразува со равенката:

$$H_r = \frac{m_{ov} - m_o}{m_{ov}} \cdot 100\% = \frac{m_o}{m_{ov}} \cdot H_a,$$

каде што H_r е релативна влажност на материјалот.



Слика 2.6 Сооднос помеѓу содржината на влага во материјалот и релативната влажност на воздухот

в) *впивање вода* – Својството на материјалот да прима и задржува во себе вода, кога се наоѓа во водена средина, се нарекува впивање вода.

Постојат два случаи на впивање вода, и тоа:

- *при потполно заситување*, што одговара на водозаситена состојба и се нарекува апсолутно впивање вода. Тоа се определува со разликата меѓу масата на материјалот во водозаситена состојба и масата во апсолутно сува состојба. Се изразува во проценти и се пресметува според равенката:

$$U_p = \frac{m_{zv}}{m_o} \cdot 100 [\%],$$

каде што:

U_p е впивање вода при потполно заситување,

m_{zv} е маса на впиена вода при потполно заситување, [kg],

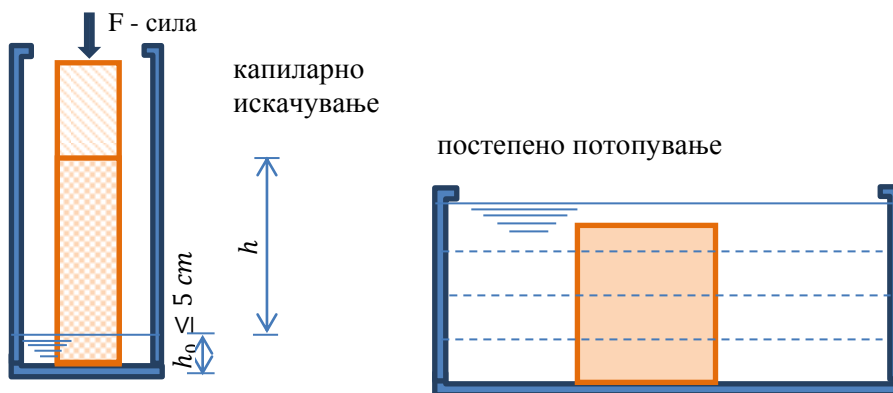
$$V_{op} = \frac{m_{zv}}{\gamma_{sv}},$$

m_o е маса на сувиот материјал, сушен на 105°C [kg],

m_{ozv} е маса на материјалот после впивање вода до потполно заситување, [kg],

$$m_{zv} = m_{ozv} - m_o.$$

- при вообичаени услови, што одговара на метода на постепено потопување и метода на капиларно искачување, слика 2.7.



Слика 2.7 Капиларно искачување и постепено потопување

$$U = \frac{m_v}{m_o} \cdot 100 [\%]$$

каде што:

U е впивање вода во вообичаени услови (впивање вода по маса),

m_{zv} е маса на впиена вода, [kg],

$$V_{op} = \frac{m_{zv}}{\gamma_{sv}}$$

$$U_{vol} = \frac{m_v}{V} \cdot 100 [\%]$$

каде што:

U_{vol} е впивање вода по волумен.

Впивањето вода е едно од најважните својства на материјалите. Тоа покажува големо влијание врз нивната јакост, отпорност на мраз и други својства од кои зависи погодноста на материјалот за употреба во градежништвото.

Коефициентот на водозаситеност се изразува како сооднос на впивањето вода во вообичаени услови и впивањето вода при водозаситеност:

$$k_u = \frac{U}{U_p} = \frac{\frac{m_v}{m_o}}{\frac{m_{zv}}{m_o}} = \frac{m_v}{m_{zv}}.$$

г) *водопронетливост* – Водопронетливоста се определува како својство на материјалот да пропушта вода низ својата капиларно-порозна структура, кога е под притисок, слика 2.8. Како мерка на водопронетливост служи коефициентот на филтрација, кој според законот на Дарси (Darcy) се определува според следниот израз:

$$k_f = \frac{Q_v \cdot a}{A \cdot \Delta p \cdot t}$$

каде што:

k_f е коефициент на филтрација, [m/h],

Q_v е количество на вода, [m³],

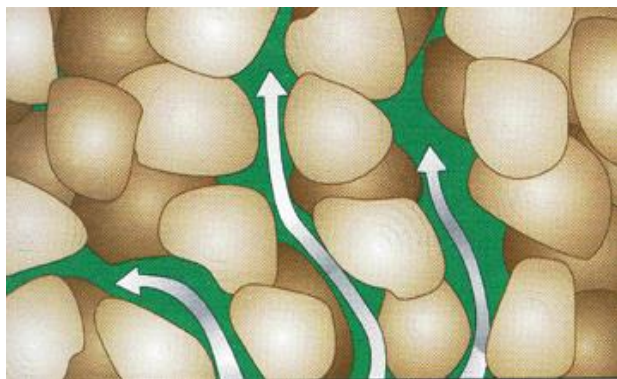
a е дебелина на материјалот, [m],

A е површина на материјалот, [m²],

Δp е разлика на хидростатичкиот притисок на двете гранични површини, [m],

t е време на филтрација, [h].

Со други зборови, коефициентот на филтрација претставува количество на вода кое поминало за 1 час преку површина на испитуваниот материјал од 1m², со дебелина од 1m, при разлика на хидростатичкиот притисок од 1m воден столб.



Слика 2.8 *Водопронетливост на материјалот*

Од друга страна пак, водонепронетливоста, е својство на непропуштање на вода за претходно дефиниран притисок. Водонепронетливи се многу збиените материјали (челик, стакло, битумен) и збиените материјали со затворени пори (бетони со специјално подобрен состав). Водонепронетливоста се дефинира експериментално, при што постојат

стандардизирани постапки за испитување. Тие воглавно се сведуваат на две методи: со постојан притисок и со променлив притисок на вода, слика 2.9.



Слика 2.9 Испитување водонепропустливост на бетон

д) *водоотпорноста* - се определува како способност на материјалите да си ги зачуваат својствата кога се изложени на постојано или периодично дејство на вода. Како критериум за водоотпорноста на даден градежен материјал може да служи коефициентот на размекнување, K_{razm} , кој се определува со испитување на пробни примероци во лабораториски услови со изразот

$$K_{razm} = \frac{f_{p,zv}}{f_{p,s}}$$

каде што:

$f_{p,zv}$ е јакост на притисок на водозаситен примерок,

$f_{p,s}$ е јакост на притисок на сув примерок.

Овој коефициент е многу мал за непечените глинени производи, а е близок до единица за битумените. Се смета дека материјалите за кои $K_{razm} > 0,8$, како што се, на пример, гранитот и бетонот, се водоотпорни. Теоретски, водоотпорните материјали се отпорни и на мраз.

2.2.3.2 Термотехнички својства

а) *спроведување на топлина*: Својството на материјалот да спроведува топлина низ себе при определена температурна разлика меѓу своите две спротивно поставени површини се нарекува топлоспроводливост. Ова својство се карактеризира со коефициентот на топлинска спроводливост λ . Тој го претставува количеството топлина кое поминува низ испитуваниот материјал со дебелина од 1m, преку површина на испитуваниот материјал од 1m², за време од 1 час, за разлика на температурите од двете спротивни страни од 1°K, слика 2.10. Се определува со следниот израз:

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{A \cdot (T_1 - T_2) \cdot t}$$

каде што:

λ е коефициент на топлинска спроводливост, [W/mK],

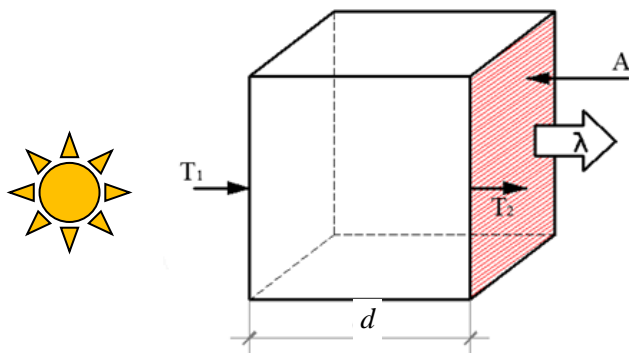
Q е количество на топлина, [Wh],

d е дебелина на материјалот, [m],

A е површина на материјалот, [m²],

T_1 , T_2 се температури на двете спротивни страни на примерокот, [K],

t е време, [h].



Слика 2.10 Спроведување на топлина

Во табела 2.2 се дадени вредностите за коефициентот на топлинска спроводливост λ за некои видови на материјали.

Табела 2.2:

материјал	Коефициент на топлинска спроводливост λ [W/mK]
челик	58
бетон	2.100
полна тула	0.800
порозна тула	0.400
дрво (бука, даб)	0.200
дрво (елка, бор)	0.140
порозен бетон	0.110
слама	0.055
типичен материјал за изолација	0.040
изолација со голема топлинска отпорност	0.025
нанопорозна екстра изолација	0.015
вакуумска изолација (висок вакуум)	0.002

Колку што е помала вредноста λ , толку е помало и пренесувањето на топлина. Тоа значи дека добрите топлоизолациони материјали имаат мала вредност λ . Вредностите на коефициентот на топлинска спроводливост се променливи за еден ист материјал и зависат од волуменската маса на материјалот (порозноста), хемискиот состав, содржината на влага во материјалот, температурата на материјалот и сл.

б) *топлинско деформирање*: Својството на материјалот да се деформира при температурни промени се нарекува топлинско деформирање. Се карактеризира со топлинските коефициенти на линеарна и волуменска деформација. Во градежништвото многу почесто се користи коефициентот на линеарна топлинска деформација, α_t . Тој пресметковно е рамен на линеарната деформација на единица должина од материјалот при промена на температурата за 1°C .

Општата деформација Δl_t на елемент од конструкција со должина l , при температурна разлика ΔT се добива според изразот:

$$\Delta l_t = \alpha_t l_0 \Delta T$$

каде што l_0 е првобитната должина на елементот. Оттука, крајната должина на елементот после топлинското деформирање ќе биде:

$$l = l_0(1 + \alpha_t \Delta T).$$

Коефициентот на волуменска деформација, β_t , е еднаков на промената на единица волумен од материјалот при температурна разлика од 1°C . Во општ облик, волуменската топлинска деформација се определува според равенката:

$$\Delta V_t = \beta_t V_0 \Delta T$$

каде што V_0 е првобитниот волумен на елементот.

Коефициентот на линеарна топлинска деформација, α_t , за бетонот и челикот има вредност $(10 \div 12) \cdot 10^{-6}$.

Промената на температурата води до појава на топлински деформации или внатрешни напрегања во конструкциите. За да се спречи појава на пукнатини, конструкциите се разделуваат меѓусебно на одделни делови со фуги. Исто така, и кога составните делови на даден материјал имаат различни коефициенти на линеарна топлинска деформација, во материјалот може да се појават напрегања кои може да доведат до негово напукнување и, во најнеповолен случај, до негово рушење. Во табелата 2.3 се дадени вредностите за коефициентот на линеарно ширење $\alpha_t [1/^\circ\text{C}]$.

Табела 2.3

материјал	Коефициент α	материјал	Коефициент α
алуминиум	$23,8 \times 10^{-6}$	варовник	$(9-10) \times 10^{-6}$
цементен малтер	$(10-12) \times 10^{-6}$	мермер	$(5-10) \times 10^{-6}$
бетон	$(8-12) \times 10^{-6}$	тула	$4,5 \times 10^{-6}$
челик	$(10-13) \times 10^{-6}$	песочник	$12,4 \times 10^{-6}$
дрво	6×10^{-6}	стакло	$(8,5-9) \times 10^{-6}$
гранит	$8,1 \times 10^{-6}$	шкрилец	$10,1 \times 10^{-6}$

в) *термичка стабилност*: Термичката стабилност на материјалите е особина која е поврзана со нивната хомогеност и коефициентот на линеарно ширење. Материјалот се смета за термички стабилен ако во него, после пропишан температурен третман со многукратни температурни промени, не се јават пукнатини или други видови рушења на неговата структура. Термичката стабилност на материјалите се зголемува со намалување на коефициентот на линеарно ширење.

г) *отпорност на пожар*: Својството на материјалите да издржат продолжено време на дејство на високи температури, без да се топат, размекнуваат или деформираат се нарекува отпорност на пожар. Според степенот на својата отпорност на пожар, материјалите се делат на:

- отпорни на пожар, кои издржуваат продолжено време на дејство на многу високи температури (над 1600°C), на пример шамотни тули за индустриски печки, кварцни огноотпорни тули и сл.,
- тешкотопливи, кои издржуваат температури од 1350 до 1580°C (тешкотопливи тули за печки),
- леснотопливи, кои се размекнуваат при температура пониска од 1350°C (обични глинени тули).

2.2.3.3 Други поважни физички својства

а) *спроведување на звук*: Во областа на звучна заштита се применуваат две основни групи на материјали и тоа:

- материјали за апсорпција на звук и
- материјали за звучна изолација.

Во првата група на материјали спаѓаат материјалите со чија помош се смалува енергијата на одбиените (рефлектирани) звучни бранови, па со тоа се намалува и јачината на звукот во просториите, додека во вториот случај се работи за материјали кои во принцип се користат за ослабување на звукот произведен со удар, иако често (на пример, во рамките на меѓукатните конструкции), овие материјали придонесуваат и за изолација од т.н. воздушен

звук (на пример, кај преградни ѕидови меѓу станови, лифтовски конструкции и сл.).

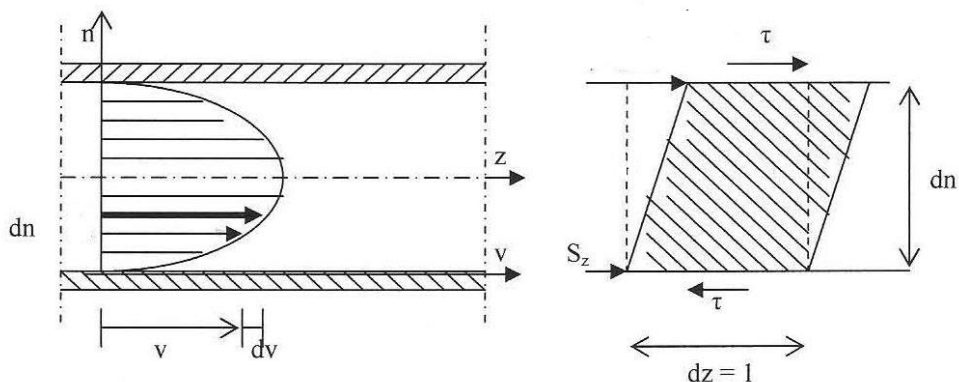
Два критериума ги определуваат главните акустични особини на градежните материјали, а тоа се:

- коефициентот на изолација - однос на интензитет на пропуштен звук и влезен звук
- коефициентот на апсорпција - однос на апсорбирана и упадна звучна енергија.

Како звучно изолациони материјали треба да се применуваат материјалите кои се доволно еластични и порозни и се карактеризираат со ниски вредности на модулот на еластичност. Такви материјали се порозно влакнестите материјали, синтетичките материјали со ќелиска и сунѓереста структура и сл.

Вистински градежни материјали за апсорпција на звук се сметаат само материјалите кои барем во еден дел од целото чујно подрачје (т.е. за определени звучни фреквенции) имаат коефициент на апсорпција $\alpha \geq 0,3$. Коефициентот на апсорпција на порозниот материјал е поголем, доколку порозноста на материјалот е поголема и фреквенцијата е повисока. Притоа, другите фактори (дебелина, растојание од тврдата подлога) практично не влијаат на највисоките фреквенции.

б) *вискозност* - Вискозност (внатрешно триење) е мерка за отпорот на флуидите (течностите и гасовите) кон деформирање, т.е. отпор на меѓусебното движење на нивните слоеви, слика 2.11. Таа претставува мерка за отпорот кој течноста го дава при истекување. На пр. водата има мала вискозност, а медот голема. Супстанциите со многу голема вискозност се на преодот помеѓу аморфни цврсти тела и течности. Кај поголем број течности вискозноста се смалува со загревање. При преработката на пластичните маси или полимерите се сретнуваат „неѓутнови“ течности, чија особина е зголемување на вискозноста со загревање.



Слика 2.11 Вискозност кај течности

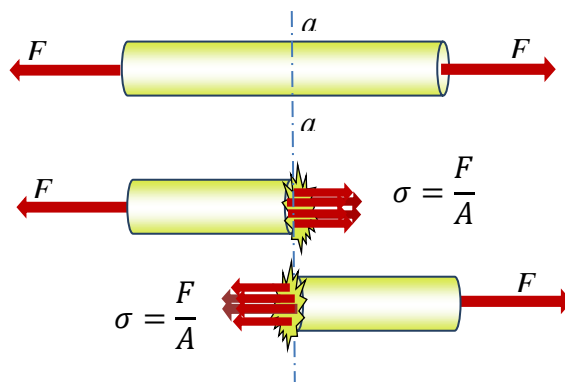
в) *пропустливост на гасови и пареа*: Овие својства ја карактеризираат способноста на материјалот да пропушта низ себе гасови (воздух и водена пареа). Сите порозни материјали со отворени пори се пропустливи на гасови и пареа. Доволната паропропустливост и гасопропустливост со која се градат и оформуваат ѕидовите на објектите, помага да се одржува оптимален режим на гасови и влажност во просториите на објектот.

г) *постојаност на мраз*: Способноста на материјалот потопен во вода да издржи многукратно циклично замрзнување – одмрзнување, без знаци на разрушување и без значително намалување на масата и јакоста, се нарекува отпорност на мраз.

Материјалот се смета за постојан на мраз, ако пробниот примерок после определен број на циклуси на замрзнување и одмрзнување не изгуби повеќе од 5% од својата маса како резултат на рушење и не ја намали јакоста повеќе од 15-25%. Материјалите се испитуваат на постојаност на мраз во лаборатории и се делат на класи: 10, 15, 25, 35, 50, 100, 200 (секоја бројка го означува бројот на циклусите замрзнување – одмрзнување, кои материјалот може да ги издржи без лом). Барањата за градежните материјали за постојаност на мраз зависат од видот на конструкцијата и од условите на работа на објектот. На пример, тулите треба да имаат постојаност на мраз не помала од 15 циклуси, додека за конструктивниот бетон во хидротехничките објекти потребни се 200 и повеќе циклуси.

2.3 Механички својства на материјалите

Механичките својства на материјалите ја карактеризираат способноста на материјалот да се спротивстави на секаков вид на надворешни оптоварувања, поврзани со приложување на сили.



Слика 2.12 Напрегања во материјалот при негово оптоварување со сила на затегнување

Дејството на товарите од сопствена тежина и на корисните товари на конструкциите се изразува со сили. Тие сили предизвикуваат напрегања во материјалите од кои се направени конструкциите.

Честичките кои го сочинуваат тврдиот материјал се наоѓаат во рамнотежа поради дејството на нивните сили на врска. Ако кон пробно тело, слика 2.12, се приложи надворешна сила на затегнување, нејзиното дејство ќе се распредели на сите честички во материјалот, па материјалот ќе биде во напрегната состојба. Напрегањето ќе предизвика промена на растојанијата помеѓу честичките, т.е. материјалот се деформира (во дадениот случај тој ќе се истегне).

За да се определи напрегањето кое се создало во материјалот, σ , на пробното тело се прави замислен пресек а-а во средина на распонот. За да може добиените половинки да останат во рамнотежа, на надворешната сила F треба да се спротивстави сила еднаква на неа, σ , т.е. $F = \sigma A$. Оттаму, $\sigma = \frac{F}{A}$, каде што A е површината на напречниот пресек на пробното тело во m^2 . Значи, напрегањето е сила која дејствува на единица површина.



Слика 2.13 Поделба на механичките својства на материјалите

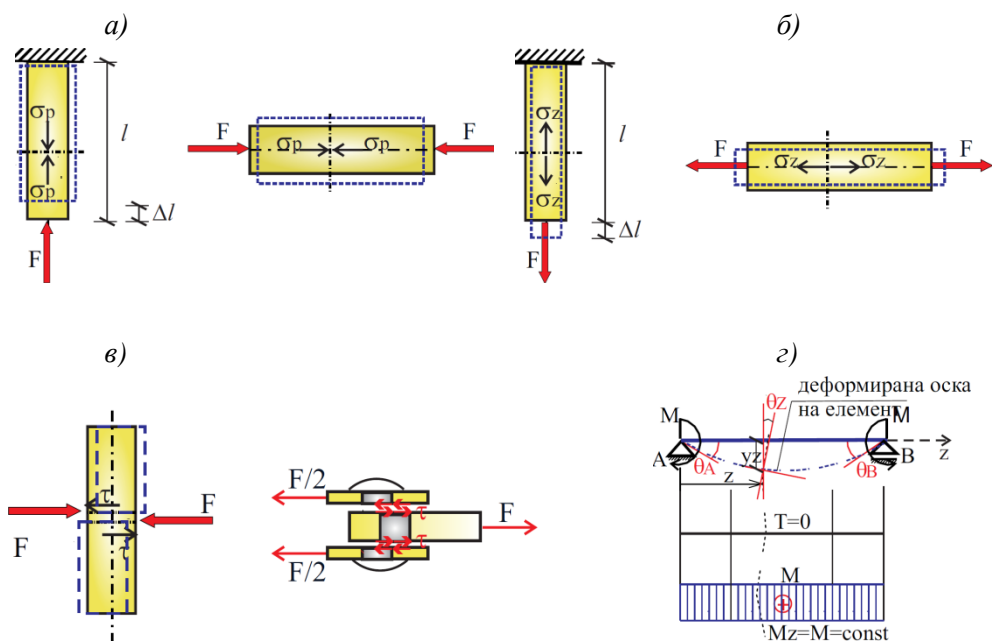
Бидејќи напрегањата претставуваат интензитет на сила на површина, тие се мерат во единици за сила поделени со единици за површина. Единицата за напрегање во интернационалниот SI систем е Њутн на метар квадратен (N/m^2), или исто така означен како pascal (Pa). Многу почесто употребувана и пожелна единица е MPa (мегапаскали) или N/mm^2 .

Механичките својства на материјалите можат да бидат јакосни и деформациони, слика 2.13.

2.3.1 Јакост на материјалите

Јакоста претставува најголемото напрегање кое материјалот може да го поднесе под дејство на надворешни сили (товари) без разрушување. Основните напрегања се предизвикани со само една внатрешна статичка големина: аксијална сила N , трансверзална сила T или нападен момент M . Кога на некој определен елемент дејствува комбинација од некои од нив (или од сите), тогаш елементот е изложен на сложено напрегање.

Соодветно на различните видови на надворешни сили и основни напрегања, јакоста вклучува јакост на затегнување, јакост на притисок, јакост на смолкнување, јакост на свиткување, јакост при торзија и слично. Состојбите на напрегања на материјалот се прикажани на слика 2.14.



Слика 2.14 Јакост на: а) притисок, б) затегнување, в) смолкнување
з) свиткување

Овие видови на јакости се определуваат со статички испитувања, познати како статички јакости. Статичката јакост се испитува на стандардни пробни тела, во лабораториски услови, со деструктивни експерименти врз база на стандардизирани методи. За таа цел се користат хидраулични преси или машини со друго дејство, слика 2.15.



Слика 2.15 Хидраулични преси за испитување на материјалите

Јакоста на притисок, јакоста на затегнување и јакоста на смолкнување можат да се дефинираат со:

$$f = \frac{F}{A}$$

каде што:

f е јакост на материјалот, [MPa],

F е најголемата сила на пробното тело во моментот на рушење, [N],

A е површината од пробното тело која е изложена на оптоварување, [m²].

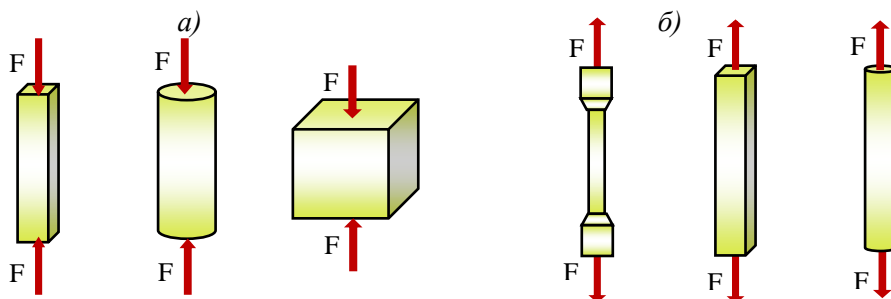
Притоа, се користат ознаките f_p за јакост на притисок, f_z за јакост на затегнување, f_t за јакост на смолкнување.

Јакоста на материјалот е во зависност од неговиот состав и структура. Јакоста е различна ако составите на два материјала се идентични, но тие имаат различна структура. На пример, колку е поголема порозноста, толку е помала јакоста. Јакоста исто така зависи и од условите на испитување, како што се големината на примерокот, формата, површината, содржината на вода, брзината на оптоварување, температурата на околната средина, точноста на опремата за испитување, како и од обученоста и умешноста на кадарот кој ги врши испитувањата.

2.3.1.1 Јакост на притисок

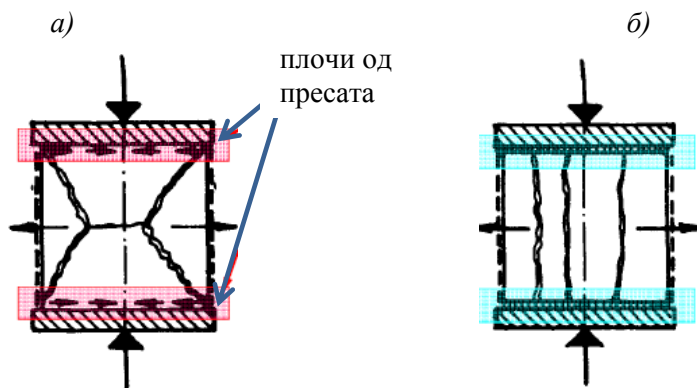
Јакоста на притисок се испитува на различни пробни тела: коцки, призми, цилиндри, слика 2.16а). Изборот на обликот и димензиите на пробните тела за определување на јакоста на притисок зависи од карактеристиките на конкретниот материјал. Формата и димензиите значајно влијаат на крајната јакост; на пример коцките со помали димензии секогаш покажуваат поголема јакост отколку коцките со поголеми димензии, при потполно ист материјал.

Јакоста на призма е исто така помала од јакоста на коцка со исти димензии на напречен пресек и од ист материјал.



Слика 2.16 Пробни тела за испитување на: а) јакост на притисок, б) јакост на затегнување

Поголемата јакост на малите коцки може да се објасни со влијанието на триењето кое се јавува на контактот помеѓу примерокот и плочите од пресата за нанесување на силата. Триењето го спречува слободното напречно деформирање на примерокот, па во него се јавуваат и извесни дополнителни напрегања. Значи, примерокот веќе не е оптоварен само аксијално, туку и напречно, па до лом доаѓа на начин претставен на сликата 2.17а).



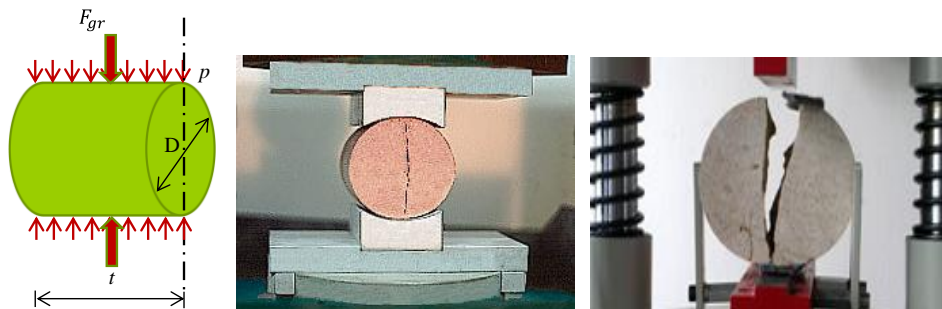
Слика 2.17 Влијание на триењето врз ломот на примерок со форма на коцка: а) со триење на контактот, б) подмачкани плочи од пресата со намалено триење

Доколку со примена на определена постапка (подмачкување) се намали или елиминира триењето, јакоста на притиснатите коцки ќе се намали значително. Примерокот има слободно напречно деформирање, а до лом доаѓа со создавање на прснатини паралелни со притисокот, слика 2.17 б).

2.3.1.2 Јакост на затегнување

Јакоста на затегнување се испитува на различни пробни тела, при што најмеродавни резултати се добиваат со постапката на аксијално затегнување,

слика 2.16б). За определување на јакоста на затегнување, многу често се употребува и постапката која се состои од изложување на цилиндар на притисок по две спротивни изводници, или т.н. Бразилска метода, слика 2.18. Под вакви услови, во цилиндарот се јавуваат напрегања на затегнување нормални на правецот на дејство на линиското оптоварување p , па доаѓа до цепење на цилиндарот.



Слика 2.18 Испитување јакост на затегнување со цепење – Бразилска метода

Покрај напрегањата на затегнување, во цилиндарот доаѓа до појава и на други видови напрегања, т.е. тој е изложен на сложена состојба на напрегања. Од тие причини, јакоста на затегнување добиена на овој начин е за 10 – 20 % поголема од јакоста добиена на примероци изложени на чисто аксијално затегнување. Јакоста на затегнување со цепење се пресметува според изразот:

$$f_{zc} = \frac{2F_{gr}}{\pi D t}$$

каде што:

F_{gr} е гранична вредност на силата, [N], $F_{gr} = p t$

t е должина на испитуваниот цилиндар, [m],

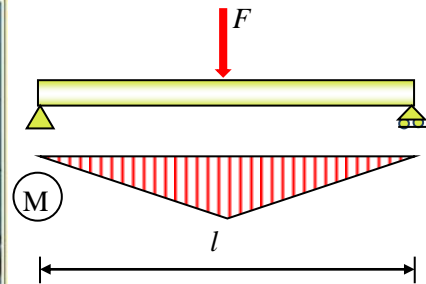
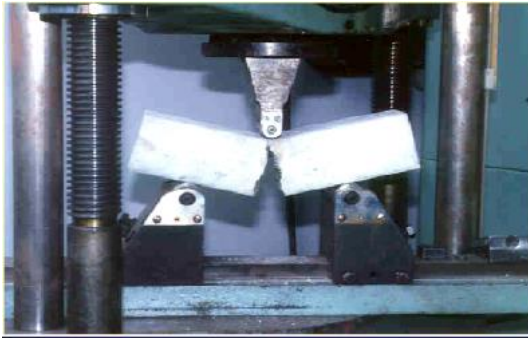
D е пречник на испитуваниот цилиндар, [m].

2.3.1.3 Јакост на свиткување

Јакоста на свиткување е во зависност од максималната (гранична) сила F_{gr} која може да ја издржи материјалот и неговиот напречен пресек. Таа се определува на примероци од материјал во облик на гредички, оптоварени со една или две концентрирани сили, слика 2.19.

Во овој случај, според познатите изрази за моментот и отпорниот момент на гредичката:

$$M_{gr} = \frac{F_{gr} l}{4} \quad \text{и} \quad W = \frac{bh^2}{6}$$



Слика 2.19 Испитување јакост на свиткување со една сила во средина се определува големината на јакоста според изразот:

$$f_s = \frac{M_{gr}}{W}$$

$$f_s = \frac{3}{2} \frac{Fl}{bh^2}$$

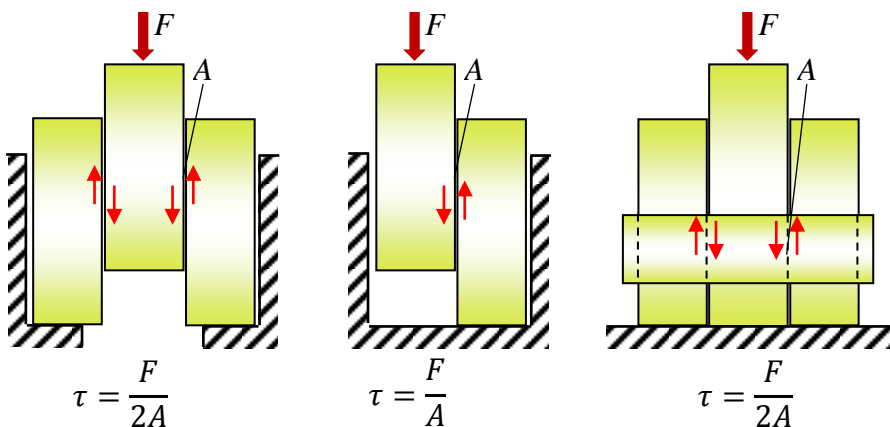
каде што:

M_{gr} е гранична вредност на моментот кој одговара на максималното оптоварување, [Nm],

W е отпорен момент на напречниот пресек на гредичката, [m³].

2.3.1.4 Јакост на смолкнување

Јакоста на смолкнување може да се испита на поголем број различни начини, во зависност од конкретниот материјал, слика 2.20.



Слика 2.20 Површина на смолкнување при испитување јакост на смолкнување

Јакоста на смолкнување се определува според изразот:

$$f_{\tau} = \frac{F_{gr}}{A}$$

каде што:

F_{gr} е гранична вредност на силата која одговара на максималното оптоварување, [N]

A е површина на смолкнување, [m²].

Во зависност од нивното потекло и структура, градежните материјали на различен начин ги прифаќаат различните напрегања. Материјалите од природно потекло (природни карпи, тули, бетон и сл.) добро се однесуваат на притисок, значително полошо на смолкнување и уште полошо на затегнување. Затоа, тие се користат првенствено во конструкции кои работат на притисок. Други градежни материјали, како што се челикот и дрвото, се однесуваат еднакво добро на напрегања на притисок, затегнување, свиткување, и успешно се применуваат во поголем број на конструкции. Во табела 2.4 се дадени јакостите на некои почесто употребувани градежни материјали.

Табела 2.4:

Материјал	Јакост, [МПа]		
	на притисок	на свиткување	на затегнување
гранит	150 – 250	-	3 – 5
тежок бетон	10 – 50	2 – 8	1 – 4
керамички блокови	7,5 – 30	1,8 – 4,4	-
челик	210 – 600	-	380 – 900
дрво (паралелно на влакната)	30 - 65	70 – 120	55 – 150
пластични маси	90 - 150	130 - 250	60 - 120

2.3.2 Деформациони својства на материјалите

При испитувањето на материјалите, од примарна важност е механичкото однесување на реалните материјали под определено оптоварување. Експериментите, кои се воглавно испитувања на затегнување и притисок, обезбедуваат основни информации за ова однесување.

Пофундаментално е да се даде извештај за напрегањето, отколку за силата приложена на експерименталниот елемент, како и да се определи дилатацијата отколку издолжувањето. Како последица, во експерименталните

студии на својствата на материјалите, вообичаено е да се цртаат дијаграми на врските помеѓу напрегање и дилатација за соодветното испитување, кои се претпоставува дека се независни од големината на примерокот.

Деформационите својства на материјалите ги вклучуваат нивната еластичност, пластичност, кртост, дуктилност и сл.

2.3.2.1 Деформација

Промената на димензиите и обликот на материјалите при оптоварување се нарекува деформација. Ако после отстранувањето на товарот, пробното тело од материјалот се враќа во првобитната форма и димензии, тогаш деформацијата е еластична. Ако, пак, материјалот делумно или потполно ја зачува новодобиената форма после отстранувањето на товарот, деформацијата е пластична.

2.3.2.2 Еластичност

Еластичноста се определува како својство на тврдото тело, после отстранувањето на товарот, да си ја востанови првобитната форма и димензии (потполно – при мали оптоварувања, и делумно – при големи натоварувања). Најголемото напрегање до кое материјалот е сè уште еластичен, се нарекува граница на еластичноста. Еластичноста е позитивно својство на градежните материјали. Еластични се каучукот, челикот и други материјали.

2.3.2.3 Пластичност

Својството на тврдото тело при оптоварување да ја промени својата форма, без во него да се појават пукнатини и да се наруши неговата целина, и да ја зачува новодобиената форма после отстранување на товарот, се нарекува пластичност. Пластични се оловото, бакарот, глиненото тесто, битуменот.

Апсолутно еластични и апсолутно пластични материјали нема. Секој материјал пројавува и еластични и пластични својства, до некое определено ниво.

2.3.2.4 Кртост

Кртоста се определува како својство на крутото тело при оптоварување да доживее моментален лом, при незначителни деформации. Крти се карпестите материјали, бетонот, стаклото и др. Кртите материјали имаат голема јакост на притисок и мала јакост на затегнување, свиткување и удар.

2.3.2.5 Дијаграм напрегање-дилатација

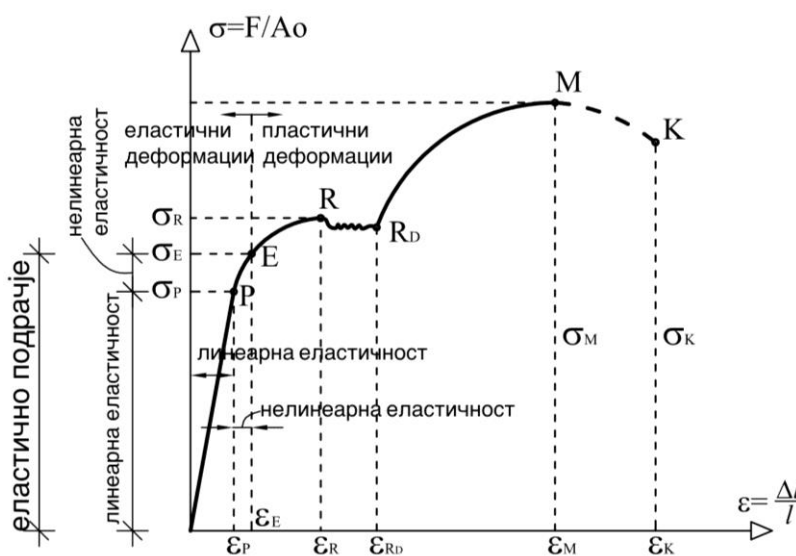
Кај тврдите еластични тела, со пораст на напрегањата, растат пропорционално и нивните соодветни еластични деформации.

За да се исклучи должината на елементот, се воведува релативната деформација, која го претставува односот помеѓу промената на должината Δl и првобитната должина l , и се нарекува дилатација. Ова е надолжна (лонгитудинална) дилатација.

$$\varepsilon_z = \frac{\text{промена на должината}}{\text{првобитна должина}} = \pm \frac{\Delta l}{l} \quad \left[\frac{m}{m} \right]$$

Дилатацијата нема единечна мерка бидејќи е дефинирана како метар на промена врз должински метар (m/m). Оваа единица е бездимензионална.

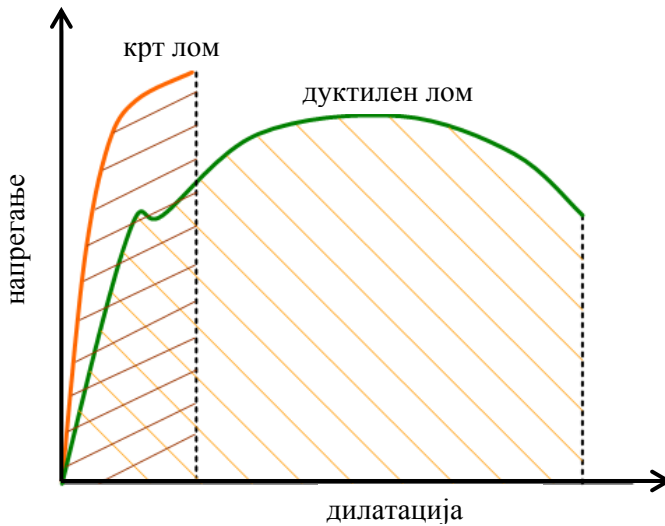
Експериментално определените дијаграми напрегање-дилатација значајно се разликуваат за различни материјали. Дури и за истите материјали, тие може да се разликуваат, во зависност од различни параметри. Нумерички, секој материјал си има своја сопствена карактеристична крива. На сликата 2.21 е прикажан конвенционалниот дијаграм напрегање-дилатација за мазен челик кој се користи како арматура во градежништвото. Наклонот на кривата е важен, како и некои поединечни точки (јакост на течење, ултимативна јакост итн.) како што се означени на слика 2.21. Завршната точка на дијаграмот напрегање-дилатација го претставува крајниот лом на примерокот. Со оглед на фактот дека за многу инженерски примери деформациите мора да бидат ограничени, посебно важен е понискиот опсег на дилатациите.



P – граница на пропорционалност; E – граница на еластичност; R – горна граница на големи издолжувања; M – максимална јакост на материјалот; K – точка на кинење; F – сила која се нанесува на примерокот; A₀ – почетна површина на напречен пресек.

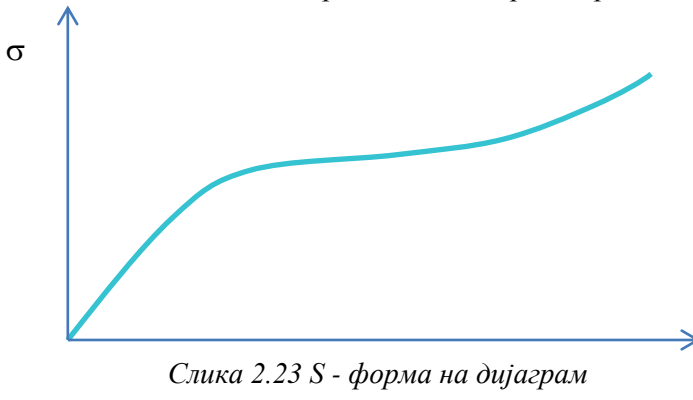
Слика 2.21 Карактеристичен σ - ε дијаграм за мазен челик за армирање

Материјалите кои се способни да поднесат големи дилатации без значаен пораст на напрегањата се нарекуваат дуктилни (жилави) материјали. Спротивното се однесува на крти материјали. Двата типа на лом кај материјалите сликовито се претставени на слика 2.22.



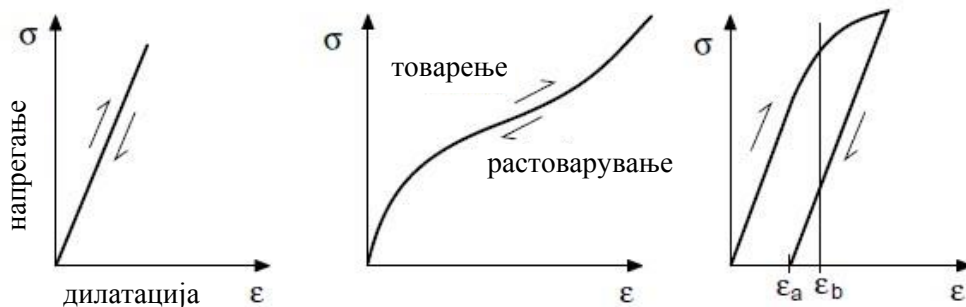
Слика 2.22 Крти и дуктилни материјали

Дијаграмите напрегање-дилатација со S-форма се јавуваат кај гумата и материјали слични на неа (лесно поврзаните полимери). Материјалите со ваква форма на дијаграм, како на слика 2.23, се особено чувствителни на еластични нестабилности, кои се предмет на интерес на различни феномени.



Слика 2.23 S - форма на дијаграм

Според формата на дијаграмот напрегање-дилатација се определува на кој тип на материјали припаѓа испитуваниот материјал (еластичен, нееластичен, еластичен нелинеарен итн.), како на слика 2.24.



Слика 2.24 Дијаграми напрегање-дилатација: а) еластичен линеарен, б) еластичен нелинеарен, в) нееластичен

2.3.2.6 Јунгов модул на еластичност

За ограничен опсег од координатниот почеток, експерименталните вредности на напрегање - дилатација лежат на права линија (сè до точката Р, слика 2.21). За повеќето високовредни челици, линеарниот закон важи многу блиску до точката на лом. Од друга страна, пак, права линија практично и не постои кај дијаграмите на бетон, почва, алуминиум итн. Како и да е, за сите практични примени, сè до некоја точка како точката Р на сликата 2.21, односот напрегање - дилатација може да се каже дека е линеарен за сите материјали. Оваа идеализација и генерализација е применлива за сите материјали и е позната под името Хуков закон. Симболично, Хуковиот закон може да се претстави со следниот израз:

$$\sigma = E\varepsilon$$

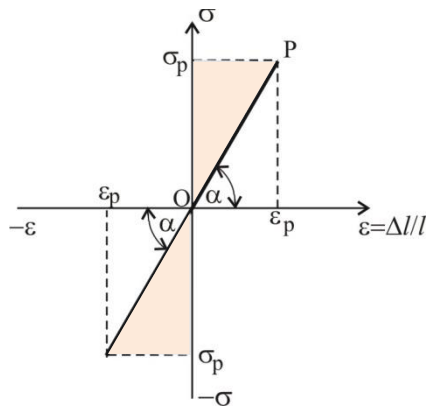
Или, со зборови, горната равенка значи дека напрегањето е право пропорционално на дилатацијата, каде што константа на пропорционалноста е E . Константата E е наречена еластичен модул, модул на еластичност, или Јунгов модул на еластичност и има единица на напрегање во оваа релација [$\text{Pa} = \text{N/m}^2$].

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \Leftrightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Графички, E се интерпретира како наклон на правата линија од координатниот почеток до точката Р (слика 2.25) на еднооксијалниот дијаграм напрегање-дилатација. Напрегањето кое одговара на точката Р се вика граница на пропорционалност или граница на еластичност на материјалот.

$$\text{tg } \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} = E; \quad \sigma = E\varepsilon; \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon}; \quad E = \text{tg } \alpha$$

Физички, Јунговиот модул на еластичност ја претставува крутоста на материјалот на нанесен товар. Вредноста на модулот на еластичност е својство на материјалот.



Слика 2.25 Графичка презентација на законот на Хук

Хуковиот закон важи само до границата на пропорционалност на материјалот. Заради тоа, сите образци кои се изведени врз база на овој закон, се ограничени за однесување на материјалот за пониски вредности на напрегања.

Другиот облик на Хуковиот закон е:

$$\Delta l = \frac{F l}{EA}$$

каде што: Δl е промена на должината на разгледуваниот елемент [m],
 F е аксијална сила [N],
 l е должина на елементот [m],
 A е површина на напречен пресек [m²],
 E е Јунгов модул на еластичност [Pa].

Промената на должината на елементот е пропорционална со нанесената аксијална сила F и неговата должина l , и со реципрочните вредности на површината на напречниот пресек A и модулот на еластичност E . Колку е поголема вредноста на E , толку помалку се деформира материјалот за една иста состојба на напрегањето. Производот EA се нарекува аксијална крутост на елементот.

