

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB**

**ZAVRŠNI RAD**

Helena Leko

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB**

Smjer: Dizajn grafičkih proizvoda

**ZAVRŠNI RAD**  
**3D PISAČI**

Mentor:

doc. dr. sc Igor Zjakić

Student:

Helena Leko

Zagreb, 2015.

## **SAŽETAK**

Tema ovog završnog rada su 3D pisači. Trodimenzionalni ispis daje inženjerima razvoja i dizajnerima mogućnost jasnog uvida u tok postupka dizajniranja, mogućnost isticanja raznih parametara, mogućnost lakog i ranog uočavanja mogućih grešaka i njihovog brzog i efikasnog ispravljanja. Koristeći se ovim mogućnostima 3D pisača znatno se skraćuje vrijeme izrade i povećava razina kvaliteta modela i prototipa. Rad će obuhvaćati temu razvoja 3D pisača, njihovu primjenu, sam princip tj. postupak rada 3D pisača, te način na koji polako, ali sigurno zauzimaju svoje mjesto u širokom području djelovanja.

Ključne riječi: 3D pisači, razvoj proizvoda, brza izrada prototipa, materijali

## **ABSTRACT:**

Theme of this final work are 3D printers. Three-dimensional printing gives to engineers of development and designers the possibility to see clearly the process of designing, possibility of highlighting different parameters, possibility of easy and early spotting possible mistakes and their quick and effective correction. Using the possibilities of 3D printers we significantly reduce time of development and increase level of model quality and prototype. Work will cover theme of developing 3D printers, their application, principle, method of operation and the way on which slowly but surely they take their place in broad fields of action.

Key words: 3D printers, product development, rapid prototyping, materials

## SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	1
<b>2</b>	<b>POVIJEST I RAZVOJ 3D PISAČA</b>	2
<b>3</b>	<b>PROCES BRZE IZRADE PROTOTIPA</b>	2
<b>4</b>	<b>CIKLUS BRZE IZRADE PROTOTIPA</b>	3
4.1	Prednosti postupka brze izrade prototipa	4
4.2	Nedostaci postupka brze izrade prototipa	5
<b>5</b>	<b>STL DATOTEKA</b>	5
5.1	Gruba površina	5
5.2	Prečeterano fina površina	6
5.3	Dobra kvaliteta površine	6
<b>6</b>	<b>TEHNIČKE I EKONOMSKE ZNAČAJKE POSTUPAKA</b>	7
6.1	Tehničke značajke	7
6.2	Ekonomske značajke	9
<b>7</b>	<b>POSTUPCI BRZE IZRADE PROTOTIPOVA</b>	9
7.1	Selektivno lasersko sinteriranje (engl. <i>Selective Laser Sintering</i> , kratica: SLS)	9
7.1.1	Prednosti	10
7.1.2	Nedostaci	11
7.2	Direktno lasersko sinteriranje metala (engl. <i>Direct Metal Laser Sintering</i> ,kratica: DMLS)	11
7.2.1	Tipična primjena	12
7.2.2	Prednosti	12
7.2.3	Nedostaci	12
7.3	Modeliranje nanošenjem rastopljenog materijala (engl. <i>Fused Deposition Modeling</i> , kratica: FDM)	13
7.3.1	Tipična primjena	13
7.3.2	Prednosti	14
7.3.3	Nedostaci	14
7.4	Stereolitografija (engl. <i>Stereolithography</i> , kratica: SLA)	14
7.4.1	Tipična primjena	15
7.4.2	Prednosti	15
7.4.3	Nedostaci	15
7.5	Otapanje snopa elektrona (EBM, Electron beam melting)	16
7.5.1	Tipična primjena	16
7.5.2	Prednosti	17
7.5.3	Nedostaci	17
7.6	Laminirana objektna proizvodnja (LOM, Laminated Object Manufacturing)	17
7.6.1	Tipična primjena	18
7.6.2	Prednosti	18
7.6.3	Nedostaci	18
7.7	3D tisak- 3DP	19
7.7.1	Tipična primjena	20
7.7.2	Prednosti	20
7.7.3	Nedostaci	20
7.8	3D tisak mlazom fotopolimera 3DP PJ	20
7.8.1	Tipična primjena	21
7.8.2	Prednosti	21
7.8.3	Nedostaci	22

<b>8</b>	<b>ODABIR MATERIJALA ZA POSUPKE BRZE IZRADE PROTOTIPOVA</b>	22
8.1	Materijali koji se koriste u procesu selektivnog laserskog sinteriranja	23
8.2	Materijali koji se koriste u procesu direktnog laserskog sinteriranja metala DMLS	23
8.3	Materijali koji se koriste u procesu modeliranja nanošenjem rastopljenog materijala FDM	23
8.4	Materijali koji se koriste u procesu stereolitografije	23
8.5	Materijali koji se koriste u procesu otapanjem snopa elektrona EBM	23
8.6	Materijali koji se koriste u procesu laminirane objektne proizvodnje LOM	23
8.7	Materijali koji se koriste u procesu 3DP PJ	24
<b>9</b>	<b>PRIMJENA I PODRUČJA PRIMJENE</b>	24
<b>10</b>	<b>ZAKLJUČAK</b>	26
<b>11</b>	<b>LITERATURA</b>	27

## 1 UVOD

Svaka želja ili potreba za novim proizvodom započinje idejom. Ideja, da bi se pretvorila u krajnji proizvod mora proći kroz nekoliko faza od razrade koncepta, dizajna, izrade tehničke dokumentacije preko izrade prototipa, testiranja prototipa, izmjena nedostataka i ispravljanje grešaka, odabira proizvodne tehnologije te na kraju izrada proizvoda. Reduciranje potrebnog vremena za realizaciju od ideje o proizvodu do konačne proizvodnje, a samim time i reduciranje troškova, jedan je od važnijih faktora kako bi se moglo efikasno reagirati na zahtjeve tržišta i konkurirati na tržištu. Trodimenzionalni ispis je metoda pretvaranja virtualnog 3D modela u fizički objekt. 3D pisac dizajniran je kako bi proizvodio izlaz s tri dimenzije, uz korištenje različitih slojeva materijala [10]. 3D pisac za brzu izradu prototipova danas se koristi u različitim aplikacijama, a posebno u području dizajniranja, medicine i inženjeringa. Termin rapid prototyping označava čitavu klasu tehnologija kojima je moguće direktno iz digitalne dvodimenzionalne reprezentacije nekog objekta ili modela napravljenog u CAD (Computer Aided Design) alatima stvoriti njegovu fizičku reprezentaciju. Omogućuje detaljnije analize projekta u ranijoj fazi razvoja proizvoda, više stupnjeva korekcije u istom vremenskom periodu i zadanom roku te, poboljšava ukupnu kvalitetu gotovog proizvoda. Uključuje više različitih metoda izrade modela: Stereolitografija (SLA), Selective Laser Sintering, (SLS), Laminated Object Manufacturing (LOM), Fused Deposition Modeling (FDM), Election Beam Melting (EBM), 3D Printing (3DP). Sve ove tehnologije imaju zajednički princip rada: uzimaju geometriju modela iz CAD datoteka, model softverski predočuju nizom slojeva, šalju printeru informacije za ispis, a printer umjesto tintom ispisuje slojeve materijala, potpore i veziva - sloj po sloj, sve do finalnog modela. Materijal kojim se gradi model može biti: tekućina, vlakna, puder, prah ili čak metalni materijal koji se očvrstne kemijskim reakcijama, UV svjetlom ili nekim drugim metodama.

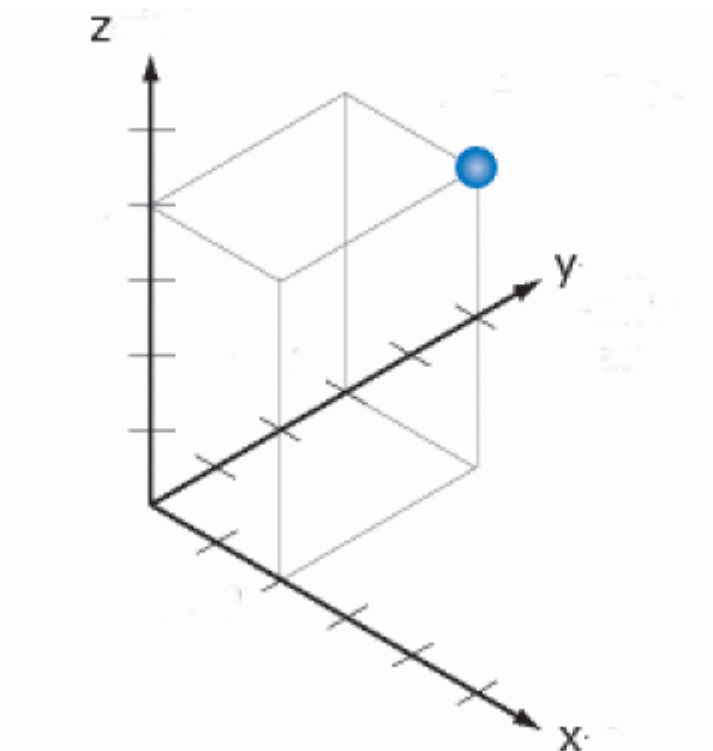
## 2 POVIJEST I RAZVOJ 3D PISAČA

Najranija uporaba proizvodnji aditiva je tijekom kasnih 1980-ih i ranih 1990-ih. Uzevši u obzir da je prvi 3D pisač jednobojni proizveden 1988.god., a prvi 3D pisač u boji 2000.god. zaključujemo da je tematika 3D ispisa relativno mlada. 3D pisač postoji od 1986.godine, no u to vrijeme njegova proizvodnja bila je skuplja nego danas, a i bio je prilično ograničen u tome što može proizvesti. Kasnih 1980-ih su se počeli koristiti termini *Rapid Manufacturing*, zatim *Additive manufacturing* ili *stereolitografija*, da bi se nakon nekoliko godina u upotrebu uveo pojam 3D printanje. Na važnosti dobiva tek 1990. godine kada je već u nekoj mjeri prošao kroz fazu prilagodbe tržištu. Licencirao ga je MIT (engl. *Massachusetts Institute of Technology*) u SAD-u, a tvrtka se zove 3D Systems [14]. U početku je bio popularan samo u inženjerstvu, arhitekturi i industriji. Primjena postupaka za izradu 3D modela raste iz dana u dan i prisutna je u svim industrijskim granama. Neki od podataka koji tome svjedoče su: 1993. je bilo 80 tvrtki koje su pružale usluge izrade modela, a krajem 2001. godine taj se broj popeo na 397. Skoro svako veće poduzeće si ga u današnjici može priuštiti. 1993. proizvođači su prodali 157 jedinica za izradu modela, dok se u 2003. taj broj popeo na 14.000 [2].

