

# 3D printeri

---

**Budimir, Ivona**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet u Rijeci**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:186:268129>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-16**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences - FHSSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**FILOZOFSKI FAKULTET U RIJECI**

**Odsjek za politehniku**

**Ivona Budimir**

**3D PRINTERI**

**(završni rad)**

**Rijeka, 2015. godine**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**FILOZOFSKI FAKULTET U RIJECI**

Studijski program: sveučilišni preddiplomski studij politehnike

Ivona Budimir  
mat. broj: 0009066338

**3D PRINTERI**

- završni rad -

**Mentor : mr. sc. Gordan Đurović**

**Rijeka, 2015. godine**

# FILOZOFSKI FAKULTET U RIJECI

## Odsjek za Politehniku

U Rijeci, 7. travanj 2015. godine

# ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: **Ivona Budimir**

Studij: **Sveučilišni preddiplomski studij politehnike**

Naslov završnog rada: **3D printeri**

Kratak opis zadatka: Objasniti metodu rada 3D printera, njihov povjesni razvoj i današnje stanje razvijenosti tehnologije. Detaljno pojasniti sve elemente 3D printera, moguće načine njihovog programiranja, te materijale koji se koriste za izradu 3D modela. Napraviti usporedbu današnjih 3D printera koji su komercijalno dostupni na tržištu, njihove prednosti i nedostatke, te ciljane područja njihovog korištenja.

Zadatak uručen pristupnici: **7. travnja 2015. godine**

Ovjera prihvatanja završnog rada od strane mentora: \_\_\_\_\_

Završni rad predan: \_\_\_\_\_

Datum obrane završnog rada: \_\_\_\_\_

Članovi ispitnog povjerenstva: 1. predsjednik - \_\_\_\_\_

2. mentor - \_\_\_\_\_

3. član - \_\_\_\_\_

Konačna ocjena: \_\_\_\_\_

Mentor

\_\_\_\_\_

mr. sc. Gordan Đurović

## IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad izradila samostalno, isključivo znanjem stečenim na Odsjeku za politehniku Filozofskoga fakulteta u Rijeci, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora mr.sc. Gordana Đurovića.

U Rijeci, 21. srpnja 2015.

## SAŽETAK

U ovom radu prikazana je tehnologija trodimenzionalnog ispisa i uređaji za ispis.

Prikazan je razvoj tehnologije 3D ispisa kroz povijest te tehnologija 3D ispisa i materijali koji se primjenjuju u procesu ispisa. Proces 3D ispisa podijeljen je po koracima te su navedeni dijelovi uređaja za ispis. Uređaji dostupni na tržištu su podijeljeni u kategorije i kao primjer dobivanja 3D printera naveden je *open source* projekt RepRap. Na kraju je pregled primjera 3D ispisa.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. OSNOVNO O TEHNOLOGIJI 3D ISPISA .....	2
2.1. Povijest razvoja tehnologije 3D ispisa .....	3
2.2. Različite tehnologije 3D ispisa.....	5
<b>2.2.1. 3D printeri sa praškastim materijalom</b> .....	5
<b>2.2.2. 3D printeri sa tekućim materijalom</b> .....	6
<b>2.2.3. 3D printeri sa čvrstim listovima</b> .....	7
2.3. Materijali za 3D ispis .....	8
<b>2.3.1. Plastika</b> .....	8
<b>2.3.2. Metali</b> .....	9
<b>2.3.3. Keramika</b> .....	9
<b>2.3.4. Papir</b> .....	9
<b>2.3.5. Bio materijali</b> .....	10
<b>2.3.6. Hrana</b> .....	10
3. UREĐAJI ZA 3D ISPIS.....	11
3.1. Proces 3D ispisa.....	11
<b>3.1.1. 3D modeliranje</b> .....	11
<b>3.1.2. 3D ispis</b> .....	12
<b>3.1.3. Završna obrada</b> .....	13
3.2. Osnovni dijelovi 3D printera.....	14
3.3. Uređaji dostupni na tržištu .....	15
<b>3.3.1. Industrijski 3D printeri</b> .....	15
<b>3.3.2. Potrošački orijentirani 3D printeri</b> .....	16
3.4. <i>Open source</i> projekt RepRap .....	18
<b>3.4.1. Model RepRap Prusa Mendel</b> .....	18
4. PRIMJERI 3D ISPISA .....	23
4.1. 3D ispis modeliranjem uz pomoć računala .....	23
4.2. 3D ispis skeniranjem objekta .....	24
4.3. 3D ispis pisanjem G- koda.....	25
5. ZAKLJUČAK .....	28
6. LITERATURA.....	29

# 1. UVOD

U današnje vrijeme kad se čuje za "3D ispis" u novostima ili tijekom nekog razgovora, to se predstavlja kao temeljna tehnologija u kojoj je glavno ono što se proizvodi. Tehnologija 3D ispisa je u razvoju i trenutno je moguće ispisati neki funkcionalni organ, npr. bubreg, protetiku, igračku, automobil, robot te mnogo drugih stvari.

Na početku, 3D ispis je sadržavao izradu prototipa i modela. Za razliku od tradicionalnih strojarskih tehnika koje traže rad s komadom, 3D ispis traži vještinu koju je moguće razviti bez predznanja iz strojarske tehnike i ne traži skupe alate te velike i masivne strojeve.

Ono što je najveća prednost kod 3D ispisa je to što omogućava proizvodnju objekta kojeg nije moguće dobiti tradicionalnim tehnologijama. Ovaj koncept otvara nove zanimljive mogućnosti za proizvodnju modela, koje će biti moguće dobiti samo ovom tehnologijom.

U ovom radu opisana je tehnologija 3D ispisa kroz povijest razvoja tehnologija te su predstavljene različite tehnike ispisa i materijali koji se primjenjuju. U daljnjim poglavljima opisani su uređaji za 3D ispis, njihov detaljni princip rada i dijelovi uređaja za 3D ispis te njihova podjela na tržištu. Prikazan je proces sklapanja modela 3D printera pomoću *open source* projekta. Na kraju su prikazana tri primjera 3D ispisa.



## 2. OSNOVNO O TEHNOLOGIJI 3D ISPISA

3D ispis je trodimenzionalni ispis ili aditivna proizvodnja objekta uzastopnim polaganjem materijala. Pojam 3D ispisa se sastoji od niza tehnologija koje nude mnoge mogućnosti za proizvodnju dijelova te primjenu različitih materijala. Ono osnovno, što svi procesi i tehnologije imaju zajedničko, je način na koji se stvara objekt. Sve tehnologije stvaraju objekt sloj po sloj, što je suprotno od tradicionalnih metoda proizvodnje. Tehnologija, kao i primjena 3D ispisa je još i danas u razvoju. Primjena 3D ispisa pokušava se povećati sve više u industrijskom, proizvodnom i potrošačko sektoru.

Općenito, tehnologija je uvelike utjecala na ljudsku povijest. Ako se razmisli o žarulji, parnom stroju, automobilu, zrakoplovu ili razvoju World Wide Weba, moguće je uočiti kako su poboljšali način života, otvorili nove mogućnosti i puteve, ali se može primjetiti da je također potrebno neko vrijeme kako bi svijet usvojio novu tehnologiju. To potiče vjerovanje da 3D ispis ima veliki potencijal da postane jedna od tih suvremenih tehnologija.

Za mnoge primjene tradicionalnog dizajniranja i proizvodnih procesa potrebni su skupi alati, montaža dijelova, a najveći nedostatak je to što se i do 90% osnovnog materijala može izgubiti tijekom obrade. Suprotno tome, 3D ispis je izravni postupak stvaranja objekta, dodatkom materijala sloj po sloj na nekoliko načina koji ovise o primjenjenoj tehnologiji. Pojednostavljeni prikaz rada 3D ispisa može se usporediti sa procesom izgradnje nekog bloka s Lego kockama koji je automatiziran.

3D ispis je tehnologija koja potiče te pokreće inovacije dizajna uz potpunu slobodu, dok se odvija proces uz smanjene troškove i ubrzani rad. Dijelovi mogu biti posebno dizajnirani kako nebi bio potreban proces montaže, a oblik može biti geometrijski složen i zahtjevan bez da se poveća trošak izrade. 3D ispis je energetski učinkovita tehnologija koja može smanjiti onečišćenje okoliša u okviru samog procesa koristeći i do 90% standardnih materijala i kraće vrijeme izrade.

U posljednjih nekoliko godina, 3D ispis je postao više od same proizvodnje industrijskih prototipova i tehnologija proizvodnje te je kao tehnologija postala dostupna za manje tvrtke pa čak i za pojedince (manji te manje sposobni 3D pisači sada se mogu nabaviti ispod 1 000 \$). To je spomenutu tehnologiju predstavilo široj publici te se primjena iste eksponencijalnom stopom rasta nastavlja brzo širiti na svim područjima, te je dostupnost sve više tehnologija, materijala, aplikacija te pomoći za ispis povećana.

