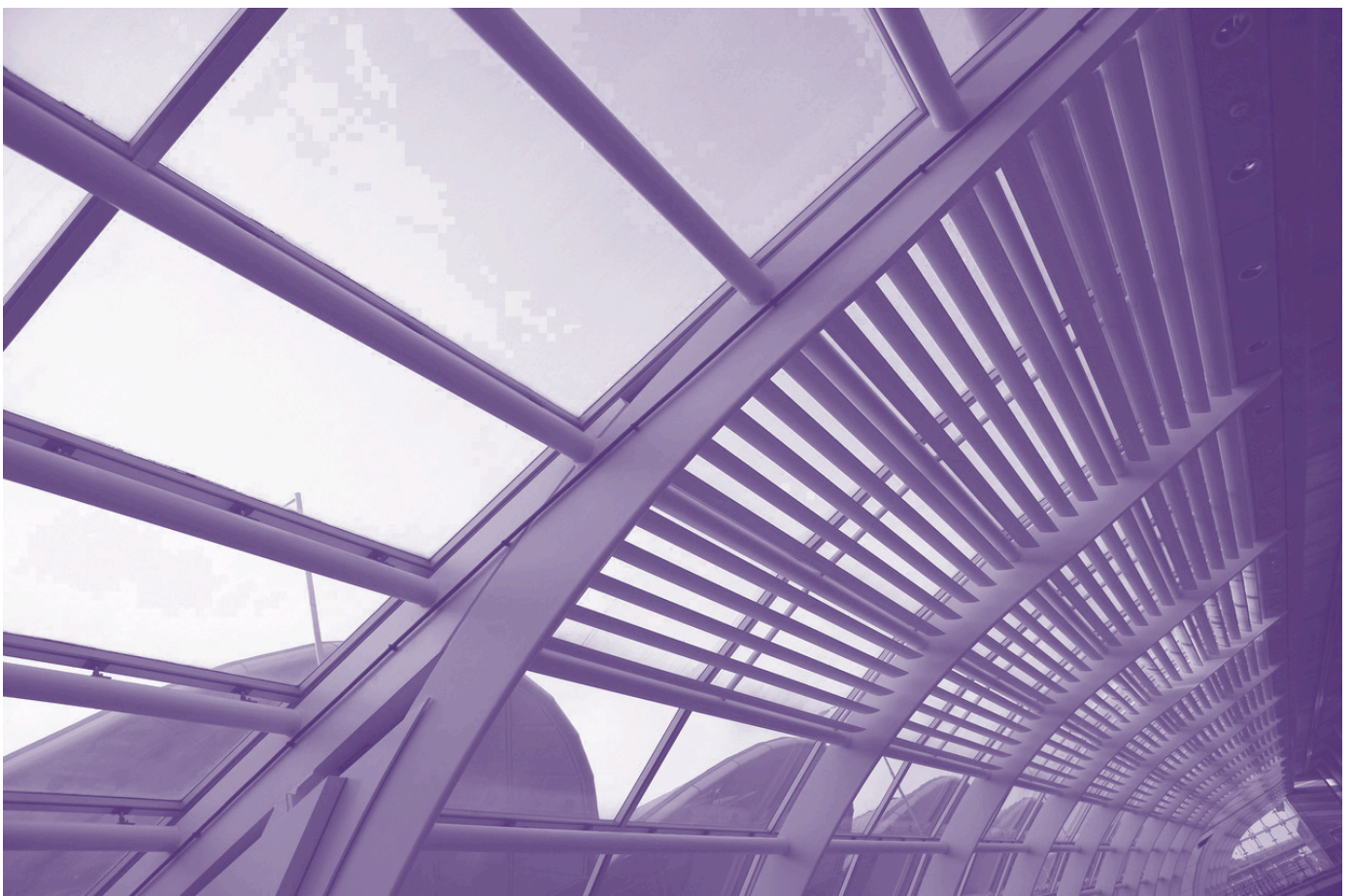




**УНИВЕРЗИТЕТ СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ ВО СКОПЈЕ**  
**МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ - СКОПЈЕ**



# Технологија на брзи прототипови, модели и

Атанас Кочов

Одобрено од Наставно-научниот совет на Машински факултет – Скопје со одлука број 02-887/7 од 05.06.2014 година  
Одобрено од Универзитетот Св.Кирил и Методиј во Скопје со одлука број 11-630/5 од 4.12.2015 година

Автор

д-р Атанас Кочов, дипл.маш.инж  
редовен професор на Машинскиот факултет – Скопје

Рецензенти:

Проф. д-р Љубен Дудески, дипл.маш.инж, Машинскиот факултет – Скопје  
Проф. д-р Гашпер Гантар, дипл.маш.инж, Универзитет во Љубљана, Словенија

Издавач:

Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје,

Скопје, 2015 година



*Посветено на Дамјан, Јана и Деспина*

## ПРЕДГОВОР

Учебното помагало е наменето за студентите од летниот семестар ( IV или VI) на Машинскиот факултет - Скопје. Пишуван е во согласност со наставната програма за предметот **Технологија на брзи прототипови, модели и алати**, за кој ја покрива содржината за предавањата во целост. Предметот е избран предмет за студиските програми: ПИ, МСКИ, ТМЛ, ТИ, АУС, МВ, ЕЕ, ХИМВ и ПИнф.

Предметот е за прв пат воведен во прв циклус на студии во студиските програми на Машински факултет-Скопје, како избран предмет, во 2012 година. Дисциплината е развиена како резултат на долгогодишната ангажираност на авторот и негова научна и апликативно-стручна работа на полето на технологија на брзи прототипови, модели и алати, како и технологија на реверзибилно инженерство. Имено, за прв пат, во 2005 година, на Машински факултет – Скопје, во рамките на проектот e-Biz CIRKO MES SE, финансиран од страна на УСАИД мисијата во Република Македонија, а кој авторот го раководеше, донесена е опрема за 3Д скенирање и 3Д принтање со цел да се отпочнат научноистражувачки активности на полето на новите напредни технологии како што се технологиите на брзи прототипови, модели и алати, со цел да се помогне на малите и средни претпријатија во Македонија во процесот на развој на нови производи за да станат поконкурентни на домашниот и меѓународниот пазар. Од тогаш до денес, во Лабораторијата за обработка со деформација и брзи прототипови, интензивно се работи на научноистражувачки проекти, објава на научни трудови, како и апликативна дејност.

Авторот им должи благодарност на рецензентите на учебникот, проф. д-р Љубен Дудески и проф. д-р Гашпер Гантар, за корисните сугестии при реализација на учебникот.

Сите забелешки и сугестии за подобрување на квалитетот на учебникот, авторот ќе ги прими со благодарност.

Авторот



## СОДРЖИНА

Вовед.....	9
<b>1. Конкуретно инженерство - Concurrent Engineering.....</b>	<b>13</b>
1.1. Развој на нов производ.....	15
<b>2. Реверзибилно инженерство (Reverse Engineering-RE).....</b>	<b>25</b>
2.1. Вовед во технологијата на реверзибилно инженерство .....	25
2.2. Технологија на реверзибилно инженерство.....	28
2.2.1. Прибирање на податоци (скенирање).....	28
2.2.2. Безконтактни методи на прибирање на податоци.....	30
2.2.3. Контактни методи на прибирање на податоци .....	34
2.2.4. Метод на оптичка триангулација .....	37
2.2.5. Опрема за реверзибилно инженерство .....	38
2.2.6. Карактеристики на Atos II .....	39
2.3. Прибирање на податоци при 3Д скенирање со системот ATOS II.....	42
2.3.1. Подготовка на објектот за скенирање.....	43
2.4. Подготовка на системот АТОС за скенирање.....	46
2.5. Скенирање.....	48
2.6. Креирање на CAD модел.....	49
2.7. Примена на технологијата на реверзибилно инженерство.....	55
<b>3. Технологија на брзи прототипови- RAPID PROTOTYPING.....</b>	<b>64</b>
3.1. Дефиниција, основни принципи.....	64
3.2. Прототип.....	65
3.2.1. Дефиниција за прототип.....	65
3.3. Видови на прототипови.....	66
3.4. Брза изработка на прототип.....	69
3.4.1. Што е брза изработка на прототип?.....	69
3.5. Општи принципи на технологијата за брза изработка на прототип.....	73
3.6. Разгледување процес за изработка на брзи прототипови.....	75
3.6.1. Влез .....	78
3.6.2. Метод.....	79
3.6.3. Материјал .....	79
3.6.4. Примена.....	79
3.7. Улогата и видот на моделот.....	79
3.8. Предности на системите за брза изработка на прототип.....	84
3.8.1. Директни придобивки .....	85
3.8.2. Придобивки за дизајнерите на производот .....	87
3.8.3. Придобивки за обработката и производниот инженер.....	88
3.8.4. Индиректни придобивки .....	89
3.8.5. Придобивки кај макретиингот.....	89
3.8.6. Придобивки кај потрошувачите .....	90



<b>4. Системите за брза изработка на прототипови.....</b>	<b>92</b>
4.1.Класификација на системи за БПТ.....	92
4.2.Примери за примена на технологијата за брза изработка на прототипови.....	95
4.2.1.Примена на технологијата за брза изработка на прототип .....	95
4.2.2. Други Примери.....	97
4.2.3. Примена во други области .....	98
4.3. Примена на RP техники во изведување на напонски анализи.....	101
4.4. Понатамошен развој на системите за брза изработка на прототип...	104
<b>5. Вовед.....</b>	<b>108</b>
5.1. Адитивно производство - производство во слоеви.....	108
5.2. Принципи на Слој по слој базирана технологија (Layer-Based) .....	109
5.2.1. Адитивно производство (АП) .....	111
5.3. Степени на примена.....	112
5.3.1. Директни процеси.....	113
5.4. Степени на примена - Индиректни процеси.....	118
5.4.1. Индиректни прототипови - Indirect Prototyping.....	119
5.4.2. Индиректно добивање на алат (Indirect Tooling) .....	121
5.4.3. Индиректно производство.....	122
5.5. Производни процеси со слоеви.....	123
5.5.1. Производни процеси со директни слоеви .....	124
5.5.2. Полимеризација .....	125
5.5.3. Ласерска Стереолитографија (SL) .....	126
5.5.4. Полимерско принтање и –Jetting.....	129
5.5.5. Дигитално светлосно процесирање (DLP) .....	130
5.5.6. Микро-стереолитографија .....	132
5.5.7. Синтерување и топење.....	132
5.5.8. Ласерско синтерување – Селективно ласерско (LS - SLS) .....	133
5.5.9. Ласерско топење – Селективно ласерско топење (SLM).....	136
5.5.10. Топење со електронски зрак.....	138
5.5.11. Екструдирање – Fused Layer Modeling (FLM) .....	139
5.5.12. Fused Deposition Modeling (FDM).....	140
5.5.13.Три-димензионално печатење .....	142
5.5.14. Три-димензионално печатење – Z-Corporation .....	142
5.5.15. Словито производство на ламинати (LLM).....	146
5.5.16. Други процеси: Печатење со аеросол и Биоплотер .....	148
Печатење со аеросол .....	148
Биоплотер .....	148
5.6. За потенцијалот на адитивното производство.....	149
5.6.1. Потенцијали и перспективи .....	150
<b>6. Примери.....</b>	<b>155</b>

6.1. Примери за 3Д дигитализација.....	155
6.2. Вовед во Rapid Prototyping.....	160
6.2.1. DIMENSION 3D Printer.....	161
6.3. Изработка на 3D модел.....	165
Испраќање на CAD File кон системот.....	166
<b>7. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>178</b>

## Вовед

Брзиот развој на науката и технологијата, примената на нови современи технологии на секое поле, во секоја научна и применета област, доведува до поставување на нови повисоки барања поврзани со примена на современи, напредни постапки за развој, примена на напредни технологии во дизајнирање на производните процеси, нови пристапи во процесите за развојот на нов производ. А на крајот, сепак суштината е пласирање на високо квалитетен производ на пазарот.

Целта е производот да биде добиен за краток временски период, со минимални вложувања и трошоци, како и примена на напредни технологии и интегрирани системи од раната фаза па се до ниво на сервиско производство во рамките на компанијата. Токму затоа, производните стратегии на компаниите се насочени кон основните клучни фактори (слика 1) за успешни и конкурентни компании, а тоа се:

- скратувањена времето за развој на нов производ
- намалување на трошоци
- зголемена флексибилност
- подобрен и висок квалитет на производот.

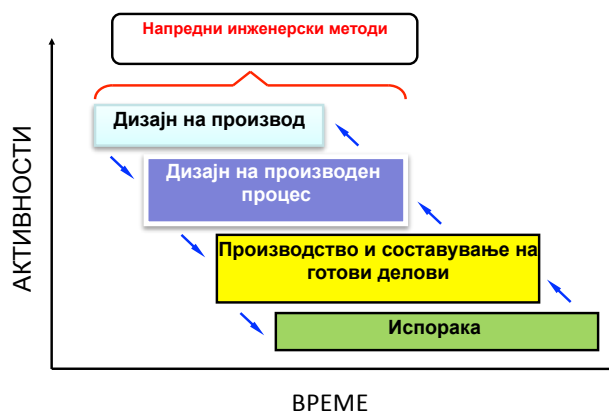
Воведување на нови технологии и методи во секојдневните производни процеси на компаниите како консензуално прифатени фактори за

- Скратување на времето потребно за развој на нов производ
- Намалување на трошоците
- Зголемена флексибилност (на производот и на производниот процес)
- Подобрување на квалитетот

### Слика 1. Клучни фактори за успешни конкурентни стратегии

Извор: сопствени истражувања

Притоа, во последните декади, тенденција е животниот век на траење на производот значително да биде намален, а во некои случаи станува вообичаено дека векот на користење на производот е пократок од времето потребно за негов развој.



Слика 2. Активности наспроти време

Извор: сопствени истражувања

Во такви услови, новите технологии како што се: технологијата на брзи прототипови- RAPID PROTOTYPING (RP), технологија на брза изработка на алати - RAPID TOOLING (RT), реверзибилно инженерство – REVERSE ENGINEERING (RE), и соодветно 3Д скенирање, 3Д принтање, претставуваат нови и ефикасни технологии кои им обезбедуваат на компаниите можност, времето на развојот на производот и негово пласирање на пазарот, значително да го намалат (слика 2).

За разлика од конвенционалниот пристап и начин на размислување, светскиот технолошки развој, со своите нови и современи технологии наметнува и потреба од промена на пристапот и начинот на размислување и водење на компаниите, организациите, а тоа е од *конвенционален кон кокурентен пристап*, односно имплементирање на конкурентно инженерство – CONCURRENT ENGINEERING (CE) во компаниите.

Токму затоа, во овој учебник, ќе бидат претставени основите на конкурентното инженерство, технологијата на реверзибилно инженерство и технологија на изработка на брзи прототипови, како современи помошни алатки за подобрување на конкурентноста на компаниите во скратување на времето потребно за развој и пласирање на производот на пазар.

Овие технологии, предизвикаа големо внимание во научната и стручна јавност, не само заради можностите кои ги даваат за развој и унапредување на компаниите, туку и поради можноста за примена на овие технологии не само во сферата на машинството, туку и во сферата на авио и автомобилската индустрија, прехранбената индустрија, како и медицината преку користење на биоматеријали. На самиот почеток, процесот на примена на овие технологии бил фасцинантен, но премногу скап и комплициран. Во понатамошниот развој



овие технологии претрпеа трансформација од скапа и неатрактивна за индустријата, во мошне ефикасен процес кој е клучен за брз и современ развој на нов производ, како и подобрување на конкурентноста на компаниите на пазарот.

Поимовник

технологијата на брзи прототипови- RAPID PROTOTYPING (RP)

технологија на брза изработка на алати - RAPID TOOLING (RT)

реверзибилно инженерство – REVERSE ENGINEERING (RE)

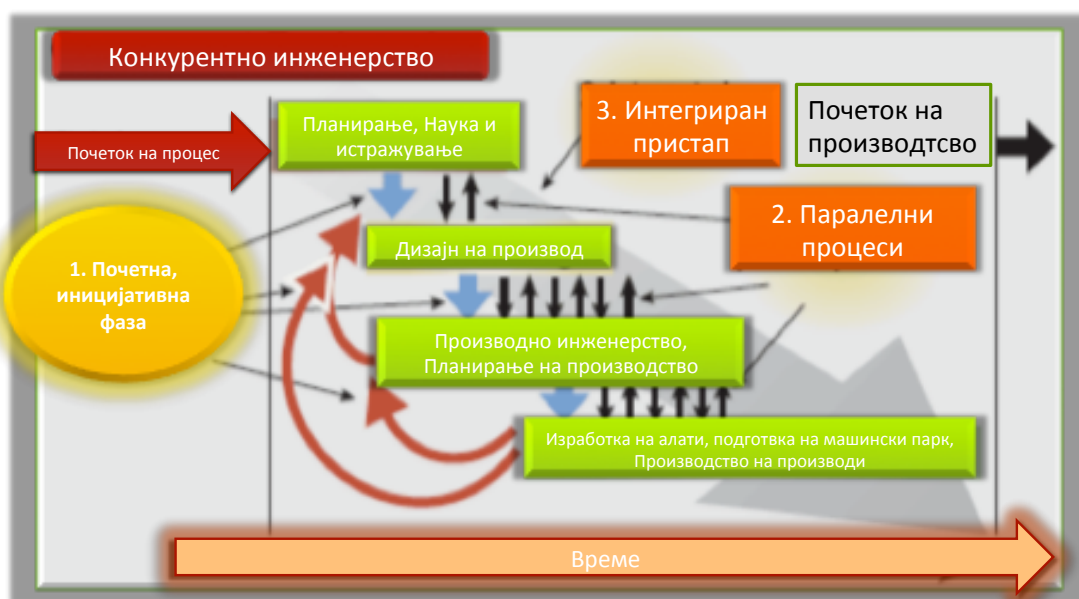
конкурентно инженерство – CONCURRENT ENGINEERING (CE)

# ГЛАВА 1

## 1. Конкурентно инженерство - Concurrent Engineering

Секојдневните потреби за брз и ефикасен систем за развој на нови процеси, производи, сервиси ја предизвика појавата на конкурентното инженерство - CONCURRENT ENGINEERING (CE).

Имено, конкурентно инженерство е методологија на работење при која неколку тимови, мултидисциплинарни, во рамките на една компанија работат истовремено, со цел да се развијат нови производи и услуги кои компанијата ќе ги понуди на пазарот (слика 1.1). На тој начин и со нивно ангажирање во повеќе аспекти, односно во сите фази на развојот на производот, од идеја до пласирање на производот на пазарот, конкурентно, вкупното потрошено време за добивање на нов производ се намалува значително. На пазарите каде што има посебен притисок и потреба од нов производ, компонентата време и тимски пристап<sup>1</sup> во развојот на производот имаат посебна предност.



Слика 1.1. Конкурентно инженерство

Извор: <http://www.globaldenso.com>

На пример, во области во кои се работи на многу развиена и висока технологија, како што се електрониката и телекомуникациите, секојдневно се зголемуваат барањата за производи со високи перформанси, соодветни на

<sup>1</sup> <http://www.referenceforbusiness.com/management/Comp-De/Concurrent-Engineering.html>

новите современи и напредни технологии, а нивото на цените на истите тие производи, се намалува речиси секојдневно. Токму затоа, во овие области, способноста на компанијата да ја задржи својата конкурентска предност во голема мера зависи од навремено воведувањето на нови или подобрени производи и технологии. Се повеќе и повеќе, времето како параметар ја прави тенката разлика меѓу опстанокот и значителен одржлив профит на компанијата. Токму затоа, конкурентното инженерство е клучен метод за задоволување на оваа потреба за скратување на времето за пласирање на новиот производ на пазарот.

Основните принципи на кои темели конкурентното инженерство се *тимови на експерти од различни дисциплини* кои формално се охрабруваат да работат заедно, а се со цел да се осигура позитивен тренд за развојот на новиот производ, услуга, процес, дизајн и дека истиот напредува без проблеми во процес во кој сите учесници ги делат истите, тековни информации (слика 1.2). Менаџирањето на проектот и решавање на проблемите значи примена на методи и технологии кои се користат за да ги дефинираат основните елементи во дизајнот и развојот на новиот производ. Затоа, општо е прифатено дека конкурентното инженерство се карактеризира со два основни процеси:

- процес со висок степен на паралелно одвивање на фазите за развој на новиот производот.
- постоење на едно место на податоци, база, поврзана со развојот на производот, а која е на располагање на сите учесници во процесот на развој на производот.

Производите во целост мора да ги задоволат **проектираните и сервисните побарувања**, спецификации и стандарди

**Квалитетот** мора да биде вграден во производот во секој чекор од дизајн до производство

- Висок квалитет не мора да значи и висока цена на чинење на производот!
- Висок квалитет е далеку подостижен и помалку скап, доколку дизајнот и производните активности се правилно интегрирани, отколку истите се третираны поединечно
- Интегрирањето може да биде извршено успешно и ефективно преку примена на напредни инженерски методи, компјутерски дизајн, инженерство, производство, процесно планирање и симулација на процеси и производи ( CAD/CAM/CAE/CIM/ CAPP)

a)



- Да се испитаа и внесат **најекономични методи за производство**
- Производните процеси и операции мора да **имаат доволна флексибилност** за брзо одговарање на побарувањата на глобалниот пазар кој постојано се менува
- Производството мора во континуитет **да се стреми кон повисоки нивоа на квалитет и продуктивност**

б)

**Слика 1.2. Цели на конкурентното инженерство**

Извор: сопствени истражувања

Процесот на развој на производот содржи различни активности и различни автори различно го класифицираат.

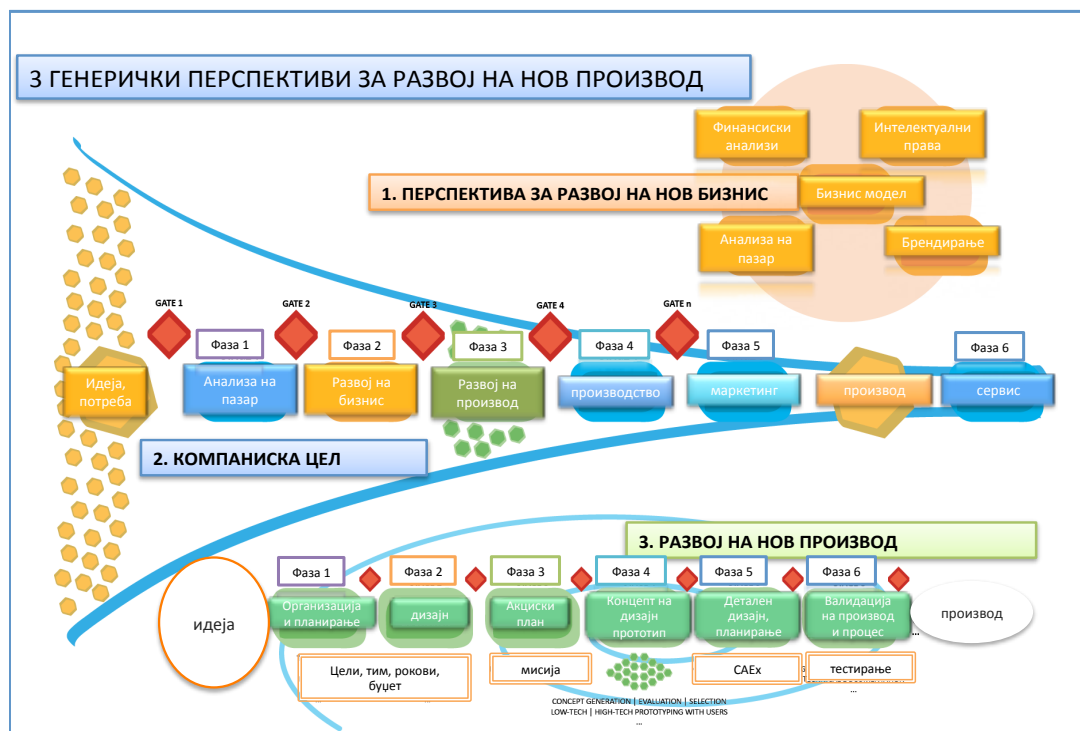
Но, сите автори се согласуваат со фактот дека развојот на производот вклучува не само конкретен развој на производ, туку и развој на алати, машини и технологија кои се потребни за изработка на тој производ.

**1.1. Развој на нов производ**

Потребата за развој на нови производи, во услови на конкурентно инженерство, само по себе подразбира разбирање, креирање, дизајнирање, моделирање, симулации на процеси и производи уште во раните фази на иновативниот процес, а се со цел да се овозможи и обезбедат услови за правилни одлуки во развојниот процес и одржлив иновативен излез.

Од тие причини при развој на нов производ, потребно е да процесот да биде поддржан со три генерички перспективи (слика 1.3), а тоа се:

- развој на нов бизнис
- компаниски перспективи
- перспективи за развој на нов производ



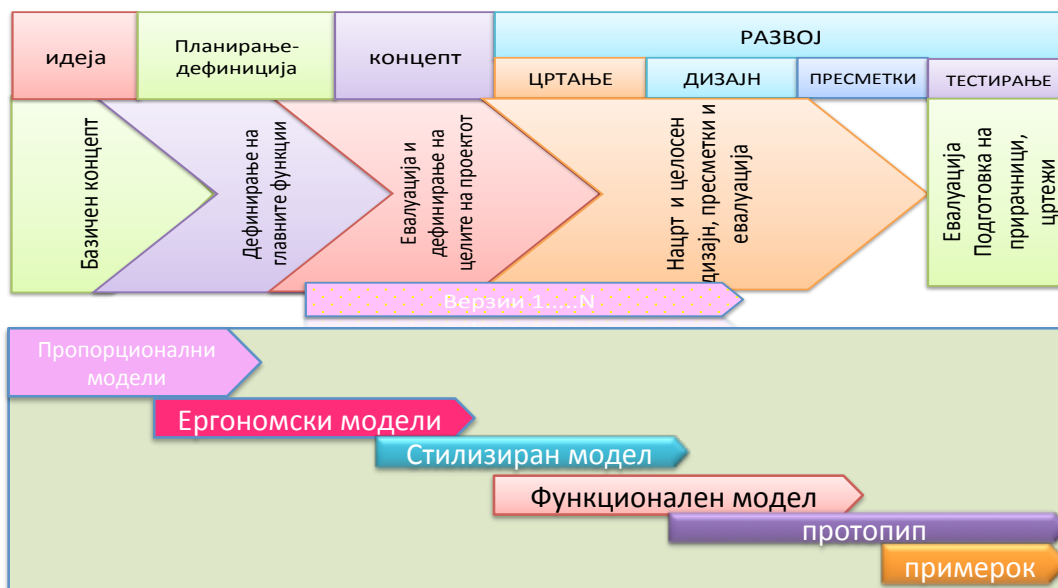
Слика 1.3 Генерички перспективи за развој на нов производ

Извор: <http://www.bth.se/ing/pi.nsf/pages/pd>

Иако, горенаведниот концепт е ветувачки, не е голем бројот на компании кои го применуваат како пристап во процесот на развој на нови иновативни производи или процеси, како резултат на недоволната екипираност со човечки ресурси, недоволно автоматизација, софтверски решенија за симулација и иновативен дизајн, културолошки пречки итн. Најчесто, процесот на развој на нов производ може да се подели на два генерално прифатени пристапи:

- конвенционален пристап
- пристап базиран на методологија на симултано ' конкурентно инженерство.

Согласно конвенционалниот пристап на развој на производ, како и производен процес на производство на истиот, може да се опише според германските стандарди VDI 2221, развојот на производот ги содржи следните чекори: креирање идеја, планирање / дефиниција на производот, концепт, развој / разработка на моделот (слика 1.4).



Слика 1.4. Фази во развој на производ<sup>2</sup>

Извор: <http://www.vdi.eu/engineering/vdi-standards/>

Идејата како прва фаза во развојот на производот ја опфаќа и функцијата на основната концепција и утврдување на важните карактеристики на идниот нов производ. Во таа фаза, а посебно, во фазата на дефинирање и концепција се утврдува функцијата на производот, неговата основна конструкција, а со тоа и постапките и процесот на изработка на истиот. Во оваа фаза се донесува и одлука со која се потврдуваат ресурсите и постапките, а со тоа и трошоците во почетниот стадиум. По оваа фаза, промени не се пожелни, но се возжони, со тоа што процесот се повторува.

Од фазата на концепт, се поминува во фаза на остварување на задачите поставени од претходните фази. Значи, после развојот на концептот, настапува фаза на конечен дизајн на производот, конструкција на алати за изработка на производот и фаза на планирање на производниот процес т.е производството. На крајот, производот се пласира на пазарот. Ова е класичен начин за развој на еден производ.

Суштината на таквата класична постапка е да ни еден чекор не смее да се почне пред да биде завршен претходниот и тоа е основа на т.н. конвенционален процес на развој на производ (слика 1.5).

<sup>2</sup> VDI 2221 Systematic approach to the development and design of technical systems and products, <http://www.vdi.eu/engineering/vdi-guidelines/>

## Процес на развој на нов производ



Слика 1.5 Процес на развој на нов производ

Извор: [www.ibbusinessandmanagement.com](http://www.ibbusinessandmanagement.com)

За разлика од конвенционалниот метод, основната суштина на **конкурентното инженерство** е да се утврди методологија на паралелно остварување на поедините чекори во развојот на производот. На тој начин можат да се избегнат скапите повторувања кои го продолжуваат процесот. Се додека конвенционалниот начин (чекор по чекор) во одвивањето во процесот во развојот на производот е поврзан со итеративниот процес (повторувачки процес) дотогаш ќе овозможува ефикасен паралелен или делумно паралелен процес.

Поаѓајќи од основната потреба да се биде поконкурентен на пазарот и да се овозможи скратување на времето за развој на нов производ, конкурентното инженерство низ паралелен пристап и мултидисциплинарни тимови кои работат со заедничка база на податоци, овозможува клучниот фактор – **време потрошено за пласирање на производ на пазар** или добро познато како **key to market** ( слика 1.6), да биде значително намален.



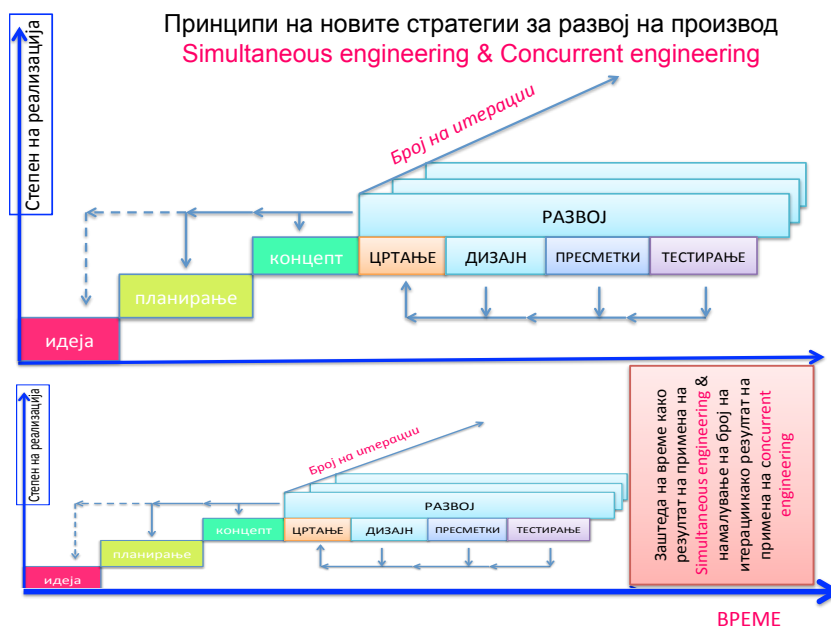
Слика 1.6 Време – клучен фактор во конкурентно инженерство

Извор: сопствени истражувања

Имено, како резултат на постоењето и активно користење на заедничка база на податоци, тимското работење и поврзаноста на мултидисциплинарните тимови кои се ангажирани за развој на производот, сите инволвирани во процесот имаат можност за постојано следење на целиот процес, а со тоа развојот на производот ќе се подигне на високо ниво. Таквиот паралелен



пристап, овозможува паралелна работа со која се овозможува и заштеда на време во процесот (слика 1.7). Согласно направените анализи, заштедите во време при имплементирана методологија на конкурентно инженерство, заштедени се трошоци и до 50 %.



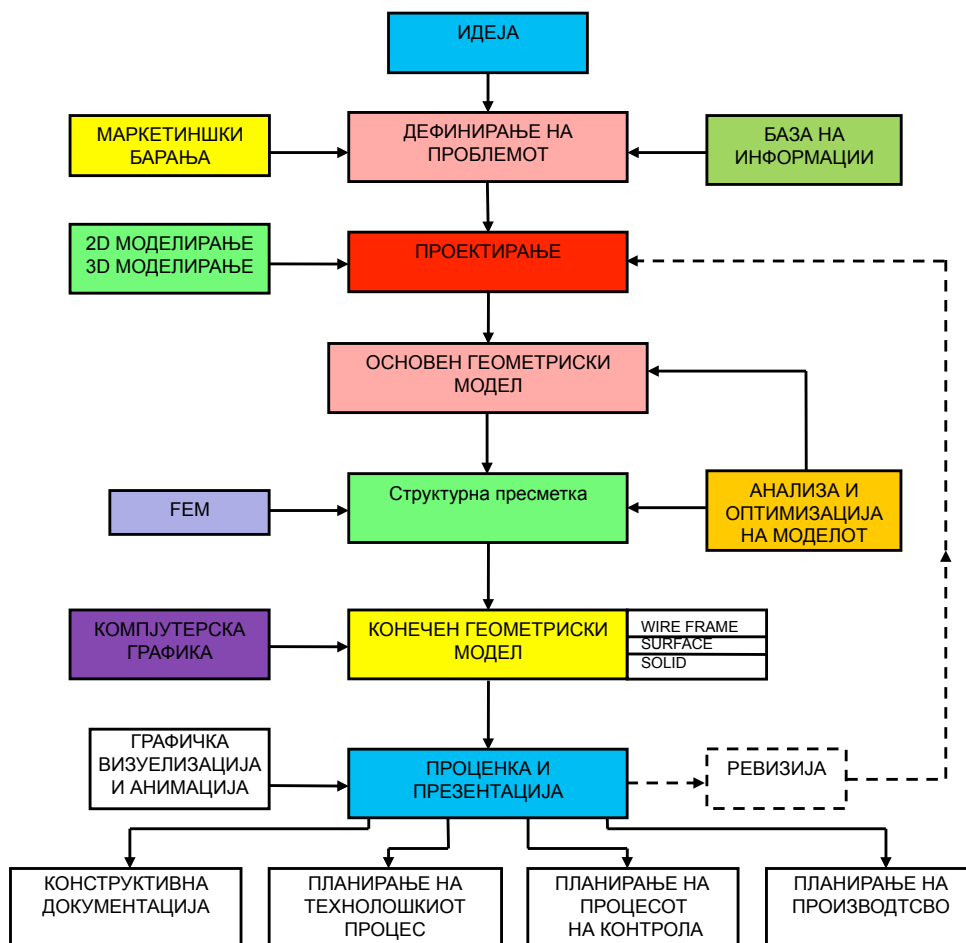
Слика 1.7. Придобивки од применета методологија на конкурентно инженерство

Извор: сопствени истражувања

Притоа, во развојниот процес доаѓа и од потреба за измена на производот. Токму затоа, при имплементирана методологија на конкурентно инженерство, посебно е важно да се користат интегрирани CAD/CAM/CAE системи кои овозможуваат сите овие измени и итерации да се прават (слика 1.8) брзо и ефикасно, а во насока на оптимизирање на производот.

Идејата за развој на дизајн базиран на симулации и иновации веќе долго време е присутна во научните сфери, посебно откако компјутерските техники отворија можност за брзи и ефикасни итерации. Целата идеја е да се постави и да се стартува симулација со цел да се дефинираат и предвидат перформанси на производот-услугата (по можност во сите димензии, како што се економска / еколошка / социјална димензија, како и од аспект на одржливоста, технички перформанси, иновација, ефикасноста на тимот, итн) во самиот почетокот на циклусот на дизајн и на таа основа да се донесат одлуки за промени уште во самиот почеток за да се предвиди резултатот.

Ваквиот пристап на симулации, итерации и подобрување на дизајнот е најдобро да се направи со примена на интегрирани CAD/CAE системи со кои се овозможува верификација на дизајнот на производот, процесот и овозможува продолжување на процесот на развој на производот кон изработка на прототип, визуелизација и маркетинг, како и дизајна на производниот процес.



Слика 1.8 Примена на интегрирани системи за развој на производ

Извор: Љ.Дудески: Компјутерски потпомогнато инженерство-CAE, МФС

Во процесот на развој на производот и примената на методологијата на конкурентното инженерство, посебно внимание треба да се обрне на примената на напредните инженерски технологии и редоследот на фазите, бројот на итерации, согласно слика 1.8. Во таа насока, погоре споменатото

може да се претстави како процес во три значајни фази, прикажани на слика 1.9, а тоа се:

- индустриски дизајн и развој
- CAD & дизајн за проиводност на делот
- Визуелизација и маркетинг медиа



Слика 1.9 Фази во развој на производ

Извор: <http://www.arizona-ideaworks.com/product-development>

Токму од тие причини, многу е важно да се спомене дека било какви измени е добро да бидат направени на самиот почеток на процесот на развој на производот, бидејќи доколку измените во развојот на производот настанат во подоцнежните фази, во тој случај и трошоците кои настануваат ќе бидат многу поголеми.

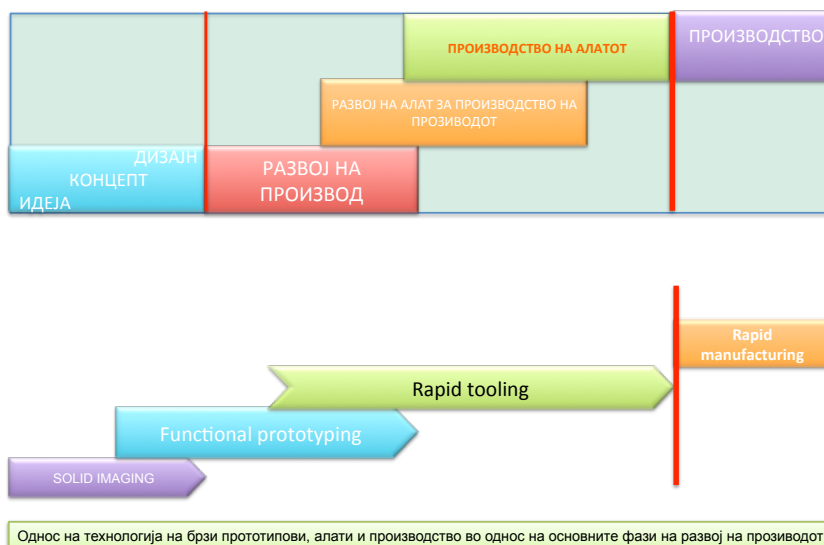


Слика 1.10 Фактори поврзани со дизајн и развој на нов производ

Извор: [www.rgcl.co/](http://www.rgcl.co/)

Од дијаграмот може да се забележи дека во фаза на идеја трошоците се приближно 3 единици, а во фазата на пресметка е приближно  $10^4$  единици на трошоци (слика 1.10). Значи, не е важно само брзо донесување на одлука за измена на производот, туку многу е важно одлуката да се донесе во почеток на самата идеја во процесот. Овие почетни фази се клучни во развојот и имаат големо значење врз вкупните трошоци на развојот на производот. Анализите покажуваат дека трошоците кои настануваат во раната фаза на развој на производот, може да достигнат и до 70% од вкупните трошоци, но добро дефиниран развој на производ, иновативен концепт, како и добро дизајниран производен процес значително влијаат на намалување на трошоците во подоцнежните фази.

Истовремено, посебно место во процесот на развој на нов производ наоѓа и техниките и технологиите кои ќе бидат применети како иновативни техники и технологии, како што се реверзибилното инженерство, технологијата на брзи прототипови (слика 1.11), за кои се разработени во наредните поглавија.

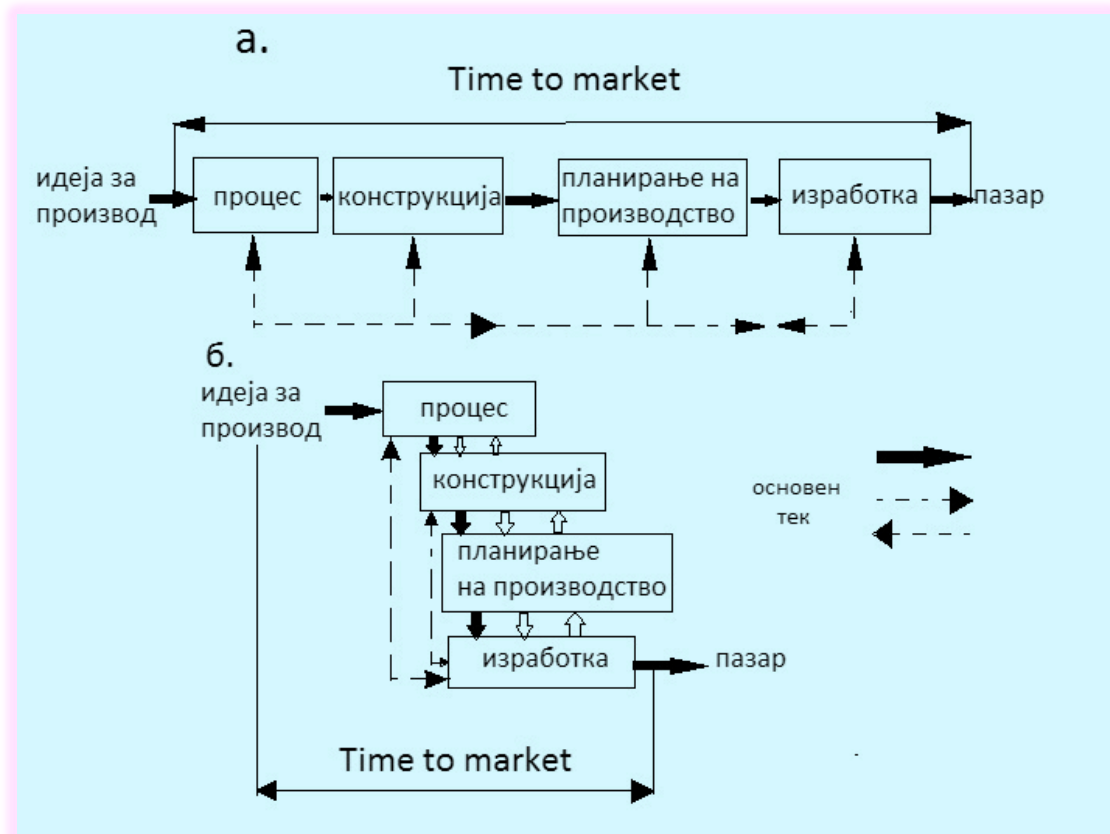


**Слика 1.11 Техники и технологии кои се користат во процес на развој на нов производ**

Извор: сопствени истражувања

**ДОДАТОК А:**

Споредба на пристапот и времето како клучен фактор на конвенционално наспроти конкурентно инженерство



Слика 1.12 Време потребно за пласирање на производ на пазар со примена на а. конвенционален пристап и б. конкурентно инженерство<sup>1</sup>

Извор: <http://www.mrdashboard.com>

## ГЛАВА 2

## 2. Реверзибилно инженерство (Reverse Engineering-RE)

Во последните неколку години, со интеграцијата CAD/CAM системот и системот за 3D дигитализација, реверзибилното инженерство станува важен алат за проектирање и производство.