Tehnologija se i dalje razvija na razne načine. Procesu su sve brži, materijali i oprema su jeftiniji, a sve više se koriste materijali poput metala i keramike. Strojevi za tisak sada su u rasponu od veličine malog automobila do veličine mikrovalne pećnice.

## 3 PROCES BRZE IZRADE PROTOTIPA

Brza izrada prototipa označava tehnologije kojima je moguće direktno iz digitalnog prikaza prostornog ili trodimenzionalnog (3D) modela, napravljenog u nekom od CAD alata, stvoriti njegovu fizičku reprezentaciju i posve funkcionalan i relativno kompleksan radni prototip. RP uređaji grade model, za razliku od CAM (engl. *Computer Aided Manufacturing*) tehnologija koje geometriju realiziraju uklanjanjem materijala. Gradnja modela bazira se na digitalno rezanim slojevima modela koji se u fizičkom prostoru sloj po sloj lijepe u finalni oblik. Prednost gradnje u slojevima je izrada kompleksnih oblika koje je klasičnim metodama gotovo nemoguće izraditi. Moguće je izgraditi komplicirane strukture unutar modela i tanke stjenke. Sve RP tehnologije (aditivnim metodama) izgrađuju model tako da nanose sloj po sloj materijala u obliku poprečnih presjeka modela u x-y ravnini po z osi [17].

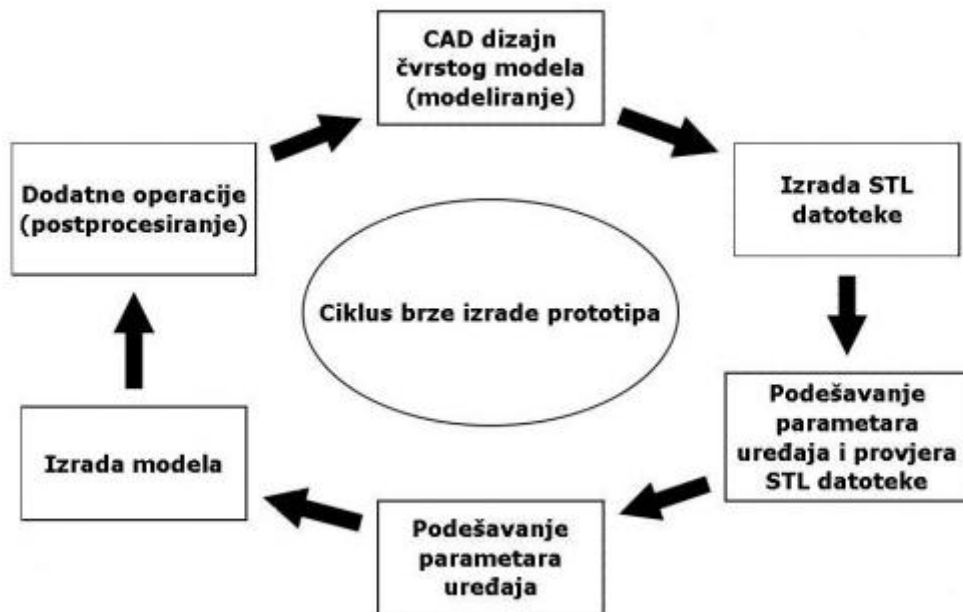


*Slika 3.1 x,y ravnina i z os*

#### **4 CIKLUS BRZE IZRADE PROTOTIPA**

Da bi se izradio prototip prethodno je potrebno proći kroz proces dizajna. Potreba za određenim proizvodom, koji može biti nov ili poboljšan stari, mora započeti konceptom. Nakon toga izrađuje se preliminarni dizajn u obliku skice, tehničkog crteža ili CAD čvrstog modela. U ovom dijelu procesa mogu se vršiti preliminarna ispitivanja pomoću računala, kao što su analiza napreznja ili sukladnost objekata u sklopu. Nakon toga slijedi izrada prototipa pomoću kojeg se verificira oblik, dimenzije, točnost, sukladnost ili se koristi za testiranje mehaničkih svojstava. Sve greške i mane koje se detektiraju na prototipu ispravljaju se u CAD datoteci i proces izgradnje novog prototipa se ponavlja. Ciklus izrade prototipa definiran je shematskim prikazom na slici 4.1.





*Slika 4.1 Ciklus brze izrade prototipa*

Nakon izrade čvrstog modela u CAD alatu, model je potrebno eksportirati u STL datoteku kako bi se takva datoteka pripremila za različite tipove RP sustava. Neki sustavi mogu prihvatiti STL datoteku direktno u interni program uređaja gdje se datoteka doručuje, tj. priprema za proces izgradnje fizičkog modela. Na tržištu postoje aplikacije za pripremu različitih CAD formata u STL datoteku, te aplikacije služe za analizu, popravljavanje i optimizaciju 3D modela, rezanje modela na slojeve, pozicioniranje i orijentaciju modela u komori i postavljanje potporne konstrukcije. Nakon što je STL datoteka importirana u uređaj podešavaju se parametri uređaja.

#### 4.1 Prednosti postupka brze izrade prototipa

- Skraćenje vremena razvoja proizvoda i sniženje troškova
- Skraćenje vremena dolaska proizvoda na tržište
- Omogućena dobra komunikacija između funkcija marketinga, inženjerstva, proizvodnje i prodaje
- Primjena fizičkih prototipova za analizu kritičnih elemenata konstrukcije
- Testiranje funkcijskih prototipova prije izrade alata za izradu proizvoda
- Precizno definiranje potrebnih alata za izradu proizvoda

## 4.2 Nedostaci postupka brze izrade prototipa

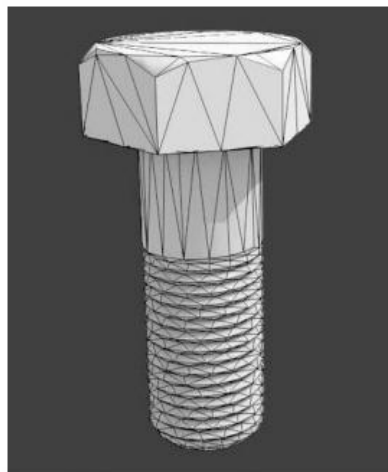
- Ograničen izbor materijala
- Kvaliteta površine
- RP/RM neekonomičan kod velikih serija
- Ograničene dimenzije modela
- Nedostatak kompleksnosti dizajna koji bi RP činilo konkurentnim

## 5 STL DATOTEKA

STL datoteka je postala standardni format za prijenos podataka koje koriste RP uređaji. STL format osmislila je, 1989. godine, tvrtka 3D Systems. STL datoteka je prikaz geometrije trodimenzionalnih površina u obliku trokuta, odnosno, mreža rokuta koja okružuje (omeđuje) CAD model. Površina modela je logički razbijena u seriju malih trokuta, tzv. lica (engl. Faces), koji imaju svoj smjer i orijentaciju i opisani su trima točkama u prostoru [1]. Datoteka u tom obliku koristi se za izrezivanje modela na slojeve horizontalnih poprečnih presjeka (engl. Layers). Priprema STL datoteke, odnosno prikaz modela u mrežnom obliku (engl. Mesh), mora biti optimalna za izradu modela, tj. mreža koja je izgrađena od tzv. lica, mora biti toliko gusta da zadovolji traženu kvalitetu površine i prikaz detalja. Ime STL dobiva na temelju procesa Stereolitografije, a spominje se i kao skraćenica od Standard Triangulation Language [20].

### 5.1 Gruba površina

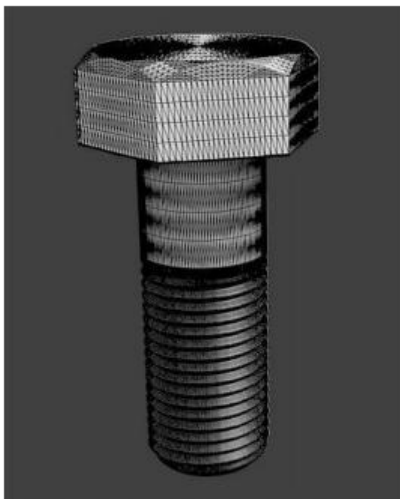
Slika 5.1 prikazuje model koji ima mrežu male gustoće koja površinu slobodnih formi modela čini neravnom. Linije i površine su stepenaste i ne zadovoljavaju željeni prikaz obliha, kružnih površina, površina slobodnih formi i detalja malih dimenzija.