## 2. 1. Povijest razvoja tehnologije 3D ispisa

Najranija tehnologija 3D ispisa postala je vidljiva u kasnim 1980-im, u vrijeme kada su je prozvali brza tehnologija izrade prototipa (*eng. Rapid Prototyping*). Prozvana je brza tehnologij, jer su tehnologije 3D ispisa izvorno zamišljene kao brze i troškovno učinkovite metode za stvaranje prototipova za razvoj proizvoda u industriji. Kao zanimljivu stranu, prva prijava patenta za brzu proizvodnju je od Dr. Kodama u Japanu, u svibnju 1980. godine. Nažalost, potpune specifikacije patenta nisu dostavljene u idućih godinu dana, kada je istekao roka za prijavu, što se smatra katastrofom. Međutim, povijest 3D ispisa započinje 1986. godine, kada je izdan prvi patent za tehnologiju stereolitografije (*eng. Stereolithography – SL ili SLA*). Patent za tehnologiju stereolitografije pripada Charlesu (Chuck) Hullu, koji je prvi izumio svoj stroj za stereolitografiju 1983. godine. Hull je suosnivač 3D Systems Corporation- jedne od najvećih i najprofitabilnijih organizacija koja djeluje u sektoru 3D ispisa i danas.

3D Systems je 1987. godine predstavio prvi komercijalni sustav 3D ispisa, SLA-1, te nakon rigoroznih testiranja prvi je prodan 1988. godine. Kao što je tipično s novom tehnologijom, dok se može tvrditi da je stereolitografija prva tehnologija 3D ispisa, to nije jedina tehnologija u to vrijeme. 1987. godine, Carl Deckard, koji je radio na University of Texas, podnio je patent u SAD- u za postupak 3D ispisa pod imenom selektivno srašćivanje laserom (*eng. Selective Laser Sintering - SLS*). Patent za selektivno srašćivanje laserom je objavljen 1989. godine te je kasnije licencirano od strane DTM Inc, koji je kasnije stekao 3D System. 1989. godina je također bila godina kada je Scott Crumo, suosnivač Stratasys Inc, podnio patent za tehnologiju srašćivanja taloženjem (*eng. Fused Deposition Modelling - FDM*). Tehnologija srašćivanja taloženjem je još uvijek u vlasništvu tvrtke, ali je također i tehnologija koju koriste mnogi strojevi te se temelji na *open source* projektu RepRap, koji je funkcionalan i danas. Nakon zapostavljanja tehnologije stereolitografije, EOS' R&D se fokusira na tehnologiju laserskog srašćivanja (*eng. Laser Sintering - LS*), koja se nastavila razvijati sve do danas. Danas, EOS Systems priznati su diljem svijeta za njihovu kvalitetnu industrijsku proizvodnju prototipova i produkcije aplikacija za 3D ispis. Tehnologija direktnog metalnog laserskog srašćivanja (*eng. Direct Metal Laser Sintering - DMLS*) je rezultat projekta s Electrolux Finland, koji je kasnije preuzeo EOS.

Ostale tehnologije 3D ispisa također su nastajale tokom ovih godina, poput laminiranja (*eng. Laminated Object Manufacturing - LOM*) patentirao je Michael Feygin, tehnologiju očvršćivanja solida (*eng. Solid Ground Curing - SGC*) patentirao je Itzhak Pomerantz te tehnologiju trodimenzionalnog tiskanja (*eng. Three dimensional printing - 3DP*) patentirao je Emanuel Sachs.

U početku devedesetih bilo je sve veći broj konkurentnih tvrtki na tržištu brze tehnologije, od kojih su samo tri i danas - 3D Systems, EOS i Stratasys. 1990-e i rane 2000-e su domaćini novih tehnologija koje se još uvijek uvode, još uvijek fokusiranih na industrijske primjene. R&D je bio proveo nekoliko tehnoloških poboljšanja za specifične alate, lijevanje i direktno proizvodne programe što je dovelo do novih termina, brza izrada alatom (*eng. Rapid Tooling - RT*), brzo lijevanje (*eng. Rapid Casting*) i brza izrada (*eng. Rapid Manufacturing - RM*).

Što se tiče poslovnih operacija, Sanders Prototype (kasnije Solidscape) i Zcorporation su se stvorili 1996, Arcam je osnovan 1997, Object Geometries pokrenut je 1998, MSP Technologies (omogućeno je vakumsko lijevanje) uveo je tehnologiju selektivnog laserskog taljenja (*eng.* Selective Laser Melting - SLM) 2000, EnvisionTec je osnovan 2002., ExOne 2005. i Scaky Inc je razvio vlastitu tehnologiju 3D ispisa, taljenje praha elektronskim snopom (*eng.* Electron Beam Melting - EBM).

Terminologija je evoluirala s proliferacijom proizvodnih programa i prihvaćen je skupni pojam za sve procese aditivna proizvodnja (*eng.* Additive Manufacturing - AM).

Tijekom početka 2000-ih godina sektor je počeo pokazivati znakove različitih diversifikacija s dva specifična područja sa naglaskom da su mnogo jasnije definirane danas. Prvi je visoka kvaliteta 3D ispisa, još uvijek veoma skupa proizvodnja koja je usmjerena na dio proizvodnje visoke kvalitete, visoke projektiranosti te složenih dijelova. To je još uvijek u tijeku razvoja te raste, a rezultati su tek sad počeli biti vidljivi u proizvodnim programima na zrakoplovnom, automobilskom, medicinskom sektoru te kod sektora finoga nakita. Veliki dio ostaje iza zatvorenih vrata i/ili na temelju ugovora o tajnosti podataka. Na drugom kraju, neki sustavi 3D ispisa ravijaju i unapređuju 'concept modellers', kako su ih nazvali u to vrijeme. To su 3D printeri koji su fokusirani na poboljšavanje razvoja koncepta i funkcionalnosti prototipova. Oni su uvod u današnje računalne strojeve. Kakogod, ovi sustavi su još uvijek previše za industrijsku primjenu.

Prvi 3D printer se pojavio 2007. godine na tržištu u iznosi od 10 000 \$ od 3D Systems. Kupaca dijelom nije bilo zbog samog sustava, a dijelom zbog tržišnog utjecaja. Sveti gral u to vrijeme je bio da se 3D printer dobije za ispod 5 000 \$. Tehnologija je postala dostupnija za mnoge branše i korisnike, a time i za širu publiku. 2007. godina je bila godina koja je označila prekretnicu za dostupnost tehnologije 3D ispisa, što su neki primjetili na vrijeme, poput RepRap projekta. Dr. Bowyer zamislio je RepRap poput *open source* projekta, samoreplicirajući 3D printer još 2004. godine, za što je u idućim godinama uz pomoć tima razvijao tehnologiju. Najpoznatiji su bili Vik Oliver i Rhys Jones koji su razvili koncept stvarajući prototip 3D ispisom koristeći tehnologiju taloženja. 2007. godina je kada se *open source* projekt počeo primjenjivati se više.

To nije bilo sve do siječnja 2009. kada je prvi komercijalni 3D printer bio dostupan u prodaji u obliku kompleta na temelju RepRap projekta. To je bio BfB RapMan 3D printer. Nakon toga slijede od Makerbot Industries u travnju opsežna ulaganja, čiji su osnivači bili u razvoju RepRap. Od 2009. godine pojavljuju se 3D printer sa tehnologijom taloženja. U 2012.-oj godini su uvedeni na tržište alternativne tehnologije 3D ispisa. B9Creator (koristi tehnologiju digitalne svjetlosne obrad – *eng.* Digital Light Processing - DLP) došao je prvi u lipnju, nakon kojega slijedi Form 1 (koristi tehnologiju stereolitografije) u prosincu. Oboje financira Kickstarter i doživljavaju veliki uspjeh. Kao rezultat tržišne divergencije, značajnih napredaka u industriji s mogućnostima i programiranja, povećanje svijesti i prihvaćanja preko rastućeg proizvodnog pravca, 2012-a je godina također mnoge promjene u tehnologiji. U 2013.-oj godini je značajan rast i utemeljenje tehnologije.

## 2.2. Različite tehnologije 3D ispisa

Početna točka bilo koje tehnologije 3D ispisa je 3D digitalni model, koji može biti izrađen pomoću raznih 3D softverskih programa ili skeniranjem 3D skenerom. Model se tada 'reže' u slojeve i novi dizajn sprema u datoteku prepoznatljivu 3D printeru. Proces obrade materijala izvršava 3D printer, polažući slojeve prema dizajnu i tehnologiji. Postoji veliki broj tehnologija 3D ispisa koje obrađuju različite materijale na različite načine za dobivanje konačnog objekta. Mnogi metali, keramike, plastike i pjesak u današnje vrijeme se rutinski primjenjuju kod industrijske proizvodnje prototipova i primjena u proizvodnji. Odvijaju se istraživanja kod 3D ispisa bio materijala i različitih vrsta hrane. Razvoj 3D ispisa ograničava primjena materijala. Platika je trenutno najviše korišten materijal - obično ABS ili PLA, iako postoji sve veći broj alternativa, poput najlona.

Postoji više vrsta 3D printera koji koriste različite tehnologije za obradu različitih materijala. Važna je činjenica da je jedno od osnovnih ograničenja 3D ispisa- kod materijala i tehnologija- da ne postoji "jedno riješenje koje odgovara svima".