### 2.1. Вовед во технологијата на реверзибилно инженерство (Reverse engineering- RE)

**Реверзибилното инженерство (Reverse Engineering)** е технологија која многу брзо се развива и наоѓа примена во голем број активности. Додека класичното инженерство ги претвора инженерските концепти и модели во делови, во **реверзибилното инженерство** деловите се трансформираат во инженерски концепти и во модели. Постоенето на компјутерски модел е од голема корист за подобрување на квалитетот и ефикасноста на дизајнирањето (конструирањето), производството и анализите.

Технологијата на **реверзибилното инженерство** наоѓа примена во многу различни области. Најмногу се користи кога има потреба од реконструирање на некој постоечки дел, односно кога се бараат анализи и модификации за да се конструира нов подобрен производ. Во автомобилската индустрија каде естетскиот дизајн е особено важен примарно се изработуваат дрвени или глинени 3Д модели преку кои се оценува дизајнот на производот. Од овие модели со помош на технологијата на **реверзибилното инженерство** се изработуваат компјутерски модели кои се користат за проектирање на алати за нивно производство. Често оваа технологија се применува при потребата да се произведе копија од дел, чии оригинални цртежи или техничка документација не се достапни.

Технологијата на **реверзибилното инженерство** не се базира на принципот на копирање, туку на технологија која работи на принципот на 3Д скенирање. Поради важноста за нивно разграничување ќе се опише разликата помеѓу концептот на 3Д копирање и 3Д скенирање. 2Д фотокопирот е машина која зама хартија и печати хартија со ист текст како и оригиналот. На ист принцип функционираат и 3Д копирањето. Тие се машини кои од едно тело

прават копија идентична по облик како и оригиналот, не земајќи го во предвид материјалот од кој е направена копијата. За разлика од нив 2Д скенерите не служат само за да го префрлат текстот во компјутерот, туку тие можат да ги препознаат карактерите, фигурите и сликите. Слично е и кај 3Д скенерите. Тие со скенирањето нема само да ги земат во предвид суровите податоци од објектот, туку податоците ќе бидат протолкувани и од нив ќе се создаде компјутерски модел. Со 3Д скенерите можностите се многу поголеми од создавање само на копија. Со нив препознаените облици се во употреба и заради тоа може да се изведат нови облици и површини, да се направат варијации, анализи и разни подобрувања на постоечкиот производ.

Главна цел на технологијата на **реверзибилното инженерство** е создавање на интелигентен 3Д скенер. Подеднакво голем проблем е и самото снимање на површините и облиците и нивно трансформирање во CAD модел. Изнаоѓањето на решение за создавање на комплетен и конзистентен CAD модел во денешно време исто така представува цел. Процедурата, односно фазите на технологијата на **реверзибилното инженерство** се претставени на сликата 2.1.



Извор: <http://www.reverseengineeringoutsourcing.com>

Слика 2.1. Фази на технологијата на реверзибилното инженерство

Сепак ваквата поделба на оваа технологија по фази не е целосна. Всушност овие фази често се преклопуваат и скоро секогаш има потреба од извесен број на итерации во поедини фази, како што е прикажано на слика 2.2<sup>3</sup>. Оваа шема може да му помогне на читателот да го сфати протоколот на информации во технологијата на **реверзибилното инженерство**.

<sup>3</sup> Љ. Дудески, САЕ, учебно помагало, Универзитет Св.Кирил И Методиј во Скопје, 2005



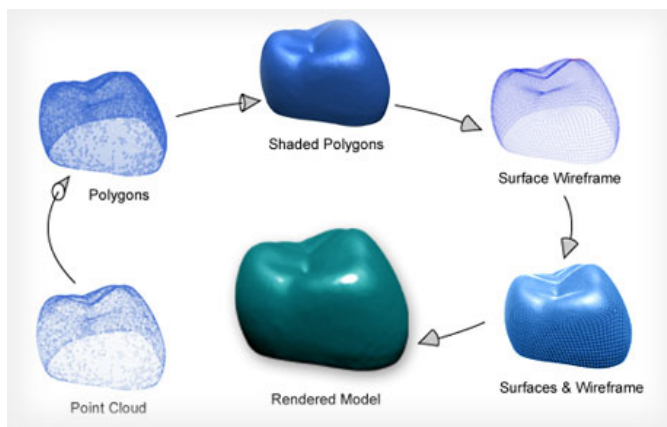
Клучен елемент во технологијата на **реверзибилното инженерство** е *прибирањето на податоци со помош на скенирање*. Од квалитетот на прибраните податоци ќе зависи и квалитетот на добиените површини. На крајот од фазата на прибирање на податоци се добива **облак од точки (points of clouds)**. **Облакот од точки (points of clouds)** претставува збир на точки кои се поставени на одредено место во просторот и немаат никаква релација помеѓу себе. Вака поставените точки се неупотребливи и треба да се пристапи кон нивно поврзување.

*Сегментација и нагудување на површините* претставува групирање на точките од **облакот на точки**, со што доаѓа до нивно поврзување и генерирање на површини. После сегментацијата, точките стануваат употребливи и може да се искористат за изработка на алат, меѓутоа треба да се нагласи дека групираниите точки сеуште не претставуваат CAD модел.

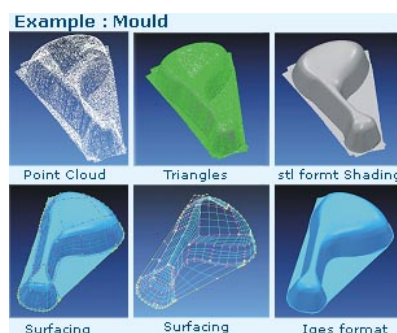
*Креирањето на CAD модел* претставува покомплексен процес, каде треба да се оформат математички дефинирани површини на база на добиените точки од скенирањето. Ова е едноставно при креирање на едноставни површини. Меѓутоа поради фактот дека со оваа постапка повеќе се третираат делови со посложен облик, генерирањето на површини врз тие сложени облици не е ни малку едноставно и затоа оваа фаза трае неколкупати подолго од претходните две заедно.



Извор: <http://www.master3dgage.com>



Извор: <http://www.qpluslabs.com>



Извор: <http://www.akashindustries.net/reverse.htm>

## Слика 2.2. Фази на прибирање податоци при реверзибилно инженерство

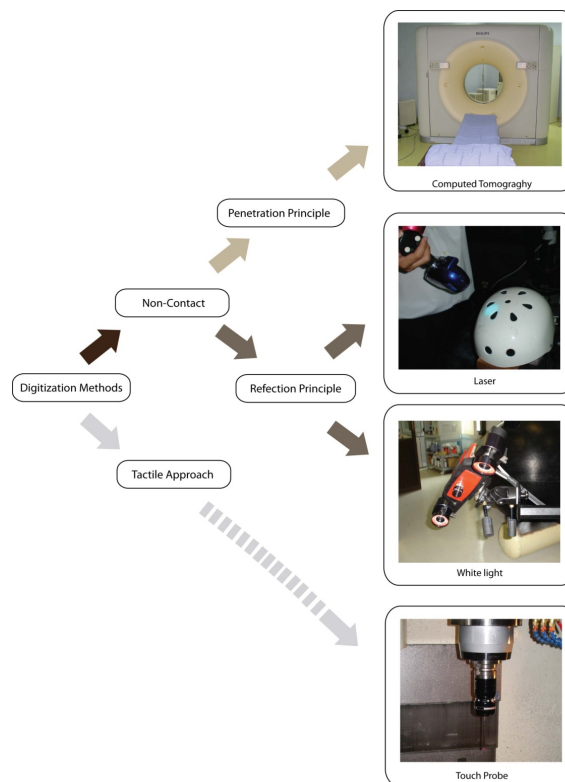
Примената на технологијата на **реверзибилното инженерство** е огромна. Почнувајќи од машинството, преку архитектурата, уметноста, медицината, наоѓа примена и во многу други области на човековото живеење. Сепак поради големата точност и брзина на прибирање на податоци, скратувањето на времето потребно за исфрлување на нов производ на пазарот до десет пати, оваа технологија е најприменувана во машинството.

## 2.2. Технологија на реверзибилно инженерство

### 2.2.1. Прибирање на податоци (скенирање)

Прибирањето на податоци е прва фаза во технологијата на **реверзибилното инженерство**. Исто така, оваа фаза е најважна бидејќи од квалитетот на собраните податоци ќе зависи и квалитетот на површините што ќе се добијат на крајот.

Во оваа фаза со помош на одредени инструменти се прибираат податоци за површините. Како краен резултат се добива **облак од точки (points of cloud)**. Овие точки се распоредени на одредено место во просторот и го опишуваат обликот, односно рељефот на снимената површина. Меѓутоа, овие точки меѓу себе немаат никакви релации и односи и не претставуваат површина, туку само засебни елементи распоредени во просторот. Постојат многу различни методи за прибирање на податоци од површините. Секој метод користи некаков механизам на меѓусебно влијание со површината или волуменот на објектот. Различните методи на прибирање на податоци се претставени на сликата 2.3.





Слика 2.3. Методи на прибирање податоци при реверзибилно инженерство

Генерално сите овие методи можат да се поделат на две групи, и тоа:

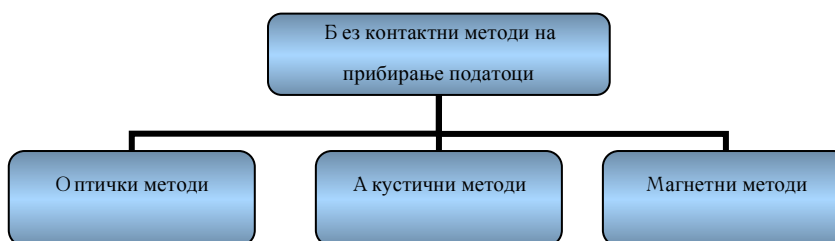
- контактни методи и
- безконтактни методи.

Кај контактните методи информациите за одредена површина се добиваат со помош на контакт на механичка сонда со површината. За разлика од нив кај безконтактните методи со помош на светло, звук или магнетно поле се добиваат податоци за разгледуваната површина. Секој од овие методи мора ја одреди положбата на секоја точка на површината на објектот или пак да ја лоцира во однос на некоја референтна точка.

Секој од овие методи има свои предности и недостатоци. Поради тоа системот за прибирање на податоци треба да биде внимателно одбран во зависност од површината или волуменот за кој сакаме да добиеме податоци.

### 2.2.2. Безконтактни методи на прибирање на податоци

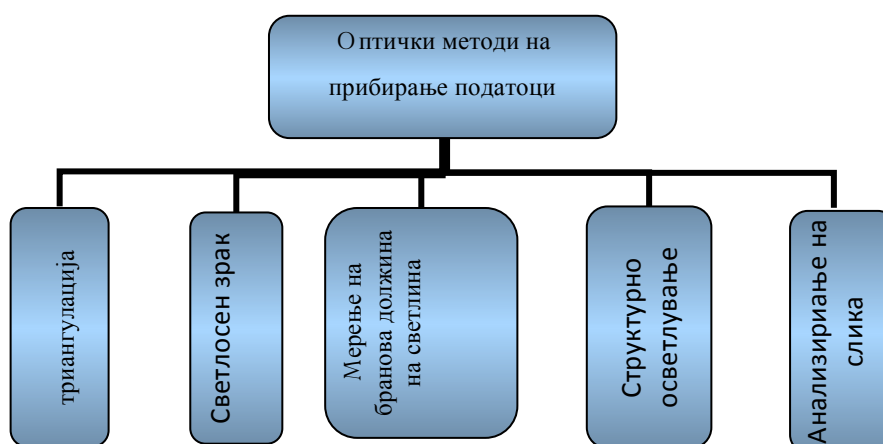
Кај безконтактните методи системот за прибирањето на податоци не стапува во контакт со работната површина. Овие методи на прибирање на податоци генерално се поделени во три групи, како што е прикажано на слика 2.4.



Слика 2.4. Безконтактни методи на прибирање на податоци

Извор: сопствени истражувања

*Оптичките методи* за снимање на површината се најраспространети, најпопуларни и едни од најбрзите методи за прибирање на податоци. Петте најважни категории на оптички методи на прибирање на податоци се прикажани на сликата 2.5.



Слика 2.5. Оптички методи на прибирање на податоци

Извор: сопствени истражувања

*Методот на триангулација* е метод на прибирање на податоци со користење на локацијата и аголот помеѓу светлосниот извор (проектор) и фотоосетлив уред (камера). Високо енергетскиот проектор проектира светлина врз работната површина под агол кој е претходно одреден. Фотоосетливиот уред, кој вообичаено е видео камера, ја регистрира одбиената светлина од површината и користејќи го методот на геометриска триангулација од познатиот агол и растојание се пресметува положбата на некоја точка на површината. Во некои конструктивни изведби светлосниот извор и камерата се монтирани на подвижна платформа и таквиот склоп движејќи се може да

прави повеќе скенови на површината. При оваа постапка можно е да се користат и различни изведби на светлосниот извор.



**Слика 2.6. Прибирање на податоци со методот на триангулација**

Извор: [www.keyence.com](http://www.keyence.com)

Собирање податоци со метод на триангулација, користејќи проекторски извор на светлина прикажано на слика 2.6.



**Слика 2.7. Прибирање на податоци со методот на триангулација**

Извор: [www.keyence.com](http://www.keyence.com)

Собирање податоци со метод на триангулација, користејќи ласерски извор на светлин, прикажано на слика 2.7.

Прибирањето на податоци од површините со методот на триангулација ги има следниве предности:

- голема точност, која се одредува во зависност од резолуцијата на камерата и од растојанието помеѓу површината и скенерот,
- краткиот временски интервал на прибирање на податоци,
- безбедноста при работата,

- релативно ниската цена на опремата.

Методот со *светлосен зрак* го одредува растојанието преку мерење на времето на движење на зракот. Во зависност од времето измерено во интервал од испуштањето на светлосниот зрак од изворот, до неговото регистрирање од мерната сонда се одредува висината на скенираната точка на профилот. Кај оваа метода на скенирање за таа цел се користат ласерски и пулсирачки светлосни зраци. Недостатоци на оваа метода се:

- малата точност на добиените податоци за површините,
- појавата на интерференција од околната светлина,
- бавното прибирање на податоци.

*Методот на мерење на брановата должина на светлината* го мери растојанието од мерната сонда до скенираната точка преку секвенци на бранови должини користејќи интерференциски шаблони. Овој метод е доста точен поради тоа што видливата светлина има бранова должина која се мери со точност од неколку микрони, додека многу од техниките за **реверзибилно инженерство** користат методи кои мерат растојанија во опсег од сантиметри. Во пракса се користи високо енергетски извор на светлина со цел да се обезбеди и зрак на монохроматска светлина за да го испита објектот и референтен зрак за споредба со рефлектираната светлина. Недостаток на овој метод е појавата на интерференција од околната светлина кој го попречува прибирањето на податоци.

*Структурното осветлување* е метод кој проектира светлосен сноп врз површината и прави слика на база на резултатите добиени од рефлектираната светлина од површината. Добиената слика се анализира со цел одредување на координатите на точките од површината. Познатиот метод на структурно осветлување го користи принципот на проектирање на светлосен шаблон кој како сенки проектира контурни линии на работната површина. Овие контурни линии се сликаат и се анализираат за да се одреди растојанието помеѓу нив. Ова растојание е пропорционално со висината на површината во работната (мерената) точка со што може да се одредат координатите на точките од површината. Предност на методот на структурното осветлување е можноста да се добијат голем број на точки со едно сликање на површината, меѓутоа недостатокот представува анализата за одредување на координатите на точките од површината која може да биде многу комплексна и бавна.

*Методот на анализирање на слика* е сличен со методот на структурно осветлување при одредувањето на координатите на скенираните точки. Меѓутоа овој метод не се базира на проектирање на шаблони и наместо нив се користат стерео парови за да се обезбедат доволно информации за утврдување на висината и позицијата на координатите. Честопати овој метод се нарекува пасивен метод на прибирање на податоци бидејќи не користи дополнителна, односно вештачка светлина, за разликата од активниот метод кој при прибирањето на податоци користи дополнителна (вештачка) светлина. Недостаток на овој метод, а воедно и на сите пасивни методи на прибирање на податоци представува поврзувањето на паровите на слики со референтните точки. Токму поради ова се практикува користењето на активните методи на прибирање на податоци.

Кај *акустичните методи* за прибирање на податоци се користи звукот кој се одбива од површината. Овој метод работи на истиот принцип како методот со светлосен зрак, мерејќи го патот што го изминува звукот. Имено, изворот на звук произведува звучен бран кој се одбива од површината, и при тоа растојанието од изворот до површината се определува во зависност од брзината со која патува звукот. Најголеми недостатоци кај акустичните методи се:

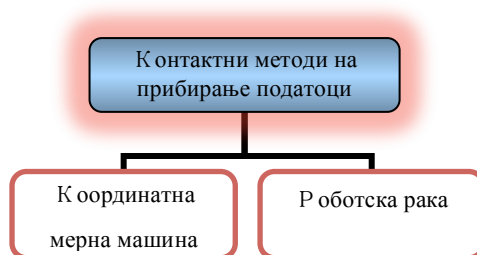
- акустичната интерференција или шумот,
- одредувањето на фокусната точка на површината.

Кај *магнетните методи* за прибирање на податоци од површините се користи магнетното поле. Тие се базираат на мерење на јачината на одбиеното магнетното поле од површината. Јачината на магнетното поле се мери со помош на магнетни сонди кои се користат да ја детектираат локацијата и ориентацијата на магнетната игла во самото поле.

### 2.2.3. Контактни методи на прибирање на податоци

Најкарактеристичните начини за прибирање на податоци кај контактните методи сеприкажани на сликата 2.8.

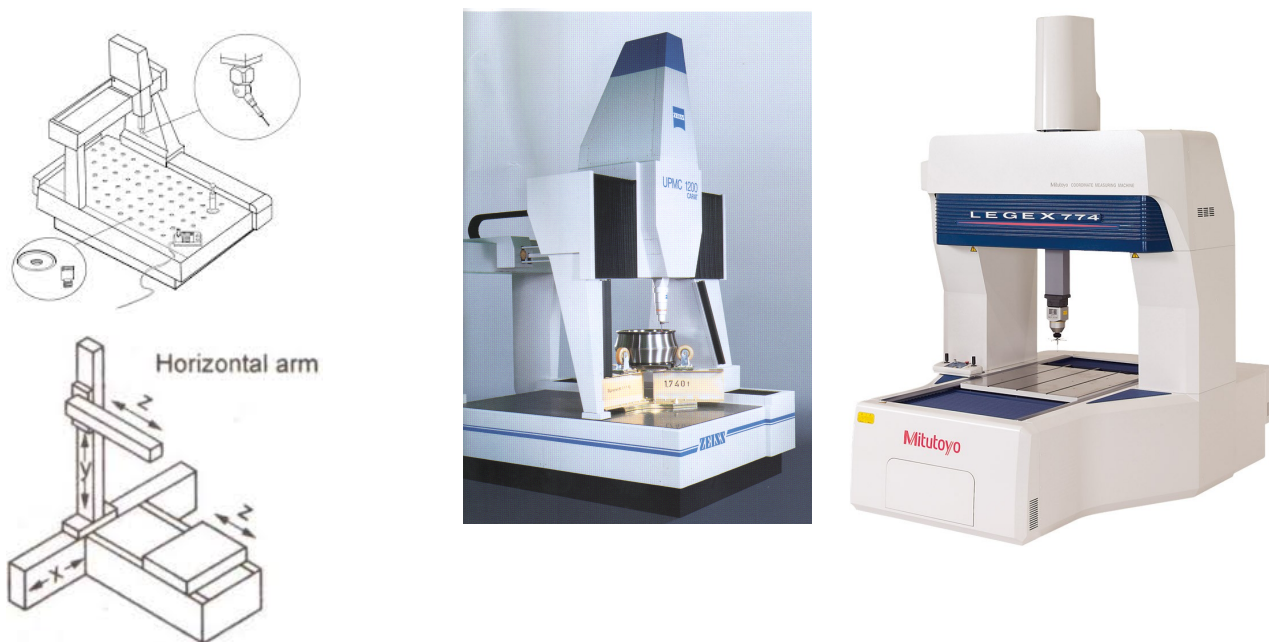




Слика 2.8. Контактни методи на прибирање на податоци

Извор: сопствени истражувања

Двата метода работат на истиот принцип, каде со помош на сонда поставена на механичка рака се допира површината на разгледуваниот предмет. Секогаш кога сондата ќе ја допре површината, со помош на сензорите во зглобовите на раката се одредуваат релативните координати. Ограничување при прибирањето на податоци со овој метод е во максималниот мерен волумен на мерната машина. Општиот изглед на една координатна мерна машина е прикажан на сликата 2.9.



Слика 2.9. Општ изглед на координатна мерна машина

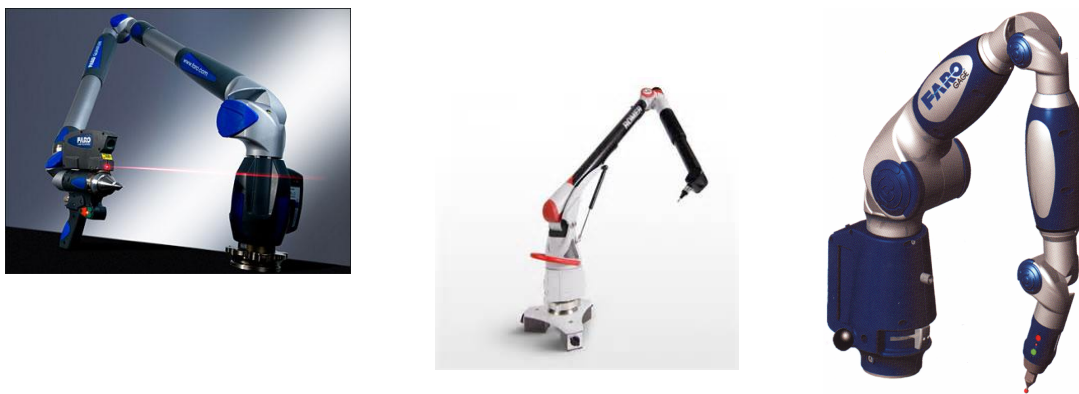
Извор: [www.mitutoyo.co.uk](http://www.mitutoyo.co.uk)

Контактните методи на прибирање на податоци ги имаат следнива предности:

- тие се извонредно точни,
- имаат висока повторливост (и затоа се користи во индустријата за изведување на точни мерења).

Најголеми недостатоци на контактните методи се:

- високата цена на опремата и
- малата брзина на прибирање на податоци.



**Слика 2.10 Роботска рака**

Извор: [www.directindustry.com](http://www.directindustry.com) & [www.officinedalzotto.it](http://www.officinedalzotto.it)

Координатна мерна машина и роботска рака се прикажани на сликите 2.9 и 2.10. И кај двата метода мерната сонда се движи и прибира податоци од работното парче во моментот кога ќе стапи во контакт со него. Меѓутоа поради покрутата конструкција и начинот на движење на мерната сонда методот на прибирање на податоци со помош на координатна мерна машина е многу поточен отколку при прибирање на податоци со роботска рака.

Од горенаведеното може да се заклучи дека, сите мерни методи мора да стапат во интеракција со површината на предметот притоа користејќи некои од следниве феномени:

- светлина,
- звук,
- магнетизам,
- физички контакт.

Брзината на прибирање на податоци зависи од брзината со која се случува феноменот, како и од способноста на детекција на сензорот од уредот. Потребниот број на анализи што треба да се извршат за добивање на доволен број на податоци за анализираната површина е во зависност од избраниот метод.



Слика 2.11. Примери за прибирање податоци од објектот со допир, светлина, звук

Извор: <http://www.coord3-cmm.com> & [www.gom.com](http://www.gom.com)

#### 2.2.4. Метод на оптичка триангулација

Кај оптичките методи за прибирање на податоци се насочува светлина на објектот и врз основа на одбиената светлина се определува обликот на површината на предметот. Најчесто применуван оптички метод е методот на оптичка триангулација со кој што се одредуваат координатите на точки од површината на скенираниот предмет. За разлика од предходно споменатите методи, оптичките длабински сензори кои го користат методот на оптичка триангулација се:

- многу точни,
- брзи,
- релативно ефтини,
- безбедни,

- едноставни за употреба.  
Најголеми недостатоци им се:
- неможноста за скенирање на внатрешноста на предметот,
- неможноста за скенирање надвор од видното поле.

Тоа значи дека за 3Д скенирање на целиот предмет потребно е да се направат повеќе длабински слики од соодветно избрани перспективи.

### 2.2.5. Опрема за реверзибилно инженерство

Во светски рамки постојат само неколку производители кои се занимаваат со производство на опрема за **реверзибилно инженерство**. Меѓу нив може да се вбројат: GOM, CONICA-MINOLTA, STEINBICHLER, Bruckmann. Опремата од овие производители има сличен принцип на работа. Во табелата 2.1 се прикажани техничките карактеристики на опрема за **реверзибилно инженерство** на секоја од наведените компании.

Табела 2.1.

	Мерен волумен	Број на точки	Време на мерење	Растојание помеѓу точки	Точност
<b>GOM (ATOS II)</b> www.gom.com	35 x 28 x 20 – 1700 x 1360 x 1360	1 300 000 pixels	7 сек	0.08 - 1.0 мм	> 0.002 мм
<b>CONICA – MINOLTA (VI9I)</b> WWW.CONICAMINOLTA-3D.COM	93 x 69 x 26 – 1495 x 1121 x 1750	340 000 pixels	4 сек	0.5 – 2.5 мм	> 0.008 мм
<b>CONICA – MINOLTA (VI910)</b>	111 x 83 x 40 – 1196 x 897 x 750	307 000 pixels	4 сек	0.6 – 1.2 мм	> 0.008 мм
<b>STEINBICHLER</b> www.steunbichler.com	100 x 75 x 420 – 1200 x 1200 x 1700	1 000 000 pixels	9 сек	/	> 0.009 мм
<b>Bruckmann</b> www.bruckmann.com	50 x 60 x 40 – 1050 x 600 x 700	800 000 pixels	9 сек	/	> 0.007 мм

Од табелата може да се забележи дека камерата Atos II од производителот GOM се издвојува од другата. Нејзините најголеми предности во однос на останатите се:

- најголем број на собрани точки при секое скенирање,
- најголем мерен волумен,
- најмало растојание помеѓу точките во облакот од точки (points of cloud),
- најголема точност

Единствено камерите произведени од компанијата Коница - Минолта имаат пократко време на прибивање на податоци.

### 2.2.6. Карактеристики на Atos II

Од табелата 2.1 се воочува дека камерата Атос е лидерски производ од ова поле и во понатамошниот дел од текстот ќе биде подетално објаснет.

АТОС е камера за 3Д скенирање на површини произведена од германската компанија GOM MBH, која е основана во 1990 година. Основната дејност, која е содржана во името на компанијата е производство на оптичка мерна техника како што се 3Д скенери (дигитализатори), а воедно и на 3Д координатни мерни машини.



Слика 2.12 Камера ATOS II

Извор: [www.gom.com](http://www.gom.com)

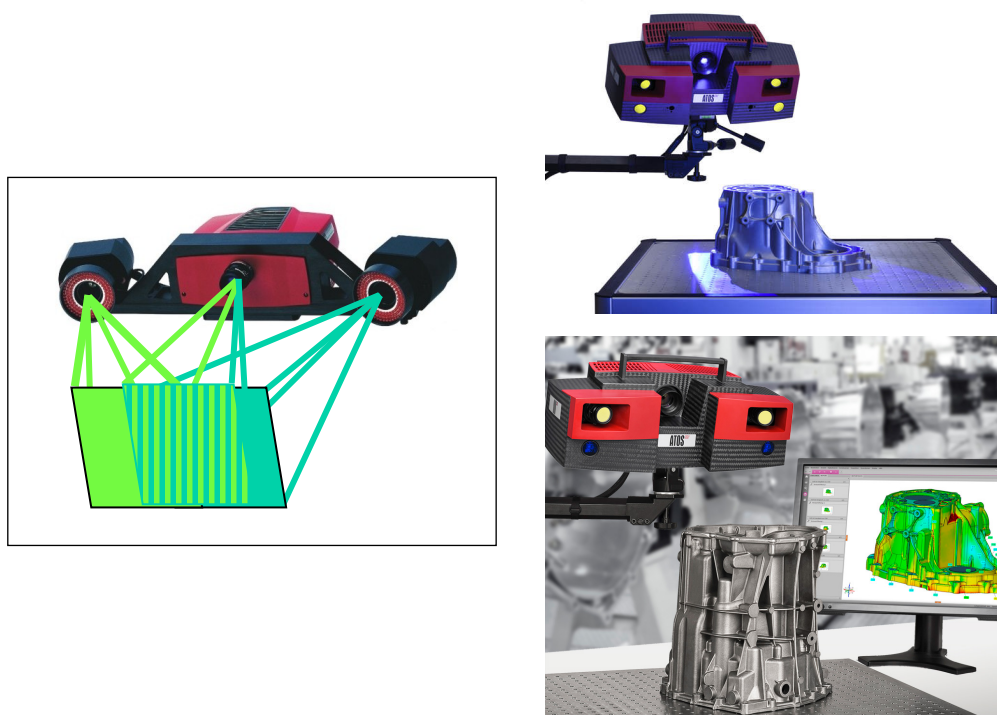
АТOS II е еден од лидерските производи на оваа компанија<sup>4</sup>. Овој систем за скенирање се одликува со висока точност, голема брзина и мобилност. Како што се гледа и од погорната сликата 2.12 овој систем се состои од еден светлински извор (проектор) (позиција 2) и два фотосензиболни уреди (камери) (позиција 1 и 3).

Токму поседувањето на две камери го издвојува овој систем за скенирање од останатите. Со тоа овој оптички систем е еден од најдобрите на пазарот. Поседувањето на две камери има двојна улога:

- при скенирање на делови кај кои не е потребна голема точност на прибраните податоци, овозможено е прибирање на податоци со двете камери одеднаш (двете камери се активни),
- при скенирање на делови кај кои се бара висока точност, втората камера служи за контрола на податоците кои се прибираат со првата камера (втората камера е пасивна).

Со ова во првиот случај се овозможува прибирање на повеќе податоци одеднаш со што значително се скратува времето на скенирање. Ова е многу значајно бидејќи се зголемува ефикасноста на работата. Од друга страна пак при прецизни скенирања, кога едната камера служи за прибирање на податоци, а другата за контрола на активната камера, се овозможува прибирање на податоци со голема точност. Овие карактеристики ја прават камерата **Атос** многу функционална и флексибилна.

Од претходното можеме да заклучиме дека камерата **Атос** работи на истиот принцип како што функционираат човечките очи. Исто како што човекот ги регистрира само податоците кои ги гледа со двете очи, истотака и камерата ги прибира само оние податоци кои се во видното поле на двете камери. Ова е илустрирано на сликата 2.13.



Слика 2.13 Начин на работа на камерата Атос

Извор: [www.vision.fraunhofer.de](http://www.vision.fraunhofer.de) & [www.gom.com](http://www.gom.com)

Притоа, може да се забележи дека проекторот проектира светлина на површина која е поголема од видното поле на камерите. Со едната камера се опфаќа еден дел од осветлената површина, а со другата камера друг дел од осветлената површина. Делот од површината кој се наоѓа во видното поле на двете камери се прибира како корисен податок и на сликата е исфрафиран.

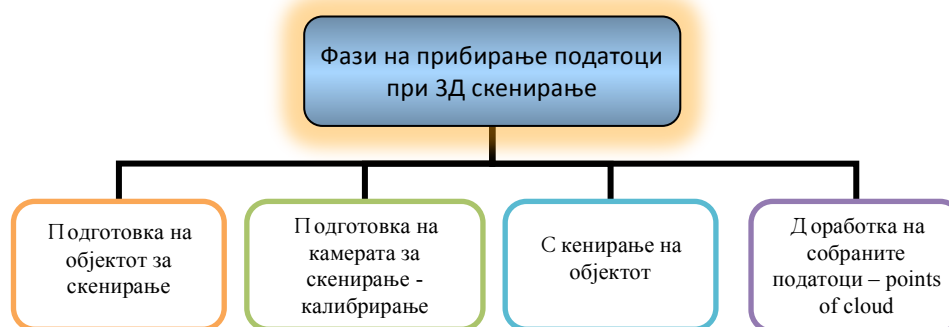
Потребната минимална конфигурација за добро функционирање на камерата за скенирање **Атос** е компјутер со 64 битен процесор со 8 ГБ рам меморија. Овие големи потреби за вака добар компјутер се должат на големиот број на податоци кои со секое скенирање се прибираат од површината. Со ваквиот хардвер се постигнува брза обработка на податоците. Големиот број на податоци кои се прибираат со секое скенирање овозможува дигитализирање на површини со голем број на детали. Голема предност на **Атос** камера е тоа што многу лесно и брзо се нагодува за скенирање на предмети со различни мерни волумени. Техничките катактеристики на камерата **Атос** се:



- можност за скенирање на предмети со волумен од 35x28x20 мм до 1700x1360x1360 мм, што овозможува голема применливост.
- големата флексибилност која е овозможена со брзата и едноставна промена на леќите за сите мерни волумени.
- камерата која се користи за прибирање на податоци е дигитална и содржи 1 300 000 точки (pixels). Тоа значи дека со секое скенирање може да се соберат до 1 300 000 точки од скенираната површина. Ова и овозможува на камерата дигитализирање на предмети со богата површинска текстура.
- времетраењето на скенирањето е многу кратко. Тоа трае 7 секунди. Оваа карактеристика овозможува многу брзо прибирање на податоци од целиот објект.
- растојанието помеѓу точките во облакот од точки во добиената длабинска слика од скенирањето се движи во границите од 0,08 до 1 мм.
- точноста на оваа камера е до 0,002 мм. Оваа карактеристика ни укажува дека камерата **Атос** може да се примени и за дигитализирање на делови кај кои треба да се постигне голема точност.

### 2.3. Прибирање на податоци при 3Д скенирање со системот ATOS II

Прибирањето на податоци со камерата Атос се изведува во неколку фази. Тие се претставени на сликата 2.14.



Слика 2.14. Фази на прибирање на податоци

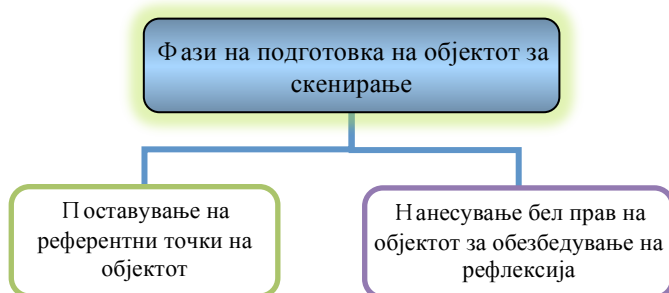
Извор: сопствени истражувања



### 2.3.1. Подготовка на објектот за скенирање

Пред да започне скенирањето треба да се изврши подготовка на објектот за скенирање. Подготовката ги опфаќа следните операции (слика 2.15):

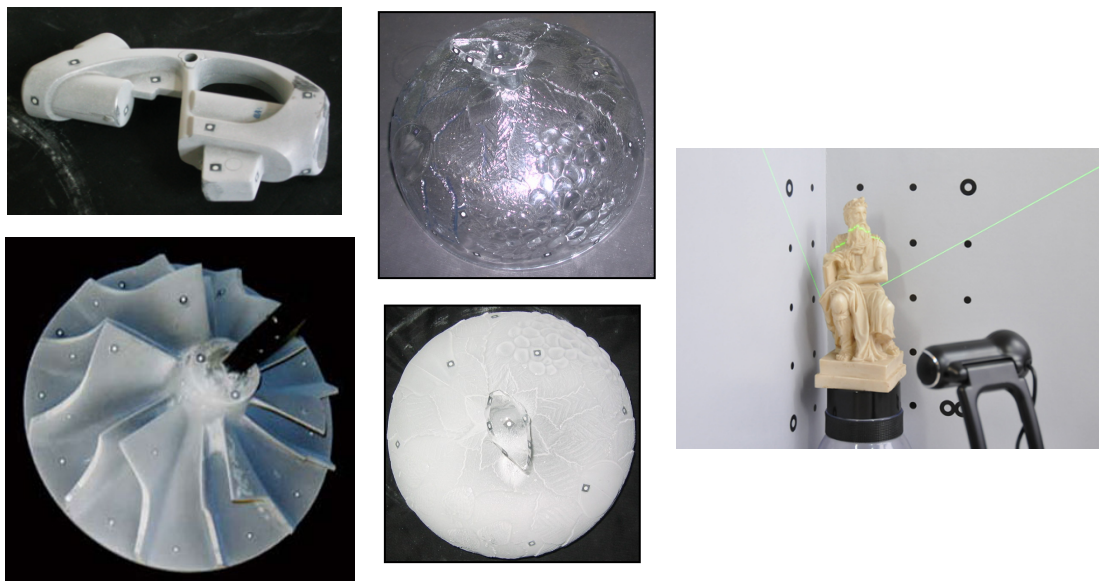
- поставување на референтни точки и
- нанесување на бел прав на површината на телото доколку телото е друга боја или пак е транспарентно.



Слика 2.15. Фазии на подготовка на објектот за скенирање

Извор: сопствени истражувања

*Поставувањето на референтни точки* е првата операција при подготовката на објектот за скенирање. Нанесувањето на референтните точки е потребно затоа што во однос на нив се врши поврзувањето на длабинските слики, односно поврзување на скеновите. Референтните точки се бели кругчиња поставени на црна позадина. Тие се испечатени на самолеплива хартија за да се олесни нивното поставување. Има различни големини на референтни точки. Нивната големина се одбира во зависност од големината на телото кое се скенира и во зависност од мерниот волумен кој се користи. Многу е важно референтните точки правилно да се нанесат на телото. Тие се поставуваат на рамни површини бидејќи местата на кои биле поставени по скенирањето треба да се доработат. На сликата 2.16 е прикажан предмет со поставени референтни точки на објектот кој е предмет на скенирање.



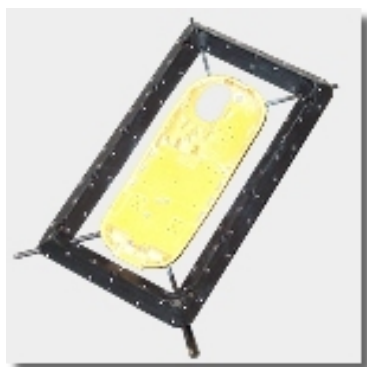
**Слика 2.16. Нанесени референтни точки на објекти подготвени за скенирање**

Извор: <http://machinedesign.com>, [www.robots.stanford.edu](http://www.robots.stanford.edu) & сопствени истражувања

Доработката се состои во отстранување на испакнувањата кои на површините се појавуваат поради дебелината на хартијата на која се испечатени референтните точки.

Исто така е важно да се нанесе толкав број на референтни точки колку што е неопходно. Доколку се постави помал број на референтни точки од потребното, тогаш ќе биде оневозможено спојувањето на длабинските слики. За правилно спојување на скеновите потребно е на секоја длабинска слика да се опфатени најмалку три точки. Меѓутоа за да не се појават проблеми при поврзувањето на сликите се препорачува секоја длабинска слика да содржи четири до пет референтни точки. Од друга страна пак нанесувањето на повеќе точки од потребното ќе придонесе да се потроши повеќе време за дообработката на скенираната површина и нивно отстранување.

При дигитализирање на предмети кои се со мали димензии, како што е заб, поставувањето на референтните точки на самите површини е скоро невозможно. Затоа во вакви случаи референтните точки се нанесуваат на помагалто кое служи за стегање и придржување на телото. Ваков пример е прикажан на слика 2.17.



**Слика 2.17. Нанесување на референтните точки на помагалото за прицврстување мали предмети**

Извор: сопствени истражувања



**Слика 2.18. Прибирање на податоци од мали предмети**

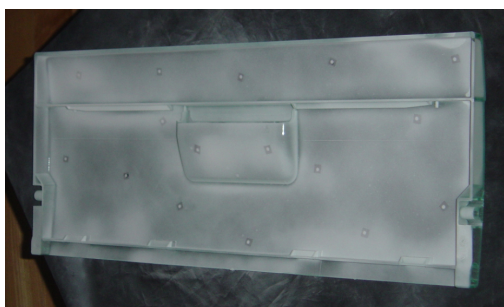
Извор: сопствени истражувања

Дигитализирањето на предмети со различни бои со овој систем е отежнато бидејќи секоја боја има различен коефициент на одбивање и абсорпција на светлина. Белата боја најмалку ја абсорбира светлината, а најмногу ја одбива и затоа белите предмети се најдобри за дигитализирање со помош на овој систем. Доколку треба да се дигитализира предмет кој е транспарентен или пак кој е во боја, на него треба да се нанесе бел прав. Со *нанесување на белиот прав на површината на предметот* се овозможува дигитализирање на транспарентни предмети, како и на предмети во било која боја без потешкотии.

Белиот прав е креда која е со ситна гранулација. Таа е помешана со алкохол кој служи за полесно нанесување. Смесата од алкохол и креда се наноси со помош на прскање. По нанесувањето за неколку секунди алкохолот испарува и на површината на предметот останува само кредата. Слојот на креда се наноси со дебелина од неколку микрони, а во случај на многу прецизни мерења се наноси слој на креда со многу ситна гранулација. Со овој метод на нанесување на креда се овозможува скенирање и на транспарентни предмети од стакло и од пластика. Пример за подготовка на стаклен дел е даден на сликите 2.16, б и в. На сликата 2.16. б) е прикажано стаклено тело кое што е транспарентно. На него се нанесени референтни точки. Меѓутоа како што рековме, просирно тело не може да се дигитализира

со методот на оптичка триангулација бидејќи од прозирна површина не може да се одбие светлосниот зрак. Затоа на телото се нанесува ситен гранулат од креда. На сликата 2.16. В) е прикажано истото тело со нанесена креда на површината. На овој начин телото е комплетно подготвено за дигитализирање.

На сликата 2.19 е прикажана транспарентна вратичка од замрзнувач произведен од компанијата Горење, Цеље, подготвен за дигитализирање.

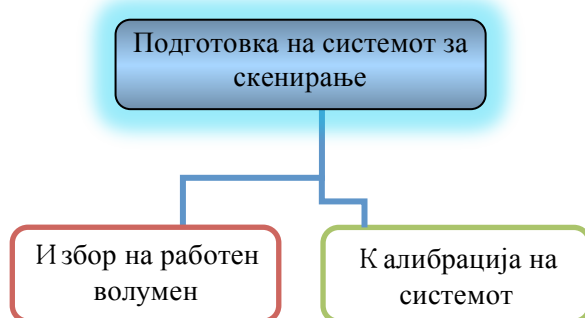


Слика 2.19. Вратичка од замрзнувач „Горење“ подготвена за скенирање

Извор: Горење АД, Цеље, Словенија

## 2.4. Подготовка на системот АТОС за скенирање

Пред да се отпочне со процесот на скенирање треба да се извршат и одредени подготовки на системот.



