

# АДИТИВНЕ ПРОИЗВОДНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ

Проф. др Михајло Поповић  
Проф. др Милош Пјевић

mpopovic@mas.bg.ac.rs  
mpjevic@mas.bg.ac.rs



## АДИТИВНЕ ПРОИЗВОДНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ

### циљ

Стицање теоријских и практичних знања у области пројектовања технологија на бази додавања материјала - адитивних технологија и њихове примене на металне и полимерне материјале. Стицање теоријских и практичних знања из пројектовања, прорачуна и конструкције обрадних система за адитивне производне технологије базиране на савременим технологијама и оптималном решењу - методе природне градње и генеративни дизајн.

### исход

По успешном завршетку овог курса, студенти би требало да буду оспособљени да: • Препознају основне разлике између метода уклањања материјала, обликовања материјала и додавањем материјала (адитивних технологија). • Разликују методе адаптивне производње • Да упореде методе адитивне производње • Анализирају могућност употребе адитивних технологија • У зависности од оптерећења конструкције и његове намене, пропишу одговарајући тип адитивне технологије, као и режиме израде • Генеришу компјутерски модел дела: пројектовањем и скенирањем • Искористе генеративне методе (приступе) пројектовања на основу природног метода градње • Изврше оптимизацију геометрије конструкције према условима адитивних технологија • Припреме за обраду • Пројектују и прорачунају обрадни систем намењен адитивним производним технологијама.

### садржај теоријске наставе

Подела технологија; Основни појмови, значај Адитивних производних технологија у савременом развоју и производњи; Подела Адитивних производних технологија; Поступци адитивне производње; 3D штампа; Примена (израда прототипова, функционалних делова и алата; Технике формирања 3D модела применом CAD алата и скенирања; Природни метод градње и генеративне методе пројектовања; Примери из праксе, будући правци развоја Адитивних производних технологија.

### садржај практичне наставе

Лабораторијске вежбе са лабораторијском опремом на којима се студент упознаје са практичним реализованим обрадним системима за адитивне технологије. Упознавање са процесом производње функционалних делова кроз израду пројектног задатка. Рачунарске симулације: Оптимизација геометрије, прописивање технологије израде на основу адитивних производних технологија, пројектовање подсистема за пратећи тип адитивне технологије. Радионице: скенирање делова и обрада у CAD пакетима. 3D штампа. Брза израда прототипова и брза израда алата и прибора.

# АДИТИВНЕ ПРОИЗВОДНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ

## ресурси

Екструдер филамента за 3D штампач, 3D оловка, FFF 3D штампач, mSLA Creality LD-002R принтер, 3D скенер; Предавања у електронском облику, Инструкције за извођење вежбања у лабораторији, Инструкције за израду пројекта, САх радне станице са одговарајућим софтверским пакетима.

**фонд часова:** укупан фонд часова: 75

## активна настава (теоријска)

ново градиво: 20

разрада и примери (рекапитулација): 10

## активна настава (практична)

аудиторне вежбе: 0

лабораторијске вежбе: 15

рачунски задаци: 0

семинарски рад: 0

пројекат: 10

консултације: 0

дискусија/радионица: 5

студијски истраживачки рад: 0

## провера знања

преглед и оцена рачунских задатака: 0

преглед и оцена лабораторијских извештаја: 2

преглед и оцена семинарских радова: 0

преглед и оцена пројекта: 4

колоквијум са оцењивањем: 0

тест са оцењивањем: 4

завршни испит: 5

## провера знања (укупно 100 поена)

**активност у току предавања: 10**

**тест/колоквијум: 2\*15**

**лабораторијска вежбања: 10**

**рачунски задаци: 0**

**семинарски рад: 0**

**пројекат: 20**

**завршни испит: 30**

**услов за излазак на испит (потребан број поена): 40**

## литература

Gibson I, Rosen W.D, Stucker B, Additive Manufacturing Technologies - Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing, Springer, 2010.;

Gebhardt A, Heotter J.S, Additive Manufacturing, 3D Printing for Prototyping and Manufacturing, Hanser Gardner Publications, 2016.;

Stritesky O, Prusa J, Bach M, Basics of 3D Printing with Josef Prusa, Prusa REsearch, Prague 2019.;

## ТЕХНОЛОГИЈА КАО НАУЧНА ДИСЦИПЛИНА

Технологија је реч грчког порекла и значи - учење о поступцима помоћу којих се прерађују сировине. Или, технологија је наука о вештинама и занатима, као и научно приказивање људске делатности са сврхом прераде природних производа (сировина) за људску употребу.

Међутим, наведена два тумачења термина „технологија“ данас не одговарају садржају технологије као научне дисциплине. Односно, технологија се може дефинисати као *примењена, научна, техничка дисциплина која проучава међусобни однос средстава и метода производње у свим сферама људске делатности сагласно законима природних наука и економске целисходности*. Дакле, технологија проучава и обухвата све производне процесе у којима се добијају друштвено корисни производи, што практично значи да мора бити уско повезана и са економиком, и са организацијом рада, и са организацијом производње.

С друге стране, данас се технологија може модерно дефинисати као активна интеракција између хардвера, софтвера и оргвера. Што значи, да се морају поседовати средства (хардвер), методе и знања (софтвер) и одговарајућа покретачка активност са програмом (оргвер), сл. 1.1. Овде треба напоменути, да се техника, која се у изворном значењу скоро идентификовала са технологијом, сада све више садржи у технологији и односи на средства.