Kao primjer, neki 3D printeri primjenjuju tehnologiju praškastih materijala i koriste svjetlosni/toplinski izvor za taljenje/spajanje slojeva praha za dobivanje krajnjeg objekta ili raspršuju materijal ili vezivo. Druga tehnologija 3D ispisa primjenjuje tekuće materijale te koristi svjetlo/laser za skrućivanje materijala u tankim slojevima. Treća tehnologija 3D ispisa je spajanje čvrstih listova ljepilom.

### ***2.2.1. 3D printeri sa praškastim materijalom***

Tehnologije 3D ispisa koje koriste praškaste materijale jesu selektivno srašćivanje laserom, lasersko direktno oblikovanje, taljenje elektronskim zrakama, trodimenzionalni ispis, itd. Kao primjer ove tehnologije može se uzeti selektivno srašćivanje laserom.

Selektivno srašćivanje laserom ili lasersko topljenje su zaminjivi pojmovi koji se odnose na tehnologije 3D ispisa temeljenih na laseru koje rade s praškastim materijalima. Laser prelazi preko čvrsto zbijenog materijala u prahu, prema dobivenim podacima, po X i Z osi. Rezultat zajedničkog djelovanja lasera i površine praškastog materijala je sinteriranje, stvaranje tvrde krutine iz čestica. Nakon kraja svakog sloja, platforma sa prahom se spušta te valjak zaglađuje prah iznad površine sloja prije sljedećeg prolaza lasera. Uz pomoć lasera se formira novi sloj koji je spaja sa prethodnim.

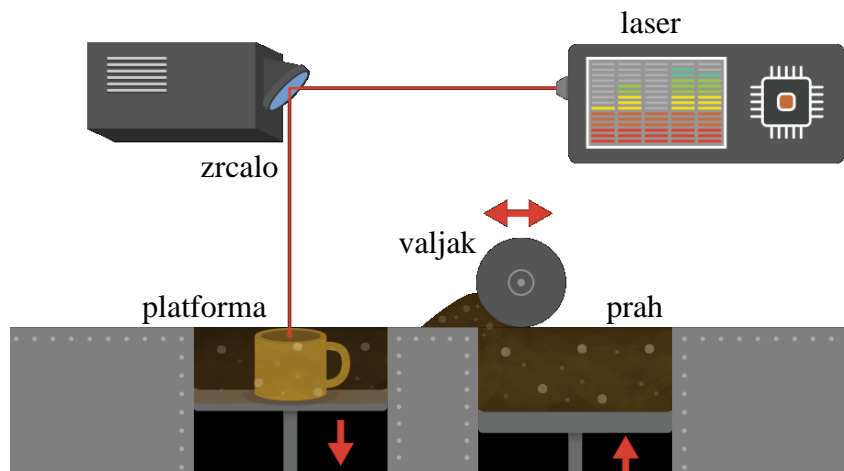
Komora za izgradnju je u potpunosti zabrtvljena kako bi se održavala potrebna temperatura specifične točke taljenja praškastog materijala prema izboru. Nakon završenog procesa, cijela posuda sa praškom je uklonjena sa stroja i višak praha se uklanja te se dobije objekt.

Srašćivanjem laserom mogu se obrađivati plastični te metalni materijali, iako kod metalnih materijala je potrebna primjena jačeg lasera i više temperature procesa. Dijelovi

dobiveni ovom tehnologijom su mnogo jači nego stereolitografijom ili digitalnom obradom svjetlošću, iako kvaliteta površine i dimenzije nisu veoma dobre.

Jedna od najvažnijih prednosti ove tehnologije je posuda sa prahom koja služi tokom procesa kao potporna struktura. Zbog ovoga, ova tehnologija omogućuje izradu složenih oblika koji se ne mogu dobiti primjenom drugih tehnologija.

Nedostatak kod ove tehnologije je primjena dugog hlađenja zbog laserskog srašćivanja. Također, već duže vrijeme je problem poroznosti kod ove tehnologije. Iako je došlo do poboljšanja kod potpuno gustih dijelova, neke aplikacije i dalje zahtijevaju infiltraciju sa drugim materijalom za poboljšanje mehaničkih svojstava.



Slika 2.1. Selektivno srašćivanje laserom.

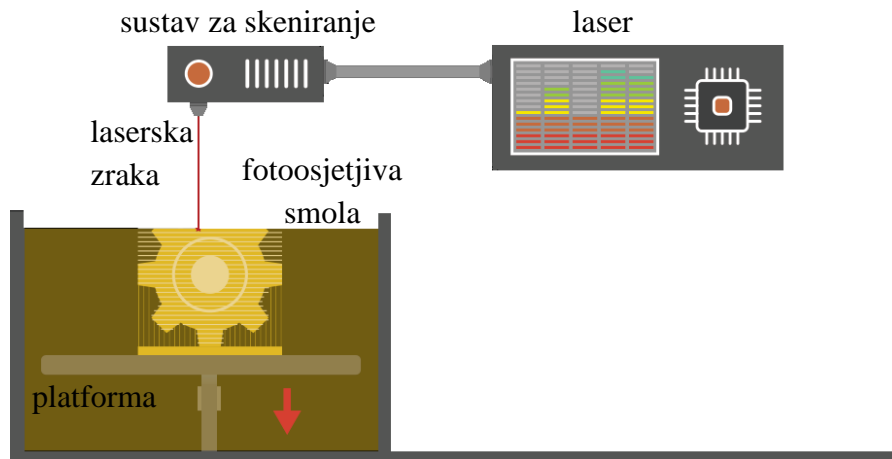
### 2.2.2. 3D printeri sa tekućim materijalom

Tehnologije 3D ispisa koje koriste tekući materijal su stereolitografija, srašćivanje taloženjem, tonografski postupak, digitalna obrada svjetlošću, itd. Kao primjer ove tehnologije može se uzeti stereolitografiju.

Stereolitografija je veoma priznata tehnologija kao prva tehnologija 3D ispisa. Stereolitografija je tehnologija koja se bazira na fotopolimernim smolama koje se stvrdnjavaju kada su izložene laserskom izvoru. Pri djelovanju lasera, fotopolimerne smole se stvrdnjavaju i dobivaju se vrlo točne dimenzije modela. To je složen proces, jednostavno prikazan pomoću bačve napunjene fotoosjetljivom smolom te pokretnom platformom iznutra. Laserska zraka se usmjerava po X i Y osi po samoj površini fotoosjetljive smole prema podacima dobivenih iz stroja, tj. STL datoteke. Fotoosjetljiva smola se stvrdnjava na mjestu koje je laserska zraka osvijetlila. Nakon što je jedan sloj gotov, platforma unutar posude se spušta po Z osi, te se dalje ponovno primjenjuju laserske zrake. Postupak se nastavlja sve dok cijeli model nije gotov nakon čega se platforma podiže i model se uklanja.

Zbog same prirode stereolitografije, potrebne su potporne strukture koje će se kasnije trebati ručno ili automatski ukloniti. Naknadna obrada često je potrebna u vidu sušenja u pećnici kako bi se smola u potpunosti stvrdnula.

Stereolitografija je općenito prihvaćena kao jedna od najpreciznijih tehnika 3D ispisa s dobrom kvalitetom površine, ali ograničava ju primjena dodatne obrade te stabilnost materijala tijekom vremena, što može dovesti do krhkosti modela.



Slika 2.2. Stereolitografija.

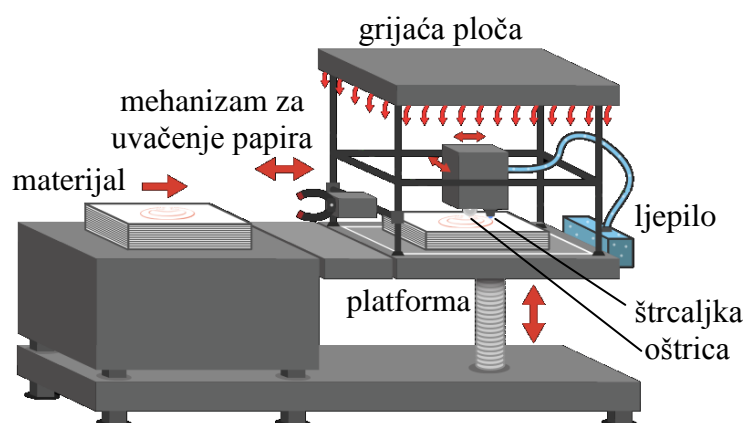
### 2.2.3. 3D printeri sa čvrstim listovima

Tehnologija 3D ispisa koje koriste čvrste listove kao materijal je laminiranje.

Laminiranje je tehnologija 3D ispisa koja slaže sloj po sloj materijala. Svaki se novi sloj spaja sa prethodnim uz pomoć ljepila, koja se dodaju prema dobivenim podacima. To upućuje na to da je puno veća gustoća ljepila na području od kojega će se dobiti završni dio, a mnogo manja gustoća se nalazi na području za potpornu strukturu, zbog čega će se moći lagano ukloniti.