Слика 2.20. Фази на подготовка на системот АТОС за скенирање

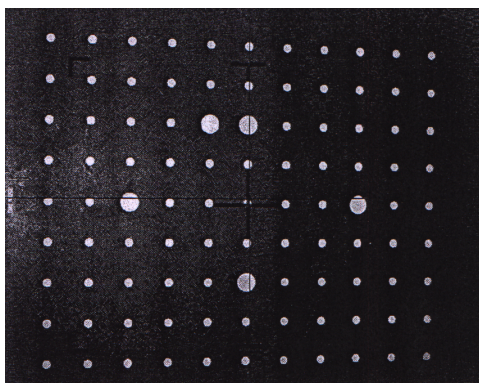
Извор: сопствени истражувања

*Изборот на вистинскиот работен волумен се прави во зависност од големината на скенираниот предмет. Треба да се избере таков работен волумен во кој ќе може да се смести целиот предмет. Со тоа се овозможува со едно скенирање да се приберат податоци за секоја страна.*

Меѓутоа ако треба да се дигитализира предмет кој што е поголем од леќите за мерни волумени кои се на располагање, тогаш треба да се избере најадекватниот мерен волумен со кој на неколку пати ќе може да се приберат податоци за целата страна.

Изборот на адекватен мерен волумен е важно бидејќи при скенирање на предмет со неадекватен мерен волумен може да придонесе за добивање на неточни податоци и да се намали ефикасноста на опремата.

*Калибрирање на опремата е неопходно да се направи при менувањето на оптиката за мерниот волумен кој се користи. Со калибрирањето се нагудува координатниот систем на камерата со координатниот систем на калибрациската плоча (слика 2.21). Калибрациските положки се црни по боја и на нив се распоредени бели точки на точно определено меѓусебно растојание.*



**Слика 2.21. Калибрациска плоча**

Извор: сопствени истражувања

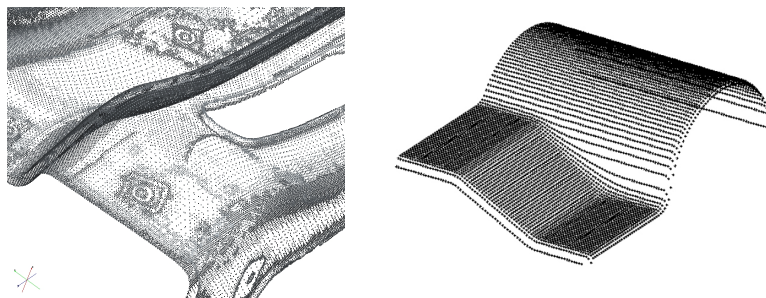
Калибрирањето се изведува на двете камери одделно. При тоа потребно е да се направат неколку снимки на калибрациската плоча во неколку карактеристични положби. На крај се внесува и моменталната температура и влажност во просторијата со што процесот е завршен.

Добиените резултати од калибрацијата се прикажуваат на дисплејот со што се оценува дали опремата е добро нагодена. Доколку не е тогаш процесот се повторува уште еднаш. Се препорачува опремата да се прекалибрира пред скенирање на ново парче и во случај кога оптиката за промена на мерниот волумен не е сменета. Во текот на дигитализирање на некој предмет калибрација на опремата не смее да се прави бидејќи нема да се совпаѓаат податоците добиени пред и по калибрирањето. Доколку во текот на работата дојде до изместување на опремата и таа мора повторно да се калибрира, тогаш дигитализирањето треба да се направи повторно бидејќи претходно добиените податоци стануваат неупотребливи.

## 2.5. Скенирање

Скенирањето е процес со кој се прибираат податоци од површините и истите се претставуваат во компјутерот како облак од точки, како што е прикажано на слика 2.22. Правилното прибирање на податоци е од суштинско значење за добивање на точни податоци за скенираните површини. За да се добијат употребливи податоци од површините потребно е да се запазат одредени правила кои ќе бидат нагласени во понатамошниот дел од текстот.

На почетокот на скенирањето предметот треба да се постави така да со првиот скен се опфатат што е можно повеќе референтни точки, а при понатамошните скенирања на одредени детали треба секој скен да содржи минимум три референтни точки од претходно опфатените за да може добиените длабински слики без проблем да се поврзат со претходните. Доколу ова правило не се почитува и ако се почне со скенирање на површината дел по дел, тогаш грешката што се јавува при секое скенирање, со секое понатамошно правење на длабински слики ќе се мултиплицира и извесно е дека по скенирањето на целата должина на предметот крајната грешка ќе биде значителна.



Слика 2.22 Облак од точки добиен при скенирање, дигитализирање на објект со камера а) АТОС и б) ласер<sup>5</sup>

Извор: сопствени истражувања

Препознавањето на референтни точки се извршува автоматски. Меѓутоа често се случува поради нанесување на подебел слој од кредата или лошата поставеност на парчето, камерата да не може сама да ги препознае референтните точки. Во таков случај референтните точки се посочуваат мануелно со што му се помага на софтверот во нивното препознавање.

После правењето на секоја длабинска слика, софтверот нуди можност за избирање на податоците кои се добри да се задржат. Оваа функција е корисна бидејќи често се случува во длабинската слика да се земат податоци и од масата на која предметот е поставен или од помагалото за придржување. Со ова се овозможува задржување само на добрите и корисни податоци, а воедно отстранување на лошите и непотребни.

## 2.6. Креирање на CAD модел

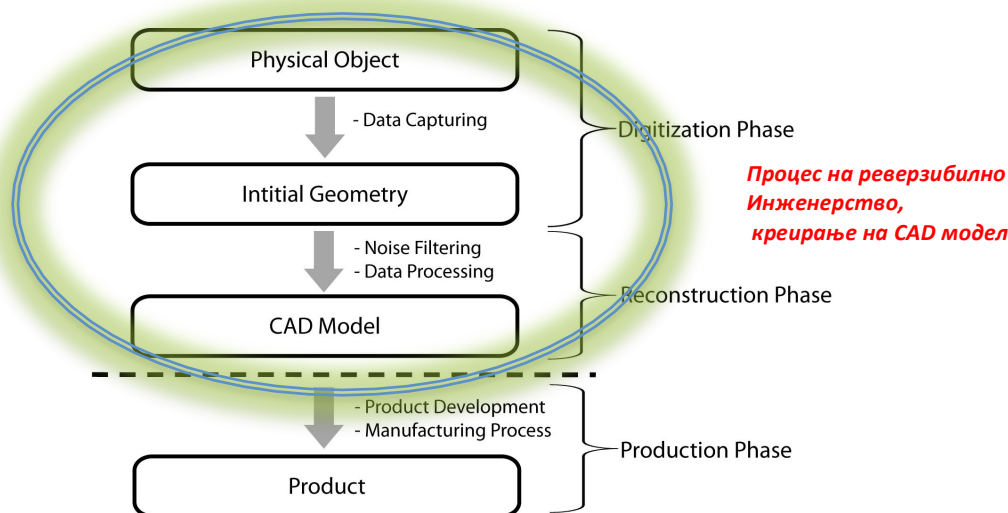
Креирањето на CAD модел е последната фаза во технологијата на **реверзибилното инженерство**. Оваа фаза е некокупати подолгата и покомплексната од целокупниот процес на **реверзибилното инженерство**. Во неа треба да се создадат математички дефинирани површини на база на добиените податоци од скенирањето. Креирањето на CAD модел врз едноставни површини е релативно лесно и брзо. Меѓутоа поради фактот што оваа технологија се користи и е исплатлива при работа со посложени делови, оваа фаза е монгупати покомплицирана и покомплексна од предходните.

<sup>5</sup> B. Zagar, Vzratni razvoj 3-D modelov z uporabo NURBS geometrije, Ljubljana, 2003



Креирањето на CAD модел (слика 2.23) е важно од неколку аспекти. Главната примена е за извршување на разни испитувања, анализи и симулации врз добиениот модел. Може да се користи и за конструирање на алати за производство на скенираното парче, меѓутоа доколку не треба да се вршат испитувања на парчето, нема потреба од креирањето на CAD моделот бидејќи конструкцијата на алатот е овозможена и само со сегментираните модели. CAD моделот исто така се применува во случај кога на веќе постоечки производ треба да се направат одредени промени и подобрувања. Овие промени не можат да се извршат на сегментиран модел, туку исклучиво на CAD модел.

Креирањето на CAD модел може да се изврши во секој комерцијален софтвер кој овозможува работа со облак од точки (points of cloud) и површини. Нејдобар модул за работа со површини има програмскиот пакет CATIA<sup>6</sup>. Исто така многу применувани се и програмите: Geo Magic, DellCAM, CopyCAD, а во програмскиот пакет SolidWorks 2007 се најавува модул за работа со технологијата на **реверзибилното инженерство** кој би требало да биде еден од подобрите.



Слика 2.23. Дијаграм за процес на реверзибилно инженерство

Извор: <http://www.intechopen.com/books>

<sup>6</sup> F. Karman, C. Kleismit, *Catia V5*, Kompjuter biblioteka, Belgrad, 2004

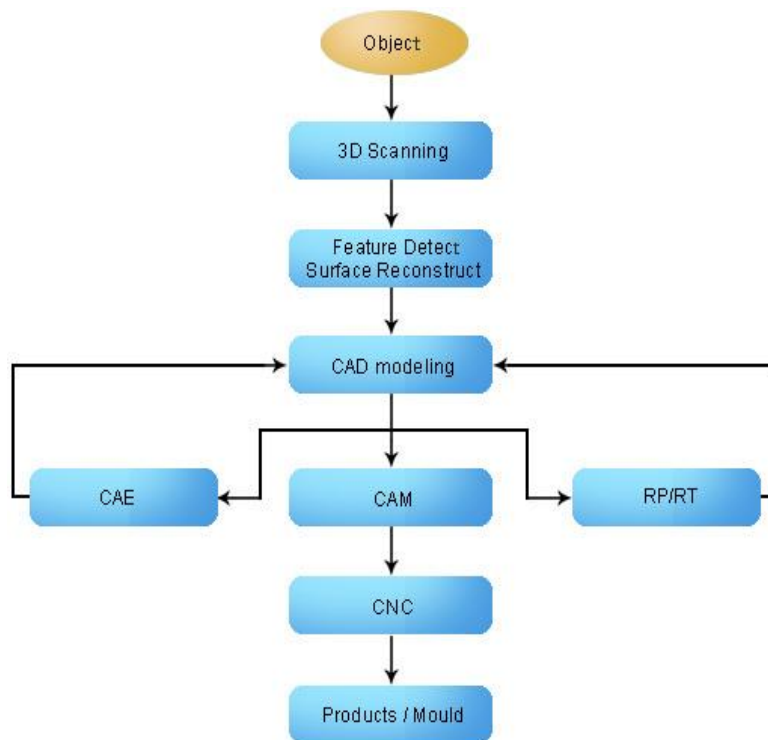


Исто така не постои пишана процедура со која се одредува начинот на креирање на CAD модел од облакот на точки<sup>7</sup>. Креирањето на моделот може да се изврши на најразлични начини. Процедурата на изработка е во зависност од користениот програмски пакет, бидејќи секој од овие програми работи на различен метод на генерирање на површини. Па така, програмскиот пакет CATIA функционира на принципот на поврзување на криви кои лежат на облакот од точки, програмскиот пакет GeoMatic работи на принцип на креирање на слична површина преку правилно распоредување на мрежата на површината по облакот од точки, а пак пакетот DellCAM работи на принципот на генерирање на површини преку поврзување на граничните криви помеѓу површините. Со тоа се покажува дека CAD моделот може да се креира на најразлични начини и со помош на најразлични програми. Поради немањето на дефинирана методологија за изработка на овие модели начинот се избира во зависност од конкретното парче, односно од неговата скоженост и од можностите на софтверот да одговори на поставените барања.

Имено, реверзибилното инженерство, кое во себе ги содржи фазите на скенирањето на објектот, како и креирањето на CAD моделот, претставува само една фаза во рамките на интегрираниот процес на проектирање и производството CAD/CAM/CAE - CIM, односно на процесот на развој на нов производ. Тоа може да се претстави и со шематскиот приказ како што е прикажано на сликата 2.24:

---

<sup>7</sup> F. Karman, C. Kleismit, *Catia V5*, Kompjuter biblioteka, Belgrad, 2004

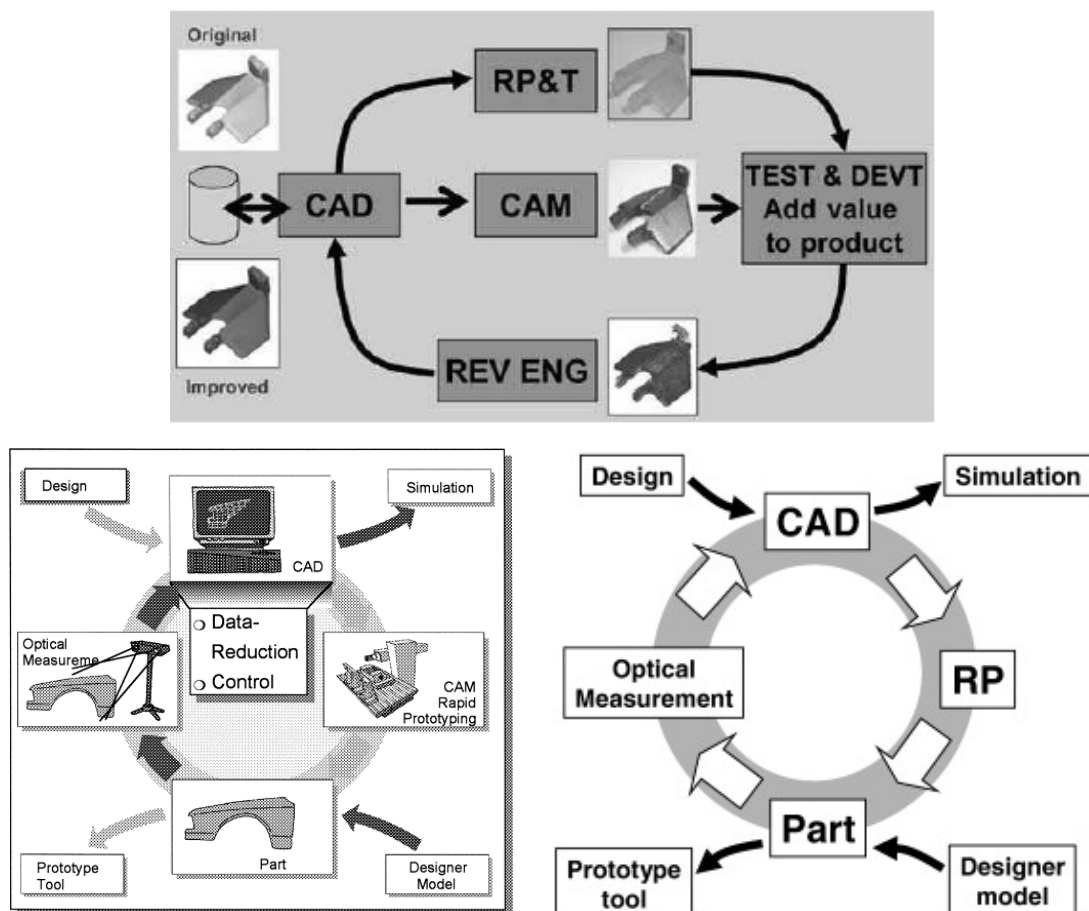


Слика 2.24 Фази на интегриран систем

Извор: <http://www.icades.com>

Во рамките на современата интеграција на процесот на проектирање и производството, големо внимание се обраќа на интеграцијата на технологијата на реверзибилно инженерство RE и технологијата на брзи прототипови-RP, која може да се набљудува и преку потребата за надминување на проблемот во транслацијата помеѓу "светот на електронско моделирање" и "физичкиот свет". Додека RE, како што е спомнато, има за цел автоматски да го генерира компјутерскиот модел од постоечки физички, RP има за цел на основа на компјутерскиот модел да креира физички модел, и тоа брзо и директно со минимална човечка помош. И ако двете технологии се развивале практично независно една во однос на друга, денешните истражувања се повеќе насочени кон нивната интеграција.

Принципот на функционирање на интегрираниот RE-RP систем (слика 2.25) за развојот на производот, како и приказот на редизајнот на циклусот се прикажани на следниве слики:



Слика 2.25 Интегриран систем на реверзибилно инженерство и технологија на брзи прототипови

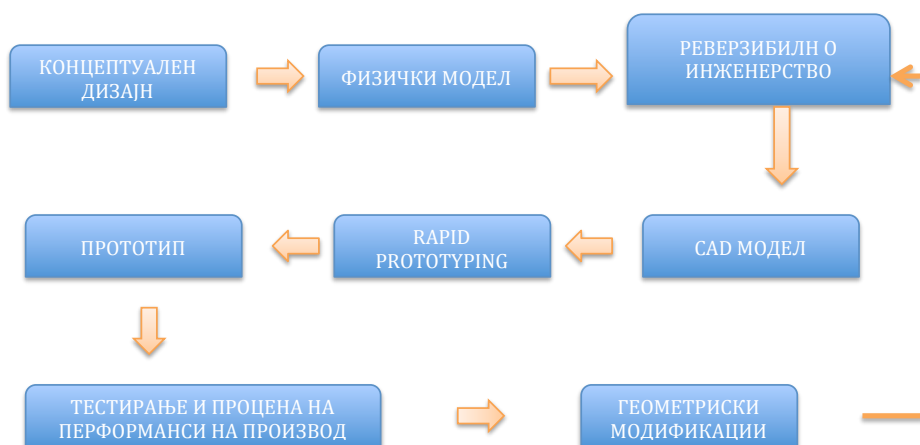
Извор: V. Raja: Reverse engineering, An industrial perspective<sup>8</sup>

Дизајнот, односно проектирањето, претставуваат креирање на физичката интерпретација на концептот кој до тој момент не постоел. Во тој процес на креирање, и физичкиот и електронскиот модел претставуваат значајни алати. Можноста да ги користи и двата видови на модели, му дозволува на дизајнерот – проектантот да потроши повеќе време само на дизајнирање, а помалку на тоа како да креира, да ги објасни и пренесе своите идеи. На овој начин сите добри аспекти на секој медиум за моделирање можат да се искористат. Физичките модели му помагаат на дизајнерот да ги искористи своите субјективни потенцијали, додека пак електронските модели овозможуваат искористување на компјутерската снага и прецизност. Земајќи

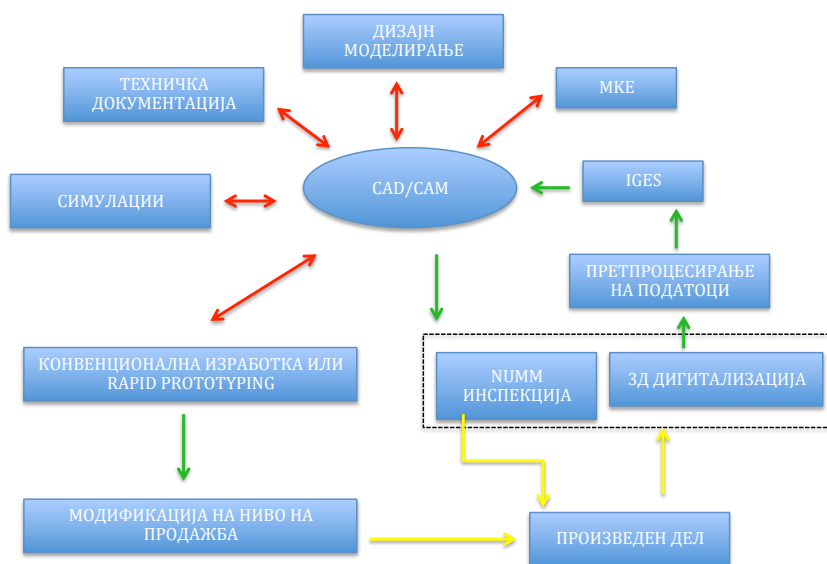
<sup>8</sup> V.Raja; K.Ferandes: Reverse Engineering, An Industrial Perspective, Springer, UK, 2012

го во обзир погоре кажаното, може да се согледа значањето на интегрирањето на овие две технологии (слика 2.26), како во смисла на ефикасноста како и економичноста, посебно кога станува збор за проектирање на комплексната 3D геометрија.

**ИНТЕГРИРАН РЕ(RE) И РП(RP) СИСТЕМ ЗА РАЗВИОЈ НА ПРОИЗВОД**



**РЕВЕРЗИБИЛНО ИНЖЕНЕРСТВО И RAPID PROTOTYPING**



Слика 2.26 Местото и улогата на реверзибилно инженерство во интегриран систем

Извор: сопствени истражувања

Интегрираните RE-RP системи можат успешно да се користат кај:

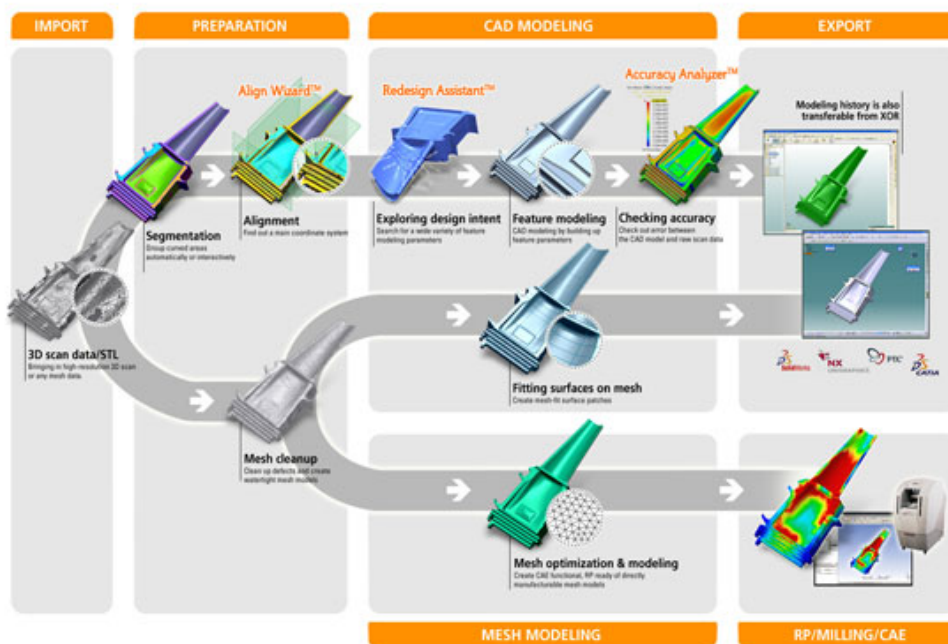
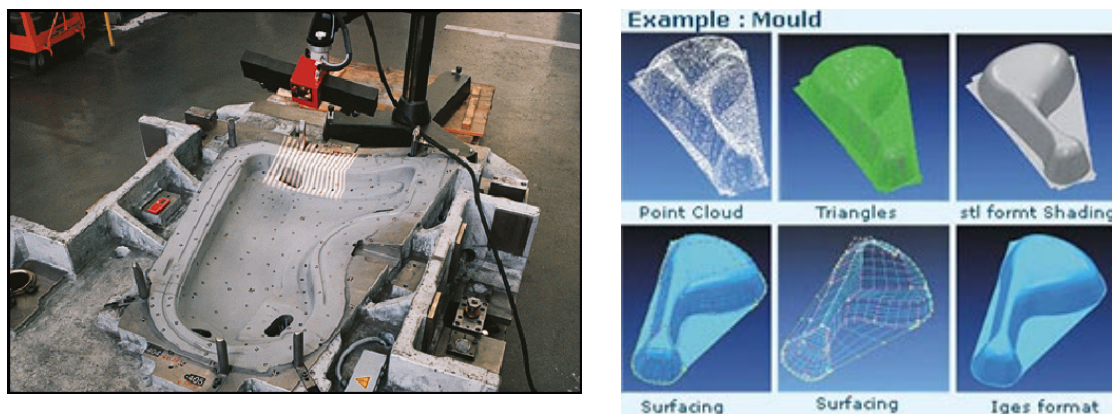
- дизајнирање на новите или редизајнирање на постоечките делови, посебно кога станува збор за сложените (free-form) површини, како што е случај кај производитите со нагласени ергономски аспекти;
- визуелизација и проектирање на склоповите;
- вградување модификации кои се потребни на ниво на продажбата (од страна на купувачот) директно во компјутерскиот модел;
- козметичката, ортопедската и реконструктивната хирургија, креирањето на протетички и ортопедски помагала ( креирање на импланти и помагала точно за потребата на секоја личност), медицинската визуелизација (физичкиот модел им помага на лекарите подобро да го разберат и визуелизираат проблемот за пронаогање на решение, како и полесно да им објаснат на пациентите);
- креирање на компјутерски модели за графичка индустрија, индустрија за забава и филмската индустрија;
- изработување на копии на познати вајарски дела за потребите на нивните детални анализи или реконструкции;
- 3D факс машини;
- 3D печатење со можност да се изработи микроструктурата на free-form површини.

## 2.7. Примена на технологијата на реверзибилно инженерство

Примената на технологијата на **реверзибилното инженерство** е огромна, почнувајќи од машинството, преку архитектурата, уметноста, медицината, наоѓа примена во многу други области на човековото живеење.

Сепак најмасовна е примената во машинството. Во машинството технологијата на **реверзибилното инженерство** најмногу се применува во алатничарството. При создавање на нов производ во најголем број случаи од идејата за новиот производ се прави модел од дрво или глина со што многу полесно може да се воочат недостатоците одколку на 2Д цртеж. По одреден број на итерации ќе се добие конечниот облик на моделот на новиот производ. Понатамошната задача е да се конструира алат за изработка на добиениот модел. Тука технологијата на **реверзибилното инженерство** ја има клучната улога. Со неа се овозможува со помош на скенирање да се направи CAD модел идентичен на дрвениот. Врз добиениот CAD модел ќе се извршат

потребните анализи, испитувања и симулации и на крај ќе се изработи алатот за новиот производ. Со ваквиот начин на работа и со примената на технологијата на **реверзибилното инженерство** времето на исфрлување на нов производ на пазарот се скратува за десетина пати.



Слика 2.27 Примена на реверзибилно инженерство во машинството

Извор: [www.gom.com/](http://www.gom.com/);

[http://www.central-scanning.co.uk/images/reverse-engineering-services-central-scanning.jpg](http://www.central-scanning.co.uk/images/reverse-engineering-services-central-scanning.jpg;);

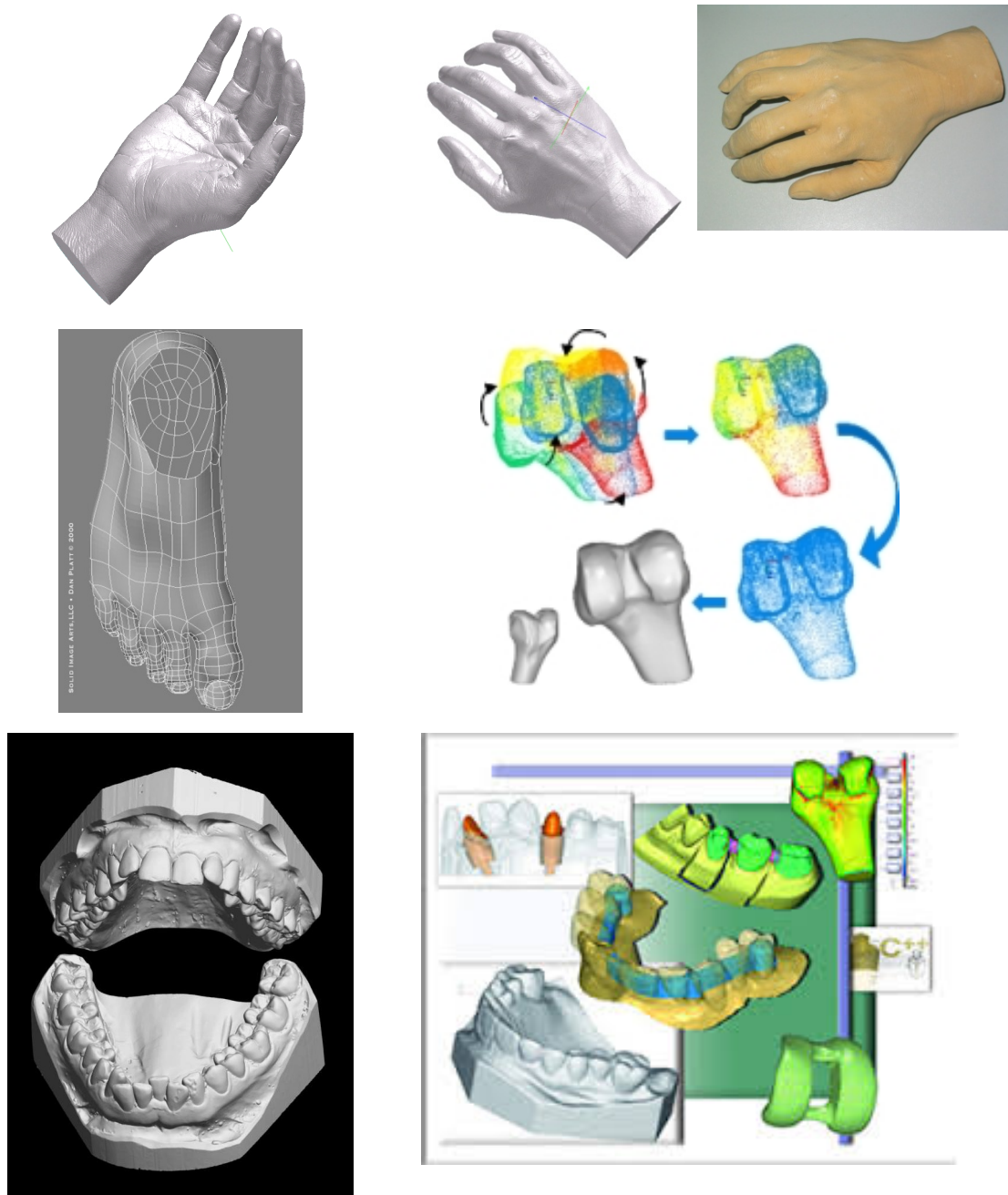
<http://www.3dscanningservices.net/images/products/rapidformxorprocess.jpg>

Исто така голема е примената и при подобрување на веќе направени производи и алати. Во ваков случај производот или алатот се скенираат, од добиените точки се добива CAD моделот врз кој се симулираат работните услови на делит и по вака изведените анализи и испитувања се извршуваат портебните подобрувања. На така подобрениот дел или алат повторно се вршат анализи, испитувања и симулации и кога ќе се заклучи дека тој ги исполнува поставените барања, се произведува нов алат или пак доколку е можно се поправа стариот.

Технологијата на **реверзибилно инженерство** (слика 2.27) во машинството се применува и за извршување на димензионална споредба помеѓу готовиот дел во однос на зададениот CAD модел. Димензионалната споредба се изведува така што изработениот дел се скенира и се добива облак од точки (points of cloud). На облакот од точки се врши сегментација и нагонување на површините. Вака добиената површина, која е идентична со изработениот дел, се споредува со зададениот CAD модел и може со помош на визуелизација да се воочат отстапувањата во секоја точка и да се одреди дали тие отстапувања се наоѓаат во дозволените граници.

Технологијата на **реверзибилното инженерство** истотака наоѓа голема примена во медицината, а најмногу во пластичната хирургија. Од несреќи или пак од болести се јавува потреба некој надворешен човечки орган, како на пример рака или нога, да биде ампутиран. При вакви случаи честа е потребата да се изработи протеза која ќе го замени визуелниот ефект на изгубениот орган. Естетската протеза се изработува по пат на скенирање на здравата рака. Скенирањето не се извршува директно на раката на човекот бидејќи таа не може да се држи апсолутно мирно и при скенирањето ќе се појават грешки. Затоа преку оставање на отисок раката се изработува од гипс и се скенира гипсаниот модел. Добиените резултати од скенирањето огледално се пресликуваат и се добива модел од раката што била ампутирана и од добиениот модел се изработува алатот за изработка на естетската протеза (слика 2.28).





Слика 2.28 Примена на реверзибилно инженерство во медицината

Извор: сопствени истражувања &

[http://www.3dreshaper.com/en1/En\\_medicalapplications.htm](http://www.3dreshaper.com/en1/En_medicalapplications.htm)

Технологијата на **реверзибилното инженерство** се применува и во стоматологијата за изработка на вештачки заби и протези. Кога има потреба да се одстрани природниот заб и да се замени со вештачки, тогаш со помош на

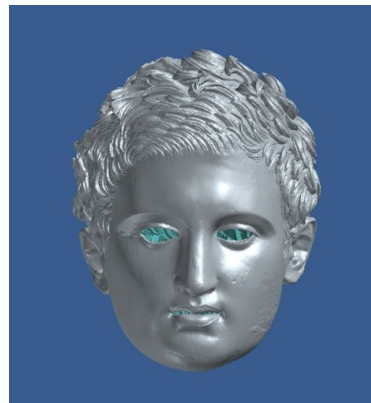
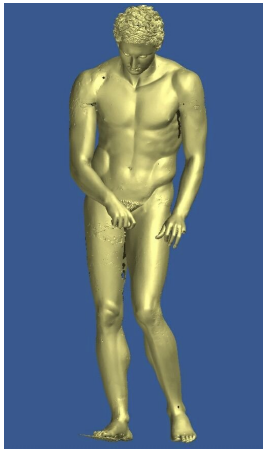


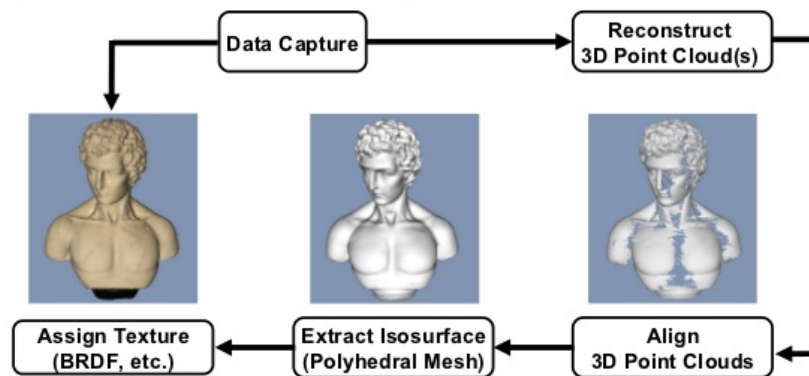
оваа технологија е овозможена изработката на вештачки заб идентичен на природниот. На ист начин како во предходните случаи се скенира природниот заб и по обработката на податоците се изработува алат за изработка на вештачкиот заб. Разликата при скенирањето на овој случај во однос на предходните е во тоа што тука се користи стативот за прецизно скенирање на мали делови.

Примената на технологијата на **реверзибилното инженерство** не изостанува и во ортопедијата. На овој начин со помош на скенирање е овозможена изработка на ергономски обувки или влошки кои ќе го имаат истиот облик како стапалото на нарачателот. Со ова се постигнува зголемена удобност на обувките и избегнување на болките во стапалата.

Во уметноста и архитектурата технологијата на **реверзибилното инженерство** наоѓа исто така голема примена. Во денешно време, заради заштита на ретките и значајни археолошки пронајдоци се прават нивни копии за прикажување во јавноста. Примената на технологијата на **реверзибилното инженерство** во овој случај е при изработка на идентичните копии на археолошките пронајдоци (слика 2.29). Примената во уметноста е иста, за заштита на ретки и значајни скулптури .



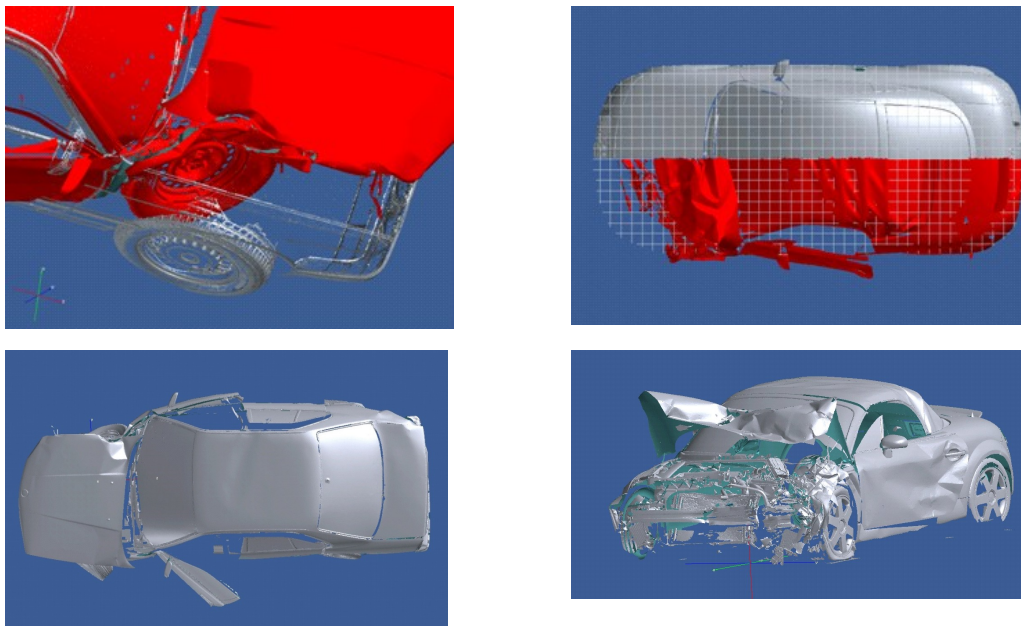




Слика 2.29. Дигитализирање на културно историски и археолошки знаменитости

Извор: ТЕКОС, Цеље, Словенија, <http://www.exchange3d.com>,

Во архитектурата технологијата на **реверзибилното инженерство** наоѓа примена и при изработката на големи скулптури и споменици од мали модели.

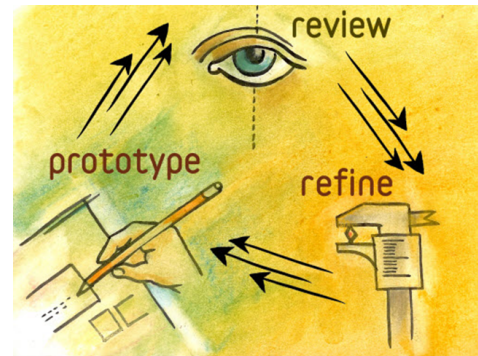


Слика 2.30 Примена на Реверзибилно инженерство во истражен процес

Извор: сопствени истражувања

Реверзibilното инженерство наоѓа се поголема примена и во истражното судство и вештачењето за откривање и дефинирање на причините за настанок на пример на сообраќајна незгода (слика 2.30).

Од погоре напишаното можеме да заклучиме дека Реверсе технологијата на **реверзibilното инженерство** наоѓа примена во сите области на човековото живеење.



## ГЛАВА 3

*“Developing a prototype early is the number one goal for our designers, or anyone else who has an idea, for that matter. We don’t trust it until we can see it and feel it.”*

*Win Ng*

### 3. Технологија на брзи прототипови- RAPID PROTOTYPING

#### 3.1. Дефиниција, основни принципи

Класичниот начин на изработка на моделите и прототиповите ги опфаќа технологијата на симнување струготини, електро ерозија, пластично деформирање и друго. Многу честа изработка на моделот по класичен пар бара и рачна доизработка. Поради тоа изработката на моделот на овој начин по правило е релативно долг и скап процес, што во контекст на современите барања за скратување на времето на појава на производот на пазарот е значајна и затоа долгиот т.н. "time to market" претставува голем недостаток кај многу од компаниите и влијае на нивната конкурентност на пазарот.

Конкуренцијата на светскиот пазар за индустриски производи неверојатно е интензивирани во последнава декада. Се повеќе станува важно, и од витално значење за новите производи е нивното рано пласирање на пазарот пред производите од конкурентските компании. За да се овозможи ваквата виталност, а на пазарот брзо да се пласираат нови производи, многу од процесите кои се вклучени во дизајнот, тестирањето, производството итн. се редуцираат во однос на временските сегменти и материјалните ресурси. Ваквата ситуација укажува и на скратениот ефективен рок на користење на производите, а со тоа воедно и скратување на животниот циклус на производите во последниве години. Ефикасното користење на временските и материјалните ресурси повикува на користење нови алатки и технологии, кои што континуирано еволуираат и како резултатат донесуваат брзи промени кај производите, во согласност со барањата на потрошувачите. Најчесто таквите алати и технологии вклучуваат и употреба на компјутери.

При развојот на новите производи, па и услуги, временскиот притисок е најодговорниот фактор, кој го детерминира правецот на развојот и успехот на новите методологии и технологии кои се користат за подобрување на ефикасноста на таквите производи или услуги. Сето ова има директно влијание и врз развојот на технологијата за изготвување на прототипови во развојно производните процеси. Затоа технологија за брза изработка на прототипови (Rapid Prototyping) е нова технологија која се повеќе се развива и е дел од интегрираниот систем на развој на нови производи, но и на проектирање на производни процеси.



На сладнава слика прикажани се три доминантни фактори во текот на развојот на еден производ: квалитет – трошоци – време. Овие фактори се меѓусебно спротиставени (на пример врвниот квалитет обично не може да се постигне по ниска цена и во многу кратко време). Поради тоа е неопходно да се пронајде оптимална комбинација на овие три фактори за секој производ поединечно.

## 3.2. Прототип

### 3.2.1. Дефиниција за прототип

Прототипот е важен и суштински дел во развојните производни процеси. Во било која дизајнерска практика зборот прототип често е не многу далеку од оние процеси кои се директно повзани со самите дизајнери. Според *Oxford Advanced*

*Прототип е прв или оригинален примерок, на нешто кое подоцна ќе биде или копирано или развивано дополнително; тоа е модел или прелиминарна верзија.*

*Learner's Dictionary of Current English*, терминот „прототип“ е дефиниран на следниов начин: *Прототип е прв или оригинален примерок, на нешто кое подоцна ќе биде или копирано или развивано дополнително; тоа е*

*модел или прелиминарна верзија*



*Прототипот претставува модел за доближување до производот (или системот) и неговите компоненти, во одредена форма за постигнување одредени цели, во процесите на негова имплементација.*

*Меѓутоа во процесите на дизајнирање, теминот често има поголемо значење од еден артефакт. Затоа за да ги опфатиме сите аспекти на значењето на овој термин во производните процеси, ќе се држиме до селднава дефиниција.*

Оваа општа дефиниција ги опфаќа сите видови на прототипови кои се користат во развојот на производните процеси, вклучувајќи објекти како математички модели, скици, пенливи модели, се со цел да не доближат до физичките карактеристики на самиот производ. Технологијата на брзи прототипови претставува процес во кој се реализираат прототиповите. Процесот може да биде во одреден опсег и да варира од само едно извршување на компјутерска програма па се до градење на вистински функционален прототип.

### 3.3. Видови на прототипови

Општата дефиниција за прототип<sup>9</sup> опфаќа три аспекти на интереси:

- Имплементација на прототип; од целосен производ (или систем) до негови под-склопови или компоненти;
- Форма на прототип; од виртуелен прототип до физички прототип и
- Степен на приближување на прототипот; од многу едноставна интерпретација, па се до точна репликација на замислениот производ.