*Slika 5.1 Mreža male gustoće*

## 5.2 Pretjerano fina površina

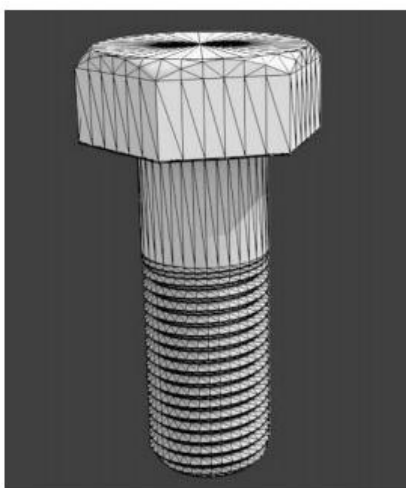
Slika 5.2 prikazuje model koji ima pretjerano gustu mrežu koja definira površinu modela odlične kvalitete i prikaz sitnih detalja. Mreža takve gustoće je nepotrebna i problematična jer opterećuje i usporava računalo pri izračunu geometrije modela, a time se povećava vrijeme pripreme i mogućnost pogreške kod izračuna.



*Slika 5.2 Mreža velike gustoće*

## 5.3 Dobra kvaliteta površine

Slika 5.3 prikazuje optimalni odabir gustoće mreže. Model izrađen iz ovakvog prikaza ima dobru kvalitetu površina i geometrije. Postavke za optimalnu kvalitetu ovise o specifičnom modelu i CAD paketu koji se koristi. Takve postavke ovise o slobodnoj procjeni dizajnera.



*Slika 5.3 Mreža optimalne gustoće*

## 6 TEHNIČKE I EKONOMSKE ZNAČAJKE POSTUPAKA

Izrada prototipova na nekoj od ponuđenih tehnologija ovisi o tehničkim zahtjevima specifične grane u industriji. Pri odabiru metode brze izrade prototipova najvažnije je da tip izrađenog modela opravdava investiciju. Kako bi izrađeni model opravdao investiciju, pri odabiru metode uzima se u kalkulaciju točnost i svojstva modela, te vrijeme i troškovi izrade.

### 6.1. Tehničke značajke

Svaka od metoda brze izrade prototipa može se klasificirati prema točnosti i kvaliteti izrade, koje model ili prototip zadovoljava ili zahtijeva. Točnost i kvaliteta izrade opisani su u tri razine: oblik, sukladnost u sklopu i funkcionalnost.

Prva razina je razina oblika, koja definira sposobnost modela da prikaže izgled, veličinu i odnos površina. Model koji zadovoljava oblik ima sposobnost da prezentira geometriju i odnos površina. U tom slučaju model ne mora imati mehaničke karakteristike i točnost izrade originalnog komada [19].

Druga razina modela je razina sukladnosti dijela u sklopu. Ovdje je potrebna određena točnost koju model mora imati kako bi se izvršila kontrola dimenzija i testiranje tolerancija položaja u nekom sklopu. Ni u ovom slučaju nisu potrebne mehaničke karakteristike originalnog komada.

Funkcionalna razina obuhvaća mehaničke karakteristike originalnog dijela i točnost geometrije i dimenzija. Na funkcionalnim prototipovima vrše se mehanička ispitivanja i ispitivanja funkcioniranja dijelova u sklopu. Iako se takva ispitivanja mogu vršiti postupkom konačnih elemenata (engl. Finite Element Method – FEM) ponekad je potrebno izraditi funkcionalan model kojim se dobivaju usporedni podaci za eventualnu daljnju izmjenu dizajna ili materijala. Kod ove razine najčešće su prepreke ograničenja materijala [19].

Brza izrada prototipova aditivnim metodama je postupak koji omogućava kratko vrijeme izrade modela uz relativno niske troškove. Odabrati odgovarajuću tehnologiju je izazov, obzirom da još uvijek nisu postavljeni standardi. Da bi se odabrala odgovarajuća metoda za određenu primjenu potrebno je uzeti u obzir prednosti i ograničenja pojedinačne metode. Kriteriji po kojima se vrši evaluacija tehnologije podijeljeni su u nekoliko kategorija;

#### 1. Ekonomija:

- Troškovi tehnologije, tj. uređaja (izbjegavati skupu tehnologiju kao što je laser ili zraka elektrona)

- Dodatni troškovi (periferni uređaji, oprema za naknadnu obradu, troškovi održavanja)
- Troškovi materijala
- Mogućnost reciklaže materijala

## 2. Vrijeme:

- Omjer depozita (položena količina materijala u jedinici vremena)
- Vrijeme ciklusa (ukupno vrijeme potrebno za izradu modela - fokus na naknadnu obradu)

## 3. Performanse:

- Poželjna izrada elemenata malih dimenzija
- Izrada potporne konstrukcije malih dimenzija
- Sposobnost izrade kompleksnih geometrija
- Sposobnost izrade ćelija malih dimenzija
- Izrada više komada u jednom ciklusu
- Izrada modela velikih dimenzija (veličina komore)
- Kvaliteta površine

## 4. Materijali:

- Kvaliteta materijala odabrane tehnologije
- Veći izbor korištenih materijala
- Što manje stezanje pri otvrdnjavanju
- Materijali svojstava sličnih standardima
- Izotropna svojstva materijala gotovih komada
- Jednostavno skidanje potpornih konstrukcija
- Mogućnost uvođenja novih materijala

## 5. Operacije:

- Minimalni čovjekov utjecaj
- Jednostavnost upravljanja
- Minimalni broj dodatnih operacija

## 6. Ostalo:

- Štetnost za zdravlje i okoliš
- Niski postotak otpada
- Reciklaža
- Potreba za skladišnim prostorom (skladištenje opasnih tvari)

## 6.2 Ekonomske značajke

Iako tehnologija brze izrade prototipova omogućava značajno smanjenje vremena i troškova razvoja i izrade modela, potrebno je znati trošak samog prototipa. Treba napomenuti da svaka metoda iziskuje uključivanje specifičnih podataka u proračunu troška izrade prototipa. Zato kod odabira metode treba odabrati onu koja zadovoljava potrebnu točnost, geometriju i mehanička svojstva modela uz minimalne troškove izrade.

Tablica 6.2. predstavlja primjer za usporedbu troškova izrade specifičnog modela, izrađenog različitim metodama. Izračun je napravljen za model volumena 1638,7 cm<sup>3</sup> [19].

Proces brze izrade prototipa	SL	SLS	3DP	FDM	LOM
Brzina izrade, cm <sup>3</sup> /h	65,48	65,48	409,67	98,32	163,87
Cijena radnog sata, €/h	21	21	3,5	7	7
Cijena materijala, €/cm <sup>3</sup>	0,17	0,17	0,042	0,085	0,0085
Vrijeme naknadne obrade, h	4	1	0,25	1	5
Cijena naknadne obrade, €/h	14	14	14	14	14
Cijena modela, €	861	819	875	270,2	154

Tablica 6.2. Usporedba troškova izrade

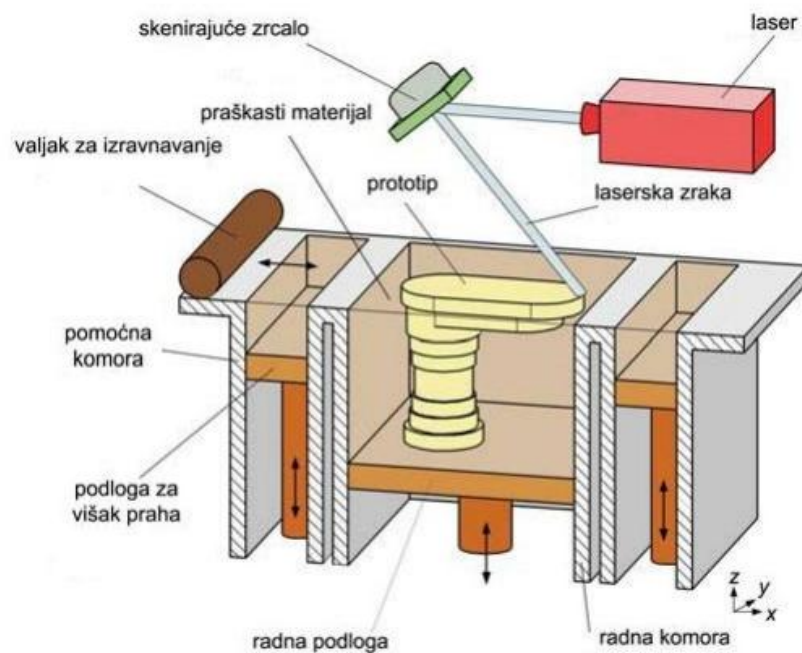
## 7 POSTUPCI BRZE IZRADA PROTOTIPOVA

Na tržištu je dostupan velik broj konkurentnih tehnologija, tako i više vrsta 3D printera. Glavna razlika između tih vrsta printera je u načinu na koji se dobivaju slojevi i kreiraju dijelovi strukture koju želimo dobiti. Neki od njih omekšavaju materijale kako bi dobili slojeve, drugi slažu tekuće termosetove koji se očvršćuju na različite načine, dok treći režu tanke slojeve materijala i zatim ih spajaju zajedno.