Nakon dovođenja novog sloja materijala u 3D printer, koji se stavlja na vrh sloja prethodno dodanog ljepila, pomiče se do zagrijane ploče gdje se primjenjuje pritisak. Ovaj pritisak osigurava vezu između dva sloja materijala. Zatim se vraća do potrebne visine kada se uz pomoć oštrice reže list materijala, prateći obris modela za stvaranje rubova. Nakon rezanja, 3D printer polaže sljedeći sloj ljepila i tako dalje dok se ne dobije potpuni objekt.

Laminiranje je jedan od rijetkih tehnologija 3D ispisa kojim se mogu dobiti u boji 3D ispisani dijelovi, koristeći CMYK paletu boja. Budući da su dijelovi od papira, koji ne zahtijevaju naknadnu obradu, posve su sigurni i ekološki. Tehnologiju nije moguće uspoređivati s drugim tehnologijama 3D ispisa, jer je ograničena s geometrijom objekta te veličini početnog materijala.



Slika 2.3. Laminiranje.

## 2.3. Materijali za 3D ispis

Povijest materijala za 3D ispis postoji od kad i za samu tehnologiju. Trenutno je dostupan široki izbor različitih vrsta materijala u različitim oblicima- prah, filament, kuglice, smole, itd.

Specifični materijali uglavnom su razvijeni za posebne namjene sa svojstvima koji su prilagođeniji za određenu primjenu, kao primjer zubni sektor.

Međutim, sada postoji previše materijala različitih proizvođača 3D pisaa te su dalje opisane najčešće korištene.

### 2.3.1. Plastika

Najlon ili poliamid se često koristi u obliku praha za tehnologiju sinteriranja ili u obliku filameta za tehnologiju srašćivanja taloženjem. To je snažan, fleksibilan te izdržljiv plastični materijal koji se pokazao veoma pogodan za 3D ispis. Prirodno je bijele boje, ali ga j moguće obojati prije ili poslje ispisa. Materijal se može kombinirati (kao prah) sa prahom aluminijsa kako bi se dobio novi materijal za 3D ispisa za tehnologiju sinteriranja- *eng.* alumide.

ABS (akrilonitril-butadien stirel) je još jedan uobičajen plastični materijal za 3D ispis, te se u velikim količinama koristi za tehnologiju srašćivanja taloženjem u obliku filameta. To je jaka plastika i postoji u širokom rasponu boja. ABS se može kupiti u obliku vlakana od brojnih dobavljača, što predstavlja još jedan razlog zašto je toliko popularan.

PLA (poliaktid) je biorazgradivi plastični materijal koji se koristi u obliku smole za tehnologiju stereolitografije i tehnologiju digitalne sjetlosne obrade ili u obliku filameta za

tehnologiju sršćivanja taloženjem. Postoji u različitim bojama te proziran koji se pokazao kao korisna ideja za neke tehnologije 3D ispisa. PLA nije izdržljiv i fleksibilan poput ABS.

LayWood je posebno razvijen materijal za 3D ispis kod tehnologija istiskivanja materijala. To je smjesa drva i polimera te je u obliku filameta (poznat kao WPC- *eng.* Wood plastic composite).

### **2.3.2. Metali**

Sve veći broj metala i metalnih kompozita se primjenjuje u industriji 3D ispisa. Dva najčešća su aluminij i derivati kobalta.

Jedan od najjačih i zbog toga najviše primjenjen metal u 3D ispisu je nehrđajući čelik u obliku praha za tehnologije sinteriranja i taljenja praha elektronskim snopom. Prirodno je srebrne boje, ali se može obložiti s drugim materijalima i dobiti boju zlata ili bronce.

U posljednjih nekoliko godina zlato i srebro se dodaju u metalne materijale koji se mogu primjenivati u tehnologijama 3D ispisa, ponajviše u sektoru nakita. Oba materijala su vrlo jaka i obrađuju se u obliku praha.

Titan je jedan od najjačih mogućih metalnih materijala primjenjenih za industrijsku primjenu 3D ispisa u naredno neko vrijeme. Koristi se u obliku praha i primjenjuje se za tehnologiju sinteriranja, taljenja i EMB.

### **2.3.3. Keramika**

Keramika je relativno nova skupina materijala koji se mogu primjenjivati za 3D ispis s različitim razinama uspjeha. Važnost kod keramičkih materijala je nakon 3D ispisa, da keramički dijelovi moraju proći isti proces kao i bilo koji drugi dio keramike izrađen tradicionalnom metodom proizvodnje- pečenje i glaziranje.

### **2.3.4. Papir**

Standardni A4 papir za kopiranje je materijal za 3D ispis korišten od strane vlasničkih tehnologija laminiranja isporučeno od Mcor Technologies. Tvrtka ostalim dobavljačima 3D ispisa nudi drukčiji poslovni model, gdje je glavni trošak stroj srednje vrijednosti, s naglaskom da se lako nabavlja. Materijali su ekonomični i mogu se kupovati na lokalnoj razini. Objekt dobiven 3D ispisom papira je siguran, ekološki, jednostavno recikliran te ne zahtijeva naknadnu obradu.



### ***2.3.5. Bio materijali***

Postoji veliki broj istraživanja koji se provode za mogućnost 3D ispisa bio razgradivim materijalom za niz medicinskih i drugih primjena. Živo tkivo istražuje veliki broj institucija s ciljem razvoja tehnologija koje uključuju tiskanje ljudskih organa za transplataciju te vanjskih tkiva za zamijenu dijelova tijela. Druga istraživanja na ovom polju su usmjerena na razvoj hranidbenih namirnica.

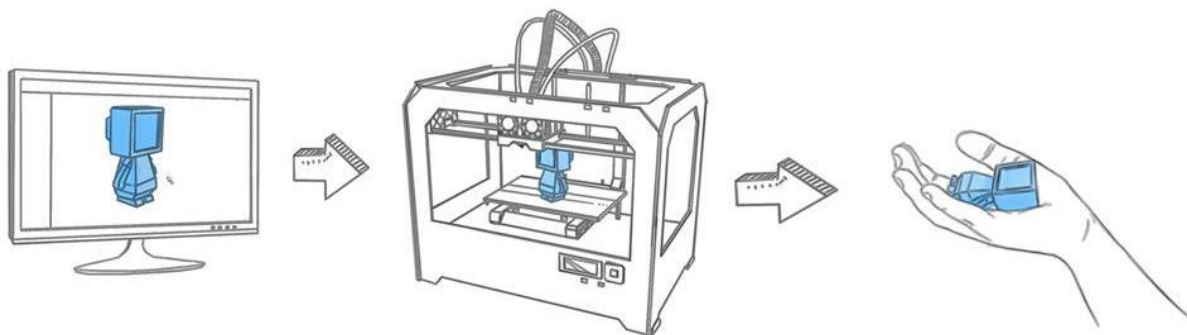
### ***2.3.6. Hrana***

Ekperimenti s istiskivanjem hrane za 3D ispis sve se više povećava tijekom godina. Čokolada je najčešći i najpoželjniji materijal. Testiraju se 3D printeri koji rade sa šećerom, dok neki eksperimentiraju sa tjesteninom i mesom. Gledajući u budućnost, povećava se broj istraživanja za iskorištavanje tehnologije 3D ispisa za dobivanje cijelog uravnoteženog obroka.

## 3. UREĐAJI ZA 3D ISPIS

### 3.1. Proces 3D ispisa

Svim tehnologijama 3D ispisa je zajedničko što se sastoji od tri procesa: 3D modeliranje, 3D ispis i završna obrada, kao što je to prikazano na slici 3.1.



Slika 3.1. Proces 3D ispisa.

Tehnologija 3D ispisa može se podijeliti u 8 koraka: 1. izrada 3D modela, 2. pretvorba modela u STL datoteku, 3. premještanje STL datoteke na stroj, 4. namještanje 3D printera, 5. ispis, 6. uklanjanje objekta, 7. naknadna obrada (ukoliko je potrebna) i 8. primjena objekta.

#### 3.1.1. 3D modeliranje

Proces za dobivanje opipljivog objekta uz pomoć ispisa 3D printera započinje sa 3D modeliranjem, tj. procesom razvoja matematičkog prikaza bilo koje površine trodimenzionalnog objekta pomoću specijaliziranog softvera koji ga prikazuje na ekranu. Modeliranjem se dobije 3D model. Moguće je prikazati ga kao dvodimenzionalnu sliku uz pomoć procesa zvanog 3D renderiranje ili se koriste računalne simulacije.

3D modeli predstavljaju 3D objekte pomoću skupa točaka u 3D prostoru, spojene geometrijskim entitetima kao što su trokuti, linije, zakrivljene površine itd. Skupljanjem podataka o točkama te drugim informacija, 3D modeli mogu biti izrađeni ručno, algoritamski (proceduralno modeliranje) ili skenirajući.

3D modele se može podijeliti u dvije kategorije:

- **čvrsti:** ovi modeli definiraju volumen objekta kojeg oni predstavljaju, poput stijene. Realniji su modeli te ih je teže napraviti. Čvrsti modeli se najčešće koriste za nevizualne simulacije kao medicinske i inženjerske simulacije, za CAD i specijalizirane vizualne aplikacije poput praćenja zraka.