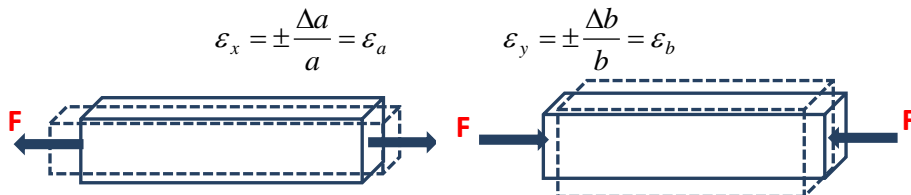
2.3.2.7 Поасонов коефициент

Покрај дилатацијата на материјалите во правец на приложената сила, се јавува и определено бочно (трансверзално) стеснување или ширење на напречниот пресек на разгледуваниот елемент. Овој феномен е илустриран на слика 2.26.

Ако димензиите на напречниот пресек се a и b , тогаш дилатациите во тие правци се:

$$\varepsilon_a = \varepsilon_b = \pm \frac{\Delta a}{a} = \pm \frac{\Delta b}{b}$$

Контракциите во двата правца во рамнината на напречниот пресек го имаат индексот на соодветната оска:



Слика 2.26 Надолжни и напречни деформации при аксијално напрегање

Експериментално е докажано дека за различни видови на материјали, односот помеѓу еластичните аксијални и бочни дилатации е константен. Овој однос е познат како Поасонов број m :

$$m = \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x} = \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_y}$$

Реципрочната вредност на Поасоновитеот број е таканаречениот Поасонов коефициент μ :

$$\mu = \frac{1}{m} = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z} = \frac{\text{бочна деформација}}{\text{надолжна деформација}}$$

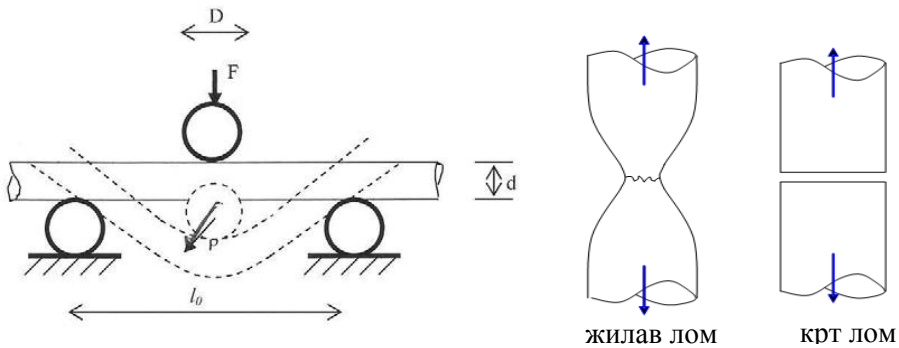
Поасоновитеот коефициент е константа за секој материјал и може да се определи експериментално. Поасоновитеот број и Поасоновитеот коефициент се бездимензионални големини. Вредноста на μ за различни материјали се движи во релативно мал опсег. Тој е од ред на големина од 0.25 до 0.35 (или во екстремни случаи од 0.1 до 0.5).

2.3.2.8 Жилавост

Веќе беше спомнато дека според начинот на кој се деформираат, материјалите може да бидат:

- крти – кај кои до лом доаѓа нагло, без значајни претходни деформации, на пр. керамика или стакло (добро поднесуваат само притисок)
- жилави – кај кои се очигледни значајни деформации пред да дојде до лом, на пр. челик или гума (добро поднесуваат и притисок и затегнување)

Жилавоста кај материјалите може да се испитува со статичко или со динамичко оптоварување.



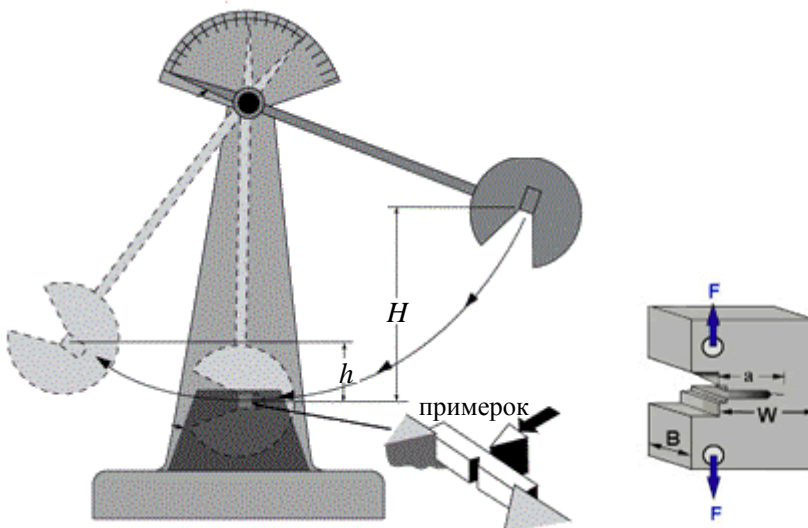
Слика 2.27 Статичко испитување на жилавост кај материјалите

При статичко оптоварување, според слика 2.27, мерката за жилавост се определува со изразот:

$$k = \frac{d}{\rho} 50$$

Динамичкото определување на жилавоста се врши со т.н. Шарпиев чекан. На примерок со претходно направен V- засек, се пушта чекан со точно определена маса од определена висина, слика 2.28. До моментот на ударот и после тоа, кога примерокот ќе доживее лом или деформација, чеканот поминува определен пат и врши соодветна работа: $A = G(H - h)$.

Односот $\rho = \frac{A}{A_0}$ се дефинира како ударна жилавост на материјалот. Во овој израз, A_0 е површината на напречниот пресек на примерокот во опасниот пресек (кај проста греда во средина, а кај конзола во вклетувањето).

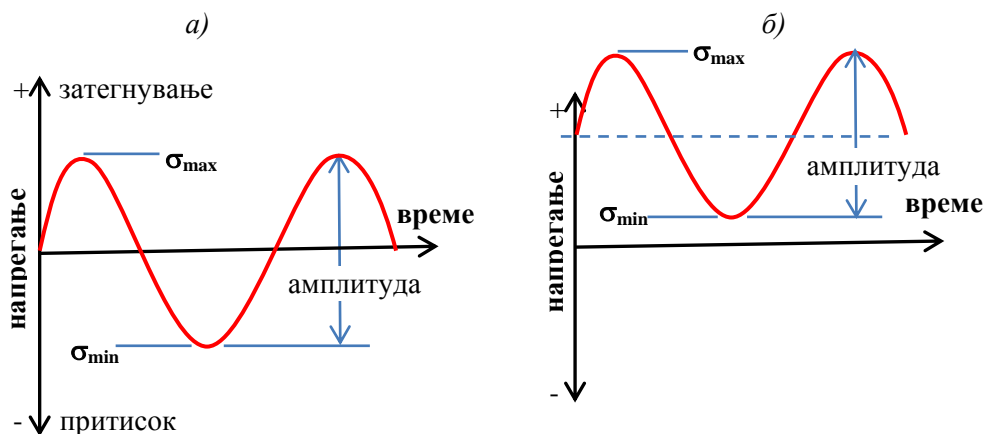


Слика 2.28 Динамичко испитување на жилавост

2.3.3 Јакост на материјалите при динамички оптоварувања

Динамичка јакост претставува најголемото напрегање при динамичко циклично оптоварување, кое епруветата од испитуваниот материјал може да го издржи без лом и при неограничен број на циклуси. Корисно е да се познава зависноста помеѓу вредностите на напрегањето од бројот на промената на оптоварувањата, при кој доаѓа до лом на примерокот. Таа зависност е дадена со кривата на замор или т.н. Велерова крива.

За дефинирање на јакоста на материјалите при динамичко оптоварување се спроведуваат испитувања на различни видови напрегања, но сепак најчесто се вршат испитувања на аксијално оптоварени примероци. Примероците можат да бидат оптоварени или со напрегања со ист знак (притисок или затегнување) или со алтернативни напрегања (притисок и затегнување). При овие испитувања, се разгледуваат циклични променливи оптоварувања од разни видови, во рамките на кои се присутни секвенци, како на слика 2.29.



Слика 2.29 Циклични променливи напрегања:
а) затегнување-притисок, б) затегнување-затегнување

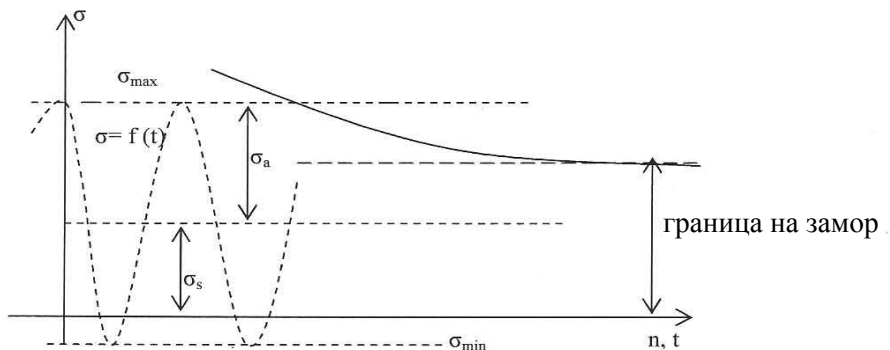
Во науката за материјалите, замор е ослабувањето на материјалот предизвикано со повторливо нанесени оптоварувања. Кога материјалот е изложен на циклично оптоварување, во него се јавува прогресивна и локализирана конструктивна штета. Номиналните вредности на максималното напрегање кои предизвикуваат такви оштетувања може да бидат многу помали од јакоста на материјалот која се нарекува граница на течење.

Заморот се јавува кога материјалот е изложен на повторливо товарење и растоварување. Ако товарите се над некој определен праг, почнуваат да се јавуваат микроруптури на површината, и на врските помеѓу зрната. На крајот руптурата достигнува критична димензија, таа ќе се развива ненадејно, и конструкцијата ќе доживее лом. Обликот на конструкцијата

значително влијае на должината на заморот; квадратни отвори или остри агли водат кон зголемени локални напрегања каде што може да започне развој на пукнатини. Оттука, кружните отвори и мазните преоди или лакови ќе ја зголемат јакоста на замор на конструкцијата.

2.3.3.1 Високоцикличен замор

Историски гледано, најголемото внимание било фокусирано на ситуации кои се однесуваат на повеќе од 10^4 циклуси до лом, кога напрегањето е ниско и деформациите се првенствено еластични.

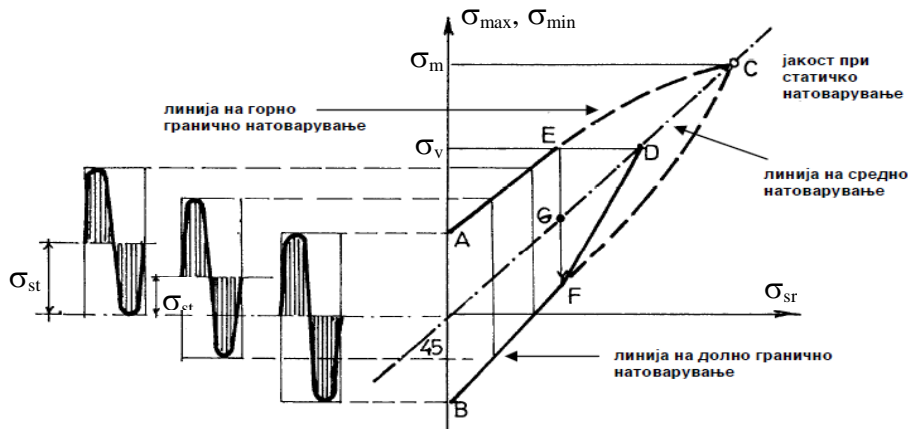


Слика 2.30 Велерова крива на замор за челик

Во ситуации со високоцикличен замор, кога бројот на промени на оптоварувањата се движи помеѓу 10^6 и 10^8 циклуси, однесувањето на материјалот вообичаено се карактеризира со σ - n крива, позната и како Велерова (Wöhler) крива, слика 2.30. Како мерка за јакоста на материјалот за периодично променливо оптоварување служи динамичката јакост, која се определува од Велеровата крива. Почетниот дел од Велеровата функција е криволиниски и ги опфаќа напрегањата за кои доаѓа до лом на примерокот после соодветен помал или поголем број на оптоварувања. При определен број на оптоварувања, кој се нарекува граничен број на промени на оптоварување, Велеровата крива преминува во права паралелна со апсисната оска. Вредноста на ординатата на праволинискиот дел од Велеровата крива се вика динамичка јакост на материјалот. Тоа е најголемото напрегање, кое испитуваниот материјал може да го издржи неограничено долго при дадено периодично променливо оптоварување, а при тоа да не дојде до лом.

Кривите σ - n се изведуваат од испитувања на примероци од материјалот кој треба да се окарактеризира, со нанесување на правилно синусоидално напрегање од машина за испитување, која ги брои циклусите до заморот. На развојот на кривата σ - n може да влијаат многу фактори како што се: корозијата, температурата, заостатните напрегања и присуството на засеци и жлебови.

Врз база на Велеровите криви добиени за различни вредности на средното напрегање, σ_{sr} , може да се конструира т.н. Смитов дијаграм, кој ја дава зависноста на динамичката јакост на материјалот во функција од ова средно напрегање, слика 2.31.



Слика 2.31 Смитов дијаграм

Бидејќи средното напрегање, σ_{sr} , е еднакво на аритметичка средина од напрегањата, σ_{max} и σ_{min} , тоа на Смитовиот дијаграм е дефинирано со права линија која минува низ координатниот почеток, а зафаќа агол од 45° со апсисната оска. Теориски гледано, линиите на горното и долното гранично напрегање би морале да се сечат во точка C која одговара на јакоста на материјалот под статичко оптоварување. Практично, овој услов е ретко кога исполнет. Со оглед на тоа што материјалите изложени на високоцикличен замор во практиката се користат најмногу до напрегање σ_v , Смитовиот дијаграм секогаш се завршува на ниво на напрегањето σ_v , а соодветните точки на линијата на долното гранично напрегање се добиваат врз база на условот на симетрија ($\overline{EG} = \overline{GF}$).

2.3.3.2 Нискоцикличен замор

Кога напрегањето е доволно големо за да се појават пластични деформации, вклучувањето на товарот во врска од напрегањето е помалку корисно и деформацијата во материјалот нуди поедноставен и поточен опис. Нискоцикличниот замор вообичаено се карактеризира со релацијата на Кофин и Менсон (Coffin и Manson):

$$\frac{\Delta \varepsilon_p}{2} = \varepsilon_f' (2n)^c$$

каде што: $\frac{\Delta \varepsilon_p}{2}$ е амплитудата на пластичната деформација,

- ϵ_f' е емпириска константа позната како коефициент на дуктилен замор, деформација при лом за единствена промена,
- $2n$ е бројот на промени до лом (n циклуси),
- c е емприска константа позната како експонент на дуктилен замор, вообичаено во опсегот од (-0.5 до -0.7) за метали со временски независен замор.

2.4 Конструктивни својства на материјалите

Во конструктивни својства на материјалите спаѓаат оние кои се од значење при нивната примена во конструкциите. Како најкарактеристични ќе бидат разгледувани тврдоста, отпорноста на абеење и коефициентот на конструктивна поволност.

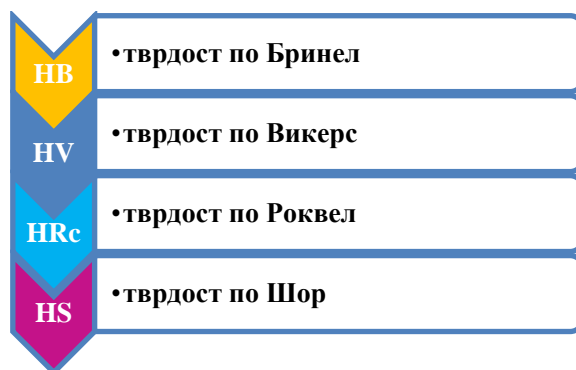
2.4.1 Тврдост

Тврдоста се однесува на својството на материјалот да се спротивстави на продирањето или гребеењето од некој друг материјал или остар предмет во неговата структура.

Тврдоста на природните карпести материјали со монокристална градба се определува според скалата на Мос (Mohs). Во неа минералите се поделени по тврдост во растечки ред - десет специјално избрани материјали. Секој нареден минерал остава врз претходниот трага (го гребе), а самиот тој не се оштетува од него. Тврдоста се означува со броеви, кои одговараат на броевите на минералите: 1) талк, 2) гипс, 3) калцит, 4) флуорит, 5) апатит, 6) ортоклас (фелдспат), 7) кварц, 8) топаз, 9) корунд, 10) дијамант.

Податоците за тврдоста се неопходни кога се работи за рачна или машинска обработка на градежните материјали, бидејќи алатите секогаш мора да се потврди од материјалот кој се обработува. Различните видови на тврдост кај материјалите бараат различни методи за испитување. Тврдоста на челикот, дрвото и бетонот се испитува со метода на втиснување.

Во инженерството постојат неколку скали според кои се определува тврдоста на материјалите, слика 2.32. Според името на скалата, од левата страна е дадена кратенката (на пр. тврдост по Бринел се означува како НВ, тврдост по Викерс е НV, итн.). На пример, методата за определување на тврдоста по Бринел се изразува со притисокот со кој е оптоварен примерок на преса на единица површина.



Слика 2.32 Различни скали на тврдост

2.4.2 Отпорност на абеење

Отпорноста на абеење претставува отпорност на отстранување на материјалот од површината на цврстото тело, предизвикано од механички причини, односно заради контакт при релативно движење на материјалот во цврста, течна или гасовита состојба. Поголема тврдост кај материјалите дава поголема отпорност на абеење. Како мерка за абеење на материјалите се користи големината на загубата на волумен:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\gamma} [\text{cm}^3]$$

каде што:

Δm е маса на отстранетиот материјал од површината на телото, [kg],

γ е волуменска маса на материјалот [kg/m^3].

Коефициентот на абеење, пак, се дефинира со следниот израз:

$$k_a = \frac{\Delta m}{\gamma A_a} [\text{cm}]$$

каде што:

A_a е површина од примерокот, изложена на абеење.

2.4.3 Коефициент на конструктивна поволност

Коефициентот на конструктивна поволност, K_{kp} го претставува односот на јакоста на материјалот (во Мра) и неговата волуменска маса (во t/m^3). Овој параметар директно влијае врз масата на конструкциите. Имено, за поголем коефициент на конструктивна поволност се добиваат полесни конструкции. Во табелата 2.5 се прикажани вредностите на коефициентот на конструктивна поволност за вообичаено користените градежни материјали.

Табела 2.5:

материјал	коэффициент K_{kp} [MPa m ³ /t]
легури на алуминиум	250
некои видови синтетички материјали	200
висококвалитетен челик	100 – 150
обичен челик	50
бетони	15 – 25
тули	10 – 15

2.5 Трајност на материјалите

Во процесот на користење, материјалите се способни да се спротивстават на ерозијата од различни околни средини и да ги зачуваат своите оригинални својства, што е познато како трајност. Во овој процес, покрај на различни видови на напрегања, материјалите се изложени на физички, хемиски, биолошки и други природни фактори.

Физичките дејства вклучуваат промени на влажење и сушење, температура, и замрзнување-одмрзнување, кои предизвикуваат ширење и собирање на материјалите. Материјалите постепено ќе бидат уништени од долготрајните и повторливи дејства.

Хемиските дејства се корозија од киселини, алкални и солни раствори во вода, кои можат да предизвикаат промени во составот на материјалите и да ги уништат, како што се хемиските ерозии на цементот и корозија на челикот.

Биолошките дејства вклучуваат деструкција од габични растенија и инсекти, кои можат да предизвикаат мувла или скапување на материјалите, како што е декомпозиција на дрвото и растителните влакна.

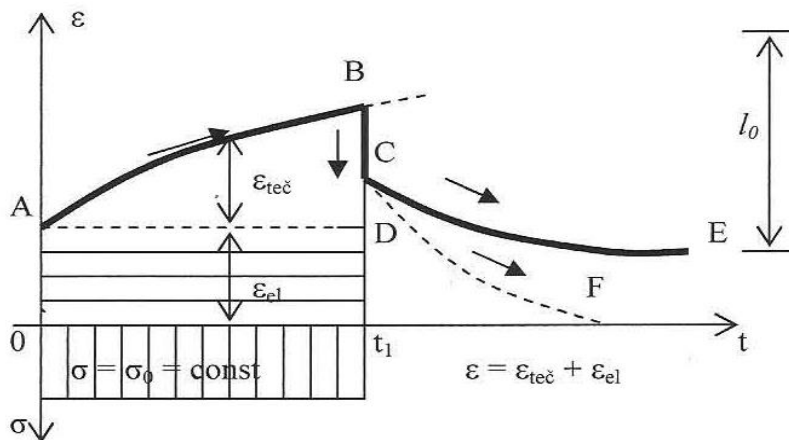
Трајноста е сложено сеопфатно својство на материјалите. Материјалите со различни состави и структури имаат различни видови на трајност. На пример, челикот лесно кородира, бетонот, каменот и други неоргански неметални материјали воглавно се спротивставуваат на мраз, ветер, карбонизација, промени на влажење и сушење и други видови на физичко дејство. Некои материјали, при контакт со вода може да се уништат со хемиски промени, а асфалтот, пластиката и гумата и другите органски материјали ќе се оштетат заради должината на употребниот период.

2.6 Реолошки својства на материјалите

Испитувањето на примероци од различни материјали изложени на долготрајни оптоварувања покажува дека и во случај на константно оптоварување со тек на време, доаѓа до постојан пораст на деформациите на примероците. Појавата и развојот на деформации на материјалите во функција од времето се нарекува реологија на материјалите, а својствата кои ги пројавуваат тие при долготрајни оптоварувања се нарекуваат реолошки својства. Реологијата е феноменолошка дисциплина која се темели исклучиво на објективни експериментални резултати, без подлабоко навлегување во физичката и хемиската суштина на појавите. Појавите на течење на материјалите, релаксација на напрегања и волуменските деформации (собирање и бабрење) претставуваат главни реолошки својства на материјалите.

2.6.1 Течење на материјалите

Под поимот течење на материјалите се подразбира процес на развивање на деформациите на материјалот со тек на време, кој се одигрува без промена на оптоварувањето. Доколку се ограничи разгледувањето на челикот само под напрегања кои не излегуваат надвор од рамките на работните напрегања на материјалот, тогаш оваа појава може да се илустрира со дијаграмот прикажан на слика 2.33. Според сликата, во моментот на нанесување на товарот врз примерокот (за време $t=0$), примерокот ќе се однесува еластично и ќе добие моментална деформација $0A$.



Слика 2.33 Течење на материјали

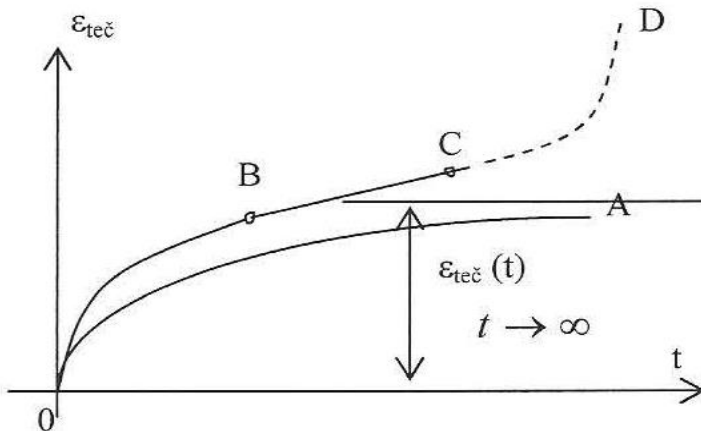
После ова, започнуваат да се забележуваат деформации на течење, при што големината на овие деформации одговара на должините на ординатите помеѓу разгледуваната крива и правецот AD на дијаграмот. На пример, за време t_1 , деформацијата на течење ќе биде еднаква на должината DB . Доколку

материјалот не поседува својство на течење, тогаш би се јавила само еластичната – моментална деформација OA , која како таква би постоела во тек на целокупното време на оптоварување.

Но, ако во времето t_1 примерокот се растовари, се добиваат повратни деформации. Најпрво се јавува повратна еластична моментална деформација BC , а после тоа доаѓа до повратни деформации на течење. Овие деформации може да имаат пластичен карактер (крива CE) или еластичен карактер (крива CF), во зависност од тоа дали во тек на време $t > t_1$ деформациите на примерокот се стремат кон некоја вредност која е поголема од нула или вредност еднаква на нула, соодветно.

Во случај материјалот да е изложен на константно напрегање бесконечно долго или доволно долго, можни се два случаи:

- случај на стабилизација на процесот на течење, кога деформациите се стремат кон некоја конечна вредност и примероците не доживуваат лом, како на слика 2.34 – крива OA ,
- случај кога не доаѓа до стабилизација на процесот, туку деформациите на течење се стремат кон бесконечно големи вредности, што доведува до лом на примероците, слика 2.34 – крива $OBCD$ и дијаграмот на слика 2.35.

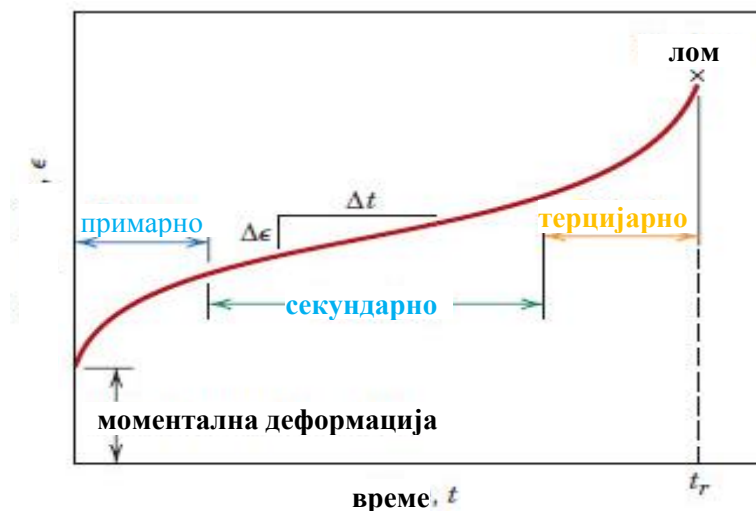


Слика 2.34 Течење на материјалот со и без стабилизација на процесот

Првиот случај обично се јавува при пониски вредности на напрегањата, па оттаму може да се смета како карактеристичен за мнозинството на градежни материјали при нивно користење во нормални (вообичаени) услови на експлоатација. Тоа се однесува на конструктивните материјали како што се челик, бетон, дрво итн.

Вториот случај, по правило, одговара на повисоки нивоа на напрегање или експлоатациони услови кои отстапуваат од вообичаените. На пример, кривата прикажана на слика 2.35 може да се смета како типична за однесување на металите за случај на напрегање на затегнување $\sigma_0 < \sigma_v$, а при

зголемени температури. Почетниот дел на кривата е во релативно кратко временско подрачје и при крај на таа фаза на примарно течење, брзината на деформацијата на течење постепено се смалува. Во фазата на секундарно течење брзината на деформацијата на течење е најмала и практично константна. Оваа фаза може да трае многу долго. Може да заврши со крт лом во точката С (слика 2.34) или пак да продолжи во фаза на терцијарно течење и да доживее дуктилен лом, како на слика 2.35. Во последната терцијарна фаза на примерокот му претходи и изразена контракција на пресекот.



Слика 2.35 Фази на течење на материјалот без стабилизација на процесот

Степенот на изразеност на течењето кај материјалите зависи од низа различни фактори: нивото на напрегања, температурата и сл. Колку е напрегањето поголемо, односно поблиску до граничната јакост на материјалот, толку се поголеми деформациите од течење. Кај челикот, кој во практиката се користи за многу помали напрегања од σ_v , деформациите на течење во тоа подрачје на напрегања се многу мали, па може и да не се земат предвид. Кај бетонот, пак, и при вообичаени напрегања, деформациите на течење се многу големи и во општ случај не смеат да се игнорираат. Покрај другото, врз деформациите на течење влијае и температурата. Кај челикот, со зголемување на температурата, растат и деформациите на течење, така што и при ниски нивоа на напрегања, но при високи температури, деформациите од течење не смеат да се игнорираат.

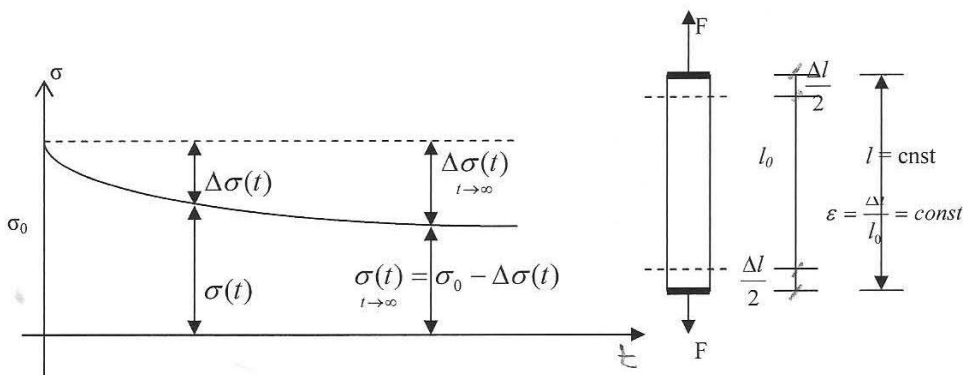
Треба да се истакне и суштинската разлика помеѓу деформациите на течење за кои овде станува збор и пластичните деформации – пластично течење кое се јавува при надминување на границата на развлекување, σ_v , која се нарекува и граница на течење. Пластичното течење, ако воопшто и го има кај материјалот, се јавува во подрачја на напрегања блиски до границата на

лом, нема долготраен карактер, бидејќи материјалот многу брзо стигнува до лом.

Течењето на материјалите се испитува при напрегања на затегнување (на примероци во облик на прачки или жици) или при напрегања на притисок (на призматични или цилиндрични примероци, кај кои висината е барем три пати поголема од поголемата напречна димензија).

2.6.2 Релаксација на напрегања

Доколку призматичен примерок од материјалот се изложи на напрегање на затегнување или на притисок σ_0 , кое е помало од границата на еластичност σ_e , тогаш примерокот ќе се деформира еластично. Ако после вака предизвиканата еластична деформација, краевите на примерокот се фиксираат, што значи дека должината на примерокот во текот на наредното време ќе остане константна, напрегањето во примерокот ќе опаѓа, слика 2.36. Промената на напрегањето во почетокот се одвива брзо, потоа сè побавно, и на крајот процесот се стабилизира. Оваа појава се нарекува релаксација на напрегање.



Слика 2.36 Релаксација на напрегање

Како мерка за релаксацијата најчесто се усвојува односот

$$r(t) = \frac{\Delta\sigma(t)}{\sigma_0} 100 (\%).$$

Притоа, од најголем интерес е големината на релаксацијата за бесконечно време:

$$r(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} \left[\frac{\Delta\sigma(t)}{\sigma_0} \right] 100 (\%).$$

Релаксацијата на напрегање зависи од самиот материјал, температурата и интензитетот на почетното напрегање, σ_0 . За ист материјал и иста вредност на почетното напрегање σ_0 , релаксацијата во најголем број случаи се зголемува со порастот на температурата. Од друга страна, за еден ист материјал и иста температура, релаксацијата ќе биде поголема ако интензитетот на почетното напрегање е поголем.

Уредите за испитување на релаксацијата се од различен вид и зависат од тоа дали примероците се изложени на затегнување или на притисок.

2.6.3 Волуменски деформации

Волуменските деформации, т.е. појавите на собирање и бабрење, заради својот временски долготраен карактер, исто така спаѓаат во реолошките својства на материјалите.

Собирањата и бабрењата не се резултат на дејствување на надворешни оптоварувања, туку до овие појави доаѓа како последица на:

- хемиски реакции во материјалот,
- физички влијанија врз материјалите во услови на определена средина (термохигрометриски влијанија).

Во случај на материјали од типот на полимери, кои се добиваат со хемиска реакција позната под името полимеризација, во процесот на производство на материјалот најчесто доаѓа до значителни контракции на производите на полимеризацијата, а тоа всушност ја претставува појавата која се дефинира како собирање. Од друга страна, кај бетонот пак, исто така се забележува појава на собирање, но таа во најголема мерка е резултат на термохигрометриски влијанија и фактори, односно таа е последица на физички причини врзани за порозната структура на бетонот и за промената на влажноста и температурата на средината.

Со оглед на фактот дека волуменските деформации претставуваат специфичности за поедини материјали, за нив ќе стане збор повеќе при разгледување на својствата на конкретни материјали.

2.7 Хемиски својства на материјалите

Дефинирањето на хемискиот состав и проучувањето на различни хемиски појави поврзани со градежните материјали се спроведува со вообичаени хемиски методи, односно со постапки за квантитативна и квалитативна хемиска анализа.

Познавањето на хемискиот состав е од особено значење при мешање на различни материјали и нивна примена во агресивни средини. Во овој контекст, посебно се третира хемиската или корозивна отпорност која се дефинира како способност на материјалот да се спротивстави на дејствувањето на агресивни течности или гасови. Решавањето на ваквите проблеми подразбира претходно утврдување на сите влијателни фактори во релацијата материјал – средина, кои можат да доведат до определени хемиски или електрохемиски процеси, кои резултираат со разорување на материјалот. На пример, солите растворени во морската вода агресивно влијаат на бетонот. Во овој случај треба да се познаваат сите хемиски карактеристики на бетонот и на морската вода, како и механизмот на сите хемиски реакции кои можат да

се јават помеѓу нив. Треба да се предложи таков цемент, кој и во услови на агресија на морската вода, ќе биде отпорен и ќе ја исклучи корозијата.

Хемискиот состав е значаен и од гледиште на изложување на материјалите на зголемени температури. Имено, по зголемување на температурата кај некои материјали доаѓа до хемиски трансформации на супстанцијата, па во текот на вакви процеси може да се добијат материјали кои имаат значајно различни карактеристики во однос на почетните. На пример, варовникот изложен на температура од околу 900°C , преминува во квалитативно нов материјал – жива вар, која има сосема поинакви карактеристики од варовникот. При оваа реакција се ослободува јаглероден диоксид, слика 2.37.



Слика 2.37 Хемиска реакција при загревање на варовник

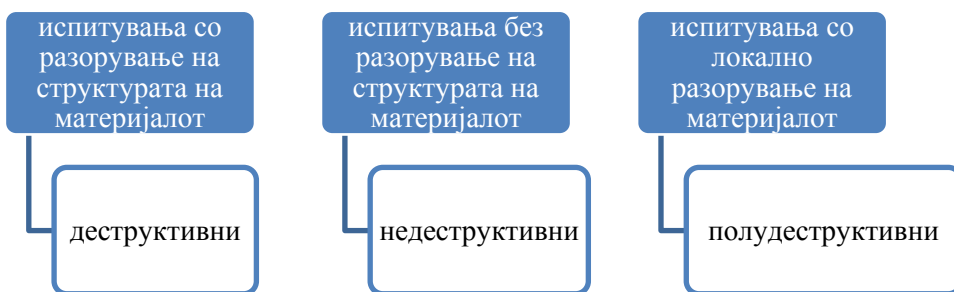
3 Методи за испитување на градежните материјали

Својствата на градежните материјали се утврдуваат со примена на различни постапки за испитување. Испитувањата се вршат за да се овозможи правилен и рационален избор на материјалот за градење на објектите и на нивното вградување, со што би се обезбедиле функционалност, стабилност, естетика, трајност и економичност на објектите. Стандардните испитувања можат да се поделат на:

- претходни – за избор на материјалите за градба според барањата во проектот,
- контролни – за контрола на материјалите кои се вградуваат во објектот, и
- дополнителни – во посебни ситуации.

Методите за испитување се користат заради определување на поедини физичко-механички својства на материјалите, или како методи за дефектоскопија на материјалите.

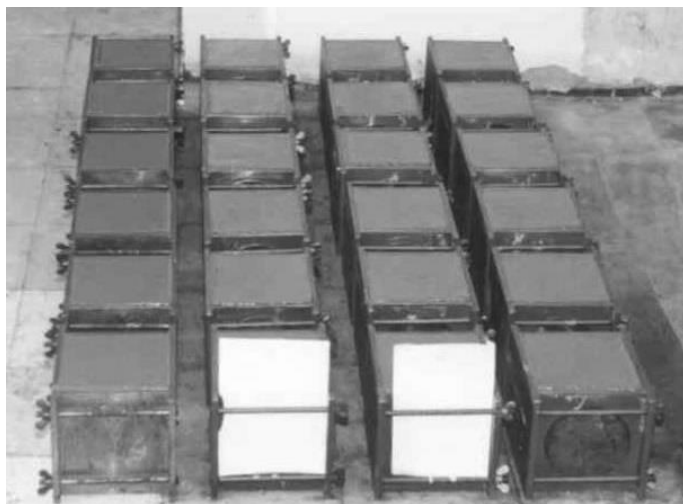
Според карактерот на испитувањата, методите можат да се поделат како што е прикажано на слика 3.1.



Слика 3.1 Методи за испитување на материјалите

3.1 Деструктивни методи

Испитувањето на својствата на материјалите според стандардните деструктивни методи подразбира примена на определени постапки кои се спроведуваат на примероци изработени од материјал кој специјално се издвојува за оваа цел, слика 3.2, или на примероци од материјалот земени (извадени) од готов, завршен објект. За префабрикувани производи, се издвојуваат определен број на примероци, кои ќе послужат за испитување на својствата на вградениот материјал, слика 3.3.



Слика 3.2 Примероци кои се подготвуваат за испитување

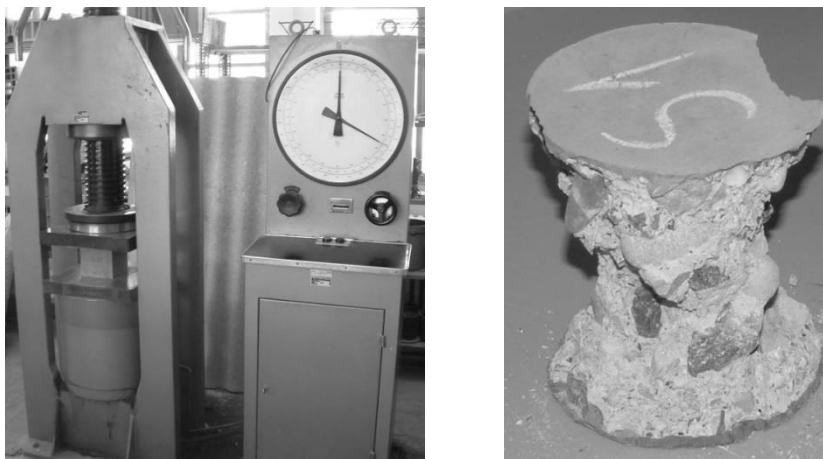


Слика 3.3 Готови фабрички примероци за испитување

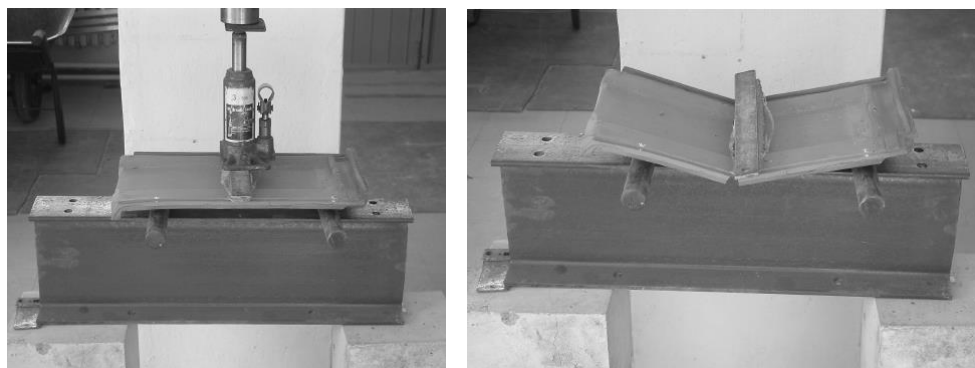
Без оглед на бројот на примероците кои се испитуваат, факт е дека со овие испитувања се докажуваат само својствата на испитуваните примероци, а добиените резултати може само условно да се пресликаат на материјалот за предметниот објект или конструктивен елемент.

Со класичните испитувања, претходно опишани, пробните примероци се доведуваат до лом, се разорува структурата на нивниот материјал и тие се практично неупотребливи после испитувањето, како на сликите 3.4 и 3.5.

Доколку примероците се извадени од објект, заради нивниот мал број условен од потребата за што помало оштетување и ослабување на објектот, тие сепак не се во состојба да понудат доволно сигурни податоци за својствата на материјалот во објектот како целина.



Слика 3.4 Испитување јакоост на притисок: а) хидраулична преса, б) примерок после испитување



Слика 3.5 Испитување носивост на керамички производи

3.2 Недеструктивни методи

Во последните децении, значаен е напредокот на поедини научни дисциплини кои доведоа до појава и усовршување на поголем број методи кои овозможуваат непосредно испитување на материјалите вградени во објекти, без потреба за испитување на класично „извадени“ примероци од објектите. Ваквите испитувања на материјалите се познати под општо име испитувања без разорување или недеструктивни испитувања.

Меѓу постапките кои се применуваат во оваа смисла, постои голем број на методи кои имаат општо значење и може да се применат за сите видови материјали (на пример, метода на ултразвук), а постојат и методи кои се базираат на некои специфични карактеристики на определени материјали (пример, магнетни методи кај феромагнетните материјали).

Позначајни недеструктивни методи се:

- вибрациона метода,
- метода со термовизија,
- метода со ултразвук,
- метода со гама зрачење,
- метода со компјутерска томографија,
- метода со мерење на површинска тврдост,
- метода со дигитална радиографија,
- оптички методи,
- метода со неутронско зрачење,
- магнетна метода.

Кај недеструктивните методи бараното својство не се мери директно, туку постапката се сведува на мерење на некоја друга физичка големина која е во функционална врска со даденото својство. Недеструктивните методи имаат низа предности над класичните деструктивни методи:

- обезбедуваат зачувување на целината на елементот што се испитува, т.е. тој во текот на испитувањето не се оштетува и не му се смалува носивоста;
- овозможуваат мерење на поголем број мерни места, а отвораат можност и за повеќекратно повторување на мерењето, така што материјалот во елементот може да се следи и во тек на изведбата, и во фазата на експлоатација на објектот;
- не бараат долго време за вршење на мерењата;
- овозможуваат определување на својствата во секоја достапна точка од елементот;
- можат да се применат за мерење на стандардни примероци од материјал, при што постои можност за споредба на добиените резултати и утврдување на точноста при мерењето, како и можност за дефинирање на зависноста помеѓу физичката големина која се мери и бараното својство.

Покрај наведените предности, недеструктивните методи секако имаат и недостатоци. Еден од најважните е наведениот факт дека до својствата на материјалот се доаѓа индиректно, преку некој физички параметар кој се мери, а кој со бараното својство е во некаква функционална зависност. Со други зборови,

$$S = S(f_v)$$

каде што S е определено својство на материјалот, а f_v е физичката големина што се мери. Овие функционални зависности имаат емпириски карактер и до нив може да се дојде само со претходни лабораториски испитувања.

3.2.1 Вибрациона метода

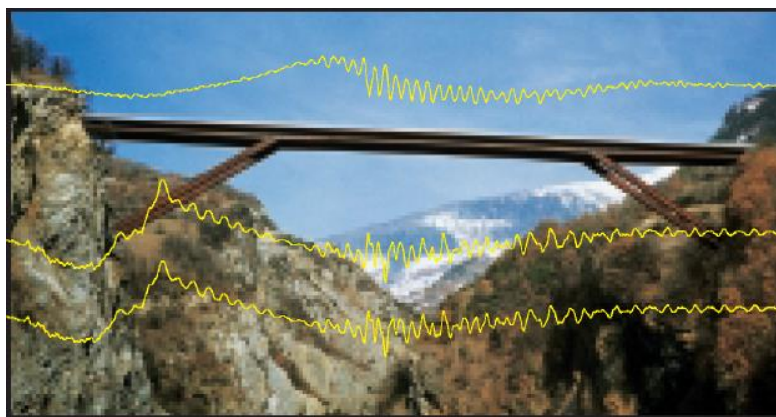
Вибрационата метода за испитување на материјалите се темели на зависностите кои постојат помеѓу поедини својства на материјалот и динамичките карактеристики на системите реализирани врз база на дадените материјали. Овие испитувања најчесто се вршат на призматични примероци кои, со определени постапки, се побудуваат на осцилирање. Се применуваат лонгитудинални, трансверзални или торзиони осцилации.

Анализа со вибрации може да се спроведе на широк спектар на конструкции: мостови, брани, згради итн. Испитувањата се наменети за определување на динамичките карактеристики на конструкциите, како што се сопствената фреквенција, тоновите форми и придушувањето.

Резултатите се користат за собирање на основни информации за оценување на сигурност од земјотрес, долгогодишно набљудување, оптимизација на аналитичките модели и сл.

Постојат две методи за интегрална анализа на конструкции:

- анализа со амбиентални вибрации,
- анализа со принудни вибрации.

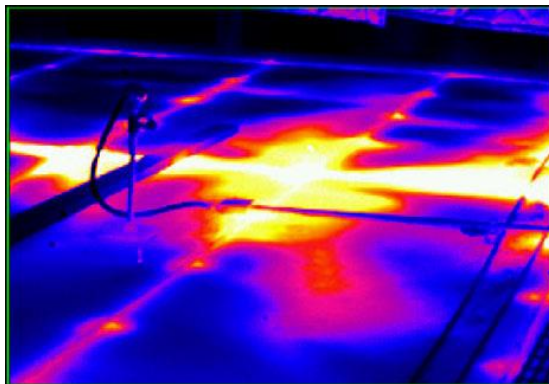


Слика 3.6 Испитување со вибрациона метода

3.2.2 Метода со термовизија

Значајно внимание на научната јавност во последните години привлече примената на инфрацрвената спектроскопија, односно инфрацрвеното зрачење. Инфрацрвената термографија (ИЦТ) е метода за мерење на распределба на температурата на површина. Земајќи ја предвид врската помеѓу блиското инфрацрвено зрачење и хемиските молекули во материјалите, оваа техника покажува голем потенцијал за испитување на материјалите. Во однос на другите техники, оваа техника е брза и ефикасна, а својствата на материјалите измерени по лабораториски пат и предвидени со

оваа метода се многу блиски. Открива региони со продукција на топлина (пр. заради прснатина од циклично товарење) или региони со нехомогено ладење, слика 3.7.