### 7.1 Selektivno lasersko sinteriranje (engl. *Selective Laser Sintering*, kratica: SLS)

SLS je proces trodimenzionalnog printanja na bazi tehnologije sinteriranja, a komercijaliziran je proizvodima tvrtke 3D Systems. Laserska zraka CO<sub>2</sub> solid-state lasera usmjerava se na materijal (u obliku finog praška) koji se uslijed visoke temperature kojoj je izložen sinterira, to znači da se pod visokom temperaturom između čestica praha povećava adhezija, tako da se prah grupira u veću krutinu točno određenog oblika. Fizikalne karakteristike produkata stvorenih sinteriranjem mogu se lako

mijenjati promjenom gustoće, stvaranjem legura ili daljnjim pečenjem, a finalni proizvod može biti i mnogo čvršći nego onaj napravljen konvencionalnim metodama [13]. SLS tehnologija se u 3D printerima također izvodi u slojevima (koji mogu biti tanki i do nekoliko tisućinki milimetra), a prah materijala se pomoću rotirajućeg cilindra doprema u komoru za modeliranje. Sav višak praha koji izlazi van gabarita modela ujedno služi i kao potporna konstrukcija pa nema potrebe za dodatnim potpornim materijalima i strukturama kao kod SLS i FDM tehnologija. SLS tehnologija se, ovisno o izboru materijala, može smatrati rapid tooling ili rapid manufacturing tehnologijom, budući da je njome moguće napraviti ne samo prototipove, već i posve funkcionalne finalne proizvode koje krase iznimno velika stabilnost, čvrstoća i trajnost. Većina proizvedenih modela je spremna za uporabu nakon minimalne obrade i čišćenja, bez potrebe za dodatnim "pečenjem" [15]. Proces koji uključuje SLS tehnologiju ima vjerojatno najveći raspon dostupnih materijala, budući da se mnoštvo metala može sinterirati. Ovo je osobito točno za čiste metale proizvedene u izoliranim i sterilnim uvjetima, no i mnogi nemetali su pogodni za sinteriranje, poput stakla ili različitih organskih polimera.



*Slika 7.1 Princip SLS postupka*

### 7.1.1 Prednosti

- dijelovi boljih mehaničkih svojstava od onih izgrađenih stereolitografijom
- SLS dijelovi mogu se koristiti za funkcionalna ispitivanja
- postupak SLS brži je od stereolitografije

- moguća primjena većeg broja materijala
- nije potreban potporanj jer višak praha podupire prototip
- neuporabljeni prah može se iskoristiti za slijedeći prototip
- bolja obradivost izrađenih dijelova u odnosu na stereolitografske dijelove

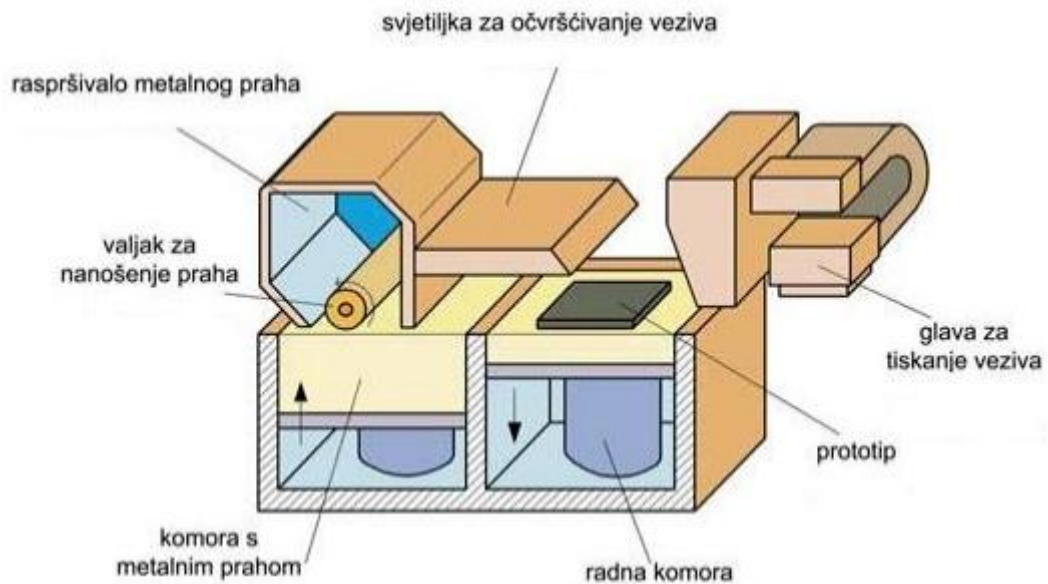
### 7.1.2 Nedostaci

- lošija kvaliteta površine u odnosu na stereolitografske dijelove
- pri korištenju nekih materijala potrebna je zaštitna atmosfera radi pojave otrovnih plinova tijekom srašćivanja
- potrebe za perifernim uređajima za čišćenje proizvoda (engl. Break Out Station)
- za potrebe brze izrade alata potrebna je Hydrogen Lindbergh-ova peć, koja služi za stvrdnjavanje i infiltraciju metalnih čestica, što zahtijeva dodatno sigurnosno skladištenje radnih plinova
- sustav zauzima veliku radnu površinu

### 7.2 Direktno lasersko sinteriranje metala (engl. *Direct Metal Laser Sintering*, kratica: DMLS)

Kod ove metode, metalni puder se topi i kreira se struktura pune gustoće. Oblici se izrađuju sloj po sloj pa je moguće izraditi unutrašnje oblike, šupljine i prelaze koji ne bi mogli biti izliveni ili izrađeni na drugi način. Korisna je za izradu kanala za hlađenje u automobilima, za izradu medicinskih implantata koji se prilagođavaju svakom korisniku. Ovom metodom se izgrađuju modeli sa najkompleksnijom geometrijom. Modeli imaju visoku rezoluciju, i uveliko su kvalitetni. Ova metoda dozvoljava slobodu konstruiranja i efikasnija konstrukcijska rješenja u tehničkim aplikacijama. DMLS ima još prednosti u odnosu na tradicionalne tehnike proizvodnje; kraće vrijeme izrade gdje nisu potrebni nikakvi dodatni alati, izrada više različitih struktura istovremeno i mogućnost izrade struktura od različitih legura, zbog čega se naziva tehnologijom koja štedi vrijeme i novac. Neki modeli se mogu odraditi za par sati, a neki do sada neizvodivi modeli se mogu upravo kreirati ovom metodom [16].





*Slika 7.2 Princip DMLS postupka*

### 7.2.1 Tipična primjena

Pomoću R-1 uređaja mogu se izraditi kompleksni oblici koji se koriste kao kalupi za injekcijsko prešanje matrice za ekstrudiranje, prototipni komadi za ograničena ispitivanja, kalupi za ekstruzijsko puhanje. Uređaj za izradu kalupa i jezgri od silicij pijeska (S-Print) koristi se u autoindustriji za proizvodnju V-8 bloka motora. U svijetu se koristi 30 takvih uređaja različitih namjena.

### 7.2.2 Prednosti

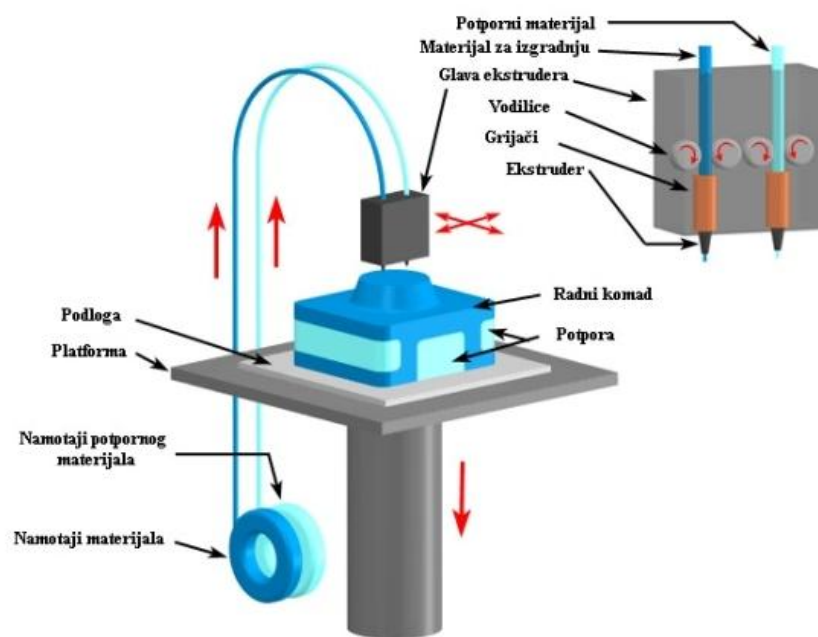
- Direktna proizvodnja funkcionalnih metalnih dijelova
- Izrada alata
- Izrada dijelova kompleksnih površina
- Brzina izrade
- Radni volumen

### 7.2.3 Nedostaci

- Naknadna obrada (mogućnost oštećenja manualnim radom)
- Cijena uređaja i materijala
- Gruba površina

### 7.3 Modeliranje nanošenjem rastopljenog materijala (engl. *Fused Deposition Modeling*, kratica: FDM)

Ta se tehnologija zasniva na izradi pomoću čvrstih materijala na principu ekstruzije kroz mlaznicu. U osnovi, plastično vlakno konstantno se dobavlja kroz mlaznicu maloga promjera. Mlaznica je zagrijana te se dobavljeni materijal topi i nanosi u slojevima. Tijekom nanošenja materijala mlaznica se giba u X-Y ravnini ravnomjerno istiskujući materijal. Nakon završetka nanošenja jednog sloja, radni stol vrši posmak po Z-osi te započinje nanošenje idućeg sloja. Prema širini nanesenog sloja u horizontalnoj ravnini varira i kreće se oko 0,25mm [15]. FDM omogućava izradu funkcionalnih dijelova materijalima istog ili približno istog sastava u svrhu daljnjeg ispitivanja. Posebno se ističe uporaba ABS-plastike kojom je moguće postići gotovo identičnu čvrstoću u odnosu na gotov proizvod. S obzirom na to da se dobava materijala vrši kroz mlaznicu i izravno se nanosi na prethodno očvršćeni sloj, mala je količina neiskorištenog materijala. Osnovni materijali koji se koriste u ovome procesu su razne vrste polimera ili voska.