- **ljuska/granica:** ovi modeli predstavljaju površinu, granicu objekta, a ne njegov volumen, kao beskonačno tanke ljuske jajeta te su lakše za izraditi od čvrstih modela.

S obzirom da izgled objekta ovisi najviše o vanjskom dijelu objekta, rubni prikazi su uobičajeni u računalnoj grafici. Dvodimenzionalne površine su dobra analogija za objekte koji koriste grafiku. Budući da površine nisu konačne, digitalnoj aproksimacije treba: poligonalna mreža i u manjoj mjeri pregrađene površine, koja se najčešće koristi kod prikazivanja, i sve popularnije u zadnjim godinama point-based prikazivanje.

U današnje vrijeme postoji nekoliko načina modeliranja od kojih su najpopularniji u zadnje vrijeme:

- **poligonalno modeliranje:** u 3D prostoru su prikazane točke koje se povezuju linijama stvarajući poligon. Većina 3D modela je izgrađena uz pomoć ovog načina zbog fleksibilnosti i brzine rada. Nedostatak je to što su poligoni ravni i nije moguće detaljno prikazati zakrivljene površine. Poligon sa tri povezane točke naziva se trokut, a sa četiru je praokutnik koji se češće koristi.
- **NURBS modeliranje** (*eng.* Non-Uniformal Rational Bezier Splines): upotrebljava krivine te se sastoji od kontrolnih točaka nudeći parametar "težine". Postupkom povećavanja težine u blizini kontrolne točke time će se približiti krivinu bliže navedenoj.

CAD (*eng.* Computer-aided design) je projektiranje sa pomoću računala. Koristi se računalni sustav za stvaranje, modificiranje, analiziranje ili optimizaciju modela. Modeliranje se može obavljati uz pomoć primjerenog programa (Cinema 4D, formZ, Maya, 3DS Max, Blender, Lightwave, Modo, solidThinking, itd.) ili dijela aplikacije (Shaper, Lofter u 3DS Maxu, itd.) ili nekog jezika (POV-Ray). U nekim slučajevima, nema razlike između tih faza te je u takvim slučajevima modeliranje samo dio procesa stvaranja.

3D skeniranje je proces kojim se analiziraju i prikupljaju digitalni podaci o izgledu i obliku pravog objekta. Nakon skupljenih podataka, trodimenzionalni model skeniranog objekta je moguće ispisati.

Kod modeliranja potrebno je da je model u potpunosti matematički definiran, da linije i ravnine nisu prekinute te da nema sličnih anomalija. Potrebno je paziti na to da se 3D stolni pisači ne mogu nositi sa izrazito tankim stijenkama.

### 3.1.2. 3D ispis

3D printeri ne prepoznaju format STL, nego samo G-kod koji je programski jezik za sve numeričko upravljane uređaje.

Prije samog ispisa 3D objekta, STL datoteke moraju proći kroz korak "fixup" gdje se ispituju "mnogostruke pogreške", npr. nepovezane površine. Modeli dobiveni 3D skeniranjem imaju najviše ovakvih grešaka.

Sljedeći korak je obrada STL datoteke sa komadom softvera "slicer". Pretvara se model u niz tankih slojeva stvarajući G-kod datoteku koja ima prilagođene upute za 3D printer. Sada se G-kod datoteka može ispisati sa klijentom softvera 3D printera koji učitava G-kod za usmjeravanje 3D printera tokom ispisa. Često su klijent softvera i slicer u kombinaciji u jednom programu. Postoje nekoličina otvorenih source slicer programa poput Skeinforge, Slic3r i Cura te zatvorenih source programa poput Simplify3D i KISSlice. Primjer za 3D printni klijent je Repetier- Host, ReplicatorG i Printron/Pronterface.

Postoji još jedan komad softvera kojega ljudi često koriste tijekom 3D ispisa pod imenom Gcode preglednik. Ovaj softver omogućuje ispitivanje rute pomaka ispisne glave printera. Omogućuje da se tijekom praćenja ispisa mijenja G-kod. Primjer ovog komada softvera su Gcode Viewer for Blender i Pleasamt3D.

3D printer prati upute G-koda te polaže uzastopno slojeve tekućine, praha, papira ili materijala za izgradnju objekta. Materijali poput plastike, pijeska, metala te čak i čokolade se mogu istisnuti kroz mlaznicu za ispis. Ovi slojevi, koji odgovaraju virtualnim poprečnim presjecima CAD modelu, spojeni su ili automatski skrućuju kako bi se stvorio konačni oblik. Ovisno o tome što 3D printer ispisuje, proces može trajati nekoliko minuta ili dana. Glavna prednost ovog postupka je mogućnost dobivanja gotovo svih najzahtjevnijih oblika.

### **3.1.3. Završna obrada**

Rezolucija objekata dobivenih 3D ispisom je u većini slučajeva dovoljna, ali ukoliko je potrebna veća, objekti se podlažu daljnim procesima. Primjenjuju se procesi kojima se dobiva veća preciznost objekata.

Neke tehnike 3D ispisa mogu koristiti više materijala tijekom ispisa dijelova. Ove tehnike omogućuju ispis objekata u više boja i njihovih kombinacija istovremeno, što na kraju dovodi da nije potrebno bojati objekt.

Neke tehnike 3D ispisa zahtijevaju potporne strukture koje služe kao podloga za daljnji ispis. Nakon završetka ispisa objekta, potporne strukture će se ukloniti mehanički ili otapanjem.

Svi komercijalni 3D printeri za ispis metalnih objekata omogućuju i rezanje metalnih komponenti poput metalnih podloga nakon taloženja.

## 3.2. Osnovni dijelovi 3D printera

### Ispisna glava

3D printeri koji rade na principu tehnologije koja topi materijal imaju ispisnu glavu te se još naziva i *hot head*, zbog grijača koje sadrži. Temperatura do koje će se zagrijati ovisi o žici. Montira se na šipke koje omogućavaju pomak po najmanje dvije osi. Kod nekih modela 3D printera, blizu se nalazi ventilator za odvođenje zaostale topline i ubrzavanje skrućivanja.

### Ekstruder

Ekstruder je mehanizam koji dostavlja sirovinu u ispisnu glavu. Pokreće se uz pomoć koračnog motora te njegova brzina ovisi o brojnim parametrima, kao promjer filameta ili debljine ispisnog sloja. Ekstruder se kod nekih modela nalazi pored ispisne glave, a kod drugih u blizini mjesta gdje dolazi filament.

### Graničnik

Graničnik se naziva i *end stop* zbog njegove uloge. Nalazi se na početku ili kraju jedne osi kretanja ispisne glave, a označuje točke preko koje nema gibanja. Prije ih se koristilo šest, dok danas se granica kretanja definira softverski. Postoje optički i mehanički graničnici.

### Izvor svjetlosti

3D printeri koji rade na principu tehnologije koja primjenjuje svjetlost za skrućivanje materijala ima neki izvor svjetlosti. Primjenjuje se laser, svjetlosni izvor ili izvor električnih zraka. Ovisno o izvoru i tehnologiji koja se primjenjuje, potrebno je usmerivati zrake te se to odvija uz pomoć leće ili ogledala.

### Platforma

Platforma je podloga na kojoj se izvršava 3D ispis i dobiva završni objekt. Uglavnom se pomiče barem po jednoj prostornoj osi. Većinom se proizvodi od pleksiglasa na koju se stavlja traka koja onemogućuje ljepljenje objekta na samu platformu.

### Kotroler

Kontroler je elektronički sustav koji kontrolira kretanje ispisne glave po prostornim osima, termostatsko upravljanje grijača u ispisnoj glavi i koračnog motora ekstrudera. Moguće je da su već unaprijed ugrađeni i programirani, ali nije ponekad nisu. Kao primjer je projekt RepRap, kada se primjenjuje hardverska arhitektura Arduino te dodatak RAMPS koji kontroleru dodaje funkcije za obavljanje 3D ispisa. Kontroler koji je takav, potrebno je najprije ručno programirati, unosom radnih parametara i presnimavanjem u firmware kontrolera. Na taj se način kalibrira i printer.

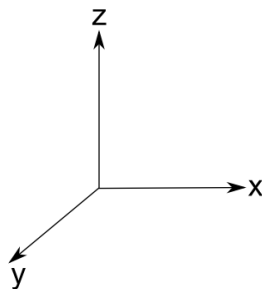
## Kontroler s LCD-om

Kontroler s lcd-om nije potreban, jer 3D printer može raditi i bez toga, ali omogućuje ispis bez računala. Model objekta koji se nalazi u G-kodu potrebno je staviti na SD karticu, koju se stavlja u kontroler. Također, kontroler s LCD-om omogućava praćenje 3D printera kao i ubrzavanje, usporavanje ili pauziranje ispisa po potrebi te slične mogućnosti.