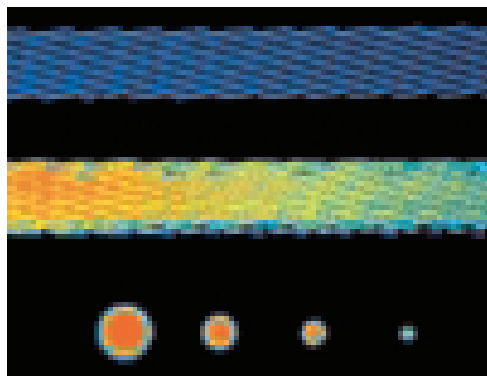
Слика 3.7 Испитување со ИЦТ на водонепропустливост на рамен покрив

При градење на патишта, инфрацрвената термографија може да се користи како контрола на температурата на поедини компоненти.

3.2.3 Метода со ултразвук

Ултразвучните бранови (звучни бранови со фреквенција > 20 kHz) овозможуваат недеструктивно испитување на материјалите заради откривање на дефекти во компонентите. Може да се определи точната локација на прснатини, пори, врски и споеви кај конструкциите. Оваа метода се користи за испитување на метални, керамички и пластични материјали со нивните врзни системи (атхезија, заварување, лемење итн.).

Сликите се генерираат со високопрецизен механички скенер или со систем со фазни површини.



горе: добра врска

во средина: лоша врска

долу: како компарација тест блок со рамни отвори на дното ($\varnothing = 1-6$ mm).

Слика 3.8 Ултразвучни снимки на алуминиумски стабилизирани суперспроводливи кабли

Секоја апаратура за ултразвук работи на принцип на распространување на лонгитудинални ултразвучни бранови. Се состои од: генератор на импулси, предавател, приемник на ултразвук (механичките импулси се претвораат во електрични), засилувач и индикатор на време, слика 3.9.



Слика 3.9 Апаратури за испитување со ултразвук

Знаејќи ја должината на патот (s) кој ултравукот го поминал движејќи се низ примерокот, како и измереното време на траење на ова движење (t), може да се пресмета брзината на ултравукот:

$$v = \frac{s}{t}$$

Брзината на минување на лонгитудиналните ултразвучни бранови низ хомогени тела зависи од физичко-механичките својства на предметниот материјал, како и од геометриските карактеристики на телата. За различни тела, важат следниве теориски зависимости:

- $v = \sqrt{\frac{E_D}{\gamma}}$ за поминување на ултразвук низ елементи со призматичен или цилиндричен облик кај кои $h/a > 5$ и $\lambda > 3a$ (h – висина, a – максимална напречна димензија);
- $v = \sqrt{\frac{E_D}{(1-\mu_D^2)\gamma}}$ за поминување на ултразвук низ елементи со површински (плочест) облик, под услов нивната дебелина да изнесува $d < 2\lambda$;
- $v = \sqrt{\frac{E_D(1-\mu_D)}{(1+\mu_D)(1-2\mu_D)\gamma}}$ за поминување на ултразвук низ тела со неограничени димензии - масиви, при $d \geq 2\lambda$ (d - најмала димензија на телото),

каде што:

- λ е бранова должина на ултравукот,
- γ е волуменска маса,
- E_D е динамички модул на еластичност,
- μ_D е динамички Поасонов коефициент.

Според тоа, ако е позната брзината на ултразвукот, постои можност да се определат некои од спомнатите својства на материјалот.

Заради илустрација, во табела 3.1 се дадени брзините на распространување на ултразвук низ различни видови материјали.

Табела 3.1:

Материјал – средина	v [m/s]
воздух	340
вода	1490
плексиглас	2540
бетон	2500 – 5000
стакло	3600 – 6100
лиено железо	4410
кварц	6580
челик	5850
алуминиум	6300

Методата на ултразвук многу често се користи и во дефектоскопијата на материјалите. Ако ултразвучниот бран при движењето низ некој материјал наиде на празнина, тој под определени услови ќе помине низ неа, но со оглед дека празнината е исполнета со воздух, неговата брзина ќе се смали за определен степен. Според тоа, присуството на дефектите во материјалот може да се констатира со постапка на споредување на брзините на ултразвукот регистрирани при поминување низ поедини подрачја од материјалот.

3.2.4 Метода со гама зрачење

Испитувањето со гама зрачење се темели на законите за взаемно дејствување на овој вид зрачење и поедини супстанции. Најчесто се користат гама зраци со енергија од 0,5 – 1,5 MeV. Овој услов го задоволуваат нуклидите: цезиум 137, кобалт 60, иридиум 192, па заради тоа најчесто се користат за испитувања со оваа метода. Гама зраците имаат голема моќ на продирање низ материјалите, при што во зависност од карактерот на супстанцијата, нивниот интензитет ослабнува во определен степен. Изворот на зрачење се поставува така што неговото зрачење I_0 се насочува низ материјалот, и со посебен детектор се регистрира интензитетот на зрачењето I добиен по поминувањето низ материјалот

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d}$$

каде што:

I – интензитет на зракот на излез од материјалот,
 I_0 – влезен интензитет на зрачењето,
 d – дебелина на зрачениот материјал,
 μ – линеарен коефициент на апсорпција (карактеристичен за определен материјал и определено зрачење).

3.2.5 Метода со компјутерска томографија

Компјутерската томографија е добро позната метода за испитување која најчесто се користи за медицинска дијагностика. Со користење на индустриски скенери, во која било избрана рамнина, можат да се направат слики на напречни пресеци на испитуваните предмети, тие да се снимат и процесираат. Со помош на оваа метода може да се направат тридимензионални слики. На прикажаната томографска слика 3.10 е даден пресек низ врска метал – керамика. Плочите од метал и керамика се залемени со слој од калај. Цел на испитувањето било недеструктивно испитување на залемениите врски. Томограмот покажува дека едната врска нема калај.



Слика 3.10 Томографска снимка на пресек низ врска метал-керамика

3.2.6 Метода со мерење на површинска тврдост

Методите со мерење на површинска тврдост се вбројуваат во недеструктивните методи заради тоа што при нивната примена материјалот се оштетува занемарливо малку. Со нив се врши утврдување на својствата на материјалите (на пример: јакост на затегнување, јакост на притисок) преку мерење на тврдоста.

Начелно, може да се зборува за две основни групи на методи за дефинирање на тврдоста, а преку неа и на јакоста на материјалот:

- а) методи за втиснување во материјалите на тврди предмети (челични топчиња, дијамантски шилци итн.). Притоа, помал отпечаток во материјалот означува поголема тврдост, а со тоа и поголема јакост на материјалот;

б) методи врз база на мерење на големина на отскок на извесна маса која се пушта со определена ударна енергија да дејствува на површината на разгледуваниот материјал. Поголем отскок на масата (на пример, топче) означува поголема тврдост и поголема јакост на материјалот.

3.2.7 Метода со дигитална радиографија

Со помош на дигитална радиографија може да се испитуваат врските со заварување, лемење или јазлите без отстранување на калапите. Микроскоп со рендгенски зраци е идеална алатка за оваа цел.



Слика 3.11 Радиоскопија на заварена врска

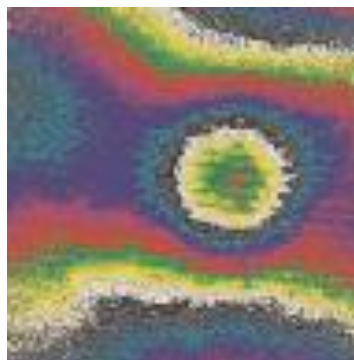
Со оваа метода може да се детектираат локациите на грешките со точност од 10 до 100 μm , во зависност од контрастот на позадинскиот материјал или од влијанието на целосното ослабување на радијацијата, слика 3.11.

3.2.8 Оптички методи

Со оптичките методи може да се откријат деформации со точност во нанометри, па оваа метода е корисна за најмали нехомогености предизвикани од грешки, несовершености, слабости или пукнатини. Ласерската светлост одбиена од предметот се споредува со референтно поле од интерферометар.



Слика 3.12 Деформација на модел од синтетичка смола



Слика 3.13 Деламинација во цевка

На слика 3.12 е прикажано мерење на деформација кај модел од синтетичка смола напрегнат на затегнување со помош на ласерска светлост, додека на слика 3.13 е претставена деламинација кај цевка од специјален вид на полимер армиран со јаглеродни влакна, или попознат по кратенката CFRP (carbon-fiber reinforced polymer).

3.3 Стандардни испитувања

Стандардните испитувања на материјалите се спроведуваат според точно определени процедури во кои е дефинирано:

- начин на земање на примероци од материјалот,
- подготовка на примероците,
- форма и број на примероците,
- услови и постапки за испитување,
- опрема со која се изведува испитувањето,
- начин на обработка на добиените резултати,
- меродавни вредности и сл.

За испитување на материјалите во нашата земја се користат македонски стандарди кои се во согласност со европските стандарди (MKS EN), македонски стандарди кои се во согласност со меѓународните стандарди (MKS ISO), како и стари стандарди од поранешните југословенски стандарди, кои сè уште не се заменети со европски или меѓународни стандарди. Исто така, во сила се и соодветни правилници, препораки и соодветни важечки документи.

3.4 Обработка на резултатите од испитувањата на материјалите

Својствата на материјалите во најопшт случај можат да се изразат како бројни вредности или описно. Најголемиот број на својства на градежните материјали може да се изразат по нумерички пат. Заради спроведување на поголем број идентични експериментални испитувања, како резултат се добива множество од помалку или повеќе различни нумерички вредности.

Причините за појава на помали или поголеми разлики помеѓу одделни резултати од испитувањето се:

- стохастички карактер на својствата на материјалите,
- неможност за испитување на сите примероци под апсолутно идентични услови,
- присуство на различни грешки кои се јавуваат при мерење на физичките големини.

Затоа, често се поставува прашањето која нумеричка вредност треба да се усвои како репрезентативна.

Грешките при мерење можат да се поделат во три групи:

- случајни (неизбежни) – кои се јавуваат заради несовршеноста на мерните уреди и човечките сетила (тие се секогаш со различен знак),
- систематски – кои се јавуваат заради неточноста или неизбавдареноста и некалибрираноста на мерните уреди (секогаш се со ист знак и мора да се елминираат),
- груби грешки – кои можат да се појават заради недоволно внимание, а бидејќи се поединечни мора да се исклучат од понатамошната анализа, за да не влијаат врз резултатите од испитувањето.

Доколку се бара поточно дефинирање на меродавните вредности на својствата на материјалите, во однос на множеството на резултати треба да се применат ставови од математичката статистика и теоријата на веројатноста. Примената на овие постапки бара поголем број на резултати од испитувањата, односно поголем број на примероци за определување на својствата на материјалите.

4 Градежен камен

„Каменот, од почетокот на човековата цивилизација на Земјата, му бил на човекот оружје и алатка, накит, куќа и гробница. Каменот бил еден од трајните изрази на неговото творештво од прапочетокот на човековата цивилизација па сè до денеска.” – Ц. Фисковиќ

Природниот камен е еден од најстарите градежни материјали, што се користел од најстаро време поради неговата голема распространетост, како и поради лесната достапност. Всушност, и цел еден период од развојот на човештвото го носи името на овој градежен материјал - камено време. Тој во далечното минато имал најразлична примена, се користел како алатка и оружје, се користел за изградба на најразлични споменици и градби. Поради добрите физичко-хемиски својства каменот и во современото градежништво наоѓа голема примена. Тој се користи како конструктивен материјал, за изработка на најразлични конструкции и објекти во градежништвото и архитектурата, од темели до потпорни сидови, како камен агрегат итн. Притоа каменот се добива со разбивање, дробење или дупчење на различни видови карпи.



Слика 4.1 Конструкции од градежен камен кои му се спротивставуваат на времето низ вековите: Стоунхенџ во Англија, Партенон во Атина, Пирамидите од Гиза, Римскиот колосеум

4.1 Карпи од кои се добива градежен камен

Градежниот камен се добива од карпите со механичка обработка (дробење, цепење, шлифување, полирање и др.), при што потполно се зачувуваат природните својства на карпите. Изборот на карпата што ќе се користи за добивање на градежниот камен зависи од видот и важноста на објектот кој треба да се гради, од составот на карпите, нивната структура и особини (постојаност на воздух, на вода, на оган, цврстина, тврдост, способност за обработка, боја итн.) и од трошоците при експлоатацијата. Според начинот на кој настанале, карпите се делат на три големи групи:

- магматски,
- седиментни, и
- метаморфни.

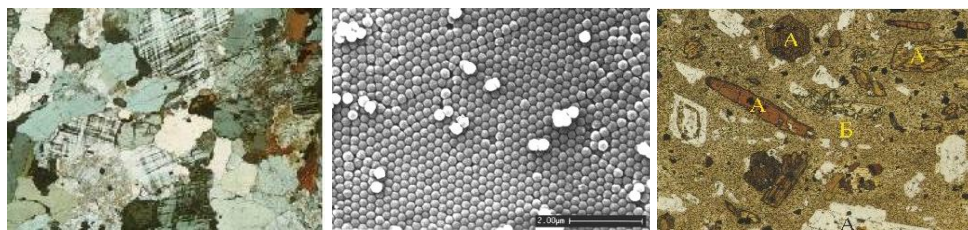
Понатамошната поделба е подетално претставена во табела 4.1.

Табела 4.1:

магматски (еруптивни) карпи	масивни	длабински	гранит, сиенит, диорит, габро
		површински	кварцни порфири, трахит, андезит, базалт, дијабаз
		слоевити	вулканска пепел, пемза
		споени	вулкански туфови
седиментни карпи	хемиски седиментни карпи		гипс, анхидрит, магнезит, доломит, варовнички туфови, некои варовници
	органогени	зоогени (од животински организми)	талк, лушпест варовник
		фитогени (од растителни организми)	дијатомејска земја, трепел
	механички седиментни карпи	несврзани (некохерентни)	песок, чакал, глина
сврзани (кохерентни)		песочници, конгломерати, бречи	
метаморфни карпи	метаморфни магматски карпи	гнајс	
	метаморфни седиментни карпи	мермери, кварцити	

Карпите претставуваат минерална маса со повеќе или помалку постојан состав. Тие образуваат самостојни геолошки делови, кои ја градат земјината кора. Минералите се природни тела, еднородни по хемиски состав и физички својства. Тие се образувале како резултат на различни физичко-хемиски процеси кои се случувале во земјината кора, или се производ на животното дејство на растителните и животинските организми.

Карпите кои се составени од еден минерал се нарекуваат прости или мономинерални, додека карпите изградени од неколку минерали се сложени или полиминерални. Формата, големината и взаемната положба на составните делови на карпите (минерали и вулкански стакла) ја определуваат нивната структура и внатрешна градба, слика 4.2.



Слика 4.2 Структура на магматски карпи (под микроскоп):
а) зрнеста (гранит), б) аморфна (опал), в) порфирна (андезит)

Текстурата на карпата го определува нејзиниот карактеристичен тип на надворешен облик. Таа е условена од просторниот распоред на составните минерални честичи во карпата. Текстурата може да биде:

- масивна (еднородна) – минералите кои ја градат карпата се распоредени без правилен распоред, и
- флуидална – минералите се распоредени во паралелни слоеви, кои наликуваат на движење на огнената маса.

Концептите структура и текстура заемно се дополнуваат, така што структурата делумно ја определува текстурата и обратно.

4.2 Употреба на каменот во градежништвото

Каменот во градежништвото се употребува за:

- изработка на темели и сидови на станбени и деловни објекти,
- долен строј на патишта и железнички пруги,
- рабници кај тротоарите,
- изработка на потпорни сидови,
- утврдување на брегови и делови на хидротехнички објекти,
- украсување на фасади,
- обложување на подови и сидови.

4.3 Добивање и поделба на каменот

Каменот се добива од карпести маси со примена на најразлични техники и методи. Експлоатацијата на каменот се врши во каменоломи - мајдани со користење на најразлични рударски методи. Притоа, најпрвин се ситнат покрупните карпи со минирање, а понатаму се врши попрецизна обработка на каменот. Каменоломите во кои се врши експлоатација на каменот може да бидат привремени и постојани. Привремени каменоломи се отвораат за експлоатација на камен при изградба на некои големи објекти како: брани, пруги, патишта, а најчесто се наоѓаат блиску до објектот кој се гради. Постојани каменоломи се оние кај кои постојат големи резерви на квалитетен камен, што овозможува долгогодишна експлоатација.

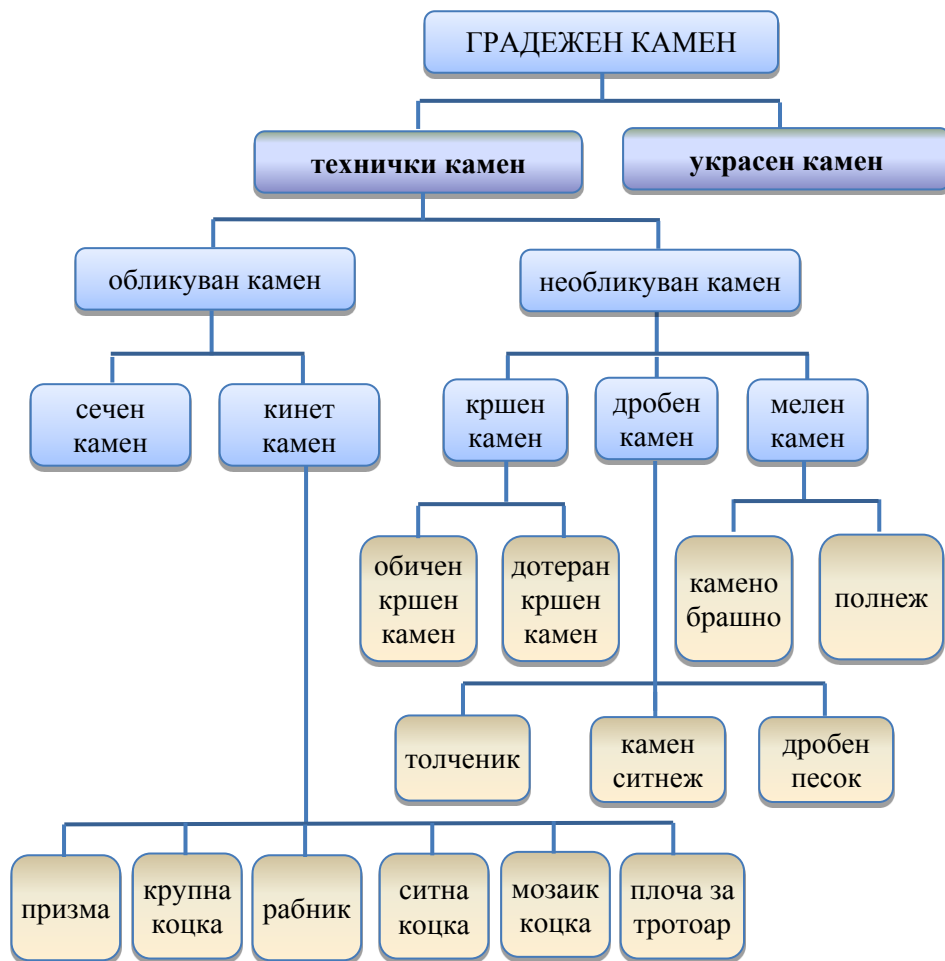


Слика 4.3 Добивање на камен во каменолом

Во зависност од областа во која се применува, каменот се дели на две главни групи, слика 4.4:

- Технички камен - се користи во градежништвото за оние асортимани на производи кои мора да имаат определени физичко-механички својства, додека пак естетските карактеристики кај нив немаат важна улога или значење. Се употребува како конструктивен материјал во необликувана или обликувана состојба, и како агрегат во градежништвото.
- Архитектонски (украсен) камен - се подрабира камен кој во градежните конструкции има декоративна и заштитна улога. Тој мора да ги поседува сите потребни физичко-механички својства како техничкиот камен, но покрај тоа треба да има определени

декоративни (естетски) својства и постојаност. Се користи во облик на плочи за обложување на фасади и внатрешни површини на сидови, како и за изведба на скали и подови.



Слика 4.4 Поделба на каменот

Како што е претходно спомнато, под технички камен се подразбира каменот што се користи во градежништвото како конструктивен материјал при изградба на најразлични градежни конструкции, и тоа во обликувана и необликувана состојба, а исто така има голема примена како агрегат во градежништвото. Според начинот на обработка техничкиот камен се дели на необликуван и обликуван. Понатаму необликуваниот камен се дели на кршен, дробен и мелен.

4.3.1 Необликуван камен

Кршен камен - Под кршен камен се подразбира каменот добиен од каменоломите со помош на различни експлозивни или друг прибор за разбивање на карпите. Кршениот камен има голема примена во градежната техника и се дели на обичен кршен камен и дотеран кршен камен за сидање. Неговата долна гранична крупност изнесува 63 mm.

- Обичниот кршен камен не се сортира според големината, а се користи претежно во хидротехниката за изработка на заштита на брегови, за изработка на дренажни ровови за исушување на теренот, за изработка на подлоги за коловозите, одбрана од бранови, насипни брани, насипи, канали и сл.
- Дотераниот кршен камен се користи за сидање на темели и цокле кај обични згради за живеење (помали згради), за изработка на обложни, потпорни и крилни сидови, огради, пропусти, мостови, за поплочување на патеки и сл.

Дробен камен - Дробениот камен се добива од обичниот кршен камен со дробење во најразлични дробилки. После дробењето, добиениот материјал се просејува и издвојува според големина на зрната. Според класите на крупност и видовите на градежни работи за кои се користи, дробениот камен се дели на:

- толченик (32 – 63 mm),
- камен ситнеж (2 – 32 mm),
- дробен песок (0,09 до 2 mm).

Овие групи не се јасно разграничени и често се разликуваат кога се употребуваат за различни видови работа (за горен строј на железници, асфалтни работи, во градежништвото за вештачки камен итн.)

Толченик се употребува во големи количини за изработка на горен строј на коловозни патишта и железнички пруги. За овие работи толченикот се добива со дробење на тврд, жилав и постојан камен. За железничките пруги се употребува толченик од еруптивен камен чијашто јакост на притисок е најмалку 16 kN/cm^2 , а коефициентот на абеење 10 cm^3 . Доколку се употреби како камен од седиментно потекло (што треба да се избегнува), бара најмала јакост на притисок 10 kN/cm^2 , а најголем коефициент на абеење 14 cm^3 . По големина на зрната толченикот се дели на груб и фин толченик.

Камен ситнеж е ситнозрнест толченик кој се користи за изработка на асфалти, како и за изработка на горен строј на железници. Тој треба да е од постојан камен, со голема јакост и со остри и цврсти рабови.

Дробениот песок, со големина на зрната од 0.09 - 2 mm, има остри рабови и изедначен квалитет. Инаку, песокот може да биде и природен, кој во зависност од тоа каде е формиран, се дели на воден и ридски. Водениот природен песок, од друга страна се дели на речен, езерски и морски, а се состои од зрна со заоблен облик со голем процент на кварц и често се среќава

под името кварцен песок. Ридскиот песок е составен од зрна со остри рабови и не е секогаш чист, во него има примеси на прашиности и глинени честички.

Мелен камен - претставува прав добиена со ситнење на цврстите карпи и минерали во специјални мелници. Горната гранична крупност е 0,2 mm, а долната не е лимитирана. Производите од оваа категорија се делат на:

- грубо мелен камен (<200 μm),
- средно мелен камен (<63 μm),
- фино мелен камен (<40 μm),
- многу фино мелен камен (<20 μm),
- супер фино мелен камен (<10 μm),
- ултра фино мелен камен (<5 μm).

Мелениот камен во градежништвото има најголема примена во асфалтните мешавини. Покрај тоа, големи количини на мелен камен се користат и како полнежи во различни индустриски гранки: за преработки од бетон, за изработка на малтерски мешавини за фасади и др.

4.3.2 Обликуван камен

Обликуваниот (димензиониран) камен се добива со цепање или сечење на цврстите карпи на парчиња со правилен облик и прецизно определени димензии. Обликуваниот камен се дели на:

- кинет камен,
- сечен камен.

Кинетиот камен се добива со кинење на карпите по должина на поедини природно предиспонирани правци на дисконтинуитет – пукнатини, расцепи, шкрилавост. Кинењето се врши рачно или машински.

Примената на кинетиот камен е за изработка на коцки, рабници, столбови, прагови, плочи за покривање на покриви и поплочување, како и за блокови за зидање на помали згради, огради, столбови и мостови. За блоковите често се врши и дополнителна подетална обработка. Како кинет камен воглавно се користат магматски карпи, поретко седиментни (варовници и песочници) и метаморфни (гнајсеви и шкрилци).

Сечениот камен се добива со сечење на карпите во парчиња со определени димензии и облик. Се разликуваат примарно сечење и одвојување на блоковите во каменоломот во процесот на експлоатација, и секундарно сечење или обработка на блоковите и на останатиот добиен асортиман.

Завршната обработка на каменот се врши со различни постапки:

- абразивна (брусене и полирање),
- ударна (делкање, шпицување, штокување, браздење, пескарење и режење),
- термичка (палење).

4.3.3 Украсен камен

Украсниот камен претежно се употребува за различни декоративни цели:

- надворешно и внатрешно обложување на згради,
- поплочување на плоштади и шеталишта,
- изработка на скали и огради,
- изработка на архитектонски елементи (портали, столбови, сводови, капители и сл.).

Како украсен камен најчесто се користат магматски и карбонатни карпи, поретко и останатите. Скулпторскиот и меморијалниот камен се издвојуваат како засебни вариетети на украсниот камен. За скулпторски камен обично се користи мермер, но и други карпи, додека за меморијален камен најчесто се користат магматски карпи со потемна боја.

4.3.4 Камен агрегат

Агрегатот претставува голема категорија на необликуван специфичен материјал кој се користи во градежништвото, вклучувајќи песок, чакал, ситнет камен, згура, рециклиран бетон и геосинтетички агрегати. Агрегатите претставуваат компоненти на композитни материјали како што се бетонот и асфалтниот бетон, и служат за зголемување на нивната јакост. Поради големата вредност на хидраулична спроводливост спореден со другите почви, агрегатот главно се користи за дренажа на темели, септички дренажни полиња, за дренажа на рабовите на патиштата итн. Агрегатот се користи и како главен материјал под темелите, патиштата и железничките пруги. На друг начин агрегатот се користи како стабилен темел или труп на железница или пат со предвидливи, постојани својства.

За оваа цел се користат различни петрографски вариетети:

- лесни и порозни растресити карпи – вулкански карпи, туфови, вулканска пепел,
- природни експандирани материјали - перлит, вермикулит, експандирани глини и глинци,
- секундарни или техногени суровини - металуршка згура, електрофилтерска пепел и сл.

4.4 Својства на каменот

За правилна и рационална употреба на каменот потребно е познавање на целокупниот комплекс на неговите општи и специфични својства. Техничката регулатива (стандарди, правилници итн.) ги дефинира методите за испитување на каменот, како и условите кои тој треба да ги задоволи за определена намена. За градежниот камен вообичаено се прават минералошко – петрографски испитувања (детерминирање на боја, структура, текстура), испитување на физичко – механички својства (волуменска и специфична маса, порозност, густина, впивање вода, отпорност на мраз, однесување на оптоварување, отпорност на абење итн.), испитување на хемискиот состав и испитување на радиоактивност. Во Табела 4.2 се дефинирани својствата на каменот кои треба да се испитаат, во зависност од неговата намена.

Табела 4.2:

Својства кои треба да се испитаат според примената на каменот	јакост на притисок	јакост на свигкување	отпорност на абење	волуменска маса	порозност	впивање вода	постојаност на мраз	постојаност на агресивни агенси	термичко линеарно ширење	отпорност на удар	петрографска анализа
надворешни сидни облоги		√		√	√	√	√	√	√		√
внатрешни сидни облоги				√	√	√					√
надворешни подни облоги		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
внатрешни подни облоги		√	√	√	√	√				√	√
масивни камени елементи	√			√	√	√		√		√	√
покриви		√		√		√			√		
површини во бањи				√		√					
споменници				√	√	√	√	√			√

Во табела 4.3 се дефинирани физичко-механичките својства на некои поважни видови градежен камен, кои почесто се применуваат во градежната пракса.

Табела 4.3:

својства	ВИД НА КАМЕН								
	гранит	габро	андезит	базалт	варовник	доломит	песочник	кварцит	мермер
волуменска маса [kg/m ³]	2500 - 2800	2700 - 3200	2200 - 2700	2600 - 3000	1800 - 2800	1800 - 2700	2000 - 2900	2600 - 2700	2800 - 2900
порозност [%]	0.2-3.5	0.3-1.5	0.5-5.5	0.1-1.0	0.4-20	0.5-20	1.0-18	0.1-0.5	0.4-2.0
впивање вода [%]	0.1-0.5	0.1-1.0	0.1-0.5	0.1-0.5	0.5-4.0	0.5-4.0	0.5-4.0	0.1-0.5	0.1-0.5
собирање – бабрење [%]	занемарливо	занемарливо	занемарливо	занемарливо	до 0.1	0.1-0.2	до 0.07	занемарливо	занемарливо
јакост на притисок [МПа]	100-250	150-250	80-220	100-200	15-200	100-200	30-300	250-400	60-300
отпор. на абеење Беме[cm ³ /50cm ²]	< 10	< 8	< 10	< 10	30-40	30-40	30-100	20-40	< 5
коэф. на топл. дилатација	0.2-1.2	0.4-1.0	0.4-1.1	0.4-1.0	0.1-1.2	0.5-1.2	1.0-1.2	0.8-1.3	0.1-1.5
постојаност на мраз	добра до одлична	добра до одлична	добра до одлична	добра до одлична	слаба до мн. доб.	слаба до мн. доб.	слаба до мн. доб.	добра до одлична	добра до одлична
отпорност на атм. влијанија	добра	добра	добра	добра	лоша до добра	добра	лоша до добра	многу добра	лоша до добра
отпорност на киселини	добра	добра	добра	добра	добра	претежно слаба	добра (освен варовн.)	многу добра	слаба
постојаност на темп. промени	добра	добра	добра	добра	добра до 800°C	добра до 800°C	воглавно добра	пука на околу 500°C	добра до 800°C

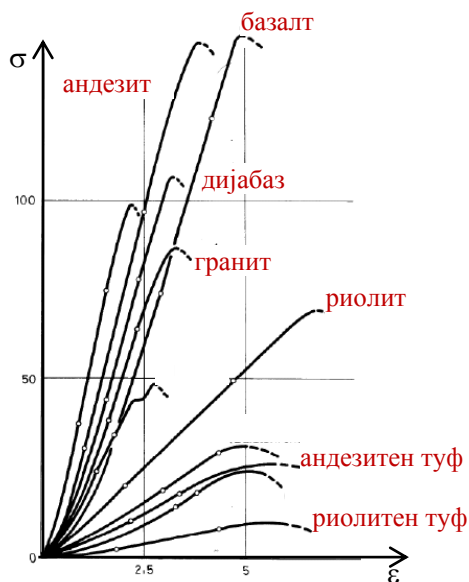
Испитувањето на впивање вода се врши на примероци со правилен и неправилен облик, пет добро исчистени примероци, кои треба да се исушат. Потоа тие се потопуваат во дестилирана вода до 1/4 од својата висина. После еден час водата се дополнува до 1/2 од висината, а по истекот на вториот час до 3/4 од висината на примероците. После 22 часа потполно се потопуваат во вода и така лежат два часа, после што се мерат. Впивањето може да се врши и во вода што врие, како и под притисок. Од впивањето вода, односно од влажноста, зависи јакоста, постојаноста на мраз, трајноста и др. Влажноста на каменот е основната причина за намалување на отпорноста на дејство на мраз. Тоа е заради волуменот на мразот кој е поголем од волуменот на водата и влијае врз зголемување на празнините после притисокот. Доколку после 25 циклуси на замрзнување-одмрзнување од -20° до +20° масата не се смали преку 5%, се смета дека каменот е постојан на мраз.

Отпорност на абеење претставува отпор кој каменот го дава при абразија со стружење. Се изразува како просторна загуба на маса. Според отпорноста на абеење, каменот се класифицира во 6 категории, дадени во Табела 4.4.

Табела 4.4:

Категорија на камен	Отпорност на абеење [cm ³ /50cm ²]
особено тврд	< 5
многу тврд	5 – 10
тврд	10 – 20
умерено тврд	20 – 30
мек	30 – 40
особено мек	> 40

Градежниот камен како материјал се одликува со високи јакости на притисок, додека јакостите на затегнување, свиткување и смолкнување се значително помали. Без оглед на тоа кој вид на оптоварување се разгледува, каменот има крто однесување. Тоа значи дека неговиот дијаграм σ - ϵ е секогаш праволиниски или многу малку закривен, тоест подрачјето на еластично однесување на каменот е многу ограничено, слика 4.5.



Слика 4.5 Дијаграм σ - ϵ за некои видови камен

Коефициентот на размекнување, кој го претставува односот на јакоста на притисок на каменот заситен со вода и јакоста на сув камен, за градежниот камен обично се движи во границите од 0.7 до 0.9. Ако вредноста на овој коефициент е помала од 0.8, таквиот камен не треба да се применува за изведба на конструкции во вода.

Коефициентот за отпорност на дејство на мраз претставува однос на јакоста на каменот после испитување на дејство на мраз и јакоста во водозаситена состојба. Се смета дека каменот е доволно отпорен на мраз ако вредноста на овој коефициент не е помала од 0.75.

5 Минерални (неоргански) врзивни средства

Неорганските врзивни средства претставуваат прашести материјали, кои помешани со определено количество вода преминуваат од пластична во цврста состојба. Причината за стврднувањето се сложените физичко-хемиски процеси, кои се случуваат при меѓусебното дејство на водата и врзните супстанции, што со општо име се нарекува хидратација.

Со додавање на песок се добиваат градежни раствори, а со додавање и на крупен материјал како полнеж (чакал и дробен камен) се добива бетон.

Неорганските врзивни средства во зависност од водоотпорноста на добиениот камен материјал во чиј состав влегуваат, се делат на две основни групи:

- воздушни врзивни средства – кои се стврднуваат и ја зачувуваат својата јакост во продолжен временски период при услови на воздушна средина. При поставување во вода или многу влажна средина стврднатиот материјал се руши. Во оваа група спаѓаат: варта, гипсот, магнезиумските врзивни средства и киселоотпорниот цемент;
- хидраулични врзивни средства – оние кои се стврднуваат и во продолжен временски рок ја зачувуваат или зголемуваат јакоста, како на воздух, така и во вода. Во оваа група спаѓаат портланд цементите и нивните варијации, алуминатниот цемент и хидрауличната вар.

Оваа класификација има определена практична смисла. Имено, варовите и гипсените раствори се добри за изработка на внатрешни премачкувачи во згради со нормален и сув режим на влага, додека надворешните премачкувачи се цементно – варови, за да се постигне определена водоотпорност и отпорност на мраз.

5.1 Гипсот и неговата примена како градежен материјал

5.1.1 Општо за гипсот

Градежниот гипс е еден од најстарите градежни материјали. Денеска, заедно со гипсот се произведуваат уште цела една лепеза на материјали врз база на гипс. Тој спаѓа во групата на нехидраулични т.е. воздушни врзивни средства, кој помешан со вода образува вискозно-пластична маса што лесно се обликува, постепено се стврднува и преминува во тврдо тело. Гипсот настанал пред 100 до 200 милиони години, а неговата употреба во градежништвото започнува пред неколку илјади години. Така, старите Египќани го користеле гипсот за градење и за декорација на пирамидите, што е доказ дека тие ги познавале тајните на гипсот.



Слика 5.1 Гипсена руда од рудникот во Дебар

5.1.2 Производство и видови на гипс

Гипсот е минералогски, неоргански материјал. Тој е многу мек минерал, по хемиски состав калциум сулфат дихидрат (со две молекули вода), слика 5.1. Неговиот хемиски состав и начинот на добивање на градежен гипс се прикажани на шемата на слика 5.2.



Слика 5.2. Хемиски состав и добивање на градежен гипс

Градежниот гипс се добива со печење на гипсениот камен - CaSO₄·2H₂O (садра). Покрај садрата дихидрат, во природата често се среќава и безводниот калциум сулфат - анхидрит (CaSO₄). Тој е редовно составен дел на садрата и има голема тврдост. Од анхидритот не може да се добие градежен гипс, така што тој претставува јаловина што се отфрла. Температурата на печење на садрата се движи од 110-180°C и има големо значење бидејќи со печење на иста суровина на различни температури се добиваат производи со различни карактеристики. Мешањето на гипсот и водата се врши така што гипсот се

истура во водата, со што започнува хемиската реакција која се одвива во текот на процесот на печење на садрата. Според тоа, оваа реакција е преминување на полухидратот во дихидрат. Од технолошки причини се користи поголема количина на вода во однос на масата на гипсот, при што само 20% од водата хемиски се сврзува, а остатокот испарува оставајќи празнини и пори во гипсениот камен.

Односот на употребената маса вода m_v и масата на гипсот m_g го дава водогипсениот фактор од кој зависат својствата на гипсената каша и на гипсениот камен. После истурањето на гипсот во водата и мешањето потребно е да помине определено време за да згусне кашата до потребната конзистенција и да се употреби за лиење. Како време на врзување на гипсот се смета времето поминато од моментот на истурање на гипсот во вода сè до моментот кога мешавината го постигнува пропишаниот степен на стврднување при одредена температура и влажност. Јакоста на притисок на гипсот е функција од времето и таа во почетокот на мешањето е нула, но со текот на времето во процесот на хидратација постепено се зголемува и ја достигнува дефинираната вредност со потполно сушење.

Кај нас се употребуваат следните видови на гипс:

- шпук (градежен гипс), кој се употребува при малтерисување и изработка на префабрикувани елементи и украсни предмети во ентериер;
- алабастер (моделарски гипс), кој се употребува во вајарство, архитектура, за фино малтерисување;
- гипс, кој претежно се употребува за малтерисување;
- гипс, кој се употребува за кошулки, подлоги и готови подови.
- покрај горенаведените, се употребуваат естрих гипс и алаун гипс.

5.1.3 Својства на гипсот

Гипсот како градежен материјал се одликува со повеќе особини и тоа:

- пародифузен;
- „регулатор“ на климата (влажноста на воздухот);
- рН неутрален;
- негорлив и обезбедува противпожарна заштита поради содржината на кристална вода во основните фази на гипсот;
- топлински и звучен изолатор;
- без мирис и токсични гасови;
- еколошки при ископ, преработка и монтажа;
- лесно нанослив на сидните површини;
- со особина на брзо врзување, стврднување и постигнување на бараната јакост;
- покажува мали волуменски промени при процесот на стврднување;
- намалување на јакоста при изложеност на влага.

5.1.4 Примена на гипсот

Во градежништвото гипсот се користи за производство на гипсени, гипскартонски, гипс-целулозни плочи, малтери и облоги од гипс кои служат за обложување на ѕидови, подови и тавани. Фабрички изработените градежни елементи, во чиј состав влегува гипсот, ги задржуваат неговите особини. По правило, елементите (или материјалите) направени од гипс не се употребуваат во случаите кога е можен нивен допир со вода, но сепак нивната примена во градежништвото е голема. Во влажни простории тие се употребуваат откако претходно ќе бидат импрегнирани. Определени анализи покажуваат дека употребата на гипсените плочи во станбените и деловните објекти се зголемува пропорционално со станбениот стандард.

5.1.5 Системи за сува градба

Под *сува градба* се подразбира изведба на преградни ѕидови, ѕидни и тавански облоги и подови, со готови градежни елементи, монтажно и без дополнително оптоварување со влага во текот на градбата.

Со сувата градба, освен обликување на просторот-ентериери, истовремено се задоволуваат и најразлични барања за топлинска, звучна и противпожарна заштита. Заедничка карактеристика на конструкциите изведени со сува градба е подготовката на префабрикувани градежни елементи, кои со сува постапка (со механичко прицврстување) се соединуваат во градежни делови. Иако секој елемент поединично има некакви карактеристики, само целината од сите елементи која е правилно поврзана може да ги задоволи потребите за кои е наменета. Сувомонтажниот начин на градење нуди безброј технички, економски и временски предности и заради тоа тој наоѓа огромна примена во градежништвото.

Во светот овој начин на градење е познат повеќе од 100 години, а кај нас е сè поприсутен последниве децении заради своите предности. Заради малите маси, сувата градба е идеална за надградби или објекти со носива конструкција од друг материјал. Од друга страна, со овој современ начин на градење се отвораат многу нови можности и можно е решавање на проблеми кои со класичната градба би биле нерешливи.

Предности на сувата градба се:

- помалку вода на градилиште,
- покусо време на чекање (нема сушење),
- забрзано градење (покусо време за монтажа),
- помали маси на објектите,
- помали дебелини на ѕидовите,
- висок степен на префабрикуваност,
- голема прецизност,
- идеално рамни и мазни површини,
- добра топлинска, звучна и противпожарна заштита,

- лесна изведба на инсталации (без штемување),
- можности за обликување кружни и други форми,
- лесна демонтажа и лесни дополнителни интервенции.

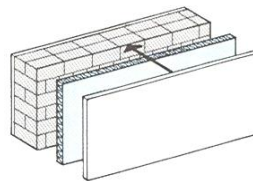
Недостатоци на сувата градба се:

- бара квалификувани работници,
- бара добра координација меѓу различните фази во градба,
- складирањето на материјалот е со посебни барања.

5.1.6 Видови на системи за сува градба и нивна примена

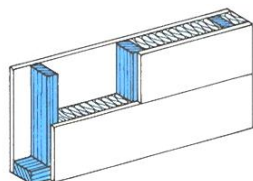
Облоги на сидови

Обложување на постоечки сидови заради подобрување на топлинска, звучна, противпожарна заштита и заштита од штетни зрачења со лепење на гипскартонски плочи или сидна облога од гипскартонски плочи на метална потконструкција.



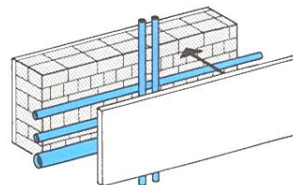
Неносиви преградни сидови

За поделба на простории со комплетна изолација, како и за обликување на ентериерот со изведба на преградни сидови со еднослојна или повеќеслојна облога од гипскартонски плочи.



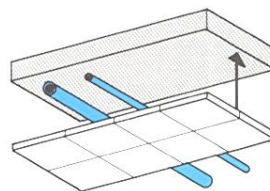
Инсталациони сидови

Водење и обложување на целокупна водоводна, електрична или друга инсталација – во сид.



Тавански облоги и спуштени тавани

Подобрување на топлинска, звучна, противпожарна заштита и заштита од штетни зрачења кај масивни или дрвени меѓукатни конструкции – особено практично кај реновирања и санации; за водење и обложување на целокупна водоводна, електрична или друга инсталација – на таван, со можност ентериерот убаво да се обликува.



Суви подови

За израмнување и подобрување на изолационите својства на постоечки меѓукатни конструкции – особено практично кај реновирања и кај дрвени меѓукатни конструкции; погодни за водење на подно греење.

Двојни подигнати подови

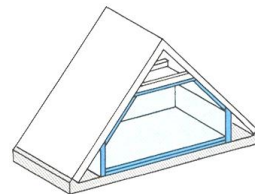
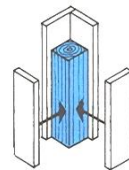
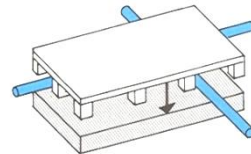
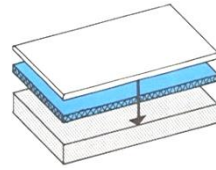
Водење на електрични, компјутерски и други инсталации во под – во административни и индустриски згради и во лаборатории.

Обложување на столбови, греди и канали

Подобрување на противпожарна заштита на постоечка дрвена или челична конструкција; за обликување на ентериерот.

Обложување на поткровја

Поделба на просторот, изолација и ентериерно обликување со примена на соодветни градежни делови со мали тежини и без вода. Рационално решение за под, сид, парпети, коси покриви, прозорци и сл.



Слика 5.3 Видови системи за сува градба

5.1.7 Гипскартонски плочи

Гипскартонската плоча е плоча со гипсено јадро, од двете страни обложено со специјален цврст картон, слика 5.4. Во јадрото, покрај гипсот, има органски или неоргански додатоци, зависно од видот на плочата.



Слика 5.4 Изглед на гипскартонски плочи

За добивање на гипскартонски плочи, гипсената руда се ситни и се пече при што испарува 3/4 од нејзината вода. Потоа, добиениот производ - шток гипс се меша со вода и се добива гипсена каша која се излева врз картонот. Така формираните влажни плочи одат во сушилница каде вишокот вода испарува. Потоа плочите се сечат и режат и на крај се палетираат за складирање.

Според својата намена и состав, гипскартонските плочи се делат на следните видови:

- гипскартонски градежни плочи, кои вообичаено се користат во градежништвото;
- гипскартонски импрегнирани плочи кои се користат во влажни простории т.е. кујни и бањи. Обложени се со специјален импрегниран картон кој ја намалува водовпивливоста;
- гипскартонски противпожарни плочи за противпожарни барања во градежништвото, во чие јадро се додадени незапаливи стаклени влакненца кои како арматура овозможуваат плочата да остане цела и да спречи пожарот да се рашири во други простории;
- гипскартонски противпожарни импрегнирани плочи, кои претставуваат комбинација од претходните два вида плочи.

Освен основните видови гипскартонски плочи, постојат и таканаречени „доработени“ плочи:

- перфорирани плочи со различни отвори кои служат за акустични простории,
- каширани плочи кои од задната страна имаат залепено различни материјали, како оловна фолија (за заштита од рендген зрачење), експандиран полистирен или минерална волна (за топлинска заштита).

5.2 Градежна вар

5.2.1 Општо за варта

Градежната вар е позната од пред неколку илјади години пред нашата ера. Се добива со печење на варовник и доломит на температура под точката на синтерување (1000 до 1200 °C), во цилиндрични ротациони печки.

После печењето, варта може да биде во грутки или мелена во прав со валкано бела боја. Таа е лесна и хигроскопна.

Хемискиот состав е калциум оксид (CaO) и во зависност од процентуалното учество на калциум оксидот, пропишани се три класи на жива вар:

- I класа треба да содржи минимум 98% CaO,
- II класа треба да содржи минимум 95% CaO,

- III класа треба да содржи минимум 90% CaO.