С друге стране, **ПРОИЗВОДНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ** садрже све активности од:

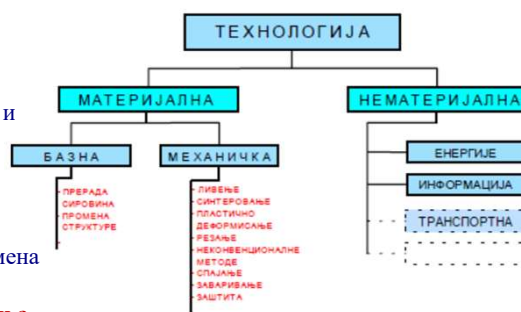
- усвајања концепције производа,
- пројектовања и конструисања,
- прорачуна и провера,
- **пројектовања технолошких процеса производње,**
- **обrade и обликовања делова у свим етапама производње,**
- мерења и контроле,
- монтаже и завршног испитивања готовог производа,
- заштите и паковања, укључујући и
- активности које се односе на транспорт и ток материјала у процесу производње, као и одржавање производне опреме.

Производним технологијама се обухвата *дискретна производња*, односно производња појединачних делова или комада и *континуална производња*. Завртањски делови, зупчаници, челичне кугле, конзерве за течност, наводе се као примери дискретне производње у масовном или великосеријском типу производње. С друге стране, калемови жице, плоче од метала или пластике, цеви, пластична црева, каблови, наводе се као пример континуалне производње, где се сечењем, или резањем могу добити комадни делови.

Технологија, као *наука и пракса производње*, обухвата поред материјалних и нематеријалне процесе, тј. може да се подели на **материјалну** и **нематеријалну** технологију (сл. 1.2). Нематеријална технологија обухвата трансформацију или прераду енергије и информација, као и процесе који се односе на транспорт и организацију транспорта и чување и испитивање материјала и производа.

Материјални процеси, поред трансформације материјала, захтевају и учешће и трансформацију енергије и условљавају прераду одговарајућих информација. Према природи материјалних процеса материјална технологија се дели на базну (хемијску) и механичку. Базна технологија обухвата добијање материјала од природних сировина (на пример, добијање метала од руда), као и процесе промена структуре у материјалу (на пример, термичка обрада метала).

Механичка технологија обухвата технологију **ливења и синтеровања**, **технологију машинске обраде** пластичним деформисањем са и без одвајања, **технологију машинске обраде резањем** или скидањем струготине, **технологију обраде неконвенционалним поступцима**, **технологију спајања** (која посебно садржи технологију заваривања), **технологију монтаже** и **технологију заштите површина**.



## МЕТОДЕ ОБРАДЕ И ОСНОВНА ПОДЕЛА

Практични поступци извођења процеса обраде у смислу међусобног дејства алата и обратка, у строго предвиђеном извођењу основних и помоћних кретања дефинишу метод обраде.

- **методе обраде резањем,**
- **методе обраде пластичним деформисањем,**
- **неконвенционалне методе обраде,**
- **методе обраде великим (високим) брзинама деформисања, и**
- **посебне методе обраде.**



Међутим, ако се говори о технологијама уопште, а посебно о производним технологијама у оквиру металопраде, онда се сагласно нивоима процеса, данас може говорити о следећим технологијама које представљају и одговарајући структурни развој, и то:

- конвенционалне,
- нове,
- напредне (високе), и
- **агилне технологије.**



**Конвенционалне технологије** се односе на технологије које се реализују у оквиру обрадних и технолошких система са ручним управљањем, затим у оквиру аутоматских система са крутим механичким управљањем, агрегатних система, и сл. То је данас, условно усвојен термин, и обично неоправдано, за многе то су технологије ниског нивоа, што уопште не мора бити тачно.

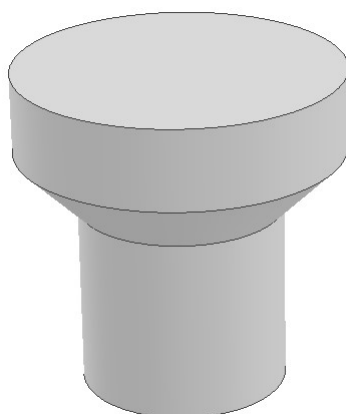
**Нове технологије** често се помињу, дефинишу, анализирају и слично у контексту са високим технологијама. Међутим, свака освојена технологија, која представља позитиван допринос у развоју производа, погона, фабрике, индустријско – привредног комплекса и друштва уопште, и уколико је сагласна са економском целисходношћу, представља нову технологију.