### 3.3. Uređaji dostupni na tržištu

Karakteristike 3D printera su brzina ispisa objekta, trošak koji se izražava u cijeni po volumenu, preciznost i točnost ispisa, svojstva materijala, mogućnost ispisa boja i rezolucija.

Glavna karakteristika 3D ispisa je rezolucija. Ona predstavlja najmanju veličinu elementa koju se može ispisati 3D printerom. Pod pojam rezolucije, spada debljina sloja te veličina voksel. Voksel je trodimenzionalni ekvivalent pojma piksela. Poput piksela, malih 2D točkica, kod klasičnih printera, kod 3D printera se otisak sastoji od voksel, malih 3D točkica. U 3D ispisu, objektima se dodaju osi X za širinu, Z za visinu i Y za dubinu.



Slika 3.2. Osi za pomak ispisne glave.

Kategorije 3D printera prema boji: printeri koji ispisuju u izabranoj boji, printeri koji mogu ispisati objekt u nekoliko boja te printeri koji mogu ispisati objekte u tisućama boja.

Najčešće se 3D printeri dijele prema karakteristikama te se dijele u dvije kategorije: industrijski i potrošački orijentirani 3D printeri.

#### 3.3.1. Industrijski 3D printeri

Tehnologija postavljanja slojeva razlikuje se prema materijalu koji se primjenjuje, neovisno dali je industrijski i komercijalni 3D printer. 3D printeri su u industriji oko 25 godina za brzu izradu prototipova, a kasnije se koriste za brzu proizvodnju proizvoda u malim serijama. Generalno gledajući, ovi su printeri preskupi, nisu jednostavni za koristiti te su

velikih dimenzija što predstavlja nedostatke. Prednosti su njihova brzina rada, mogućnost ispisa u bojama te kopija objekta u jednom printu. S njima je moguće dobiti 3D objekt iz različitih materijala. Proizvođači industrijskih 3D printera su: Stratasys i 3Dsystems.



Slika 3.3. ProJet 660Pro, 3D Systems.

Ovaj model ispisuje objekte u boji za profesionalnu primjenu. Idealan je za dobivanje modela za trgovine, arhitekturu, dizajniranje te razvoj potrošačkih proizvoda, itd. Specifikacije uređaja su:

- tehnologija: naštrcavanje materijala
- materijal: gips
- max. veličina objekta: 254 mm x 381 mm x 203 mm
- min. debljina sloja: 100 mikrona
- brzina ispisa: 28 mm/h



Slika 3.4. Primjer isprintanog objekta.

### ***3.3.2. Potrošački orijentirani 3D printeri***

Trend su osobni te potrošački orijentirani 3D printeri koji se nazivaju desktop 3D printeri. Na tržištu se nalaze nekoliko godina, a prvi su ih primjenjivali tehničari i ljubitelji u elektroniku. Tehnologija, kao i softveri za ove strojeve brzo napreduju, zahvaljujući

eksperimentima proizvođača, entuziastima i raznim *open source* skupinama. U današnje vrijeme su stolnih veličina, a cijena im značajno pada te stručnjaci očekuju da će ubrzo biti usvojeni na većoj razini potrošača. Njihove karakteristike nisu kao kod industrijskih 3D printera, te su usmjereni za hobije i entuzijaliste. Uglavnom kao materijal primjenjuju termoplastike.

Proizvođači potrošački orijentiranih 3D printera su: RepRap, Makerbot Industries, Ultimaker i Fab@Home.



Slika 3.5. Ultimaker 2, Ultimaker.

Ovaj model je višenamjenski 3D printer. Najviše ga koriste entuzijalisti. Dolazi s opremom sa grijućom platformom. Specifikacije ovog uređaja su:

- tehnologija: srašćivanje taloženjem
- materijal: ABS, PLA
- max. Veličina objekta: 230 mm x 225 mm x 205 mm
- min. Debljina sloja: 20 mikrona
- brzina ispisa: 30-300 mm/ s



Slika 3.6. Primjer isprintanog objekta.



### 3.4. *Open source* projekt RepRap

*Open source* projekt RepRap (*eng.* REplicating Rapod Protoryper) započeo je sa radom 2005. godine. Do danas su stvorili četiri stolna 3D printera koji se izdaju pod otvorenom i besplatnom licencom GNU (*eng.* General Public License). Njihovi 3D printeri mogu ispisati većinu dijelova od kojih su sastavljeni, po čemu je projekt karakteriziran. Moguće je replicirati plastične komponente i to oko 60% cijelog printera.

U praksi, vlasnik prema smjernicama projekta RepRap izradit će svoj 3D printer koji će moći iskoristiti za proizvodnju plastičnih dijelova za repliciranje istog printera. Od jednog kilograma filameta, topive plastike u obliku žice, moguće je dobiti plastične dijelove za oko četiri nova printera, sa troškom oko dvjesto kuna. Za dobivanje kompletnog printera, potrebno je kupiti metalne dijelove- šipke i zgobove, elektroničke dijelove- komunikacija između printera i računala te upravljanje ispisnom glavom u tri dimenzije, sa troškom oko 1 500 kuna, ispisnu glavu za otapanje sirovine u iznosu od 150- 800 kuna i par koračnih motora od oko 200 kn. Tako dobiven 3D printer se može dalje prodavati i time pokriti troškove originalnog primjerka.

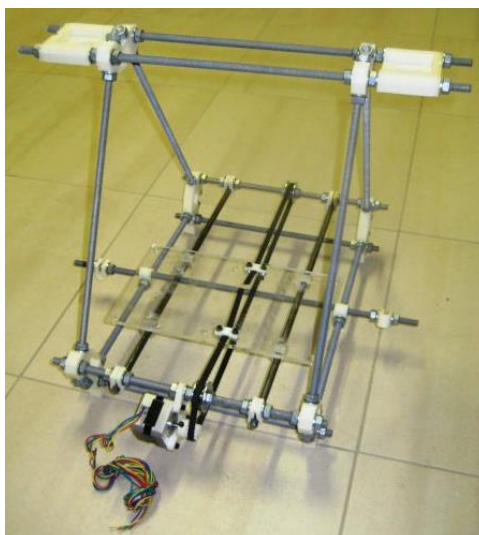
Koncept same distribucije proizvodnje te rada sa otvorenom licencom GNU GPL ima veliku prednost kod nadogradnje uređaja: ukoliko netko pronade način da promjenom nekog parametra plastičnog dijela poboljša brzinu ili preciznost 3D printera, svaki vlasnik nekog takvog uređaja u mogućnosti je digitalnim putem preuzeti model poboljšanog dijela, ispisati ga i ugraditi na mjesto postojećeg. Time se dobiva efektivno poboljšani printer.

#### 3.4.1. *Model RepRap Prusa Mendel*

Okvir daje 3D printeru formu. Na njega se dodaju koračni motori za pomak po tri osi. Okvir se sastoji od navojnih šipki spojenih zajedno s ispisnim dijelovima- nazivaju se vrhovi. Također sadrži tiskane dijelove za održavanje te kontrolu Y i Z osi. Na gornjem lijevom i desnom dijelu vide se ispisani dijelovi za zadržavanje motora na Z osi. Dodane su glatke šipke za Y (vodoravne šipke) i Z (vertikalne šipke) osi.

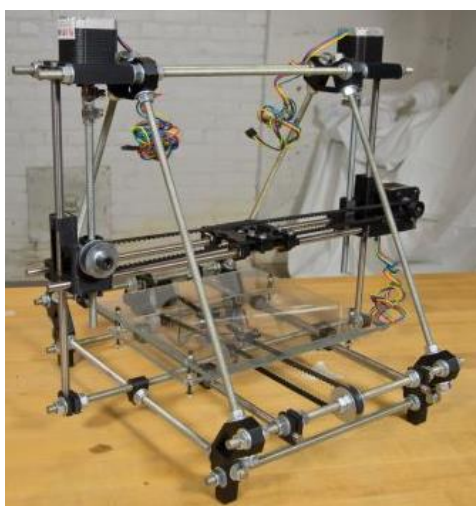


Slika 3.6. Okvir 3D printera.



Slika 3.7. Okvir 3D printera sa platformom na Y-osi.

Montira se platforma na šipke Y-osi. Y os ima jedan stupanj slobode i može se kretati između prednje i stražnje strane okvira. Y os kotrolira pojas pričvršćen na motor s remenicama.



Slika 3.8. Okvir 3D printera sa Y, Z i X osi.

Na slici 3.8. prikazan je model RepRap Prusa Mendel s okvirom s Y, Z i X osi. Z i Y osi su dio iste konstrukcije. Z os pomiče X os gore i dolje po okviru, a X os pomiče ekstruder lijevo i desno unutar okvira.