Од останатите соединенија, во живата вар се јавуваат магнезиум оксид, железо три оксид, силициум диоксид, алуминиум оксид.



Слика 5.5 Градежна вар

Волуменската маса на живата вар е 800 до 1300 kg/m³ (во зависност од големината на зрната). Колку е поситен агрегатот, толку е поголема волуменската маса бидејќи содржи помалку воздушни пори и празнини.

5.2.2 Гасена вар

Гасената вар се добива со гасење на живата (негасена) вар. Варта се гаси на тој начин што сандакот за гасење најнапред се полни со извесна количина на жива вар, па потоа се долеа питка вода. Варта се распаѓа и се гаси развивајќи температура од околу 150 °C, па заради тоа е задолжително мешање со некаков алат. Поради опасност од изгореници, живата вар и варта во постапка на гасење не би требало да дојдат во допир со кожа.

Гасената вар се користи како градежен материјал за правење на малтери. Хемиската равенка е Ca(OH)₂, а волуменската маса од 1300 до 1540 kg/m³.

5.2.3 Примена

Гасената вар се применува за внатрешно и надворешно варосување, дезинфекција на минерално врзани подлоги, за сидарија и бојосување, во услови кога конструктивните елементи се експлоатираат во воздушно сува средина. Варта е паропропусна и има голема покривна моќ. Со додавање на згура и некои други активни минерални додатоци, се добиваат варо-згурни, варо-пуцолански, варо-пепелни и други врзивни средства кои имаат зголемена водоотпорност. Варо-цементните малтери се употребуваат за

подготовка на надворешни премачкувачи и раствори за сидарии кога соодветните елементи од објектите се експлоатираат во средини со голема влажност. Големата дисперзност на градежната вар им дава на градежните раствори голема пластичност и водоотпорност, кои се ценети технолошки својства на овие материјали.

Потрошувачката на варта се движи од 0,3 до 0,4 kg/m², а може да се разредува со вода во однос 1:4 за ретка смеса до 1:2 за густа смеса.

Варта се складира на тој начин што во садовите се долева малку вода за да ја прекрие површината (за да не дојде во допир со воздухот) и на тој начин може да се чува неограничено долго, но треба да се внимава да не е изложена на замрзнување.

5.2.4 Хидратизирана гасена вар

За да се добие вар во прав, гасењето на живата вар се врши индустриски, со многу малку вода, но доволно сите честички да бидат угасени. Таквата вар повеќе не е опасна, а погодна е за манипулација бидејќи е во вид на фин бел прав. Хидратизираната вар се пакува во хартиени вреќи од 5, 10, 25 или 50 kg. Волуменската маса е 481 kg/m³.

5.2.5 Хидраулична вар

Хидрауличната вар се добива со печење на лапоровити варовници (варовници со поголема количина на глинени примеси, т.н. хидраулични фактори, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) на температура под границата на топење (точка на синтерување 600 – 800 °C). Таквата вар според својствата е на преод помеѓу обичната вар и портланд цементот. Во зависност од учеството на глината, оваа вар може да биде помалку или повеќе хидраулична. Карактеристично за неа е дека после мешање со вода и изложување на воздух на определено време, може да зацврсне и под вода.

5.3 Цементи

5.3.1 Портланд цемент

Цементот е хидраулично минерално врзивно средство кое се добива со мелење на т.н. портланд цементен клинкер – вештачки камен материјал што се создава со печење на мешавина од варовник и глина во однос 3:1, температурата на печење е 1350 – 1450 °C. Англискиот инженер Џозеф Аспдин го патентирал портланд цементот во 1824 година, а наречен е по островот Портланд во Англија заради сличноста на бојата. Покрај портланд цементниот клинкер, во цементот е редовно присутна и мала количина на гипс (до 5%) кој се додава заради регулирање на времето на врзување на цементот. Портланд цементот се карактеризира со сразмерно константен

хемиски состав: CaO (врзан) 62-67%, SiO₂ 19-25%, Al₂O₃ 2-8%, Fe₂O₃ 1-5%, CO₃ најмногу 3-4,5%, CaO (неврзан) најмногу 2%, MgO најмногу 5%, алкалии (Na₂O, K₂O) 0,5-1,3%.

Цементите во општ случај можат да се поделат на видови и класи. Видовите претставуваат категории на цемент со оглед на составот и технологијата на производство, додека класите на цемент ги означуваат нивните механички карактеристики. Се делат во две основни групи:

- цемента на база на портланд цементен клинкер, и
- останати специјални видови на цемент.

Цементи на база на портланд цементен клинкер - Тоа се сите цемента кои се произведуваат со мелење на портланд цементниот клинкер. Во таа група спаѓаат цементите кои покрај портланд цементниот клинкер содржат и други различни додатоци кои ги менуваат својствата на портланд цементот во зависност од содржината. Со зголемување на овие додатоци посилно ќе се издвојат разликите помеѓу овие цемента и чистиот портланд цемент. Иако јакостите на овие цемента во почетокот се помали од јакостите на чистиот портланд цемент, тие воглавно при старост поголема од 28 дена ги надминуваат тие јакости. Заради тоа, тие имаат исти класи како чистиот портланд цемент. Исто така, во зависност од содржината на овие додатоци, се менуваат и барањата за количина на вода, особено доколку како додаток се јавуваат пуцоланите.

Портланд цемент - Овој цемент нема други состојки освен оние кои влегуваат во составот на портланд цементниот клинкер, освен додатокот на гипс кој е неопходен заради регулирање на времето на врзување. Ова е несомнено најзначајниот вид на цемент, бидејќи претставува основа за добивање на поголемиот број на останатите видови цемента. Во светски рамки, од вкупното производство на сите цемента, на портланд цементот отпаѓа околу 70%. За разлика од тоа, кај нас е најголемо производството на цемент со додатоци од згура и/или пуцолан. Специфичната маса на портланд цементот е најмалку 3000 kg/m³, додека специфичната површина му е најмалку 2400 cm²/g.

Портланд цемент со додаток на згура – се добива со мелење на портланд цементен клинкер, гипс и најмногу 30% гранулирана згура од високи печки. Се карактеризира со нешто помали релативни јакости, но и со пораст на подоцнежните јакости. Тоа значи дека овој цемент има нешто побавна хидратација во однос на чистиот портланд цемент. Специфичната маса му е нешто помала од 3000 kg/m³, додека специфичната површина му е поголема од 2400 cm²/g.

Портланд цемент со додаток на пуцолан – во овој цемент покрај мелениот портланд цементен клинкер и гипсот, присутен е извесен додаток на пуцолан кој според стандардите не надминува 30%. Овој цемент се карактеризира со побавно зацврстување. Меѓутоа, крајните јакости после долг временски период се поголеми отколку кај чистиот портланд цемент.

Една од важните карактеристики е неговата сразмерно ниска топлина на хидратација.

Портланд цемент со мешан додаток – во составот на овој цемент покрај портланд цементот и гипсот, влегува и мешан додаток кој се состои од гранулирана згура и природен или вештачки пуцолан.

Металуршки цемент – овој цемент во суштина е портланд цемент со додаток на згура, кај кој содржината на згура изнесува преку 30%, но обично не надминува 85%. Кај металуршкиот цемент се уште повеќе изразени особините на побавна хидратација и помала специфична маса. Овој цемент е поотпорен од портланд цементот на различни агресивни дејства. Тој е постојан во води кои содржат хлориди, сулфати, алкалии, а исто така покажува и голема постојаност во морска вода.

Пуцолански цемент – овој цемент е портланд цемент со содржина на пуцолан преку 30%, па заради тоа кај него процесот на хидратација, како и зајакнувањето, се уште побавни. Пуцоланскиот цемент е отпорен на агресивно дејство на морска вода.

Металуршки цемент со додаток на пуцолан – во него е присутно над 30% гранулирана згура, додека содржината на природниот или вештачкиот пуцолан се движи во границите од 5 до 40%.

Сулфатноотпорни цемента – Обичниот портланд цемент не е отпорен на дејството на сулфати, бидејќи содржи значаен процент на минералот C_3A (понекогаш и до 15%). За да се добие цемент отпорен на сулфати, содржината на C_3A во него треба да е мала (до 5%) или воопшто да го нема. Ова претежно се постигнува со корекција на суровината, во смисла смалување на содржината на Al_2O_3 , а зголемување на содржината на Fe_2O_3 .

5.3.2 Специјални видови на цемент

Алуминатен цемент - е цемент кој се добива со жарење на мешавина од варовник и боксит со додаток на силициум диоксид и оксиди на железо. Жарењето се врши во специјални електропечки на температура 1500-1550°C. После фино мелење на вака добиениот алуминатен клинкер, добиениот цемент може веднаш да се употреби. Содржината на Al_2O_3 не смее да биде помала од 35%, при што односот на Al_2O_3 и CaO мора да се движи во границите од 0.9 до 1.15. Алуминатниот цемент има нијанса на црна боја, има многу брз прираст на јакоста во тек на време, така што после еден ден остварува околу 80% од јакоста која одговара на старост од 28 дена. Тоа значи дека има многу брза хидратација. Меѓутоа, производите на хидратација на овој цемент не се стабилни, туку во тек на време доаѓа до нивна постепена прекристализација која има за последица пад на јакоста. Алуминатниот цемент е отпорен во морска вода, во мека вода, како и во сулфатни води. Но, тој е неотпорен во води кои содржат алкалии. Не смее да се меша со вар, ниту

со портланд цемент, бидејќи во таква мешавина доаѓа до забрзано врзување и до значаен пад на јакоста во однос на јакоста на чистиот алуминатен цемент.

Суперсулфатен цемент - овој цемент се добива со фино мелење на гранулирана згура (80-85%), анхидрати (10-15%) и извесна количина на портланд цементен клинкер (до 5%). Се одликува со голема финост на мелење (специфичната површина му е најмалку $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$) и многу ниска топлина на хидратација. И овој цемент бара значително поголема количина на вода за хидратација. Отпорен е на дејство на сулфати, како и на дејство на морска вода, солна киселина, ленено масло, феноли, разблажени раствори на органски киселини и др.

Експанзивен цемент - цемент во чиј состав се содржани супстанции кои во тек на хидратацијата доведуваат до создавање на определени експанзии, па во првите 10-15 дена се покажува значително ширење на цементниот камен. Оваа експанзија може да изнесува и до 25 mm/m .

5.3.3 Ознаки за цемент

Во следната табела 5.1 се дадени ознаките за цемент според европските стандарди.

Табела 5.1:

Име	Ознака
Портланд цемент	CEM I
Портланд цемент со додаток на згура	CEM II/A-S
	CEM II/B-S
Портланд цемент со додаток на пуцолан	CEM II/A-P
	CEM II/A-Q
	CEM II/B-P
	CEM II/B-Q
Портланд композитен цемент	CEM II/A-M
	CEM II/B-M
Металуршки цемент	CEM III/A
	CEM III/B
	CEM III/C
Пуцолански цемент	CEM IV/A
	CEM IV/B
Композитен цемент	CEM V/A
	CEM V/B

Легенда со табелата:

- A – учество на додаток од 6-20%
- B – учество на додаток од 21-35%
- C – учество на додаток од згура 81-95%
- L – вар
- M – мешан додаток на пуцолан и згура
- P – природен пуцолан
- Q – активирани пуцолани
- S – згура од високи печки
- V – силикатна летечка пепел
- W – карбонатна летечка пепел

6 Малтери и бетони

6.1 Малтери

6.1.1 Општо за малтерите

Малтери се сите вештачки камени материјали кои се добиваат како резултат на зајакнувањето и стврднувањето на хомогенизирани мешавини на ситен агрегат и врзивно средство. Малтерите се користат за:

- зидање на сите видови сидови од камен, градежна керамика, варовничко-силикатна тула, бетонски и згуро-бетонски блокови и елементи од лесен бетон,
- внатрешно и надворешно малтерисување на сидани и бетонски сидови, бетонски столбови, греди и долни површини на меѓукатни конструкции,
- обложување (како спојно средство) на сидни и подни површини со различни видови на керамички и камени плочи и плочки,
- заштита на основниот – носивиот материјал/елемент од конструкцијата од различни влијанија (противпожарни, хидроизолациони, антикорозивна заштита итн.),
- подобрување на термоизолационите и звукоизолационите својства на објектите,
- пополнување на споеви, инектирање на пукнатини и празнини итн.

6.1.2 Состав на малтерите

Основните компоненти на малтерите се:

- агрегат,
- вода,
- врзивно средство,
- додатоци.

Агрегатите се користат како полнежи во малтерските мешавини. Основната задача им е да заменат дел од врзивното средство во малтерот, со цел да се намали цената на малтерот, а да му се подобрат некои својства (на пример намалување на собирањето, зголемување на механичките карактеристики, подобрување на термоизолационите својства итн.). Во малтерите се користи ситнозрнест агрегат, тоест агрегат со крупност на зрното до 4 mm. Покрупниот агрегат не се користи, бидејќи малтерите во најголем број случаи се применуваат во вид на тенки слоеви чија дебелина не преминува 3 cm.

Агрегатите за изработка на малтери можат да бидат од органско или неорганско потекло. Најчесто за изработка на малтер се користи речен песок,

но може да се користи и кварцен песок, мермерни зрна, иситнати магматски карпи (гранит, андезит, базалт итн.), камено брашно (мермерно, андезитно итн.), експандиран перлит и вермикулит, гранули од експандиран полистирол итн.

Во зависност од примената на малтерите, се пропишуваат и условите за квалитетот на агрегатот, кои тој мора да ги исполни за да може да се користи за подготовка на малтери.

Врзивните средства претставуваат најважна компонента на малтерите. Видот на применетото врзивно средство влијае на начинот на стврднување, на својствата и на примената на малтерот. За изработка на малтери може да се користат врзивни средства од:

- неорганиско (минерално) потекло,
- органиско потекло.

Како *неорганиски минерални врзивни средства* се користат:

- цемента (различни видови портланд цемента и специјални цемента),
- градежна вар (хидратисана вар и варно тесто),
- хидраулични врзивни средства за сидање и малтерисување,
- градежен гипс (малтерски гипс, штука гипс).

Од *органиските врзивни средства* за изработка на малтери можат да се користат:

- полимерни латекси,
- прашести емулзии,
- водорастворливи полимери,
- течни смоли (епоксидни смоли),
- мономери,
- катран и битумен.

Малтерите го носат името според видот на применетото врзивно средство, на пр.: *варов малтер, цементен малтер, варно-цементен малтер, епоксиден малтер* итн.

Врзивните средства мора да ги исполнат своите услови за квалитет, пропишани со соодветни стандарди, за да може да се користат за различни видови на малтери.

Водата претставува основна структурна компонента на малтерите кога за нивната подготовка се користат неорганиски минерални врзивни средства. Во такви случаи водата често има двојна улога:

- технолошка – овозможува врзување на прашестите и зрнестите материјали и добивање на малтерски мешавини со определена густина и
- хемиска – овозможува одвивање на процесот на хидратација – врзување и стврднување на малтерот во случај кога како врзивно

средство се користи градежен гипс или хидраулични врзивни средства.

Додатоците во малтерите не претставуваат основна компонента на малтерите. Со цел да се подобрат својствата на свежиот или стврднатиот малтер, можат да се користат различни видови на *хемиски* и на *минерални додатоци*.

Хемиските додатоци се фабрички произведени материјали од органско или неорганско потекло кои се додаваат на малтерите во мали количини (помалку од 5% во однос на масата на цемент) во фазата на подготовка. Од хемиските додатоци за подготвување на малтери се користат:

- пластификатори – ја подобруваат вградливоста и обработливоста на свежите малтери,
- хидрофоби – обезбедуваат водонепропустливост на стврднатиот малтер,
- аеранти – вештачки вовлекуваат воздух во свежиот малтер, ја подобруваат вградливоста и обработливоста на свежиот малтер и ја зголемуваат отпорноста на дејство на мраз на стврднатиот малтер,
- акцелератори – го забрзуваат процесот на врзување и/или стврднување на малтерот.

Минералните додатоци се фино иситнати материјали од неорганско потекло кои се додаваат со цел за подобрување на пластичноста – вградливоста и обработливоста на малтерите, односно зголемување на способноста за задржување на вода и продолжување на „отвореното“ време за работа на сидање и малтерисување. Минералните додатоци, историски гледано, имаат подолга примена од хемиските додатоци.

6.1.3 Видови малтери

Според намената, малтерите се делат на:

- малтери за малтерисување,
- малтери за сидање,
- декоративни малтери,
- инјекциони малтери,
- малтери за хидроизолација,
- малтери за звучна и топлинска изолација,
- малтери за заштита од зрачење.

6.1.4 Својства на малтерите

Малтерите имаат редица својства кои треба да бидат испитани, согласно со стандардите за квалитет. Воглавно се испитуваат по неколку својства на малтерската мешавина и на стврднатиот малтер.



Слика 6.1 Декоративни малтери

Својства на малтерската мешавина се:

- конзистенција,
- хомогеност,
- присуство на пори,
- способност за задржување на вода.

Својства на стврднатиот малтер:

- јакосни карактеристики,
- отпорност на дејство на мраз,
- атхезија на малтерот за подлогата.

Конзистенција (пластичност) на малтерите - мерка за обработливост. Под конзистенција се подразбира степенот на поврзаност на компонентите од малтерската мешавина. Конзистенцијата зависи од: видот, количината и гранулометрискиот состав на агрегатот, видот и количината на врзивното средство, количината на вода (водоврзниот фактор), присуството на адитиви и постапката на подготвување. Од конзистенцијата пак, зависат некои јакосни карактеристики, отпорноста на дејство на мраз, атхезијата на малтерот за подлогата и сл.

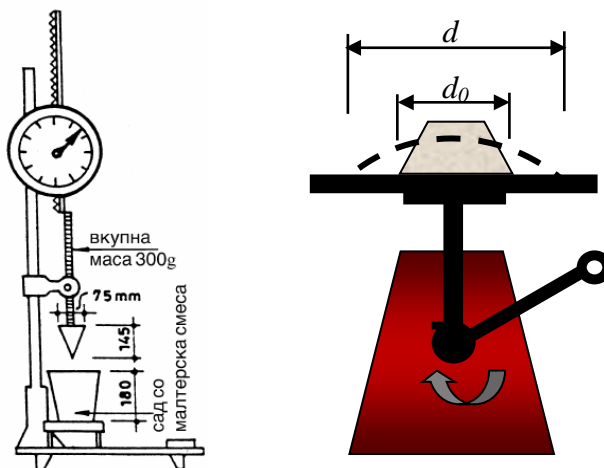
Мерење на конзистенцијата: Конзистенцијата на малтерската мешавина може да се дефинира врз база на мерење на длабочината на продирање на стандарден метален конус, кој е во состав на апаратурата прикажана на слика 6.2 а). Оваа постапка се користи за рутински испитувања, а дава различни длабочини на продирање во малтерот, во зависност од неговата вискозност. За различни намени на малтерот, неговата конзистенција треба да биде различна. На пример, малтерот за сидање на сидови од полна тула треба да има продирање од 9 до 13 cm; за сидање сидови од шупливи тули и од блокови од глина – од 7 до 8 cm, а за камени сидови – од 4 до 6 cm.

Малтерот за малтерисување, пак, треба да има потребна конзистенција во дадените граници:

- за основен слој: 8 до 10 cm,
- за завршен слој: 7 до 8 cm,

- ако завршниот слој е со додаток на гипс: 9 до 12 cm.

Конзистенцијата (пластичноста) на малтерот може да се мери и врз база на големината на распростирање d , која се добива после протресување на примерокот од малтерска мешавина на вибромаса, слика 6.2 б). Почетниот дијаметар е $d_0 = 100\text{mm}$. Малтерската мешавина се изложува на 15 потреси со брзина 1 потрес во секунда. Потоа се мери големината на распростирање d .



Слика 6.2 Мерење на конзистенција: а) со метален конус, б) со вибромаса

Според ова мерење, малтерите за зидање имаат два типа на конзистенција:

- течна – доколку $d > 180\text{mm}$,
- пластична - дефинирана со релацијата $130\text{mm} < d < 180\text{mm}$.

Во Табела 6.1 се дадени мерките за распростирање на малтерските мешавини, во зависност од нивната намена.

Табела 6.1:

вид на малтер	распростирање (mm)	најголемо зрно (mm)
за основен слој	200 – 230	2,5 – 5
за втор основен слој	170 - 180	2,5 – 5
за завршен слој		
- без гипс	170 - 180	1,2
- со гипс	190 - 220	1,2

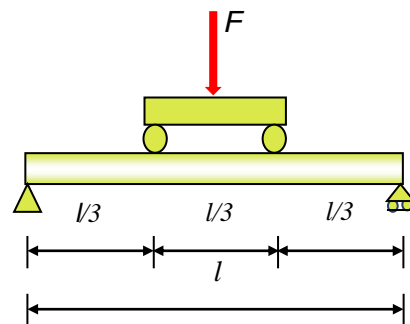
Јакост на малтерите. Се испитува на три призматични примероци 4x4x16cm, слика 6.3. Примероците, во зависност од видот на малтерот, треба да се чуваат во услови со определена температура и влажност:

- варов малтер - температура 20°C и влажност од 65%,
- продолжен малтер - температура 20°C и влажност 95-100%,
- цементен малтер - примероците се потопуваат во вода со температура 20°C, при што водата мора да се менува секои 14 дена.



Слика 6.3 Примероци од стврднат малтер

Јакоста на свиткување на примероците се испитува со нанесување на концентрирани сили во третински точки од распонот на примерокот. На слика 6.4 е дадена фотографија од преса за испитување и шема на товарење на испитуван примерок.



Слика 6.4 Преса за испитување јакост на свиткување и шема на товарење

Во табелата 6.2 се дадени јакости на примероци од малтери со различни марки, стари 28 дена. Прикажани се вредности за јакост на притисок и за јакост на затегнување при свиткување.

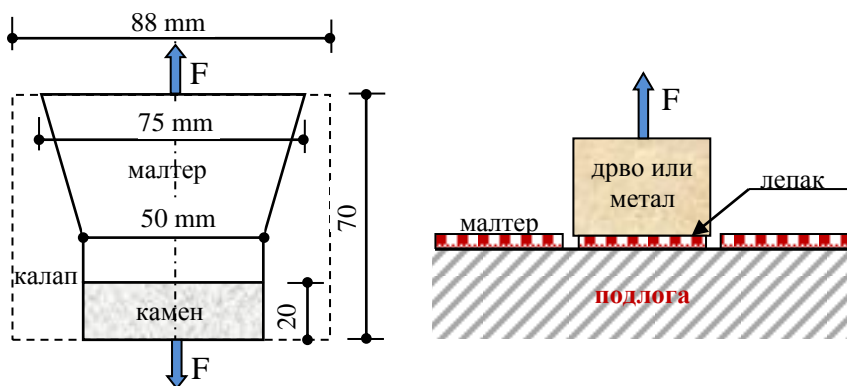
Табела 6.2:

марка на малтерот М	јакост на примероци при старост од 28 дена			
	јакост на притисок f_p [МПа]		јакост на затегнување f_z [МПа]	
	просечна вредност најмалку	поединечна вредност најмалку	просечна вредност најмалку	поединечна вредност најмалку
5	0.5	0.3	0.3	0.2
25	2.5	1.7	1.0	0.8
50	5.0	3.5	1.7	1.4
100	10.0	7.0	2.4	2.0

Отпорност на мраз. Се испитува на 6 примероци, од кои 3 се еталони и се чуваат во вообичаени нормални услови. Останатите 3 се изложуваат на 25 циклуси на замрзнување (-20°C) за времетраење од 4 часа и одмрзнување (во вода на собна температура) 4 часа.

Критериуми за малтерот да е отпорен на мраз е јакоста на замрзнуваниите и одмрзнуваниите примероци да не е помала од 20% од јакоста на еталоните, а исто така и масата да не им се смали повеќе од 2%.

Атхезија на малтер за подлога. Таа зависи од: видот на подлогата (камен, тула), конзистенцијата на малтерот, рамноста, порозноста и влажноста на подлогата, начинот на нанесување (вградување) на малтерот итн. За испитување најчесто се користат мали примероци со димензии 50/50/20 mm. Претходно натопениот во вода примерок се става во посебен калап, слика 6.5а), во кој е овозможено определено збивање на малтерот. После определеното чување во влажна средина, примерокот се оптоварува со аксијална сила F .

Слика 6.5 Атхезија на малтер: а) за подлога од камен; б) *in situ* испитување

Кај ова испитување можни се три случаи на лом:

- лом во каменот,
- лом во малтерот,
- лом на контактот малтер – камен.

Атхезијата на малтерот за подлога може да се изврши и по пат на *in situ* испитување чиј приказ е даден на слика 6.5б). Елемент со позната површина во основата се лепи за подлога. Кога врската помеѓу елементот и малтерот ќе стврдне, малтерот околу елементот се засекува, така што под влијание на силата F се јавуваат напрегања само во површината на малтерот еднаква на површината на залепениот елемент.

Останати поважни својства кои треба да ги имаат малтерите

Малтерите за надворешно малтерисување мора да бидат во доволна мерка пропустливи за пара и гасови, а водоодбивни. Кај малтерите за внатрешни малтерисувања малтерисаната површина треба да биде погодна за нанесување на бои и тапети. Малтерите за обработка на површини под земја треба да бидат што помалку пропустливи за вода и мора да бидат добри подлоги за нанесување на различни видови хидроизолации. За употреба во хемиски агресивни средини, малтерите треба да се отпорни на хемиска агресија.

6.2 Бетони

Бетонот е вештачки камен, кој се добива со стврдување на внимателно дозирана и хомогенизирана смеса од цемент, вода и агрегат. По потреба, се додаваат и специјални додатоци.

6.2.1 Историјат на бетонот

Почетоците на бетонот влечат корени во праисторијата. Уште Асирците и Вавилонците користеле глина како врзивно средство за бетон. Египќаните користеле вар и гипс како цемент. Во Западното Римско Царство, 300 год. пр. н.е. - 476 год. н.е, се правело хидрауличко врзивно средство – на варов малтер се додавало брашно од мелена тула произведена од печена глина. Во тој период е и откривањето на бетонот, каков што го познаваме денес. Бил правен од калциум оксид, пуцоланска прашина (вар и вулканска пепел од Пуцоли, Неапол), со животински маснотии како додатоци (млеко, јајца и крв). Во 128 год. пр. н.е. во Римскиот Пантеон е изградена неармирана купола со распон 43m, најголема до 1913 година, слика 6.7. Во 1756 година, британскиот инженер Џон Смитон прв употребил портланд цемент како врзивно средство за подготовка на бетон.

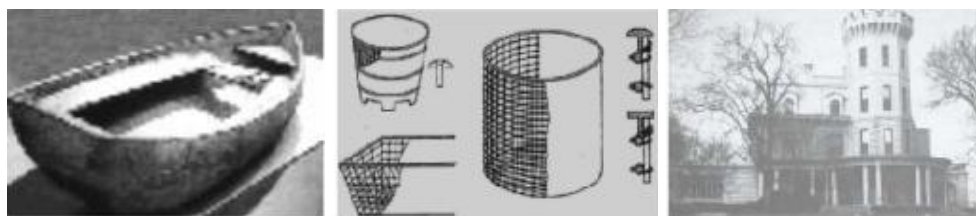


Слика 6.6 Наоѓалишта на бетонски градби: а) Лепенски Вир, 6000 г. пр. н.е.; б) Камирос, Родос, 500 г. пр. н.е.



Слика 6.7 Купола од неармиран бетон, Пантеон - Рим, 128 г. пр. н.е.

Во 1848 Жан-Луј Ламбо (Jean-Louis Lambot) прв употребил арматура во бетонот и направил чамец. Следната година, 1849, Жозеф Мониер (Joseph Moniere) армирал саксии за цвеќе, па заради тоа се смета за татко на армираниот бетон. По неколку години тој го изградил и првиот армиранобетонски мост. Во периодот од 1871 до 1876 Вилијам Ворд (William E. Ward) ја изградил и првата армиранобетонска куќа, слика 6.8.



Слика 6.8 Првите конструкции од армиран бетон

6.2.2 Употреба на бетонот

Бетонот има најраспространета примена во градежништвото. Употребата на бетонот во однос на употребата на челикот е приближно 10 : 1 во денешно време. Се применува за најразновидни објекти, како за бетонирање на лице место, така и за префабрикувани конструктивни елементи. Иако најраната

примена била за аквадукти и сидови за заштита на брегови, особено кај Римјаните, денешната примена на бетонот е многустрана - брани, канали, цевки за транспорт на вода, колови, столбови, темели, меѓукатни конструкции, покриви, сидови и елементи изложени на вода.



Слика 6.9 Грандиозни градби од армиран бетон: а) Опера Хауз (Opera House, Sidney - Jorn Utzon); б) Гугенхајм Музеј (Guggenheim Museum, New York - Frank Lloyd Wright); в) Вила Савој (Ville Savoye, Poissy, France - Le Corbusier)



Слика 6.10 Мост Оресунд (Øresund Bridge) – 2000 година, ги поврзува Копенхаген- Данска и Малме- Шведска со вкупна должина од 7845m, и најголем распон од 490m

Во табелата 6.3 е дадена светската годишна потрошувачка на бетон, според која производството и потрошувачката на бетон во развиените светски подрачја денес е 1.5 до 3 t/ по жител/ на година.

Табела 6.3:

1964 година	3 милијарди тони
2004 година	11 милијарди тони

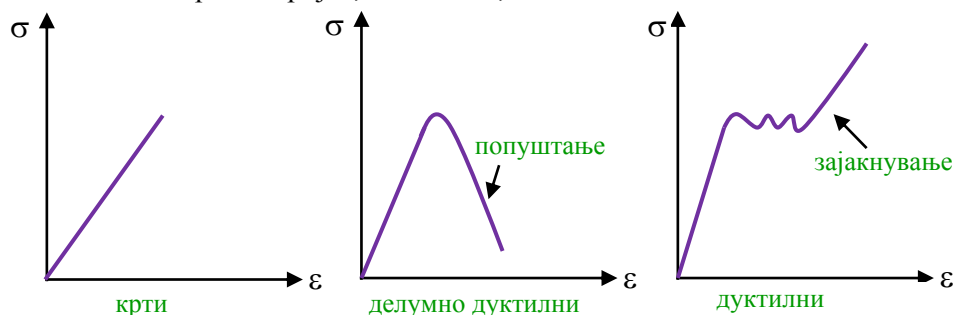
Бетонот се употребува како чист *бетон*, како *армиран бетон*, кај кој силите на затегнување ги презема арматурата или *претходнонапрегнат бетон*, кај кого се внесуваат сили на преднапрегање кои во елементот предизвикуваат таква состојба на напрегања која материјалот може да ја поднесе за сите оптоварувања за време на експлоатација.

Причини за примена на бетонот

- отпорен на дејство на вода
- едноставно обликување на елементите
- енергетски поволен
 - бетон 450 – 750 kwh/T
 - армиран бетон 850 – 3200 kwh/T
 - челик 8000 kwh/T
- одржување
 - јакоста се зголемува со тек на време
- во нормални услови: долготраен, не бара површинска обработка
- отпорност на делување на многу ниски и високи температури (пожар)
- отпорност на циклични оптоварувања
- способност за вградување на отпадни материјали како составни компоненти
- заедничка работа со арматурата: приближно ист коефициент на линеарно термичко ширење

Ограничувања на примената на бетонот

- квази крт материјал, слика 6.11,



Слика 6.11 Дијаграми напрегање – дилатација кај различни бетони

- мала јакоост на затегнување - како подобрување на овој недостаток, се употребуваат микроармиран бетон и полимер бетон.
- време на нега - за подобрување се применува негување со пареа и префабрикувани елементи.
- пукнатини - во бетонот се јавуваат пукнатини во зоната на затегнување, слика 6.12. Како подобрување може да се примени претходнонапрегнат бетон.

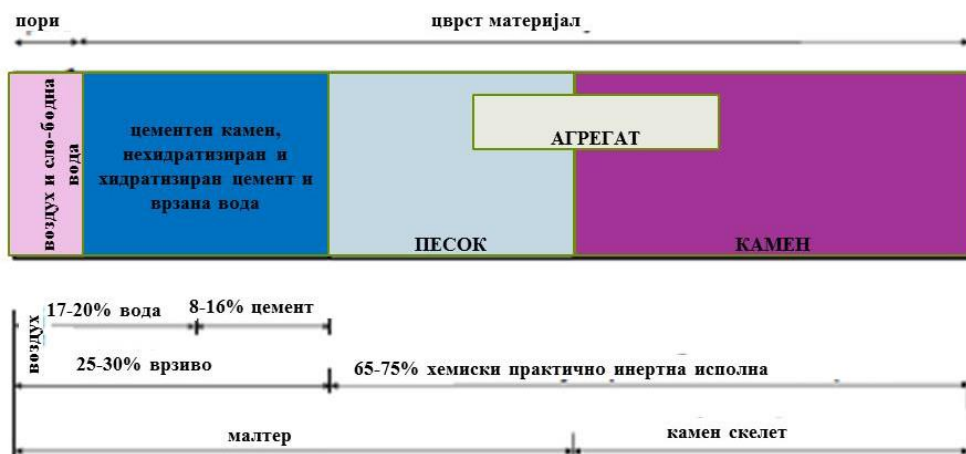


Слика 6.12 Пукнатини кај армиранобетонски греден носач

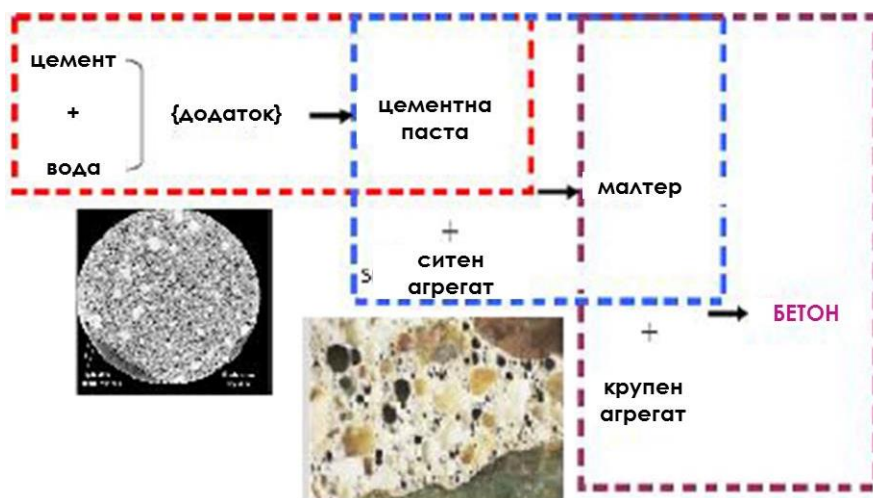
6.2.3 Основни состојки на бетонот

Бетонската смеса се добива кога цементната паста (водоцементниот раствор) ги обвиткува и пополнува празнините меѓу полнежните материјали (агрегатот) и заради тоа бетонската смеса има определена подвижност (конзистенција). Понатаму, заради физичко-хемиското взаемно дејство помеѓу цементот и водата, пастата преминува во цементен камен, кој го сврзува агрегатот во монолитно тело.

Со внесувањето на агрегатот со соодветен гранулометриски состав, се намалува количеството на цементната паста, т.е. на цементот, што е економски повољно. Процентот на агрегатот достигнува и до 80% од волуменот на бетонот и претставува своевиден скелет, кој му ги подобрува физичко-механичките својства, слика 6.13.



Слика 6.13 Волуменски сооднос на основните состојки на бетонот








Слика 6.14 Шема на добивање на бетон

Цементот и водата создаваат цементна паста, во која може, но не мора да има некакви додатоци. Со учество на ситен агрегат се создава малтерска мешавина, а со додавање на крупен агрегат се прави бетонска смеса, сл. 6.14.

Во табелата 6.4 се претставени основните состојки на бетонот со соодветните густини.

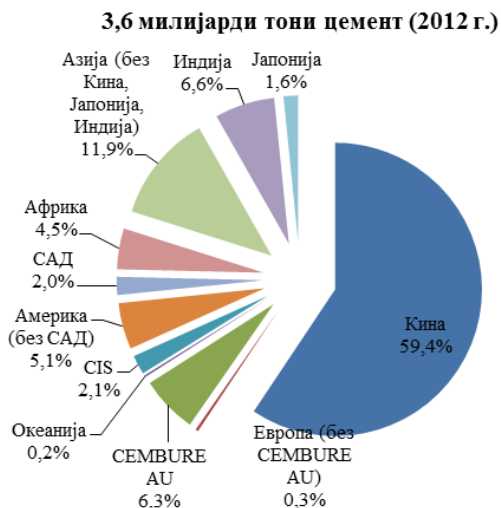
Табела 6.4:

Основни состојки на бетонот		
цемент $\rho_c = 3 \text{ g/cm}^3$		
агрегат $\rho_a = 2,65 \text{ g/cm}^3$		
вода $\rho_v = 1 \text{ g/cm}^3$		
додатоци $\rho_d = 1-2 \text{ g/cm}^3$		
бетон $\rho_b = 2,35 \text{ g/cm}^3$		

Цемент. Улогата на цементниот камен во бетонот е да ги залепи зрната на агрегатот и на бетонот да му даде соодветна јакост; да го исполни просторот помеѓу честичките на агрегатот и со тоа да создаде непропусна маса. Цементот е носител на две карактеристични својства на бетонот: собирање и ползење (течење). Вообичаени количини на цемент во 1 m^3 бетон се 200 – 400 kg.

Видовите (категории) на цемент се изразуваат во однос на составот и технологијата на производство. Класите на цементот се означуваат според неговите јакосни својства, изразени со јакоста на притисок и јакоста на свиткување.

година	светско производство на цемент (милијарди тони)
1995	1,396
2000	1,662
2005	1,839
2010	1,946



Слика 6.15 Светско производство на цемент (дијаграмот е за 2012)

Според Правилникот за бетон и армиран бетон од 1987 година (ПБАБ/87), цементите се делат на две основни групи:

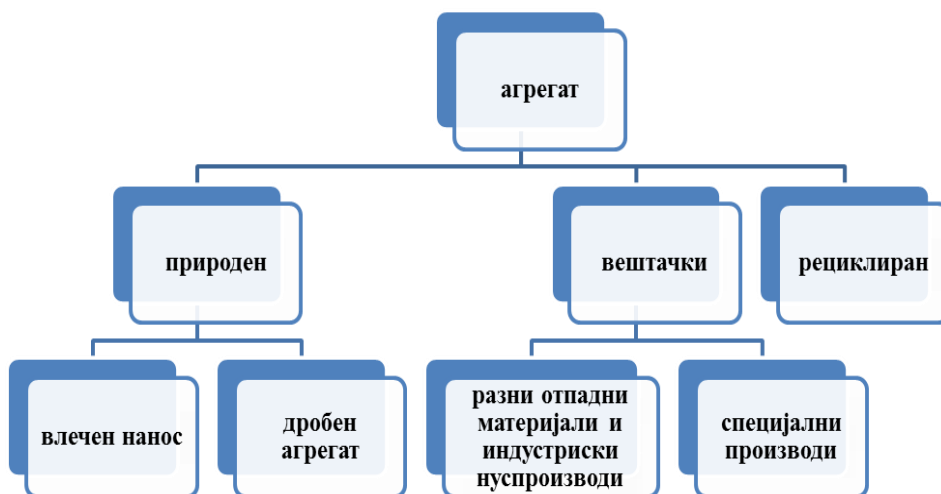
- Цементи на база на портланд цемент:
 - Портланд цемент со мешани додатоци – се добива со додаток на згура и на пуцолан со најмногу 15% или со најмногу 30%
 - Ознака PC 15d (z или p) k
 - PC 30d (z или p) k
 - Металуршки цемент - портланд цемент со додаток на згура повеќе од 30%, но помалку од 85%.
 - Ознака M k
 - Пуцолански цемент - портланд цемент со додаток на пуцолан повеќе од 30%, но помалку од 85%.
 - Ознака P k
 - Металуршки цемент со додаток на пуцолан - портланд цемент со додаток на згура повеќе од 30%, а содржината на пуцолан (природен или вештачки) во граници од 5-40%.
 - Ознака Mr k
- Останати специјални видови цемент:
 - цементи со ниска хидратациона топлина,
 - бел портланд цемент,
 - сулфатно отпорен цемент,
 - алуминатен цемент,
 - суперсулфатен цемент,
 - експанзивен цемент.

Според ПБАБ/87 постојат следните класи на цемент 25, 35S, 35B, 45S, 45B и 55. При означувањето на цементите, S означува бавен прираст на јакоста, додека B - брз прираст на јакоста.

Агрегат. Зрната од агрегатот го сочинуваат скелетот, кој му дава крутост и јакост на бетонот. Агрегатот исто така дава димензионална стабилност, т.е. ги смалува долготрајните волуменски промени кои се својствени за цементниот камен. Агрегатот е релативно евтин, па тоа ја обезбедува економичноста на бетонските конструкции.



Слика 6.16 Изглед на агрегат за бетон



Слика 6.17 Видови агрегат за бетон

Вода. Со количеството на вода се регулира вискозноста на свежиот бетон. Количеството на вода се менува во тесни граници од 160 до 200 литри вода на 1 m^3 бетон. Водата за пиење е добра и за подготовка на бетон. Треба да се внимава со додавањето на вода, затоа што зголемувањето на количеството над потребното за хидратација на цементот доведува до зголемување на количеството на пори, а тоа резултира со намалување на јакоста и на другите основни својства на бетонот.

Додатоци во бетонот (адитиви). Тие претставуваат супстанции, најчесто од органско потекло, кои додадени во свежата бетонска мешавина, ги модифицираат својствата на свежиот и стврднатиот бетон или на малтерот

или на цементната паста. Се додаваат во промили или процентуални делови од уделот на цементот во мешавината. Со додавање на адитиви во бетонот се создаваат можности за модификација на својствата на свеж и стврднат бетон. Тие можат да имаат за цел:

- да се модифицира брзината на одделување или вкупното одделување на водата,
- да се смали сегрегацијата,
- да се подобри пумпабилноста,
- да се забави губењето на обработливост,
- да се спречи замрзнување на свежиот бетон,
- да се забави или намали развојот на топлината во свежиот бетон,
- да се зголеми јакоста,
- да се зголеми трајноста.

6.2.4 Основни својства на бетонот

Основни својства кои се испитуваат кај свежиот бетон се: обработливост – конзистенција, одделување на водата, сегрегација, време на врзување на бетонот, хомогеност на бетонската мешавина, температура, содржина на пори во бетон.

Кај стврднатиот бетон се испитуваат јакоста на притисок на 28 дена, јакоста на свиткување, јакоста на затегнување, деформационите својства, сушењето, водонепропустливоста, отпорноста на мраз, топлинските деформации, ползењето итн.

7 Метали

Металите претставуваат речиси 3/4 од сите елементи кои се присутни во природата. Од познатите 118 хемиски елементи, околу 80% се метали. Нивните најкарактеристични својства се: голема јакост, пластичност, жилавост, метален сјај, добра спроводливост на топлина и електрицитет, голема густина, способност да се коваат, заваруваат, истегнуваат и сл. Тие се цврсти при нормални температури, освен живата. Металите кои се користат во градежништвото можат да се поделат во две групи:

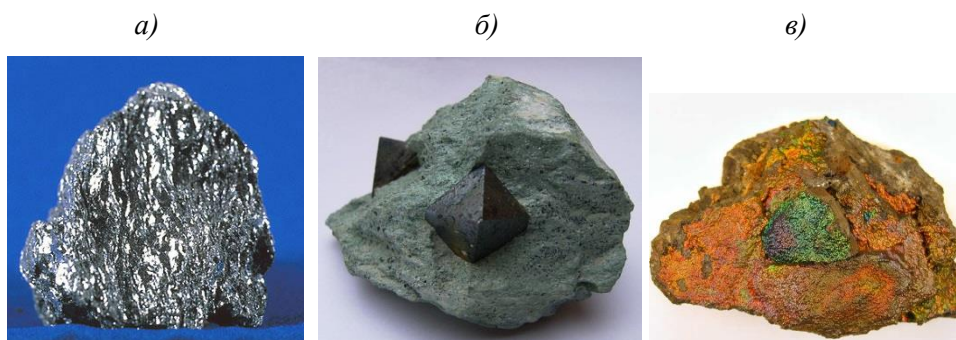
- црни
- обоени.

Црните метали – леано железо и челик, се легури на железото и јаглеродот. Во нив може да се содржат и мали количества на други хемиски елементи кои им даваат специфични својства. Во зависност од содржината на јаглерод, црните метали се делат на:

- челик – легура со содржина на јаглерод помалку од 2%,
- леано железо - со содржина на јаглерод повеќе од 2%.

7.1 Руди од кои се добива железо

За добивањето на железните легури се користат железни руди: магнетит (Fe_3O_4), хематит (Fe_2O_3), лимонит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), сидерит (FeCO_3) и др., слика 7.1 и слика 7.2. Содржината на железо во тие руди е обично 30% до 70%. При топењето на рудите во печки се добиваат сиво сурово железо и бело сурово железо.



Слика 7.1 Железни руди: а) хематит, б) магнетит, в) лимонит



Слика 7.2 Изглед на железни руди



Слика 7.3 Добивање на железо во високи печки

7.2 Добивање на челик

За добивање на челик се користи белото сурово железо. Постојат повеќе постапки за преработка на железото во челик, а најчести се:

- Постапка со непосредно продувување на кислород или воздух збогатен со кислород низ растопено железо во конвертори. Најмногу се користат Бесемеровиот и Томасовиот конвертор, слика 7.4. Се разликуваат по тоа што со Томасовата постапка од суровото железо може да се отстрани и фосфорот.
- Постапка со посредна оксидација која се спроведува во Сименс-Мартинови печки. Кај оваа постапка оксидацијата ја врши кислород од гасови.

- Таканаречена ЛД постапка (Linz-Donawitz), која, всушност, претставува усовершена Бесемерова или Томасова постапка за која се користи чист кислород (99.9%). Притоа, кислородот се спроведува низ цевка разладувана со вода. Оваа постапка е сè почесто применувана денес.
- Електролачна постапка при која суровото железо се тали со електричен лак. Ова е помодерна постапка за добивање на легирани челици, во кои содржината на други метали е поголема од 5%.

Светското производство на челик во 2011 година изнесувало околу 1490 милиони тони. Кина, според податоците од 2011, е најголемиот светски производител на челик со околу 45,9% од вкупното светско производство.