Аспектот за имплементација на прототип го покрива опсегот на изготвување прототип за комплетен производ (или систем) до изготвување на прототип за одреден дел, под-склоп или компонента од одреден производ. Комплетниот прототип, како што неговото име насочува, најчесто е модел кои ги опфаќа не

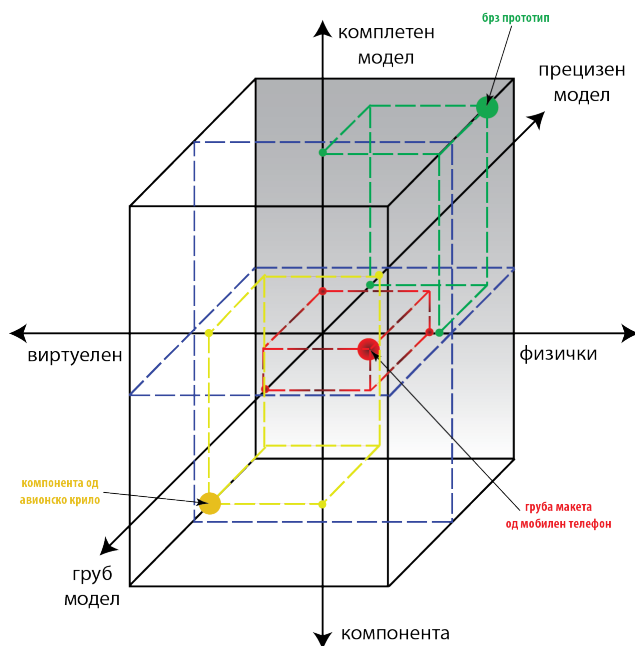
<sup>9</sup> C. Barnatt: 3D printing, The next industrial revolution, London, 2013



сите, но повеќето карактеристики на производот. За да биде целосно функционален тој се изработува во реален размер. Еден пример на таков прототип е оној кој им е даден на група од претпазливо селектирани луѓе со специјални интереси, најчесто наречена фокус група, која ги испитува и идентифицира изворните проблеми пред да биде потврден конечниот дизајн на производот. Од друга страна постојат прототипови, кои се потребни за да се проучуваат или истражуваат специјални проблеми поврзани со една компонента, под-склоп или едноставно делумен концепт од производот кој треба подетално да се истражува. Како пример за таков прототип е тест платформата која се користи за да се изнајдат удобните агли при одмор на канцелариски стол со што ќе се намали ризикот на вкочанување на рбетот после долго седење на таков стол. Во таквиот случај, во подголем дел од анализата се тестираат само под-склоповите и компонентите со помош на одредена апаратура за тестирање или пак експериментална платформа.

Вториот аспект за форма на прототип ја зема в предвид карактеристиката за тоа на каков начин прототипот се имплементира. Виртуелните прототипови укажуваат на прототипови кои се невински и недопирливи, а вообичаено се интерпретирани во некоја форма различна од физичката, како на пример, математички модел на контролен систем. Таквите прототипови вообичаено служат за проучување или анализирање на производите или системите. Извлечените заклучоци се чисто засновани на одредени принципи или научни закритости кои биле познати до тој момент од времето. Пример за таков прототип е визуелизацијата на воздушното струење на авионското крило, со цел да се утврди подигањето и спуштањето на крилото за време на суперсоничен лет. Ваквите прототипови најчесто се користат кога физичките прототипови се преголеми, или е потребно долго време за нивна изработка, или пак доколку таквата изработка на таков физички прототип е претерано скапа. Главниот недостаток на овие прототипови е што тие се базирани на моменталните познавања и на тој начин нема да може да се предвиди како би де однесувале во некоја неочекувана и изменета состојба или појава. Од друга страна, физичките модели се вистинска манифестација на производот, кои што се изработуваат со цел да се вршат врз нив одредени испитувања и експерименти. Пример за ваков прототип може да бидат макетите на мобилните телефони, кои изгледаат сосема исто како и вистинскиот производ, но се само без нивните наменети функции. Овој вид на прототип може да се користи чисто за евалуација на естетските и човечките фактори.

Третиот аспект го опфаќа степенот на приближување или интерпретативноста на прототипот. Од една страна моделот може да претставува многу груба интерпретација на планираниот производ, како што се пенливите модели, кои се користат за да се проучи општата форма и надворешните димензии на производот во неговата почетна фаза на развој. Некои груби прототипови може дури и да не изгледаат како финалниот производ, туку се користат за да се тестираат и поручат одредени порблеми во процесите на развој на производот. Од друга страна прототиповите може да бидат сосема точна репликација на производот во однос на секој аспект. Таквите прототипови се користат не само за да ја задоволат евалуацијата на потрошувачките потреби, туку служат и за адресирање на производните прашања и проблеми. Тие се особено важни во крајните фази од развојниот процес на некој производ или систем.



**Слика 3.1. Разновидност и опсег на прототипови<sup>10</sup>**

Извор: H.Lipson, M.Kurman: Fabricated, The new world of 3D printing

На сликата 3.1 се прикажани различните прототипови поставени во однос на трите аспекти за опишување на прототип, разгледани погоре. Секоја

<sup>10</sup> H.Lipson, M.Kurman: Fabricated, The new world of 3D printing, John Wiley & Sons, USA, 2013

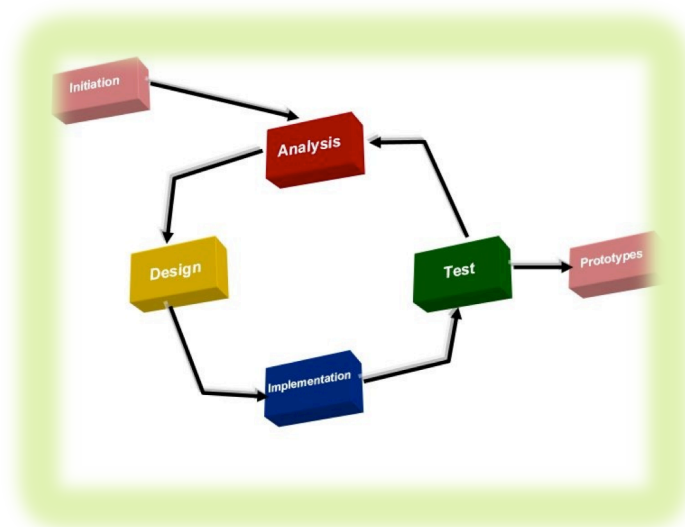
од трите оски претставува еден аспект на опис на прототип. Може да се забележи дека оваа илустрација не е наменета за да се обезбеди точна скала со која ќе се опише прототипот, туку служи за да се покаже дека прототиповите може да се опишат заедно со овие три групи на аспекти.

Брзата изработка на прототипови типично спаѓа во опсегот на физички прототип, кој вообичаено е прилично точен и може да се спроведе на ниво на компонента или на одредено системско ниво. На сликата 3.1 во форма на засенчен волумен на квадар, е прикажана разновидноста и опсегот на различните прототипови од комплетни системи до индивидуални компоненти, кои може да бидат произведувани преку порцеисте за брза изработка на прототипови со различни степени на доближување до конечните поризводи. Сето ова игра битна улога во процесите за изработка на прототип во фазите на развој на производот.

### **3.4. Брза изработка на прототип**

#### **3.4.1. Што е брза изработка на прототип?**

Класичниот начин за изработка на модели/прототипови опфаќа технологии на симнување на струготини, електроерозија, пластика деформација итн. Многу често изработката на модел по класичен пат бара и рачна доработка. Поради тоа, изработката на модели на овој начин, по правило е релативно долготраен и скап процес, а тоа го пролонгира и времето на појавување на производот на пазарот, што од старт претставува голем недостаток во однос на конкуренцијата.



**Слика 3.2. Од идеја до прототип**

Извор: [www.mechanicalengineeringblog.com](http://www.mechanicalengineeringblog.com)

Новите интегрирани CAD/CAM/CAE системи овозможуваат основната идеја, која е иницијатива на самиот почеток на процесот на развој на нов или подобрен производ, да се анализира, проверува, испитува и дизајнира во виртуелна средина, како 3Д модел, во повеќе интерации, повторувања и подобрувања на моделот, а на крајот од тој модел да се добие физички модел - прототип (слика 3.2.)

На сликата 3.3 се прилажани три доминантни фактори кои влијаат врз успехот на развојот кај одреден производ, тие се: квалитет, трошоци и време. Овие (фактори) барања, меѓусебно се спротиставуваат (на пример, врвен квалитет вообичаено не може да се постигне по ниска цена и за многу краток временски период). Поради тоа, неопходно е да се пронајде оптималната комбинација на овие три фактори за секој производ поединечно.



Слика 3.3. Траиголник: квалитет-трошоци-време<sup>11</sup>

Извор: C.Chua, K.Leong, C.Lim: Rapid prototyping: principles and applications

Постапката на брза изработка на прототипови, модели и алати овозможува брза и ефикасна изработка на многу комплексни физички модели, во раната фаза на развојот на производите. На тој начин во триаголникот квалитет-трошоци-време, значајно се намалува една од највлијателните компоненти – времето за развој на производот со истовремено исполнување на останатите две брања, поволна цена и висок квалитет.



Prototyping is a key phase of product design where the 3D CAD file(s) is converted to an accurate solid part that will be used for fit, function, testing, and marketing.

<sup>11</sup> C.Chua, K.Leong, C.Lim: Rapid prototyping: principles and applications, World Scientific Publishing, USA, 2010

Во понатамошниот дел од ова поглавје ќе бидат разгледани неколку дефиниции за тоа што претставува брзата изработка на прототипови (Rapid Prototyping):

1) **Мирослав Планчак**, во книгата „Брза израда прототипова, модела и алата“ брзата изработка на прототипови ќе ја дефинира на следниот начин.

*Rapid Prototyping претставува група на технологии, со помош на кои се изработуваат физички модели директно од 3D CAD, без користење на алати и прибори. Освен можноста да се создаде компјутерски модел во некој CAD модул, постои можност и да се дигитализира веќе постоечко физичко тело и тоа да се предтвори во CAD модел (Reverse Engineering)а потоа да се продолжи со процесите на брза изработка на прототип*

2) **Frank W. Liou**, во книгата „Rapid Prototyping and Engineering Applications“, ќе го дефинира терминот на следниот начин.

*Rapid Prototyping е слободна форма на производствен процес кој им овозможува на корисниците да фабрикуваат реален физички дел директно од CAD модел. Тој модел е составен од многу слоеви од страна на бројни софтверски пакети кои може исто така да го подготват делот кој како таков во вид на слоеви ќе се создава во мапината која ќе биде користена. Делот се гради слој по слој без додатни алатки. Овој процес овозможува брза изработка на геометриски комплексни делови.*

3) **Miltiadis A. Boboulos**, во книгата „CAD-CAM & Rapid Prototyping Application Evaluation“ брзата изработка на прототипови ќе ја дефинира на следниот начин.

*Rapid Prototyping е име кое им се доделува на мноштво поврзани технологии кои се користат за да се фабрикува физички објект директно од CAD модел. Овие методи се генерално слични еден на друг со тоа што тие додаваат и спојуваат матреијали во повеќе слоеви за да се формираат објектите. Ова е сосема спротивно од класичните методи на изработка како што се глодање или стругање. Кај класичните методи објектите се формираат во процесите со механичко отстранување на материјал.*

Технологиите за брза изработка на прототипови, спомнавме погоре дека може значително да го намалат времето на процесите за развој на производ. Низ неколку примери, ќе го разгледаме влијанието и резултатот од користењето на ваквите технологии:

- Чекањето е временски, најдолгиот период во многу операции за изработка на прототипови при користење на операции со вбризување. После исполнувањето на материјалот во калапите, производството доаѓа до застој додека делот се олади до одредена точка кога ќе може да се исфрли безбедно. Пресметано, во споредба со брзата изработка на прототипови кај овој процес времето за изработка е за 70% поголемо.

- Проточна кутија за цилиндрична глава, за која нормално биле потребни 320 часови за да се произведе, со трошоци од \$10.000, била произведена со технологија за брза изработка на модели за 80 часови, со што се намалило вкупното време на производство за 75%.

- Автомобилскиот снабдувач Serra Soladadura, од Барселона – Шпанија, забележала 55% скратено време до пласирање на производите на пазарот.

- Во 1994 година, Pratt & Whitney постигнале подобри резултати, тие забележуваат заштеда на време и капитал од 70 – 90% при замена на процесите со леене со технологиите на брза изработка на модели.

Како што може да се види од примерите, редуцирањето на циклусот време може да варира во зависност од околностите, но се движи просечно во границите од 30% до 90%.

### 3.5. Општи принципи на технологијата за брза изработка на прототипови

Заедничко за сите различни технологии за брза изработка на прототипови е основниот пристап кој што го користат, а тој може да се опише низ следниве чекори:

- 1) Моделот или компонентата се моделира со помош на CAD/CAM систем. Моделот (слика 3.4) кој што го интерпретира физичкиот дел кој што треба да се изработи мора да биде претставен со затворени површини кои невосмислено формираат и дефинираат затворен волумен. Тоа значи дека податоците мора да ја определуваат, внатрешноста, надворешноста и границите на моделот. Ова барање не важи, ако како технологија за моделирање е избрано волуменското моделирање. Ова важи за техниките при витуелното моделирање, каде што моделот мора да биде затворен волумен. За да се исполни ова барање мораме да се осигураме дека сите хоризонтални пресеци, кои

што се од суштинско значење на технологијата на брза изработка на прототипови, се затворени криви линии со цел да се создаде солид објект.

- 2) За да може да се изгради волуменскиот или површинскиот модел треба да се конвертира моделот во формат наречен STL (STereo Lithography) датотека кој потекнува од 3D системите. STL датотеката ги приближува површините на моделот преку создавање на полигони. Кога станува збор за модел со многу заоблени површини, треба да се крираат многу полигони за да се опише вистинската геометрија. Тоа значи дека STL датотеките за заоблени делови може да бидат многу големи. Сепак, постојат и одредени системи за брза изработка на прототипови кои исто така прифаќаат и IGES (Initial Graphics Exchange Specifications) податоци.



Слика 3.4. Модел на брз прототип<sup>12</sup>

Извор: [www.bylight.com](http://www.bylight.com)

- 3) Компјутерската програма ја анализира STL датотеката која го дефинира во целост моделот кој ќе се изработува и неговите пресеци. Пресеците систематски се рекреираат преку солидификацијата на течните материјали и моделите во прав со цел да се формира 3D моделот. Друга можност е кога веќе пресеците се тенки ламинати, волуменските

<sup>12</sup> Jones, M., Li, Z., & Merrill, M. (1992). Rapid prototyping in automated instructional design. *Educational Technology*, 30(8), 42-47



ламинати и овие тенки ламинати да се залепат заедно со атхезивни лепила за да формира 3D моделот. Други слични методи може исто така да бидат употребени за да се изработи прототипот.

### 3.6. Разгледување процес за изработка на брзи прототипови

Постојат многу различни процеси за изработка на брзи прототипови, но основните оперативни принципи се многу слични кај секој еден од нив. На сликата 6.1 е прикажан data-flow дијаграмот за основните процеси, кај овој вид на технологија. Во системот се вклучени следниве процеси (чекори):

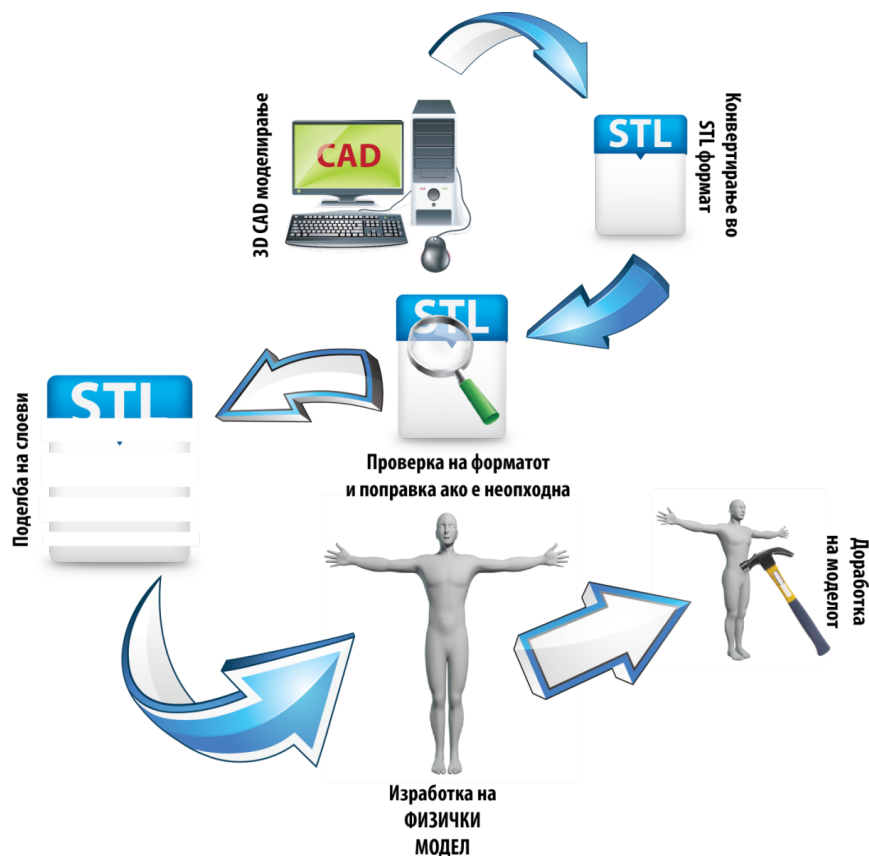
1. Конструирање CAD модел
2. Конвертирање на CAD моделот во STL формат
3. Проверка и поправка на STL датотеката
4. Генерирање на структури за поддршка ако се потребни
5. Поделба на STL датотеката до форма на слоеви
6. Производство на физички модел
7. Отстранување на структурите за поддршка
8. Пост-процесирање на физичкиот модел

Влезот во системот за брза обработка на прототипови може да го опишеме како електронска информација потребна да го дефинира физичкиот објект со 3D податоци. Постојат два можни почетни модели, т.е. компјутерски модел и физички модел. Компјутерскиот модел создаден во некој CAD систем може да биде во вид на површински и на волуменски модел. Физичкиот модел може да се опфати преку дигитализација или скенирање на неговите делови. Три-димензионалните податоци од дигитализацијата на физичкиот модел не се секогаш многу точни. Најчесто запишувањето на таквите податоци се врши според методот познат под името реверзибилно инженерство, користејќи СММ или ласерски дигитализатор.

Индустрискиот стандард на системот за брза изработка на прототипови е STL датотека, екстензијата доаѓа како кратенка од терминот *Stereolithography*. Најопшто, тоа е датотека која користи мрежа од триаголници за да ја формира лушпата од волуменскиот објект, каде секој триаголник споделува заеднички страни и агли со некој друг. CAD

софтверот креира мозаичен изглед на објектот. Во STL формат, датотеката содржи вредности за X, Y и Z вредности за секое теме од триаголниците, со индекс за да се опише ориентацијата на нормалната површина. Вообичаено, структурата за поддршка се генерира пред да се подели, со цел да ги држи висечките површини за време на градењето.

Повеќето CAD пакети можат да експортираат CAD датотека во STL формат датотека, а добрите STL датотеки гарантираат брза обработка и висок квалитет на изработените модели со технологијата на брза изработка на прототипови. STL форматот е ASCII или бинарна датотека во процесите за брза изработка на прототипови. Тоа е листа од триаголни површини кои го опишуваат компјутерски-генерираниот волуменски модел. Бинарните датотеки се слични кога ќе се споредат со ASCII датотеките. Страните ја дефинираат површината на 3D објектот. Како таква, секоја страна е дело од границата помеѓу внатрешноста и надворешноста на објектот. Ориентацијата на страните (која покажува која е внатрешноста а која надворешноста на една страна) може да биде специфицирана на два начини и секогаш мора да биде постојана. Прво, насоката на нормалата е секогаш нанадвор. А како второ, темињата се подредени во насока спротивна од насоката на стрелките на часовникот, кога се гледа површината однадвор (важи правилото на десната рака), како што е покажано на сликата 3.5.



Слика 3.5 Data flow дијаграм за основен процес за брза изработка на протип

Извор: Сопствени истражувања

Во основа, развојот на брзата изработка на прототипови може да се согледа во четири примарни области. На сликата 3.6 е прикажано Rapid Prototyping тркалото кое ги прикажува овие четири клучни области на технологијата за брза изработка на прототипови. Тие се: влез, метод, материјал и примена<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Ali Kamrani, Emad Abouel Nasr –*Rapid Prototyping Theory and Practice* – (Manufacturing Systems Engineering Series) (2006)



Слика 3.6. Тркало на технологија на брзи прототипови

Извор: A.Kamrani, E. Abouel Nasr: *Rapid Prototyping Theory and Practice*

### 3.6.1. Влез

Влезот се однесува на видот на електронските информации кои се потребни за да се опише физичкиот објект со 3D податоци, Посотјат две можни почетни точки – компјутерски модел или физички модел. Компјутерскиот модел креиран од страна на CAD систем може да биде и површински модел или пак волуменски модел. Од друга страна, 3D податоците од физичкиот модел се не секогаш доволно јасни. Тоа бара прибирање на податоци според метод кој е познат под името реверизбилно инженерство. Во реверизбилното инженерство, ни стои на располагање широк спектар на опрема која може да се користи, а е наменета токму за таа работа. Може да се користат СММ или пак ласерски дигитализатор, за да се снимаат податоците (точките) од веќе постоечкиот

физички модел, а понатаму како тавки да податоците се „реконструираат“ во CAD системот.

### 3.6.2. Метод

Бидејќи посотјат во моментот повеќе од 30 производители на системи за брза изработка на прототипови, методите кои се користат кај секој производител може општо да ги класифицираме во следниве категории: методи со скенирање, сечење и лепење/составување, методи со топење и стврднување/фузирање и методи со соединување/спојување. Методите со скенирање може да ги класифицираме и понатаму во подкатегории на: метори со еден ласерски зрак, метод со два ласерски зраци и методи кои коирстат маркирачка ламаба за скернирање на физичниот објект.

### 3.6.3. Материјал

Почетната состојба на материјалот може да во цврста агрегатна состојба, течна или во прав состојба. Во цврста состојба може да биде во различни форми како што се палети, жица или ламинати. Тековниот спектар на материјали, вклучуваат хартија, најлон, восок, смоли, метали и керамика.

### 3.6.4. Примена

Повеќето од деловите кои што се изградуваат во системите за брзи прототипови се довршени или пак на нив треба да се направи одредена доработка пред да започнат да се користат за она, за кое што се наменети. Обласите на примена може да ги класифицираме во: области од процесите на дизајнирање, области од инженерството, примена при правење анализи и планирање и примена во областите на обработка и производство. Голем спектар на индустрии може да имаат корист од примената на технологијата за изработка на брзи прототипови. Тука спаѓаат, воздухопловната, автомобилската, биомедицинската индустрија, индустријата за прехранбени производи и сигурно уште многу други индустрии може да се најдат на оваа листа.

## 3.7. Улогата и видот на моделот

Современите барања коишто се поставуваат во врска со развојот на производот, а пред се потребата за што пократко "time to market" , можат

успешно да се потполнат само ако постои ефикасна поврзаност помеѓу службата на развојот, маркетингот и менаџментот на фирмата. Во таа меѓусебна комуникација голема помош овозможуваат физичките модели на идниот производ.

Оделението за маркетинг најдобро е запознаено со потребите и барањата на пазарот и со понудата на конкуренцијата па со тоа ова е неизбежно при развивањето на новиот производ.

Меѓутоа, се јавува проблем затоа што вработените во маркетингот и менаџментот често не се доволно образовани за да можат да ги разберат дводимензионалните технички цртежи. Физичкиот модел, во зависност од видот на производот поедноставен или во оригинални размери, може да биде добра основа за донесување на брзи и правилни одлуки во фазата на развивање на производот. Од друга страна пак, многу е важна врската и постојаната соработка помеѓу конструкторот на делот и технологот, значи експертот треба да го одреди самото производство на делот. За жал, понекогаш таа комуникација е недоволна па произведувачите не водат сметка за тоа како делот ќе се изработи т.е конструкцијата не е технологична, има потреба од скапи видови на обработка, има голема побарувачка на материјалот, енергија или на други ресурси. Во такви случаи моделот / прототипот може да биде од голема корист како неверојатно комуникациско средство.

Во некои случаи графичкиот приказ (2D, 3D) не е доволен да се обезбеди комплетна слика за еден производ. Тоа е посебно случај кај производите кај кои е релевантно и сетилото за допир.

Типичен пример во таа смисла е воланот или менувачот кај автомобилот. За воланот и менувачот е важно, не само каков облик и димензии се, туку и како "лежат" во раката (слика 3.7). Тоа чувство на допир, кое за возачот е многу битно, може да се оствари само преку физичкиот модел, но никако само преку 2D или 3D графички интерпретации.

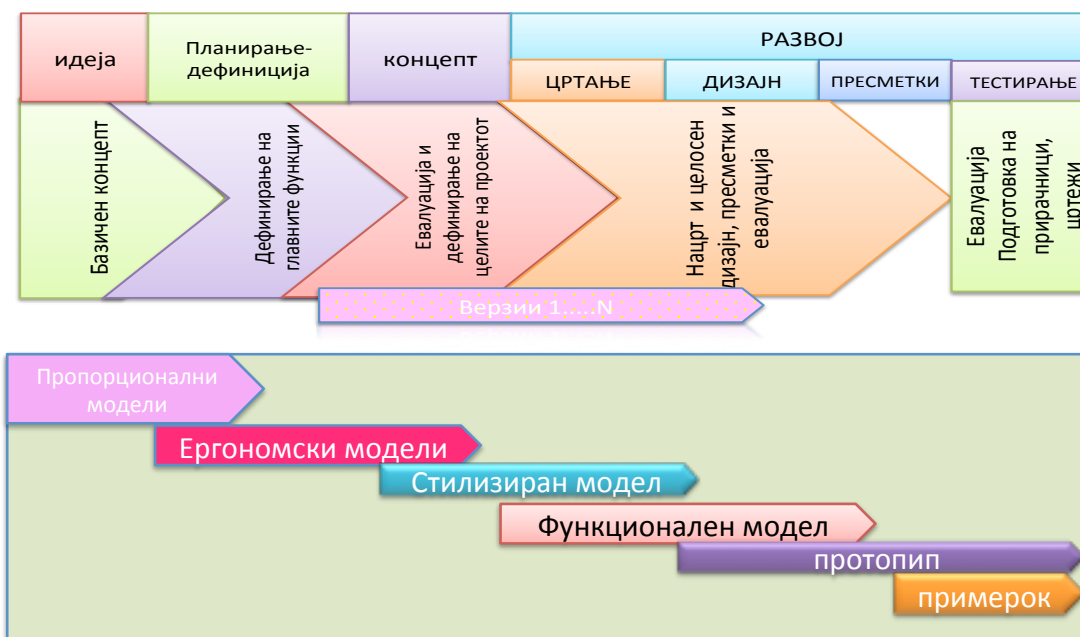


Слика 3.7. Прототипови во автомобилската индустрија

Извор: [www.pinterest.com](http://www.pinterest.com) & [www.seekpart.com](http://www.seekpart.com)

Постои поголем број на видови на модели и нивни дефиниции. Според VDID (Здружението на дизајнери на германската индустрија) постојат следниве модели (прототипови):

### Модели за развој на производ



Слика 3.8. Видови модели за развој на производ

Извор: <http://www.vdi.eu>

**Пропорционален модел**

Го покажува надворешниот облик и најважните пропорции (односи). Служи за комуникација и мотивација, ја поттикнува консултацијата за карактеристиките на производот, овозможува брзо усогласување за идејата на производот. Мора да биде направен брзо, едноставно и ефтино.

**Ергономски модел**

Помага донесување на брзи одлуки за тоа дали идејата за производот е покажува битните детали за можноста на ракување и користење, по потреба и најважните функции.

**Дизајн на моделот – стилизиран модел**

По надворешниот облик потполно одговара на идниот производ. Квалитетот на надворешните површини е завршен квалитет. Потпомага за донесување на брзи одлуки за методите на конструкција и изработка. Овозможува уште во почетната фаза на развој оценка од трета страна ( купувач, продажба, јавност, ТВ рекламирање) како и надворешната работа, т.е. работата со јавноста ( маркетинг). Некои компании во своите понуди го вклучуваат и дизајнот на моделот за да може купувачот да донесе одлука уште пред самата изработка на производство.

**Функционален модел**

Овозможува благовремено испитување на поединечни функции ( можност за монтажа, компатибилен за сервисирање и поправки, кинематика). Ги покажува поединечните или сите функции дури ( ако е потребно) и по цена надворешниот облик да нема завршна форма. Ја создава основата за побарувачката на купувачот и продавачот. Ги дефинира граничните услови за вградување на алатот и проборот, како и за конструкцијата и изработката на помошните средства.

**Прототип**

Одговара во голема мера на реалниот дел, понекогаш и потполно. Се разликува од првиот реален дел само по начинот на изработка. Овозможува благовремено тестирање на поединечни или на повеќе карактеристики на производот ( на пример поволност за монтажа). Овозможува изработка на алат. Овозможува чекори на монтажа преку информативни средства.

**Мастер примерок (прв реален производ)**



Потекнува од серија, пилот серија, нулта серија, предсерија или главна серија. Овозможува потполн тест на сите особини на производот. А помага во образување на персоналот кој учествува во изработката и сервисот, помага во почетокот на главната серија. Помага и во деталното планирање во врска со купувачите и продавачите. Многу слична поделба е прикажана во следнава табела:

Вид на моделот / прототипот	Концепционалност	Дизајн на моделот	Прототип на димензија	Прототип на функција	Предсериски прототип
макрогеометрија	s	s	s	s	S
Карактеристики:					
- Површина	u	s	u	u/s	s
- Цврстина	u	u	u	s	s
- Точност	u	u	s	s	s
Материјал	u	u	u	s	S
Големина на серијата	1	1	1-5	3-20	<500
Начин на изработка	u	u	u	s	S

U – неважно

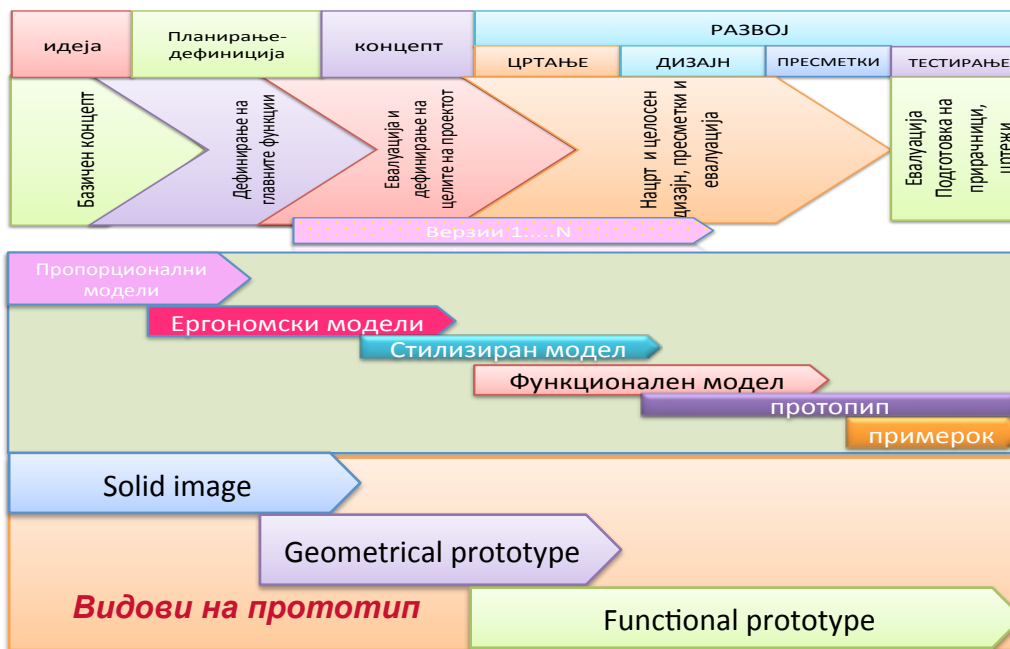
S – како кај изработката во серијата

Покрај секој вид на прототип во табелата, дадени се и особините на прототиповите, материјалот, големината на серијата и начинот на изработка.

За потребата на праксата наведените поделби се подетални па се почесто се користи и поделба според која сите модели / прототипи се делат на:

- **концептуални модели, полна слика** (озможуваат визуелизација на пропорциите како генерално согледување на изгледот на производот;
- **геометриски прототип** (служи за проверка на можноста за манипулација, за служење и користење на производот, овозможува прецизна визуелизација, вклучувајќи го и посакуваниот квалитет на надворешната површина);

- **функционален прототип** (служи за проверка на една или повеќе функции на идниот производ);



Слика 3.9. Модели на прототип

Извор: <http://www.vdi.eu>

- **технички прототип** (одговара на сервискиот модел и се изработува по основ на комплетна документација, помали отстапки се можни во користените материјали како и во помалите небитни геометриски детали; принципиелно од сервискиот производ се разликува само по начинот на изработка).

### 3.8. Предности на системите за брза изработка на прототип

Денешните автоматизирани системи за брза изработка на прототипови кои што не користат алатки, може директно да изработуваат функционални делови во мали производствени количини. Деловите произведени на тој начин вообичаено имаат точност и површинска обработка, полоша од онаа кај деловите произведени на машини. Сепак, некои напредни системи се способни да изработат делови кои што се со истата точност и квалитет на обработка, како и деловите произведени на класичен начин. Исто така, кај

деловите изработени со системите за брза изработка на прототип може да им се врши соодветна, пост-обработка, со цел да бидат послични на конечниот производ. Во основа, времето за да се произведе некој дел - откако еднаш ќе бидат конечно дефинирани дизајн податоците – ќе биде брзо, и во прашање се часови на изработка, но сепак е и во зависност од комплексноста на делот.

Придобивките од системите за брза изработка на прототип се огромни и најопшто, може да се категоризираат во две категории на: директни и индиректни придобивки.

### 3.8.1. Директни придобивки

Придобивките кои може да ги ужива една компанија со употребата на системи за брза изработка на прототип се многу. Една од придобивките е способноста да се експериментира со физички објекти со било каква комплексност кои се изработени за релативно краток временски период. Забележано е дека во текот на последните 25 години, производите кои се пласираат на пазарот имаат зголемена сложеност во обликот и формата. На пример, на сликата 3.10 може да се согледа погорното твдење. На сликата е направена споредба на изгледот на BMW серија 5, во периодот од 80-тите години од минатиот век до 2010 година.

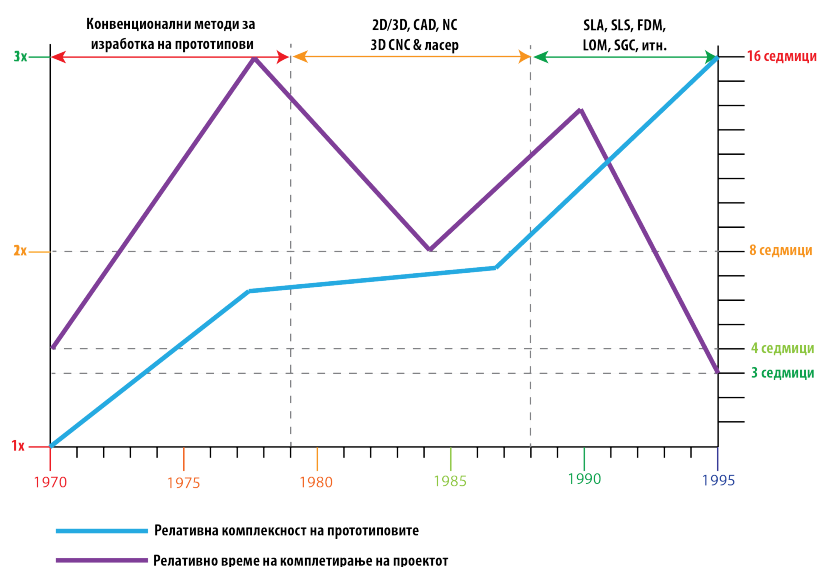


Слика 3.10. Еволуција на BMW-5series

Извор: [www.bmw.com](http://www.bmw.com)

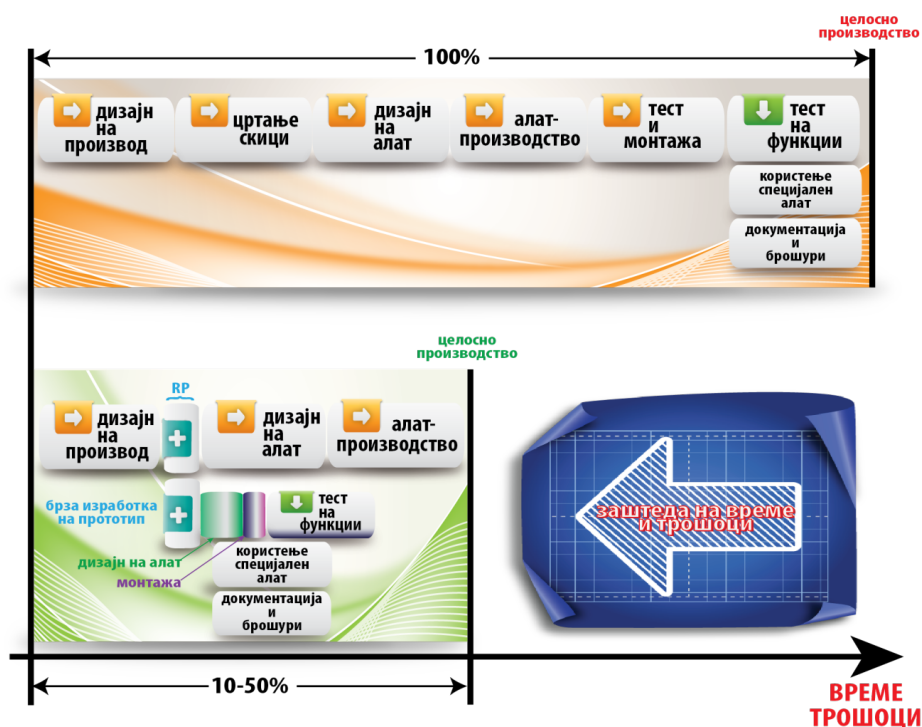
На графикот за релативна комплексност од 1 до 3, прикажан на сликата 3.11, забележуваме дека во основа од 1 во 1970 година, индексот на релативна комплексност се зголемил дури за приближно двапати во 1980 година, а скоро 3 пати во 1990 година. Поинтересно и иронично е релативното време потребно за комплетирање на проектите, кое не се зголемувало драстично во

таквите околности. Првично ако почнеме да разгледуваме од 1970 година времето потребно за завршување на проектот изнесувало 4 седмици, а тоа во 1980 година изнесувало 16 седмици. Сепак со употребата на CAD/CAM и CNC технологиите, времето потребно за комплетирање на проектот се редуцирало до 8 седмици. Конечно, системите за брза изработка на прототипови им овозможиле на проектните менаџери и понатамошно скратување на времето, така да во 1995 година, времето потребно за комплетирање изнесувало само 3 седмици.



**Слика 3.11** Време на проектот и комплексност на прототиповите во временска рамака од 25 години

Врз поединци во компанијата, придобивките може да варираат и да имаат различни влијанија. Таквото влијание зависи од улогата која тие ја имаат во компанијата. Целосниот процес на производство на некој производ опфаќа широк спектар на активности. Kochan & Chua во нивното дело *“State of the art and future trends in advanced rapid prototyping and manufacturing”*, го опишуваат влијанието на технологиите за изработка на брзи прототипови врз целосниот спектар на развојните процеси на производите и нивната реализација.



Слика 3.12 Време потребно за производство споредбено

Извор: Kochan & Chua "State of the art and future trends in advanced rapid prototyping and manufacturing"

На сликата 3.12. се прикажани активностите кои се потребни за реализација на целосно производство на одреден производ. Погоре е покажан патот на производство според конвенционален метод, додека на долната половина од сликата е прикажан моделот на брза изработка на прототипови. Во зависност од големината на производството, заштедите на време и трошоци варираат од 50% до 90%!

### 3.8.2. Придобивки за дизајнерите на производот

Технологијата на брза изработка на прототипови им овозможува на дизајнерите на производот да ја зголемат сложеноста на делот. На тој начин може да се изработат повеќе органски и скулпторски форми за постигнување на поголема функционалност или естетика. Тие може да го оптимизираат дизајнот на дело за да ги исполнат барањата на потрошувачите, со мали ограничувања од страна на производството.

Покрај тоа, тие може да го редуцираат бројот на делови преку комбинирање на повеќе функции во едно делче, а при таквата комбинација се користат делови кои се претходно направени. Сето ова се изведува со цел алатот да нема лош пристап во одредени области или пак за да се минимизира обработката и отпадот. Со помалку делови, времето поминато за анализа на толеранцијата, изборот на сврзувачки елементи, времето поминато во деталзирање на отвори за завртки, времето потрошено за монтажни цртежи значително се намалува. Сето тоа доведува и до помалку ограничувања во однос на дизајнот на деловите без оглед на нацртните агли, разделните линии и други такви ограничувања. Деловите кои што претходно не можеле едноставно да бидат поставени за обработка, или имаат точни големи тенки сидови, или пак не користат почетни облици за да се минимизира обработката и потрошувачката, сега со помош на оваа технологија може да бидат дизајнирани. Со оваа технологија се минимизира и количеството на употребен материјал и се оптимизира соодносот јакост/тежина без оглед на трошоците за обработка. Конечно, дизајнерите може да го минимизираат времето кое претходно го трошеа на дискусии и евалуација на производните можности.

### 3.8.3. Придобивки за обработката и производниот инженер

Главаната заштеда се согледува во трошоците. Производниот инженер може да го минимизира дизајнот, производството и верификацијата на обработката. Тој може да реализира профит порано на новите производи, бидејќи фиксните трошоци се помали. Тој исто така може да го редуцира бројот а деловите, а со тоа да ги редуцира и трошоците за монтирање, складирање и испорачување. Производителот може да го намали и работниот труд, бидејќи делумно некои специфични поставувања и програмирања со оваа технологија се елиминираат. Исто така не е потребен голем кадар кој ќе биде одговорен за процесите при обработката на парчето, а се намалува потребата и од контолирање на процесите на монтажа. Се редуцира отпаден материјал, со тоа се намалуваат трошоците за количеството материјал, и тошоците за негов транспорт и складирање. Трошоците уште повеќе се намалуваат бидејќи производителот нема потреба од големи складишта. Спомнавме и погоре дека испорачувањето

на нарачките со оваа технологија се изведува многу поедноставно, без разлика на количеството на производи кои ќе бидат произведени. Залихи скоро и не постојат, бидејќи за кратко време производителот ќе успее да ги произведе бараните производи. И на крај дури може да се намали складиштето за резервни делови (резервните делови се произведуваат само по нарачка, бидејќи може да се произведат брзо и едноставно, без разлика на тоа колку е застарена верзијата на производот кој има потреба од замена на оштетен дел).

#### 3.8.4. Индиректни придобивки

Надвор од дизајнерските и производните одделенија, со користење на оваа технологија може да се забележат и некои индиректни придобивки. Индиректните придобивки ги уживаат, како маркетингот така и самите потрошувачи на производите.

#### 3.8.5. Придобивки кај маркетингот

На пазарот, се претставуваат нови способности и можности. Со користење на ваквата технолија значително се намалува временскиот период од идејата до пласирањето на производ на пазарот. Сето тоа резултира со намалување на ризикот, при што се намалува и потребата од проекти за истражување и евалуација на предвидувањата на потребите на купувачите и динамиката на пазарот во наредните неколку години. Производите во најголем случај соодветствуваат и ги задоволуваат потребите на пазарот, тие се изработени според најновата технологија и според досегашните анализи се оценети како сосема економични. Маркетингот исто така може да го промени производниот капацитет во согласност со пазарната побарувачка, која се согледува во реално време, при тоа сосема малку тоа да влијае на производството. Технологијата овозможува лесно постигнување на разновидност на понудите кои ги нуди одреден производ, а со тоа се создаваат повеќе варијатни од еден модел на производ, додека кај конвенционалното производство тоа не беше случај. Дистрибуцијата истот така може лесно да се прошири и таквите производи безо да се најдат на странските пазари.