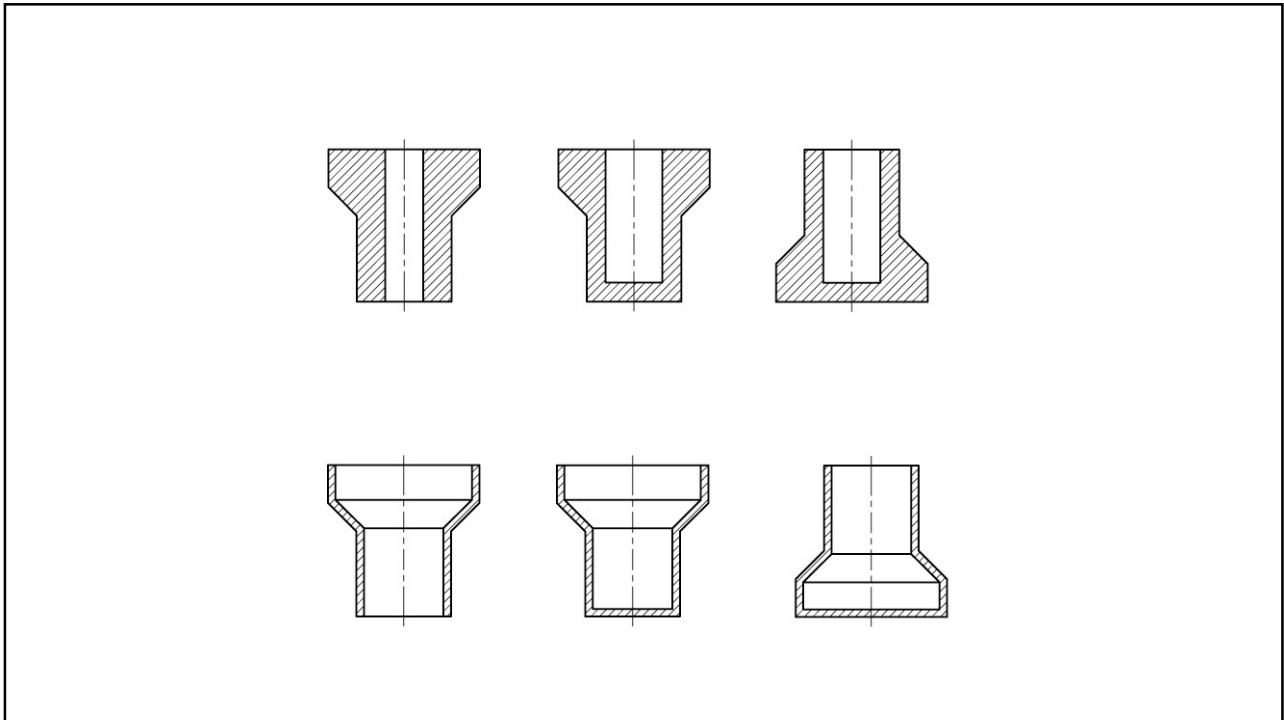
**Напредне (високе) технологије** подразумевају висок ниво хардвера, софтвера и оргвера, а односе се на технологије у оквиру КНУ - система (компјутерски нумерички управљаних система), ДНУ - система (дистрибутивно нумерички управљаних система), ФТС – система (флексибилних технолошких система), ИТС - система (интелигентних технолошких система), трансфер линија са високим нивоом управљања, и др.; високе технологије данас подразумевају и нано технологије, итд.

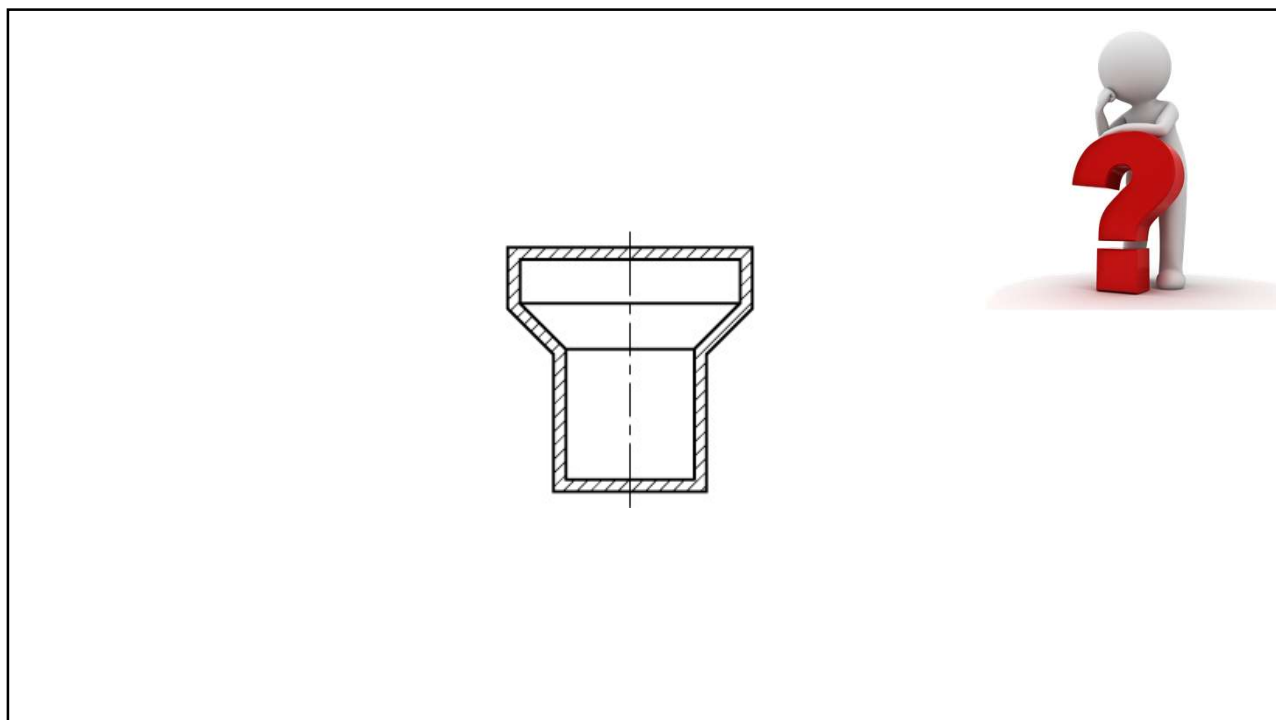
**Агилне или технологије брзог дејства** данас су посебан предмет истраживања у оквиру **ПРОИЗВОДНИХ ТЕХНОЛОГИЈА**, а односе се на **брзу израду прототипова**, и обухватају ливење у вакууму и то специјалних пластичних маса, **стереолитографију, технологију електролучног ослојавања** и технологију ливења алата од лакотопљивих легура. Искуства познатих фирми у свету, и то углавном оних које обухватају индустрије мотора и моторних возила, показују да је смањење трошкова при примени ових технологија реда десет пута, а временско смањење реда сто пута.