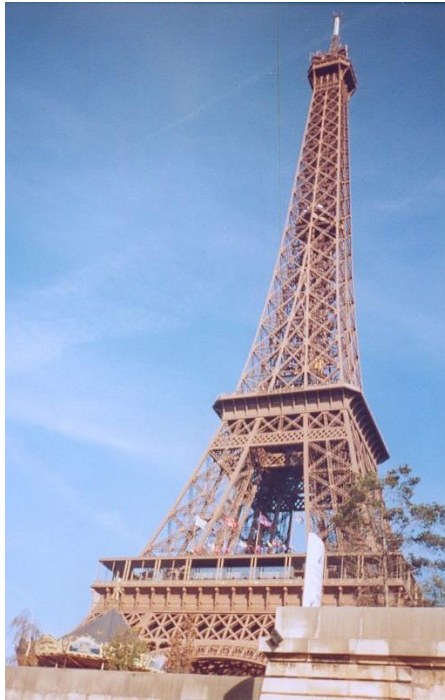


Слика 7.4 Бесемеров конвертор за добивање на челик: а) шема, б) Бесемеров конвертор во Шефилд, Велика Британија



Слика 7.5 Железен столб во Делхи, 400 год. н.е.

Железниот столб изграден во Делхи околу 400-та година, слика 7.5, висок 7 метри и тежок повеќе од 6 тони, и ден денес се спротивставува на монсонските дождови и корозијата.



Слика 7.6 Ајфеловата кула во Париз, 1889 год.

Ајфеловата кула, слика 7.6, е изградена во 1889 година. Иако Александар Густав Ајфел (1832 – 1923) имал најмногу успех во проектирањето на челични мостови, негово најголемо достигнување е оваа кула, која го добила името по него. Со четири решеткасти носачи, таа се издигнува до висина од околу 300 метри, а тежи 9700 тони. Челичните носачи се споени со три платформи на висина 58, 116 и 276 метри.

7.3 Класификација на челикот

Челикот може да се класифицира според многу основи:

- според постапката на производство,
- според хемискиот состав,
- според својствата,
- според намената итн.

Во табелата 7.1 е дадена класификацијата на челикот по горенаведените основи.

Табела 7.1

Поделба на челикот според хемискиот состав	јаглородни	нискојаглороден челик (мек)	содржина на С помала од 0.25%
		среднојаглороден челик (тврд)	содржина на С од 0.25% до 0.60%
		високојаглороден челик (инструментален)	содржина на С од 0.60% до 2%
	легирани	нисколегирани	легирачки додатоци помалку од 2.5%
		среднолегирани	легирачки додатоци до 10%
		високолегирани	легирачки додатоци над 10%
Поделба на челикот според механичките својства	со нормална јакост	до 400 МПа	
	со зголемена јакост	до 550 МПа	
	со висока јакост	до 900 МПа	
Поделба на челикот според потеклото и областа на примена	конструктивни		
	алатни		
	специјални		

7.4 Видови челици

Во градежништвото голема примена имаат конструктивните челици. Тие се користат за градежни конструкции, машински делови, арматура за армиран бетон и др. Алатните челици се користат за изработка на алати. Конструктивните челици се делат на:

- општи конструктивни челици и
- челици за посебни намени.

Главните физички својства на челикот се неговата волуменска маса $\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$, и коефициентот на температурно ширење $\alpha_t = 10^{-5}$. Механички својства кои се испитуваат се јакоста, деформабилноста и дуктилноста. Важни технички својства при обработката на челиците се нивната атхезија и заварливост.

7.4.1 Општи конструктивни челици

Во оваа група спаѓаат јаглеродните челици што служат за изработка на челични конструкции во областа на високоградбата, нискоградбата, хидроградбата и машиноградбата. Овие конструкции се споени најчесто со завртки и заковки, или се заварени конструкции. Тоа се најевтини и најчесто применувани челици за нормално оптоварени конструкции и машински делови. Кај општите конструктивни челици, вредноста на јакоста на затегнување σ_M [N/mm²] и границата на развлекување σ_R [N/mm²], претставени претходно на слика 2.21, се гарантирани од производителот, додека вредноста на динамичката издржливост на материјалот е ориентациона и негарантирана.

Според технологијата на производство, челикот може да биде топловалан, ладновлечен, ладновалан, обработен преку деформирање во ладна состојба, термички обработен итн.

7.4.1.1 Челик за армирање

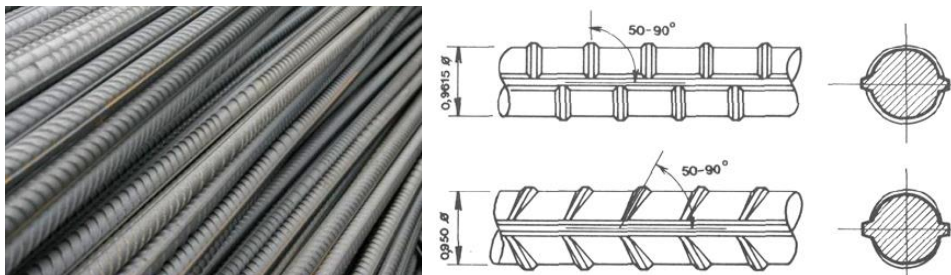
Челикот што се користи за армирање може да биде во различни облици: жици, прачки, мрежи и сл.

Геометријата на челикот за армирање се дефинира со дијаметарот, според кој арматурата го добива и своето име (пример, $\phi 14$). Површината на арматурата може да биде:

- мазна,
- ребреста (профилирана),
- оребрена (назабена).

Според нормативната класификација на ПБАБ87 – Правилник за бетон и армиран бетон, постојат:

- природно јаки челици
 - ГА 240/360 (мазни),
 - РА (400/500) (ребрести), слика 7.7,
- ладно влечени челици
 - МА 500/560 (мрежи), слика 7.8.



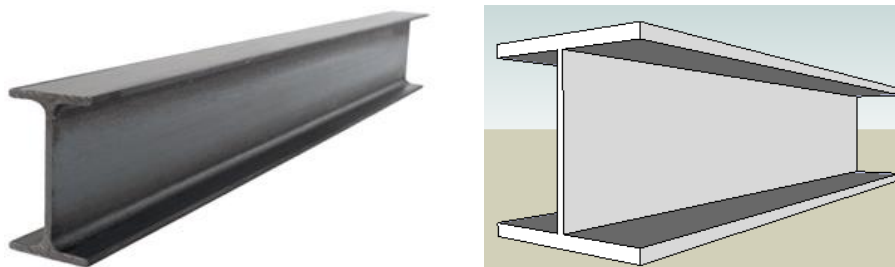
Слика 7.7 Ребреста арматура



Слика 7.8 Мрежеста арматура

7.4.1.2 Профилен челик

Профилниот челик го претставуваат топоваланите челични елементи (греди), слика 7.9, со различни форми (профили) на напречниот пресек. Достапните форми во многу земји се издадени во стандарди: I пресек, Z пресек, L пресек, цевкасти профили и сл.



Слика 7.9 Челични греди

Профилите се произведуваат со различни димензии и должини, како на примерите прикажани на слика 7.10. Тие наоѓаат голема употреба во челичните и армиранобетонските конструкции на различни видови објекти, железнички и патни мостови.

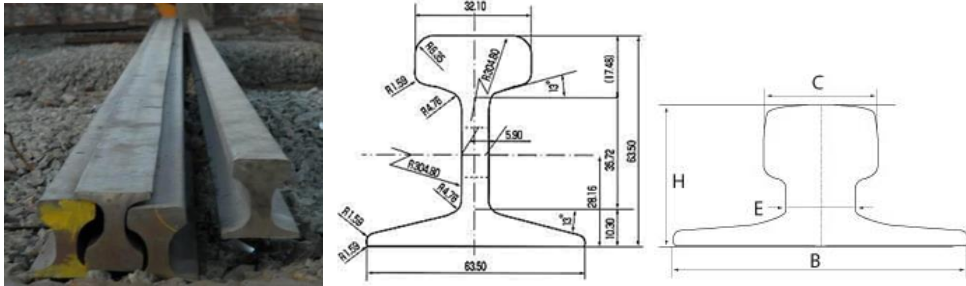


а) греда б) цевкаст профил в) канал г) аголник д) лим

Слика 7.10 Различни форми на конструктивен челик

Од челичен лим со дебелина 2-16 mm со ладно валање се произведуваат тенкосидни профили, кои се применуваат како дел од исполната на олеснети челични носиви конструкции.

Друг вид на профили од топловалан челик се шините, кои според намената можат да бидат железнички, трамвајски и крански, слика 7.11. Во зависност од намената, тие се произведуваат во различни форми и димензии.



Слика 7.11 Различни видови на шини (железнички, крански)

7.4.1.3 Челични конструкции

Челичните конструкции во градежништвото совладуваат големи распони, премостуваат реки, овозможуваат обликување на различни форми, дозволуваат модификации, овозможуваат монтажа на конструкцијата за кратки рокови и можат да се рециклираат. Фотографиите прикажани на слика 7.12 се само дел од многустраната примена на челичните конструкции насекаде околу нас.



Слика 7.12 Челични конструкции во градежништвото

7.5 Обоени метали

Во зависност од физичко-механичките својства и распространетоста во природата, обоените метали може да бидат:

- лесни обоени метали (со волуменска маса до 4500 kg/m^3) – алуминиум (Al), магнезиум (Mg) и др.,
- тешки обоени метали (со волуменска маса над 4500 kg/m^3) – олово (Pb), бакар (Cu), цинк (Zn), никел (Ni) и др.,
- благородни метали – злато (Au), сребро (Ag),
- ретки метали – малку распространети во природата.

Обоените метали се произведуваат во помали количини во споредба со црните метали заради нивната помала распространетост и посложеното добивање. Тие образуваат многубројни легури со многу добри физичко-механички и антикорозивни својства, кои ја определуваат нивната примена во градежништвото.

7.5.1 Алуминиум

Алуминиумот се добива воглавно од рудата боксит. Тој е сребрено-бел метал со мала волуменска маса (2700 kg/m^3). Има јакост на затегнување од 80 – 140 МПа, се карактеризира со зголемена истрајност во воздушна средина заради образувањето на заштитен слој од Al_2O_3 . Тој е многу добар спроводник на топлина и електрична струја, лесно се кове, вала и пресува. Во градежништвото тој наоѓа употреба за правење на фолија, која може да служи како основа за армирање, или како горен слој на хидроизолациони материјали. Основна употреба во градежништвото наоѓаат алуминиумските легури, кои имаат подобрени механички својства.

7.5.2 Бакар

Бакарот е еден од првите метали што ги користел човекот. Содржината на овој метал во земјината кора е незначителна (0.01%). Бакарот има карактеристична светлоцрвена боја, волуменска маса од 8920 kg/m^3 , температура на топење $1083 \text{ }^\circ\text{C}$, јакост на затегнување околу 100 МПа. Бакарот е многу пластичен, со голема електроспроводливост. При влажен воздух, бакарната површина оксидира и се покрива со зелен слој (патица), која ја заштитува површината од понатамошна корозија. Лесно се вала, пресува и влече во топла или ладна состојба. Бакарот е многу ценет, но дефицитарен материјал. Во градежништвото се употребува бакарен лим со дебелина од 0.5 до 1 mm, за покривање на значајни општествени згради и архитектонски споменици, за пополнување на деформациони фуги во мостовски конструкции, хидротехнички објекти и сл.

7.5.3 Олово

Оловото се добива од галенит (PbS) и церузит ($PbCO_3$). Во земјината кора има богати наоѓалишта од овие руди. Оловото е мек, пластичен, сивкастобел метал со волуменска маса од 11400 kg/m^3 , температура на топење $327 \text{ }^\circ\text{C}$. Тврдоста му е многу мала – оловните површини можат да се гребат и со нокт. Има мала јакост на затегнување, околу 20-30 МПа. Оловото е отпорно на дејство на киселини (освен азотната), така што на површината му се оформува оксидирачки слој од тешкорастворливи соли, кој ја запира понатамошната корозија. Во градежништвото оловото се употребува за изработка на специјални цевки со различни дијаметри за водоводна и канализациона мрежа, за обликување на електролитни кади, за долготрајни хидроизолации и изолации од воздушен звук. Оловните листови се произведуваат со дебелина од 1 до 4 mm, и димензии 200/600 и 1000/2000 mm. Многу често се користи како материјал за објекти за заштита од радиоактивни дејства.

7.6 Заштита на металите од корозија

Разрушувањето на металите или промената на нивните физичко-механички својства како резултат од хемиски или електрохемиски влијанија на гасови, течности или електролити се нарекува корозија. Корозијата започнува од површината, постепено се распространува во подлабоките слоеви, и ги изменува физичко-механичките својства на металите.

7.6.1 Видови корозија

Според карактерот на оштетувањето на металите, корозијата може да биде рамномерна – кога ја опфаќа целата површина, нерамномерна – кога опфаќа само определени делови, и меѓукристална – кога се распространува помеѓу кристалите на металот.



Слика 7.13 Корозија на металите

Во зависност од средината низ која се одвива, корозијата се дели на три групи: хемиска, електрохемиска и електрична корозија.

- *Хемиска корозија* – се добива како резултат од хемиското влијание на надворешната средина. При тој вид на корозија, металите реагираат со кислородот, водата, киселините, растворите на соли, и др., така што на површината на металот се образуваат хидратизирани метални оксиди (‘рѓа). Кај некои метали овие оксиди ја заштитуваат површината од понатамошно оксидирање.
- *Електрохемиска корозија* – се појавува во присуство на електролити. Најактивни се солната и сулфурната киселина, водородните и сулфурните гасови, азотните и амониумовите соли и сулфати. Под дејство на електролитот се јавува галвански тек и металните јони преминуваат во растворот.
- *Електрична корозија* – се јавува од електрични струи, (покрај трамвајски линии или електрични возови). Како резултат на различните соли во почвата (хлориди, карбонати, сулфати и сл.) од електрична струја кородираат метални и армиранобетонски објекти, водоводни и канализациони системи и сл.

7.6.2 Заштита од корозија

За заштита на металите и металните конструкции од корозија се применуваат различни средства и методи: нанесување на метални и цементни слоеви, хемиска заштита, електрохемиска заштита и легирање.

1. **Металните заштитни слоеви** служат за заштита на површината преку покривање со други метали, како бакар, цинк, олово, никел, хром и др. Покривките се нанесуваат како растопен метал во топла состојба, со пулверизација, дифузионо и сл. Во зависност од видот на покривниот слој, разликуваме поцинкување, калаисување и сл.
 - *Електролитската (галванска) заштита* се добива со нанесување врз површината на металот на честички од заштитниот метал преку електролит, во кој протекува електрична струја. Со таков вид на заштита се никелираните, хромираните и побакарените елементи.
 - *Дифузионата метализација* претставува термохемиска обработка на металот при висока температура и активна средина. На тој начин се добиваат површини што се потврди и поиздржливи на корозија. Такви обработки се хромирањето, азотирањето, цементацијата и сл.
2. **Неметални заштитни слоеви** се добиваат со нанесување на маслени бои, лакови, емајли, полимери и сл. преку површината на металниот елемент.
 - Маслените бои се нанесуваат врз површините на металите со пиштоли, четки и др. Боите се сушат во природни услови или во сушални.

- Асфалтните слоеви се добиваат вообичаено од нафтен битумен со додатоци.
 - Лаковите се нанесуваат по површината на конструкции, кои работат во воздушна средина. Најчесто се искористуваат епоксидни, перхлорвинилни и други специјални лакови.
 - Полимерните заштити се нанесуваат во течна состојба со прскање. На крајот се поставува полиетиленска, поливинилхлоридна или друга фолија врз површината на челичниот елемент.
- 3. Легирање.** При легирањето во составот на металот се вклучуваат додатоци од хром, никел, бакар, манган и др., кои ја прават легурата отпорна на корозија. Со легирање може да се добијат различни видови на не'рѓосувачки, огноотпорни и отпорни на киселина челици.

8 Дрво

Дрвото како градежен материјал е применувано од најстари времиња. Покрај каменот, долга низа на години тоа било основен материјал за градење, од проста причина што со него е можно да се направат едноставни градби со многу малку алат, па дури и без него. Дрвото отсекогаш било исклучително ценет материјал. Нуди големи можности за примена, но истовремено, бара вештина на препознавање на особините, соодветна подготовка, стручна обработка и заштита. Заради тоа, луѓето, кога почнале да се занимаваат со градење, прво го употребиле дрвото за правење на едноставни колиби или конструкции на шатори. Со развојот на човековото општество и унапредување на алатките, дрвото почнало да се користи за посложени конструкции, а и денес е незаменлив градежен материјал.

Последните децении, и покрај прогресот на челикот и бетонот во современото градежништво, дрвените конструкции имаат свое место ако не како основен, тогаш како неминовен, придружен, помошен материјал за градење (скелиња, оплати и сл.). Денес дрвото добива и има сè поголема примена во изградбата на модерни – постојани објекти, особено во архитектонските градби. Оваа ренесанса и продорот на дрвените конструкции, иако попречена со многу неповолности, е резултат на познавањето на дрвото како материјал и примената на лепените дрвени конструкции и на квалитетни врзивни средства.

Предностите на дрвото го поставуваат како материјал за градење во рамноправни односи со другите материјали што се користат во градежништвото:

- мала волуменска маса на дрвото (дрвото е околу 13 пати полесно од челикот и околу 4 пати полесно од бетонот),
- релативно голема јакост паралелно со влакната,
- лесна обработка независна од временските услови,
- големи можности за обликување на напречниот пресек и изгледот на конструктивните елементи,
- мала осетливост на температурни промени,
- можност за монтажа и дислоцирање на конструкциите,
- добар топлински изолатор и добра акустика,
- природна убавина.

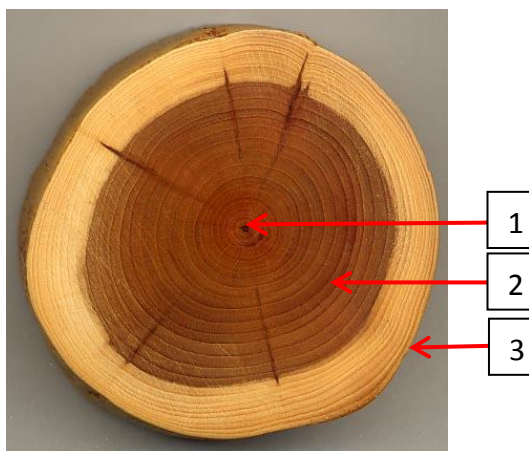
Секако дека дрвото има и свои недостатоци. Тие се манифестираат во:

- квалитет условен од биолошки фактори (раст на дрвото),
- можни грешки во дрвото,
- нееднаква тврдост, еластичност и јакост дури и при еден ист вид дрво,
- хигроскопност,

- гниење, подложност на влијание на габи и инсекти,
- зависност на механичките особини од процентот на влажност,
- запаливоста на дрвото и
- работата на дрвото во воздушни услови – собирање и бабрење.

8.1 Градба на дрвото

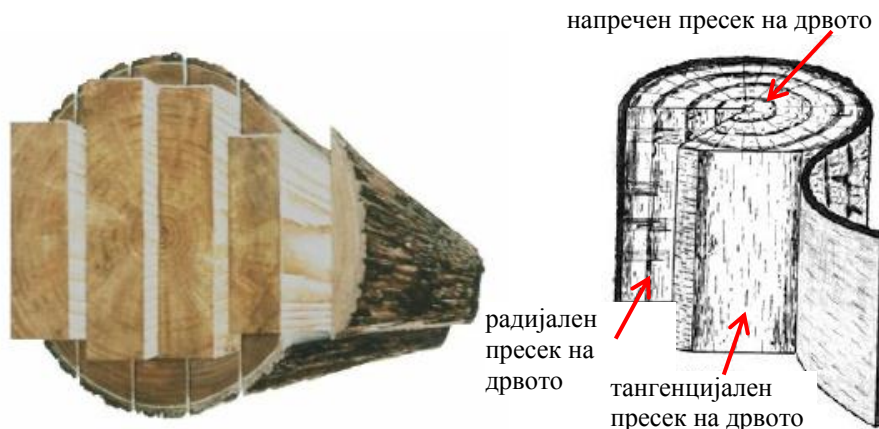
Дрвото се состои од 40-50% целулоза, 20-30% лигнин, 15-30% хемицелулоза, 1-3% смоли и др. Хемискиот состав на дрвото е следниот: 49,5% јаглерод, 44,08% кислород, 0,12% азот и 6,3% водород. Дрвото содржи и минерални состојки, кои после горење образуваат пепел. Тие сочинуваат околу 1-1,5% од масата на дрвото. Во стеблото, како главен дел од дрвото, се концентрирани 50-90% од дрвениот материјал. На напречен пресек низ стеблото се гледаат светли и темни годишни слоеви – години. Средниот дел од стеблото со потемна боја се нарекува јадро. Во центарот на јадрото се наоѓа срцевина или срж, со дијаметар од 1 до 10 mm, која е најслабиот дел од дрвото, кој најбрзо може да загније. Посветлиот дел надвор од јадрото се нарекува дрвена маса, а надворешниот слој – кората го штити дрвото од надворешните механички и атмосферски влијанија, слика 8.1.



Слика 8.1 Градба на дрвото: 1) срж, 2) дрвена маса, 3) кора

За да се добие јасна слика за структурата на стеблото на дрвото, се прават пресеци кои се меѓусебно нормални, види слика 8.2:

- радијален пресек – изведен по оската и еден од дијаметрите на стеблото,
- напречен пресек – нормален на оската на стеблото,
- тангенцијален пресек – пресек изведен паралелно со оската на стеблото.



Слика 8.2 Основни пресеци на стебло од дрво

8.2 Дрвото како градежен материјал

Дрвото може да се користи делумно или потполно обработено. Делумно обработеното дрво е погодно само за привремени градби, бидејќи во дрвените конструктивни делови лесно можат да се населат разни штетници. Обработеното дрво во облик на греди, талпи, штици, столбови или заоблени елементи се користи за изработка на трајни конструкции. Во градежништвото дрвото може да се користи за делови на згради: темели (кај дрвени колови), сидови (кај дрвени куќи), столбови, греди, прозорци, врати, покривни конструкции, скелиња, оплати и др. При обработка на дрвото се добива големо количество на отпаден материјал – струготини, кои се употребуваат за производство на плочи од дрвени влакна. Тие производи претставуваат добра замена за дрвото.

Покрај изразената функционалност, и естетската страна на дрвото е корисна и прифатлива. Чувството на задоволство со кое зрачат дрвените конструкции во секој случај се рефлектира на целиот објект.

8.3 Физичко-механички својства на дрвото

8.3.1 Физички својства

Физичките својства на дрвото се влажноста, бојата, текстурата, собирањето, бабрењето, волуменската маса, топлоспроводливоста, звукоспроводливоста, хигроскопноста, електроспроводливоста.

Влажноста покажува најголемо влијание врз својствата на дрвото. Водата содржана во дрвото може да биде: капиларна (слободна), хигроскопна, и хемиски сврзана. Капиларната вода ги пополнува порите на клетките и меѓуклеточниот простор. Хигроскопната вода се наоѓа во

сидовите на клетките, а хемиски сврзаната вода влегува во хемискиот состав на супстанциите од кои е составено дрвото.

Според степенот на влажност дрвото се дели на водено – со влажност над 100% (капиларна, хигроскопна и хемиски сврзана вода), сурово – со влажност од 50 – 100 % (исто така од трите вида вода), воздушно суво – со влажност од 15 до 30% (хигроскопна и хемиски сврзана вода) и собно суво – со влажност од 8 до 12% (хигроскопна и хемиски сврзана вода).

Нормалната стандардна влажност на дрвото е 12%.

Собирањето претставува намалување на линиските димензии и на волуменот на дрвото при исушување и како резултат на испарување на хигроскопната влага.

Бабрењето се јавува кога дрвните клетки го зголемуваат својот волумен заради зголемување на количеството вода во нив. Бабрењето е обратен процес од собирањето. Тој настапува со хигроскопно овлажнување на дрвото, после кое сидовите на капиларите се здебелуваат.

Поради нееднородната градба на дрвото, собирањето и бабрењето се различни во различните правци. Линиското собирање во надолжен правец (паралелно со влакната) е од 0,1 до 0,3%, во радијален правец е од 3 до 6 %, а во тангенцијален од 7 до 12%. Бабрењето на дрвото по должина на влакната е од 0,1 до 0,8%, во радијален правец од 3 до 5% и во тангенцијален од 6 до 12%.

Волуменска и специфична маса. Дрвените влакна се распоредени погусто или поретко во стеблото. Празните простори се пополнети со воздух или вода, заради што волуменската маса на дрвото варира во широки граници.

Специфичната маса е масата на дрвените влакна без порите и празнините на единица волумен. Нејзината вредност е околу 1550 kg/m³.

Волуменската маса на дрвото зависи од количеството на пори во неговата структура, од местото на растење, возраста и др. Волуменската маса се определува при влажност од 12% и се движи во границите од 400 до 900 kg/m³, табела 8.1.

Табела 8.1:

видови дрво		волуменска маса [kg/m ³]
Тешки	бела акација, даб, круша, црна бреза	710 – 800
средно тешки	бреза, бука, габер, брест, цреша, јасен	610 – 700
средно лесни	костен, липа	510 – 600
лесни	смрека, кедар, јасика, бор, ела, топола	400 – 500
многу лесни	вејмутов бор, плута	помалку од 400

Топлоспроводноста на дрвото зависи од волуменската маса и неговата влажност. Коэффициентот на топлоспроводноста варира од 0,18 до 0,45 W/m°C.

Електроспроводноста. Сувото дрво е лош спроводник на електрицитет. Затоа тоа се користи како изолационен материјал, на пример од него се произведуваат рачки на електрични инструменти.

Бојата и текстурата на дрвото имаат важност при неговата преработка во различни видови на мебел.

8.3.2 Механички својства

Во механички својства на дрвото спаѓаат тврдоста, цепливоста, јакоста и еластичноста.

Тврдост. Таа се определува од отпорот што дрвото го покажува при навлегување на друг потврд материјал во неговата површина. Тврдоста може да биде напречна, бочна итн. Според тврдоста, дрвото се дели на:

- меко – иглолисните дрва, липа, топола,
- тврдо – даб, бука, брест, орев, јасен,
- многу тврдо – акација, габер, круша.

Сувото дрво има поголема тврдост од влажното, а летното поголема тврдост од пролетното. Мекото дрво е со помала носивост, но е полесно за обработка и превоз отколку тврдото дрво, па заради тоа и почесто се користи.

За испитување на тврдоста на дрвото се користат две основни методи: тврдост по Бринел и тврдост по Јанка. При испитување на европските видови најмногу се применува Бринеловиот начин на испитување, додека во останатите делови од светот првенствено се користи Јанка, табела 8.2. Кај полесните видови дрво поверодостојно е мерењето на тврдоста според Бринел, додека за потешките видови поверодостоен е начинот Јанка.

Цепливост. Се определува од спротивставувањето што дрвото го покажува на клиновиден предмет, кој навлегува во неговата внатрешност со удар. Таа е најголема во насока на лаците на срцевината, послаба е во тангенцијален правец, а најслаба во правец нормален на влакната.

Јакост. Јакоста на дрвото зависи од многу фактори – возраст, структура, вид, влажност, правец на дејство на силата во однос на влакната и сл.

Дрвото се испитува на следните видови јакости: на притисок, на затегнување, на смолкнување и на свиткување. Јакостите на притисок, на затегнување и свиткување се определуваат во два правца – во правец на дрвените влакна и нормално на дрвените влакна.

Јакоста на притисок на дрвото паралелно на влакната зависи од волуменската маса и влажноста. Таа достигнува до 75 МПа. Јакоста на притисок нормално на влакната е од 5 до 12 пати помала како за иглолисните, така и за листопадните дрва. Јакоста на затегнување достигнува 180 – 190

МРа, а нормално на влакната 10 МРа. Јакоста на свиткување зависи од градбата на дрвото и варира во границите од 50 до 100 МРа. Јакоста на смолкнување паралелно на влакната е од 6.5 до 14.5 МРа.

Табела 8.2:

вид дрво	меко	средно	тврдо	тврдост по Јанка
јатоба				2350
махагони				1980
мербау				1925
дузи (doussie)				1810
венге				1630
багрем				1600
јавор САД				1450
даб				1360
бука				1350
јасен				1320
црвен даб				1290
ироко				1260
јавор ЕУ				1238
орев				1010
цреша				950
бреза				910

8.4 Производи од дрво

Стремежот кон рационална потрошувачка на дрвото доведе до неколку различни степени на обработка на дрвото:

- обична дрвена граѓа (традиционален облик на експлоатација на дрвото) – производот ги покажува сите својства на природно дрво;
- материјали на база на дрво добиени со примена на различни индустриски постапки кои обезбедуваат рационална потрошувачка на дрвената граѓа – фурнири, шперплочи, панел плочи;
- синтетички, сложени материјали добиени со т.н. длабока преработка на дрвото, постапките се сведуваат на добивање на различни облици на целулоза кои понатаму се преработуваат.

8.4.1 Дрвена граѓа

Дрвената граѓа се добива со механичка обработка на дрвото – режење, сечење, дупчење, цепење итн. Може да се подели според:

- должината на граѓата
 - кратка (до 4m),
 - долга (над 4m),
- начинот и постапката на обработка:
 - обла,
 - режена,
 - цепена (шиндра),
 - посебна група сочинуваат профилирани елементи од дрво – бродски под, паркетни штици, ламперија, ламинат итн.

Режена граѓа. Се дели според дебелината и односот на страните на напречниот пресек:

- листови – танки штици од 9 до 13 mm,
- штици – со димензии од 14 до 40 mm,
- талпи – преку 40 mm,
- правоаголни:
 - летви – максимум 33/48 mm,
 - гредички – поголемата димензија максимум 10 cm,
 - греди – помалата димензија поголема од 10 cm.

Производи со неизменета структура на дрвото.



Слика 8.3 Производи со неизменета структура на дрвото

Производи со изменета структура на дрвото. За овие производи од дрво може да се користат и различни отпадни дрвени материјали. Принципот на составување е иситнат дрвен материјал плус некакво врзивно средство или лепак.

а) лесни бетони на база на органски агрегати
(хераклит, блиндит, таролит)



б) плочи–иверици



в) плочи од дрвени влакна – лесонит



г) медијанан плочи



Слика 8.4 Производи со изменета структура на дрвото

Градежна галантерија. Во оваа група се вбројуваат елементи од дрво со мали напречни пресеци кои се добиваат со сечење, рендирање и фрезување (глодање) на дрвената граѓа.

- Бродски под се добива со рендирање и фрезување (за да се добие продолжување и состав перо – жлеб) на штици од бор или елка. Дебелината е 16 – 26 mm, ширината 6 – 16 mm.
- Паркетот се добива од тврдо дрво (даб, багрем, бука):
 - обичен паркет: штичиња со должина 190 – 550 mm, ширина 26 – 105 mm и дебелина 18 – 22,5 mm, чија горна страна е рендирана, а бочните и челните страни им се на перо и жлеб.
 - мозаик паркет: плочи - ламели со должина 100 – 125 mm, ширина 20 – 25 mm, дебелина 6 – 9 mm, кои се сложуваат во полиња, а тие во поголеми елементи, т.н. мозаик плочи.
- Ламинатните подови се повеќеслојни синтетички подни производи, добиени со спојување при процес на ламинација. Ламинатниот под симулира дрво (понекогаш и камен) со фотографски аплициран слој под прозирниот површински слој. Внатрешното јадро вообичаено е

составено од меламинска смола и плочи од дрвени влакна. Подовите од ламинат се многу популарни, заради нивното лесно поставување и одржување. Други предности се и тоа што се поевтини во однос на традиционалните подови од тешко дрво, а бараат и помалку вештина за вградување. Овие подови се релативно трајни, хигиенски и лесни за одржување.



Слика 8.5 Градежна галантерија

8.5 Поделба на конструктивните системи од дрво

Сите дрвени згради можат да се поделат според својот конструктивен склоп и обликот на дрвената граѓа на:

- масивни – надолжните и напречните сидови се од полна дрвена граѓа и целиот товар од покривот и меѓукатната конструкција го пренесуваат по целата своја должина рамномерно на темелите;
- бондручни – наместо масивниот дрвен сид, сидовите на бондрук се поекономично решение, составени од два различни дела, различни по димензии и материјал: конструктивен дел, кој ги прима сите вертикални и хоризонтални оптоварувања и исполна која има функција само на преградување;
- скелетни – конструктивниот систем го сочинуваат ребра од меѓукатната конструкција, греди – подвлаки, столбови, конструктивни елементи за прием на хоризонтални сили;
- панелни – спаѓаат во категоријата на префабрикувани објекти кај кои поголемиот дел од работите, изработката на префабрикувани панели, е завршена во фабричките погони, така што времето за извршување на работи на лице место е сведено на минимум;
- просторни – спаѓаат во категоријата на тотално префабрикувани објекти. Основниот просторен елемент е составен од повеќе вертикални и хоризонтални панели во погон, а во комбинација со неколку исти или слични елементи се формира цел објект. Кај овие објекти најголем проблем е транспортот.



Слика 8.6 Покривни конструкције од дрво



Слика 8.7 Конструкције на куќи и фасади од дрво

9 Керамички материјали

Керамичките материјали се комплексни хемиски соединенија кои содржат метали и неоргански елементи. Границата помеѓу металите и керамиката најлесно може да се дефинира со помош на температурниот коефициент на електричен отпор. За керамички материјали овој коефициент има негативен предзнак, додека за металите има позитивен предзнак. Керамичките материјали имаат разновидни механички и физички својства. Заради своите јонски и ковалентни врски, керамиката е обично тврда, крута, има висока точка на топење, ниска електрична спроводливост, добра хемиска и топлинска стабилност, како и висока јакост на притисок.

Примената на керамиката варира од керамички плочки, грнчарски производи, тули и блокови, одводни цевки, садови, огноотпорни материјали, електрични уреди, влакна до абразивни материјали.

9.1 Поим и историјат на керамиката

Поимот „керамика“ потекнува од зборот *keramikos*, што значи глина и порано ги означувал глинените производи. Тоа е општ термин за производи изработени од глина и керпич, обликувани производи, кои се сушат и се печат во специјални печки. Денес под керамика се подразбира цела научна област и вештина на изработка (технологијата на производство) на цврсти производи добиени од неоргански неметални материјали, вклучувајќи го тука и графитот.

Развојот на класичната керамика датира од најраните денови на човечката цивилизација. Уште пред 6000 години Египќаните печеле тули од глина за изработка на своите градби. Античките вазни на старите Грци и Етрурци покажале совршенство во изработка на уметничката керамика. Во петнаесеттиот век почнува развој на таканаречените мајолика и фајанс, како видови на уметничка керамика. Современата керамика датира од Втората светска војна. Развиена е во Јапонија, САД, Германија, Холандија, Франција и Чешка.

Денес се разликуваат следните видови керамика:

- теракота - керамика од печена и неглазирана глина со црвена боја, од која се изработуваат водоводни цевки, кровни покривки и друго;
- фајанс („полупорцелан“) - од фина глина која се пече при пониски температури во печки и има непрозрачна бела глазура која е погодна за сликање, а името го добил по градот Фаенце кој се наоѓа во Италија.
- мајолика - полупорцелан од фина глина;
- порцелани - најквалитетни керамички производи со бела боја, сјај и стаклест изглед.



Слика 9.1 Згради од тула во Ајутаја (Тајланд) и Барселона (Шпанија)

9.2 Производство на керамика

За производство на класична керамика се користат следните природни материјали, слика 9.2:

- глина,
- фелдспат,
- кварцен песок.



Слика 9.2 Состојки за керамика: глина, фелдспат и кварцен песок

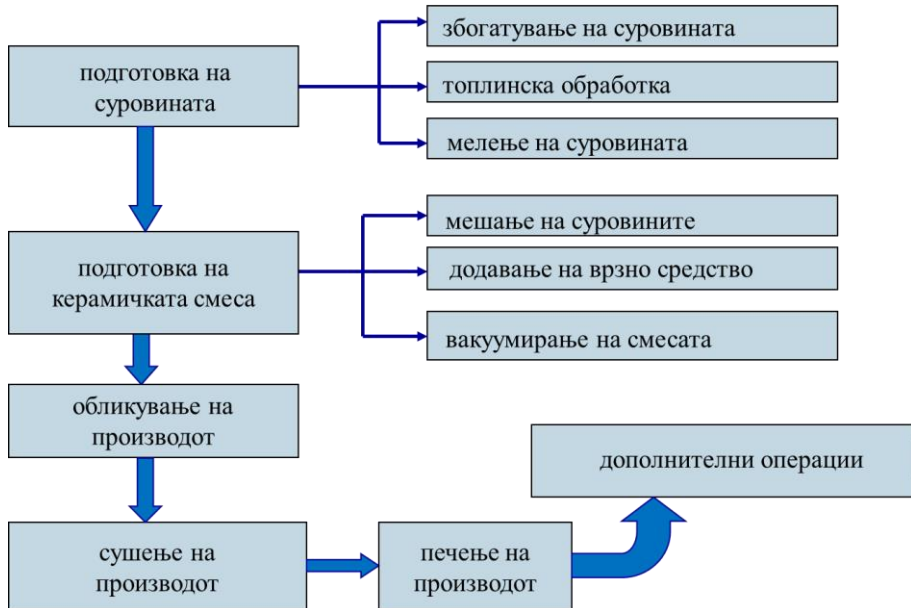
Глината е седиментна карпа која се состои од смеса на повеќе глинени материјали, како:

- каолин ($\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$),
- монтморионит (хидрогенизиран силикат Al и Mg),
- илит (хидрогенизиран силикат K, Al и Mg).

Фелдспатите се алумосиликати, од кои најзначајни се:

- албит ($\text{Na}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2$),
- анортит ($\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2$),
- ортоклас ($\text{K}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2$).

Со распаѓањето на фелдспатите во природата настанува каолин.



Слика 9.3 Шема на добивање на керамика

Според шемата на добивање на керамика, слика 9.3, постојат неколку важни чекори во текот на производството. Тие подразбираат подготовка на суровината со нејзино збогатување, топлинска обработка и мелење на суровината, подготовка на керамичката смеса со мешање на суровината, додавање на врзивно средство и вакуумирање на смесата. Потоа производите се обликуваат, сушат и печат. Испечените производи се изложуваат на дополнителни операции.

Цел на **подготовката на компонентите** на керамичката маса е да им се обезбедат соодветен хемиско – минералоски состав, потребен степен на чистота, соодветна големина на честичките и потребна влажност неопходна за понатамошна обработка. Подготовката опфаќа и процес на збогатување (облагородување) на минералните суровини. Збогатувањето опфаќа: плакнење со вода, сепарација со сита, хемиско пречистување, ситнење и сушење. Кај производството на современа техничка керамика се врши и топлинска обработка со високи температури, заради настанувањето на нови соединенија, како што се на пример титанати, цирконати, итн.

Во зависност од улогата што ја имаат определени суровини во процесот на производство на класична керамика, тие се делат во три основни групи:

- пластични компоненти - овозможуваат обликување (глини и глинени минерали),
- „испустувачи” - го намалуваат смалувањето на керамичката маса при сушење и печење (кварц, песок, шамот и сл.),

- топители - имаат улога да ја снижат температурата на печење (фелдспати).

Мешањето на суровините треба да овозможи добивање на хомогена маса. Под керамичка маса се подразбира хомогена смеса на сите суровини за изработка на поединечните предмети. Компонентите после дозирањето во одредена маса и волумен се мешаат во специјални мешалки за таа намена, во сува и влажна состојба. После влажното мешање, масата се филтрира низ рамски филтри.

Обликувањето има за задача на керамичкиот производ да му даде потребен облик. Може да се направи на три начини:

- со пресување: за прашкаските маси (со 3 – 10% вода) со примена на висок притисок (10 -100 МПа);
- со обликување на пластичните маси (со 20 - 25 % вода):
 - со рачна обработка на ротационен валјак или маса, или
 - истискување (екструзија) низ отвор со определен облик;
- со лиење на суспензијата (со 35 – 50 % вода).

Операцијата **сушење** се одвива во канални сушилници низ кои поминуваат бесконечни подвижни ленти или вагонетки со производите за сушење, спротивно од правецот на врелиот воздух во сушарите. Задачата на сушењето е да ја снижи содржината на влагата во керамичката маса на ниво кое нема да го ремети процесот на печење, како и за да ја задржи зададената форма. Во современите фабрики сушењето се врши со воздух со соодветна количина на водена пара. Највлажните предмети се сушат со 30 – 40 °С, на влезот во сушилницата. Во средниот дел на сушилницата, содржината на влагата се намалува, а температурата се зголемува на 80 °С. Пред излегувањето од сушилницата предметите постепено се ладат.

Со **печењето** се добива финален керамички производ. Во текот на печењето доаѓа до низа физичко- хемиски промени во производите. После печењето производите зацврстуваат, им се намалуваат димензиите и им се зголемува густината. Зацврстувањето и згуснувањето се последица на процесот на „**синтерување**” - процес со кој компактната прашина со текот на загревањето се претвора во јака керамика со голема густина. Степенот на синтерување зависи од режимот на печење (температура, време, атмосфера во печката). Од хемиските промени кои се случуваат за време на печењето на глината најважни се:

- дехидратација:
на околу 500 °С $Al_2O_3 \times 2SiO_2 \times 2H_2O$ $Al_2O_3 \times 2SiO_2 + 2H_2O$
- декомпозиција:
на околу 700 °С $Al_2O_3 \times 2SiO_2$ $Al_2O_3 + 2SiO_2$
- создавање на нови соединенија:
на околу 900 °С $Al_2O_3 + 2SiO_2$ $Al_2O_3 \times SiO_2 + SiO_2$ и
на околу 1100 °С $3(Al_2O_3 \times SiO_2)$ $3Al_2O_3 \times 2SiO_2 + SiO_2$.

Правецот на движење на керамичкиот материјал кој се пече рамномерно распореден по вагонетки, треба да биде спротивен на правецот на гасовите на согорувањето.

Дополнителни операции во процесот на производство на керамика. Операциите и процесите после печењето се специфични за одредени производи од керамика, во зависност од нивниот облик, намена и димензии.

Од сите дополнителни операции најмногу се применува *глазирањето*, со цел постигнување на естетски и определени физички и хемиски карактеристики на производот. Се изведува на повеќе начини:

- со прскање,
- со потопување во глазура,
- со поминување на предметите низ водена завеса од суспензија направена од глазурата.

Основна класификација на керамичките производи се прави врз база на степенот на синтерување на:

- синтерувани производи - порцелан, материјал за керамички плочки, материјал за санитариија;
- несинтерувани производи - фајанс, мајолика, грнчарија и градежна керамика – тули, ќерамиди и сл.

9.3 Својства на керамичките производи

Порозност. Со додавање на пенообразувачки супстанции во керамичката маса, се зголемува нејзината порозност. Обично таа варира во границите од 10 до 15%.

Впивање вода. Се определува на 5 примероци исушени на температура 105-110°C до постојана маса, кои се мерат откако ќе се изладат на собна температура. После тоа тие се варат во вода што врие во континуитет 5 часа и се оставаат да се изладат во истата вода во следните 16-18 часа, по што повторно се премеруваат. Порозните керамички материјали имаат впивање вода до 20% по маса, а полните најмалку 10%.

Топлоспроводноост. Вештачки создадените празнини во керамичките производи ја намалуваат нивната волуменска маса, а исто така и нивната топлоспроводноост. За полните керамички производи коефициентот на топлинска спроводноост, $\lambda = 1,16 \text{ W/mK}$.

Јакост. Јакоста зависи од состојбата на керамичкиот материјал и од порозноста. Граничната јакост на притисок во МПа ја определува марката на керамичкиот производ (тула и др.).

Отпорност на мраз. Се определува така што производот се поставува во вода со температура $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, каде што отстојува до постојана маса. Водозаситените примероци се изложуваат на 15 циклуси на замрзнување и одмрзнување, на температура од -15 до +20 °C.

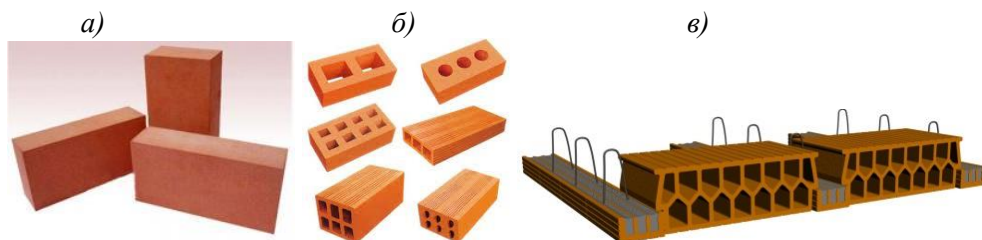
Пароспроводливост. Таа зависи од порозноста на производите и од карактерот на порите.

9.4 Градежна керамика

Градежната керамика спаѓа во најмасовните производи на керамичката индустрија. Се произведува од полошите видови на глина со додаток на песок. Таа опфаќа голем број на производи како што се: тули, ќерамиди, градежни блокови, дренажни цевки, градежна теракота, сидни, подни и мозаик керамички плочки, клинкер тули и друго.

Градежната керамика може да се подели на две групи: *груба* и *фина*. **Грубата градежна керамика** понатаму се дели на:

- градежна керамика за изработка на сидови:
 - полни тули (6.5 x 12 x 25 cm),
 - шупливи тули и блокови,
 - радијални тули,
 - фасадни тули и блокови,
- блокови за меѓукатни конструкции,
- покривна градежна керамика (ќерамиди),
 - влечени глинени ќерамиди,
 - пресувани глинени ќерамиди.



Слика 9.4 Груба градежна керамика: а) полни тули, б) шупливи тули, в) блокови за меѓукатни конструкции



Слика 9.5 Покривна градежна керамика - ќерамиди

Фината градежна керамика, пак, се дели на:

- керамички плочки:
 - за внатрешно обложување на сидови,
 - за надворешно обложување на сидови,
 - за внатрешно обложување на подови,
 - за надворешно обложување на подови,
 - киселоотпорни плочки (за сидови и подови изложени на хемиски агресивни супстанции),
- специјални плочки и придружни елементи при примена на плочки (закривени плочки, аголни елементи, завршни елементи),
- канализациони и дренажни цевки и фасонски делови,
- санитарно-технички производи (лавабоа, WC шолји, писоари),
- останати фини керамички материјали: шамот, теракота, порозни производи (плочи и цевки за филтрирање), експандирана глина – керамзит и др.