### 3.8.6. Придобивки кај потрошувачите

Користејќи ја технологијата на брза изработка на прототипови, одредени бенефити имаат и потрошувачите на производите. Нив им се овозможува да купат производи кои ги исполнуваат поблиску нивните индивидуални потреби и барања. Најпрво, посоти многу широка разновидност на понуди од кои може да се избере. Второ, потрошувачот може дири и да учествува во некои процеси на креирање на производот, со цел тој во потполност да ги задоволи неговите потреби. Флексибилната автоматизација во компаниите, користејќи ги овие технологии во последните години му ја овозможува на потрошувачот оваа придобивка. Исто така, еден од битните фактори е што потрошувачот, може да купи производи и за пониски цени, бидејќи тоа го дозволуваат заштедите кои се постиганати во производните процеси, користејќи ја оваа технологија.



# Глава 4

## 4. Системите за брза изработка на прототипови

### 4.1. Класификација на системи за БПТ

Постапките на брза изработка на прототипови се адитивни процеси. Наспроти конвенционалните постапки како што се стругање, брусање, ерозија и слично, кај кои обликот се создава со симнување на материјал, а кај системите за брза изработка на прототипови обликот се генерира (настанува) со сукцесивно инкрементално нанесување слоеви. Секој слој има своја контура, а заедно „поставени“ слоевите го креираат обликот на телото (моделот). Процесот на брза изработка на прототипови можеме да го дефинираме како 2.5D процес бидејќи се градат дводимензионални слоеви кои се налепуваат еден врз друг. На тој начин конечниот модел во x-y рамнината е сосема точен, а во z-рамината поседува одреден степенест профил. Тој профил е толку поблизок до оригиналот, колку што слоевите се потенки. Постојат повеќе различни класификации на системите за брза изработка на прототипови. На сликата 4.1 е прикажана класификација која се темели на видот на почетниот материјал кој се користи за изработување на моделот. Согледуваме дека постојат три различни видови на почетен материјал кои се користат за изработка на модели:

- 1) Флуиди (фотополимери кои при осветлување со ласерски зрци или UV ламба се стврдуваат);
- 2) Дискретни честици кои се зацврстуваат или со помош на специјални средства за поврзување или со влијание на ласерски зраци;
- 3) Цврсти материјали – пластични фолии, хартија, тенок лим итн.

Наведената класификација не е комплетна, но во неа се набројани повеќето од најчестите видови на системи кои сре користат за брза изработка на прототипови. Во класификацијата се задржани оригиналните, англиски називи за поединични технологии, бидејќи на македонски јазик сеуште не постојат стандардизирани термини (слична ситуација во оваа смисла владее и во Германија – и во литературата на германски јазик овие изрази не се преведуваат, туку се задржуваат во нивниот оригинален, англиски облик).

Покрај наведената класификација, постапките за брза изработка на прототипови можат да се поделат и според видот на изворот на светлина кој се применува во процесот. Според тоа постојат постапки кој кои е потребна светлина, преку работен медиум се предава на еден од следниве начини:

- точка по точка;
- по одредена површина.

Поделба може да се изврши и според целта и областа на користење на моделот. Според тој критериум системите се делат на системи од кои се добиваат:

- дизајн прототип
- функционален прототип
- модели за понатамошна изработка (на пример за прецизно леење)
- функционални делови за мали серии („меки алати“)

Сепак, поделбата која е прикажана на сликата 4.1. е најчеста во стручната литература и според неа понатаму се разгледуваат и дефинираат процесите и постапките.



Слика 4.1. Класификација на системите за изработка на прототипови според видот на почетниот материјал

## 4.2. Примери за примена на технологијата за брза изработка на прототипови

Материјалот прикажан во ова поглавје пред се е во насока на примената на технологијата за брза изработка на прототипови во производното машинство. Слободно може да се каже дека во оваа област од машинството, технологијата доаѓа најмногу до израз. Треба, исто така да се напомене дека технологијата за брза изработка на прототипови се користи и во други области, како што се уметност, архитектура, медицина итн.

### 4.2.1. Примена на технологијата за брза изработка на прототипови во доменот на производното машинство

За да се долови примената на оваа технологија во областа на производното машинство ќе бидат разгледани бројни конкретни примери, од секојдневната пракса. Тоа се примери кај кои во ланецот на вкупниот развој на производот, технологијата за брза изработка на прототипови одиграла клучна улога.

#### Пример1. Изработка на радиаторски вентили



На сликата 4.2 е прикажан радиаторски вентил, чија постапка на изработка со RP технологијата изгледа вака:

- Конструкција на вентилот (PTC/ProEngineering);
- Изработка на првите варијанти на моделот од вентилот со помош на стереолитографија (SL). На тој начин се добива физички модел, кој понатаму служи за анализа (инженерска, маркетинг, менаџмент) врз основа на која се усвојуваат некои промени во конструкцијата на моделот;

Слика 4.2. Радиаторски вентил

- Промени во конструкцијата на CAD моделот;
- Изработка на делови на вентилот, според изменетата конструкција, со помош на стереолитографија и нивна монтажа;

- изработка на 20 парчиња (прототипови) вентили, со помош на леење во вакуум, при што RP моделот послужил како почетен чекор во процетот на леење во вакуум;
- тестирање на добиените вентили;
- одобрен модел, пуштен во производство.

Со оваа постапка времето од иницијалниот концепт, до самото производство на вентилот е скратено на 18 седмици. Со тоа остварна е заштеда од приближно 3\$ по вентил, што во серија од 200.000 парчиња претставува вкупна заштеда од 600.000\$. Исто така се намалуваат и трошоците за алат при производство на 20-те прототипови.

**Пример 2.** Траен калап за восочни модели за прецизно леење – голф палка

Задачата е да се изработи метална глава од голф палка (слика 4.3). Почнувајќи од железниот позитив (главата на голф палката) е изработен негативот од таа глава со помош на LOM постапката, кој претставува траен калап за изработка на восочен модел. Изработените восочни модели се користат понатаму во процесот на прецизно леење за добивање на реалниот производ – метална глава.



Слика 4.3 Калап за производство на глави од палки за

#### 4.2.2. Други Примери

Запченици. Фирмата 3D Systems на својата машина ST-100 со постапката Selective Laser Sintering (SLS) изработува и делови од типот на запченици, кои имаат улога на функционален прототип.

Модели на автомобили. Citroen и Peugeot имаат изработено модели на автомобили со размер 1:18 со помош на технологијата за брзи прототипови, кои им послужиле за проценка на волуменот на возилата во различни ситуации, како и за некои иницијални истражувања во однос на отпорот на воздухот при движење на автомобилот.



Слика 4.4. Елемент со спирални

Прототип елементи со спирални лопатки. Компјутерски лопатки- прототип постапка за брза изработка на прототипови – Direct Metal Laser Sintering (DLMS). Со помош на ваквата технологија,

со одредена мешавина на метални прашоци (алуминиумски, магнезиумски легури но и челик) со директното синтетизирање можеле да се добијат многу прецизни прототипови.

Примена на постапката за изработка на брзи прототипови при проверка на компјутерските модели и постапки. CAD моделите претставуваат брз и ефикасен начин да се дојде до потребните информации за брз развој на производот. Таквите модели со помош на соодветни софтвери, овозможуваат и компјутерска симулација на различни карактеристики од следните производи (на пример, кога на производот му дејствуваат одредени вибрации итн.). Меѓутоа таквите софтвери се потпираат на одредени претпоставки поедноставувања кои внесуваат одредена доза на несигурност и недоверба во таквите анализи. Поради тоа потребно е променливите кои се вградени во таквите математички модели да бидат проверени и на физички модел. Брз и ефикасен начин за доаѓање до таквите вредности е нивно експериментално одредување на физичките модели изработени со примена на RP постапките. Значајна примена претставува и можноста за извршување на оптичко-напонска анализа на физички RP транспарентен модел изработен со SL-постапката. Преку таквата анализа може да се добијат драгоцен резултати и податоци за критичните

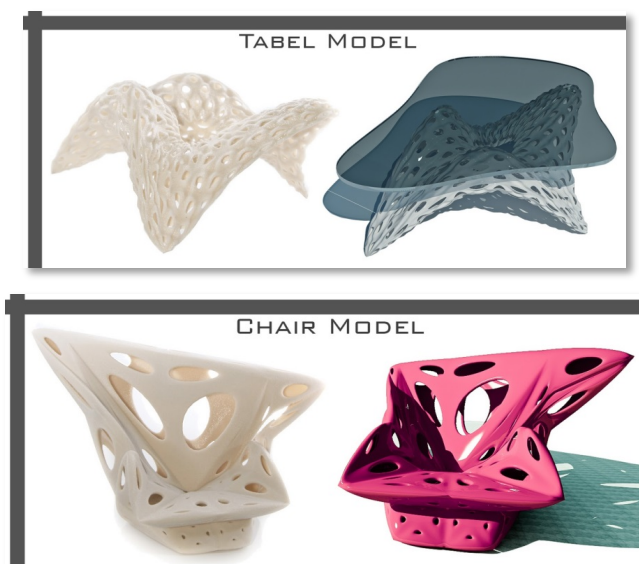
места од аспект на напонската состојба на идниот реален дел. SL-моделите од епоскидни смоли се многу поволни за изведување на оптичко-напонските анализи на моделот.

#### 4.2.3. Примена во други области

Посебен правен во уметноста, кој што се развива паралелно со се пошироката примена на компјутерите е компјутерскиот дизајн. Еден од подправците е и компјутерски вајање скулптури. Уметникот-вајар на компјутер креира свое уметничко дело, а потоа преку RP, го претвара компјутерскиот дизајн во физички објект.

Постојат контраверзии околу прашањето, дали е тоа навистина уметност, но реалноста е дека веќе се одржуваат и уметнички изложби на таа тема. При тоа уметникот-вајар, освен своите уметнички склоности, мора да поседува и минимум знаење од примената на CAD софтверот, за да може своите уметнички идеи што пореално да ги преточи во математички модел.

Во индустријата за мебел, исто така можна е примена на RP технологијата. Еден таков пример е прикажан на сликата 4.5 Египетскиот дизајнер Islam Ibrahim Salem, пред да ги изработи реалните парчиња мебел (стол и маса), им направил стереолитографски модел во одреден размер, со цел да ја провери нивната естетска и функционална страна



Слика 4.5 . Модел на стол и маса креирани со SL постапка

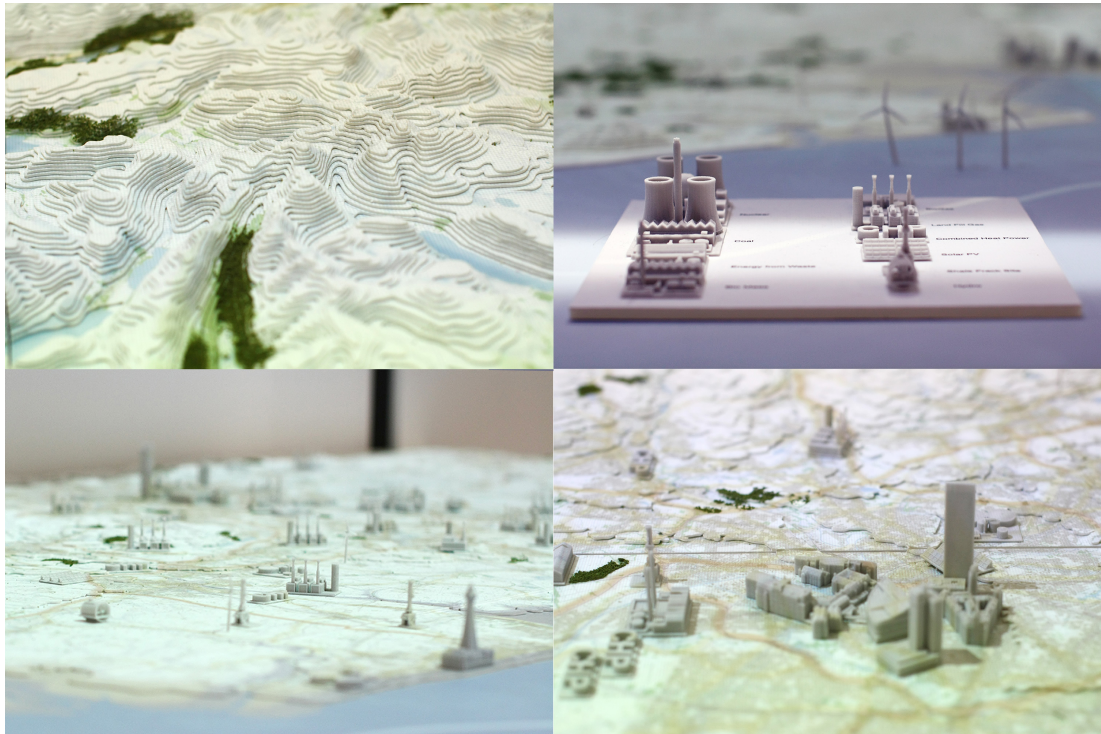


Позната е примената и на RP технологијата и во архитектурата. При тоа моделите на идните градежно-архитектонски објекти служат како основа за анализа на стручњаците, инвеститорите и останатите лица одговорни за настанокот на тие објекти.

Посебно значајна и ефикасна е примената на оваа технологија во процесот на реконструкција на историските споменици, кои со текот на времето се оштетиле, па им е потребна реконструкција или обнова. Случајот на Frauenkirche во Дрезден-Германија, многу пластично ја илустрира оваа можност, (слика 4.6). Во склоп на плановите за сеопфатна реконструкција на оваа црква, креиран е нејзин компјутерски CAD модел, кој понатаму служел за дефинирање на многу порцеси од реконструкцијата.



Слика 4.6. Модел на Frauenkirche во Дрезден-Германија



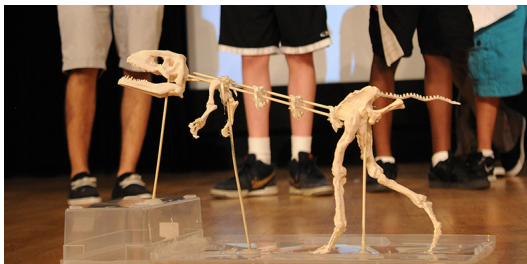
[www.hobsstudio.com](http://www.hobsstudio.com)



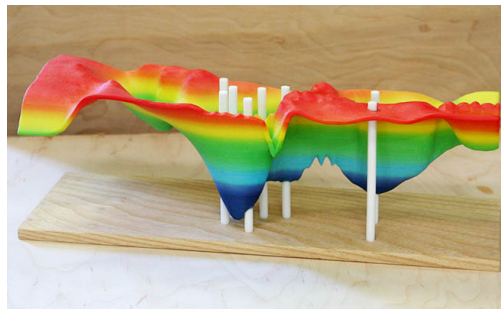
[www.3ders.org](http://www.3ders.org)



[www.3dprintsondemand.com](http://www.3dprintsondemand.com)



[www.3dprintsondemand.com](http://www.3dprintsondemand.com)



[www.solid-ideas.com](http://www.solid-ideas.com)

Слика 4.7 Примери на 3Д принтари модели во различни области

#### 4.3. Примена на RP техники во изведување на напонски анализи

Институтот за експериментални анализи во Rover групацијата, дел од Универзитетот во Варвик, ги проучувал примените на експерименталните напонски анализа техники на моделите, произведени според технологијата RP. Техниките биле наменети за употреба на RP модели и вклучувале термоеластична напонска анализа (ТНА) и три-димензионална фотоеластична напонска анализа (ФНА). Работејќи неколку години успеале да ја докажат валидноста на техниките и нивната можност да се произведе целосно поле на подаатоци за напонот добиени од анали за моделот генериран директно од CAD датотека.

Ова поглавје ќе ги презентира бизнис причините за преземање на овој пристап, предностите стекнати во однос на скратувањето на развојниот циклус на производот, важноста на оценување на дизајнот пред да се премине на изработка на прототип и заштедите на трошоците кои се постигнуваат, со користење на технологијата за брза изработка на прототипови.

Во автомобилската индустрија, постои зголемен притисок во однос на воведувањето на нови модели на пазарот, за што е можно помал временски период, а за цена која што ќе биде поконкурентна од било кога. За да се постигне ова суштинско барање, циклусите за дизајн на производот мора да бидат скратени, а од друга страна значително да се намалат и трошоците. Тоа значи, помалку промени на дизајнот или нивоата, а како резултат на тоа ќе се

редуцира и бројот на работни прототипови. Заедно на сето тоа, постои и потреба да се зголеми квалитетот, што значи пообемно барање доверба од иницијалниот концепт дизајн.

Исторски гледано, експерименталните анализа техники најпрво морале да се вршат на „работен прототип“ во фазата на дизајн / развојниот циклус на производот. Тоа е така бидејќи, во случаи на ТНА, морало да биде на рапсологање реално парче со цел физички да се подложи на циклично оптоварување, а преку тоа да се добие и решение за површинскиот напон. За ФНА, било возможно да се постигне работата порано, но скоро секогаш поревладувала потребата од физички модел од кој може да се добие модел со соодветен фотоеластичен материјал, процесот одземал долго време како процедура, ако се извршува врз реален работен прототип. Техниките, поради тоа, многу одземале време и тоа не дозволувало да се направат радикални промени во дизајнот, исто така и трошокот за правење доцни промени во обработката итн. се со цел да се направи дизајнот поуспешен, биле забранети во оваа доцна фаза. Тоа често резултирало со компромисен дизајн и она што било јасно за во понатамошните пороекти е дека има поробна од метод за рана валидација и корелација со анализите на конечни елемент.

Еден начин за добивање дополнителна информација е да се искористат експериментални анализа техники спроведени на RP модели кој можат да бидат конструирани директно од CAD датотека во концепт фазата на дизајнот. Со разработување на оваа комбинација од компјутерски и експериментални анализи во концепт фазата на дизајнерскиот циклус, можело да се постигне поголема доверба во дизајнот, без да се помине низ погоре опишаните фази на анализа и тестирање на реалниот производ, Овие резултати донеле до значителни временски заштеди и заштеди на трошоци, бидејќи бројот на скапите работни прототипови и збирот на времето потрошено на тестирање и одобрување на производот било многу редуцирано. На сликата 4.8 графички е прикажана споредбата на двата методи. Стариот метод на почетокот, од развојот на производот, бележи ниски трошоци, кои започнуваат нагло да се зголемуваат со тек на секоја наредна фаза. Најголемото зголемување на трошоците се забележува од фазата за тестирање на реални прототипови, па се до крајот на програмата. Од друга страна, методот на брза изработка на прототипови покажува линерно зголемување на трошоците за време на раната изработка на RP модели, и за време на експерименталното тестирање, но се

забележува и стабилизирање на трошоците. Кај методот за брза изработка на прототип, времето значително е намалено а и се заштедува, бидејќи не се користи алатот за изработка на реален прототип, кој беше случај кај стариот метод.



Слика 4.8. Заштеда на време и трошоци со извршување анализи на брзо изработени прототипови

#### 4.4. Понатамошен развој на системите за брза изработка на прототипови

Развојот на технологиите за брза изработка на прототипови, во никој случај не е завршена. Во светските истражувачки лаборатории, но и во развојните одделенија во индустриското инженерство се работи на понатамошно усовршување на овие системи.

Тие истражувања може да ги класифицираме според нивните цели и правецот во кој се развиваат. Според тоа постојат следниве видови истражувања:

1. Истражувања со цел да се зголеми брзината на изработка на моделите. - Со користењето на брзи компјутери, комплексни системи за управување и материјали со подобрени особини, во значајна мерка се намалува времето на изработка на моделите. Како пример е земен новиот систем за брза изработка на прототипови STRATASYS, произведен од страна на компанијата FDM Quantum, кој овозможува брзо изработување на модели, со брзина која е два до три пати поголема од брзината на поранешните RP системи од оваа компанија. Со зголемување на брзината се зголемува и конкурентската способност постигната со технологијата за брза изработка на прототипови.



Слика 4.10 STRATASYS SYSTEM

2. Зголемување на точноста на моделот – Досегашното ниво на точност, кое што може да се постигне со RP машините е доста високо во хоризонтални рамнини ( $\approx 0,8mm$ ), но кога станува збор за во вертикална рамнина, подари адитивната природа на самиот процес, точноста значајно опаѓа. Подобрувања во ласерската оптика и во управувачките техники на моторот може да доведат до подобрувања и во вертикалната рамнина. Исто така, развојот на нови материјали за



RP системите може да допринесе за зголемување на точноста. На тој план се работи интензивно во повеќе истражувачки центри.

3. Нови материјали за моделите кои се изработуваат со помош на RP системите – Покрај полимерните материјали, во поново време се користат и метални, керамички и композитни материјали кои ги прошируваат можностите на оваа технологија и пак служат за изработката на широк спектар на функционални модели (полимерните материјали често не се погодни за изработка на функционални модели). Истражувањата на нови материјали за RP технологиите се вршат во многу истражувачки лаборатории. На пример, на Универзитетот во Детроит, интензивно се истражуваат керамички и композитни материјали и нивната примена во LOM-технологијата. Првичните резултати се охрабрувачки.
4. Зголемување на димензиите на моделот – Моментално, големината на моделите која може да се изработи со помош на RP технологијата е ограничена просечно на  $0,125\text{m}^3$ . Поголеми делови мора да се работат во сегменти, а потоа да се составуваат. За да се избегне тоа, се истражуваат можности за изработка на поголеми делови. Едно од таквите решенија креирано е на Универзитетот San Jose САД, каде што е изграден компактен дел со големина  $3.3 \times 2 \times 1.2\text{m}$ . За изработка на моделот користена е техника со слоеви од силикатен прав кој се поврзува со одреден вид парафин. Затоа во тој алат е изграден моделот со наведените димензии.
5. Distance Manufacturing on Demand – Како една од идните примени, се предвидува тн. Distance Manufacturing on Demand. Како синтеза на RP и Интернет технологијата DMD ќе им овозможи на конструкторите, да праќаат финализираны решенија за работа со физичко генерирање на RP системите на било која далечина. Тимот истражувачи на Универзитетот Калифорнија во Беркилеј, моментално работи на развој на еден таков систем. Не криејќи го својот интузијазам, истражувачите дури предвидуваат и домашна примена на технологијата за брза изработка на прототипови, со што терминот „домашно производство“ ќе добие сосема ново значење. Од сегашна перспектива, воведувањето на 3D принтерите во домашна употреба можеби делува премногу амбициозно, меѓутоа пред дваесетина

години, идејата за ласерски принтери во боја, беше дочекана исто така со недоверба.

Конечно брзиот разбој на RP технологијата го иницира и понатамошниот напредок во областа на конвенционалните супстрактивни технологии. Примената на компјутерите во оптимизација на параметрите кај процесите, ја подобрува динамиката на машината, ја зголемува брзината на режење и точноста, тоа се некои од правците на кој се постигнати значајни напредоци.

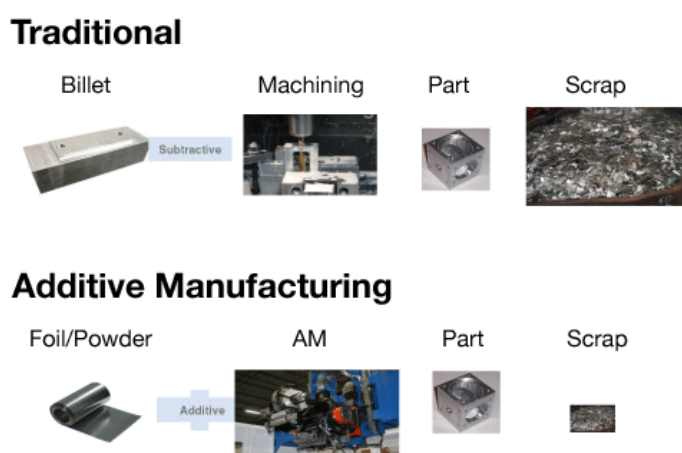


# Глава 5

## 5. Вовед

### 5.1. Адитивно производство - производство во слоеви

“Адитивно производство” (АП) претставува производен процес кој се базира на слоевито добивање на 3 димензионални физички објекти во размер директно од 3D-CAD податоците, без употреба на алати кои зависат од самиот дел. Најпрво процесот се нарекувал “Rapid Prototyping”, име кое сеуште се користи.

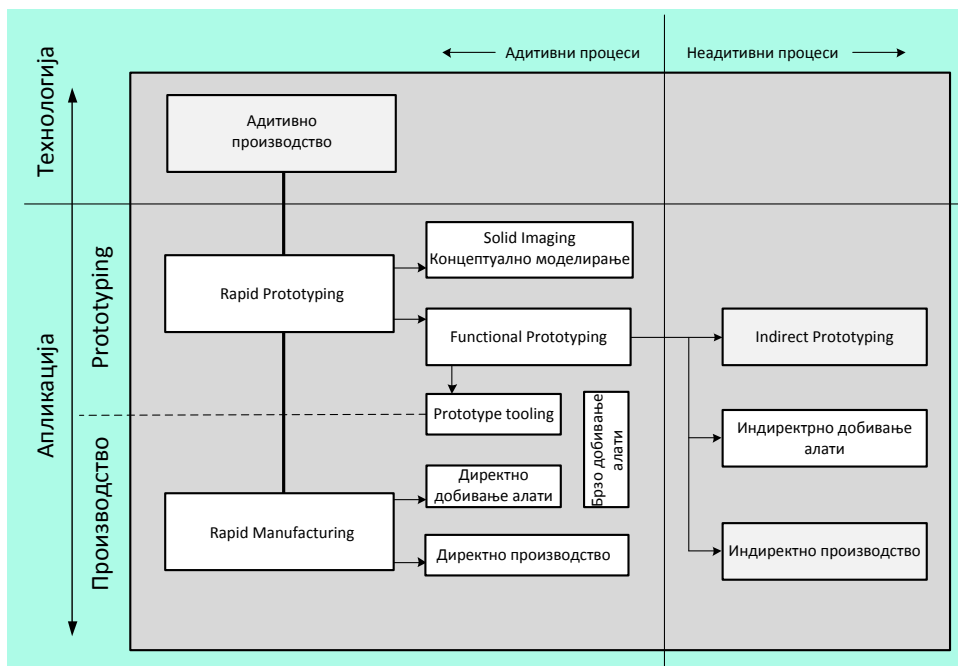


Слика 5.1. Разлика помеѓу конвенционален и адитивен начин на производство

Извор: [www.fabrisonic.com](http://www.fabrisonic.com)

Заедно со добро утврденото конвенционално производство на симнување на материјали, како што се глодање или стругање, и “Производството со обликување” како ковање или леење.

Кога “Адитивното производство” прв пат се појавило на пазарот во 1987, било нарекувано “Rapid Prototyping” или “Генеративно производство”. Двата термини се сеуште во употреба и во изминатите години се појавиле уште многу други.

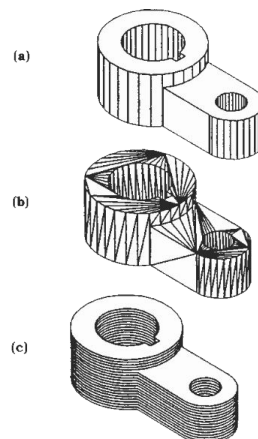
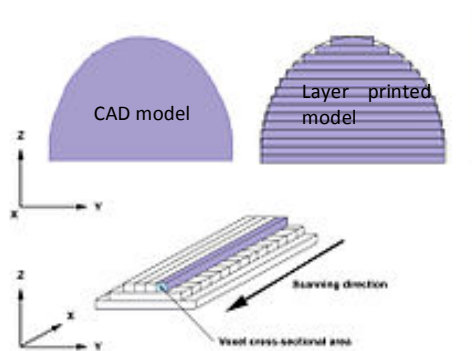


Слика 5.2: Шематски приказ на нивоата на примена на адитивното производство

Бидејќи адитивното производство е релативно млада технологија, долго време не постоеле никакви напори за стандардизација, со исклучок на некои прелиминарни работи во Германија во почетокот на 1990-тите. Во 2007 била направена специјална препорака наменета за Rapid Prototyping /VDI3404/ под раководство на Германското друштво на машински инженери (VDI). Од 2009-та, Американското друштво на машински инженери (ASME) во соработка со Американското друштво за тестирање и материјали (ASTM) започнале да развиваат сопствени стандардизирани процедури.

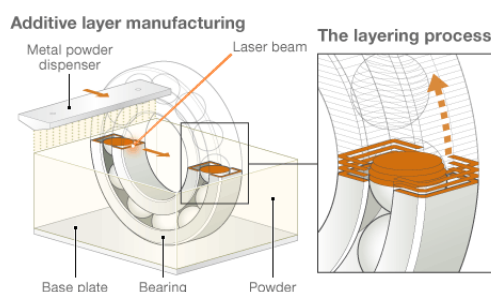
## 5.2. Принципи на Слој по слој базирана технологија (Layer-Based)

Терминот адитивно производство ги покрива сите замисливи начини за додавање на материјал со цел да се добие 3-димензионален физички дел на основа на CAD модел.



c) layer printed

model, модел на прототип добиен во слоеви



**Слика 5.3 Прототипови добиени со постапка слој по слој, Layer based technology**

Извор: [engramikhalil.weebly.com](http://engramikhalil.weebly.com) & [www.geog.ucsb.edu](http://www.geog.ucsb.edu)

Техничката реализација на АП е базирана исклучиво на слоеви и затоа се нарекува Layer-Based технологија. Како последица на тоа денес термините адитивно производство, генеративно производство и Layer-Based технологија се користат како синоними.

Принципот на работа на Layer-Based технологијата е добивање на 3-димензионален физички објект од многу слоеви кои најчесто имаат еднаква дебелина. Секој слој има контура која одговара на соодветните 3-димензионални податоци и се поставува врз претходниот слој. Како последица на еднаквата дебелина на слоевите, кај добиениот дел се добива “скалест ефект”.

### 5.2.1. Адитивно производство (АП)

Адитивното производство е автоматизиран процес добиен од принципите на Layer-Based технологијата. Процесот започнува со виртуелен 3-димензионален CAD модел кој го претставува делот кој треба да се произведе. Во инженерството, потребните податоци се добиваат преку 3D CAD дизајн или преку скенирање или други технологии за работа со слики како компјутеризирана томографија (СТ-скенирање).



Слика 5.4. Од концепт до производ

Извор: [www.thomasnet.com](http://www.thomasnet.com)

Независно од начинот на добивање, 3D податоците најпрво се делат на слоеви користејќи посебен компјутерски софтвер. Како резултат, се добиваат виртуелни исечоци со дефинирани контури и еднаква дебелина.

Податоците кои се состојат од податоци за контурата (x-y), дебелина на слојот (dz) и бројот (или z-координата) на секој од слоевите се доставуваат до машина која извршува два елементарни чекори на процесот за секој од слоевите со цел да се добие делот.

Најпрво, секој слој се процесира според зададената контура и податоците за дебелината на слојот. Ова може да се изврши на многу начини и користејќи различни методи. Наједноставниот метод е да се исече контурата од претходно изработена плоча или фолија. Во вториот чекор, секој слој се

поврзува со претходниот така што го оформува најгорното слој од делумно изработениот модел. Слој по слој, физичкиот модел расте од долу на горе додека не се добие финалниот дел.

Овие основни чекори се исти за сите машини за АП кои денес ги има повеќе од 100 типа. Разликата во машините е во начинот на процесирање на секој слој и во начинот на сврзување на соседните слоеви.

Како прв заклучок, адитивното производство (АП) е процес кој:

- е базиран само на 3D податоците на 3-димензионален виртуелен објект, наречен дигитален модел на производот
- се употребуваат на слоеви со еднаква дебелина и контура која одговара на соодветниот напречен пресек. Според тоа, АП е всушност 2 - ½ D процес
- АП не се меша со конструкторскиот процес и може да се изврши во секоја фаза од развојот на производот
- најчесто се употребуваат комерцијални материјали и на тој начин се формира силна поврзаност помеѓу машината, процесот и материјалот. Овој ефект ќе се намали со зголемувањето на бројот на машини на пазарот и зголемената заинтересираност на нови добавувачи на материјал кои сакаат да влезат на пазарот.

### 5.3. Степени на примена

Повеќето луѓе заинтересирани за АП сакаат да знаат како можат да ја користат оваа нова технологија и какви нови производи може да развијат со нејзината употреба.

Многу мислат дека секој од различните АП процеси се поврзани само со одредена апликација во смисла дека еден процес од АП може да се користи само за одреден број на апликации, додека друг е само соодветен за други. Ова мислење ги охрабрува луѓето да ги изучуваат сите различни процеси и подоцна да се грижат за нивните соодветни примени.

Во пракса, идентификацијата на најдобро применливиот процес во АП започнува со соодветната апликација. Потоа специјалните барања, како димензии, квалитет на површината, дозволени механички сили, температура и сл. водат до избор на соодветен материјал и на крај, до избор на машина способна соодверно да одговори на дадените барања. Во принцип, различни процеси од АП може да се користат алтернативно за решавање на истиот проблем.

Поради тоа, пред да се изучат различните процеси во АП потребно е да се направи структура на широкиот интервал на апликации. За оваа цел, потребно е да се дефинираат различни степени на апликација.

За да се дефинира ваква структура најпрво мора да се направи разлика помеѓу термиот “технологија” и “апликација”. Технологија се дефинира како наука на техничкиот процес и го опишува научниот пристап. Апликацијата на технологијата го опишува начинот на кој се користи технологијата за да се добие некоја корист од неа, што уште е познато како практичен пристап.

За да се добие подобар преглед на различните класи на апликации се дефинираат т.н. степени на апликација. Дефинициите се широко прифатени, но не се сеуште стандардизирани и покрај сите напори за стандардизација понекогаш се појавува употреба на различни термини. Технологијата на АП се карактеризира со два степени на апликација, “Rapid Prototyping” и “Rapid Manufacturing”.

Rapid Prototyping ги опишува сите апликации кои водат кон добивање на прототипови, модели и макети, додека Rapid Manufacturing се користи при изработката на финалните продукти.<sup>14</sup>

### 5.3.1. Директни процеси

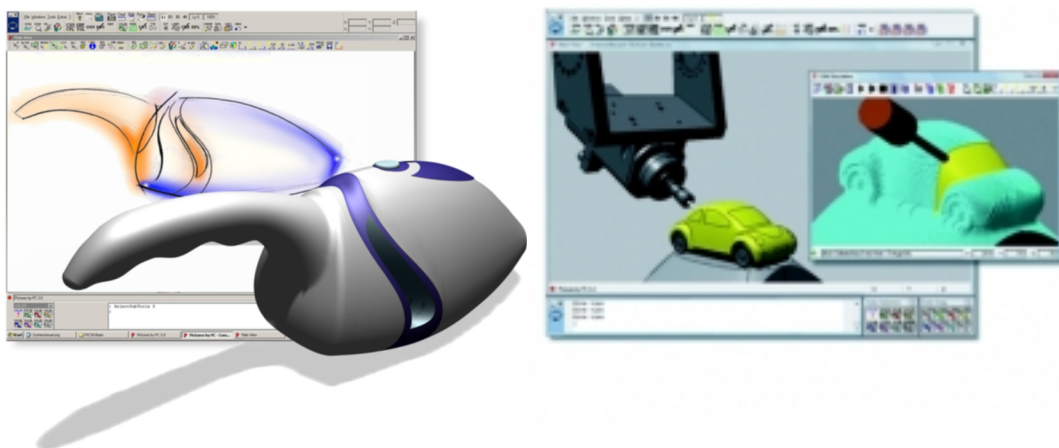
Сите АП процеси се нарекуваат “директни процеси” со цел да се покаже дека дигиталниот модел во процесот директно се конвертира во физички објект, наречен дел, со употреба на генеративна машина. Наспроти ова, некои процедури се нарекуваат “индиректни процеси” или “индиректни rapid prototyping процеси”. Тие не го применуваат принципот на производство во слоеви и според тоа не се процеси на АП. Всушност индиректните процеси се техники на копирање најчесто базирани на леене со силиконска гума како RTV (Room Temperature Vulcanization). Бидејќи АП деловите се користат како мастер, терминот “индиректни rapid prototyping процеси” бил воведен бидејќи звучело поиновативно .

<sup>14</sup> Деловите се нарекуваат прототипови ако покажуваат само една или неколку изолирани карактеристики или функции на финалниот дел. Терминот финален производ се користи кога ја прикажуваат целосната функционалност на на производот.

### 5.3.1.1. Брзи прототипови (Rapid Prototyping)

Во однос на степенот на примена на “Rapid Prototyping”, може да се диференцираат два различни нивоа: “Solid Imaging” и “Концептуално моделирање” од една страна и “Functional Prototyping” од друга.

*Solid Imaging* или концептуално моделирање дефинира фамилија на делови кои се применуваат за да потврдат некој основен концепт. Деловите личат на три димензионална слика или статуа. Во најголемиот број на случаи, тие неможе да се оптоваруваат и се користат само за добивање на просторна слика со цел да се оцени генералниот изглед и пропорциите. Поради ова деловите уште се нарекуваат “модели за приказ” (show-and-tell models).



Слика 5.5: Концептуален модел

Извор: [www.imes-icore.de](http://www.imes-icore.de)



Концептуалните модели во размер често се користат за да ги утврдат комплексните CAD цртежи. Тука тие се нарекуваат “модели за контрола на податоците” (data control models). Контролата на податоците не служи само за утврдување на CAD податоците туку и да обезбеди основа за интердисциплинарни дискусии за проблемите што може да се појават (пр. проблеми при пакувањето).

Обоените модели кои се изработуваат од прашок и сврзно средство со процесите на 3D печатење се доста вредни алатки за евалуација на концептот. Боите помагаат за прикажување на проблематичните области на производот.

*Functional Prototyping* се применува за проверување и потврдување на една или повеќе изолирани функции на конечниот производ или за донесување на одлуки во производството и покрај тоа што моделот не може да се користи како краен дел.

Овој процес резултира со мазна површина која го имитира квалитетот на подоцните серии, но поради механичките и особено термичките карактеристики, бојата и високата цена не е прифатлив за производство во серии.

### 5.3.1.2 Брзо производство (Rapid Manufacturing)

Нивото на апликација на “Rapid Manufacturing” ги опфаќа сите процеси со кои се добиваат готови производи или готови делови кои е потребно да се склопат во краен производ. За еден дел добиен со АП се вели дека е краен производ ако ги содржи сите карактеристики и функции кои се предвидени за време на процесот на развивање. Ако делот е “позитив”, тогаш процесот се нарекува “Директно Производство”, а доколку е “негатив” (калап), тогаш станува збор за “Директна изработка на алат” (Direct Tooling).

Директното производство води кон готови делови директно од АП процесите. Денес достапни се најразлични материјали од сите класи (пластика, метал, керамика) за директно процесирање со помош на некој процес од АП. Тука не е важно достапниот материјал да ги има точно истите физички карактеристики како материјалите кои се користат во традиционалните производствени процеси, но и покрај тоа материјалот мора

да ги има карактеристиките врз кои е реализиран инженерскиот дизајн за АП процесот.

### 5.3.1.3 Брзи алати (Rapid Tooling)

Во Rapid Tooling спаѓаат сите процедури од АП кои резултираат со крајни делови кои се користат како јадра, шуплини или вметоци за алати и калапи. Притоа се издвојуваат две групи: директно добивање на алати (direct tooling) и добивање на алати со прототипови (prototype tooling).

*Директно добивање на алати* е технички еквивалентно со Директно Производство но како краен производ се калапи со квалитет погоден за сериско производство. Иако добивањето на алати се сведува на инверзија на податоците за производот (добивање на негатив) постојат причини за да му се определи посебен степен на апликација. Дополнителни, за инверзија на податоците потребна е конструкција на алати која вклучува зголемување за да се компензира собирањето на материјалот, дефинирање на поделбени линии, агли на закосување, исфрлачи, лизгачи итн.

Многу е важно да се разбере дека со “Директно добивање на алат” не се добива целиот алат туку се генерираат само негови компоненти како алатните шуплини и лизгачи. Целиот алат се добива со употреба на овие елементи и стандарни делови и вметоци со стандарден процес за изработка на алат.

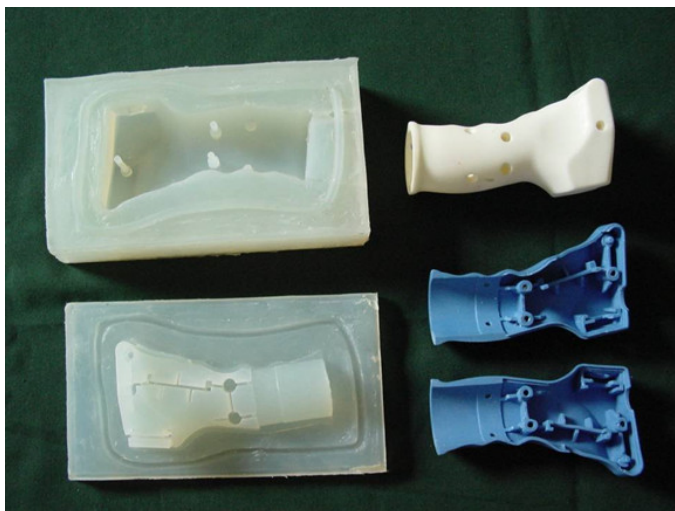
Слој-базираната технологија од сите АП процеси дозволува добивање на внатрешни шупливи структури. На пр. за добивање на челичниот калап за производство на голф топчиња потребна е голема прецизност. Со употреба на процесот со директно ласерско синтерување на металот со АП е добиен калап со скоро мрежеста форма (сл. 5.3). Иако тоа не е краен дел, претставува добар пример за ефективната примена на АП и високопрецизната обработка како високобрзинско глодање, обработка со електроерозија и сл.



Слика 5.6: Челичен калап за изработка на топчиња за голф добиен со ласерско синтерување на метал

**Добивање на алати со прототипови.** Производство на калап со висок квалитет често одзема многу време и пари и не е исплатливо за производство во мали серии. Доколку е потребно да се добијат само неколку делови или деталите често се менуваат, најчесто е доволен привремен калап. Ваквите алати го покажуваат квалитетот на функционалните прототипови и барем делумно ги задоволува критериумите за примена во “Директно добивање на алати”. Соодветниот степен на примена се наоѓа помеѓу Rapid Prototyping и Rapid Manufacturing. Овој степен на примена се нарекува Добивање на алати со прототипови (prototype tooling).

Со сумирање на различните типови на добивање на алати може да се заклучи дека Брзото добивање на алати (Rapid Tooling) не претставува автономен левел на апликација. Брзото добивање на алати ги интегрира сите АП апликации со кои може да се произведат калапи и соодветни вметоци.



Слика 5.7. Силиконски калап за изработка на делови од термосетинг

Извор: [www.dadesin.com](http://www.dadesin.com)

#### 5.4. Степени на примена - Индиректни процеси

Процесите на АП директно доставуваат геометриски точен физички модел во размер користејќи ги виртуелните податоци кои стојат на располагање. Но овој процес исто доаѓа со недостатоци:

АП процесот:

- се работи со материјали кои зависат од процесот и машината и имаат одредени ограничувања од типот на боја, просирност и флексибилност
- скоро и да нема намалување на цената со зголемувањето на производството
- е доста скап кога се користи за производство на повеќе копии, особено за сериски апликации

За надминување на овие проблеми, деловите од АП може да се земат како т.н. “мастер” модели и потоа да се користат за последователно копирање и репродукција. Принципот позади ова често се нарекува “поделба на способностите”: Геометриски точен дел брзо се добива од процесот за АП, додека саканата количина и карактеристиките како бојата и сл. се добиваат од последователен процес на копирање.