Slika 7.3 Princip FDM postupka

#### 7.3.1 Tipična primjena

Koncept dizajn (vizualizacija), direktna upotreba, investicijsko lijevanje, medicina – kirurška rekonstrukcija, elastične komponente.

### 7.3.2 Prednosti

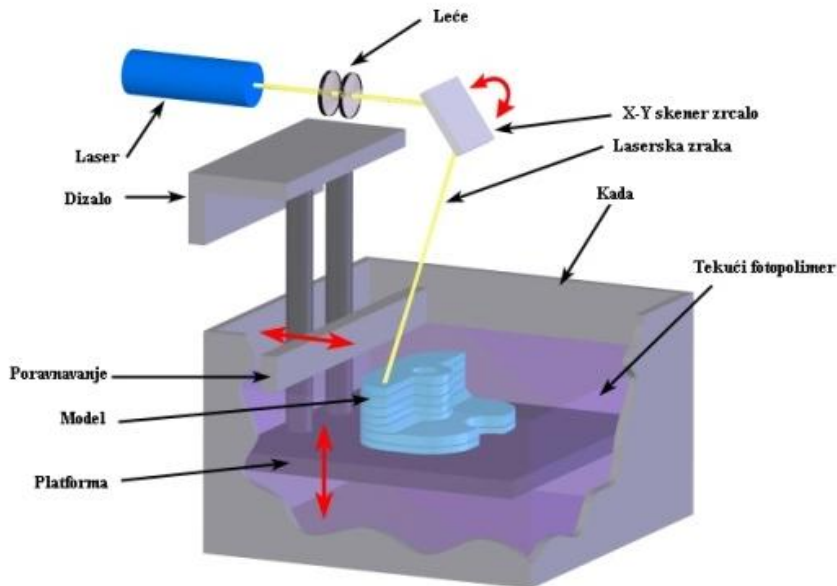
- Manja potrošnja energije
- Ne koristi se laserski snop
- Nema posebnih zahtjeva za ventilacijom i hlađenjem
- Jednostavna primjena
- Relativno mala investicija u uređaj, niski troškovi održavanja
- Mogućnost izrade više prototipova u jednom ciklusu
- Zanemarivo rasipanje materijala
- Postojanost oblika

### 7.3.3 Nedostaci

- Funkcionalnost prototipova ograničena je izborom materijala
- Ograničen broj primjenjivih materijala
- Nužnost primjene potporne konstrukcije
- Niža čvrstoća prototipa u smjeru okomitom na smjer izrade
- Cijena materijala
- Oscilacije temperature tijekom izrade mogu uzrokovati raslojavanje prototipa

### 7.4 Stereolitografija (engl. *Stereolithography*, kratica: SLA)

SLA ili stereolitografija, jedna je od najraširenijih metoda rapid prototypinga, a ujedno je bila prva komercijalno dostupna rapid prototyping tehnologija u svijetu [3]. Uređaji koji koriste ovu tehnologiju sastoje se od četiri osnovna dijela: računala koje obrađuje podatke i kreira slojeve, kontrolnog računala koje nadzire proces, prostorije u kojoj se modeliranje obavlja, te laserske jedinice. Računalo za kreiranje slojeva čita CAD model i kreira slojeve koje kontrolno računalo pomoću laserske jedinice i hardvera samog printera nanosi na potporni sloj. Materijal koji se koristi za izradu prototipa jest polimerna tekućina koja se polijeva po potpornoj konstrukciji u tankom sloju. Budući da ova tekućina ima svojstvo da se pod UV zračenjem laserske jedinice pretvara u krutinu, tekućina se vrlo brzo pretvori u čvrstu tvar, gdje god laser osvjetli polimer [13]. Nakon što je čitav sloj dovršen, praznine se nadopunjuju potpornim materijalom, čitav sloj spušta se niže po vertikalnoj osi pisača i sljedeći sloj se nanosi na prethodni (zbog adhezivnih svojstava materijala, slojevi se odmah spajaju i nakon nekoga vremena formiraju gotov trodimenzionalni objekt). Prednosti stereolitografije su da ima visoku rezoluciju, moguća izrada dvobojnih prototipova, nema geometrijskih ograničenja oblika, automatiziranost procesa. Postoji i nekoliko nedostataka od kojih je da se samo fotopolimerni materijali mogu koristiti, prototip je slabijih mehaničkih svojstva, prototip je potrebno peći, fotopolimer je otrovan u tekućem stanju.



*Slika 7.4 Princip SLA postupka*

#### 7.4.1 Tipična primjena

Koristi se u različitim granama industrije gdje su potrebni modeli za testiranje oblika i pozicioniranje, izradu kalupa, za brzu izradu alata, izradu kopča i aplikacija otpornih na toplinu.

#### 7.4.2 Prednosti

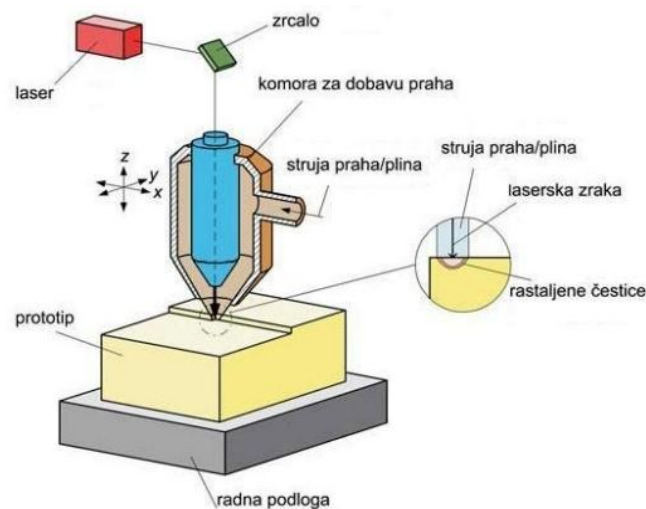
- precizna izrada
- kvaliteta površine
- brzina izrade
- nema sustava za dobavu materijala
- stabilnost dimenzija

#### 7.4.3 Nedostaci

- škart je neupotrebljiv
- cijena materijala i uređaja
- kratak vijek trajanja žarulje kod DLP

## 7.5 Otapanje snopa elektrona (EBM, Electron beam melting)

Otapanje snopa elektrona je vrsta aditiva za proizvodnju metalnih dijelova. Često je klasificiran kao brza metoda za proizvodnju. Ova tehnologija proizvodi dijelove otapanjem metalnog praha sloj po sloj sa elektronskim snopom u visokom vakuumu. Za razliku od nekih metalnih tehnika sinteriranja, dijelovi su potpuno gusti bez praznina i izuzetno jaki. Čvrsta prostoručna izrada daje potpuno guste metalne dijelove direktno iz metalnog praha sa karakteristikama ciljnog materijala u prahu. EBM stroj čita podatke iz 3D CAD modela i polaže uzastopne slojeve materijala u prahu. Ovi su slojevi rastopljeni zajedno i koriste računalno upravljani elektronski snop. Na taj način gradi dijelove. Proces se odvija pod vakuumom, što ga čini pogodnim za proizvodnju dijelova u reaktivnim materijalima sa visokim afinitetom za kisik. Rastopljeni materijal je od čiste legure u obliku praha konačnog materijala koji će biti proizveden (bez punjenja). Iz tog razloga, tehnologija snopa elektrona ne zahtijeva dodatnu toplinsku obradu kako bi se dobila puna mehanička svojstva dijelova. Taj aspekt omogućuje klasifikaciju EBM-a sa LSM-om, gdje konkurentne tehnologije, kao što su SLS i DMLS, zahtijevaju termičke obrade nakon proizvodnje. Usporedno s SLS-om i DMLS-om, EMB ima općenito superiorniju stopu proizvodnje zbog svoje veće energetske gustoće i metode skeniranja. Minimalna debljina: 0,5 mm., sposobnost tolerancije: +/- 0,4 mm [16].



Slika 7.5 Princip EBM postupka

### 7.5.1 Tipična primjena

Kako modeli koji su proizvedeni ovim postupkom imaju gotovo identičnu čvrstoću kao gotovi proizvodi napravljeni klasičnim metodama, koriste se za ispitivanje i ocjenjivanje svojstava gotovih proizvoda ili kao alat za injekcijsko prešanje. Specifična upotreba ovog postupka je i mogućnost popravka, tj. rekonstrukcije strojnih dijelova složene geometrije (engl. Reverse Engineering), kao što su npr. turbine.