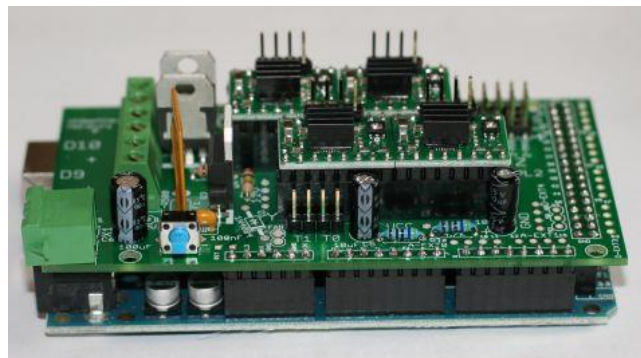
Ispis objekta se odvija na platformi. Tri osi se mogu kretati istovremeno, zbog čega se ispisna glava može kretati iznad platforme u području 200 mm po širini, 200 mm po dubini i 100 mm po visini. Platforma se montira na četiri zavoјite šipke kako bi se lako podešavala.

Na nju se stavlja zagrijani ležaj kako bi se smanjilo moguće savijanje na ispisanim dijelovima uzrokovano nejednakim hlađenjem vanjskih i unutarnjih ispisnih dijelova. Moguće je zagrijati ležaj do 100° C.



Slika 3.9. Platforma.

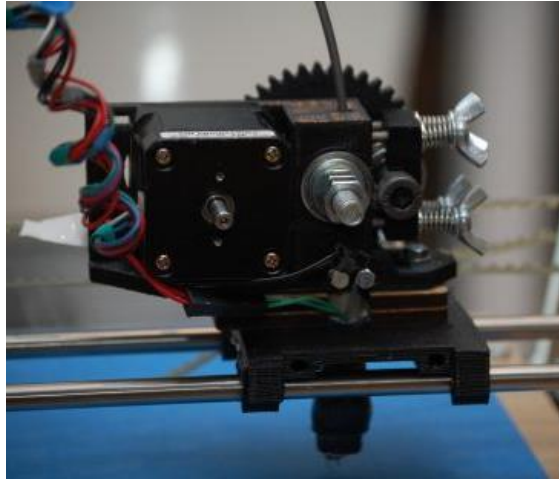
Elektroničke ploče kontroliraju proces ispisa. Nekoliko elektroničkih mogućnosti postoji za RepRap printere.



Slika 3.10. Elektronička ploča.

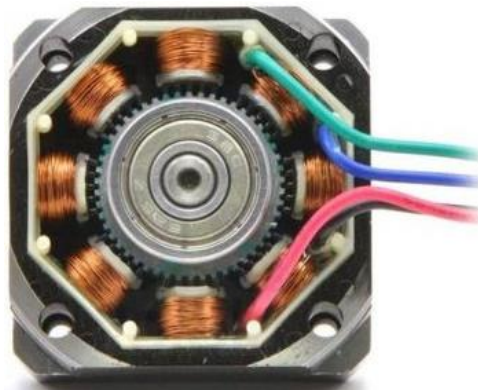
RepRap elektronička ploča ima sljedeće funkcije:

- precesiranje uputa G-koda
- kontroliranje rad motora
- kontroliranje temperature vrućeg kraja ekstrudera
- kontroliranje krajnje točke pomaka po osi
- kontrolirane temperature grijućeg ležaja



Slika 3.11. Ekstruder.

Model RepRap Prusa Mendel je opremljen s ovim ekstruderom. Ekstruder se sastoji od dva dijela: hladnim gornjim dijelom koji dovodi filament i vrućim donjim dijelom koji topi i ekstrudira filament. Ekstruder se montira na X os.

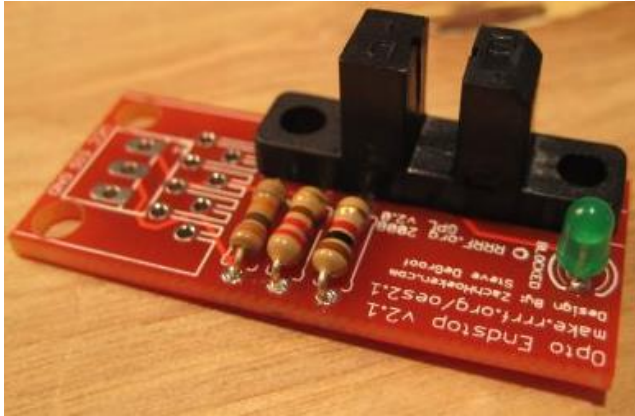


Slika 3.12. Koračni motor.

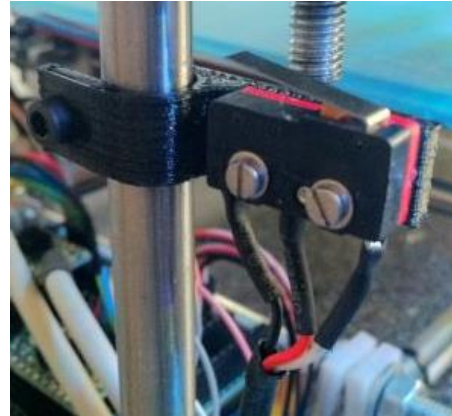
Postoji pet motora na printeru: jedan kontrolira Y os, jedan kontrolira X os, dva kontroliraju Z os i jedan kontrolira ekstruder. Svih pet motora na printeru ne moraju biti isti, osim dva motora koji kontroliraju Z os moraju biti identični.

Graničnik može biti optički ili mehanički. Nakon što se spoje dijelovi, prije samog početka ispisa, sve tri osi moraju biti namještene na početni položaj. To je nulta pozicija, te se osi ne mogu pomaknuti dalje od te točke.

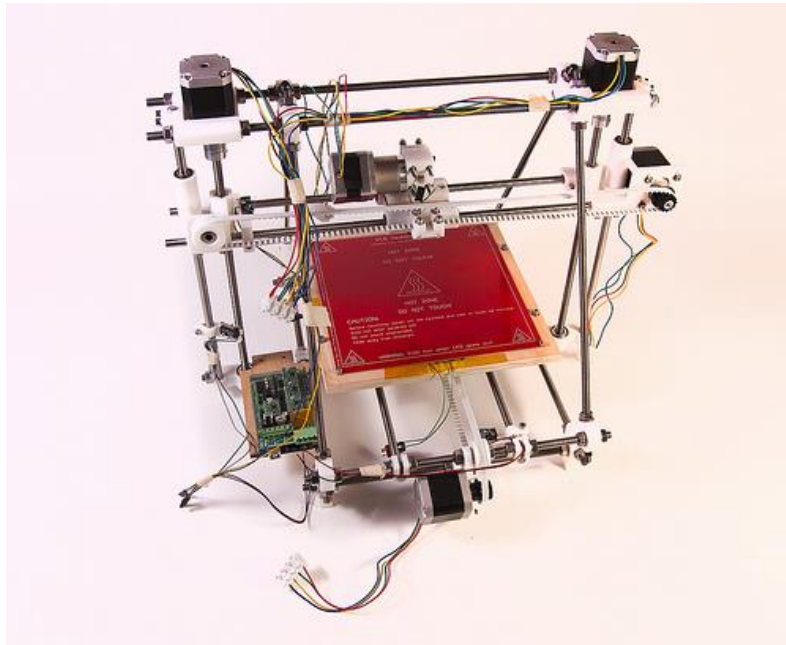
Kako bi se to postiglo, treba instalirati graničnik za svaku os. Graničnik se instalira na mjesu gdje os ne smije ići dalje: za X os treba staviti gdje mlaznica dosegne lijevu stranu sa platformom, za Y os treba biti na stražnjoj strani osi, tako da se platforma pomakne dovoljno daleko da mlaznica može ispisivati na početak platforme, a za Z os bi trebalo biti na položaju u kojem mlaznica jedva dodirne platformu.



Slika 3.12. Optički graničnik.



Slika 3.13. Mehanički graničnik.



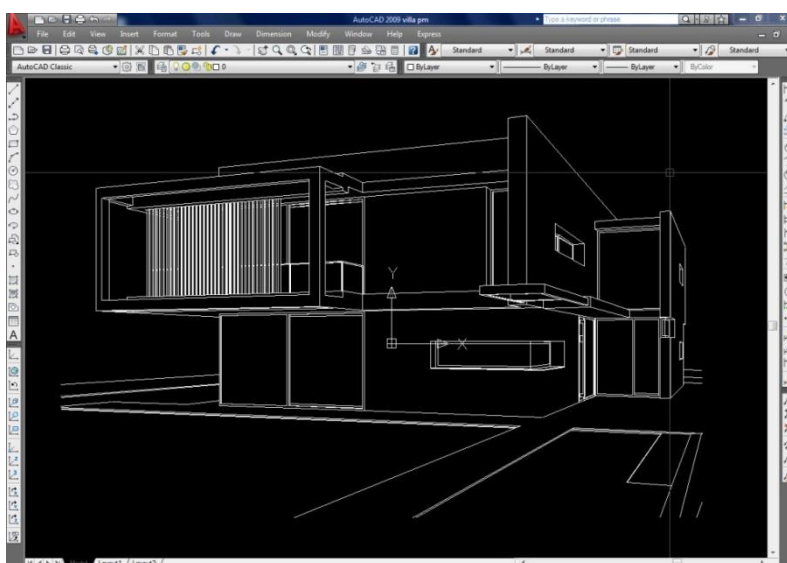
Slika 3.14. Model RepRap Prusa Mendel.