This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY](#)







# ИСТОРИЈАТ

„СВИ СЕ И ДАЉЕ ПИТАЈУ О БУДУЋНОСТИ 3D  
ШТАМПЕ, АЛИ ДА БИ ВИДЕЛИ БУДУЋНОСТ  
МОРАМО ЗНАТИ ПРОШЛОСТ ...“

## **Први покушај формирања чврстог објекта слој по слој**

Крајем 1960-их: експеримент који је укључивао пресецање два ласерска снопа различитих таласних дужина у посуди са смолом, у покушају да учврсти фотополимерну смолу у тачки пресека.

Крајем 1970-их: серија патената који су подразумевали резање попречних пресека уз помоћ компјутерског управљања, користећи глодалицу или ласер и слагање да би се формирао 3Д комад.

## **Први радови техника адитивне производње**

Hideo Kodama: Октобар 1980, рад Three-Dimensional Data Display by Automatic Preparation of a Three-Dimensional Model у ком је детаљно изложио свој експеримент - међу првима осмислио приступ очвршћавања помоћу једног ласерског зрака.

Новембар 1981, рад Automatic Method for Fabricating a Three-Dimensional Plastic Model with Photo Hardening  
Описао кључни елемент процеса стереолитографије - три основне технике које је користио за стварање пластичних делова „учвршћивањем танких, узастопних слојева фотополимера“

Charles Hull (суоснивач и главни технички директор компаније **3D Systems Inc.**), август 1984. формално рођење **Аддитивних технологија**. Поднео патент Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography, добијен марта 1986.

Такође препознат да је један од твораца формата датотеке **STL**, који је најчешћи формат штампе.

Carl R. Deckard, **Селективно ласерско синтеровање**, СЛС, технолошки изум Царла Р. Децкарда догодио се 1986. Следеће године, 1987, 3D Systems је испоручио своје прве бета јединице купцима у Северној Америци, непосредно пре него што су финализоване производне јединице започеле испоруку у априлу 1988. То су били прве комерцијалне инсталације система за адитивну производњу икад.

1989 - **EOS GmbH Electro Optical System**, Немачка  
**Electrolux**, Финска - direct metal laser sintering (DMLS)

1989 – Депоновање растопљеног материјала, Fused Deposition Material (FDM)

1991 – Helysys, Обрада ламинирањем, Laminated Object Manufacturing (LOM)

1999 - Objet Geometries, inkjet 3D принтер

...

## АДИТИВНЕ ПРОИЗВОДНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ МАШТА?



**Star Trek (1987)**



**Jurassic Park III (2001)**

**The Fifth Element (1997)**

**Big Bang Theory (2013)**

**Ocean's 8 (2018)**



**Chase Me (2015)**

**Chase Me (2015)**

„**Chase Me**“ је филм израђен помоћу 3D штампе, дело француског дигиталног уметника Жила-Александра Дешоа (*Gilles-Alexandre Deschaud*). Овај кратки филм у потпуности је састављен од делова израђених 3D штампом.

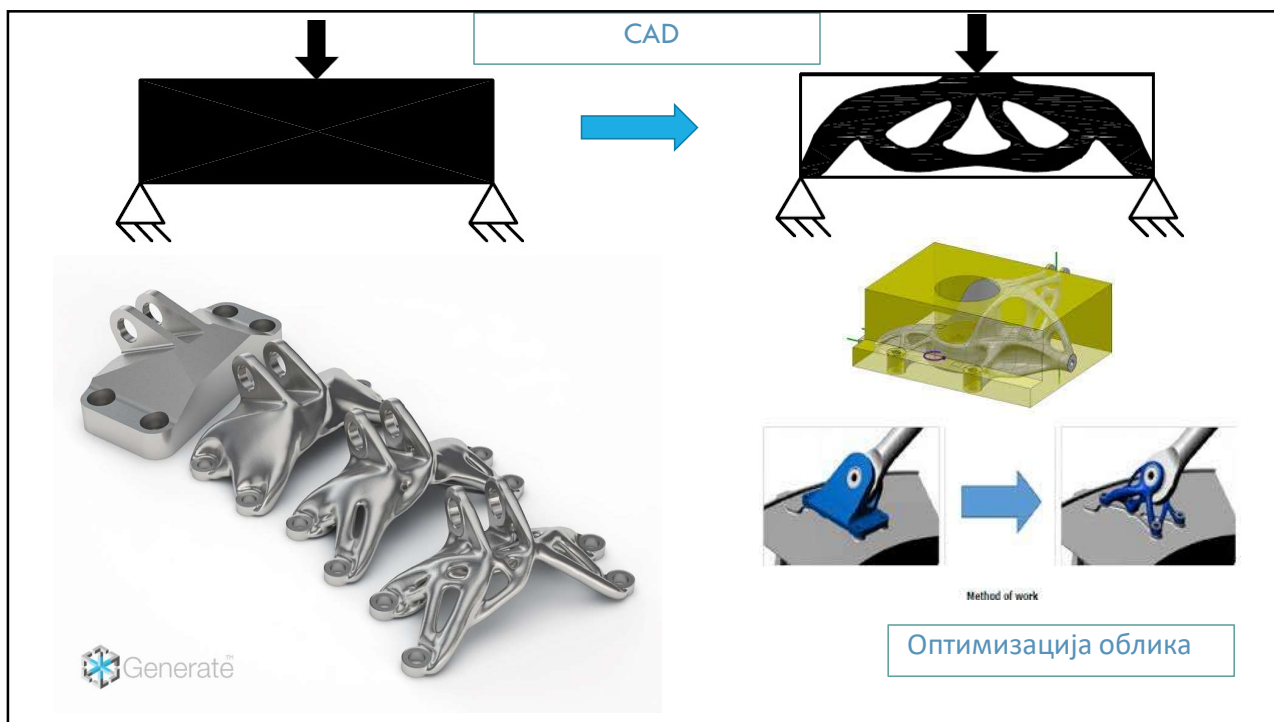
Прича почиње девојцом која свира укулеле док пролази кроз чаробну шуму. Док хода, њена сенка се постепено претвара у чудовиште које почиње да је прогони кроз шумски пејзаж.