Последователниот процес не е базиран на слоеви и според тоа не е процес од АП. Тој се нарекува “Индиректен процес”. Поради маркетиншки

причини и за да се истакне брзината на производството се нарекува уште и “Индиректен Rapid Prototyping Процес”. Во литературата се сретнува и терминот “Секундарен Rapid Prototyping Процес”.

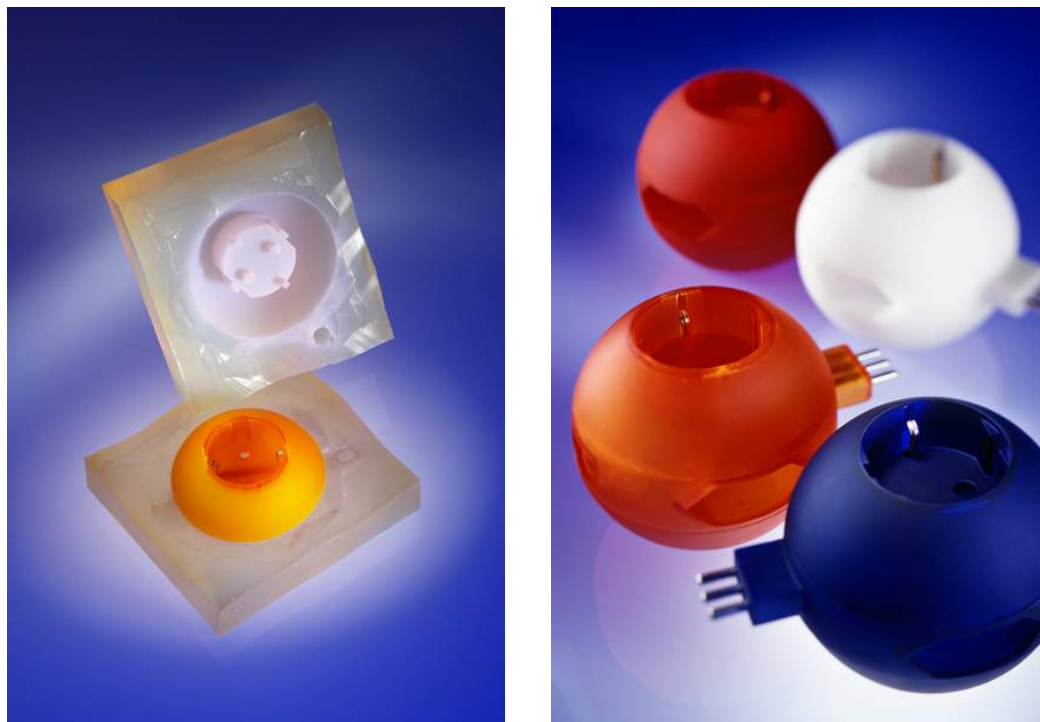
#### 5.4.1. Индиректни прототипови - Indirect Prototyping

Индиректно добивање на прототипови се применува за да се подобрат карактеристиките на делот добиен со АП за да може да ги исполни барањата на клиентот. На пр. доколку е потребен флексибилен дел, кој не може да се добие поради ограничувањата во материјалот тој не може да се изработи со процес од АП. Тогаш се изработува идентичен, но крут дел кој се користи како “мастер” модел за последователните процеси на леење. Бидејќи е потребна детална површина и деловите се механички оптоварени за време на процедурата за копирање како “мастер” најчесто се користат функционални прототипови добиено со стереолитографија. Потребно е тие рачно да се доработат пред копирањето.

Најголемиот дел од деловите добиено со индиректни процеси се функционални прототипови и според тоа треба да ги исполнат истите барања. Solid Image или концептуални модели ретко се прават со индиректни процеси поради што поголемиот труд од аспект на време и цена најчесто неможе економски да се оправда.

Може да се користат многу различни “секундарни процеси”. Најкористена е т.н. “вулканизација на собна температура” или RTV (Room temperature Vulcanization) процес уште познат како “леење во вакуум” (Vacuum Casting) или “обликување со силиконска гума” (silicon rubber molding). Исто како обликувањето со силиконска гума, повеќето од секундарните процеси се целосно или делумно мануални процеси со долг циклус и поради тоа употребливи само за мали серии или поединечно производство.

На сл. 5.9 е претставен систем за приклучување кој има потреба од куќишта со различна боја и просирност. Врз база на дводелен мастер од куќиштето изработен е калап од силиконска гума. Со употреба на овој калап се изработени приближно 15 различни копии добиени од RTV процесот.



**Сл. 5.9: Индиректно добивање на прототип; калап од силиконска гума за електронски приклучок (лево) и готовите делови (десно)**

Различните делови се користат за презентирање на нов производ и неговите способности на идниот производител. Бидејќи станува збор за прототипови, елементите не се сериски изработени, и покрај тоа што функционираат сосема добро.

Прототипови на делови од мек материјал како на пр. заптивки, често имаат комплексен облик. Ова е особено точно за заптивките за фиксирање на ретровизорите кај автомобилите кои треба да исполнат повеќе функции. На сл. 5.10 е прикажана таква заптивка со триаголен облик изработена со RTV процес врз база на мастер добиен со методот на стереолитографија со АП.



Сл. 5.10: Индиректно добивање на прототип; триаголна заптивка за фиксирање на ретровизор кај автомобил

#### 5.4.2. Индиректно добивање на алат (Indirect Tooling)

Индиректното добивање на алати се базира врз истите процедури на копирање како сите индиректни процеси. Целта не е да се добие финален дел, туку алат кој обезбедува база за мала или средна серија на производство на финални делови или производи.

Наспроти сериите на алати изработени од алатен челик, алатот може да се изработи брзо и ефтино. Како индиректното добивање на прототипови, индиректното добивање на алати користи “мастери” добиени со АП, со што се избегнуваат процесите на режење, глодање и електроерозија. Наспроти обликувањето со силиконска гума, алатот мора да е употреблив за поголем број на делови изработени не само од пластика туку и од метал. Гледано од оваа перспектива, индиректното добивање на алати може да се смета како елемент од брзото добивање на алати (rapid tooling) и покрај тоа што не е процес кој е базиран на слоевито производство.

Постојат делови кај кои за да се изврши евалуација потребно е примерокот да се изработи на машини за пластично инјектирање со ист материјал како оној кој се користи за финалната серија. Такви делови се пластичните парчиња изработени од материјали отпорни на пламен. Поради тоа се потребни крути калапи. За да се избегнат конвенционалните обработки, соодветен крут калап може да се излее од епоксидна смола исполнета со алуминиум со употреба на стереолитографија. Безразлика кој материјал се користи, процесот е сличен на RTV.

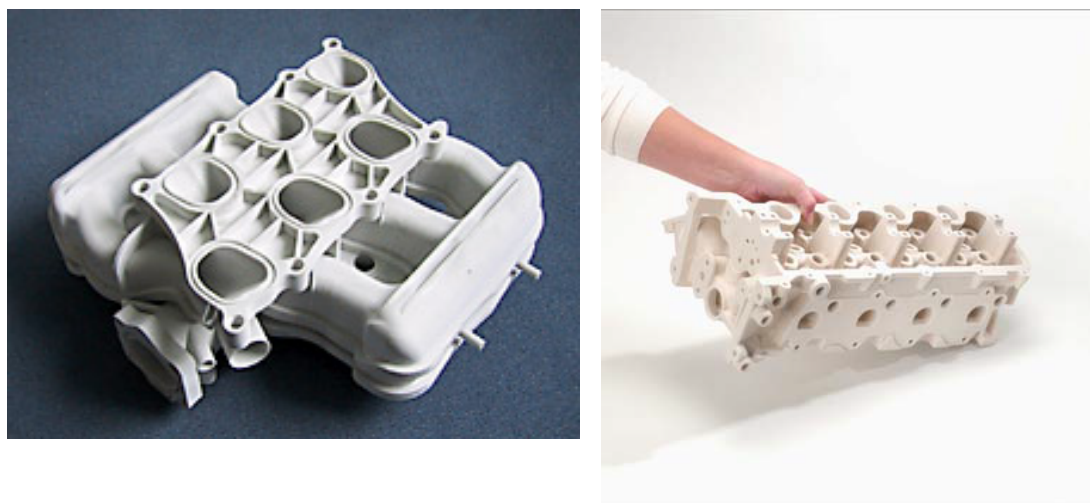


За подобрување на деталите кај острите рабови во алатот може да се користат вметоци обработени со глодање. Ваквите алати најчесто немаат систем за ладење и содржат само неколку рачно управувани вметоци кои ги заменуваат лизгачите. Како недостаток, во предвид треба да се земе зголеменото време на циклусот. На сл. 5.26 се гледаат двете половини на алатот за пластични маси пред да се вметнат во рамката на калапот. Прикажан е и мастерот за стереолитографијата (светло кафеав) и сет од изработени делови (црн).

### 5.4.3. Индиректно производство

Индиректното производство се базира исто така на мастер добиен со АП. Целта е да се добие финален дел со карактеристики еднакви со производите добиени со конвенционалните методи на обработка. Како последица на тоа, индиректното производство спаѓа во нивото на примена - производство (сл. 5.2).

Како пример за индиректно производство, на сл. 5.11 е прикажано куќиште на мотор со внатрешно согорување со шест цилиндри. Куќиштето било добиено како единечен дел базиран на мастер добиен од polystyrene со АП со метод на ласерско синтерување. Намалениот мастер бил трансформиран во алуминиумски дел со “evaporative pattern casting” што претставува процес тесно поврзан со “lost-wax-casting” процесот.

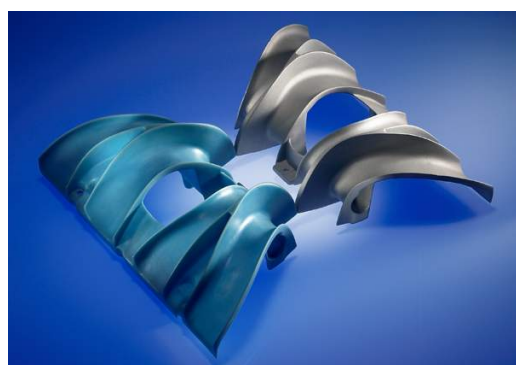


Слика 5.11: Индиректно производство на “мастер” куќиште за мотор со внатрешно согорување

Извор: [www.zcorp.com](http://www.zcorp.com)



Како резултат, добиени се повеќе идентични куќишта на моторот што може да се употребат за оптимизирање и утврдување на дизајнот на моторот, вклучувајќи активни тестирања со запален мотор долго пред да се достапни сериски изработените куќишта. Дали овој метод е соодветен или не, не е техничко туку економско прашање.



**Слика 5.12: Индиректно производство на воздушен колектор; “Мастер” изработен од polystyrene со ласерско синтерување (лево) и единешно добиен алуминиумски дел (десно)**

Истиот процес бил употребен за изработка на воздушен колектор за моторот со внатрешно согорување прикажан на слика 5.11. Тој бил изработен од алуминиум со lost-wax-casting. Како на слика 5.12 мастерот бил добиен од polystyrene со ласерско синтерување. На левиот дел се прикажани последователните обработки со восок, додека десно е прикажан крајниот излеан дел.

### 5.5. Производни процеси со слоеви

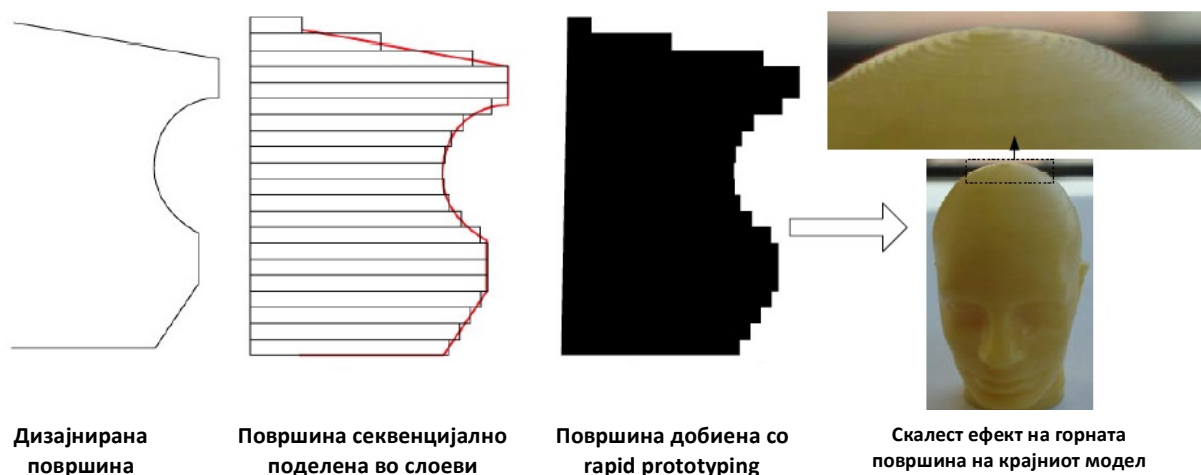
Техничката реализација на адитивното производство се изработува со производни процеси со слоеви (кои уште се нарекуваат и производни процеси со директни слоеви). Пет различни типови на производни процеси со слоеви базирани на различни методи за генерирање на цврст слој и поврзување на соседните слоеви за формирање на дел се комерцијално достапни. Сите од нив директно го следат принципот на адитивно производство (АП). Сите пет

процеси, вклучувајќи и некои други изведби се детално опишани. Претставени се и соодветни комерцијално достапни машини заедно со типични делови.

Ако прототипите и деловите не се директно изработени со АП туку со процеси кои се базираат на АП тие се нарекуваат “Секундарни *Rapid Prototyping процеси*”.

### 5.5.1. Производни процеси со директни слоеви

Принципот на адитивно производство (АП) е едноставен и се базира замо на виртуелни 3D CAD податоци од solid модели. Моделот се сече во зависност од дадената дебелина на слоевите, со што се добива апроксимативен приказ на оформувачката површина со секвенца од слоеви со еднаква дебелина



**Слика 5.13: Делење на произволна 3D површина на слоеви со еднаква дебелина**

Производниот процес (процесот на АП) се фокусира на производство на единечен слој и на негово поврзување со претходниот. Овој процес се состои од само два чекори кои се повторуваат се додека не се добие делот:

1. Генерирање на единечен слој со форма во зависност од контурата и одредена дебелина во зависност од податоците за сечење на моделот
2. Поврзување на секој нов слој врз претходниот

Како што може теоретски да се види на слика 5.13, кај резултантниот дел исто така може да се забележи скалест ефект карактеристичен за процесите од АП.

Стандардната дебелина на слоевите изнесува 0,1 mm, но може да се намали и до 0,016 mm, со што се зголемува прецизноста во изработката на делот, бројот на слоеви и времето потребно за изработка. Дебелината зависи и од материјалот кој се обработува, бидејќи резултантните скалила бараат повеќе труд доколку материјалот е тврд (пр. метал, керамика).

Денес комерцијално се достапни повеќе од 100 различни машини. Сите од нив ги прикажуваат двата основни производни чекори спомнати претходно. Единствената разлика помеѓу нив е начинот на кој се изработува секој слој, начинот на поврзување на последователните слоеви и типот на материјал кој се обработува.

Генерирањето на физичкиот слој може да се изврши со употреба на различни материјали како пластика, метал или керамика кои се набавуваат во вид на прашок, во течна или цврста форма, како фолии и сл. Се користат различни физички ефекти како фото-полимеризација, селективно спојување, топење, синтерување, сечење, спојување со честици или екструзија.

Оформувањето на контурата на секој слој бара извор на енергија кој го генерира избраниот физички ефект и уред за управување кој ги контролира x-y координатите. Најчесто користени се:

- ласери со направи за скенирање, оптички прекинувачи или системи за управување
- електронски зраци
- единечни глави за принтање или глави за принтање со неколку млазници
- ножеви, екструдери или инфрацрвени грејачи со плотери или DLP проектори

### 5.5.2. Полимеризација

Селективното стврднување на течните мономерни смоли (ероку-, acrylate или vinyl ether) со ултравиолетова радијација се нарекува (фото)-полимеризација. Постојат процеси кои се разликуваат само во начинот на

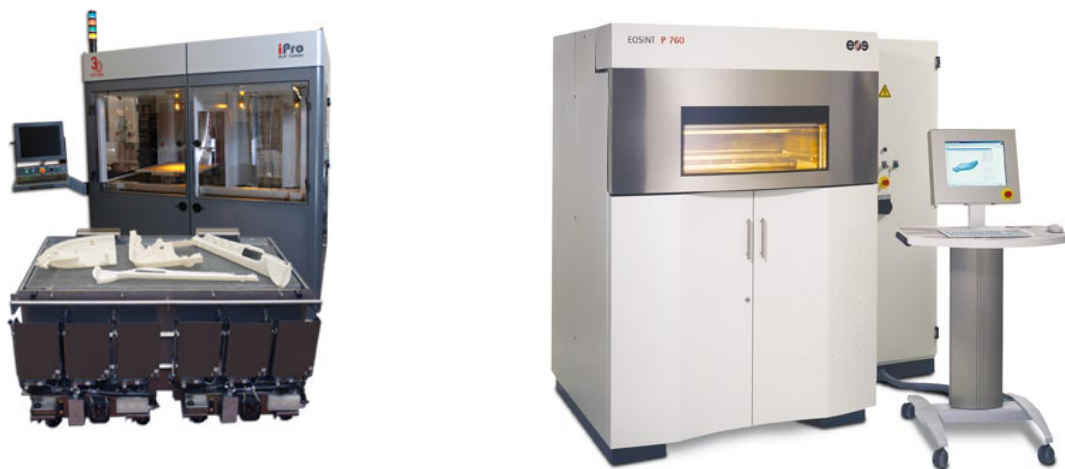
генерирање на UV-радијација и изработка на изработка на контурите. Некои полимеризациони процеси обезбедуваат само парцијално зацврстување. Како последица, се добива несовершен дел кој бара дополнителна обработка која се врши после процесот на градење во посебна печка опремена со UV-емитирачки ламби кои обезбедуваат целосно зацврстување на целиот дел.

За време на изградбата, во процесот на полимеризација потребни се т.н. супорти кои се потребни за стабилизирање на целиот дел, негово фиксирање на платформата и спречување на негова деформација. Супортите се додаваат на 3D CAD моделот со употреба на автоматизиран софтвер и потребно е мануелно да се отстранат после градењето. Некои од нив може да се измијат со помош на посебна направа за чистење.

### 5.5.3. Ласерска Стереолитографија (SL)

Стереолитографијата не само што е најстар, туку е и најдетален процес во АП. Техниката била измислена и комерцијализирана од 3D Systems, Rock Hill, SC, USA. Ласерската стереолитографија обезбедува делови со многу добри површини и фини детали. Овие делови се креираат со локална полимеризација на најпрво течните мономери. Иницирана од UV-ласерски зрак, полимеризацијата ја зацврстува течноста формирајќи слој. Ласерскиот зрак е насочуван од галванометарски уред за скенирање кој се управува во зависност од контурата на секој слој. Типична машина е прикажана на сл. 5.14 лево.

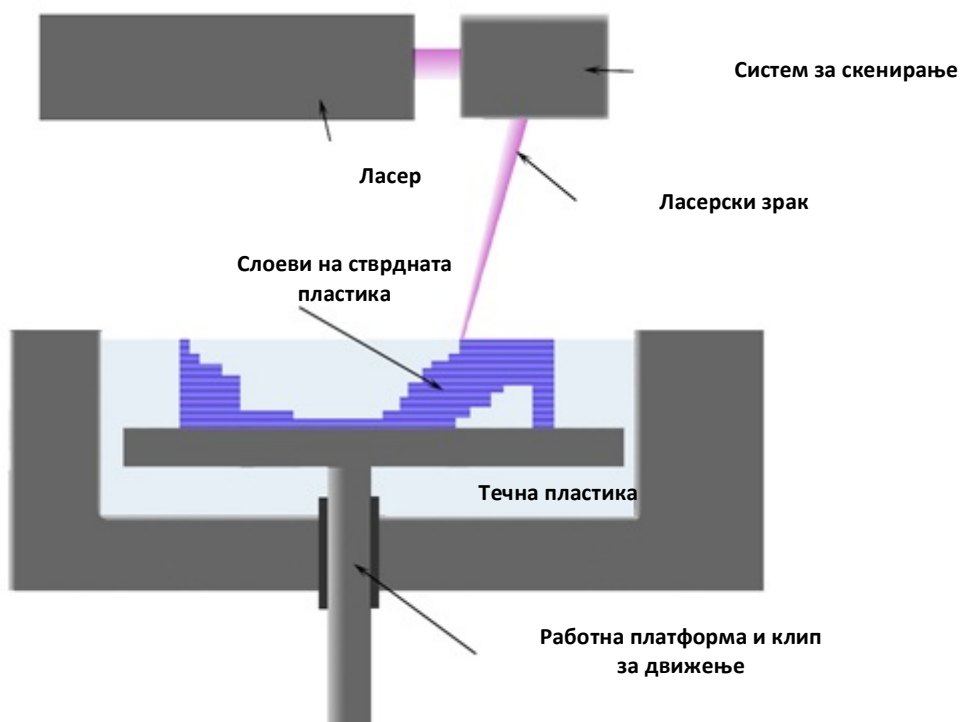
Машина за ласерска стереолитографија се состои од комора за градење исполнета со течниот материјал за градење на делот и ласерски скенер монтиран врз неа кој ги генерира x-y координатите на контурата. Комората за градење е опремена со платформа фиксирана на направа во вид на лифт која се движи во (z-)правец. На оваа платформа се гради делот. Ласерскиот зрак ја одредува контурата и симултано го врши стврднувањето на секој слој и неговото поврзување со претходниот слој. Движењето на зракот е контролирано од податоците за поделба на секој слој и е управувано од скенерот.



**Слика 5.14: Машина за ласерска стелеолитографија iPro™ 9000 од 3D systems (лево) и машина за ласерско синтерување EOSINT P 760 од EOS GmbH (десно)**

Како што зракот ја пробива површината на пластиката, настанува нејзино инстантно зацврстување. Во зависност од реактивноста и транспарентноста на материјалот, дебелината на слојот може да се корегира преку моќта на ласерот и неговата брзина.

После зацврстувањето на еден слој, платформата за градење, заедно со парцијално завршениот дел се поместува надолу за дебелина на еден слој. После тоа се додава материјал за наредниот слој. Ова се нарекува обложување (recoating). Процесот продолжува од долу, нагоре се додека делот не се комплетира.



Слика 5.15: Основни елементи на уред за стереолитографија

Во процесот се потребни супорти и тоа ја ограничува можната ориентација на делот во комората за градење, бидејќи после отстранувањето на супортите остануваат мали дамки на површината на делот. Поради оваа причина ориентацијата на делот потребно е внимателно да се избере. Поради потребата од супорти е оневозможено групирање на деловите за зголемување на продуктивноста.

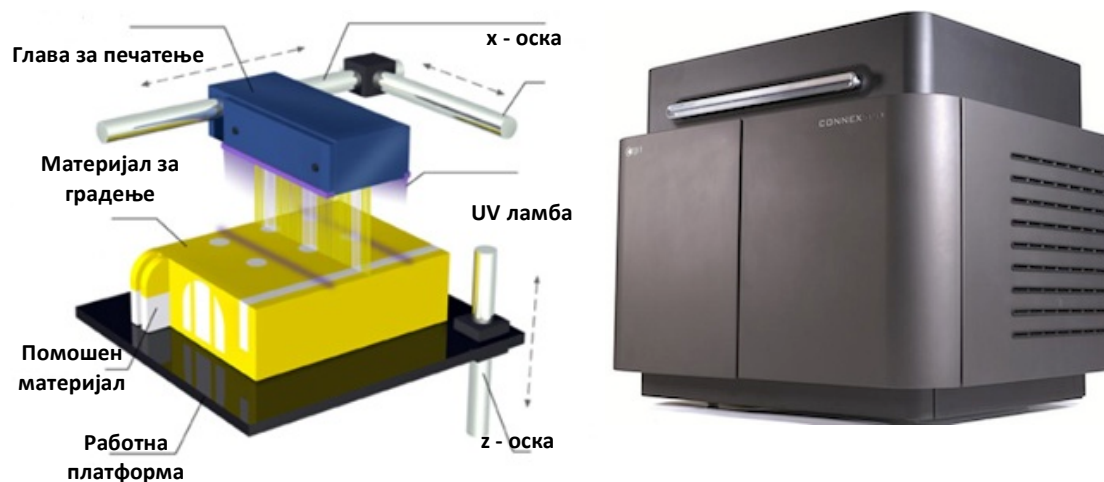
После градењето, гелот се чисти и се поставува во UV комора. Овој чекор е интегрален дел од процесите на АП и се нарекува пост-процесирање.

Деловите може да се брусат, полираат и лакираат доколку тоа е потребно. Овие чекори од процесот се нарекуваат финалирање. Финалирањето е чекор независен од процесот и не е дел од АП. Тој зависи само од барањата на клиентот за делот и евентуалните ограничувања во однос на неговата примена.

Достапните материјали се најчесто неисполнети или исполнети епокси или акрилни смоли. Неисполнетите материјали покажуваат слаба стабилност и мала способност за обивање на топлина. Ова може да се подобри со додавање на микро-сфери или геометриски објекти со големина на зрно ориз изработени од стакло или алуминиум. Денес, овие исполнети материјали содржат керамички нано-честици.

#### 5.5.4. Полимерско принтање и –Jetting

Ако материјалот за градење се нанесува преку глави за печатење процесот се нарекува полимерско печатење или polymer jetting. Процесот е комерцијализиран од Objet, Rehovot, Israel и може да се смета за процес од 3D печатење, но поради делумното градење на делот со стврдување на течните мономери со UV ламба станува збор за полимеризација или стереолитографски процес.



Слика 5.16: Шематски приказ на polymer jetting (лево) и машината Connex 500 од Objet Geometries (десно)

Дизајнот на машината е многу сличен на канцелариски 2D принтер. Материјалот за градење директно се нанесува на платформата за градење преку пиезо-електрична глава за печатење со повеќе млазници. Стврдувањето се врши симултано со две светлосни завеси кои се добиваат од

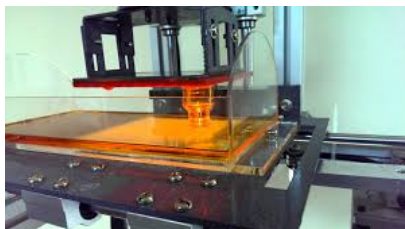
две UV ламби со синхронизирано движење. Дебелината на слојот е само 0,016 mm, што создава многу мазна површина. Соседните слоеви се процесираат со движење на платформата во z-правец. Процесот се повторува за секој слој се додека не се добие делот.

На деловите им е потребна поддршка за време на процесот на градење. Супортите се генерираат автоматски и се градат симултано од секундарни млазници така што секој слој се состои или од материјал за градење или од материјал за поддршка. Како последица, супортите се цврсти и одземаат многу материјал. Помошниот материјал може да се отстрани без да предизвика дамки со најчесто автоматизираните пост-процеси.

Процесот користи фотосензитивни мономери за креирање на пластични делови. Материјалите се достапни во различни бои и со различна цврстина. Со употреба на технологија наречена “Poly-Jet Matrix” може да се изработат делови од два различни материјали кои наликуваат на делови добиени со двокомонентно инјектирање. Ова отвора идни можности за составување на делови од повеќе материјали. Типичните делови се тенкосидни, детално изработени и покажуваат шуплива внатрешна структура.

#### 5.5.5. Дигитално светлосно процесирање (DLP)

Оваа варијација на процесот на фотополимеризација работи со комерцијален DLP проектор како извор на светлина. Тој ја проектира целосната контура на напречниот пресек на слојот и симултано го иницира стврднувањето. Процесот е комерцијализиран под името “Perfactory” од Envisiontec, Gladbeck, Германија.



Слика 5.17 Дигитално светлосно процесирање

Извор: <http://www.bensonmachines.com>



Проекторот се монтира преку долниот дел на куќиштето. Смолата се чува во стаклен резервоар поставен врз проекторот. Напречниот пресек се проектира од долу на пониската површина на смолата. Платформата за градење е превртена наопаку и така се потопува во смолата од горе, притоа оставајќи простор од дебелина на еден слој помеѓу врвот на платформата и просирното дно. По стврднувањето на слојот, платформата се подига за дебелина од еден слој, со што се ослободува простор за наредниот слој. Поради малиот резервоар процесот е предвиден за мали делови. Овозможена е брза промена на материјал и процесот на градење мора да има супорти.



Слика 5.18 3Д принт<sup>15</sup>

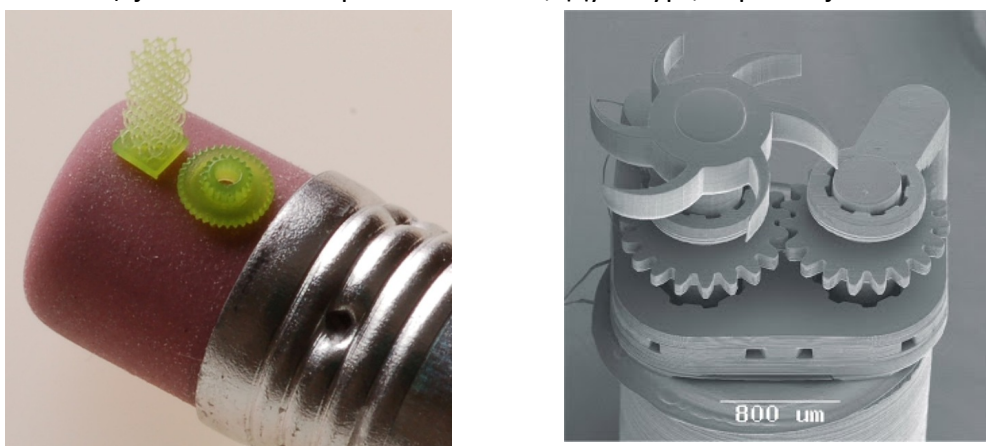
Извор: <http://rolanddg.com.au/engineering/3d-printers/arm-10-3d-printer>

Достапна е широка палета на фотосензитивни пластични материјали, како и биокомпатибилни пластики кои може да се користат за изработка на помагала за слушање или калапи за стоматолошки протези.

<sup>15</sup> Digital Light Processing (DLP) layered projection system produces semi-transparent models for concept and form testing

### 5.5.6. Микро-стереолитографија

Постојат повеќе процеси за изработка на делови со димензии во микрометарски и суб-микрометарски опсег. Многу од нив сеуште се во фаза на развој. Индустриски применливите процеси користат ласерска стереолитографија и системи со маски за масовно производство на микро-делови. Компанија која е специјализирана за различни материјали и нивна апликација во големи серии е microTEC, Дуизбург, Германија.



Слика 5.19: Делови изработени со микро-стереолитографија

### 5.5.7. Синтерување и топење

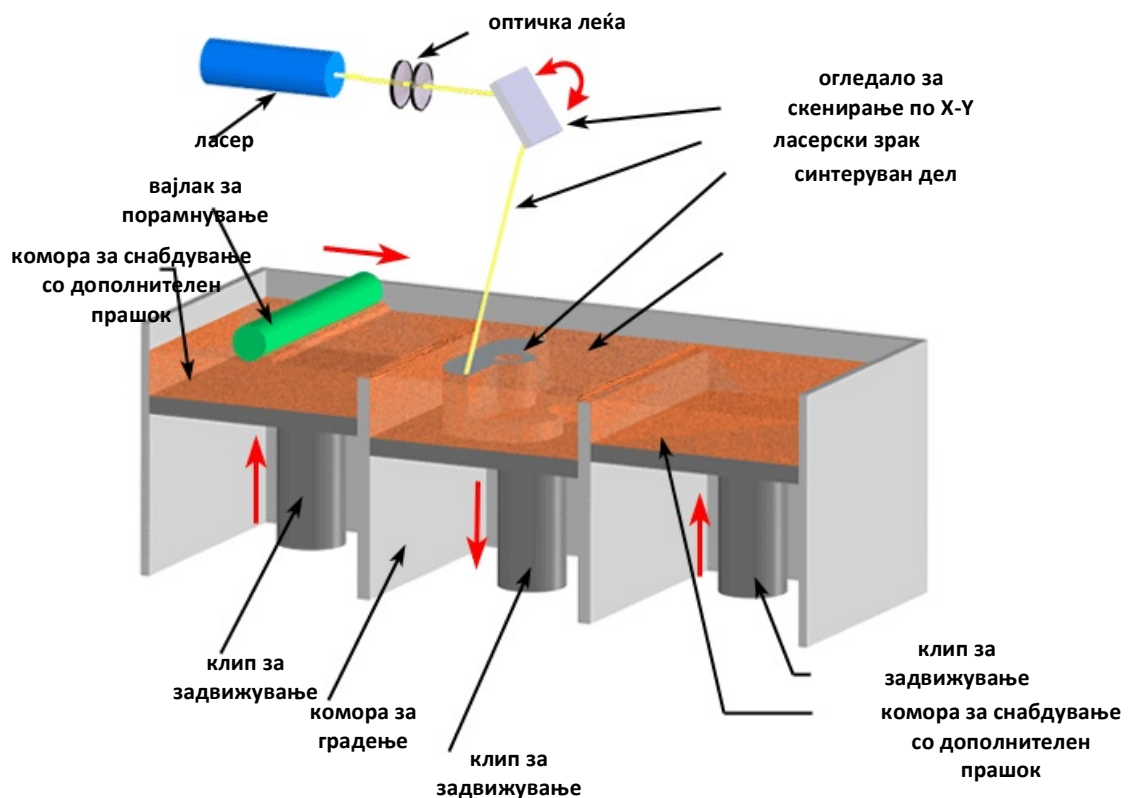
Селективното топење и повторно зацврстување на термопластичните прашоци се нарекува ласерско синтерување, ласерска фузија или ласерско топење. Ако електронски зрак се користи наместо ласер процесот се нарекува топење со електронски зрак (Electron Beam Melting - EBM) и ако енергијата се добива од радијатор преку некаква маска, процесот се нарекува селективно синтерување со маска.

Процесите за синтерување во главно не бараат бази и супорти бидејќи слободниот прашок го заобиколува и стабилизира делот за време на изградбата. Ова меѓутоа важи само за пластични процеси, во случај кога станува збор за метални делови потребна е употреба на бази и супорти за да се спречи деформирањето на деловите за време на градењето.

### 5.5.8. Ласерско синтерување – Селективно ласерско синтерување (LS - SLS)

Терминот ласерско синтерување или селективно ласерско синтерување најчесто се користи за машини кои обработуваат пластика. Тие се комерцијализирани од 3D Systems, Rock Hill, USA и EOS GmbH, Минхен, Германија.

Машините од двата производители, како и машините кои обработуваат метал се многу слични. Тие се состојат од комора за градење која се исполнува со прашок со големина на зрната до 50  $\mu\text{m}$ . Ласерска единица поставена над комората ја генерира x-y контурата. Дното на комората за градење е дизајнирано како подвижен клип што може да се подеси на било кое z-ниво. Целата комора претходно се загрева за да се минимизира потребната моќност на ласерот и се исполнува со заштитен гас кој спречува оксидација.



Слика 5.20: Шематски приказ на уред за ласерско синтерување

Ласерскиот зрак го обликува секој слој според податоците за обликот кои доаѓаат од скенерот. На точките каде што ласерот ја допира површината честичките локално се топат. Геометријата на локацијата на топење зависи од

дијаметарот на ласерот и брзината на движење. Со движењето на ласерот настанува растопениот материјал се стврдува со помош на температурната кондукција во околниот прашок. На крај се добива цврст слој.

После зацврстувањето на еден слој, клипот на дното се спушта за дебелина на еден слој со што го спушта целиот прашок заедно со недовршениот дел. Новиот простор на врвот се оилни со нов прашок кој се донесува преку соседната комора за додавање на прашок со помош на валјак. Валјакот ротира во насока спротивна на часовната стрелка додека врши линеарно движење што овозможува рамномерна распределба на прашокот. Оваа процедура се нарекува recoating или “препокривање”.

После recoating процесот на градење почнува одново и се гради следниот слој. Оваа постапка се повторува слој по слој се додека не се комплетира делот. Во најголемиот број случаи најгорниот слој се гради употребувајќи различна стратегија за скенирање со цел да се зголеми неговата цврстина.

Откако градењето на делот ќе заврши и најгорниот слој ќе се изпроцесира, целиот дел е покриен со слоеви прашок. Овој прашок потребно е да се олади пред отстранувањето на делот. Ладењето може да се изврши во машината, меѓутоа ладењето во одделна комора ја ослободува машината и овозможува да се започне градење на нов дел.



**Слика 5.21 Столна лампа добиена со ласерско синтерување<sup>16</sup>**

Извор: <http://www.ptonline.com/articles/additive-manufacturing-new-capabilities-for-rapid-prototypes-and-production-parts>

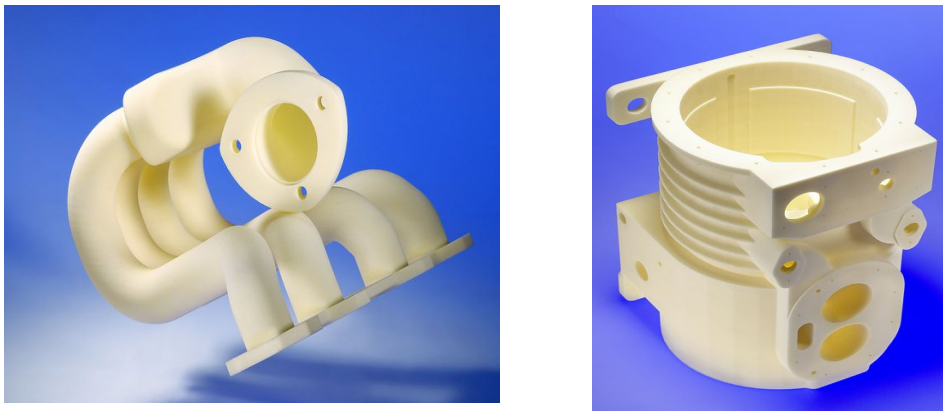
Синтерувањето овозможува обработка на сите класи материјали: пластики, метали и керамики. Машините во принцип се многу слични. Тие или

<sup>16</sup> Designed by Janne Kytanen, this lamp was manufactured with laser-sintered nylon 12 using EOS equipment.

софтверски се адаптираат на различните материјали или специјални изведби на основната машина се адаптираат за процесирање на одреден материјал. Во овој случај, системите за recoating се специјално дизајнирани за материјалот кој се процесира т.е. системи со валјаци за пластични прашоци.

Матријали за ласерско синтерување се достапни како неисполнети или исполнети со сферични или елиптични зрна од стакло, алуминиум или јаглерод со цел да се подобри стабилноста и да се зголеми температурата на одбивање на топлина. Достапни се и огноотпорни материјали.

Отстранувањето на делот од прашокот најчесто се врши со помош на четкање или пескарење под ниски притисоци. Тоа се врши во полуавтоматски станици, т.н. “break out - станици”. Металните делови бараат механичко отстранување на базата и супортите од делот што одзема време и бара рачна работа.



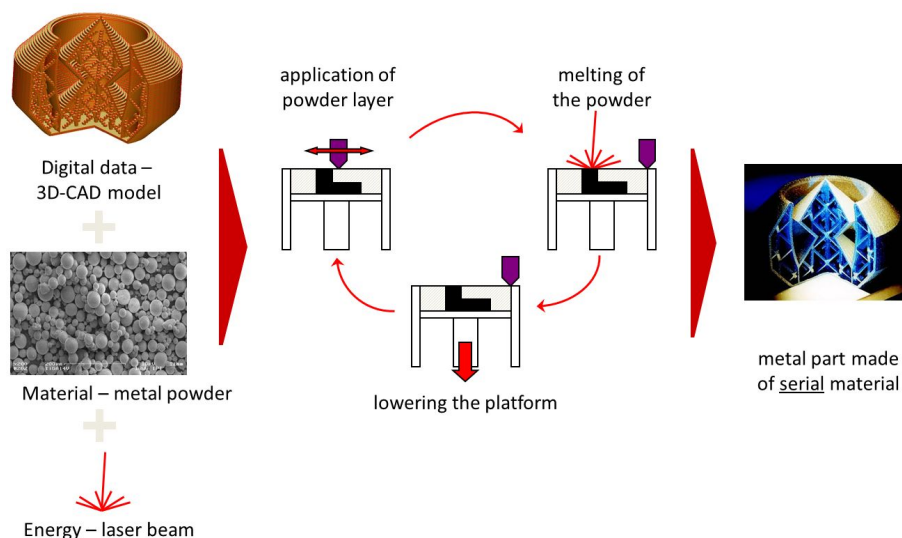
Слика 5.22: Делови изработени со ласерско синтерување

Пластичните делови најчесто се порозни и бараат е инфилтрација. Доколку е потребно може да се лакираат и дополнително површински да се обработат. Типичните метални делови се густы и може да се обработуваат во зависност од материјалот (пр. Сечење или заварување).

Синтеруваниите делови изработени од пластика покажуваат карактеристики слични на делите добиени со пластично вбризување. Тие може да се користат како прототипови или како готови делови.

### 5.5.9. Ласерско топење – Селективно ласерско топење (SLM)

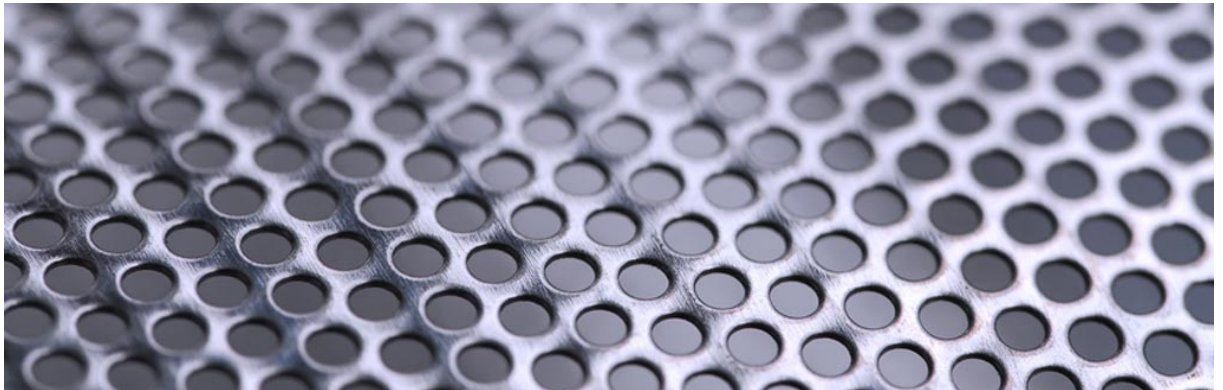
Ласерското топење во принцип е процес на ласерско синтерување. Методот бил развиен за обработка на метални делови кои било потребно да се многу густе (> 99%). Ласерот целосно го топи материјалот и после зацврстувањето се добива дел со целосна густина. Процесот се нарекува селективно ласерско топење, (Selective Laser Melting - SLM).