### 7.5.2 Prednosti

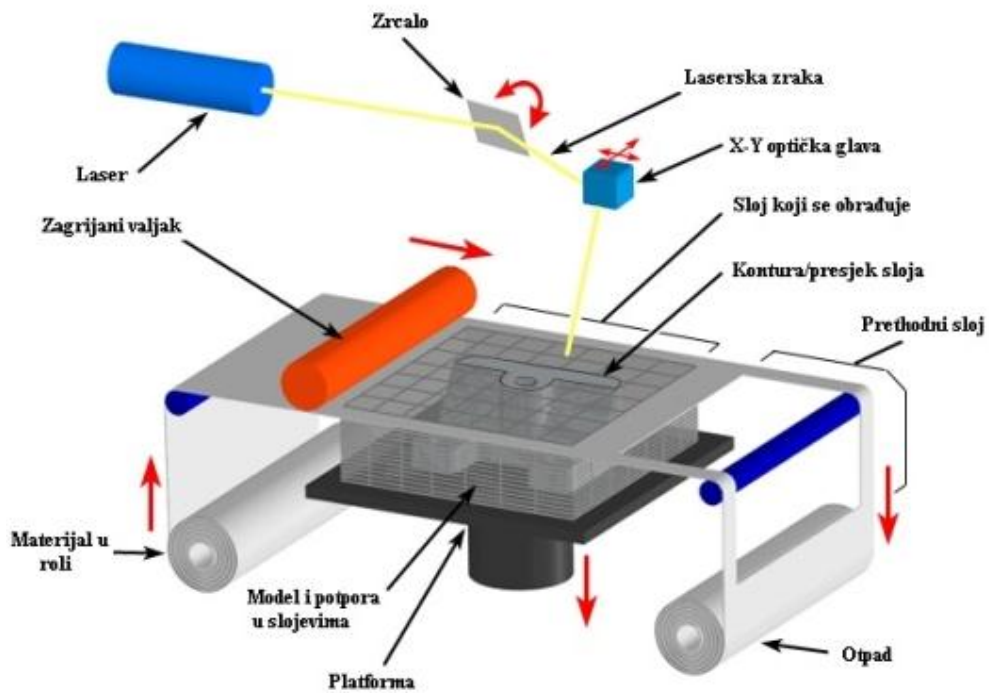
- dijelovi odličnih mehaničkih svojstava
- izbor materijala
- brza izrada funkcionalnih modela složenih geometrija
- niski unos topline (male deformacije zone zagrijavanja)

### 7.5.3 Nedostaci

- gruba površina (potrebno poliranje)
- slaba dimenzionalna točnost (potrebna obrada odvajanja čestica)
- cijena

## 7.6 Laminirana objektna proizvodnja (LOM, Laminated Object Manufacturing)

Laminirana objektna proizvodnja koristi se kod izrade komada većih dimenzija. Od korištenih materijala izdvaja se papirnata, polimerna i kompozitna folija koja je namotana na valjak [9]. Preko sustava upravljivih pomičnih zrcala laserska zraka izrezuje konturu objekta od posebne vrste folije koja je namotana na valjak. Umjesto lasera mogu se koristiti i oštri Solido noževi za rezanje. Folija s donje strane ima disperzirano vezivno sredstvo koje osigurava čvrsto povezivanje slojeva. Na taj se način aktivira vezivno sredstvo i povezuje izrezani sloj s ostatkom modela. Nakon završetka izrade aplicira se impregnacijsko sredstvo radi zaštite od vlage. Tehnologijom laminirane objektna proizvodnje moguće je proizvesti modele mase 0,1 kg do 50 kg, dok debljina presjeka ovisi o vrsti korištene folije, odnosno ona uobičajeno iznosi od 1 do 100 mm. S obzirom na najčešće korištene materijale, hrapavost površine kreće se između 100 do 140 Em. Prednosti ovog postupka su niža cijena, mogućnost proizvodnje velikih dijelova, relativno velika brzina postupka, male dimenzije uređaja koji se može instalirati u običnom uredu. Nema pojave zaostalih naprezanja u prototipu. Nedostaci su manja točnost, anizotropnost i hidroskopnost materijala prototipa. Nužno je lakiranje prototipa da bi se izbjeglo upijanje vlage i time promjena dimenzija. Funkcionalnost prototipova ograničena je uskim izborom materijala, traženu višu kvalitetu površine treba postići dodatnom završnom strojnom obradom, velik udio otpadnog materijala.



Slika 7.6 Princip LOM postupka

### 7.6.1 Tipična primjena

CAM-LEM se koristi za izradu funkcionalnih modela gdje je potrebna visoka čvrstoća, otpornost na agresivne medije i na visoke temperature. Modeli od papira i folije koriste se za verifikaciju oblika i sukladnosti dijelova u sklopu. Postupak se primjenjuje kod modela gdje nema sitnih detalja.

### 7.6.2 Prednosti

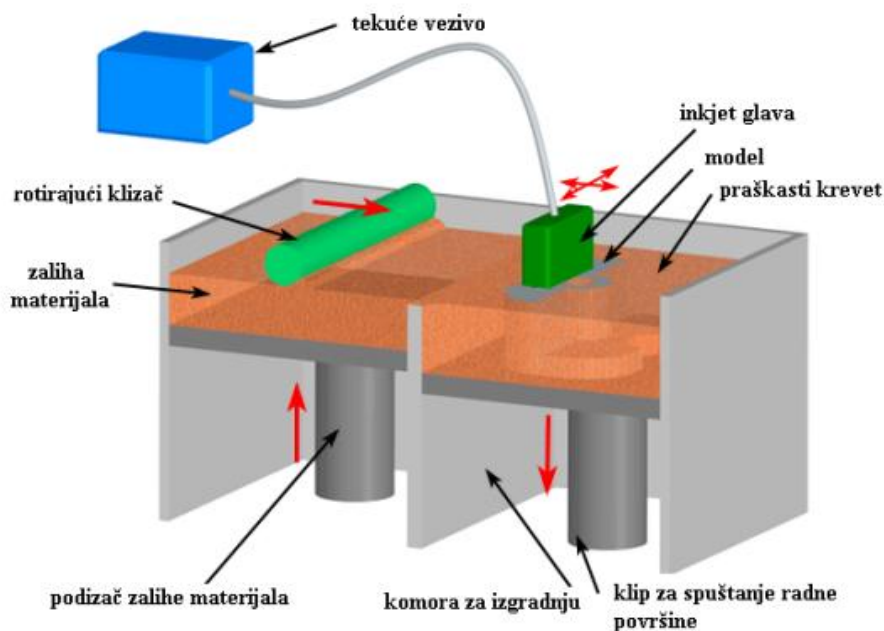
- Jednostavna izrada
- Cijena uređaja i materijala
- Održavanje
- Nema potporne konstrukcije

### 7.6.3 Nedostaci

- Mali izbor materijala
- Veliki udio otpadnog materijala
- Ograničena primjena

## 7.7 3D tisak- 3DP

Trodimenzionalni tisak (engl. 3D Printing - 3DP) je licencirao MIT (engl. Massachusetts Institute of Technology) [11]. Postupak se bazira na inkjet mlaznicama, pomoću kojih se nanosi tekuće vezivo na praškast polimerni materijal kojeg povezuje. Postupak je brz i precizan način izrade modela, koji se koristi za verifikaciju koncepta ili izgradnju kalupa i jezgre za lijevanje [17]. Pomoću CAD programa eksportira se STL datoteka, te se programskim paketom uređaja izrezuje na stotine digitalnih poprečnih presjeka modela. Ciklus 3D tiska započinje zagrijavanjem komore, nakon čega se ispunjava slojem od 3,18 mm polimernog praha, na kojem se model izgrađuje i kasnije lakše vadi. Time je završena priprema. Pomoću klizača uzduž komore nanosi se novi sloj debljine 0,1 mm. Nakon toga glava prolazi komorom te nanosi vezivo (i boju ako je printer u boji). Klizač sa glavom kreće se po x-y ravnini dok se radni stol spušta za visinu sloja po z osi. Prvi sloj praha vezivom je očvrstnut po obliku prvog STL sloja modela. Ostatak praha koji se nalazi van kontura služi kao potporna konstrukcija, a kasnije se reciklira. Ciklus se ponavlja do završetka izgradnje modela. Podešavanje orijentacije modela i parametri printanja mogu bitno utjecati na geometriju i točnost izrade. Smjer orijentacije osjetljivih detalja postavlja se u vertikalni položaj. Kod tankih stjenki debljina sloja mora se smanjiti na 0,089 mm i podesiti vrijednost zasićenja praha vezivom, čime se one ojačavaju. Ojačanjem na ovaj način povećava se vrijeme sušenja. Kad je model izgrađen višak praha iz komore usisava se u spremnik. Izgrađeni model se propuhuje komprimiranim zrakom u zasebnoj komori [18].



*Slika 7.7 Princip 3DP postupka*



### 7.7.1 Tipična primjena

Modeli se koriste za verifikaciju oblika i izradu kalupa i jezgri za lijevanje, izradu alata i elastičnih dijelova.