Сваки кадар филма уметник је најпре креирао дигитално, коришћењем компјутерске графике, а затим је сваки од њих пренет у физички облик помоћу 3D штампе.

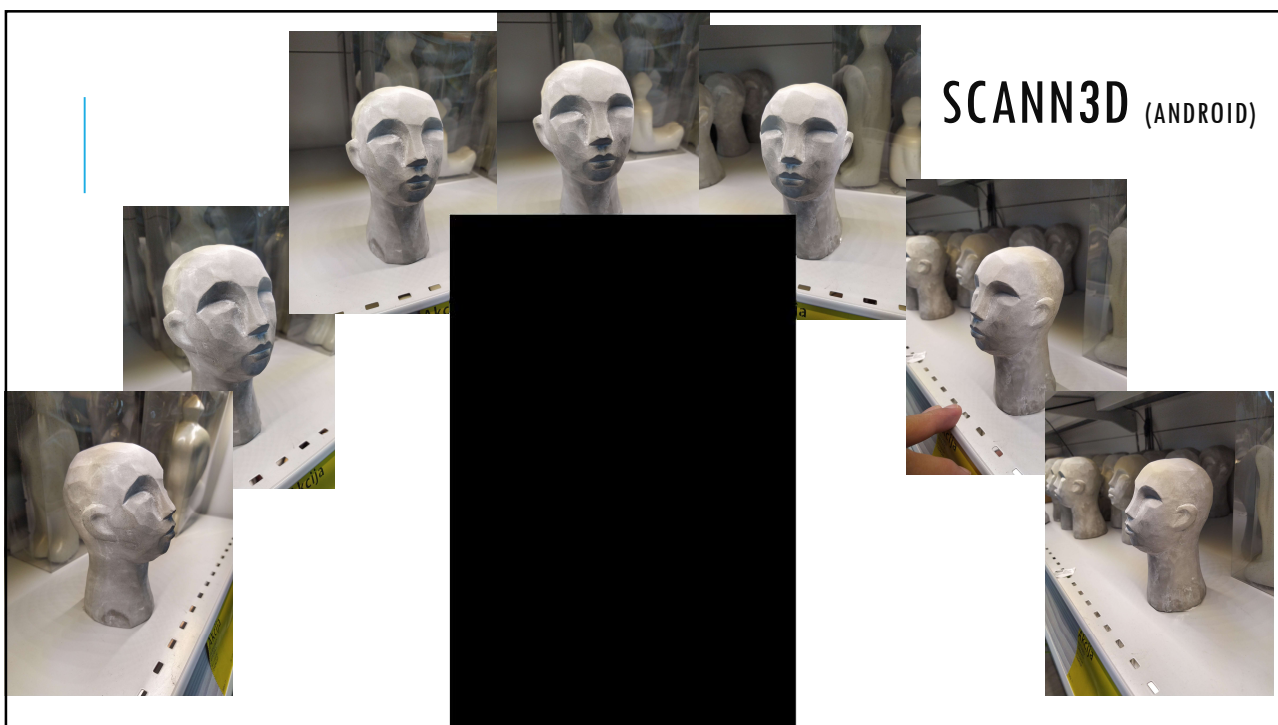
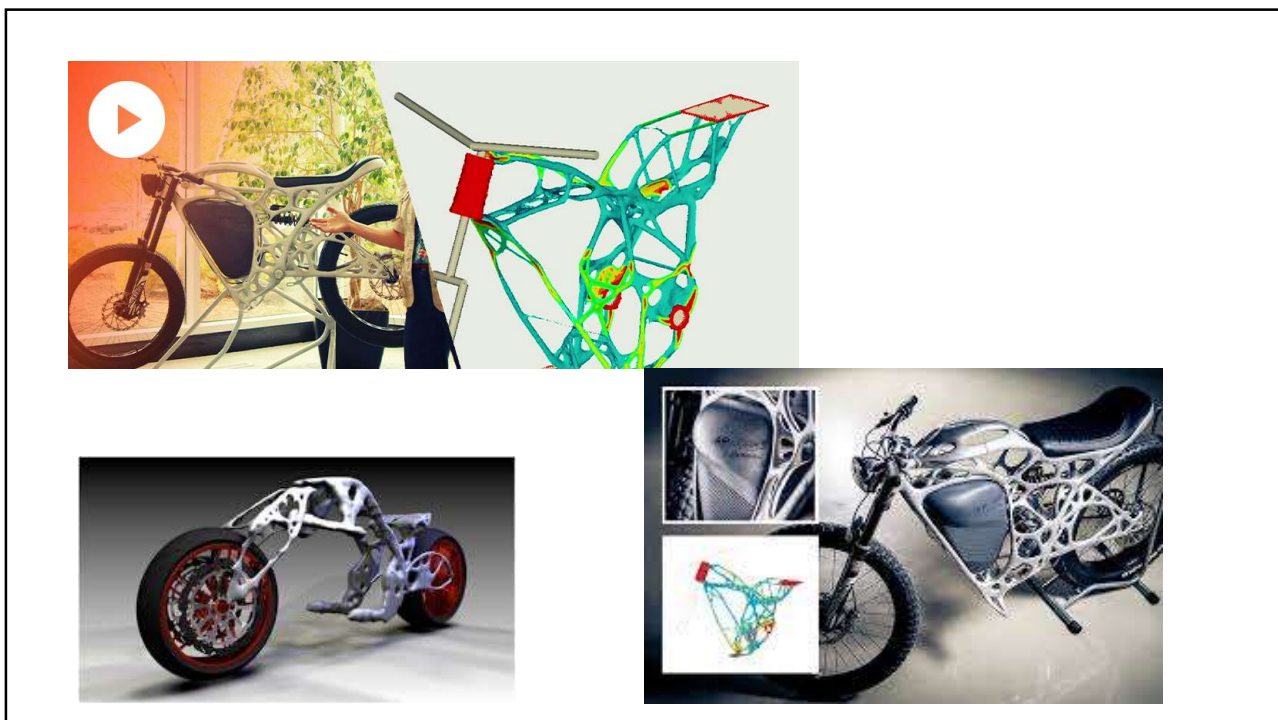