Полни (обични) тули (слика 9.4.а). Тие имаат форма на квадар со прави рабови, еднородна структура и димензии 250/160/65 mm. Нивната волуменска маса е од 1700 до 1900 kg/m³, а коефициентот на топлинска спроводливост λ варира од 0,49 до 0,66 W/mK. Во зависност од јакоста на притисок, тулите се делат на марки: 7,5, 10, 15, 20. Тули со повисока марка можат да се употребат за надворешна сидарија, но треба да се отпорни на 15 циклуси на замрзнување и одмрзнување. Полните тули се користат за сидање на надворешни и внатрешни сидови со дебелини 12, 25, 38 или 51 cm. За 1m³ сидарија кај сидови со дебелина над 25 cm се употребуваат 385 парчиња тули, додека за 1 m² сид со дебелина 12 cm потребни се 52 парчиња.

Олеснети (шупливи) тули (слика 9.4.б). Тие се произведуваат со димензии 250/120/65 mm и 250/120/140 mm. Имаат различен број вертикални (напречни) празнини со различни дијаметри. Волуменската маса им е од 1260 до 1370 kg/m³, а празнините заземаат 20-30%.

Керамичките шупливи блокови се произведуваат во димензии 250/250/120 (140) и 300/250/120 (140). Празнините заземаат 35-50%, а волуменската маса им е од 900 до 1250 kg/m³.

10 Органски врзивни средства – битумени и катрани

Битуменските и катранските врзивни средства претставуваат сложени смеси на високомолекуларни јаглеворододи со нивни неметални производи (соединенија на јаглеворододите со азот, кислород, сулфур и сл.), кои ги менуваат своите физичко-механички својства во зависност од температурата.

Иако имаат различен производ и состав, битумените и катраните имаат заеднички карактеристики:

- хидрофобност,
- водонепропустливост,
- постојаност на дејство на киселини, бази, агресивни течности и гасови,
- стануваат пластични при загревање и брзо се стврднуваат при ладење,
- голема атхезија со камени материјали, дрво и метали.

Битуменските и катранските врзивни средства наоѓаат голема примена во градежништвото: за подготовка на асфалт-бетон, за покривни, хидроизолациони и пароизолациони материјали и производи, хидроизолациони и патни китови, битуменски емулзии, покривно-хидроизолациони пасти, и кровни покривачи (шиндра).

10.1 Битумени

Се користат од дамнешни времиња. Библијата спомнува дека Ное користел битумен за водонепропустливост на неговата Арка во 2370 год. пр. н.е. Употребата на асфалтот/битуменот за водоотпорност и како атхезивно средство датира најмалку од петтиот милениум пред нашата ера, во раната индиска заедница Мергар, каде што се користел за обложување на корпите за собирање пченка. Во стариот Среден Исток, Сумерите го користеле природниот асфалт/битумен од наоѓалиштата како малтер помеѓу тулите и камењата, за водоотпорност и сл. Грчкиот историчар Херодот потврдува дека топол асфалт/битумен бил користен како малтер во ѕидовите на Вавилон. Тунел со должина од 1 km под реката Еуфрат во Вавилон бил изграден од горени тули прекриени со асфалт/битумен како водоотпорно средство. Покрај оваа намена, битуменот се користел од старите Египќани за балсамирање на мумии, а примарниот нивен извор било Мртво Море, слика 10.1.

Во зависност од нивниот производ, битумените се делат на природни и вештачки (нафтени). Тие имаат црно-кафеава или црна боја.

Природните битумени се среќаваат многу ретко во чиста форма. Најчесто со нив се припоени некои карпи како варовници, песочници и др. Природниот битумен е образуван од нафта после многугодишно испарување на фракциите и под влијание на процесите на полимеризација и оксидација.

Се среќава во облик на морски натрупувања со различна содржина на минерални примеси. Битумените кои содржат повеќе од 20% минерални врзивни средства се нарекуваат асфалти. Карпите кои содржат 5 до 20% природен битумен се нарекуваат асфалтни. Некои карпи како варовникот, доломитот, песочникот можат да содржат до 30% природен битумен.



Слика 10.1 Природен асфалт/битумен од Мртво Море

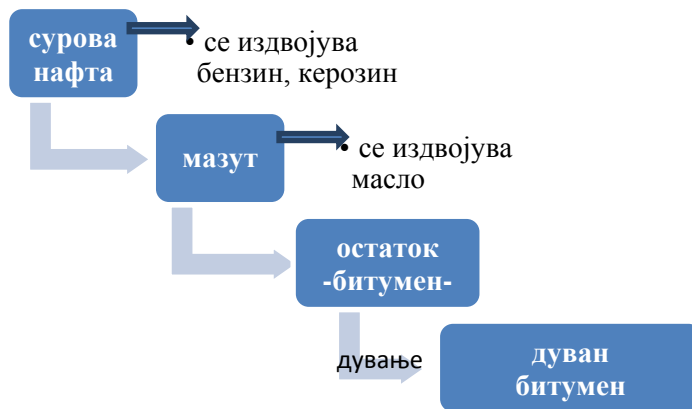
Од карпите во кои природниот битумен е не помалку од 10 – 15%, битуменот се извлекува со варење во органски раствори или со варење на иситнати карпи во вода. Кога карпите содржат помалку битумен, од нив се прави камено брашно кое се користи при производство на топло битуменско лепило, асфалтни китови и асфалт-бетон. Природните битумени се подолготрајни од вештачките. Поради својата дефицитарност и висока цена, природниот битумен се употребува во градежништвото воглавно за изработка на битуменски лакови.

Вештачкиот (нафтен) битумен е производ добиен при преработката на нафта и нејзините смолести остатоци, слика 10.2. Во зависност од технологијата на производство, битуменот се дели на остаточен, оксидиран, крекингов, екстракционен и др.

Остаточниот битумен се добива при директна дестилација на нафтата. По одделување на бензинот, керозинот и различните масла, како краен производ се добива тер од кој се произведува битумен. При нормална температура, остаточниот битумен е речиси тврд, има темнокафена до црна боја, и се употребува за импрегнирање на дрвен материјал.

Оксидираниот (дуван) битумен се добива со дување на воздух низ нафтените остатоци (мазут или тер), слика 10.2, кои оксидираат под дејство на кислородот. Тој битумен е потврд, со повисока температура на омекнување, до 100°C. Дуваниот битумен е отпорен на топлина и студ и наоѓа употреба првенствено за битуменски изолациони материјали.

Крекинговиот битумен е производ од разложување на нафта и нафтени масла при висока температура (т.н. крекинг).



Слика 10.2 Шематски приказ на добивање на битумен и дуван битумен

Екстракциониот битумен се добива како отпадок при добивањето на одделувањето на минералните примеси од маслата и маслениот гудрон.

Во составот на битуменот се издвојуваат три групи соединенија со блиски својства:

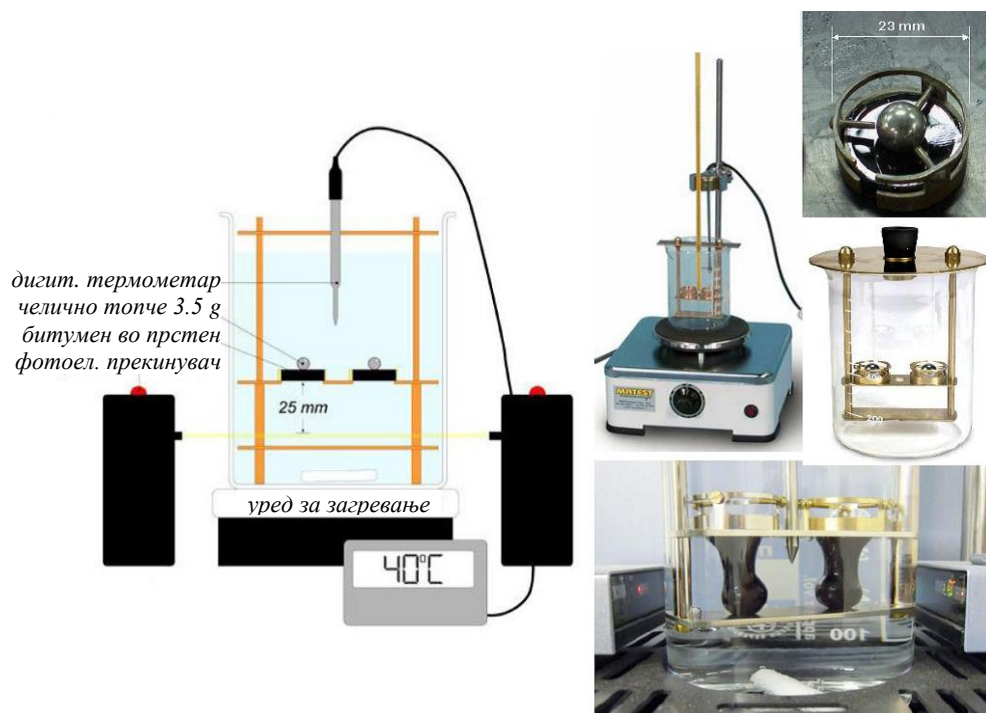
- масла – јаглеводороди, кои се течни при обична температура и имаат молекуларна маса од 100 – 500, т.е. му даваат на битуменот мекост и подвижност;
- смоли – вискозни супстанции со молекуларна маса 500 – 1000, кои му даваат на битуменот атхеизиони својства и пластичност;
- асфалтни – тврди нетопливи соединенија со молекуларна маса 1000 – 5000 и повеќе, кои им даваат на битумените тврдост и отпорност на топлина.

10.2 Својства на битумените

Кон веќе спомнатите својства на битумените може да се додаде уште и тоа дека тие се отпорни на мраз и не се раствораат во вода, имаат помала маса и топлоспроводливост. Нивни недостатоци се дека не се отпорни на топлина и пожар, се раствораат во органски растворувачи (полесно во јаглородисулфид, хлороформ, и бензол, а потешко во бензин) и др.

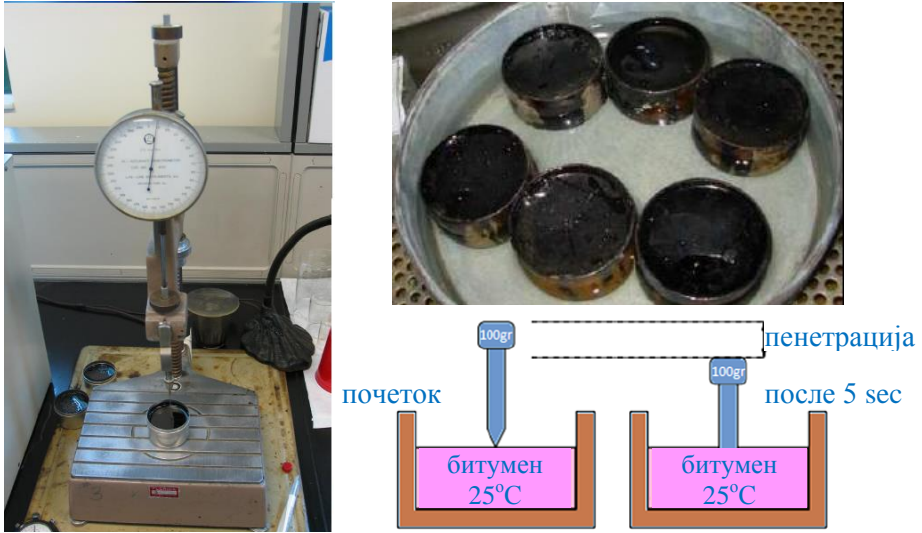
При експлоатациони услови, под дејство на сончева светлина и кислород од воздухот битумените стареат, што се огледа во зголемување на нивната тврдост и финост. Битумените имаат волуменска маса околу 1000 kg/m³. Трите основни стандардни показатели кои ги определуваат својствата на нафтените битумени и нивната поделба на марки се: температура на размекнување, пенетрација (длабочина на пенетрација) и дуктилност (растегливост). Тие се во меѓусебна зависност.

Температура на размекнување е температурата за која битуменот преминува од пластична во течна (вискозна) состојба. Се определува по методата на „прстен и топче“ (слика 10.3), позната и како ПК метода. За температура на размекнување се зема средната температура за која челичното топче навлегувајќи во прстенот наполнет со битумен, ќе ја достигне долната плоча на стативот. Овој показател е многу важен за определување на отпорноста на топлина на битуменот. Битумените кои се користат кај нас имаат температура на размекнување од 40 до 110 °C, а понекогаш и повеќе. Битумените за хидроизолациони работи треба да имаат температура на размекнување определена по методата на „прстен и топче“ од 75 до 90 °C.



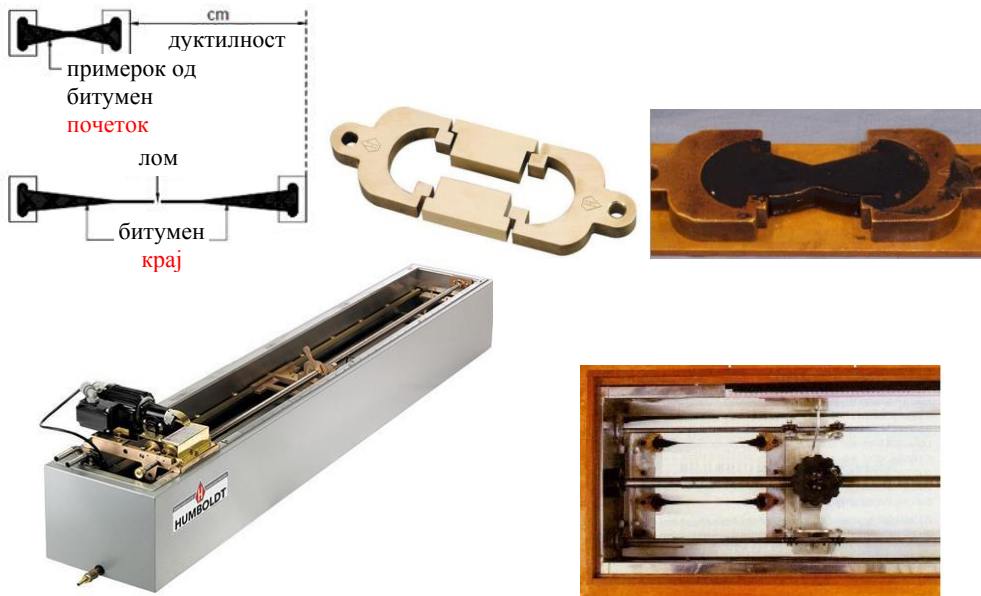
Слика 10.3 Шема и фотографија на уред „прстен и топче“

Точка на пенетрација е показател на тврдоста на битуменот и се мери во десетти дел од милиметарот. Се определува според длабочината на навлегување во битуменот на игла со стандардни димензии под дејство на стандардно оптоварување при температура на уредот и пробите од 25°C, слика 10.4. Помало продирање на иглата во битуменот значи негова поголема тврдост. Битумените за хидроизолации треба да имаат пенетрација од 0,20 mm при температура од 25°C.



Слика 10.4 Испитување на пенетрација

Дуктилност е својство на битуменот да се растегнува во тенки нишки при нормални услови (температура од 25°C). Се определува со растегнување на примерок за испитување, како на слика 10.5, со специјален уред дуктилометар. Должината на битуменската нишка во моментот на нејзиното кинење служи како показател за растегливоста на битуменот. Според дуктилноста се оценува и пластичноста на битуменот и неговата атхезиона способност.

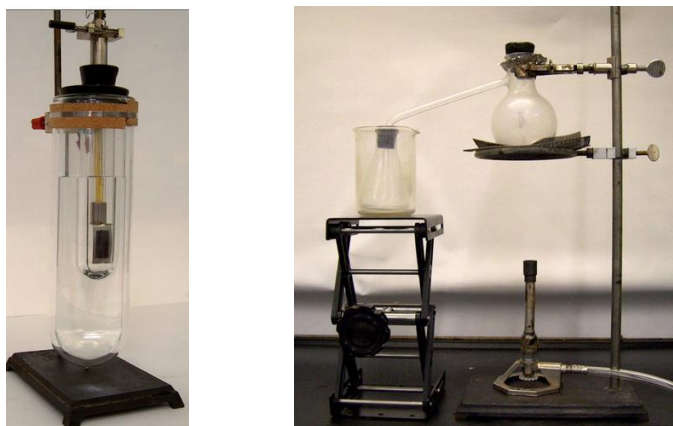


Слика 10.5 Шема и фотографии на примерок и уред за испитување на дуктилност

Разгледаните својства се во меѓусебна зависност. Тврдите битумени имаат висока температура на размекнување и мала растегливост, и обратно, битумените кои се размекнуваат при пониска температура можат многу да се растегнуваат, односно се со поголема пластичност. За целите на градежништвото треба да се избираат битумени чии својства најдобро соодветствуваат на својствата на градежните конструкции.

Точката на лом по Фраас е мерка за тврдост на битуменот на ниски температури, то ест тоа е температура изразена во °C на која распукува битуменскиот слој намачкан на метална плочка, слика 10.6а).

Содржината на парафин е пропишана на 2,5% од масата на битуменот, затоа што парафинот не е ниту леплив, ниту пластичен, па би можел да има негативно влијание на овие карактеристики на битуменот. Начинот на испитување е прикажан на слика 10.6б).



Слика 10.6 Испитувања на точка на лом по Фраас и содржина на парафин

Во зависност од физичко-механичките својства, битумените се делат на патни, хидроизолациони и специјални.

Во патното инженерство за подготовка на асфалтни постелки и коловозни конструкции се користат таканаречени вискозни битумени во неколку марки. Марката на битуменот ја претставува средната вредност на пенетрацијата.

За изработка на хидроизолации се користат т.н. пластични битумени, кои се произведуваат во три марки: БП 85/25, БП 95/20 и БП 105/15. Првата бројка претставува средна температура на размекнување, а втората – минимална пенетрација.

Специјалните битумени наоѓаат примена во индустријата за бои и лакови.

10.3 Катран

Иако често битуменот и катранот се идентификуваат, помеѓу нив постојат големи разлики:

- Начинот на добивање: катранот се добива со сува дестилација на камен јаглен, мрк јаглен, дрво и сл.
- Катраните побрзо стареат заради испарувањето на лесните масла во нивниот состав, заради оксидација и полимеризација.
- Катраните се осетливи на температурни промени, а атхезијата за агрегатот е поголема, заради што често се мешаат со битумените.
- Катранот е поотпорен на нафтени деривати.
- Катранот е темноцрна вискозна течност, со специфичен мирис, составена од мешавина на различни маслени фракции, катрански смоли, слободен јаглен и помали количества на фенол, антрацен, нафталин и други органски соединенија.

Во градежништвото се користи каменојаглениот катран, кој е со подобри градежни квалитети во споредба со другите катрани. Катранот не може да се користи во градежништвото во сурова состојба, бидејќи содржи вода и фракции. Од суровиот катран со загревање на 270°C се одделува водата, а потоа се дестилираат лесните и средните масла. Така се добива дестилиран катран, кој има слични својства како битумените.

Катранот е помалку отпорен на атмосферски влијанија од битумените. Конзистенцијата и отпорноста на атмосферски и топлински влијанија на сложените катрани се подобруваат со додавање на камено брашно од варовник или доломит како полнеж.

Катранот успешно се комбинира со битумен, битуменот со полимери, катранот со полимери итн., така што се добиваат врзивни супстанции со подобрени својства.

10.4 Јаглеводородни врзивни средства за горен строј на патишта

Јаглеводородните врзивни средства се применуваат за изработка на коловозни конструкции кај патиштата, како суровина за битуменски емулзии и разредени битумени, за производство на хидроизолациони материјали и др. За подобрување на атхезијата, често се додаваат површински активни материји – допови.

Во состав на асфалтна мешавина како основни материјали влегуваат минералниот агрегат и битуменот, кои мора да исполнат строги услови за квалитет, како и проектираната асфалтна мешавина. Основен принцип при проектирањето на асфалтната мешавина е да се одбере гранулометриски состав во збиена состојба што дава најмалку празнини, а потоа според процентот на празнини да се определи количеството на врзивно средство.

Разредените битумени се битумени чијашто вискозност е привремено снижена со додавање на извесни растворувачи, кои после вградувањето на битуменот делумно или потполно стареат. Особено се погодни за површински обработки и стабилизација на тлото со битумен. Во зависност од вискозноста, при мешање со агрегат можат да се загреваат до 90°C.

10.5 Асфалти

Под асфалти се подразбираат вештачки камени материјали добиени со зацврстување на рационално составени мешавини од:

- јаглеводородни врзивни средства (битумен или катран),
- камено брашно,
- покрупен камен агрегат (речен или дробен).

Вакви мешавини може да се најдат во природа, па може да се зборува за природни и за вештачки асфалти, слика 10.7.



Слика 10.7 Примена на асфалти

Во зависност од видот на мешавината, постојат повеќе видови на вештачки асфалти:

- површински обработки,
- пенетрации, полупенетрации и покриен макадам,
- асфалтни бетони (асфалт-бетони),
- лиени асфалти,
- специјални асфалти.

Во асфалтните бетони содржината на јаглеводородни врзивни средства е 5-12%, а содржината на камено брашно – филер со димензија до 0,09 mm е 5-20%. Според постапката по која се вградуваат, тие може да бидат *топли асфалтни бетони* и *ладни асфалтни бетони*. За топлиите, температурата на местото на приготвување е 175-190°C, а на местото на вградување е 130-150°C. Кај нив како врзивно средство се користи врзивно средство за коловози, а како агрегат се користи песок и камен ситнеж (2-22,4mm). Кај ладните асфалт-бетони температурата на местото на приготвување е 60-80°C, додека на местото на вградување се потполно разладени. Кај нив како врзивно средство се користат разредени битумени и катрани за коловози, а како агрегат - песок и камен ситнеж (2-12,5mm).

Оптималната структура на асфалт бетоните е структура во која зрната на агрегатот (песокта и каменитот ситнеж) воспоставуваат контакт низ танките слоеви на врзивното средство (јагледороден материјал и филер). Гранулометрискиот состав на агрегатот се определува според изразот:

$$Y = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^n, \text{ каде } n = \frac{1}{1,5} - \frac{1}{3}$$

каде што:

Y е ордината на гранулометриската крива,

D е најкрупно номинално зрно на агрегатот, [mm],

d е големина на отвори на ситото, [mm].

Максималното зрно на агрегатот треба да биде $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{4}$ од дебелината на асфалтниот слој (што се добива од условот за збивање). Крупнозрните асфалтни мешавини имаат поголема носивост и поголема отпорност на триење, поголем волуменски удел на агрегатот, помала специфична површина на зрното агрегат – потреба од помалку врзивно средство за обвиткување на зрното, поголема отпорност на траги и поголема опасност од сегрегации. Ситнозрните мешавини, пак, се со помало ниво на бучава, со помала опасност од сегрегација, помало абење на пневматиците.

Реолошките особини кои треба да ги покаже асфалтната мешавина се *стабилност* и *течење*. Наведените реолошки својства се испитуваат со методата на Маршал. Методата на Маршал подразбира испитување на примероци од асфалтна мешавина под дејство на вертикално оптоварување на определена температура и при определена брзина на оптоварување со помош на Маршалова преса, слика 10.8. Испитувањето се врши на три компактни цилиндрични примероци, при што тие се оптоваруваат по дијаметарот за чекор на деформација од 50 mm за минута, слика 10.9. Од резултатите на мерењето, со пресметка, се определуваат: стабилноста во kN, деформацијата во mm, заостанати празнини во %, волуменска маса и др., што нуди критериуми за составот на минералната мешавина и дозирање на врзивното средство. Стабилноста на мешавината според методата на Маршал се дефинира како максимален товар што може да го издржи примерокот на температура од 60°C. Вредноста на течењето е деформацијата која примерокот ја претрпува за време на оптоварувањето до износот на максималниот товар. Течењето се мери во 0,25 mm единици. Крајната цел на оваа метода е да се добие оптимална содржина на врзивно средство за употребениот тип на агрегат во мешавината и за очекуваниот интензитет на сообраќај.

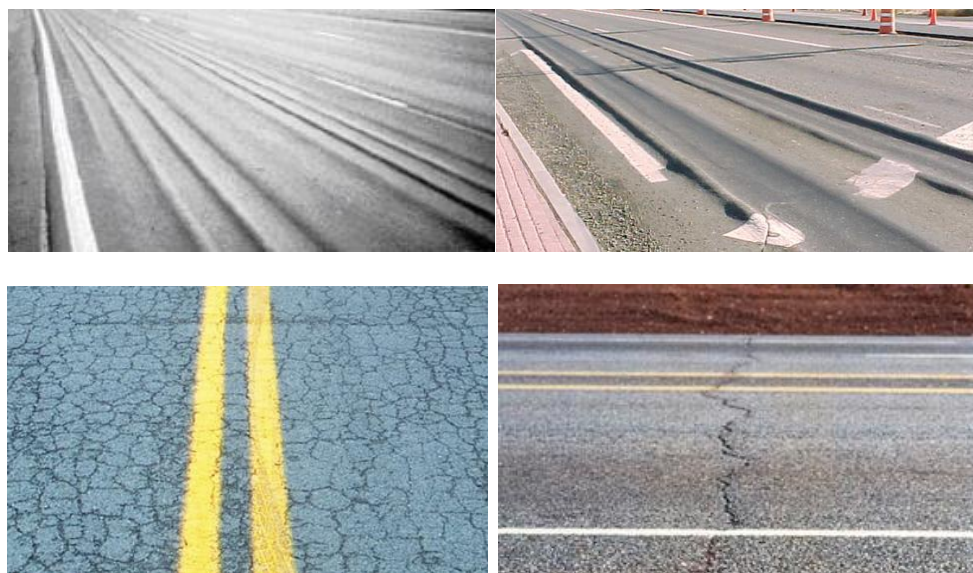
Бараните карактеристики на асфалтната мешавина мора да бидат исполнети: задоволително количество на воздушни пори и задоволителна стабилност, заради избегнување на несаканите последици кои настануваат после вградувањето на асфалт-бетоните во конструкциите, слика 10.10.



Слика 10.8 Испитување со Маршалова метода: набивач, сушилница, водена бања, Маршалова преса



Слика 10.9 Калани и примероци за испитување со Маршалова метода



Слика 10.10 Деформации на асфалтни коловози

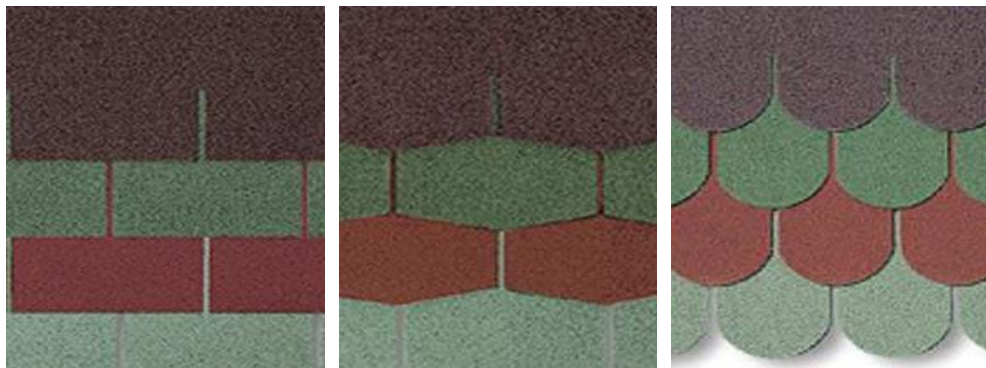
10.6 Битуменска шиндра

Битуменската шиндра е погодна за покривање на произволно оформени покривни површини. Се произведува врз база на специјална облагородена битуменска маса, армирана со стаклен воал. Од горната страна шиндрата е посипана со дробен шкрилец во различни бои. Долната страна е заштитена со кварцен песок.

Главните карактеристики на шиндрата се:

- постојана е и отпорна на екстремно ниски и високи температури,
- постојана е во загадени и агресивни индустриски средини,
- лесно се витка и едноставно се крои,
- поседува висок степен на огноотпорност,
- полесна е 4-8 пати од сите познати материјали за покриви.

Битуменската шиндра се употребува за покривање на сите видови коси покриви со наклон помеѓу 10° и 85° . Погодна е за покривање на произволно оформени покривни површини, односно со исти елементи се покриваат рамни покривни површини, слемања, гребени, опшивки и вдлабнатини. Шиндрата овозможува лесно монтирање на лимот за опшивање на покривните завршетоци, опшивање на оцаците, вентилациските цевки и сл.



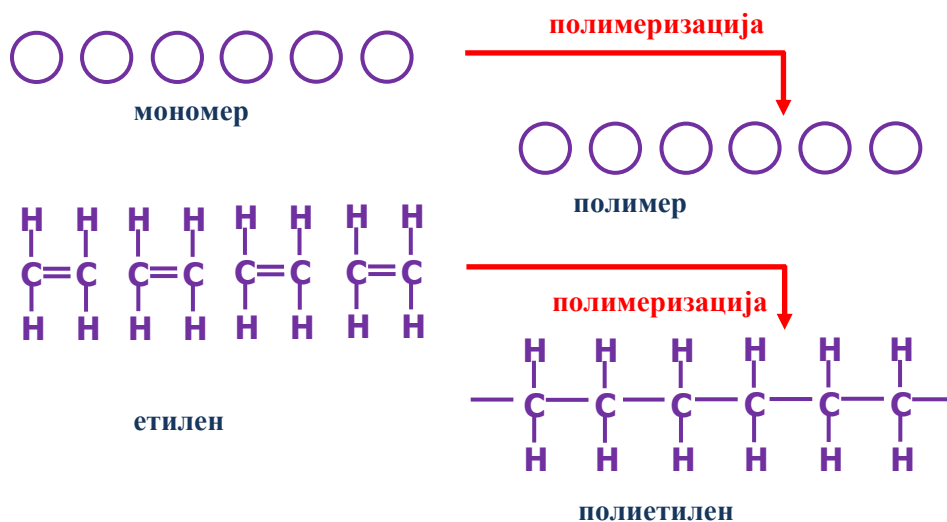
Слика 10.11 Видови на битуменска шиндра

11 Полимерни градежни материјали

Полимерот е хемиско соединение, чии молекули се состојат од голем број последователно сврзани и повторувачки исти атомски групи. Карбоверижни се полимерите чијашто верига е изградена само од атоми на јаглерод, додека хетеровержни се оние полимери во чијашто верига покрај јаглеродните се вклучени и атоми на кислород, азот и други елементи.

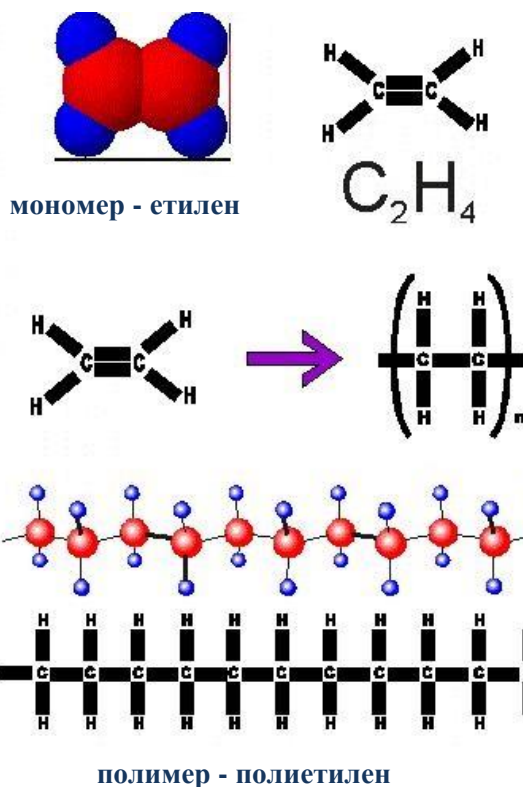
Полимерите се сложени органски супстанции кои се добиваат со хемиска синтеза на поедноставните соединенија – мономери. Тие можат да бидат природни (протеини, целулоза и сл.) и вештачки – кои уште се нарекуваат и синтетички смоли.

Полимерите припаѓаат на категоријата високомолекуларни соединенија, чии молекули се состојат од неколку стотини или неколку илјади атоми меѓусебно поврзани со валентни врски, слика 11.1. Всушност, макромолекулите во најголем број случаи се состојат од голем број структурни единици, кои повеќекратно се повторуваат.



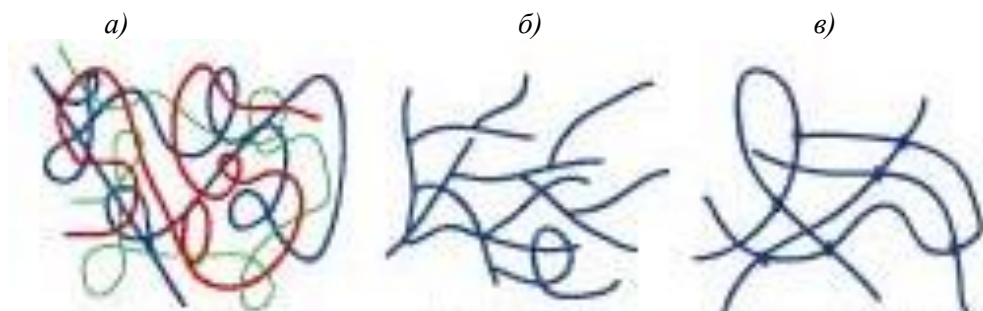
Слика 11.1 Начин на добивање на полимерите со полимеризација

Заради оваа структура, полимерите го добиле и своето име: „поли“ значи многу, а „мерос“ – дел. Степенот на полимеризација е всушност бројот „n“, кој покажува колку пати се повторува една структурна единица, слика 11.2. Тој е релативно голем, определен број.



Слика 11.2 Добивање на полиетилен

Структурата на полимерите е во општ случај аморфна, т.е. во нив не постои правилен распоред на честичките. Макромолекулите кои се јавуваат како честички – градители на полимерите може да имаат линеарна, разгранета или мрежеста структура, слика 11.3.



Слика 11.3 Структура на полимерите: а) линеарна - различни форми, б) разгранета, в) мрежеста

Структурата на полимерите особено доаѓа до израз при однесување на полимерите на загревање. Според своето однесување на загревање, полимерите се делат на термопластични и термореактивни (термостабилни).

Термопластичните полимери (полиетилен, поливинилхлорид, полистирол, полиметилметакрилат, поливинилацетат, полиизобутилен и др.) можат многукратно да се размекнат при загревање и да се стврднат при ладење, задржувајќи ги основните својства. Тие лесно набабруваат и се раствораат во органски растворувачи. Термореактивните полимери, пак, при првото загревање преминуваат во нерастворлива тврда (пластична) состојба и потполно го губат својството понатаму да се топат. Нивните физичко-механички својства суштински се менуваат. Во таа група спаѓаат фенолформалдехидните, карбамидформалдехидните, полиестерните, полиуретановите и епоксидните смоли.

11.1 Синтетички смоли - полимери

Во зависност од начинот на производство, полимерите се делат на две класи:

- класа А – полимери добиени со верижна полимеризација, при која не се одделуваат странични производи,
- класа Б – полимери добиени со поликондензација и постепенa полимеризација, при кои се одделуваат вода, хлороводород, амонијак и други супстанции.

При производство на градежни материјали најмногу се користат следните полимери:

- од класа А – полиетилен, полипропилен, поливинилхлорид, полиизобутилен, полистирол, поливинилацетат, полиметилметакрилат (органско стакло),
- од класа Б – фенолалдехидни и фенолформалдехидни карбамидни (аминопласти), полиестерни, полиуретански, органосилициумови и епоксидни полимери.

Од голема важност се силициуморганските полимери, чијашто основна верига е изградена од силициумкислородни (силиконски) врски, а страничните групи од јаглородни врски.

Врз основа на овие полимери можат да се направат топлоиздржливи пластични маси со стаклени влакна, хидрофобни лакови и бои, а исто така и специјални состави за изработка на заштитни покривки врз природни и вештачки камени материјали.

11.2 Видови полимерни материјали во градежништвото

11.2.1 Полимер-бетони и полимерцементни бетони

Полимер-бетоните се подготвуваат врз база на полиестерни, епоксидни, фенолформалдехидни, фуранови и други полимери. Видот на полнежот се одбира според видот на агресивната средина. За кисели средини се користат

полнежи отпорни на киселини – кварцен песок и чакал од кварцит, од базалт или гранит, како и од тули и графит отпорни на киселини.

Во зависност од нивната волуменска маса се разликуваат следниве видови полимер-бетони:

- конструктивен тежок полимер-бетон со тешки полнежи,
- конструктивен топлоизолационен лесен бетон со минерални порозни полнежи (на пр. керамзит),
- топлоизолационен исклучително лесен бетон со многу порозни полнежи (пенопласти, плута, дрво, перлит и др.).

Механичките својства на полимер-бетонот се подобруваат со вметнување во него на челична арматура и на влакнести полнежи, на пример стаклени влакна и др. Од челичен полимер-бетон и стаклен полимер-бетон се изработуваат елементи за прагови, колекторски прстени, основи за контактни мрежи и сл. Во практиката се разработени и наоѓаат примена комбинирани носиви конструкции, во чија притисната зона се наоѓа цементен армиран бетон, додека во затегнатата зона – армополимер-бетон.

Недостаток на полимер-бетоните е нивното големо ползење, а исто така и стареењето, кое е побрзо при последователно загревање и овлажување.

Полимерцементните бетони содржат од 0,2 до 5-12% додатоци од синтетичка смола или каучук, кои се додаваат во форма на емулзија или суспензија. Така се обезбедува порамномерна распределба на полимерот низ целиот материјал. Обично се користат водни раствори на поливинилацетат, полистирол, поливинилхлорид, латекс или на органосилициумови соединенија. Како резултат на тоа, се намалува водопропустливоста и водовпивливоста, а јакостите на бетонот на затегнување и свиткување се зголемуваат 2-3 пати.

Полимерцементните материјали се употребуваат како бои, лепила, премачкувачи (за заштита на арматура), за изработка на подови, за заштитни слоеви на резервоари, цевки и други производи.

11.3 Пластични маси

Пластичните маси се широка група на органски материјали, изградени врз база на вештачки или природни високомолекуларни соединенија – полимери, кои под дејство на загревање и притисок можат да се обликуваат и да ја зачуваат дадената форма и облик.

Пластичните маси имаат волуменска маса од 15 до 220 kg/m³ и значителна јакост (јакост на притисок 120-160 МПа, а на затегнување 40-60 МПа). Модулот на еластичност кај пластичните маси е значително понизок од другите градежни материјали. Отпорни се на дејство на вода, а исто така и на дејство на водени раствори од киселини, бази и соли. Се карактеризираат со добри топлоизолациони и електроизолациони својства, отпорни се на корозија и се долготрајни. Некои пластични маси се прозирни и со голема

атхезиона способност, може да образуваат тенки покривни филмови и заштитни покривки.

Пластичните маси ги имаат следниве главни компоненти: врзивно средство – полимер, полнежи, пластификатори, стабилизатори, стврднувачи и бои. Како врзивни средства се користат синтетички смоли, синтетички каучуци и производи на целулозата.

Полнежите во пластичните маси можат да бидат:

- прашести – минерални (кварцно брашно, креда, талк и сл.) и органски (дрвено брашно);
- влакнести – дрвени и стаклени влакна;
- слоевити – хартија, стаклени и памучни ткаенини, дрвен фурнир и др.

Полнежите ги подобруваат својствата на пластичните маси: ги зголемуваат јакоста, тврдоста, отпорноста на топлина и киселини, ја намалуваат кртоста, ја зголемуваат долготрајноста.

Пластификаторите им даваат на пластичните маси поголема пластичност (глицерин, цинкова киселина, дибутил фталат), а катализаторите го забрзуваат нивното стврднување.

Пластичните маси покажуваат низа недостатоци: повеќе од нив имаат мала отпорност на топлина (70 – 200°C), голем коефициент на температурни деформации и зголемено ползење. Со тек на време некои пластични маси стареат, т.е. се намалува нивната деформабилност, стануваат крти, потемнуваат. За спречување на стареењето се користат специјални стабилизатори- различни металооргански соединенија на оловото, бариумот, кадмиумот и др. Кога горат, многу од пластичните маси одвојуваат отровни супстанции.

11.3.1 Конструктивни материјали од пластични маси

Како конструктивни полимерни материјали се користат претежно армираните пластични маси.

Пластичните маси со стаклени влакна (фиберстакло) се состојат од полимер (полиестерни, фенолформалдехидни, епоксидни, органосилициумски и други смоли) и полнеж - алумоборосиликатно стакло во вид на танки нишки.

Пластичните маси со ориентирани влакна (стакловлакнест анизотропен материјал) имаат голема јакост во насока на влакната, лесни се и со голема хемиска отпорност. Тоа ги прави ефикасен материјал за исполна на градежни оградни конструкции, резервоари и цевки, а исто така и како арматура за бетонски конструкции.

Пластичните маси со хаотично распределени влакна се произведуваат во форми на брановидни и рамни листови со полиестерна смола како сврзувачко средство и со просирност до 85%. Овие производи се употребуваат за

изработка на прозирни прегради и осветлувања, за надворешни слоеви на панели итн.

Стаклотекстолитот е пластична маса со стаклени влакна во која за арматурен полнеж се користи стаклена ткаенина. Се добива со топло пресување при висок притисок и температура на стаклената ткаенина, која претходно била потопена во термоактивни полимери (фенолформалдехидни). Стаклотекстолитот е соодветен за надворешен слој на трислојни сидови, во случај кога внатрешниот слој е топлинска изолација. Се употребува и за изработка на лушпи и други градежни конструкции.

Пластичните маси со стаклени влакна имаат широка употреба и за обложување заради големите јакости, убавата надворешност, добрата отпорност на корозија и на атмосферски влијанија.

Органското стакло (полиметилметакрилат) или „плексиглас“ е многу провиден, лесен материјал, со добра отпорност на светлина. Во градежништвото се употребува за обложување, застаклување, горно осветлување на згради, изработка на цевки и др.

Сотопластот е клеточен материјал, кој се добива со потопување на хартија, фурнир, стаклена ткаенина, алуминиумска фолија или текстилна ткаенина во терморективни смоли. Клетките се со правилна геометриска форма во вид на саќе од пчели. За подобрување на топлинските својства на сотопластите, во некои случаи, клетките се пополнуваат со перлит, експандиран полистирен, стаклени влакна и др.

Тврдите пенопласти се материјали со затворени (изолирани) пори, пополнети со гас или смеса од гасови. Во нив спаѓаат експандираниот полистирен, екструдираниот полистирен и пенополиуретанот. Се употребуваат како топлоизолациони материјали при изведба на трислојни сидни панели и подни панели во станбени и деловни објекти.

Материјалите за подни облоги најчесто се изработуваат врз база на поливинилацетат и епоксиди. Еден од овие материјали е линолеумот, кој се користи како неармиран или армиран со некоја ткаенина. Се изработува во дебелини 2-5 mm, а се испорачува во ролни. Подовите од линолеум со правилна изведба можат да траат околу 20-25 години.

Цевките и санитарно-техничката опрема се произведуваат од поливинилхлорид, полиетилен, полистирол, како и од пластични маси со стаклени влакна. Елементите изработени врз база на овие материјали се значително полесни од соодветните елементи изработени од класични материјали и се значително поевтини.

Лепациите на база на полимери се применуваат за спојување на конструктивни елементи од дрво, бетон, стакло, челик и други материјали. Тие треба да имаат висока адхезија во однос на материјалите кои ги спојуваат, јакоста на залепената врска не смее да биде помала од јакостите на материјалите кои се поврзуваат на овој начин. Покрај ова, лепациите треба да

бидат трајни и доволно постојани на зголемени температури, да имаат соодветна вискозност, доволно голема брзина на зацврстување и ниска цена.

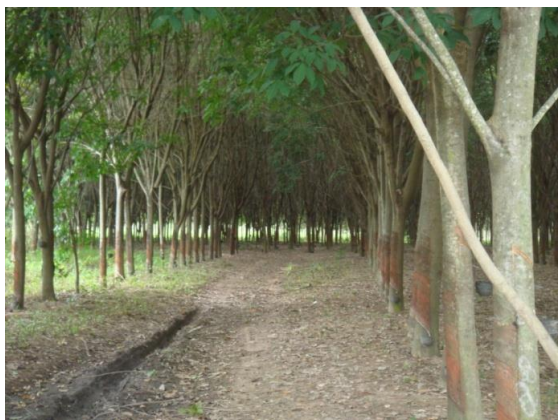
Најголема практична примена имаат лепациите кои зацврстуваат на нормални температури (над 5°C), при што како најповолни се сметаат температурите од 15 до 25°C . Постојат и епоксидни лепаци кои може да зацврнат и на температури под 0°C . Со оглед на тоа дека епоксидите се одликуваат со голема вискозност, овие лепаци често се користат во разредена состојба, со количество на разредувачи од 10 до 20%.

Заради тоа што зацврстувањето на епоксидните лепаци е возможно само со присуство на зацврстувач, овие лепаци секогаш се испорачуваат како двокомпонентни (епоксид + зацврстувач и, евентуално забрзувач).

11.4 Каучук (еластомери) и гума

Каучукот е претставник на т.н. еластомери (еластични јагледородни полимери). Каучукот може да биде природен или вештачки.

Природниот каучук се добива од сокот на каучуковото дрво – латекс, слика 11.4. Лепливиот латекс се собира и потоа се преработува во гума. Пречистената форма на каучук е полизопрен, кој може да се добие и по вештачки пат.



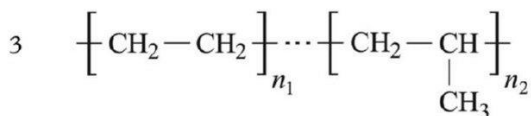
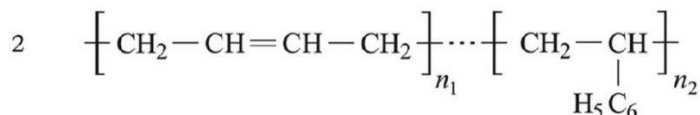
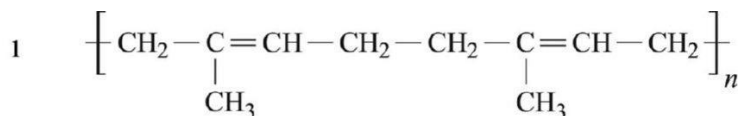
Слика 11.4 Каучукови дрвја и собирање латекс од каучуково дрво

Каучукот е со аморфна структура, на ладно е крт, а на температура повисока од 100°C е леплив и мек како восок. Со обработка со загревање или во мешалки (мастикација), на каучукот му се намалува молекуларната маса и тој станува пластичен и прикладен за понатамошна употреба. Понатаму му се додаваат средства за вулканизација (сулфур) и други додатоци, па така приготвената каучукова смеса со вулканизација се преработува во гумени производи.

Природната гума се користи во многубројни производи. Таа е многу растежлива, флексибилна и исклучително водоотпорна.