**Слика 5.23 Селективно ласерско топење - Selective laser melting (SLM) for serial metal components**

Извор: [www.lia.org](http://www.lia.org)

За скоро сите машини достапен е широк дијапазон на материјали како јаглеродни челици, нерѓосувачки челици, CoCr, титаниум, алуминиум, злато и други комерцијални легури. Најчесто металните делови се финални и се користат како готови производи.



**Слика 5.24: Селективно ласерско топење**

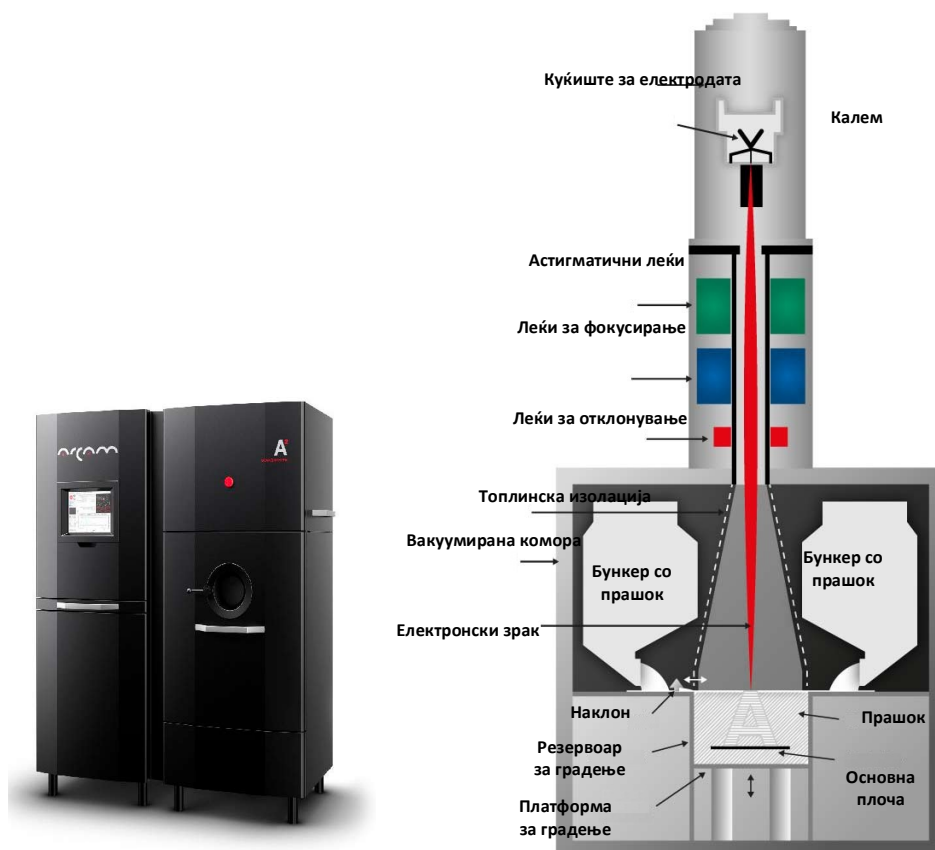
Дизајнот на машините е многу сличен со машините за ласерско синтерување на пластика. Се користат фибер ласери со многу добар квалитет на зракот и изолирани комори кои може да се полнат со заштитен гас со цел да се обработат запаливи материјали како титаниум. Постојат и дополнително вградени направи за загревање за да се спречи деформирање на делот.

Типичната дебелина на ласерот се движи во опсег од 1-5  $\mu\text{m}$  и најмалата дебелина на сидот е  $> 30 \mu\text{m}$ . Се користи фибер ласер со фокусен дијаметар  $< 20 \mu\text{m}$ .



## 5.5.10. Топење со електронски зрак

Локално топење на материјалот може да се постигне со електронски зрак кој го заменува ласерот. Оваа постапка се нарекува топење со електронски зрак (electronic beam melting - EBM). Бидејќи обработката на материјалот со електронски зрак треба да биде извршена во вакуум, потербно е да се изработи комплетно запечатена конструкција.



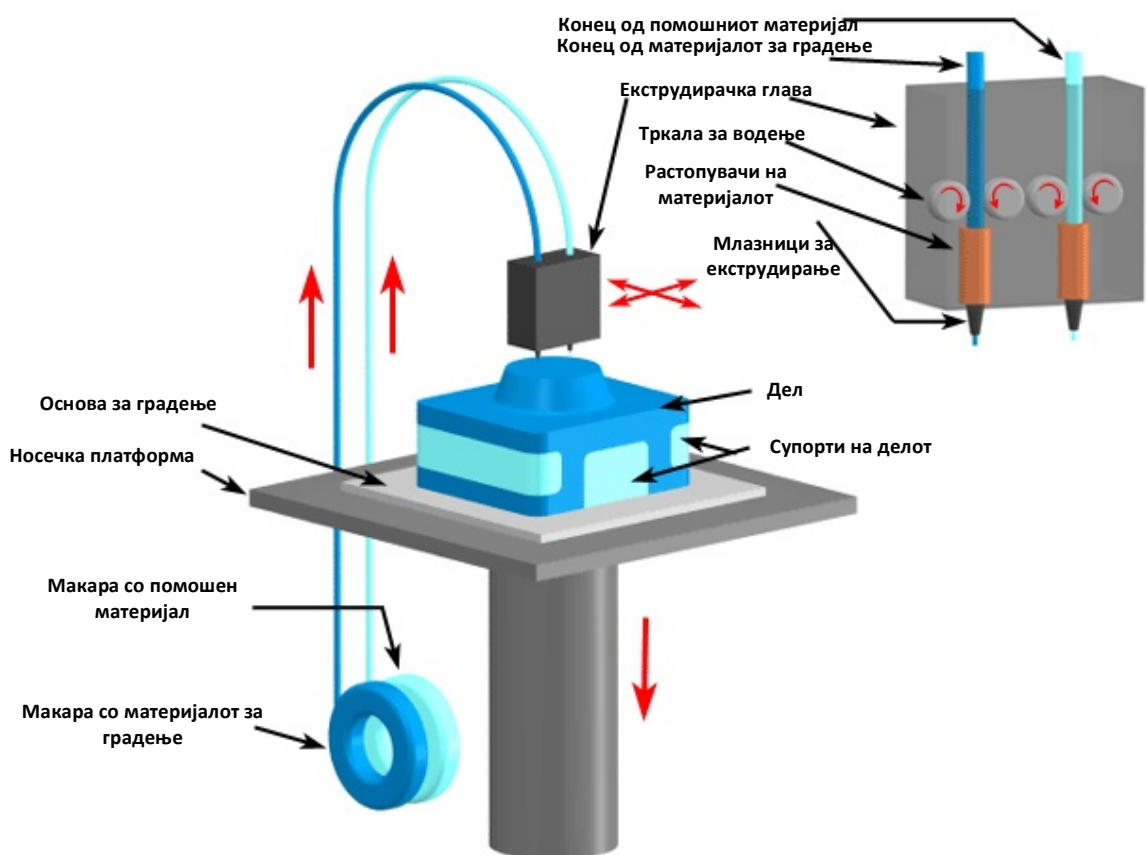
Слика 5.25: EBM ARCAM System A2 (лево) и шематки приказ на уред за топење со електронски зрак (десно)

Електронскиот зрак пенетрира многу длабоко што овозможува многу големи брзини на скенирање кои истовремено може да се употребат за пред-загревање. Поради тоа процесот е многу брз и работи на високи температури. Како резултат на тоа, деформациите и заостанатите напони се намалени и се постигнуваат многу добри карактеристики на материјалот.



## 5.5.11. Екструдирање – Fused Layer Modeling (FLM)

Слоевитото нанесување на кончест материјал се нарекува моделирање со спојување на слоеви (Fused Layer Modeling). Процесот се употребува со готови термопластични материјали. Обоени делови се добиваат кога се користи материјал со саканата боја. FLM процесот е всушност процес со екрузија на материјал и деловите потребно е да имаат супорти за време на градењето.



Слика 5.26: Шематски приказ на FLM постапката

### 5.5.12. Fused Deposition Modeling (FDM)

FDM е регистрирано име за FLM процес кој се нуди од Stratasys, MN, USA. Поради тоа што е првиот комерцијализиран FLM процес, името FDM најчесто се користи како синоним за FLM.

Машина за FDM се состои од загреана комора за градење (околу 80 °C за обработка на ABS пластика) опремена со екструдирачка глава и платформа за градење. Екструдирачката глава обезбедува нанесување на материјал во x-y областа во зависност од контурата на слојот. Направата функционира слично како плотер.

Материјалот за градење е готова жица која е намотана и складирана во кертриџ од каде континуирано се носи до екструдирачката глава. Кертриџот има вграден сензор кој комуницира со системот за менаџирање на материјал во машината. Во главата, материјалот делумно се растопува со електронски систем за загревање и се екстудира преку млазник кој го дефинира дијаметарот на растопениот материјал во вид на конец кој приближно е еднаков на дебелината на слојот.

Најчесто дијаметарот на конецот се движи од 0,1 – 0,25 mm. Платформата се движи во z – насока и ја дефинира дебелината на слојот како што материјалот се нанесува врз делумно завршениот дел. Во процесот потребни се супорти. Тие се изработуваат од втор млазник кој екстудира друг пластичен материјал за поддршка симултано со материјалот за градење.

Симултаното процесирање на два материјали покажува дека FLM процесите се способни за работа со глави за печатење со повеќе материјали. Поради тоа, во иднина може да се очекува производство на делови од повеќе материјали.

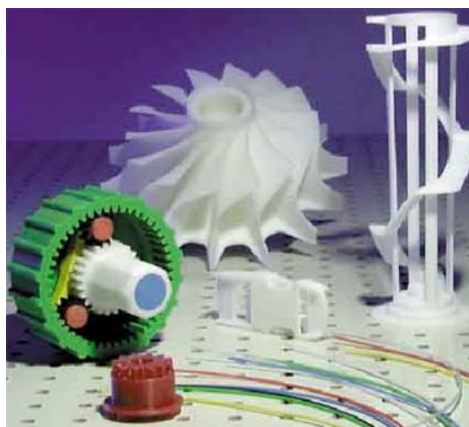
После нанесувањето на материјалот (на помошниот и на материјалот за градење) тој се стврднува и формира цврст слој. Тогаш платформата се спушта за растојание од една дебелина на слојот и започнува нанесувањето на следниот слој. Процесот се повторува додека делот целосно не се изработи.

Постои широка палета на машини кои работат на FDM принцип. Познати производители се µPrint, Dimension и Fortus Production Systems кои го нудат

3D принтерот Fortus 900mc кој моментално има најголем работен простор од сите достапни машини (914 x 610 x 914 mm).

За FDM процесите се достапни доста материјали како ABS, PC-ABS и специјални пластики за медицинска примена. Некои машини се ограничени за работа само со одредени материјали. Постои и голем избор на бои, но бидејќи бојата е претходно нанесена на материјалот не може да се промени за време на процесот на градење.

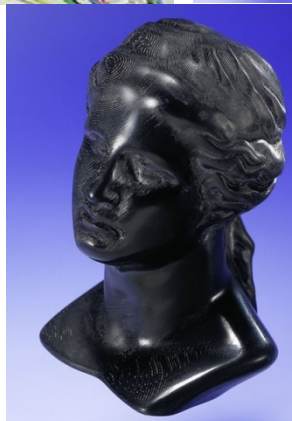
Типичните карактеристика на деловите се слични како тие на деловите добиени со инјектирање на пластика, меѓутоа тие се склони кон анизотропно однесување кое може да се намали со подесување на параметрите на градење. Деловите се користат како концептуални модели, функционални прототипови или како финални делови.



а)



в)



б)

Слика 5.27: Делови добиени со FDM;

**а) епицикличен запчаничен пар б) изработен дел со заедно со помошниот материјал в)изглед на делот по отстранувањето на супортите и негово рачно полирање**

FDM деловите имаат типична површинска текстура како резултат на процесот на екструзија. Во зависност од дебелината на слојот и ориентацијата на делот, овие текстури се повеќе или помалку видливи. Поради тоа, ориентацијата на делот во комората на градење има големо влијание на изгледот на делот.

Пост-процесирањето на делвите опфаќа отстранување на супортите од помошниот материјал, што може да се изврши рачно или со употреба на посебен уред за чистење. Финиширањето бара рачна дообработка и време, но дава висок површински квалитет и влијае на точноста на делот.

#### 5.5.13. Три-димензионално печатење (процеси со сврзување на прашок)

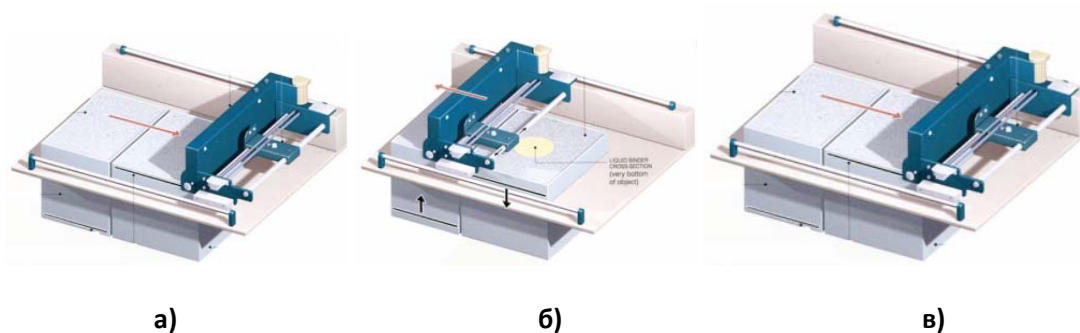
Поврзувањето слој-по-слој на честици прашок со димензии од околу 50  $\mu\text{m}$  со селективно инјектирање на течно сврзно средство се нарекува три димензионално печатење (3DP). Процесот бил развиен и регистриран од MIT во раните 1990ти и е лиценциран од Z-Corporation и други компании кои го комерцијализирале. Денес, достапни се варијации на постапката за обработка на пластични, метални и керамички материјали. Повеќето од нив се двостепени процеси и потребна е инфилтрација после градењето. Со некои процеси, особено тие каде материјалот на градење е метал, се добива “зелен” дел кој мора да биде подложен на дополнителна термичка обработка и синтерување за да ги добие своите крајни карактеристики. Бидејќи постојат сврзни средства за секој тип на прашок, дијапазонот на употребливи материјали е скоро неограничен.

Три димензионално печатење постана синоним за сите процеси од адитивно производство и се користи како општ термин бидејќи 3D печатењето е слично со дво димензионалното печатење и обезбедува едноставен начин за објаснување на адитивното производство.

#### 5.5.14. Три-димензионално печатење – Z-Corporation

Комерцијалните машини изработени од Z-Corporation, MA, USA работат според принципите на основниот процес. Зелениот дел кој се добива димензионално е стабилен, но потребна е инфилтрација за да се постигне потребната цврстина. Делот останува во работната комора со прашок се додека не заврши процесот на градење. Бидејќи делот е стабилизирани од околниот прашок нема потреба од дополнителни супорти. Сврзното средство може да биде обоено, па според тоа и деловите кои се добиваат може да бидат во боја.

Долниот дел на машината ја содржи комората за градење каде е сместен прашокот. Таа е дизајнирана многу слично на машините за ласерско синтерување со подвижен клип за подесување на слојот и валјак за препокривање (recoating). Направа слична на плотер со глава за печатење како кај 2D канцелариските принтери е поставена врз комората. Таа се движи во работниот простор и го нанесува сврзното средство во зависност од контурата. Честиците кои го формираат слојот се поврзуваат меѓу себе, додека околниот прашок служи за поддршка на делот. За разлика од синтерувањето, овој процес нема потреба од претходно загревање и заштитен гас.



Слика 5.28: Трите основни фази во процесот на три-димензионално печатење;

а) Нанесување на слој прашок; б) Печатење на попречниот пресек;

в) Нанесување на нов слој прашок;

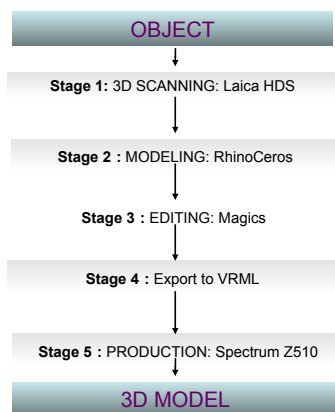
По зацврстувањето на еден слој, долниот клип се поместува надолу за дебелината на еден слој, што го спушта целиот прашок заедно со незавршениот дел. Просторот на врвот се полни со нов прашок кој се доведува од соседната комора за хранење.

По процесирањето на најгорниот слој, градењето на делот завршува. Бидејќи делот работи на собна температура, делот може директно да се

отстрани од машината. Вишокот на прашок се отстранува со нежно четкање или со воздушно дување под низок притисок.

На крај, потребна е инфилтрација за делот да добие поголема издржливост. За оваа цел се користи восок или епокси смола. Квалитетот на крајниот дел не зависи само од материјалот на градење, туку и од квалитетот на инфилтрација. Поради тоа, деловите добиени со 3DP не е пожелно да се користат за структурно тестирање.

**PROJECT CONCEPT:** Help of 3D technologies in reconstructing





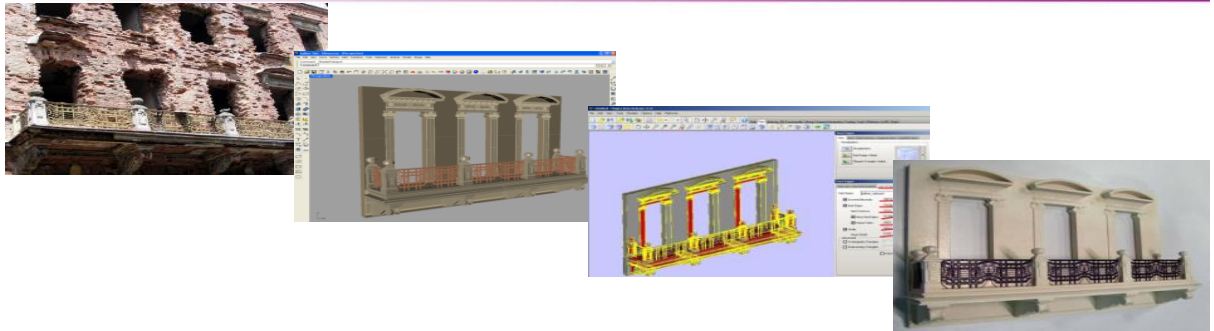
Слика 5.29: ZCorp 3D принтер Spectrum Z510 (лево); обоени делови (десно)

Типични делови кои се добиваат се концептуални модели. Тие може да бидат монохроматски или континуирано обоени.



Слика 5.31. 3Д прототип на модел

Извор: [www.ib-procadd.si](http://www.ib-procadd.si)



Слика 5.32. 3Д прототип на модел за реконструкција на фасада за хотел Европа, Сараево

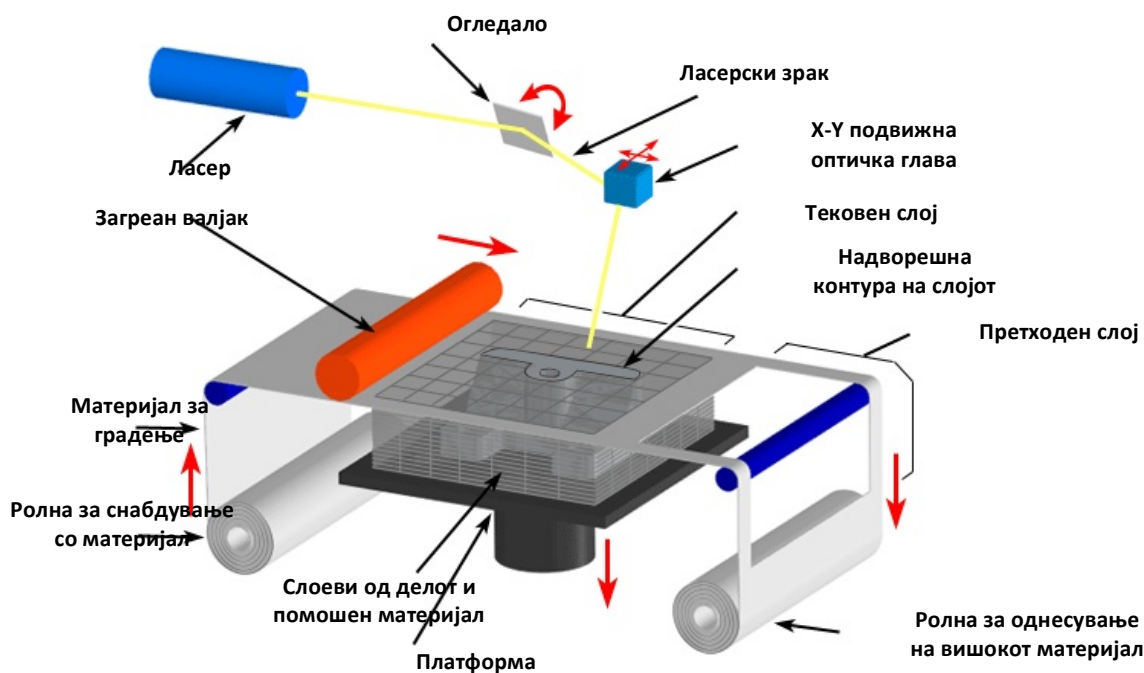
Извор: [www.ib-procadd.si](http://www.ib-procadd.si)

Површинскиот квалитет е груб во споредба со процесите на полимеризација но може значително да се подобри со рачна дополнителна обработка.

#### 5.5.15. Словито производство на ламинати (LLM)

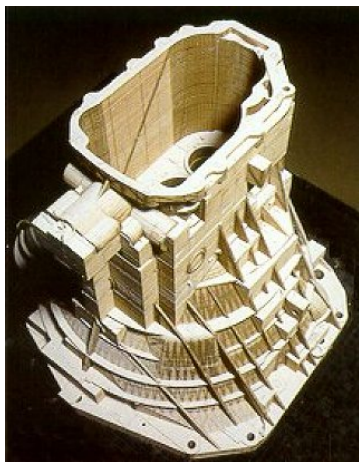
Сечењето на контури од готови фолии или плочи со еднаква дебелина на слоевите во зависност од 3D CAD фајл и последователно поврзување врз претходниот слој се нарекува слоевито производство на ламинати (Layer Laminate Manufacturing -LLM).





Слика 5.33: Шематски приказ на LLM постапката

Фолиите или плочите може да бидат изработени од хартија, пластика, метал или керамика. Како направа за сечење може да се употребува ласер, нож или машина за глодање. Поврзувањето на соседните слоеви се врши со лепак, ултрасонично, со лемење или заварување.



Слика 5.34: Куќиште за запчаници изработено со LLM

Најголемата предност на LLM процесите е брзата изградба кога станува збор за масивни делови. Недостаток е големото количество на неискористен материјал што зависи од геометријата на делот.

#### 5.5.16. Други процеси: Печатење со аеросол и Биоплотер Печатење со аеросол

Печатењето со аеросол е многу интересен процес со голем потенцијал. Равиен е од Maskles Mesoscale Materials Deposition, NM, USA.

Се генерира тек од многу фини капки (аеросоли), наполнети со честички со дејаметри во нанометарскиот дијапазон, кои се водат кон површината на некој субстрат. Тука аеросолите се депонираат според CAD дизајнирана контура. Течната фаза испарува и ги остава честичките на потребните локации. Честичките може да се состојат од било какви мастила, метали, керамики, пластики дури и живи клетки. Во зависност од типот на материјал, може да е потребен дополнителен ласерски третман. Печатењето со аеросол е процес кој многу ветува за областите на производство на електронски направи и ткивно инженерство.

Бидејќи моментално постапката е соодветна само за  $2^{1/2}$  D површински текстури и објекти, а не за реални 3D делови, некои не го сметаат за вистински процес од адитивно производство.

#### Биоплотер

Една од најуникатните карактеристики на адитивното производство е мулти-материјалното процесирање. 3D биоплотерот, кој е регистрирана марка на Envisiontec, Marl, Германија, овозможува обработка на широка палета на материјали, тргнувајќи од пластики како полиуретан или силикон, па се до коскени материјали како hydroxyapatite и лекови како PCL (polycaprolactone<sup>17</sup>) или материјали како колаген или фибрин за органско печатење на фабрикации од меко ткиво. Може да се процесира до пет материјали со употреба или на загреана или на изладена единица за распределба која е управувана од плотер со 3 оски. Во зависност од материјалот, системот користи различни процеси за зацврстување како таложење, фазна промена (од течна во цврста состојба) или двокомпонентна реакција. На некои материјали им треба дополнителна обработка како синтерување.

---

<sup>17</sup> биоразградлив полиестер

## 5.6. За потенцијалот на адитивното производство

Адитивното производство директно ги трансферира 3D CAD фајловите во реални (физички) објекти кои можат да бидат користени како прототипови или финални продукти. Прототиповите може да бидат само “3D слики” но може да имаат и одредена функционалност. Финалните делови и производи мора да ги покажуваат сите функционалности кои им се зададени за време на дизајнирањето.

АП му овозможува на секој да креира делови и производи од секаков облик, да ги произведе од било каков материјал и во било колкави количини. Тоа означува почеток на ера на прилагодено масовно производство што ќе го револуционира индустрискиот свет.

Потенцијалот на АП да започне индустриска револуција

- Со АП процесите се добиваат многу комплексни геометрии кои неможе да се добијат со други производни процеси.
- Во најблиската иднина ќе биде можна промена на материјалите за време на производниот процес што води кон комплетно различни карактеристики на деловите и производите.
- Директниот дигитален производен процес нема потреба од алатки зависни од производот кој се изработува и е способен за симултано производство на различни производи. Ова отвора простор за масовно производство на индивидуализирани мали серии и единечни делови.

Не треба да се спомне дека успехот на АП во најголем дел се должи на брзиот развој на системите за работа со 3D податоци, вклучувајќи ги и CAD системите како и скенерите и 3D библиотеките со податоци.

## 5.6.1. Потенцијали и перспективи

### 5.6.1.1. Комплексна геометрија

Комплексни делови во АП се деловите кои се изработуваат директно и во еден дел и за кои изработката со конвенционални методи бара повеќе степени на обработка и употреба на комплицирани алати.



Слика 5.32 : Декоративно изработен череп добиен со FDM

Човечкиот череп, кој е еден од најкомплицираните можни делови, може да се изработи директно како едно парче со употреба на АП процесите. Повеќето други производни процеси не се во можност да изработат така комплициран дел без трошење на многу време и пари на конструкција на алати и последователно склопување на така добиените делови. Различни АП процеси може да се користат во зависност од потребата на потрошувачот.

### 5.6.1.2. Интегрирана геометрија

Во денешните конвенционални методи на производство комплексната геометрија на еден производ мора да се поедностави за да се обезбеди негова изработка. Најчесто, делот се разделува во елементи кои може да се произведат во зависност од ограничувањата на избраните производни процеси. Во најголемиот број на случаи потребни се финални чекори за составување на деловите во еден склоп за да се формира производот. Од друга страна, за производство на ваков производ во едне дел користејќи конвенционални методи потребни се и многу комплексни алати.



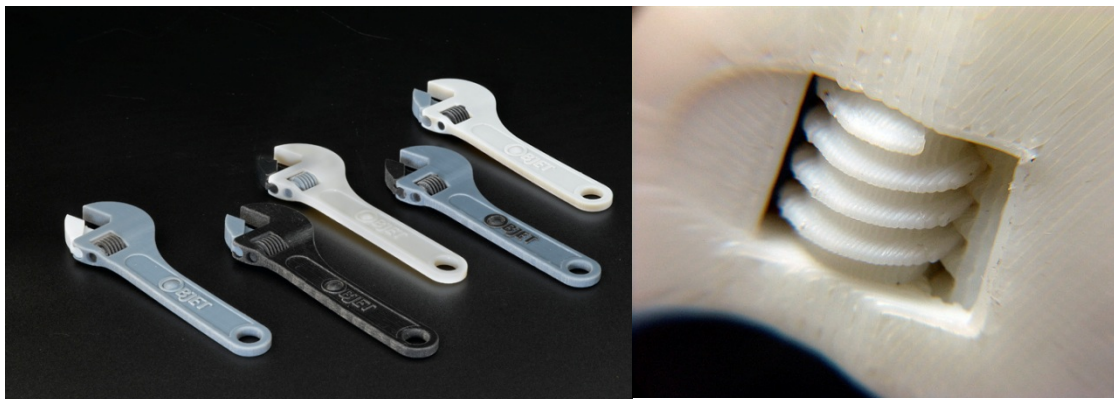
Слика 5.33: Ножица за хартија добиена како еден дел со печатење на 3D принтер

Тука ќе зборуваме за интегрираната геометрија, односно за спојувањето на повеќе елементи во еден дел за изработка на производот како едно парче со АП процесите. Тоа значи виртуелно склопување на производот наместо негово физичко склопување. Со тоа се избегнуваат алатките се елиминираат тесните грла во производството поради потребата од паралелно производство, се отфрла монтажата и се намалува потребниот простор за складирање и администрацијата.

Како добар пример за тоа претставува производството со инјектирање на пластика. Ваквото производство бара алатки за производство на секој дел и склопување на деловите во финален производ.

#### 5.6.1.4. Интегрирана функционалност

Интегрираните функционалности се во главно кинематски функции кои зависат од геометријата и може да се изработат наеднаш со употреба на АП но бараат употреба на повеќе делови, монтажа и доработка кога се изработуваат со други производни методи.



Слика 5.34: Клучеви изработени на 3D принтер (лево) како еден дел заедно со механизмот за придвижување (десно)

Со употреба на пластични материјали, еластичноста на материјалот се користи за да се добијат функции како цврсто налегнување во жлебови. Тоа може да се добие и кога делот е изработен со инјектирање на пластика, но АП овозможува едновремено изработување на делови со механички поврзани конструкции од било кој обработлив материјал.

#### 5.6.1.5. Делови од повеќе материјали

Најголемиот дел од деловите кои се разгледувани тука се изработени од еден изотропен материјал. Ова се смета дека е задолжително барање бидејќи останатите производни процеси како глодање и леене произведуваат изотропни делови со униформни карактеристики и конструкторите се навикнати да работат со изотропни материјали. Меѓутоа, АП има уште поширока перспектива бидејќи опфаќа процеси кои работат со повеќе материјали.



**Слика 5.35: Џојстик изработен како комбинација од крут и мек материјал на 3D принтер (лево) и куќиште за далечински управувач (десно)**

Веќе комерцијализираната постапка Polymer Jetting може симултано да процесира два различни материјали со дефинирани пропорции симулирајќи двокомпонентен дел добиен со инјектирање на два различни пластични материјали.

Кога ќе се земе во предвид дека помошниот материјал за супортите се печати симултано со делот многу лесно може да се замисли дел не само од два туку од повеќе материјали. Истото важи и за FDM процесите. Денес две глави за печатење кои работат симултано го нанесуваат материјалот за градење и помошниот материјал. Не постои техничка прилина која би ја спрелила машината да работи со три или повеќе материјали.

# Глава 6

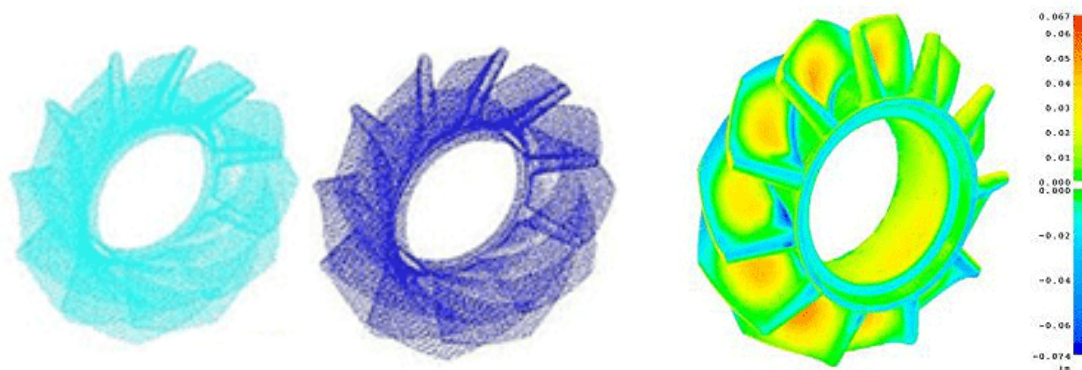


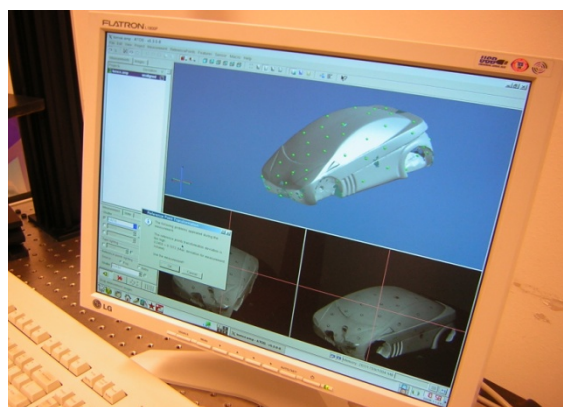
## 6. Примери

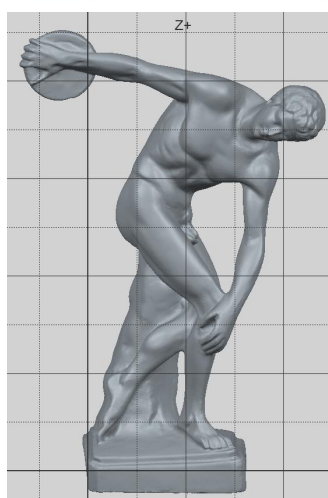
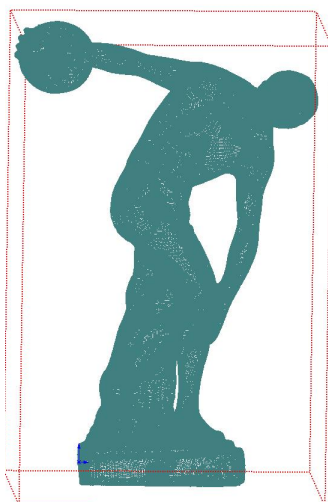
### 6.1. Примери за 3Д дигитализација

#### Процес на изработка на делот

1. Подготовка на делот кој треба да се скенира (лепење на потребните маркериточки)
2. Подготовка на камерата
  - Поставување на соодветни леќи;
  - Прилагодување на светлото во просторијата;
  - Калибрација на камерата;
  - Прилагодување на светлата на самата камера;
  - Започнување со скенирање.
3. Доработка по скенирањето во Atos
  - Израмнување (align);
  - Полигонизација (polygonization);
  - Затварање дупки (close holes);
  - Осекнување на непотребните делови
  - Измазнување (Smooth);
4. Пинтање







**ЗАКЛУЧНИ СОГЛЕДУВАЊА**

Примената на технологијата на 3Д дигитализацијата е огромна, почнувајќи од машинството, преку архитектурата, уметноста, медицината, а наоѓа примена и во многу други области на човековото живеење.

Во машинството најизразена е примената во алатничарството и тоа:

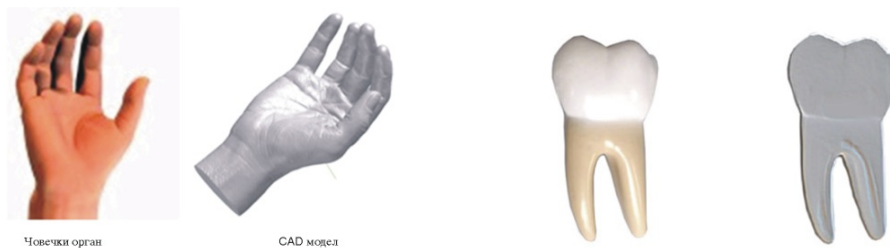
- При создавање на нови производи и конструирање на алати за нив,
- При подобрување на веќе постоечки алати и производи,
- За димензионална споредба на изработениот дел во однос на зададениот CAD модел.



Во медицината оваа технологија наоѓа примена во:

- Пластичната хирургија,
- Стоматологијата,
- Ортопедијата,

при изработка на вештачки орган, заби, вилицы и ергономски обувки.



Во уметноста и архитектурата оваа технологија наоѓа примена при:

- Изработка на алати за скулптури,
- Изработки на копии од значајни и ретки археолошки пронајдоци (како би се заштитиле оригиналите),

- Изработки на големи скулптури и споменици од мали модели.

Во филмската уметност оваа технологија наоѓа примена при:

- Изработка на маски од ликовите кои глумат во филмот, но се спречени да го завршат снимањето,
- Изработка на маски за снимање на филмови со познати личности, а тие лично не се појавуваат во филмот,
- Правење копија на некој предмет кој треба да го има на сцената, а не е можно физички да присуствува.

## 6.2. Вовед во Rapid Prototyping

3D печатење или адитивно производство е процес на креирање на три димензионален цврст објект од дигитален фајл. Оваа постапка се врши со адитивни процеси, каде еден објект се создава со нанесување на последователни слоеви на материјал.

Оваа технологија наоѓа голема примена во индустрискиот дизајн, архитектурата, градежништвото, автомобилската и авионската индустрија, медицината и во многу други области.

Со адитивно производство машината ги чита податоците од CAD моделот и нанесува сукцесивни слоеви на течност, прашок или некој друг материјал и на овој начин гради модел. Овие слоеви меѓусебно се спојуваат за да се добие крајниот облик. Главна предност на адитивното производство е способноста да се добие било каков облик или геометриска форма.

Стандардната комуникација меѓу CAD софтверот и машината се остварува преку STL форматот, кој ја апроксимира формата на делот или склопот преку триаголни површини. Помали површини обезбедуваат повисок квалитет на моделот.

Конструкција на модел со современи методи може да трае од неколку часа до неколку дена, во зависност од методот кој се користи и големината и сложеноста на моделот, како и бројот на модели кои се произведуваат во исто време.

Некои адитивни производни техники користат два материјали во текот на конструкцијата. Првиот материјал е материјалот на делот, а вториот е помошен материјал (за поддршка на висечките елементи за време на изработката). Помошниот материјал подоцна се отстранува со топлина или се растворува со растворувач или вода.

3D принтерите се особено добри за производство на мали количини на делови и брзо добивање на прототипови, процес попознат како Rapid Prototyping. Rapid Prototyping технологијата може да ја дефинираме како група техники употребувани за брза изработка на размерен модел на дел употребувајќи CAD податоци.

## 6.2.1. DIMENSION 3D Printer

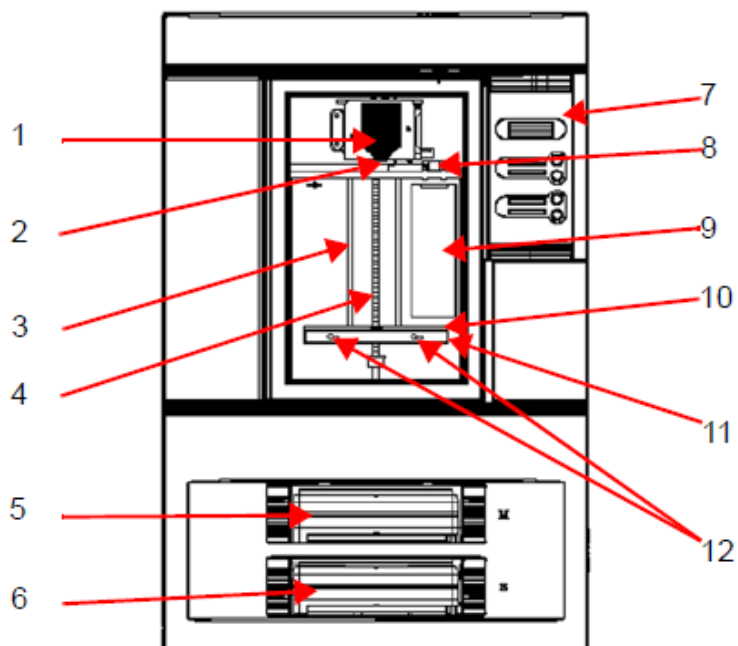
### 6.2.1. 1. Преглед

Dimension 3D принтерите создаваат модели од CAD STL фајлови. Системот создава три-димензионални делови со екструдирање на ABS пластика преку компјутерски контролирана екструдирачка глава, произведувајќи високо квалитетни делови кои се спремни за употреба веднаш после нивното комплетирање. Има можност за подесување на резолуцијата, односно примена на помала резолуција за создавање на делови само за конструктивна анализа, или повисока резолуција за делови со повисок квалитет на површината и деталите.

Dimension произведуваат 3 вида на 3Д принтери: BST 768, SST 768 и Elite. Во табелата подолу се дадени нивните главни карактеристики.

Feature	BST 768	SST 768	Elite
.007 in. slice (.178 mm)			X
.010 in. slice (.254 mm)	X	X	X
.013 in. slice (.330 mm)	X	X	
P400 Model Material	X	X	
P430 Model Material			X
BST (Breakaway Support Material)	X		
SST (Soluble Support Material)		X	X

- Изглед и составни елементи на предната страна на еден Dimension 3D Printer:



Ставка	Номенклатура	Ставка	Номенклатура
1	екструдирачка глава	7	дисплеј
2	млазник	8	склоп за чистење на млазникот
3	водилки	9	контејнер за остатоците од чистењето
4	навојно вретено	10	моделирачка база
5	кертриџ за материјал за моделирање	11	Z платформа
6	кертриџ со материјал за поддршка	12	прицврстувачи на платформата

Изглед и составни елементи на задната страна на еден Dimension 3D Printer





Dimension системот се состои од две компоненти: 3D принтер и CatalystEX софтверски пакет за предпроцесирање кој што работи на Windows 2000 или Windows XP Pro платформа.

Максималните димензии на дел којшто може да се изгради во Dimension 3D Printer се 203 x 203 x 305 mm. Секој кертриџ содржи 922 cm<sup>2</sup> употреблив материјал – доволно за да се принта речиси 4 дена без престанок.