За израду овог кратког анимираног филма било је потребно укупно две године, десет месеци непрекидног 3Д штампања, четири месеца компјутерске анимације и 2.500 3Д штампаних делова. Сцена и ликови су штампани у резолуцији од 100 микрона, а већи делови, попут дрвета у шуми, штампани су у 22 појединачна дела и касније састављени.

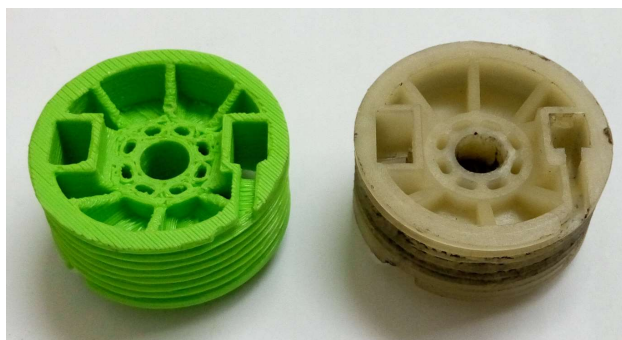


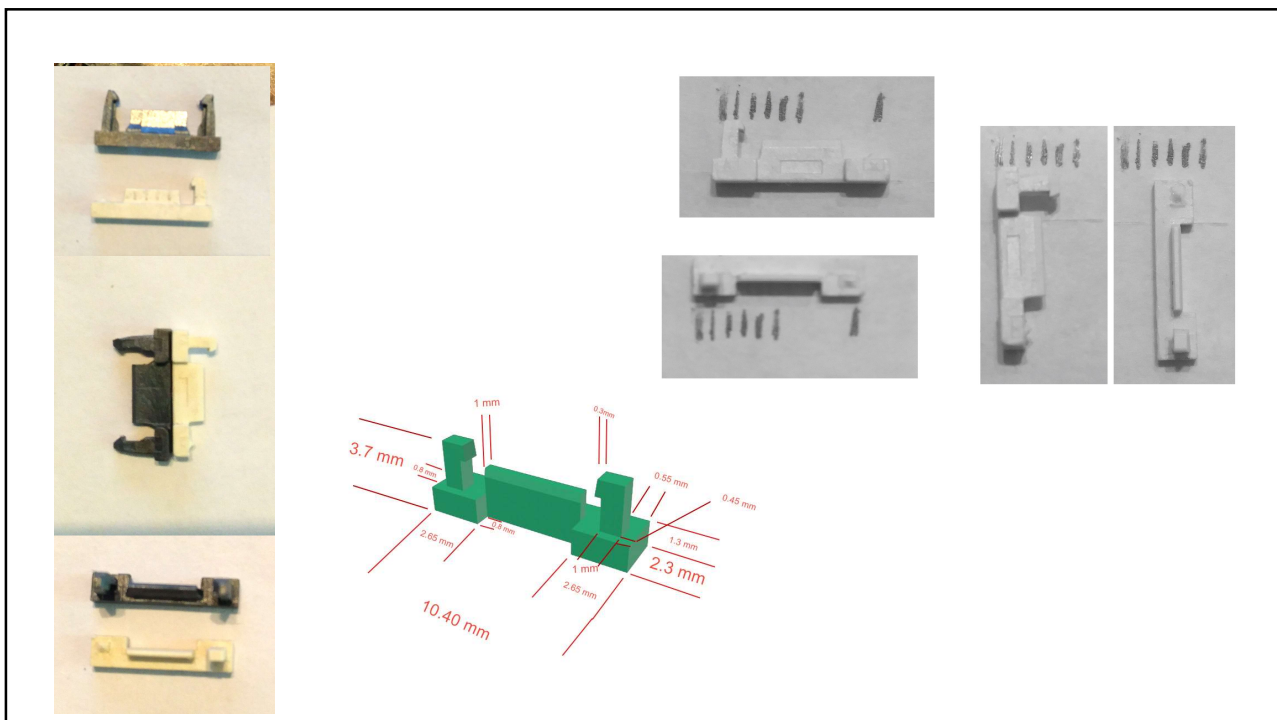
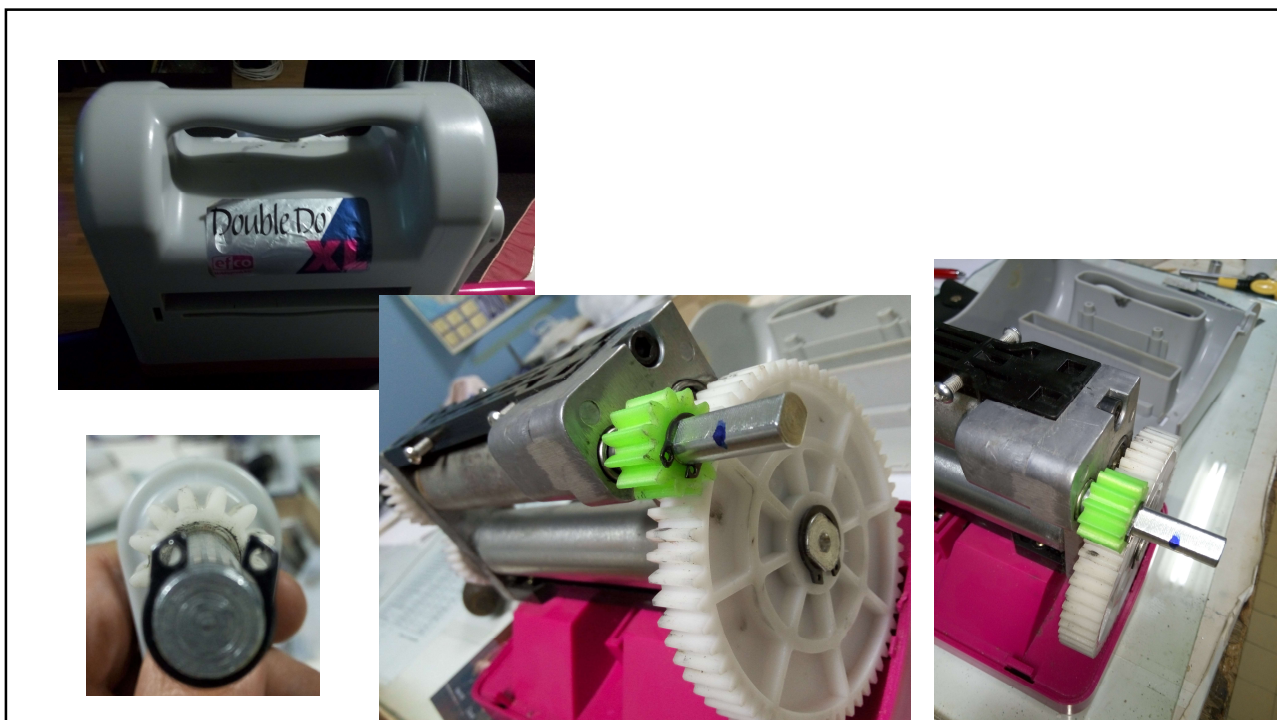




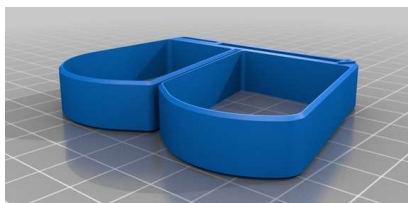
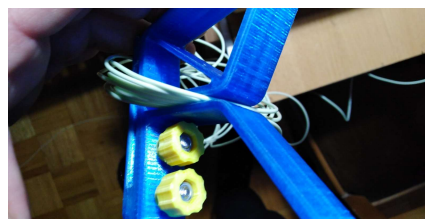


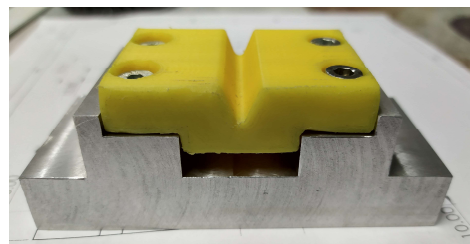
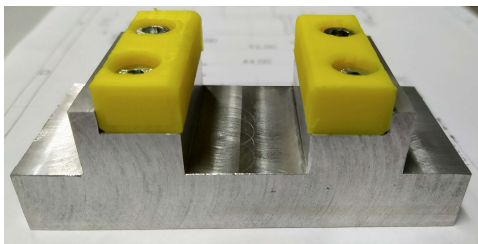
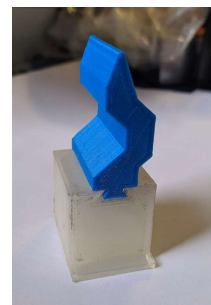
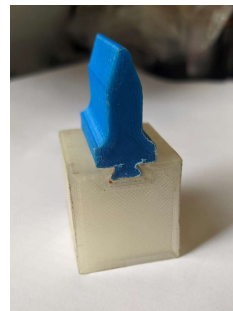
## ПРИМЕРИ ИЗ НАШЕ ПРАКСЕ