### 7.7.2 Prednosti:

- izrada modela srednjih do velikih dimenzija
- nema gubitaka materijala na izradi potporne konstrukcije
- materijali koji nisu štetni za zdravlje
- prikaz u bojama
- brzina izrade
- točnost
- mogućnost očvršćivanja vodom (ZCorp)

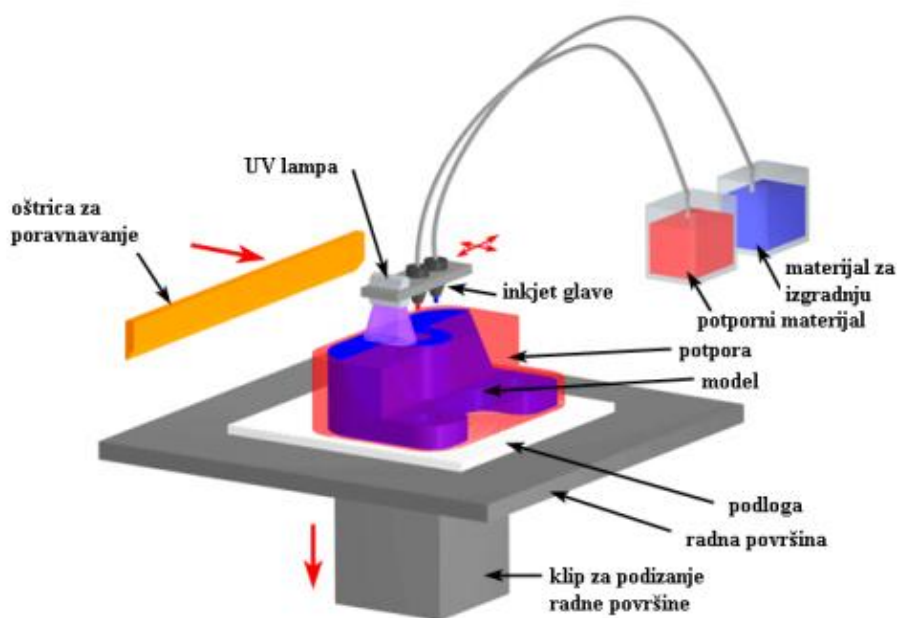
### 7.7.3 Nedostaci:

- potrebna česta zamjena uložaka sa vezivom (100 sati operacije)
- slabe mehaničke karakteristike
- ograničen broj primjenjivih materijala
- mogućnost oštećenja kod manualnog rukovanja zelenim komadom

## 7.8 3D tisak mlazom fotopolimera 3DP PJ

3D tisak mlazom fotopolimera (engl. 3D Printing-Photopolymer Jetting - 3DP PJ) je sličan procesu stereolitografije. Materijal je tekući fotopolimer koji se polimerizira pomoću UV lampe. Fotopolimer se nanosi pomoću inkjet mlaznica. Izraelska tvrtka Objet Geometries vodeća je u razvoju ove tehnologije, a na tržištu je prisutna i tvrtka 3D Systems [4]. Koristi se STL datoteka, pomoću koje se model u digitalnom obliku izrezuje na tanke slojeve (debljina sloja 0,015 mm) u horizontalnoj ravnini. Izgradnja modela bazira se na inkjet metodi. Tekući fotopolimer nanosi se na radnu površinu sloj po sloj, pomoću dvije glave koje sadrže nekoliko stotina (do 1536) mlaznica, koje u jednom koraku istovremeno raspršuju potporni materijal i materijal za izgradnju modela. U istom koraku odvija se i polimerizacija pomoću UV lampe [5]. Radna površina spušta se po z osi za debljinu sloja te se nanosi novi sloj. Pomoću 3DP PJ metode izgrađuju se modeli stabilnih dimenzija, točnosti 0,025-0,05 mm (ProJet) i 0,1-0,3 mm (PolyJet). Mogu se izrađivati stijenke debljine 0,6 mm. Površina ovakvih modela je među kvalitetnijim u industriji brze izrade prototipova [4]. Maksimalne dimenzije modela su 550 x 400 x 300 mm. Nova tehnologija pod nazivom PolyJet Matrix, koja se koristi u uređaju Connex 500, a patentirala ga je tvrtka Objet, novi je pravac u 3D tiskanju. Ovo je prva tehnologija koja omogućava istovremeno nanošenje mlaza različitih materijala. Time je otvorena mogućnost da model bude izgrađen od

različitih materijala i ima različita mehanička i fizička svojstva [6]. Pored toga, moguće je miješati materijale te tako dobivati kompozite specifičnih mehaničkih svojstava pod nazivom digitalni materijali (engl. Digital Materials). Miješanjem materijala moguće je proizvesti do 60 različitih plastomera i elastomera koji imitiraju svojstva standardnih materijala.



Slika 7.8 Princip 3DP PJ postupka

### 7.8.1 Tipična primjena

Širok spektar materijala omogućava izradu modela finih detalja, složene geometrije i točnosti 0,1 mm omogućuje primjenu u različitim granama industrije: provjera montaže sklopova, provjera oblika, funkcionalna testiranja, testiranja kinematike pokretnih dijelova.

### 7.8.2 Prednosti

- Kvaliteta površine
- Izbor dostupnih materijala
- Brzina izrade
- Postojanost dimenzija
- Izrada detalja
- Modeli od kombiniranih materijala
- Lako topljiv potporni materijal

### 7.8.3 Nedostaci

- Potreba za potpornom konstrukcijom
- Potrebna peć za otapanje potporne konstrukcije
- Efektivni radni volumen

## **8 ODABIR MATERIJALA ZA POSUPKE BRZE IZRADE PROTOTIPOVA**

### 8.1 Materijali koji se koriste u procesu selektivnog laserskog sinteriranja

SLSLaserForm ST-100, 200 je materijal od čestica nehrđajućeg čelika AISI420 koje su presvućene polimernim vezivom. Idealni za proizvodnju funkcionalnih i izdržljivih metalnih prototipova, dijelova ili alata. Tijekom sinteriranja vezivo izgara i infiltrira se bronca tako da se dio sastoji od 54% čelika i 46% bronce. Dijelovi su zavarljivi i imaju dvostruku veću toplinsku vodljivost od čelika. Kalupi se koriste za proizvodnji i do 100.000 dijelova od polimera.

DuraFormPA je poliamid koji se koristi za izradu dijelova s vrlo glatkom površinom i finim detaljima. Najčešće se koristi u medicini za izradu i testiranja kirurških instrumenata i pomagala.

DuraFormGF je poliamid punjem staklenim česticama. Ima vrlo visoku krutost.

Mehanička svojstva i otpornost na toplinu čine ga idealnim za izradu dijelova koji su izloženi ekstremnim uvjetima. Otporan je na vlagu i ima slabu fleksibilnost. Koristi se za funkcionalna ispitivanja te za analizu oblika i dimenzija.

CastFormPS je polistiran koji se najčešće koristi za izradu alata za precizno ljevanje. Nije pogodan za izradu funkcionalnih prototipova te izrada alata složenih oblika.

### 8.2 Materijali koji se koriste u procesu direktnog laserskog sinteriranja metala DMLS

Metalni prah je mješavina nehrđajućeg čelika i bronce. Moguće je koristiti elastomere, kompozitne materijale, keramiku, zlato i alatne čelike [8].

### 8.3 Materijali koji se koriste u procesu modeliranja nanošenjem rastopljenog materijala FDM

ABS(P400) služi za izradu prototipova u svrhu funkcionalnih ispitivanja. Dolazi u više boja, bijela, crna, crvena, plava, zelena i žuta. Iznimna mogućnost završne obrade kao što su bušenje, pjeskarenje, prevlačenje.

ABSi(P500) je posebna vrsta ABS materijala koja je otporna na udarna opterećenja, otporan je na kemijske aktivne medije. Proizvod je najčešće proziran, moguće su i razne boje. Medicinski ABS ima veliku izdržljivost. Nije otrovan te dolazi u više boja [12].

E20 je elastomer na bazi poliestera. Sličan materijal se koristi za izradu brtvi, izolacije i cijevi.

ICW06 je vosak za precizno lijevanje. Ima vrlo malen udio pepela (0.0040%).

#### 8.4 Materijali koji se koriste u procesu stereolitografije

WaterShed je polimer na bazi epoksida koji oponaša mnoga svojstva plastomera. Ima niski koeficijent apsorpcije vlage (0.24%), u vlažnim uvjetima zadržava dobra mehanička svojstva, izuzetno izdržljiv, mogu se provoditi i neka lagana i ograničena funkcionalna ispitivanja.

Somos9100 je epoksid na bazi fotopolimera koji oponaša mnoga svojstva polipropilena. Ima iznimnu izdržljivost, žilav je te mu je dobra udarna čvrstoća, otporan je na vlagu. Koristi se za analizu oblika i dimenzija, te uzoraka.

Somos8100 je epoksid na bazi fotopolimera koji oponaša mnoga svojstva polipropilena. Polukrut materijal velike fleksibilnosti i izdržljivosti, otporan na vlagu. Koristi se za analizu oblika i dimenzija, izradu uzoraka i lagana funkcionalna ispitivanja.

ACCURA SI40 je fotopolimer koji oponaša svojstva polamida 6.6. Ima otpornost na visoke temperature i iznimna žilavost. Dijelovi ostaju kruti i kada su izloženi vlazi. Koristi se za analizu oblika i dimenzija te za ispitivanja pri visokim temperaturama.

ACCUDUR je fotopolimer koji je iznimno izdržljiv i fleksibilan. Ima vrlo dobro stanje površine. 30% brđe stvaranje prototipa, otporan je na vlagu. Koristi se za analizu dimenzija i oblika, stvaranje uzoraka te za funkcionalna ispitivanja.

#### 8.5 Materijali koji se koriste u procesu otapanjem snopa elektrona EBM

Nehrđajući čelik, alatni čelik, legure na bazi Ni, Ti legura.

#### 8.6 Materijali koji se koriste u procesu laminirane objektne proizvodnje LOM

Nakon impregnacije papir je zaštićen od vlage i takav model zadovoljava funkciju verifikacije koncepta. Zatezna čvrstoća je 24-40 MPa.

SolidVC (PVC) materijal ima zateznu čvrstoću 40-50 MPa, modul elastičnosti 1200-2000 MPa, a produljenje 30-100%.