#### 6.2.1.2. Работен простор

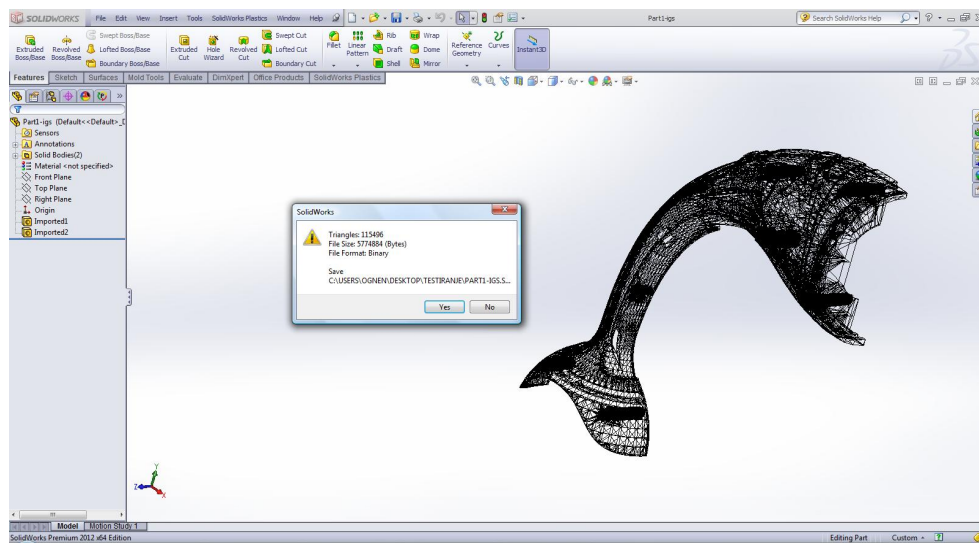
При позиционирање на принтерот, треба да се обрне поголемо влијание на следното:

- Dimension принтерот има тежина од 128 kg, па затоа треба да се постави на маса која може да издржи до 136 kg
- Димензии на системот: 914 x 686 x 1041 mm. Помеѓу ѕид и принтерот треба да има најмалку 10 cm заради циркулација на воздух
- Напојување: 220-240 VAC, 50/60 Hz, 7 A min.
- Температура: 18 – 32 °C
- Релативна влажност: 30 – 80 %

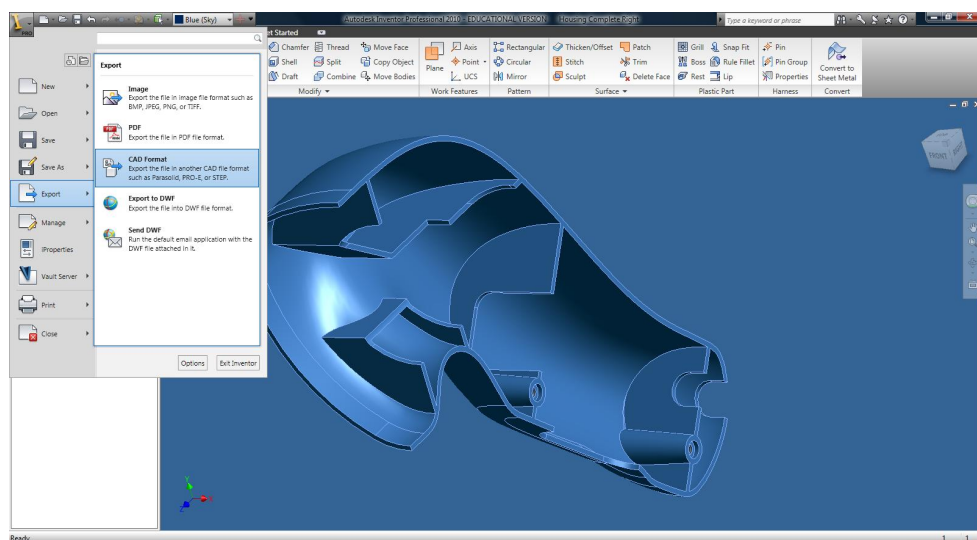
- Ethernet 10/100 Base T мрежа
- Мрежен кабел со RJ45 конектори
- UPS (Uninterruptible Power Supply), по можност, за случај на прекини со напојување

### 6.3. Изработка на 3D модел

3D принтерот моделите ги создава од CAD .STL фајлови, па според тоа првиот чекор во изработката на еден дел е изработка на негов модел во некој CAD софтвер.



При експортирањето на моделот во STL формат се врши апроксимација на обликот со помош на триаголни површини

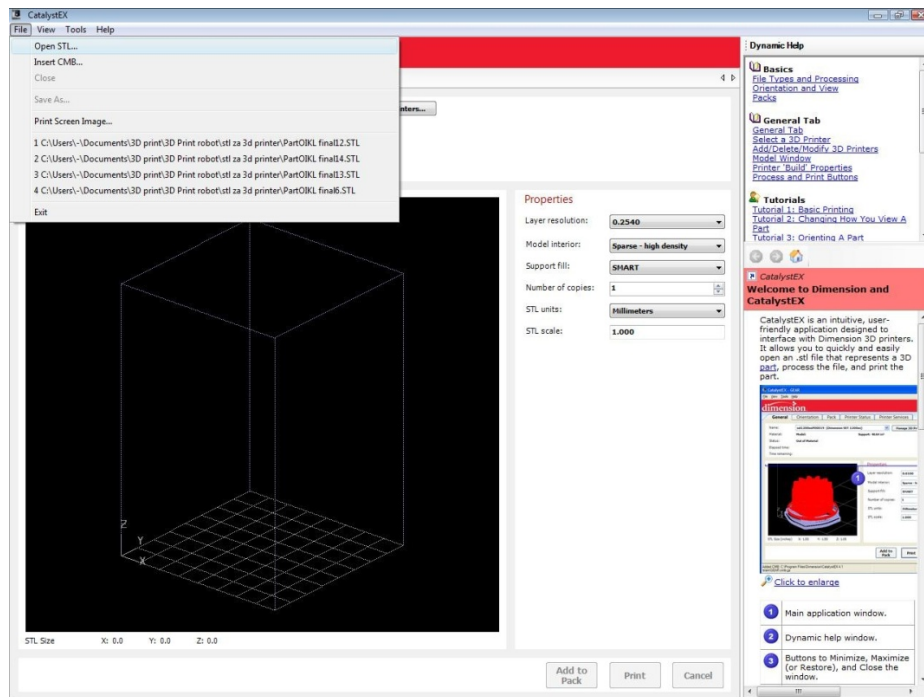


По изработката на 3D моделите, потребно е секој од нив да се експортира во .STL формат, како што е прикажано на погорната слика.

### Испраќање на CAD File кон системот

За испраќање на CAD фајловите кон Dimension принтерот се користи софтверот CatalystEx кој доаѓа заедно со самиот принтер.

- Го отвораме главниот прозорец на CatalystEx

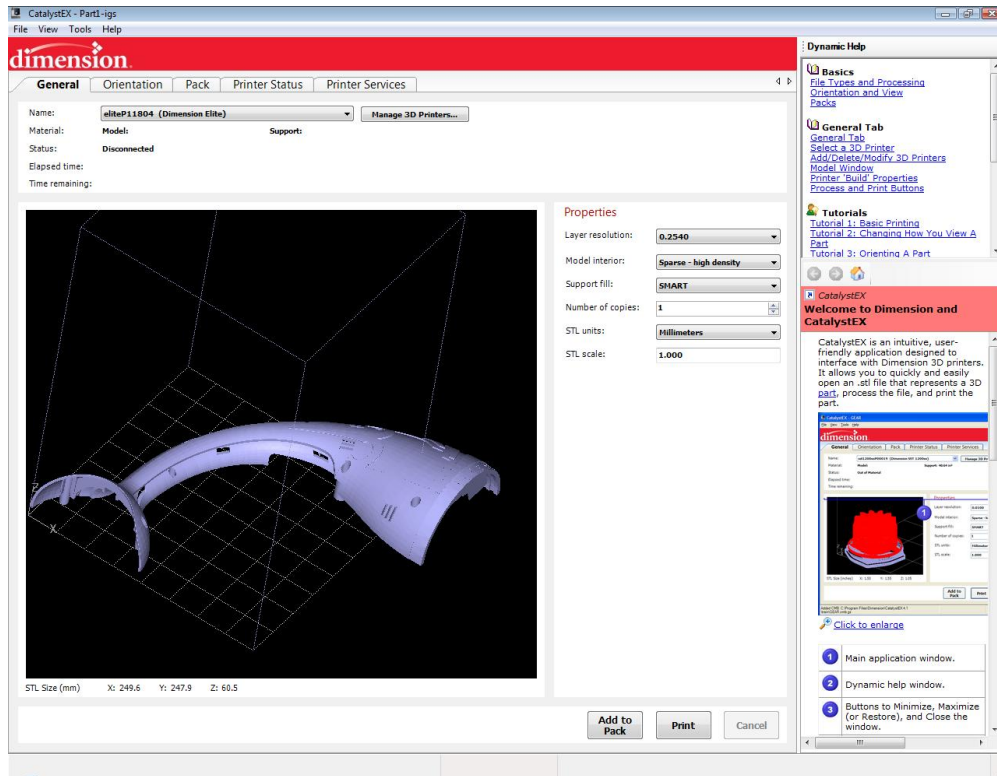


- За да го отвориме потребниот фајл одиме File > Open STL..
- Го селектираме и го отвораме STL фајлот на делот кој ќе се печати

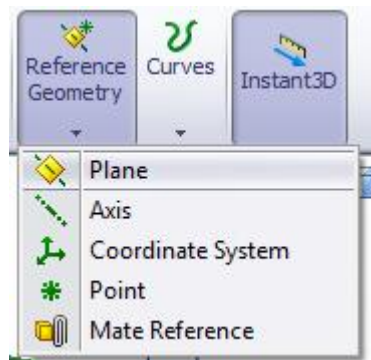
Во табот General, од десната страна го бираме бројот на копии кои ќе се

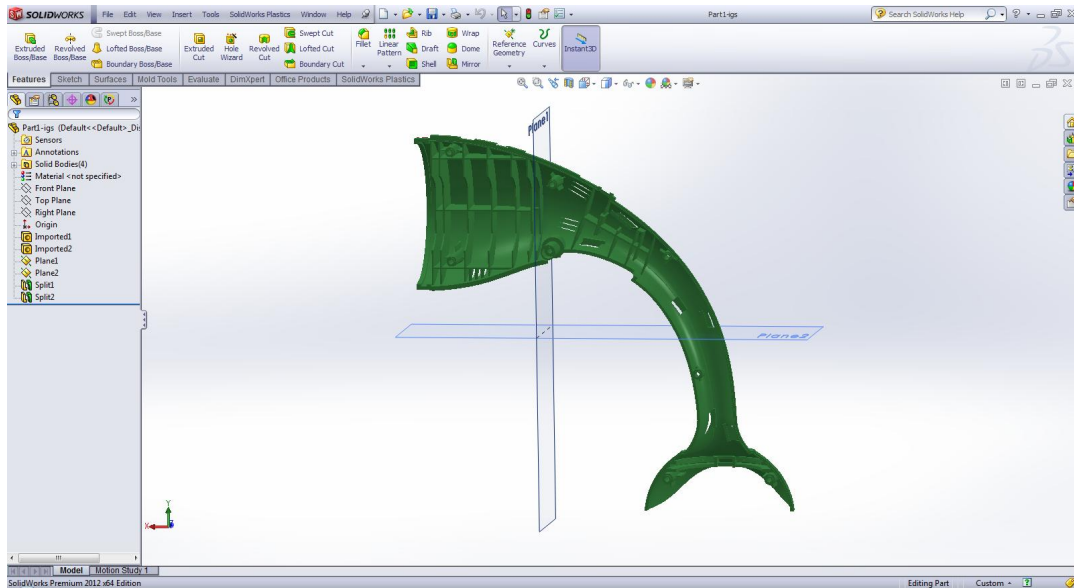
Веднаш по додавањето на моделот се гледа дека неговите димензии не дозволуваат истиот да се испечати како еден дел. Поради тоа потребно е



истиот да го поделиме на неколку дела чии димензии би одговарале на работната површина на принтерот.

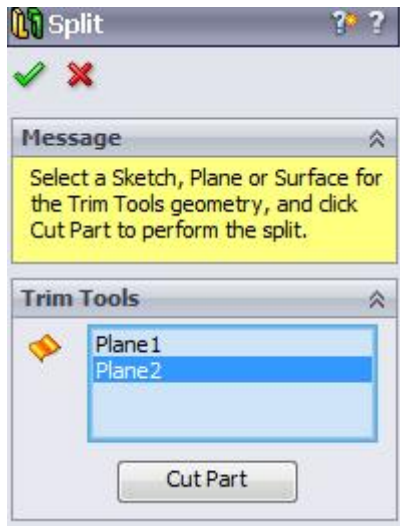


- За да ја извршиме поделбата, повторно го отвораме моделот во Solid-Works
- Со помош на алатките за референтна геометрија од табот “Features” изработуваме рамнини со кои го делиме моделот на саканиот број на делови

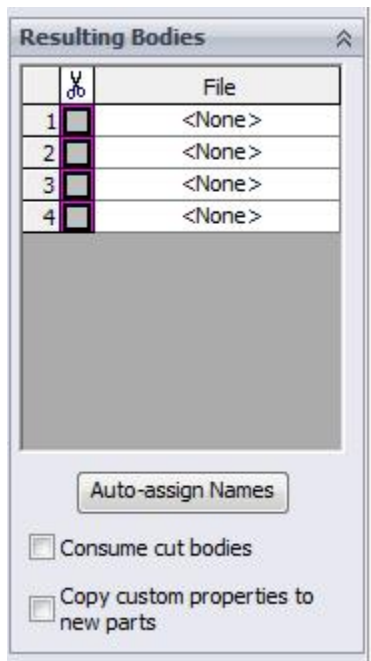




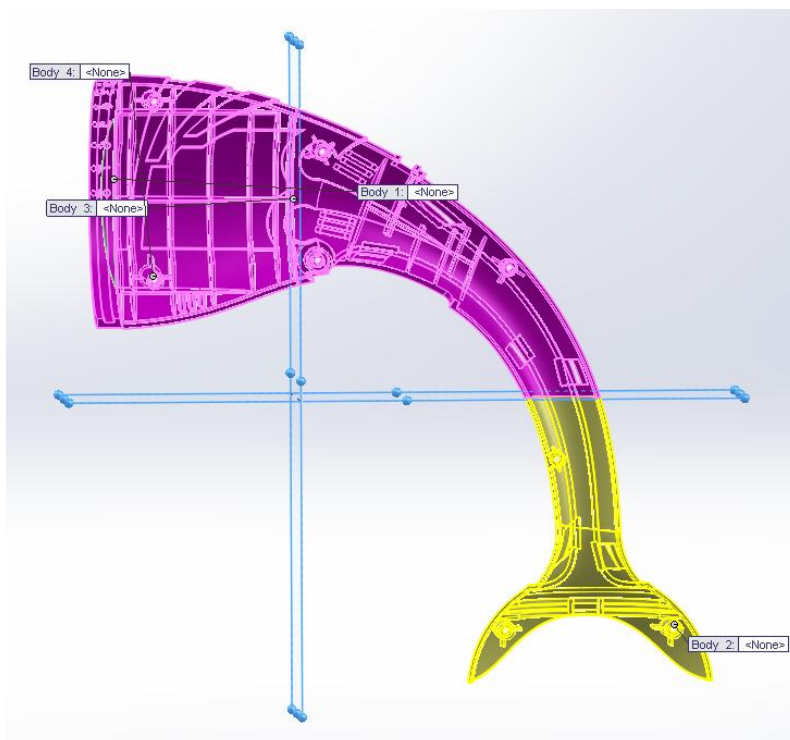
- Следно со помош на алатката  Split... моделот го делиме на делови. Оваа алатка ја повикуваме преку: Insert > Features >  Split...

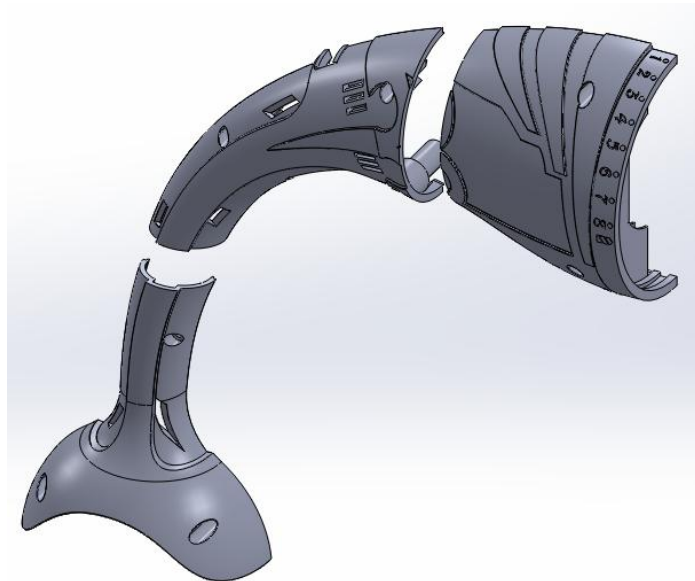


Ги избираме двете рамнини во однос на кои сакаме да го поделиме моделот и активираме "Cut Part" за да се изврши поделбата

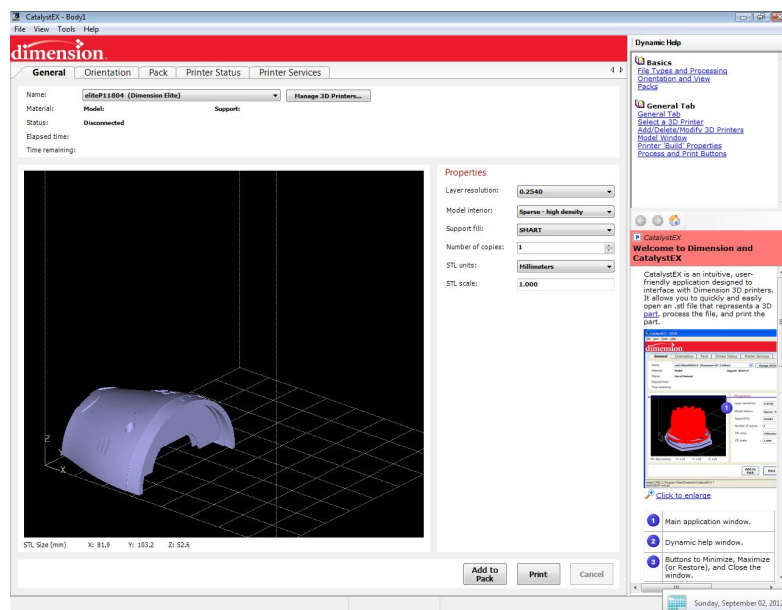


Софтверот автоматски ги препознава сите делови на моделот. Во следниот прозорец индивидуално го селектираме секој дел, му задаваме име и избираме локација каде ќе го зачуваме како нов дел после поделбата





Секој од добиените делови потоа потребно е да се екпортира во .STL формат за да може да се вметне на работната површина во CatalystEX

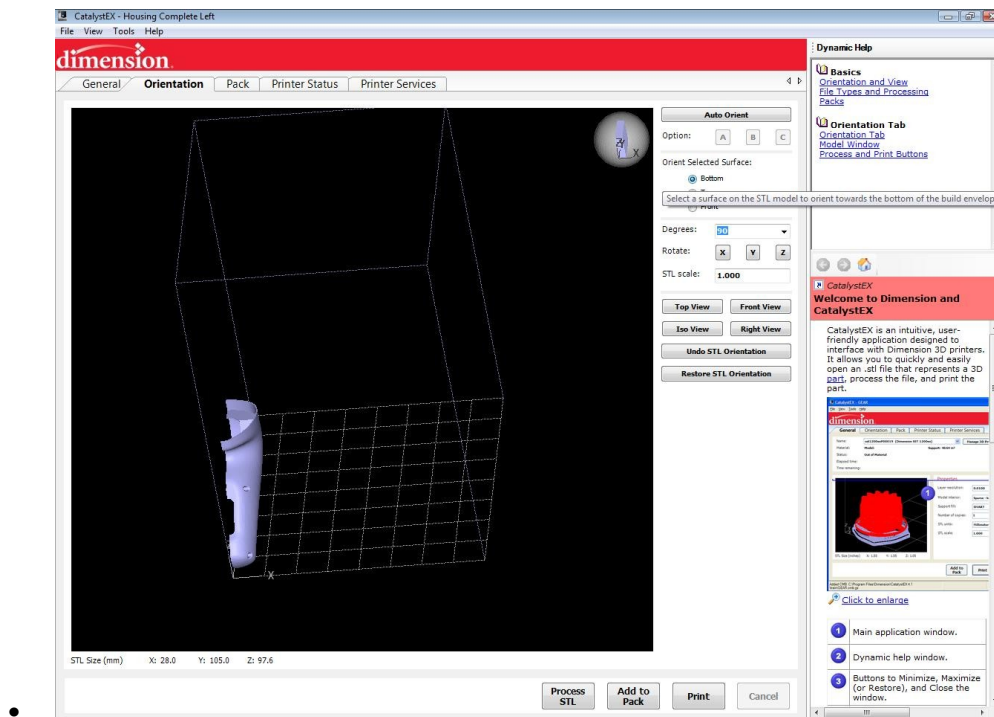


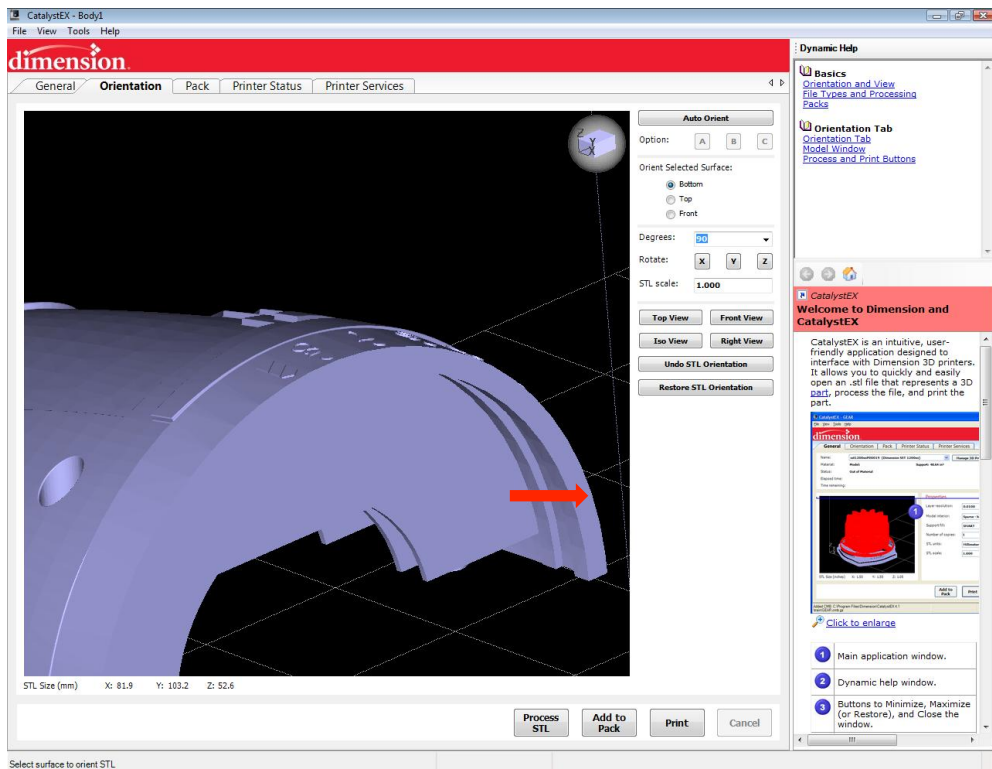
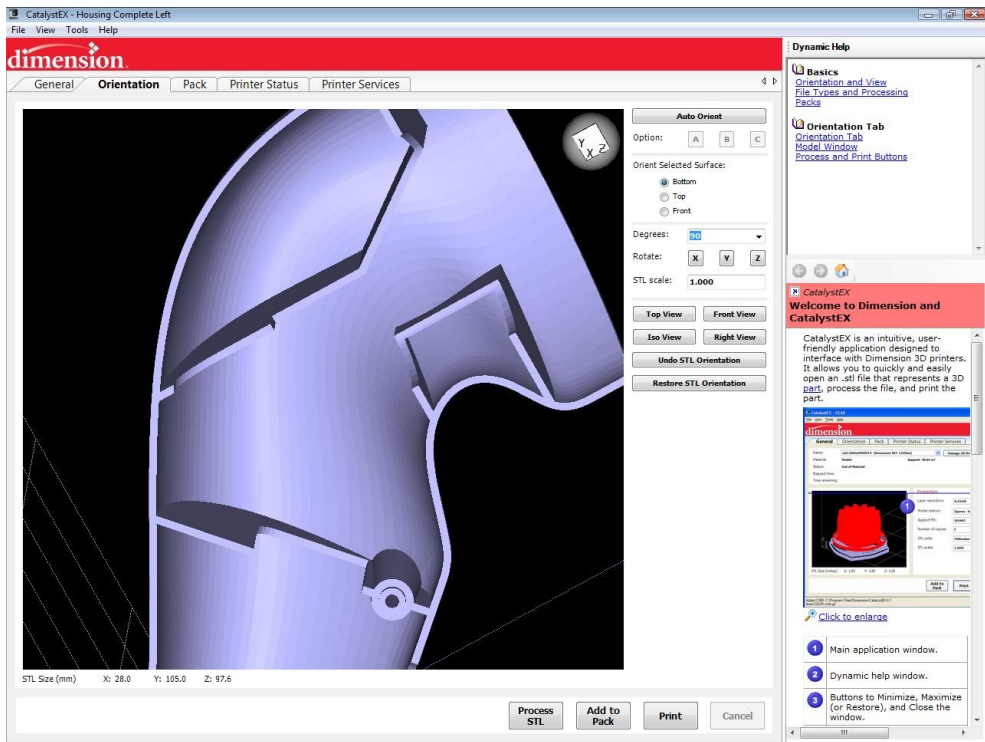
Во табот Orientation се избира положбата во која сакаме да се печати делот, односно неговата ориентација на работната подлога. Во овој случај



сакав главата на куќиштето да лежи на челната рамна страна. Тоа се изведува на следниот начин:

- Ја избираме опцијата Bottom
- Со курсорот ја селектираме рамната челна површина



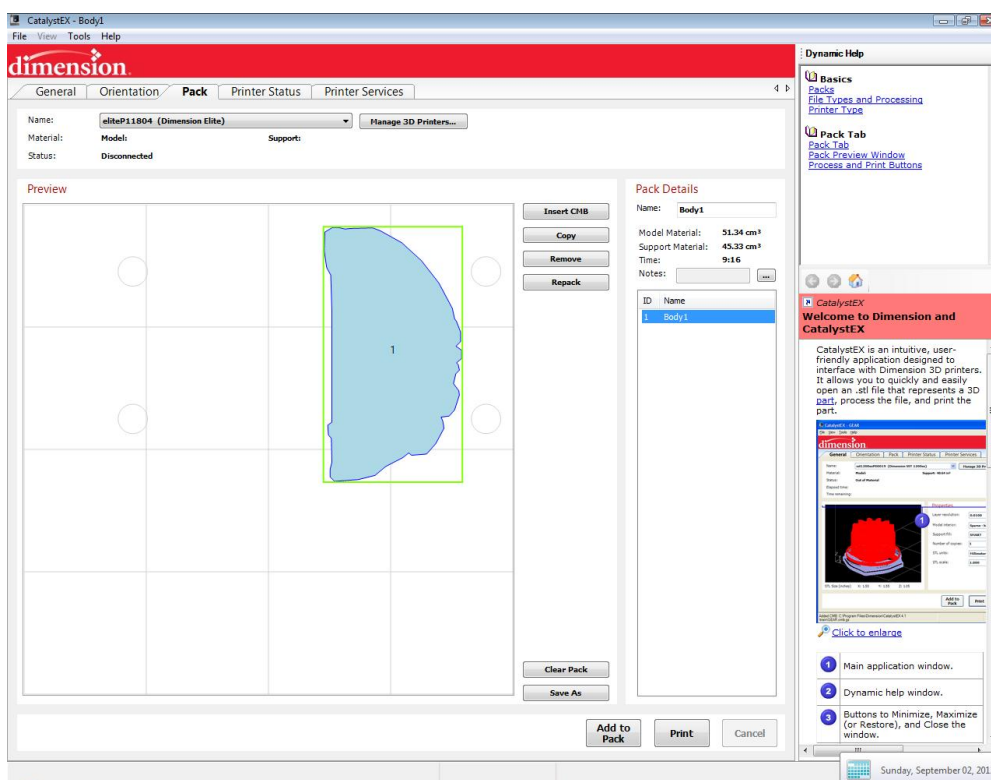


Бидејќи сакаме сите три дела да ги испечатиме истовремено на една подлога, потребно е да формираме Пакет.

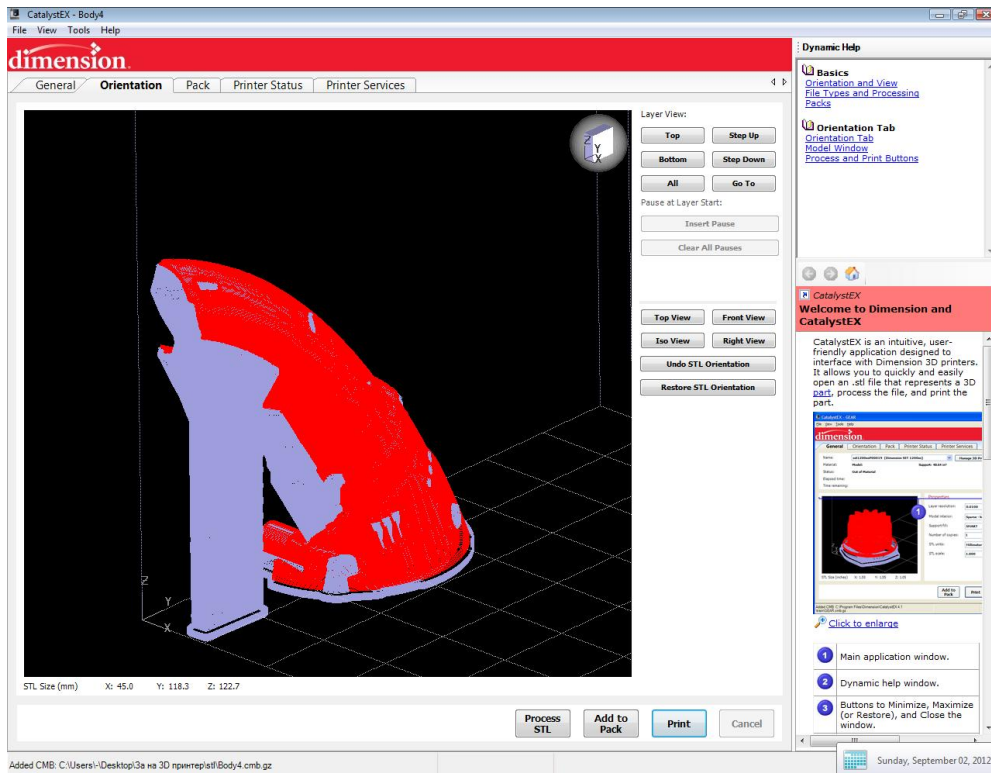
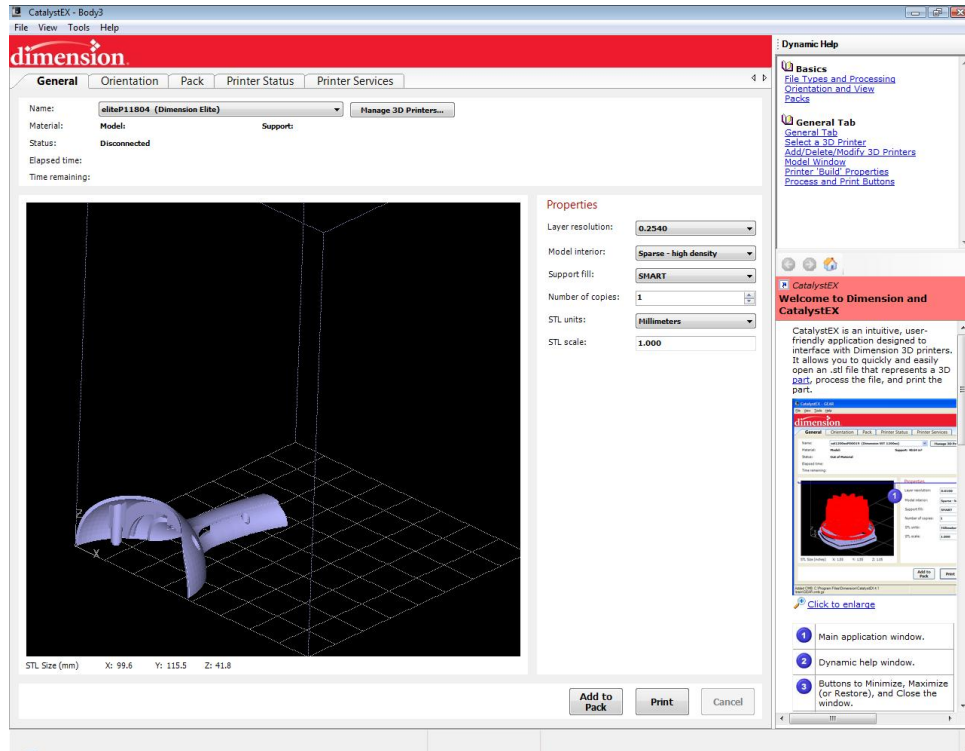


- Кликаме на копчето Add to Pack, за да го додадеме делот во пакетот.

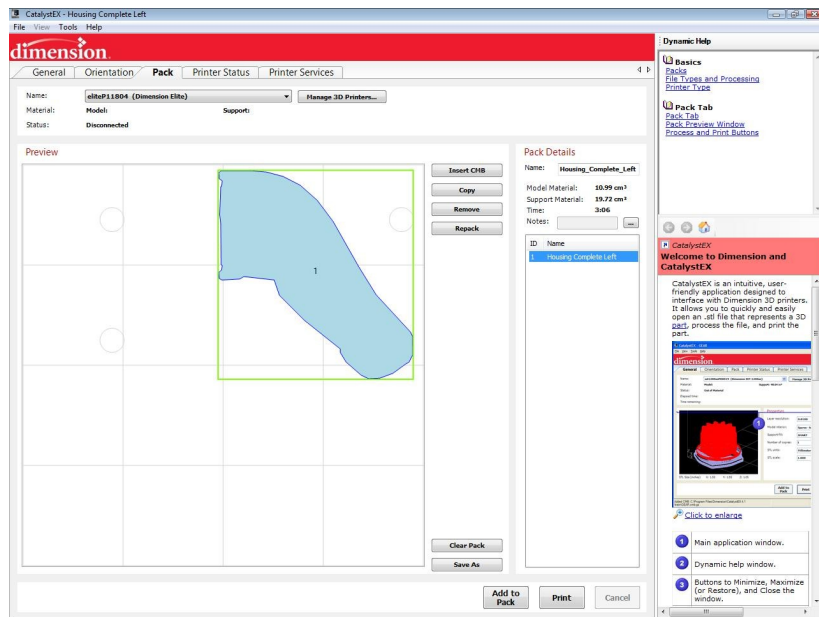
Откако софтверот ќе го испроцесира делот, ни се отвора табот Pack во кој може да ја избереме положбата на делот на работната подлога за време на печатењето.



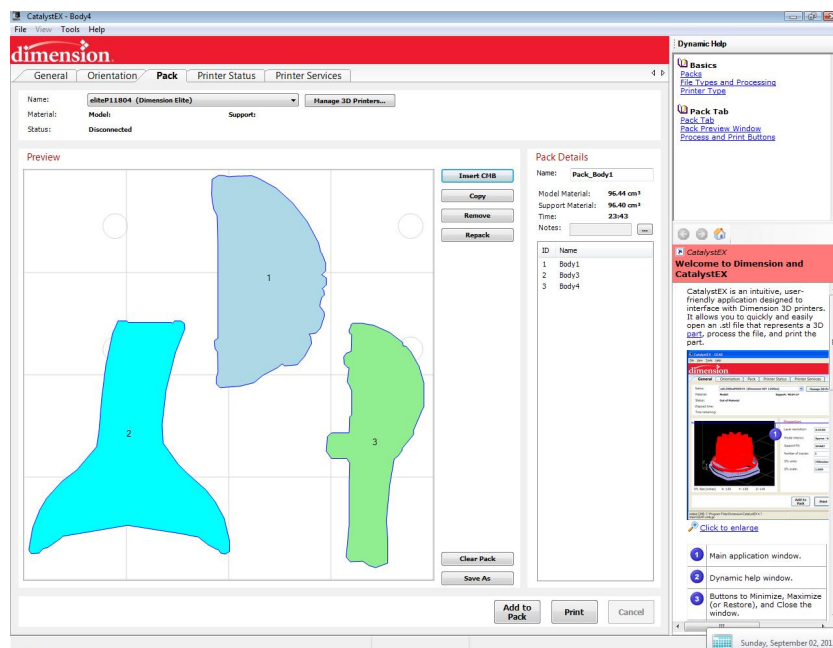
За да ги додадеме другите делови во пакетот ја повторуваме истата постапка за секој дел одделно.



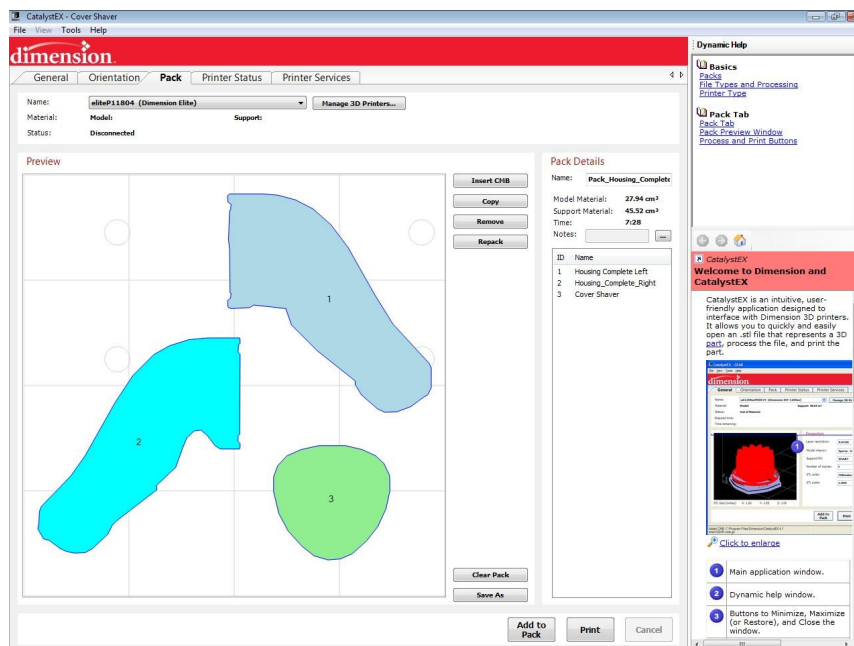
Поради тоа што еден од деловите има поголема висина, CatalystEx автоматски генерира помошна подлога за да може да го стабилизира делот при моделирањето.



На крај се добива работна подлога со контури на секој од деловите, согласно нивната претходно избрана ориентација, означено во различна боја.



Од десната страна се прикажани информациите за потребниот материјал за моделирање, потребниот материјал за поддршка и вкупното време на принтање.



При додавањето на деловите во пакет CatalystEx ги претвора STL фајловите во CBM фајл. Кога ќе се притисне копчето Print, CBM фајлот CatalystEx ќе го испрати до принтерот за да го создаде делот.

### Печатење на дел од зададениот фајл

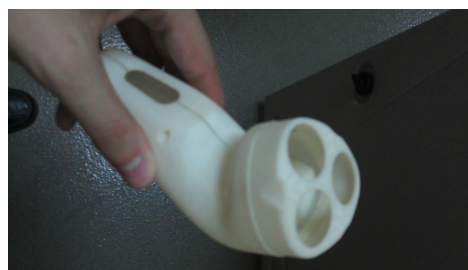
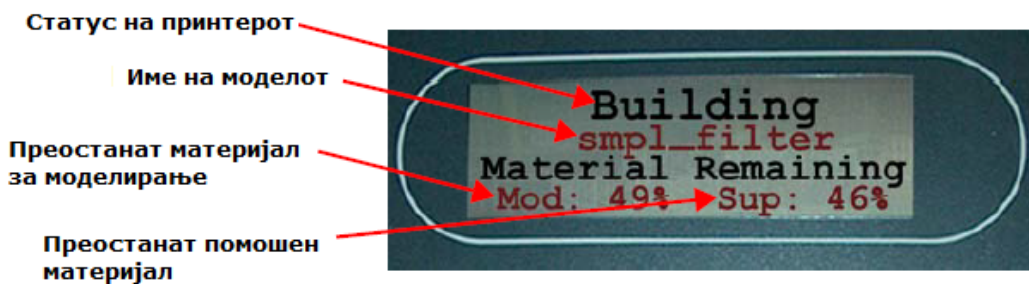
Откако CatalystEx го испраќа CBM фајлот до принтерот, на екранот се појавува Ready to Build, заедно со името на фајлот.

### Градење на дел:

Притиснете Start Model. Системот ќе се загрее до определената температура за изработка. По загревањето, на екранот се појавува Finding Home (Екструдирачката глава го бара врвот на моделирачката база на која треба да се направи делот). Откако ќе ја пронајде почетната точка, Dimension почнува со изработка.



Двете горни линии на дисплејот го покажуваат пораки за статусот на принтерот. На најдолната линија се прикажува податок за количеството на материјал кое е преостанато во кертриџот.



## 7. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

1. Chua Chee Kai, Leong Kah Fai, Lim Chu-Sing – Rapid Prototyping – Principles and Applications (2nd Edition) (2003)
2. Frank W. Liou – Rapid Prototyping and Engineering Applications – A Toolbox for Prototype Development (Mechanical Engineering) (2007)
3. Ian Gibson – Software Solutions for Rapid Prototyping – Wiley (2002)
4. T. Varady, R. Martin, J. Cox, Reverse Engineering of geometric models - an introduction, CAD, 1997
5. D. Behring, Training Tutorial for Atos II, v4.7.3, GOM - Optical Measuring Techniques, Braunschweig, 2002
6. B. Zagar, Vzratni razvoj 3-D modelov z uporabo NURBS geometrije, Ljubljana, 2003
7. F. Karman, C. Kleismit, Catia V5, Kompjuter biblioteka, Belgrad, 2004
8. V.Raja; K.Ferandes: Reverse Engineering, An Industrial Perspective, Springer, UK, 2012
9. RC Cofer, Benjamin F. Harding - Rapid System Prototyping with FPGAs (Accelerating the design process) – Newnes (2005)
10. Jürgen Scheible, Ville Tuulos – Mobile Python - Rapid prototyping of applications on the mobile platform (2007)
- A. Rennie, C. Bocking, D. Jacobson – Rapid Prototyping, Tooling and Manufacturing – Professional Engineering Publishing (1995)
11. Ali Kamrani, Emad Abouel Nasr –Rapid Prototyping Theory and Practice – (Manufacturing Systems Engineering Series) (2006)
12. Julia A McDonald, Chris J Ryall, David I Wimpenny – Rapid Prototyping Casebook (CasebookS.) – Wiley (2001)
13. Miltiadis A. Boboulos - CAD-CAM & Rapid Prototyping Application Evaluation – Ventus Publishing ApS (2010)
14. Miroslav Plancak – Rapid Prototyping & Rapid Tooling – Novi Sad (2009)
15. A. Gebhardt: “Understanding Additive Manufacturing”, Hanser, Munich, 2012
16. P. M. Pandey, N. V. Reddy, S. G. Dhande. : “Slicing procedures in layered manufacturing”, 2003
17. Pulak M. Pandey: “Rapid prototyping technologies, applications and part deposition planning”
18. Miltiadis A. Boboulos: “CAD-CAM & Rapid Prototyping Application Evaluation”, Ventus Publishing ApS, 2010
19. Љ. Дудески, САЕ, учебно помагало, Универзитет Св.Кирил И Методиј во Скопје, 2005
20. Дудески Љ., Кочов А. : “Компјутерски потпомогнато инженерство”, МФС, Скопје 2006
21. Ian D. Harris: “Development and Implementation of Metals Additive Manufacturing”
22. Z Corporation manual: “Z Corporation 3D Printing Technology”
23. Z Corporation manual: “How 3D Printing works”
24. Stratasys manual: “Enhancing the Design Process with 3D Printing”



25. [www.gom.com](http://www.gom.com)
  26. [www.konicaminolta-3d.com](http://www.konicaminolta-3d.com)
  27. [www.steinbichler.com](http://www.steinbichler.com)
  28. [www.bruckmann.com](http://www.bruckmann.com)
  29. [www.cadem.com](http://www.cadem.com)
  30. [www.bias.com](http://www.bias.com)
  31. <http://www.intechopen.com/books>
-