Вештачки каучук е име за многу полимерни материјали со еластомерни својства. Тие се добиваат со полимеризација на соодветни мономерни (бутадиен, стирен, етилен, пропилен и др.). Синтетичките каучуци покажуваат слични својства како природниот каучук. Тие немаат правилна молекуларна градба, ниту толку добри еластомерни својства, но се употребуваат повеќе заради достапноста и пониската цена.

Стирен-бутадиенскиот каучук (SBR) е кополимер на стиренот и бутадиенот и е најважен и најмногу употребуван вештачки каучук. Се произведува со полимеризација во водена емулзија или во раствор. SBR добиен со емулзиска постапка е сличен по својствата на природниот каучук, поотпорен е на дејство на кислород и озон, полесно се преработува и пофлексибилен е, посебно на многу ниски температури, но неговите вулканизати се помалку отпорни на абеење. Со полимеризација во раствор се добива термопластичен SBR кој не е погоден за изработка на автомобилски гуми, но заради посебните својства наоѓа многу други примени, особено во смеси со други полимерни материјали на кои им ја зголемува ударната јакост.



Слика 11.5 Каучук: 1. природен, 2. стирен-бутадиенски, 3. етилен-пропиленски

Бутилниот каучук се добива со полимеризација на изобутилен со мал дел на изопрен, што ја олеснува вулканизацијата. Брзината на минување на гасови и параа низ него е осум пати помала отколку брзината низ природниот каучук, па заради тоа е главен материјал за изработка на внатрешни гуми, пневматски и топловодни цевководи, мембрани, воздушни перничичња и сл.

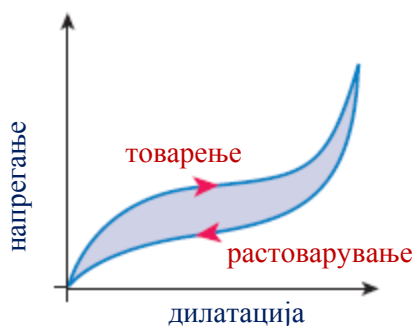
Каучукот, гумата и сите еластомери покажуваат интересни својства: материјалот не се однесува според Хуковиот закон, т.е. има нелинеарен

дијаграм напрегање-дилатација. Меѓутоа по растоварувањето на примерокот, деформацијата брзо се губи. Присутен е многу висок степен на деформабилност, при што модулот на еластичност се менува во широки граници (од 10 до 10000 МРа). Граничната деформација која се регистрира при лом може да биде многу голема (од 500 до 1000%). Волуменскиот модул на каучукот е висок во споредба со другите вештачки материјали, како и Поасоновите коефициент, па може да се смета дека каучукот е практично нестислив.

Ако повеќепати се затегнува и ослободува гумена лента, може да се почувствува ефект на загревање, предизвикан од хистерезис. Дијаграмот напрегање-дилатација, слика 11.7, покажува дека однесувањето на гумата по отстранување на товарот не е исто како она кога товарот се зголемува. Ова се нарекува хистерезис и за кривите се вели дека образуваат хистерезисна петелка. Енергијата апсорбирана или ослободена од материјалот е прикажана со површината помеѓу кривата и апцисната оска на дијаграмот.



Слика 11.6 Молекули кај незатегната и затегната гума



Слика 11.7 Дијаграм напрегање-дилатација на гумата

Вештачкиот каучук се употребува за производство на лепаци и мастики. Тој е неопходна компонента во производството на разни материјали за заптивање.

Гумата во градежништвото се применува како материјал за изработка на подови. Исто така, таа се користи како додаток на разни материјали на база на битумен. Таквите композитни материјали се употребуваат за

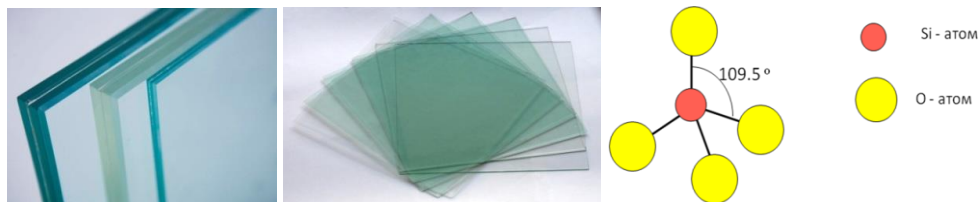
хидроизолациони цели и како материјали за исполна на дилатациони спојници.

Во фамилијата на синтетички гуми, произведени со полимеризација на хлоропрен, спаѓа и *неопренот*. Неопренот има добра хемиска стабилност и одржува флексибилност во широк температурен опсег. Се користи за повеќе намени, а во градежништвото најчесто за лежишта кај мостовските конструкции. Неопренските лежишта имаат можност за пренесување на вертикалните и хоризонталните товари од горниот на долниот строј од конструкцијата. Тие се применуваат за конструкции од армиран бетон, од преднапрегнат бетон, челик или комбинација бетон-челик.

12 Стакло

Стаклото е цврст „раствор“ на силициум оксид со оксиди на други метали. Тоа е еден вид на цврста „течност“ или збир на молекули кои не се држат еден со друг толку цврсто (како на пример металот или дрвото). Стаклото има т.н. аморфна структура и по тоа е слично на восокот. Под аморфни материјали се подразбираат супстанции кои немаат подредена структура како кристалните материјали.

Стаклото е просторно вмрежена структура на меѓусебно поврзани SiO_4 тетраедри - структура слична на полимерите. Групите SiO_4 при ладењето имаат тенденција да создадат тридимензионални просторни решетки (тетраедри), слика 12.1. Во центарот на секој тетраедар е Si-атом, а на аглите атоми на кислород.



Слика 12.1 Стакло и структура на групата SiO_4

12.1 Историјат и развој на стаклото

Историјата ни кажува дека стаклото е откриено уште 5000 години пред нашата ера. Легендата вели дека го откриле Вавилонците, Феникијците, и Египќаните, но ништо од тоа историски не е потврдено. Единствено е сигурно дека се пронајдени разни украсни предмети и садови од стакло од тоа време. Стаклото како производ се проширило од Египет до Грција и до Рим, а Римјаните само 100 години пр. н.е. почнале да ги застакуваат прозорците на зградите.

Современата историја на стаклото започнала во 1851 година, кога англискиот архитект Џозеф Пакстон (Joseph Paxton), за Светската изложба во Лондон, проектирал стаклен павилјон наречен „Кристал Палас“, слика 12.2. Оваа револуционерна зграда, направена од стакло и челик, ги поттикнала архитектите да започнат да го користат стаклото како градежен материјал.

Измислуваќи го таканаречениот „флот“ (float) процес во 1952 година, Сер Аластер Пилкингтон (Sir Alastair Pilkington) ја започнал револуцијата во стакларската индустрија. Овој процес подразбира дека во када со растопен калај континуирано се истура течно стакло. Стаклото лебди по површината и се произведува континуирана лента на квалитетно стакло, кое подоцна се

полира. Со тоа се овозможува производство на стаклени плочи во разни бои и во различни дебелини и димензии. Оттогаш, развојот на технологијата на производство и употреба на стакло одеднаш нагло се забрзале.



Слика 12.2 Кристал палас во Лондон

Денес, изработката на стаклото прерасна во модерна високо-технолошка индустрија, која е во состојба да произведе илјадници плочи стакло во различни бои за еден ден. Стаклото е дел од нашиот секојдневен живот. Современото градежништво без стакло денес е незамисливо, слика 12.3.



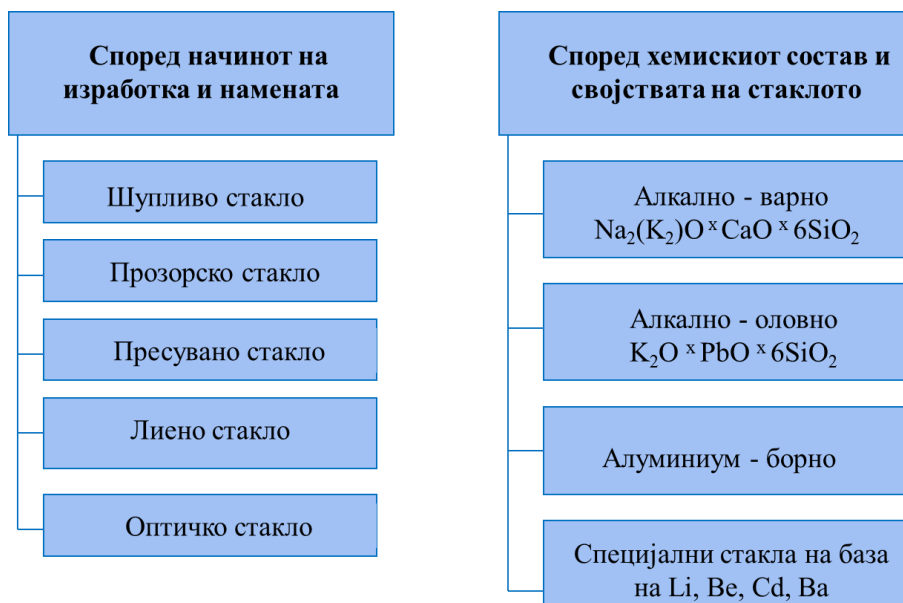
Слика 12.3 Современи објекти со стаклени фасади

12.2 Поделба на стаклото

Основната суровина за производство на стакло ја сочинуваат: кварцен песок (SiO_2), силициум оксид со висока чистота, сода, калциум оксид и други оксиди. Во зависност од присуството на помошни материјали, се разликуваат следните видови на стакло според состав:

- натриум-калциумово стакло (нормално стакло), кое содржи Na_2O и CaO ,
- калиум-калциумово стакло (кристално стакло), наместо натриум оксид содржи калиум оксид,
- бор-алуминиум оксид стакло - покрај боровиот оксид и алуминиум оксидот, може да содржи и оксиди на натриум, калиум и калциум, а се одликува со голема отпорност на високи температури (од него се изработуваат огноотпорни садови).

Други поделби, според начинот на изработка и намена, како и според хемискиот состав и својства на стаклото може да се видат на слика 12.4.



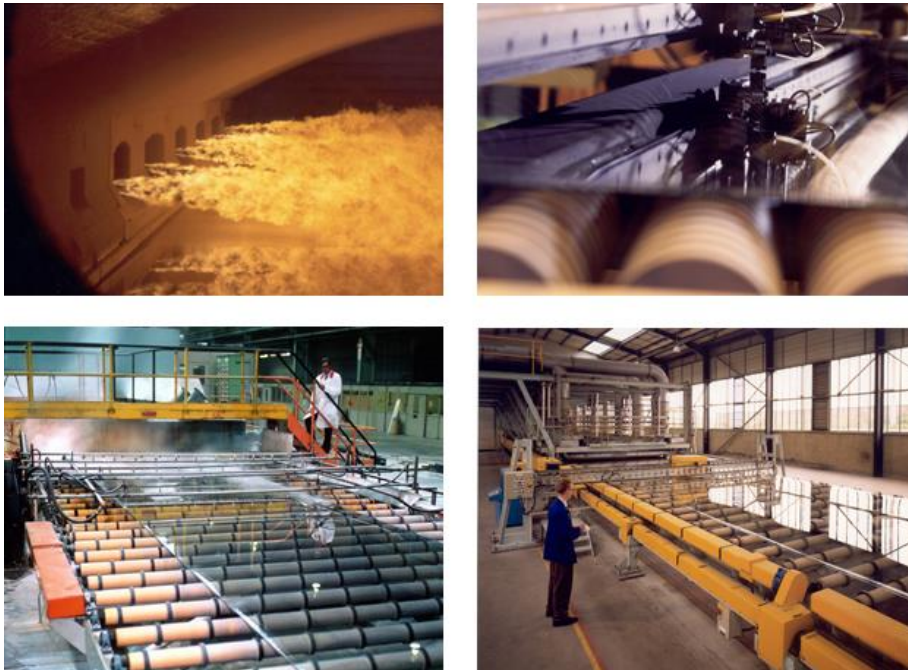
Слика 12.4 Поделба на стаклото: а) според начинот на изработка и намена; б) според хемискиот состав и својства

12.3 Производство на стакло

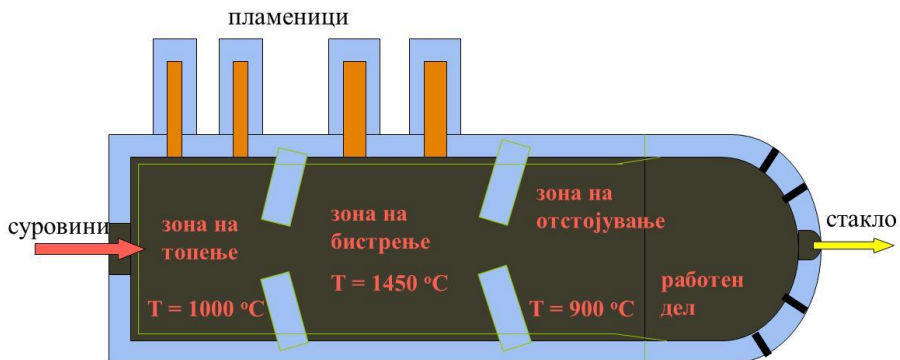
Процесот на производство на стаклото се состои од неколку основни производни етапи, слика 12.5:

- подготовка на суровините (збогатување, сушење, мелење),
- мешање на компонентите,
- топење на смесата во печки на температура од 1400 – 1500 °С,
- ладење до температура оптимална за обработка,
- обликување на производите,
- жарење на предметите од стакло,
- дополнителна обработка на стаклените производи.

По создавањето на силикатите на металите, доаѓа до синтерување и топење на стаклото, односно на новосоздадените силикати. Во зоната на бистрење, на температура од околу 1450 °С, со помош на соодветни хемиски средства, се врши ослободување на гасовите кои останале затворени во стаклото и доаѓа до хомогенизирање на смесата. Во зоната на отстојување доаѓа до снижување на температурата и до зголемување на вискозноста на масата, за да може од стаклото да се обликуваат разни финални облици и предмети, слика 12.6.



Слика 12.5 Производство на стакло



Слика 12.6 Поедноставена шема на кадна печка за топење на стакло

Обликување на стаклото се прави со:

- дување (рачно или машински),
- извлекување,
- пресување и
- валање.

Со извлекување помеѓу два валјка се обликуваат рамните стакла кои имаат најголема примена во градежништвото. Нивната дебелина се регулира со меѓусебното растојание на огноотпорните азбестни валјаци, слика 12.7.



Слика 12.7 Обликување на стакло

12.4 Основни својства на стаклото

Стаклото како материјал се карактеризира со:

- провидност – пропушта најмалку 84 % од зраците на видливиот спектар,
- мала топлинска спроводливост, во границите од 0,7 до 1,35 W/mK,
- волуменска маса: од 2200 до 2800 kg/m³ за обичните технички стакла, а за тешките оловни стакла достигнува и до 6300 kg/m³,
- голема јакост на притисок 300 – 1200 МПа, и во споредба со тоа
- мала јакост на затегнување 30 – 90 Мпа,
- јакост на свиткување 78 - 158 N/mm²,
- модул на еластичност 49033 – 78453 N/mm²,
- тврдост според Мос 5 – 7.

Покрај овие особини, стаклото има мала електрична спроводливост, крто е и има мала издржливост на удар. Тоа е со мала отпорност на топлина – при нагло и брзо загревање или ладење во него се јавуваат големи напрегања, кои предизвикуваат пукање. При загревање, стаклото се размекнува, а при температура од околу 1000°C се топи.

Хемиската отпорност на стаклото зависи од неговиот хемиски состав, од видот на агресивната средина, степенот на темперирање, хемиската хомогеност, температурата, дефектите по површината и сл. Базните раствори, па дури и чистата вода ја уништуваат бавно површината на стаклото. Затоа, при определување на составот на стаклото, секогаш треба да се земат предвид условите на експлоатација на стаклените производи.

12.5 Стаклото како современ градежен материјал

Со развојот на човештвото неминовно доаѓа до влијание на промените на животната средина.

Како и во останатите активности, така и во градежништвото потребно е да се задоволат потребите на човекот, не нарушуваќи ја притоа животната средина.

Со избирање на оптималниот вид на стакло кое се користи за затворање на фасадните отвори, се постигнува следното:

- контрола врз загубата на топлинската енергија,
- контрола на поминувањето на топлинската енергија,
- контрола на поминувањето на UV зраците,
- контрола на поминувањето на светлото,
- звучна изолација,
- заштита од повреди.

12.5.1 Типологија на стакло

Типологијата на стаклото го подразбира начинот на кој стаклото се подготвува пред вградувањето.

Еднослојно стакло. Се состои од една стаклена површина. Меѓусебно се разликуваат по дебелина, тип и вид на изработка. Еднослојното стакло е најевтино и најшироко користено стакло. Со сечењето на посакуваните димензии и облици и со евентуална дополнителна обработка стаклото е подготвено за вградување.

„Флоат“ (float) стакло. „Флоат“ постапката е современ стандард за производство на провидно стакло. Оваа технологија во денешно време најчесто се користи во градежништвото и за добивање на речиси сите стакларски производи, така што преку 90% од светското производство на рамно провидно стакло е „флоат“ стакло. Стаклото произведено по оваа технологија нема изобличувања („бранови“) или деформации. Достапно е во дебелини од 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 19 и 25 mm.

„Парсол“ (parsol) аncорпционо стакло. Ова е „флоат“ стакло со додаток на боја во смесата во текот на производството, во бои на бронза, сива, зелена, сина итн. Има широка примена заради можноста да ја впива светлината и топлинската енергија, па се користи во автомобилската индустрија, градежништвото (уредување на ентериерот), индустријата за намештај итн.

„Стопсол“ (stopsol) рефлексивно стакло („флоат“ стакло + слој за рефлексивност). „Стопсол“ претставува стакло за контрола на енергијата. Сите зрачења добиени од сонцето кои поминуваат низ стаклото се придобивки од сончевата енергија. Во зима тие се пријатни, бидејќи ја компензираат загубата на топлинска енергија, но во лето се јавува проблем на прегревање на просториите ако има големи стаклени површини. Ова стакло има ефект на еднонасочно огледало, па со тоа ја спречува провидноста. Неговата примена во градежништвото е голема и многу раширена, особено за фасади, надворешни врати, прозорци.

Полурефлексивно стакло. На површината од ова стакло има нанесено метален оксид за да се комбинира топлинската заштита и рефлексивност. Тоа ги одбива сончевите зраци, но значително помалку од рефлексивното и затоа

впива дел од светлината и енергијата. Се користи за застаклување на фасади, градини.

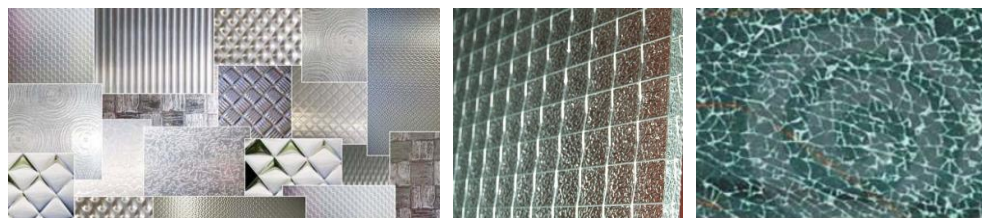
Антирефлексивно (мат) стакло претставува комбинација на две пиролитички обработени површини на стакло и го редуира видливото поле на рефлексија на помалку од 2%, а истовремено овозможува поголема видливост низ стаклото, дури и поголема од видливоста низ безбојното „флоат“ стакло. Со неговите антирефлексивни карактеристики ова стакло спречува влез од 99% на UV зрачењето, ја штити внатрешноста на просторијата и незјината содржина.

Огледало е вид на стакло на чија површина е нанесен премаз составен од четири слоја: сребро нитрат, заштитен метален нанос и два слоја наменска заштитна боја. Покрај класичната варијанта може да се изработи и во повеќе други бои, бронзена, сива, златна.

„Сатинато“ (satinato) стакло претставува „флоат“ стакло на кое едната страна му е обработена со нагривување од киселина. Ова стакло може да се ламинира, да се комбинира во дупли стакла, да се зацврстува итн.

Орнамент стакло е декоративно стакло кое се добива со втиснување на мостра при изработката на „флоат“ стакло од едната или двете страни во моментот на поминување низ валјачите. Дебелината се движи од 3 до 19 mm, но највообичаена е од 4 mm. Провидноста зависи од густината и структурата на орнаментот.

Армираното стакло содржи мрежа од жици (обично со 10 mm растер) во средина на стаклото. Во случај на кршење, жицата го задржува стаклото да не се распадне. Идеално е за гаражи, покриви, балконски огради и во површини каде неговиот „индустриски“ изглед не пречи, но има своја заштитна функција. Во принцип тоа не е сигурно стакло, бидејќи деловите на скршеното стакло имаат остри и опасни рабови. Стандарна дебелина му е 6 mm, а најчесто се произведува во просирна, мат или кафена варијанта.



Слика 12.8 Видови стакло: а) орнамент, б) армирано, в) калено

Пескачено стакло се добива со обработка на стакло со нанесување на абразивно средство под висок притисок. Може да се испескари целото стакло или еден негов дел, создавајќи геометриски или уметнички облици.

„Лакобел“ (lakobel) стакло е обоено стакло, кое се бои со специјални бои, што пропуштаат светлост, но не и слика. Бојата под висок притисок се

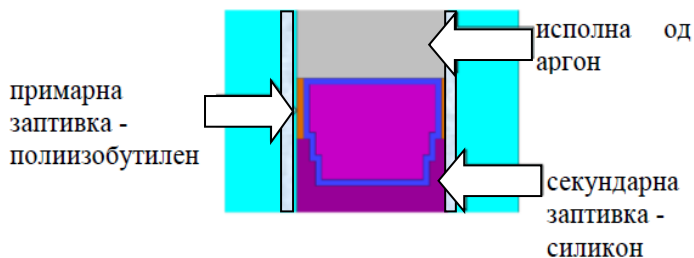
нанесува на „флоат“ стакло, кое впира дел од светлината, па по правило го осветлува тонот на бојата.

Калено стакло е стакло загреано до границата на пластичност (600°C), после што нагло се лади со ладен воздух. Резултат на тоа е поголема отпорност на удари (повеќе од пет пати), поголема јакост на свиткување и отпорност на топлински оптоварувања. При кршење се создава мрежа на мали зрнца со заоблени рабови. Пред термичката обработка, стаклото мора задолжително да биде грубо избрусено. Исто така, сите фази на обработка (сечење, дупчење) мора да се направат пред калењето. После тоа не е можно да се обработува, освен да се пескари или сатинира.

Самочистиво стакло претставува стакло со тенок фотокаталитички филм од едната страна, кој има ефект на самочистивост, користејќи ги UV зраците и дождот.

„Lamistal“ стакло, односно ламинирано стакло (panplex) е сендвич на две или повеќе стаклени плочи, меѓусебно споени со танки фолии на PVB (поливинилбутирал) или со специјална течност во услови на зголемена температура во автоклав, каде доаѓа до потполна адхезија помеѓу врзивното средство и стаклото. Ова стакло овозможува хомогеност при кршењето, бидејќи при распаѓањето парчињата стакло остануваат залепени за врзивното средство. Заради ова својство, тоа претставува сигурносно стакло.

Изо-стакло. Изолационо стакло или термоизолационо стакло е најкористениот облик на примена за прозорски и фасадни стакла. Тоа е комбинација на две или повеќе стакла споени на рабовите со метален профил-дистанцер, најчесто од алуминиум со дебелина од 6-12mm, кој е исполнет со хигроскопна материја со цел да се спречи собирањето на влага меѓу стаклените површини. Стаклото и металот се споени со бутил кој се нанесува на профилот во вжештена состојба и има функција на лепило и изолација. Следна постапка е ставањето во преса за да се добие компактен и траен производ. Завршна фаза е китирање. Најчесто изо-стаклото се изработува од две „флоат“ (просирни) стакла со најмала дебелина од 4 mm. Во меѓупросторот се наоѓа воздух, но во современата градежна индустрија тој е заменет со инертни гасови (аргон, криптон или ксенон), кои со своите својства ги подобруваат изолационите својства на прозорците, то ест значително го намалуваат пренесувањето на енергија.



Слика 12.9 Изо-стакло, пресек на енергетски прозорец

12.6 Стаклени фасади

Стаклените фасади се состојат од стаклени плочи кои се изработуваат од сигурносно стакло. Стаклото нема карактеристика на топлинска изолација, па на местото на застаклувањето се појавува проблемот со губење на топлина. Најдобри карактеристики на топлинска изолација може да се постигнат со употреба на изо-стакло со подобрени карактеристики во просторот меѓу две стакла. Со користење на ова термоизолационо стакло, стаклените фасади постигнуваат комплетна термоизолациона, звучна, соларна и UV заштита.

Се разликуваат неколку видови на стаклени фасади:

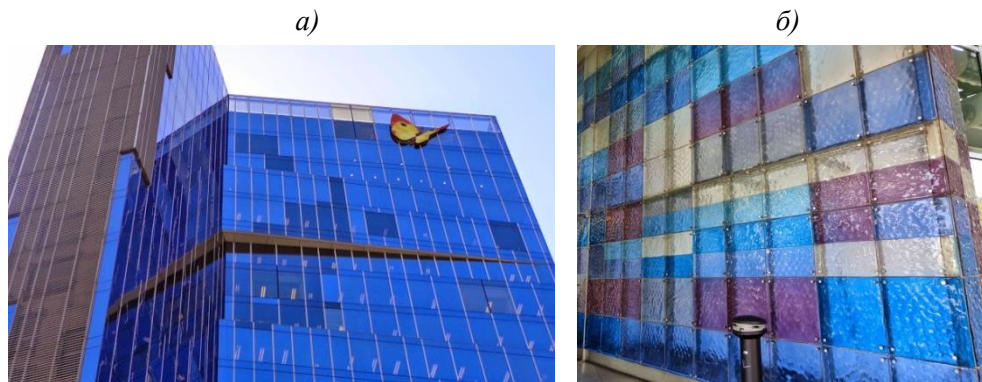
- *Структурални фасади* - се изработуваат без видливи носиви профили на кои стаклото се монтира со лепење.
- *Полуструктурални фасади* - профилите (најчесто алуминиумски) се видливи по рабовите на елементите со минимална ширина. Кај овие фасади најчесто се употребува рефлектирачко изо стакло или стакло во боја.

Структурални стаклени фасади. За креирање на комплетна стаклена фасада се користи техниката на структурално застаклување со стаклени монопанели, двослојно застаклување со или без премачкувачи итн. На овој начин носивата конструкција на објектот е скриена зад стаклото. Силиконската плomba има намена да ги преземе напрегањата на застаклувањето, и таа треба да биде отпорна на UV зраците.

Структурално застаклените фасади обезбедуваат висок степен на водонепропустливост, извонредна звучна изолација, површини што лесно се чистат и заштита на носечката конструкција од температурни дилатирања. Застаклувањето со стакло-пакети фабрички е поставено во метални рамки. Ваквите единици се транспортираат до местото на вградувањето и се прицврстуваат за носечката конструкција.

Континуирани стаклени фасади. Полињата на континуираната стаклена фасада може да бидат исполнети со стакло, панели, или со други материјали. Со различните изведби на континуираната стаклена фасада може да се нагласи хоризонтална или вертикална насока на површината на објектот, т.е. неговата висина и ширина. Полињата во фасадата можат да бидат подвижни – да се отвораат.

„Спајдер” (spyder) стаклени фасади. Ги карактеризира начинот на спојување на стаклото со конструкцијата. Стаклото, еднослојно или изо, се спојува на конструкцијата со посебни инокс држачи на четири точки. Изо стаклата се спојуваат по рабовите со специјални спојки, кои осигуруваат континуиран пренос на топлината, а фасадата однадвор изгледа како една целина.



Слика 12.10 Видови стаклени фасади: а) структурална, б) „спајдер”

12.7 Стаклена волна

Стаклената волна спаѓа во групата на минерални волни, поради своето суровинско потекло – се произведува од кварц и варовник. Овие суровини се топат на високи температури и на таков начин се добива смеса, која наликува на вулканска лава. Оваа смеса со помош на центрифугални тркала се трансформира во фини долги влакна. Со дополнителна обработка на влакната се добива финален производ – ролни на стаклена волна, која се користи за топлинска изолација на објектите. Карактеристики на стаклената волна се: олеснето ракување, складирање и транспорт на материјалот. Таа има одличен коефициент на топлинска спроводливост, еластичност, хидрофобност, не гори, лесно се поставува на различни конструкции и инсталации, со што се оневозможува создавање на топлотни и звучни мостови. Стаклената волна може да се искористи како изолација на коси покриви, мансарди, подови и тавани, и како топлинска изолација на внатрешна или надворешна страна на ѕидовите. Коефициентот на топлинската спроводливост на стаклената волна се движи од 0,032 до 0,044 W/mK. Како што веќе беше спомнато, овој материјал е несогорлив – класа А1. Она што е уште поважно, тој во услови на пожар во објектот, го спречува неговото ширење. Волуменската маса на стаклената волна се движи од 11 до 45 kg/m³.



Слика 12.11 Стаклена волна

Стакленото влакно е мек и еластичен материјал, така што со овој производ може да се обложуваат и нерамни површини, а исто така може да се употребуваат и кај конструкции со каков било облик и конфигурација. Поради оваа особина, стаклената волна доста често се користи за изолирање на тавански простори наменети за живеење. Освен големата примена за изолирање на покривни конструкции, стаклената волна наоѓа примена и кај вентилационите фасади.

Номенклатурата на термоизолационите производи од стаклена волна содржи: подлога (меки плочи), полутврди плочи со синтетички влакна, плочи со висока тврдост кои поседуваат издржливост на високи оптоварувања. Тврдите плочи кои се обложени со стаклени влакна се добри за заштита од ветер. По подолгата страна плочите може да се спојуваат на перо и жлеб, што претставува добар спој без празнина. Меките материјали од стаклени влакна по правило се пресуваат во ролна.

13 Материјали за специјална намена

Изолационите материјали се наменети да обезбедат хидро, топлинска и звучна изолациона способност на обвивката на објектите (надворешните сидови, покриви и подови), како и на внатрешните преградни сидови и меѓукатни конструкции во објектите.

Со правилен избор на видот на изолациониот материјал, како и неговата местоположба и дебелина, објектите се заштитуваат од влијанијата на околната средина, а во нив се обезбедуваат неопходните услови за живеење и работење. Заради тоа, неопходноста од изолациони материјали е диктирана како од економски и технички, така и од санитарно-хигиенски барања.

Според својата намена, изолационите материјали се делат на три основни групи:

- материјали за топлинска изолација,
- материјали за хидроизолација,
- материјали за звучна изолација.

13.1 Материјали за топлинска заштита

Термоизолационите материјали спаѓаат во групата на градежни материјали за специјална намена, кои се користат за заштита на конструкциите од штетните влијанија на околната средина, а меѓу другото и за подобрување на техничко-експлоатационите карактеристики на објектот, што придонесува за подобар комфор на живеење во објектите. Примената на термоизолационите материјали во градежните конструкции во денешно време е доста актуелна, посебно во време во кое потребата од електрична енергија постојано се зголемува, а како резултат на тоа се намалуваат резервите за нејзино производство.

Гледано од физички аспект, постои соодветна дефиниција за овие материјали, т.е.: материјал за топлинска изолација е оној кој има функција да го намали топлинскиот проток низ конструкцијата со која е во контакт или пак во која е вграден. Концептот на топлинска изолација е поврзан со концептот за можноста да се контролира пренесувањето на топлината кога таа не треба да надмине определени граници.

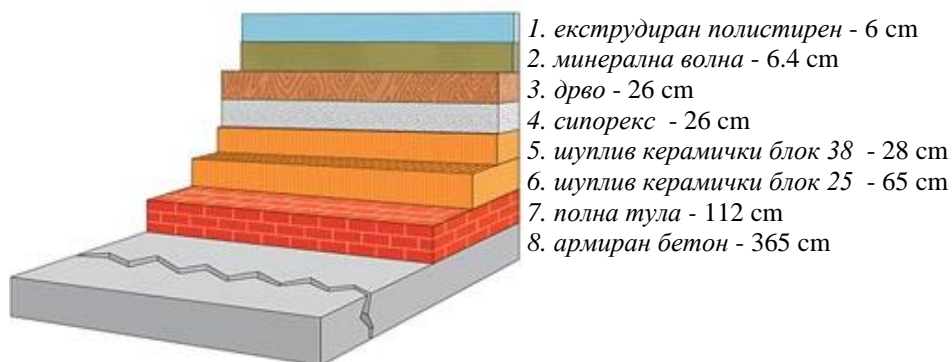
Термоизолационите материјали треба да имаат висока порозност и по можност да претставуваат супстанции со аморфна структура. Ова се должи на фактот што кристалните тела многу добро ја спроведуваат топлината. Топлинската спроводливост се намалува и за повеќе од 10 пати ако стопените минерални маси се ладат нагло и со тоа зацврнатата супстанца добива аморфна структура. Основен услов за висока порозност кај термоизолационите материјали претставува присуството на пори во вид на

ситни воздушни ќелии или тенки слоеви на воздух, бидејќи при поголеми празни простори исполнети со воздух топлинската спроводливост на материјалот значително се зголемува поради преносот на топлина по пат на конвекција и со зрачење.

За добивање на материјали со т.н. ќелиска структура (гас-бетони, пено-бетони, пено-стакло, порозни пластични маси) се применуваат такви технологии во рамките на кои доаѓа до ослободување на определени гасови и до нараснување на масата на материјалот, а се применуваат и постапки при кои сè уште незацврстениот материјал се доведува во пенеста состојба. Широка примена имаат и постапките при кои во фазата на производство се прави мешавина на компонентите со поголема количина на вода, така што во процесот на сушење и печење (кога вишокот на вода ќе се изгуби) се добива зголемена порозност на финалниот производ (на пример материјали на база на електрофилтерска пепел, дијатомејска земја и сл.). Оваа постапка често се комбинира и со воведување различни согорливи примеси (прашина од јаглен, деланки од дрво и др.) во мешавината на основните компоненти, со што после согорувањето на ваквите додатоци се остварува зголемена порозност на материјалот. Формирањето на влакнест скелет е основниот начин за добивање на висока порозност на влакнестите термоизолациони материјали (стаклена волна, минерална волна и сл.). Во овие случаи термоизолациониот материјал се добива или со постапка на извлекување на растопената маса во доста тенки нишки или со распрснување на млаз од растопената маса во релативно кратки, но доста тенки влакна. Во првиот случај се добиваат влакна и таканаречени воали, додека во вториот случај се добиваат материјали од типот на волна.

Волуменската маса претставува главен параметар што ја определува топлинската спроводливост на материјалите, а со самото тоа и термоизолационите својства. Коефициентот на топлоспроводливост на материјалот λ се зголемува во функција од зголемувањето на волуменската маса γ . Во случај на зголемување на влажноста на материјалот, неговата топлинската спроводливост значително се зголемува, за само еден процент зголемена влажност, λ - коефициентот расте за приближно 25%. Тоа влијае на губење на термоизолационите карактеристики на материјалите.

За да се оцени топлинската изолација на целата конструкција, треба да се земат предвид сите нејзини елементи како што се: сидови, подови, тавани, покрив, прозорци и сл. Сите елементи мора да бидат усогласени, бидејќи лошиот избор барем на една компонента може да има поголемо негативно влијание, отколку сите позитивни влијанија на останатите компоненти. На слика 13.1 е даден пример на графички приказ за тоа колку треба да изнесува дебелината на поодделен градежен материјал за да се добие сид со иста изолациона заштита.



Слика 13.1 Дебелина на *сид* од различни материјали за исти топлински карактеристики

Во табела 13.1 се дадени материјали и производи за термоизолација, кои се преземени од Институтот за стандардизација и кои се интегрален дел од Меѓународната организација за стандардизација (ISO).

Табела 13.1

градежен материјал	волуменска маса γ_z [kg/m ³]	коэффициент на топлинска спроводл. λ [W/m·K]	специфичен топлински капацитет c [J/kg·K]	коэффициент на отпор на дифузија на водена пара μ [-]
сидови				
полна тула од глина	1800	0.81	900	5/10
клинкер тула	1700	0.80	800	50/100
полна фасадна тула од глина	1800	0.83	900	5/10
шуплива фасадна тула од глина	1200	0.55	900	5/10
шупливи блокови од глина	1100	0.48	900	5/10
полн варово-силикатен блок	1800	0.99	900	15/25
природен камен	2000	1.40	1000	20/30
шупливи блокови од бетон	1400	0.90	1000	20/30
шупливи блокови од лесен бетон	900	0.46	1000	5/10
малтери				
цементен малтер	2000	1.60	1000	15/35
варов малтер	1600	0.80	1000	6/10

варо-цементен малтер	1800	1.00	1000	15/35
варо-гипсен малтер	1400	0.70	1000	6/10
гипсен малтер	1500	0.54	1000	6/10
термоизолационен малтер	400	0.11	1000	5/20
полимерен малтер	1100	0.70	1000	50/200
силикатен малтер	1800	0.90	1000	50/70
малтер на база на акрил	1700	0.90	1000	100/150
бетон и армиран бетон				
армиран бетон	2500	2.60	1000	80/130
бетон	2400	2.50	1000	80/130
бетон со лесен агрегат	1600	1.00	1000	60/100
порозен бетон	800	0.25	1000	6/10
бетон со еднозрн агрегат	1800	1.10	1000	60/100
подни, ѕидни и тавански облоги				
гипс-картонски плочи	900	0.25	900	8
гипс-картонски плочи со додаток на целулозни влакна	1300	0.38	1000	10/15
керамички плочки	2300	1.30	840	200
камени плочи	2500	2.80	1000	40/200
дрво	550	0.15	2000	50/70
хидроизолациони материјали, парни брани				
битуменска лента	1100	0.23	1000	50000
полимерна хидроизолациона лента и PVC -P	1200	0.14	1000	100000
топлинско-изолациони материјали				
минерална волна	10 до 200	0.035 до 0.050	1030	1
експандиран полистирен (EPS)	15 до 30	0.030 до 0.040	1450	60
екструдирани полистирен (XPS)	≥25	0.030 до 0.040	1450	150
тврда полиуретанска пена	≥30	0.020 до 0.040	1400	60

дрвена волна	360 до 460	0.065 до 0.09	1470	3/5
експандиран перлит	140 до 240	0.040 до 0.065	900	5
експандирана плута	80 до 500	0.045 до 0.055	1560	5/10
<i>растресити материјали за насипување</i>				
експандиран перлит	≤100	0.060	1000	3
иситната експандирана плута	≤200	0.055	1300	3
иситната тула од глина	≤800	0.41	900	3
тврда полиуретанска пена	≤1700	0.81	1000	3

13.1.1 Класификација на материјали за топлинска изолација

Термоизолационите материјали може да се класифицираат според различни критериуми, меѓу кои:

- според потекло на суровините за добивање,
- според вредноста на коефициентот на топлоспроводливост,
- според вредноста на волуменската маса, и
- според местото и начинот на подготовка.

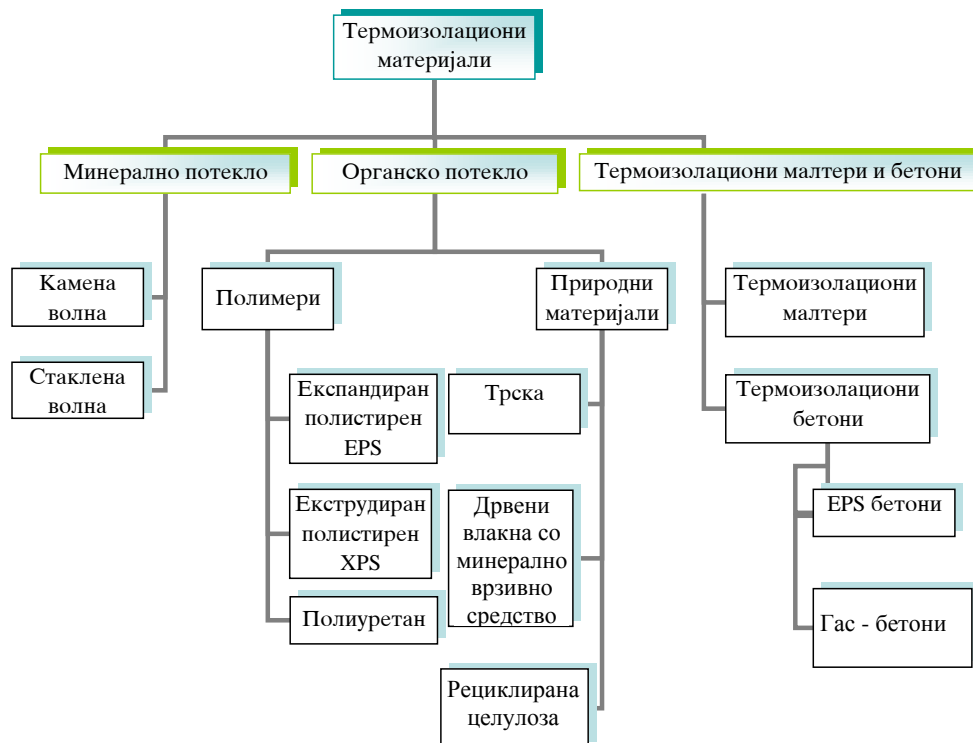
На блок дијаграмот на слика 13.2 е претставена класификација на термоизолационите материјали, според потекло на суровините за добивање.

13.1.2 Камена волна

Камената волна се добива од дијабаз, базалт, варовник, доломит и др. Производителите користат природни карпи што овозможуваат висок квалитет и долготрајност. Каменот се топи на температура од 1600 °C, магмата се преработува во влакна од кои се формираат тврди или свиткани плочи или ролни. Влакната можат да се пресуваат во тврди плочи со импрегнација на фенолна смола. При висока контрола на технолошкиот процес на производство доаѓа до потполна неутрализација и поликондензација на фенолот.

Се произведува неимпрегнирана и импрегрирана камена волна. Во комбинација со синтетички врзивни средства, камената волна добива одлични особини. Таа е високо порозен изолационен материјал кој во својот состав не содржи состојки штетни по човековото здравје. Поради својата висока отворена порозност, истата се карактеризира со впечатливо голема способност за впивање вода и пропустливост на влага. Впиената вода ги раствора солите од камената волна и создава раствор кој е агресивен за металите, така што сите метални површини кои се во контакт со камената волна треба да имаат своја антикорозивна заштита. Според тоа, зголемената

влажност во камената волна ја загрозува отпорноста на топлинската изолација на дејство на мраз.



Слика 13.2 Класификација на материјали за топлинска изолација

Вредноста на коефициентот на топлоспроводливост за сув примерок на камена волна се движи во границите од 0.035 до 0.041 W/mK. Дозволената влажност на производите од камена волна се ограничува на 3%.

Камената волна се карактеризира со постојаност на високи температури и негорливост. Производите од неимпрегнирана камена волна може да се користат на температура и до 750°C, а оние од импрегнирана камена волна до 250°C. Материјалите кои се употребуваат за импрегнација, (органски смоли и масла), а кои ги има околу 6%, испаруваат или јагленисуваат на температура од околу 250°C. Камената волна се топи на температура од околу 1000°C, при што не се создаваат штетни гасови. Производите од камена волна имаат и добра апсорпција на звук, поради својата отворена порозност. Волуменската маса се движи во границите од 45 до 160 kg/m³. Коефициентот на отпор на дифузија на водена пара е помалку од 1.1, додека впивањето вода изнесува 100%. Камената волна, поради својата структура и висока точка на топење, се употребува и како противпожарен материјал.



Слика 13.3 Камена волна

Преку анализа на својствата на камената волна, може да се издвојат нејзините предности и недостатоци. Тие се прикажани во табелата 13.2.

Табела 13.2

Предности	Недостатоци
– мала волуменска маса	– големо впивање вода и голема пропустливост на водена пара
– низок коефициент на топлинска спроводливост	– мала отпорност на дејство на мраз
– широк температурен интервал на примена (до +700°C)	– склоност кон појава на мувла
– негорлив материјал	– можност за појава на корозија на металите при присуство на влага
– при топење не ослободува штетни гасови	
– биоразградливост	

Производите од неимпрегнирана камена волна, поради своите мали механички карактеристики имаат ограничена примена, и се користат онаму каде што не се изложени на притисок. Истите се применуваат за топлинска изолација кај:

- меѓукатни конструкции, во случаи каде се применуваат спуштени тавани,
- преградни ѕидови, и
- поткровја и коси покриви.

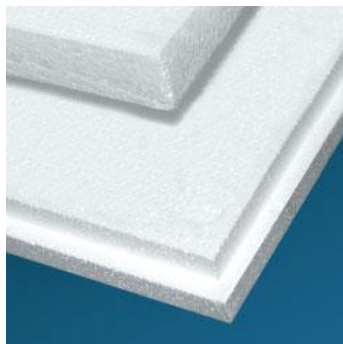
Производите од импрегнирана камена волна се користат во облик на плочи со дебелина од 2 до 10 см, и истите се изработуваат како меки, полутврди и тврди плочи. Може да се применуваат и онаму каде што се изложени на притисок, и тоа кај:

- преградни ѕидови,
- меѓукатни и подни конструкции,
- вентилирана, невентилирана или контактна фасада,
- рамни и коси покриви.

13.1.3 Експандиран полистирен (EPS)

Експандираниот полистирен е термоизолационен материјал со карактеристични физичко - хемиски својства. Неговото производство се одвива во три фази. Во првата фаза гранулите од полистирен се изложуваат на водена пара во т.н. предекспандер, каде што структурата на гранулите омекнува, а лесноиспарувачкиот јаглеводород поминува во гасовита состојба. Покрај тоа, гранулите експандираат зголемувајќи го својот волумен од 20 до 30 пати со истовремено намалување на густината. Предекспандираните гранули се складираат во паропропустливи силоси каде дозреваат од 8 до 24 часа. Ова одлежување претставува втора фаза во која се одвива дифузијата на вишокот пентан од предекспандираните гранули. Во третата фаза, гранулите се ставаат во метални калапи, во кои со дејствување на водозаситена водена пара доаѓа до конечна експанзија на истите, и нивно слепување во монолитна форма.

Блоките што се произведени на ваков начин после извесен период се сечат во плочи или во некој друг облик, со помош на уреди за сечење со врела жица.