## FUNKCIONALNI MODELI

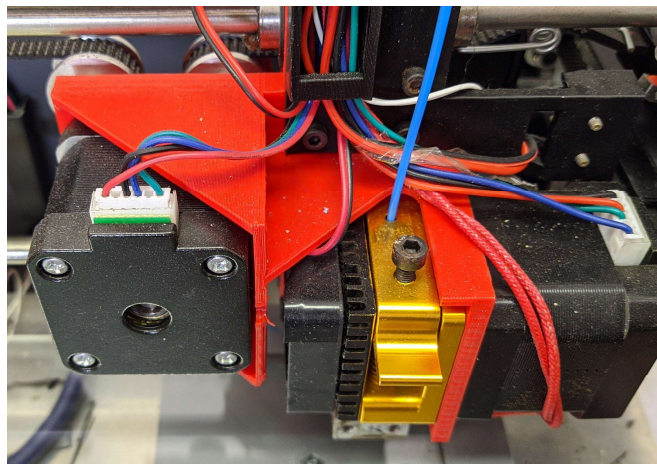
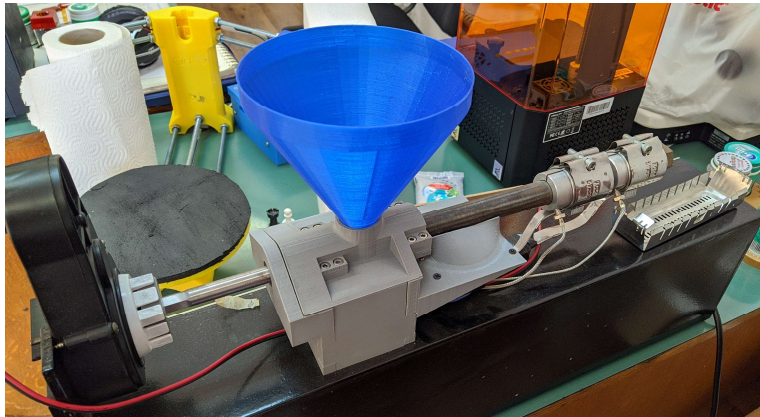
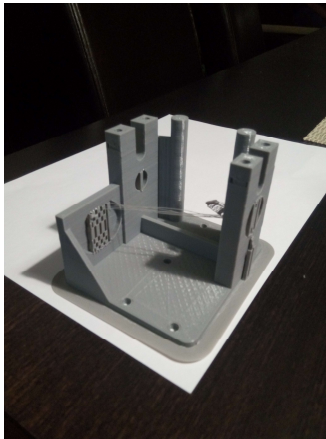












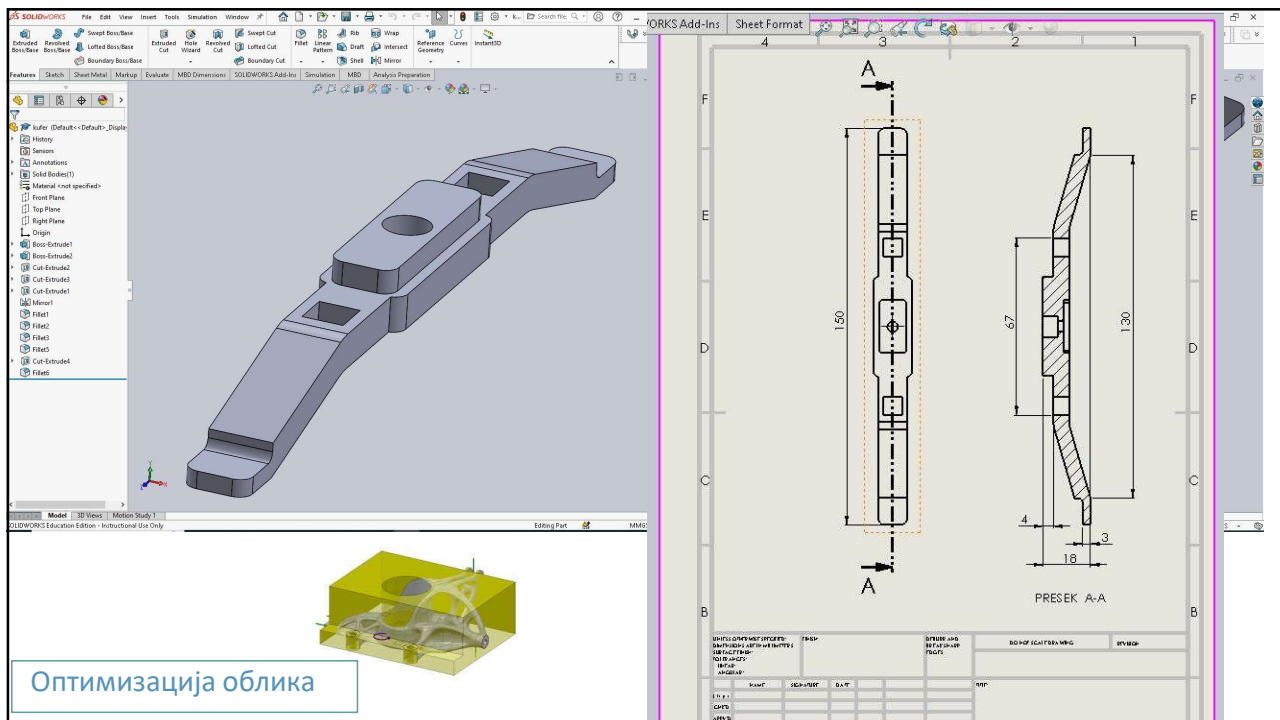








Ручна скица →





## АДИТИВНЕ ПРОИЗВОДНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ

Проф. др Михајло Поповић  
Доц. др Милош Пјевић

[mpopovic@mas.bg.ac.rs](mailto:mpopovic@mas.bg.ac.rs)  
[mpjevic@mas.bg.ac.rs](mailto:mpjevic@mas.bg.ac.rs)