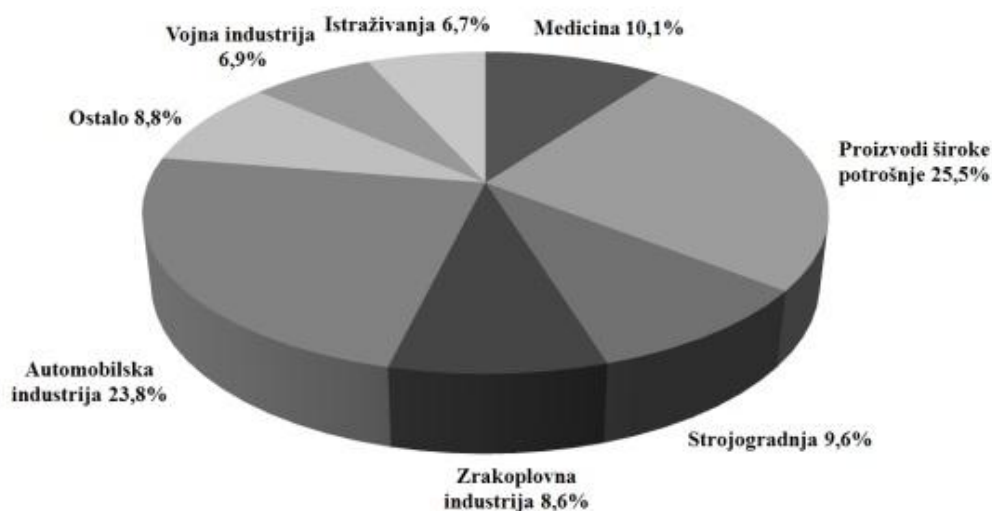
Kod CAM-LEM materijala postiže se zatezna čvrstoća 550 MPa za nehrđajući čelik (X2CrNiMoN17-12-2). Model od keramike je otporan na agresivne medije i koristi se za visoke temperature do 1500°C.

### 8.7 Materijali koji se koriste u procesu 3DP PJ

Bazična podjela akrilne plastike svodi se na imitaciju polipropilena, ABS plastike, polikarbonata i gume [7].

## 9 PRIMJENA I PODRUČJA PRIMJENE

Integracija tehnologije brze izrade prototipa postala je prisutna u širokom području proizvodnje gdje je potrebna izrada proizvoda relativno malih dimenzija i relativno male kvantitete u kratkom vremenu. Tehnologija je primjenjiva u područjima gdje su troškovi izrade dijelova veliki. Brzom izradom prototipova aditivnim metodama povećava se sposobnost vizualizacije proizvoda u ranoj fazi razvoja dizajna i detektiranja grešaka prije same izrade proizvoda. Ti postupci omogućavaju proizvodnju tvorevina vrlo kompleksnih oblika, izravno iz računalnih podataka, pomoću automatiziranih procesa. Gotovo svaki postupak proizvodnje prototipova može se rabiti za proizvodnju dijelova čija je funkcija primarno estetska. Informacije o ponašanju prototipa, mogućnostima preradbe i tolerancijama dobivaju se pokusnim probama. Da bi informacije dobivene pokusnim probama bile što točnije potrebno je pažljivo odabrati tehnologiju i korištene materijale, na temelju zahtjeva područja primjene. Područja primjene koja najčešće koriste izradu prototipova prikazana su na slici 9.1.



Slika 9.1 Područja primjene

Najveći udio zauzimaju proizvodi široke potrošnje, to je grana gdje se razvijaju proizvodi poput tenisica, naočala, mobitela, opreme za ronjenje, razna kućna pomagala, slušalica itd. Automobilska industrija koristi RP za dijelove ovjesa, mjenjačke kutije, upravljačke mehanizme, spojke, izradu kalupa za odljevke složenih oblika od titana, trkaćih automobila i bolida F1, te izradu dijelova za raritetna antikna vozila [2]. Medicina koristi brzu izradu prototipova za izradu implantata (rekonstrukcija kostiju i estetska kirurgija) i proteza, raznih alata, pomagala i uređaja, izradu elemenata za ispravljanje zuba, slušnih aparata itd. Nakon tih grana, tehnologija brze izrade prototipova primjenjuje se još u strojogradnji, industriji zrakoplova i svemirskog programa (izrada dijelova space shuttle-a i svemirskih postaja, borbenih i civilnih zrakoplova), vojnoj industriji, izradi uredske opreme itd. U zrakoplovnim industrijama trenutno se radi na kvalifikaciji RP tehnologije kako bi se izradila specifikacija koja garantira određenu kvalitetu. RP je u zrakoplovnoj industriji i industriji svemirskog programa korisna iz slijedećih razloga: male serije, iteracija dizajna, kompleksnogeometrija, testiranje novih materijala.

## 10 ZAKLJUČAK

Postoji veliki broj različitih 3D pisaa koji su danas dostupni na tržištu, a sve s malo drugačijim prednostima, nedostacima i značajkama, to je najbrži rastući dio industrije za brzu izradu prototipova. Značaj 3D pisaa je u tome što se njihovom upotrebom smanjuju troškovi na skupim greškama dizajniranja, ostvaruje se bolja i brža komunikacija s kupcima, izgrađuju se 3D modeli bez otpada što svakako smanjuje troškove proizvodnje. Tehnologije za brzu izradu prototipova su prisutne u širokom spektru industrije zbog brojnih prednosti koje nude. Ove suvremene tehnologije su za kratko vrijeme omogućile dostizanje niza ciljeva koje moderno tržište definira, kao što su primarni zahtjevi skraćivanja vremena do pojave proizvoda na tržištu te smanjivanje cijene proizvoda. Viši stupanj vizualizacije u ranim fazama projektiranja, otkrivanje grešaka projektiranja pri izradi alata i brza izrada alata za proizvodnju fizičkih prototipova postižu se primjenom RP tehnologije. Ovi se postupci najčešće primjenjuju kada se radi o malim serijama proizvoda i kada bi izrada alata uobičajenim postupcima bila skupa. Primjena RP tehnologije nije više ograničena samo na izradu prototipova, kao na početku razvoja ovih tehnologija. Materijali i tehnologije se razvijaju na takav način da omogućavaju i razvoj malih serija gotovih proizvoda. Proizvodnja malih serija predstavlja idealno rješenje za veći broj specifičnih potreba kod proizvoda namjenjenih ograničenom manjem broju korisnika, pri čemu se omogućava dostizanje visoke kvalitete i unaprjeđenje proizvoda iako nije namijenjem velikim serijama.

## 11 LITERATURA

- [1] [http://www.eng.nus.edu.sg/LCEL/RP/u21/wwwroot/stl\\_library.htm](http://www.eng.nus.edu.sg/LCEL/RP/u21/wwwroot/stl_library.htm) 18.07.2014.
- [2] Filetin, Tomislav; Kramer, Ivan: Brza izrada prototipova, Gradimo, 2007.  
<http://www.gradimo.hr/clanak/brza-izrada-prototipova/15509> 16.7.2014.
- [3] <http://www.paramountind.com/stereolithography.html> 21.7.2014.
- [4] <http://www.timecompression.com/articles/additive-manufacturing-101-part-iii>  
30.7.2014.
- [5] <http://www.custompartnet.com/wu/jetted-photopolymer> 29.7.2014.
- [6] [http://www.objet.com/PRODUCTS/PolyJet\\_Matrix\\_Technology/](http://www.objet.com/PRODUCTS/PolyJet_Matrix_Technology/) 19.7.2014.
- [7] <http://www.objet.com/3D-Printing-Materials/> 15.7.2014.
- [8] [http://www.exone.com/eng/technology/x1-prometal/materials\\_prometal.html](http://www.exone.com/eng/technology/x1-prometal/materials_prometal.html)  
15.7.2014.
- [9] [http://www.efunda.com/processes/rapid\\_prototyping/lom.cfm](http://www.efunda.com/processes/rapid_prototyping/lom.cfm) 27.7.2014.
- [10] <http://wb-3d.com/3d-printing/> 27.7.2014.
- [11] <http://materijali.grf.unizg.hr/media/TRODIMENZIONALNI%20TISAK.pdf>  
27.7.2014.
- [12] <http://www.stratasys.com/materials> 15.7.2014.
- [13]  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.111.93&rep=rep1&type=pdf>  
19.7.2014.
- [14] <http://me495.engr.siu.edu/F13-3DPR/LiteratureReview.pdf> 4.8.2104.
- [15] <http://proto3000.com/what-is-rapid-prototyping.php> 2.8.2014.
- [16] <http://proto3000.com/what-is-rapid-prototyping.php> 2.8.2014.
- [17] Cooper G. Kenneth: Rapid Prototyping Technology, New York, Marcel Dekker, Inc., 2001.
- [18] Grujović, N.; Milivojević, N.; Milivojević, V.; Dimitrijević, V.; Grujović, Đ.: Iskustva u brzoi izradi prototipova tehnologijom 3D štampe, 31. savetovanje proizvodnog mašinstva Srbije i Crne Gore sa međunarodnim učešćem, Mašinski fakultet Kragujevac, 19-21.09. 2006
- [19] Frank, Matthew; Joshi B. Sanjay, Drs.; Wysk A. Richard: Rapid prototyping as an integrated product/process development tool an overview of issues and economics, Journal of Chinese Institute of Industrial Engineers, 2003.
- [20] Mladen Čeliković, Primjena računskih alata za postizanje visoke točnosti kod numerički upravljane strojne obrade, STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU, 2011., <https://bib.irb.hr/> 12.12.2014.