## 4. PRIMJERI 3D ISPISA

Proces 3D ispisa započinje sa prvom fazom koja je pretvaranje ideje u digitalni model uz pomoć računala, skenirajući željeni objekt ili direktnim pisanjem G-koda. Iduća faza je prijenos G- koda na uređaj za ispis te slijedi ispis i po potrebi naknadna obrada nakon čega se dobiveni objekt može koristiti.

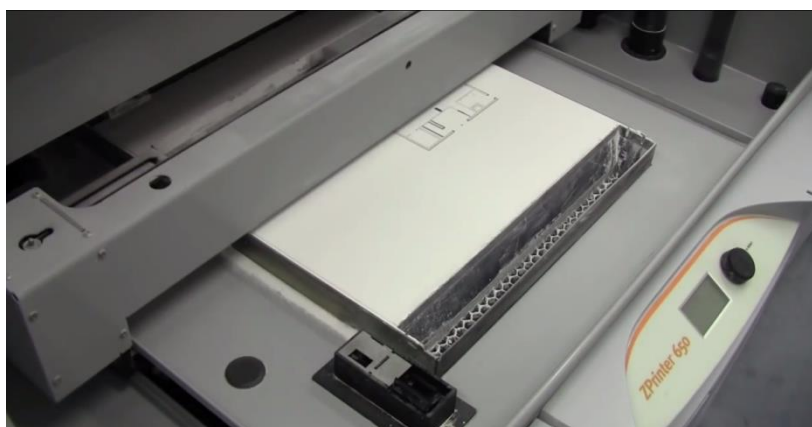
### 4.1. 3D ispis modeliranjem uz pomoć računala

Bilo koji program da se izabere za 3D modeliranje, omogućuje da se stvori virtualni nacrt objekta koji se želi ispisati. Program nakon toga dijeli objekt u digitalne presjeke.



Slika 4.1. Modeliranje u programu.

Nakon što se završi modeliranje, šalje se na 3D printer u obliku .STL datoteke i kreće ispis.



Slika 4.2. Ispis objekta.



Slika 4.3. Ispisani objekt.

## 4.2. 3D ispis skeniranjem objekta

Skeniranjem postojećeg objekta uz pomoć 3D skenera, dobiva se model koji se prikazuje na računalu.



Slika 4.4. Skeniranje postojećeg objekta.



Slika 4.5. Model na računalu.

Nakon što se dobije model, pretvara se u .STL datoteku i šalje na 3D printer gdje se ispisuje.



Slika 4.6. Ispisani objekt.

### 4.3. 3D ispis pisanjem G- koda

U konačnici, sam ispis će se kontrolirati putem G- koda. Nije potrebno uvijek pisati vlastiti kod, ali je korisno znati osnove kako bi se moglo analizirati mogući problemi koji se stvore pri ispisu. 3D pinter ispisuje objekt prema napisanim linijama G- koda od početka prema kraju.

G- kod se sastoji od naredbi kojima se upravlja proces ispisa. G- kod se analizira red po red, ali je nemoguće vizualizirati konačni proizvod kao kod drugih načina modeliranja. Više naredbi je moguće pisati u jednom redu, iako ponekad to nema smisla. Mnoge naredbe sadrže argumente koje služe kao koordinate. Dalje su opisane osnovne naredbe.

```
G1 X-9.2 Y-5.42 Z0.5
```

Slika. 4.7. G- kod

- G1- naredba za pomak
- X-9.2 Y-5.42 Z0.5- argumenti naredbe, daju koordinate za pomak po X, Y i Z osi
  - u ovom slučaju se po X osi pomiče 9,2 mm u lijevo, po Y 5,42 mm naprijed i po Z osi 0,5 mm dolje
- F 3000.0- frekvencija kretanja motora izražena u mm/ min
  - u ovom slučaju radi na 3000 mm/ min, a dalje varira ovisno o G- kodu
- E 0.0377- kontrolira količinu ekstrudiranja materijala



Najbitniji dio G- koda je početni. Početni G- kod opisuje početne uvjete svakog ispisa i određuje koji koordinatni sustav se koristi, kao na slici 4.7. Ovaj dio G- koda je osnovni i temeljni dio.

```
G21
G91
```

Slika 4.8. Početni G- kod.

- G21- naredba za postavljanje jedinice u milimetrima
- G 91- naredba za inkrementalni koordinatni sustav

```
G1 X200 F3000
G1 Y200 F3000
```

Slika. 4.9. G- kod za max. pomak

- naredbe za max. pomak su na slici 4.9.; ispis ima ukupnu dužinu i visinu 150 mm, a max. pomak je dopušten za 200 mm

```
G1 X-82 Y-76 F3000
G1 Z-200 F500
```

Slika 4.10. G-kod za zaustavljanje

- naredbe na slici 4.10. zadaju udaljenost od krajnjih točaka zaustavljanja do centra

```
G90
G92 X0 Y0 Z0 E0
```

Slika 4.12. G-kod za pozicioniranje

- G 90- naredba za apsolutni koordinatni sustav
- G 92- naredba za pozicioniranje; X je 0, Y je 0, Z je 0 i E je 0

```

G21
G91
G1 X200.0 F3000
G1 Y200.0 F3000
G1 X-82.0 Y-76.0 F3000
G1 Z-200.0 F500
G90
G92 X0 Y0 Z0 E0
G90
G21
S1.0
S2.1
M104 S190.0
M104 S188.004
S0.004175
G1 X-20.31 Y-11.06 Z0.2 F2400.0
G1 F600.0
G1 E0.65
G1 F2400.0
G92 E0
G1 X-20.27 Y-10.75 Z0.2 F5.9648 E0.0132
G1 X-20.39 Y-10.54 Z0.2 F5.9648 E0.023
G1 X-20.5 Y-10.49 Z0.2 F5.9648 E0.0282
G1 X-20.49 Y-10.69 Z0.2 F5.9648 E0.0366
G1 X-20.53 Y-10.8 Z0.2 F5.9648 E0.0416
G1 X-20.41 Y-10.96 Z0.2 F5.9648 E0.0501
G1 X-20.34 Y-11.15 Z0.2 F5.9648 E0.0585
G1 X-20.31 Y-11.12 Z0.2 F5.9648 E0.0602
G1 X-20.31 Y-11.06 Z0.2 F5.9648 E0.0626
G1 F600.0
G1 E-0.5374
G1 F5.9648
M104 S190.0
S2.1
G1 X-8.71 Y-6.17 Z0.5 F3000.0
G1 F600.0
G1 E0.1126
G1 F3000.0
G92 E0
G1 X-9.2 Y-5.42 Z0.5 F3000.0 E0.0377
G1 X-9.5 Y-5.27 Z0.5 F3000.0 E0.0515
G1 X-9.7 Y-4.93 Z0.5 F3000.0 E0.0683
G1 X-9.7 Y-4.72 Z0.5 F3000.0 E0.077
G1 X-9.75 Y-4.59 Z0.5 F3000.0 E0.0827
G1 X-10.33 Y-3.68 Z0.5 F3000.0 E0.1282

```

Slika 4 .13. Dio G- koda jednog programa

## 5. ZAKLJUČAK

3D ispis je dobivanje trodimenzionalnog objekta primjenom izabrane tehnologije ispisa. Ova tehnologija je relativno nova te je još uvijek u fazi razvoja. U današnje vrijeme ova tehnologija nije široko rasprostranjena, već se primjenjuje u tek nekoliko područja, što će se zasigurno u budućnosti promijeniti. Daljnji razvoj prethodno opisane tehnologije omogućiti će primjenu 3D printera široj publici, čime će ista postati dostupna kućanstvima i općenito pristupačnija običnom čovjeku.

U budućnosti, širokom primjenom 3D ispisa mogu se očekivati velike promjene u svakodnevnom životu, što će uvelike promijeniti i olakšati pristupačnost dobivanja novih predmeta.

## 6. LITERATURA

- [1] <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/>
- [2] <http://3dprintingfromscratch.com/common/3d-printing-process/>
- [3] <http://3dfactory.co.il/wp-content/uploads/2013/10/3d-process-2.jpg>
- [4] [http://hr.wikipedia.org/wiki/3D\\_modeliranje](http://hr.wikipedia.org/wiki/3D_modeliranje)
- [5] [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_modeling](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling)
- [6] [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing)
- [7] <http://www.3dsystems.com/landing/3dp-buyers-guide/resources/3D-Printer-Buyers-Guide.pdf>
- [8] <http://www.3dfarma.hr/kategorija-blog>
- [9] <http://reprapme.com/author/mint/>
- [10] <http://www.3dporta.hr/index.php/materijali/item/140-%C5%A1to-je-3d-printanje.html>
- [11] <http://www.3ders.org/3d-printing-basics.html>
- [12] <https://www.3dhubs.com/3d-printers>
- [13] <https://reprapbook.appspot.com/#d0e148>
- [14] <http://rasterweb.net/raster/projects/reprap/>
- [15] <http://mashable.com/2013/03/28/3d-printing-explained/>
- [16] <https://www.youtube.com/watch?v=NPYFDYzYfAw>
- [17] <http://wiki.solidoodle.com/gcode-guide>