Слика 13.4 Експандиран полистирен EPS

Коефициентот на топлинска спроводливост изнесува 0.027 до 0.040 W/mK. Волуменската маса најмногу влијае на својствата на плочите од EPS. Плочите од EPS се произведуваат во различни волуменски маси, од 10 kg/m³ до 30 kg/m³ и до неодамна овој производ се декларираше според тоа. Денес, според техничките прописи за заштеда на топлинска енергија и топлинска заштита во зградите, производите се декларираат според јакоста на притисок (kPa).

Впивањето вода кај EPS е многу мала (од 2 до 8%), што му овозможува широка примена. Во 1 m³ има просечно 98% воздух и од 3 до 6 милиони затворени ќелии, што го прави овој материјал извонреден топлински изолатор.

Експандираниот полистирен има послаби противпожарни својства од камената волна, т.е. не е отпорен на температура поголема од 80 °C, и

неговото својство на незапаливост мора да биде во согласност со спецификацијата која е дадена со европските нормативи и стандарди. Материјалот хемиски е нестабилен во присуство на органски супстанции кои ја разоруваат структурата на полистиренот. Треба да се одбегнува битуменски маси загреани на температура поголема од 70°C да се нанесуваат врз EPS плочите. Затоа при изведба на хидроизолација плочите треба да се опшиваат со битуменски ленти, со што опшивањето е поекономично и поедноставно.

Експандираниот полистирен не е отпорен на UV зрачење, меѓутоа доколку правилно се вгради истиот ќе биде отпорен на стареење, гниење и распаѓање. Во табела 13.3 се дадени неговите предности и недостатоци.

Табела 13.3

предности	недостатоци
- мала волуменска маса	- дробливост
- низок коефициент на топлинска спроводливост	- кртост
- мало впивање вода и мала пропустливост на водена пара	- мала отпорност на дејство на мраз
- широк температурен интервал на примена (од - 150 до + 80°C)	- мала отпорност на UV зрачење
- материјал со ниско пожарно оптоварување	
- самогасливост	
- отпорен на гниење и микроорганизми	
- можност за рециклирање	

Експандираниот полистирен се применува за:

- изолирање на темели,
- изолирање на подрумски сидови,
- изолација на рамни и коси покриви,
- изолирање на меѓукатни конструкции, подови и сидови, кај објекти кои се градени на класичен начин, како и кај оние кои се градени од префабрикувани елементи,
- изолација на рамни и коси покриви, и
- изработка на оплата за бетонски елементи.

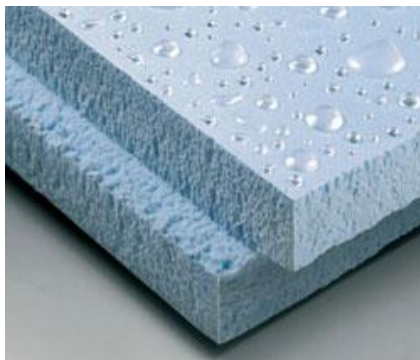
Неврзаните гранули од експандираниот полистирен се користат како агрегат за лесни бетони и како додаток во глина за производство на керамички термо блокови.

Испитувањата што се направени покажуваат дека EPS не е штетен за човековото здравје. Стандардната големина на таблите изнесува 50/100 cm, а дебелината се движи од 1 до 10 cm.

13.1.4 Екструдирани полистирен (XPS)

Екструдираниот полистирен се добива со мешање на гранулите на полистиренот на висока температура со дополнително додавање на агенс за создавање на пена. Квалитетно обработениот екструдирани полистирен може да има коефициент на топлинска спроводливост од 0.025 до 0.035 W/mK, и густина од 15 до 40 kg/m³.

Плочите од екструдирани полистирен при процесот на екструдација добиваат рамномерна структура која се состои од ситни и затворени пори. Впивањето вода изнесува од 0.2 до 0.3%, а факторот на отпор на дифузија на водена пара се движи во границите од 80 до 200. Поради оваа карактеристика, екструдираниот полистирен може да се користи и без дополнителна хидроизолација.



Слика 13.5 Екструдирани полистирен (XPS)

Коефициентот на паропропустливост може да биде помал од 0.02 mg/mhPa, што значи дека екструдираниот полистирен во исто време врши улога на парна брана. Според испитувањата што се извршени, после 1000 циклуси на замрзнување и одмрзнување, не се јавува промена на топлинскиот отпор повеќе од 5%. Со додавање на антипиретик, современиот екструдирани полистирен достигнува карактеристика на слабогорлив материјал и истиот го спречува ширењето на пламенот по самата површина. Но, сепак треба да се нагласи дека екструдираниот полистирен е запалив материјал. Тој има долг рок на употреба, лесно се обработува и вградува. Отпорен е на гниење и стареење, чист е, без мирис, и не е штетен по здравјето на човекот.

Плочите од екструдирани полистирен наоѓаат иста примена како и оние од експандирани полистирен. Нивната предност како топлинска изолација се јавува на делови од објектот каде што има потреба од поголема јакост на притисок и минимално впивање вода.

За ист коефициент на топлинска спроводливост на екструдираниот полистирен во споредба со останатите три термоизолациони материјали, истиот е подобар термоизолационен материјал, а тоа се должи на поголемиот производ $\rho \cdot c$ што го има овој материјал.

13.1.5 Останати материјали за топлинска изолација

Керамичките термоизолациони материјали се добиваат со постапки на обликување, сушење и печење на суровините како што се: дијатомејска земја, електрофилтерска пепел, огноотпорна глина, перлит, шамот и др. Зголемената порозност на овие материјали се остварува со воведување на додатоци кои согоруваат или супстанции кои ослободуваат одредени гасови.

Перлит, вермикулит, керамзит, електрофилтерска пепел, туфови, згура и некои други зрнести материјали се применуваат како основни компоненти за добивање на термоизолациони материјали од типот на лесноагрегатни бетони и малтери. Како материјали за топлинска изолација исто така може да се користат и некои други видови на лесни бетони како што се еднозрни, ќелиски и пено-бетони.

Материјали на база на суровини од растително потекло

Многу често како термоизолациони материјали се употребуваат различни материјали на база на дрво:

- дурисол – лесен бетон на база на струготини од дрво и други столарски отпадоци,
- хераклит и таролит – лесен бетон на база на дрвена волна,
- мек лесонит – плочи добиени со специјална постапка на слепување на дрвените влакна,
- тврд лесонит – плочи слични на плочите од мек лесонит, но формирани по пат на пресување,
- плочи од иверка – материјал добиен со лепење и пресување на иситнато дрво (деланки и сл.),
- панел плочи – материјал во вид на плочи добиени со слепување на дрвени летви и фурнир.

Покрај овие материјали, на полето на топлинска заштита на објектите се користат и некои други материјали од растително потекло. На пример, често се употребуваат *плочи од плута* кои се добиваат со постапка на пресување на гранулирана плута (парчиња од плута), или со постапка на пресување на мешавина од парчиња плута и некое врзивно средство. Во такви случаи се добиваат материјали со волуменска маса 100-200 kg/m³ и со коефициент на топлинска спроводливост помеѓу 0.02 и 0.04 W/(m°C).

Примена како термоизолационен материјал имаат и фабрички изработените *плочи од шиена трска* ($\gamma = 800 \text{ kg/m}^3$ и $\lambda = 0.05 \text{ W/m}^\circ\text{C}$), како и плочите од пресувана и шиена слама. Волуменската маса на овие производи им се движи помеѓу 300 и 350 kg/m³, додека коефициентот на топлинска спроводливост им изнесува околу 0.09 W/(m°C).

13.2 Материјали за хидроизолација

Материјалите за хидроизолација служат за заштита на објектите од штетното влијание на водата, како и за спречување на нејзиното продирање во нив. Основните барања за ваквите материјали се водоотпорност и долготрајност.

Хидроизолационите материјали се произведуваат врз база на: битумени, катрани, смеси од битумен и полимери, полимери (вклучувајќи каучуци и силикони), метални фолии (бакарни, алуминиумски, оловни) и др.

Материјалите за хидроизолација треба да ги задоволат следниве услови:

- да не пропуштаат и да не впиваат вода,
- да се постојани во контакт со вода и во контакт со материјалите на кои се нанесуваат,
- да имаат добра адхезија за материјалите на кои се нанесуваат,
- да се задоволително пластични на ниски, и задоволително постојани на зголемени температури,
- добро да поднесуваат нагли температурни промени,
- да се способни да ја следат дилатацијата на подлогата на која се нанесуваат и да се во состојба да „премостат“ мали прснатини кои може да се јават во подлогата,
- да се отпорни на механички и на атмосферски влијанија (стареење),
- да се лесни за примена, незапаливи, нетоксични, добри изолатори од струја и сл.

Според основните суровини од кои се добиваат, хидроизолационите материјали можат да се поделат на:

- јаглеводородни материјали,
- синтетички материјали,
- метални ленти (фолии),
- водонепропустливи малтери.

13.2.1 Јаглеводородни материјали за хидроизолација

Во групата на јаглеводородни материјали за хидроизолација спаѓаат сите материјали во чии рамки како основна компонента се јавува *битуменот*. Битуменот може да се применува без какви било додатоци и модификации, или комбиниран со различни материјали, т.е. фабрички подготвен во вид на премачкувачи, намачкувачи и ленти. Треба да се напомене дека, многу често, во светот за производство на хидроизолациони материјали се користи и *катранот*.

13.2.1.1 Битуменски хидроизолациони материјали

Хидроизолациони материјали на база на органски растворувачи за ладна поставка се битумени со соодветен квалитет потопени во определени органски растворувачи. Се применуваат во вид на премачкувачи и материјали

за намачкување. Кога се применуваат како премачкувачи дебелината на слојот не е поголема од 1 mm, додека пак ако се нанесуваат со намачкување слојот е со дебелина од 1-5 mm. Премачкувачите и течните намачкувачи содржат најмалку 30%, односно 50% битумен. Намачкувачите во вид на пасти, покрај битуменот (најмалку 40%), и растворувачи, содржат уште и некои минерални полнежи (најмалку 40%).

Хидроизолациони материјали на база на битуменски емулзии за ладна постапка се битумени со определен квалитет емулгирани во вода. Според количините на вода и емулгатори се произведуваат претходни премачкувачи (со најмалку 30% битумен), течни намачкувачи (со најмалку 45% битумен и најмногу 55% вода и емулгатори) и намачкувачи во вид на пасти (со најмалку 30% битумен и најмногу 20% филер).

Хидроизолациони материјали за топла постапка се дуваните битумени, како и некои видови на битумени за коловози со или без додатоци (50% до 0%). Намачкувачите од овој вид можат да се поделат на намачкувачи за подземни работи (со точка на размекнување по РК од најмалку 55°C) и намачкувачи за надземни работи (со точка на размекнување по РК од најмалку 75 °C). Намачкувачите служат за меѓусебно лепење на слоевите кај повеќеслојните хидроизолации.

Хидроизолациони материјали од мастикс се индустриски изработени мешавини на битумен за коловози, филер и песок со стандарден квалитет. Се разликуваат два вида и тоа: изолациони - со најмалку 22% битумен и најмногу 78% филер, и заштитни – со најмалку 15% битумен, најмногу 50% филер, песок 3-13% и камен ситнеж со максимално зрно до 5 mm во количина до 35%.

13.2.1.2 Хидроизолациони материјали во ролни

Импрегниран кровен картон со битумен без посип се состои од суров картон и битумен за импрегнација, без посип од минералоски материјал. Според квалитетот на суровиот кровен картон што служи како основа, постојат четири вида на овој материјал, означени како квалитет 333, 417, 500 и 625 (површинска маса во g/m^2). Вкупната маса на битуменот за импрегнација треба да изнесува минимум 100% од масата на кровниот картон.

Битуменизиран кровен картон се состои од суров картон со квалитет 333, 417, 500 и 625 импрегниран со битумен за коловози и од двете страни обложен со битуменска маса за обложување на база на дуван битумен, како и заштитен со погоден минералоски посип. Вкупната количина на битумен треба да изнесува 150% во однос на масата на употребениот картон. Содржината на минерален полнеж во масата за обложување изнесува најмногу 30%. Меродавни за квалитетот на овој материјал се силата на кинење, во зависност од видот на влошката, како и издолжувањето при кинење, кое треба да изнесува најмалку 2%.

Импрегнирана јутена ткаенина се состои од сурова јутена ткаенина со површинска маса од 300 g/m^2 со 45 нишки на должина од 100 mm основа и од битумен за импрегнирање во количина од најмалку 100% во однос на масата на употребената ткаенина.

Натопена јутена ткаенина обложена од двете страни се состои од натопена јутена ткаенина која од двете страни е обложена со маса за обложување. Дебелината на лентата изнесува најмалку 3 mm. Силата на кинење треба да биде најмалку 500 N/ 5 cm, а издолжувањето при кинење најмалку 5%.

Битуменизиран перфориран стаклен воал претставува перфориран стаклен воал обложен со ситен минералоски посип од едната страна, и со минерални зрна со минимална големина од 1,5 mm од другата страна. Содржи најмалку 800 g/m^2 битумен.

Битуменска лента со влошка од суров кровен картон се состои од суров кровен картон со квалитет 417 кој е импрегниран со битумен за коловоз и од двете страни обложен со битуменска маса на база на дуван битумен. Заштитен е со минералоски посип кој од едната страна може да биде крупнозрн и обоен.

Според количината на битумен, се произведуваат три категории на битуменски ленти од овој тип, со соодветно пропишана минимална содржина на битумен. Силата на кинење е најмалку 250 N/5 cm, а издолжувањето при кинење изнесува најмалку 2 %.

Битуменска лента со влошка од стаклен воал претставува стаклен воал со минимална маса од 50 g/m^2 , обложен со битуменска маса на база на дуван битумен или со битумен за коловоз со додатоци на полимери, и заштитен е со минералоски посип или со некој друг соодветен материјал. Според количината на битумен се произведуваат четири категории на битуменски ленти од овој вид со минимална содржина на битумен. Силата на кинење треба да биде најмалу 250 N/5 cm во надолжен правец и 150 N/5 cm во напречен правец, додека издолжувањето при кинење најмалку 2%.

Битуменска лента со влошка од стаклена ткаенина се изработува од ткаенина со ознаки 50, 100 и 150, кои претставуваат површинска маса и тоа маса $50\text{-}100 \text{ g/m}^2$, $100\text{-}150 \text{ g/m}^2$ и $150\text{-}200 \text{ g/m}^2$. Ткаенината од двете страни е обложена со битуменска маса на база на дуван битумен или со битумен за коловоз со додатоци на полимери. Лентата според нејзината намена е заштитена со минералоски посип или со друг соодветен материјал. Со оглед на количината на битумен, се произведуваат четири категории на овие ленти. Силата на кинење е најмалку 250 N/5 cm, а издолжувањето при кинење изнесува најмалку 2%.

Битуменска лента со влошка од алуминиумска фолија претставува дезенирана алуминиумска фолија со дебелина од 0.08 до 0.2 mm, која од двете страни е обложена со маса на база на дуван битумен или со битумен за

коловоз со додатоци на еластомери. Лентата се заштитува со некој вид посип или со друг соодветен материјал. Со оглед на количината на битумен, се произведуваат во пет категории, со соодветна содржина на битумен. Минималната сила на кинење треба да изнесува 1500 N/5 cm, а минималното издолжување при кинење 2 %.

13.2.2 Синтетички хидроизолациони материјали

Хидроизолационите материјали од овој тип претставуваат материјали во ролни-ленти со дебелина 1-3 mm, фолии со дебелина до 1 mm како и разни премачкувачи, намачкувачи и пасти. Сите овие материјали претставуваат фабрички производи, кои главно се добиваат од термопластични полимери и еластомери.

Најширока примена имаат полимерните ленти и фолии кои се произведени на база на *полиизобутилен (PIB)*, *поливинилхлорид (PVC)* и *етиленкополи-мербитумен (ECB)*. Се употребуваат и еластомерни ленти произведени на база на *бутил (JJR)*, *полихлоропрен (CR)* и *етиленпропилен (EPM)*. Фолиите и лентите можат да бидат армирани и неармирани. Најчесто, за армирање се користат покривен картон, стаклени влакна, стаклен филц, стаклена ткаенина, ткаенина од најлон, полипропилен и полиакрил, метални нишки и др.

Арматурата може да биде поставена во средина на лентата односно фолијата, а може да биде поставена и надворешно, кога се зборува за ленти (фолии) кои се еднострано обложени со арматура. Овие материјали се одликуваат со голема јакост на затегнување (3-20 МПа), како и со голема жилавост, при што релативното издолжување при прекин кај овие материјали не е помало од 200%.

Разликата помеѓу полимерните и еластомерните ленти е во нивното однесување при температурни промени. Кај еластомерните ленти механичките карактеристики (јакост, издолжување при прекин и др.) практично не се менуваат во целокупното подрачје на температурна промена, додека механичките својства на полимерните ленти суштински зависат од температурните промени. Од тие причини полимерните ленти може доста лесно да се обликуваат и „на ладно” и „на топло”, а постои и можност за заварување на нивните споеви („на ладно” и „на топло”). Ваквите постапки на обработка не се можни кај еластомерните ленти бидејќи тие главно тешко се заваруваат „на ладно” и бараат посебни лепила и техники на топло заварување.

Во пракса најмногу се применуваат лентите на база на *полиизобутилен*, бидејќи овој материјал е отпорен на влијанието на битуменот и овозможува ладно заварување на споевите. Голема примена има и *поливинилхлоридот* кој за хидроизолациони работи се произведува со намалена крутост, односно со зголемена пластичност (мек поливинилхлорид). Од поливинилхлоридот се произведуваат повеќе видови на ленти, меѓу кои и ленти кои се отпорни на

влијанието на битумен и на нафтени деривати. Лентите од останатите полимери се отпорни на битумен и може да се лепат за подлогата со помош на битумен. *Синтетичките ленти* главно се применуваат за изведување на хидроизолација на подземните делови од објектите и треба да ги задоволат условите на експлоатација во температурен интервал од -30 до 40°C. Притоа, синтетичките ленти треба да задоволат некои услови на квалитет прикажани во табела 13.4.

Табела 13.4

Својство	Барање-услов за квалитет
јакост при траен притисок	до 7 МПа
издолжување при кинење	min 200%
отпорност на механички удар	без оштетување при удар на тег од 500g при пад од висина h=300 mm
постојаност на ладно	без прснатини при свиткување на -20°C
водонепропустливост	5 бара за еден час
однесување на вода	да ги задржи сите битни својства

Премачкувачите, намачкувачите и пастите, во зависност од базната суровина, може да бидат едно, дво или трокомпонентни системи. Се произведуваат од каучук, полихлоропен, полиизобутилен, поливинил-хлорид, силикони, полиестер, полиуретан и други синтетички материјали со разни хемиски и минерални додатоци. Се испорачуваат заедно со потребните зацврстувачи и забрзувачи кои се мешаат со основната компонента непосредно пред употреба. Се применуваат во два или повеќе слоеви, во зависност од својствата на проектираниот систем за хидроизолација. Словите најчесто меѓусебно се поврзуваат, армираат со стаклени или синтетички влакна во вид на филц (мек текстил), ткаенина или мрежа. Вака добиените хидроизолациони материјали претставуваат композити, кои по физичко-механичките својства им одговараат на синтетичките ленти, односно фолии.

13.2.3 Метални ленти (фолии)

Како материјал за хидроизолација може да се користат мазни или релјефно дезенирани алуминиумски и бакарни фолии. *Алуминиумските фолии* со дебелина од 0.08 до 0.20 mm, за разлика од бакарните, се поевтини и повеќе се употребуваат. Тие се применуваат во вид на постилка врз бетонска подлога која претходно е премачкана со битумен. Во случај на повеќе фолии, за нивно меѓусебно лепење исто така се користат и битуменски намачкувачи. Битуменот се користи и за продолжување на фолиите во случај кога врските се обезбедуваат со преклопување.

Бакарните ленти како хидроизолации најчесто се применуваат за затворање на дилатационите фуги, кај споевите на монтажните елементи и сл. Во таквите случаи дебелината на лентите обично е поголема од 0.1 mm.

13.2.4 Водонепропустливи малтери

Во оваа група на хидроизолации спаѓаат водонепропустливите малтери кои може да бидат со вообичаена дебелина, а може да бидат изведени и во облик на тенки слоеви т.н. „заштитни премачкувачи”, или во вид на посебни пенетрирачки премачкувачи за хидроизолација.

Водонепропустливите малтери се изведуваат во неколку слоеви, така што вкупната дебелина на малтерот изнесува од 2–4 cm. Малтерите за подлогата (бетон, сидови од тула и сл.) главно се врзуваат само површински, при што се подготвуваат од цемент, песок, вода и одредени додатоци (адитиви) за обезбедување на водонепропустливост. Адитивите кои се употребуваат кај овој вид малтери најчесто претставуваат некој вид на затвораачи, односно хидрофоби, и тие на пазарот се сретнуваат со најразлични имиња. По можност треба да се користи цемент од повисок квалитет што содржи помала количина на згура. Цементите со додатоци на пуцолани не се препорачуваат за изработка на ваков вид малтери. Песокот за изработка на водонепропустливи малтери треба да биде чист, гранулиран и со зрна со големина до 3 mm. Учеството на зрна со големина до 0.25 mm треба да изнесува околу 20%. Односот на мешање на цемент : песок е во размер 1:1 до 1:3, а количината на адитиви се дозира според препораките од произведувачот.

Заштитните хидроизолациони премачкувачи во општ случај не се разликуваат од малтерите, бидејќи и кај нив се работи за материјали кои за подлогата се врзуваат само површински, а доколку постои определена длабочинска поврзаност, таа е резултат на малото продирање на премачкувачот во порниот систем на подлогата (само неколку милиметри). Разликата во однос на малтерите е само во дебелината на слојот, бидејќи кај премачкувачите главно се работи за слоеви со дебелина 2–5 mm. Ваквите материјали најчесто се сретнуваат во вид на готови производи со одредени фабрички имиња. Во најголем број случаи тие претставуваат т.н. „суви малтери”, произведени од цемент, кварцен песок, органски врзивни средства (акрилати и поливинилацетати) и специјални адитиви кои се мешаат со вода. Секогаш се нанесуваат во неколку слоеви, при што во зависност од бројот на слоевите, односно од вкупната дебелина на хидроизолацијата, се добива помала или поголема водонепропустливост. Првите слоеви обично претставуваат мешавини со поголема количина на вода кои се нанесуваат за да се оствари што е можно подобра врска помеѓу хидроизолацијата и подлогата.

Покрај опишаната хидроизолација, како водонепропусни премачкувачи се користат и различни формулации во кои доминантна улога имаат

синтетичките (органиски) смоли-акрилати, епоксиди и др. Истите се користат или како чисти, или со одредени полнежи. Како полнежи обично се применуваат кварцен песок, кварцно брашно, а заради зголемување на жилавоста и на другите механички особини, во рамките на овие композити може да се употребуваат ткаенини од безалкално стакло. Ваквите хидроизолациони материјали имаат добра моќ на продирање, бидејќи употребените полимери можат да пенетрираат во подлогата и до 10 mm. За да се зголеми овој ефект на пенетрација, при изведувањето на ваквите хидроизолации прво преку подлогата се нанесуваат т.н. пенетрациони премачкувачи во вид на „чисти“ синтетички смоли со доста низок вискозитет, а над нив се нанесуваат останатите премачкувачи кои може да имаат и полнежи.

Заштитни премачкувачи кои пенетрираат длабоко во материјалот од подлогата (10-15cm) претставуваат материјали кои на пазарот се присутни под различни фабрички имиња. При примена овие материјали се мешаат со цемент, полнежи (кварцен песок) и вода, при што во зависност од употребената количина на вода се добиваат смеси со различна конзистенција. Оваа конзистенција може да варира од *течна* (кога се работи за нанесување со помош на четка), *пластична* (кога нанесувањето се врши со глетарка) до *релативно крута* („сув“ малтер – кога нанесувањето се врши со мистрија или со некој друг сидарски алат). Ваквите хидроизолации секогаш се изведуваат во неколку слоеви. Механизмот на заштита од вода при нивна примена најчесто е следниов: супстанциите кои пенетрираат во подлогата после врзувањето претставуваат затвораачи на порите. Поедини од овие материјали во контакт со водата го зголемуваат својот волумен, па на тој начин се обезбедува уште поголема водонепропустливост.

13.3 Материјали за звучна заштита

Звучната изолација има исклучително важно значење за современото градежништво и архитектура и нивниот перспективен развој.

За звучна изолација се применуваат две основни групи на материјали:

- материјали за апсорпција на звук - материјали со чија помош се смалува енергијата на одбиените (рефлектирани) звучни бранови, па со тоа се намалува јачината на звукот во просториите,
- материјали за звучна изолација - материјали кои се користат за ослабување на звукот произведен со удар.

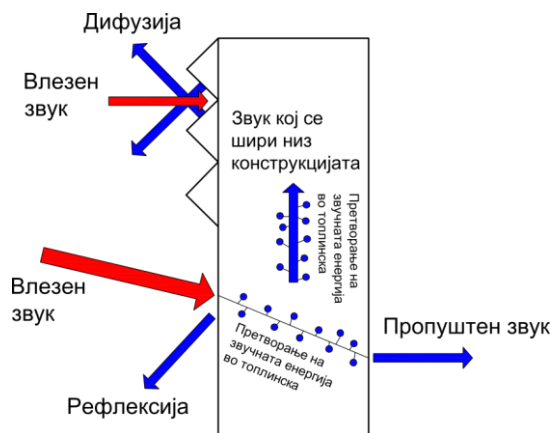
13.3.1 Материјали за апсорпција на звук

Кога станува збор за апсорпциони материјали или апсорпциони конструкции се мисли на материјали кај кои основната задача е да произведат контролирана апсорпција со своите акустични својства.

Целта на таквите акустични материјали е:

- да го скратат времето на одсив (реверберација),
- да го скратат времето на ехо, и
- да ја придушат бучавата.

Звукот во некој материјал се апсорбира на начин што се претвора во друг облик на енергија. Кога звучниот бран ќе наиде на некоја преграда, еден дел од звучната енергија се одбива од површината на преградата (рефлексија, дифузија) и го продолжува своето ширење во истата просторија во која е произведен звукот, другиот дел од енергијата преминува во преградата, слика 13.6. Енергијата во преградата се пренесува/троши на три начина: дел преминува од преградата во воздухот од соседната просторија, т.н. пропуштен звук, дел продолжува да се шири низ преградата, и дел се апсорбира од материјалот од кој е изградена преградата, односно преминува во топлинска енергија. Претворањето од механичка во топлинска енергија настанува при движење на звучните бранови низ преградата, зависи од апсорпционите карактеристики на материјалот и се дефинира со т.н. *коефициент на апсорпција*. Коефициентот на апсорпција се движи од 0 кога нема никаква апсорпција, до 1 кога целата звучна енергија е апсорбирана од материјалот.



Слика 13.6 Апсорпција на звук

Коефициентот на апсорпција е во функција од порозноста на материјалот. Најчесто се употребуваат материјали со порозност помеѓу 40 и 90%. Кај материјалите кои се употребуваат за апсорпција на звук главна улога има отворената порозност на материјалот. Овде доаѓа до губење на енергијата на звучните бранови поради вискозното триење во порниот простор на материјалот и поради премин на дел од механичката енергија во топлинска, што е условено со движење на воздухот низ порите кое е поинтезивно доколку се работи за порен систем во кој порите комуницираат меѓусебно и комуницираат со надворешната средина.

Материјалите кои се применуваат за звучна апсорпција може да се поделат на три групи:

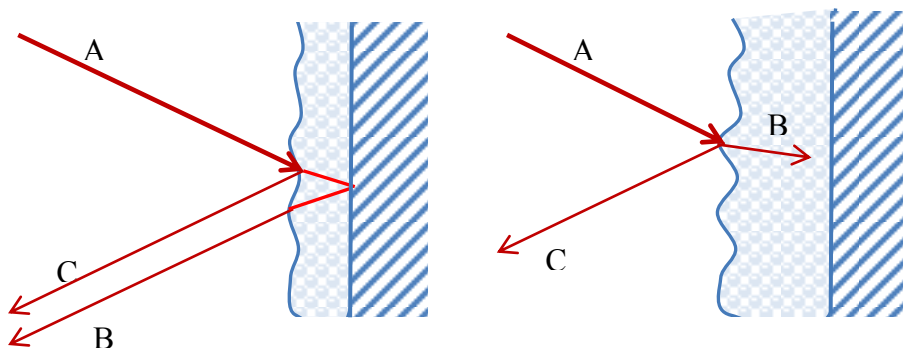
- порозни,
- механички резонатори,
- акустични резонатори.

Оваа поделба е и поделба според фреквентното подрачје во кои тие материјали се ефикасни: првите се апсорбери на високи фреквенции, вторите на ниски и третите на средни.

13.3.1.1 Порозни материјали

Порозни материјали се сите материјали со влакнеста структура со фини, микроскопски пори исполнети со воздух. Овде спаѓаат сите влакнести природни и вештачки материјали, текстилни производи од волна, памук и свила, минерална волна, деланки од дрво, стаклена волна и др. Нивната порозност претставува однос на волуменот на воздухот во материјалот и вкупниот волумен. Во нив звукот се апсорбира на тој начин што го поттикнуваат воздухот во порите на трперење, па со триењето во сидовите на порите, звучната енергија се претвора во топлинска енергија.

Дебелината на порозниот слој ја апсорбира целата звучна енергија која продира во слојот, па затоа коефициентот се определува од рефлектираниот дел. Ако слојот на материјалот е тенок, еден дел од звучната енергија поминува низ слојот и се рефлектира од тврдата површина, па коефициентот на апсорпција е помал, слика 13.7. Колку е подебел слојот на порозниот материјал толку повеќе звучната енергија која продира во слојот се апсорбира и се претвора во топлинска енергија.



Слика 13.7 Тенок и дебел слој на порозен материјал

Порозниот слој не мора по целата своја дебелина да биде хомоген. Ако се постави на определено растојание од површината (во случај на тврда површина), се добива предноста на поголема апсорпција при пониски фреквенции. На пример, ако се разгледува случај за зависноста на коефициентот на апсорпција при тенок слој на ткаенина поставена на тврда

подлога тогаш максималната вредност на коефициентот на апсорпција се постигнува на растојание кое е четвртина од брановата должина. На тоа место слојот на текстилот има најголемо треперење на брзината на воздушните честички, па затоа и ефектот на придушвање е најголем. Коефициентот на апсорпција зависи од порозноста на материјалите.

Коефициентот на апсорпција на порозниот материјал е поголем доколку:

- порозноста на материјалот е поголема,
- дебелината на материјалот е поголема,
- фреквенцијата е повисока.

Во случај кога станува збор за многу високите фреквенции, тогаш другите фактори како што се: дебелината на материјалот и растојанието до тврдата подлога немаат никакво влијание. Порозниот материјал нема ефикасност кај мали, па дури ни кај средни фреквенции.

Што се однесува до естетскиот изглед на ентериерот, кој секако е битен фактор, влакнестите порозни материјали не изгледаат добро за да може да бидат оставени без никакво покривање. Важно прашање е како да бидат покриени овие површини, а притоа де не биде нарушена нивната основна функција. Како добро решение за да се постигне функционалноста и естетиката е покривање со платно кое не смее да биде импрегнирано, односно да не дозволува пропуштање на воздух. Исто така може да се примени и тенок пластичен материјал. Доколку маската за покривање е од цврст материјал таа мора да биде перфорирана 30-50%, со што погуста и поситна перфорација, а воедно да е и доволно тенка. На ваков начин се пропушта целиот звук.

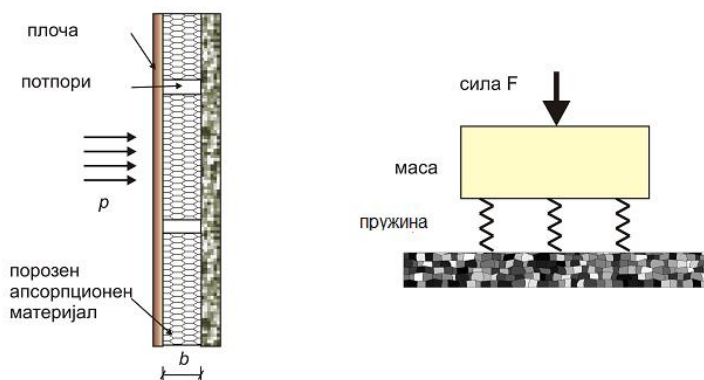
13.3.1.2 Механички резонатори

Механичките резонатори се тенки плочи, најчесто од дрво, кои се поставуваат на изработена потконструкција на определено растојание од сидот. Апсорпцијата настанува на дел од плочата која покрива одделно поле од конструкцијата и под дејство на звучни бранови почнува да вибрира (трепери), на што се троши енергијата на звукот.

Вака поставените плочи претставуваат резонантен систем, кој ако се извади од рамнотежна положба ќе вибрира сам на определена фреквенција. Таа фреквенција претставува фреквенција на резонанца (f_0). Ако надворешната сила F , која делува на масата, има фреквенција (f_0') ќе дојде до јаки осцилации и при употреба на мала сила ќе дојде до резонанца.

Кај механичкиот резонатор, плочата претставува маса, а еластична пружина е воздухот кој се наоѓа затворен зад плочата. Силата која дејствува на плочата е звучен притисок помножен со неговата површина. Кога ќе се постигне фреквенција на резонанца, плочата ќе вибрира најсилно, па заради триењето кое ќе се појави во материјалот на плочата и на местата на прицврстување, звучната енергија ќе се претвори во топлинска и тоа предизвикува загуба на енергијата, односно апсорпција на звук. Ако во

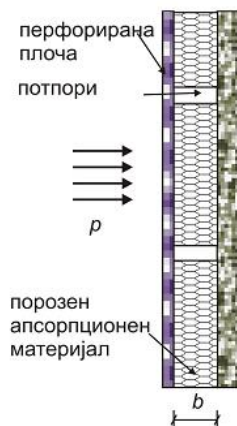
празниот простор се постави некој порозен материјал, ефикасноста се зголемува и се проширува на поголем опсег на фреквенции. Сите реални комбинации на површинска маса на плоча ($5-20 \text{ kg/m}^2$) и длабочина на воздушен меѓупростор ($5-20 \text{ cm}$) даваат фреквенција со резонанца f_0 во областа на ниски фреквенции. На сликата 13.8 е прикажан механички резонатор и негова шема.



Слика 13.8 Механички резонатор и негова шема

13.3.1.3 Акустични резонатори

Акустични резонатори се тенки перфорирани плочи со мал износ на перфорации најмногу 15%. Кај овие резонатори површинската маса се заменува со масата на воздухот што се движи во цевчести отвори на перфорирана плоча прикажана на слика 13.9. Бидејќи оваа маса е многу помала од масата на плочата на механичкиот резонатор, фреквенцијата на резонанцата на акустичниот резонатор ќе биде значително поголема.



Слика 13.9 Акустичен резонатор

Во сали и други простории каде акустиката се решава попрецизно, мора да се употребат барем два или три вида на апсорбери. При употреба на апсорбери исклучок прават простории како што се чекални, ресторани, холови, ходници и др. простории каде за да се намали бучавата се користат акустични резонатори. Ваквата употреба се должи на тоа што многу видови на бучава имаат компоненти на средни фреквенции, а во таа област сетилото за слух е најосетливо.

За ефикасно да се намали времето на одзив при најниски фреквенции се употребуваат различни типови на акустични резонатори: поединечни резонатори разместени на далечина еден од друг за да не делуваат меѓусебно, споени резонатори и резонатори со јаз, такви кај кои едната димензија е значително поголема од должината на резонантната фреквенција.

13.3.1.4 Видови материјали за апсорпција на звук

Плочи на база на минерални и стаклени влакна. Со овие материјали најчесто се применуваат и врзивни средства: формалдехидни и уреаформалдехидни смоли, битуменска емулзија, скробно – бентонитни лепила и др. Овие плочи се карактеризираат со крут скелет и претежно отворена порозност. Надворешно најчесто се обработуваат декоративно, а се изведуваат и перфорации $2/3$ од дебелината на материјалот. Овие плочи на високи и средни фреквенции (1000 – 3000 Hz) имаат коефициент на апсорпција од 0,8 до 0,9.

Плочи од дрвени влакна (лесонит плочи). Во областа на апсорпција на звук се применуваат при завршна обработка, како обоени или перфорирани плочи. Перфорациите најчесто се во вид на кружен отвор или во вид на канал кој е $2/3$ од дебелината на плочата.

Плочи на база на дрвена волна (акустичен хераклит и таролит). Кај овие плочи како врзивно средство се користи цемент или гипс. Волуменската маса на овие плочи се движи од 350 – 600 kg/m³.

Акустични бетони и малтери. Се карактеризираат со мала волуменска маса. За решавање на проблемите на звучна апсорпција може да се користат сите видови на лесни бетони и малтери.

Покрај овие материјали се користат и готови фабрички производи, комбинирани од неколку слоеви различни материјали, чии површински карактеристики се такви да бидат задоволени два услова:

- услов за апсорпција (волуменска маса, перфорации), и
- услов за декоративност (обоеност и површинска обработка).

13.3.2 Материјали за звучна изолација

Звучно изолационата способност зависи од голем број фактори. Со испитувања се дошло до сознание дека динамичкиот модул на еластичност покажал најголемо влијание врз добиените резултати. Во случај на ниски

вредности на динамичкиот модул на еластичност, брзината на поминување на звукот низ материјалот значително се намалува, а со тоа се спречува ширењето на звучната енергија до определена мерка, што условува само дел од звучната енергија да биде пропуштена низ материјалот или преградата.

Со оглед на тоа дека за добра звучна изолација од големо значење е и порозноста на материјалот, може да се каже дека за звучно изолациони материјали треба да се применуваат материјали кои се доволно еластични и порозни и се карактеризираат со ниски вредности на модулот на еластичност. Такви материјали се: порозно влакнестите, синтетичките материјали со ќелиска и сунѓереста структура и сл.

Плочы од минерална волна. Материјалите на база на минерална (камена) волна се најупотребувани за звучна и топлинска изолација. Основна суровина за производство на камената волна претставуваат природни и силикатни материјали. Како природен материјал се користи камен: дијабаз и доломит, а како додаток се користат т.н. брикети кои се добиваат со преработка на отпадоците од технолошкиот процес со додаток на цемент. Влакната се основа на сите производи на база на камена волна. Камената волна го спречува пренесувањето на звукот. Причината лежи во структурата на камената волна која со испреплетените влакна ги уништува вибрациите на звук и ја апсорбира звучната енергија претворајќи ја во топлинска енергија. Камената волна се употребува при изолација на преградни ѕидови, поткровја, подови и надворешни ѕидови. Со вградување на камена волна во објекти, звучната изолација може да се подобри за 50% и на тој начин да го заштити објектот од несакани звуци и бучава од надвор. Својствата како што е густина, состав на врзивни средства и ориентација на влакната на волната се само дел од пресудните фактори кои ја издвојуваат камената волна во однос на другите материјали и обезбедуваат квалитетна звучна изолација.

Материјали на база на стаклена волна (плочи, ролни и др.). Овие материјали се типични за примена како материјали за звучна изолација. Се добиваат така што стаклената волна со лепење или шиене се обликува во однапред дефинирани елементи. На изолационите ефекти има влијание отворената порозност остварена во готовиот производ. При примена на овој вид материјали треба да се употребува минимална количина на врзивна супстанција, а при производство да се применуваат што е можно потенки влакна. Производите добиени на ваков начин имаат волуменска маса од 30 - 250 kg/m³ и максимална дебелина до 50 mm. Стаклената волна, како еластичен производ со долги влакна, е природно предопределена лесно да се прилагодува на сите облици и површини, лесно да се сече и поставува на конструкциите и да ја намалува можноста за појава на звучни и топлински мостови. Се употребува кај наклонети покриви, преградни ѕидови, спуштени тавани, фасадни ѕидови и подови. Слично како кај камената волна, и овде звучната изолација се постигнува поради влакнестата структура.

Плочи на база на дрвени влакна се применуваат како материјали за звучна изолација во случај кога нивната волуменска маса се движи од 150-250 kg/m³ (плочи од мек лесонит). Тоа се порозни изолациони плочи од дрвени влакна. Влакната се со лепило или без лепило и благо се притиснати и така се добиваат овие плочи кои имаат мала цврстина. Се користат како облоги на ѕид и на под.

Плочите од дрвени влакна и цемент се добри звучни изолатори, кај кои со 65% се застапени дрвените влакна, кои се тенки и долги, а 35% е портланд цемент. Влакната подлежат на третман на минерализација со задржување на механичките својства на дрвото и потоа се обложуваат со бетон. Просторот помеѓу влакната е тој што го апсорбира звукот и обезбедува добра акустика.

Комби-плочите се јавуваат како комбинација на камена волна и цемент врзан со дрвени влакна, слика 13.10. Тие може да се сретнат како трислојни, а понекогаш наместо камена волна се употребува експандиран полистирен. Се изработуваат во табли со дебелина од 3,5 до 12,5 cm и со димензии 200 x 50 cm. Тие ја подобруваат звучната излоација за 5-6 dB.



Слика 13.10 Комби плочи

Синтетички ќелиски материјали со низок модул на еластичност се материјали кои се добиваат на база на гума или други доволно еластични синтетички полимери (полиуретан, полистирол, полихлорвинил и др.). Во овој случај се работи за материјали со сунѓереста структура, кај кои јакоста и динамичкиот модул на еластичност се во директна врска со волуменската маса, која се движи во доста широки граници и тоа од 50 – 700 kg/m³. Структурата на овие полимерни материјали може да биде отворена ќелија (каде што ќелиите се меѓусебно поврзани) или затворена (каде што ќелиите се изолирани една од друга). Според тоа, тие може да го придушат звукот, но и повторно да го рефлектираат.

14 ЛИТЕРАТУРА

1. Allen, E., Iano, J., „Fundamentals of building construction materials and methods“, Fourth edition, John Wiley & Sons, 2004.
2. Ashby, Michael F., Jones, David R. H., “Engineering materials - an introduction to their properties and applications”, Cambridge University, England, Pergamon Press, 1992.
3. Barsoum, M.W., “Fundamentals of ceramics” (2 ed.). Bristol: IOP, 2003.
4. Bjegović, D., Balabanić, G., Mikulić D., “Građevinski materijali - zbirka rešenih zadataka”, Građevinski fakultet, Zagreb, 2007.
5. Bradley, F., „Natural Stone- A Guide to Selection“, Firenza, 1998.
6. Callister, W. D., “Materials science and engineering, An Introduction”, Fifth edition, John Wiley & Sons, Inc., 2000.
7. Даракчиев, Б. Д., Славов, К. Д., Дончева, Л. А., Ангелов, С. И., „Строителни материјали“, Софија, 2011.
8. Illston, J. M., “Construction materials - Their nature, behaviours and applications”, Second Edition, Chapman and Hall, 1994.
9. Jackson, N., Dhir, R. K., “Civil engineering materials”, Macmillan Education, 1988.
10. Jevtić, D., Muravljov, M., „Građevinski materijali 2”, 3. Izdanje, Akademska misao, Beograd, 2014.
11. Мурављов, М. „Грађевински материјали“, Грађевинска Књига, Београд, 2000.
12. Малмук, М. С., Заниевски, Ц. П., „Материјали за градежни инженери и инфраструктура“, Арс Ламина доо., 2012.
13. Ончевска, С. П. „Градежни материјали“, печатени предавања, Градежен факултет, УКИМ, Скопје, 2007.
14. Radonjanin, V., Malešev, M., “Konstrukcije, materijali i gradjenje” – skripta, Novi Sad, 2007.
15. Самарџиоска, Т., „Градежна физика“, печатени предавања, Градежен факултет, УКИМ, Скопје, 2009.
16. Tufegđić, V., „Građevinski materijali - poznavnje i ispitivanje” (IV izdanje), Naučna knjiga, Beograd, 1979.
17. Tufegđić, V., „Građevinski materijali II, ponašanje materijala u različitim sredinama”, Naučna knjiga, Beograd, 1975.
18. Ward-Harvey, K., “Fundamental Building Materials”, Universal Publishers, USA, 2009.

19. Zhang, H., "Building materials in civil engineering", Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 2011.
20. Živanović, B., „Materijali u građevinarstvu”, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1981.
21. Živković, S., Muravljev, M., „Građevinski materijali - zbirka rešenih zadataka”, 3. Izdanje, Građevinska knjiga, Beograd, 2011.
22. <http://en.wikipedia.org/wiki/Steel>
23. <http://en.wikipedia.org/wiki/Ceramic>
24. <http://en.wikipedia.org/wiki/Glass>
25. <http://sr.wikipedia.org/sr/Malter>
26. <http://en.wikipedia.org/wiki/Cement>
27. https://bib.irb.hr/datoteka/308456.Primjena_kamena_u_graditeljstvu_Lado_Pletikosi.pdf
28. http://www.bgfl.org/bgfl/custom/resources_ftp/client_ftp/ks1/english/career_books/building_materials/
29. <http://ebooks.narotama.ac.id/files/Building%20Materials%20in%20Civil%20Engineering/Chapter%202%20The%20Basic%20Properties%20of%20Building%20Materials.pdf>
30. <http://www.grfic.com/download/viewdownload/18-graevinski-materijali-1/59-teorija>
31. <http://www.minerals.net/mineral/gypsum.aspx>



проф. д-р Тодорка Самарџиоска

Тодорка Самарџиоска е родена 1971 година во Прилеп. Дипломирала во 1994, а магистрирала 1998 год. на Градежниот факултет во Скопје. Докторирала на Универзитетот во Велс, Велика Британија во 2006 год. Во моментов работи како вонреден професор на Градежниот факултет во Скопје. Автор е на над 100 научни и стручни трудови, објавени во меѓународни и домашни списанија и учесник на меѓународни научни конференции. За нејзината работа, добитник е на повеќе награди и признанија. Нејзина потесна специјалност се механиката, градежните материјали, градежната физика, граничните елементи, енергетски ефикасните објекти, звукот и акустиката на објектите. Член е на повеќе научни и стручни здруженија. Претседател е на ИСРМ ТК 8 и потпретседател на одделението за енергетска ефикасност во КОАИ. Коавтор е на учебникот Принципи на статиката, и автор и коавтор на бројни стручни прирачници и авторизирани предавања.

Со одлука бр. 02-2/139-42 на Наставно-научниот совет на Градежниот факултет во Скопје од 02.04.2015 год. овој ракопис е одобрен како основен универзитетски учебник по предметот *градежни материјали* на Градежниот факултет при Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје.

Според мислењето на Министерството за култура на Република Македонија, за книгата Градежни материјали се плаќа повластена даночна стапка.

ГРАДЕЖНИ МАТЕРИЈАЛИ
проф. д-р Тодорка Самарџиоска