

# 3D štampa

Seminarski rad u okviru kursa  
Tehničko i naučno pisanje  
Matematički fakultet

Nevena Miletić  
mi22193@alas.matf.bf.ac.rs

Matija Todorović  
mi22282@alas.matf.bf.ac.rs

Đorđe Sajić  
mi22237@alas.matf.bf.ac.rs

Relja Gajić  
mi22131@alas.matf.bf.ac.rs

10.novembar 2022.

## Sažetak

U ovom radu pokušaćemo da vam približimo pojam 3D štampe kao moderne tehnologije za proizvodnju trodimenzionalnih objekata. 3D štampa predstavlja generalno brže, jeftinije i lakše rešenje od drugih tehnologija proizvodnje 3D objekata. U nastavku teksta predstavimo vam njen razvoj kroz istoriju, tehnike štampanja, kao i primenu u različitim industrijama.

## Sadržaj

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>1</b> | <b>Uvod[1]</b>                                      | <b>2</b> |
| <b>2</b> | <b>Istorija razvoja 3D štampe [2]</b>               | <b>2</b> |
| <b>3</b> | <b>Tehnike 3D štampe[2]</b>                         | <b>3</b> |
| 3.1      | Inkjet . . . . .                                    | 3        |
| 3.2      | Fused Deposition Modelin(FDM)[3] . . . . .          | 4        |
| 3.3      | Stereolitografija . . . . .                         | 4        |
| 3.4      | Selektivno lasersko sinterovanje (SLS)[4] . . . . . | 5        |
| 3.5      | Proizvodnja objekata laminacijom (LOM)[5] . . . . . | 6        |
| <b>4</b> | <b>Primena[6]</b>                                   | <b>7</b> |
| 4.1      | Medicina . . . . .                                  | 7        |
| 4.2      | Prototipovi . . . . .                               | 7        |
| 4.3      | Vojna primena . . . . .                             | 7        |
| 4.4      | Izrada odeće i obuće . . . . .                      | 7        |
| <b>5</b> | <b>Zaključak</b>                                    | <b>8</b> |

# 1 Uvod[1]

3D štampa je zapravo aditivna proizvodnja<sup>1</sup>, odnosno proces u kome se slojevi materijala dodaju jedan na drugi. Kako to zapravo izgleda, videćemo u nastavku.

3D štampa može da se zamisli kao štampa tankih horizontalnih slojeva. Ti slojevi predstavljaju horizontalni presek predmeta. Proizvodi koji se dobijaju ovim procesom mogu biti od različitih materijala. Velikom ekspanzijom 3D štampe, uvode se i novi materijali, pa je omogućeno istovremeno uklapanje različitih vrsta materijala. Ova tehnologija proizvodi modele koji mogu da oponašaju izgled i funkcionalnost prototipa. U poslednjih nekoliko godina cene 3D štampe su sve niže, i samim tim su postali dostupniji manjim preduzećima, na taj način izrada prototipa se ne zadržava samo u teškoj industriji. Vremenom mogućnosti koje ovi uređaji pružaju polako postaju neograničene.

Tehnologija je nastala 80-ih godina prošlog veka i koristila se pre svega za proizvodnju prototipova. Ipak, od tada 3D štampa počinje da se koristi kao tehnika za stvaranje proizvoda gotovo u svim industrijama. Osim izrade prototipa, 3D štampe nude veliki potencijal za proizvodnju različitih aplikacija u oblasti proizvodnje nakita, obuće, industrijskog dizajna, arhitekture, automobilske industrije, avio, stomatološke i medicinske industrije.

## 2 Istorija razvoja 3D štampe [2]

Istorijski gledano, razvoj tehnologije počinje početkom 1980-ih godina. Godine 1981, Hideo Kodama<sup>2</sup> prvi je objavio račun o tome kako se materijali koji se nazivaju fotopolimeri koji su ojačani prilikom izlaganja UV zračenju mogu iskoristiti za brzu izradu čvrstih prototipa. Iako je on postavio temelje za 3D štampu, on nije napravio prvi 3D štampač. Te zasluge uzeo je Chuck Hull<sup>3</sup>, koji

je dizajnirao i napravio prvi 3D štampač 1984. godine. On je radio za kompaniju koja je koristila UV lampe za oblikovanje čvrstih, izdržljivih premaza za stolove. Tada dobija ideju da iskoristi ultraljubičastu tehnologiju za izradu malih prototipa.

Ključ za izradu takvog štampe bili su fotopolimeri koji su ostali u tečnom stanju sve dok nisu reagovali na ultraljubičastu svetlost. Sistem koji je Hull na kraju razvio, poznat kao je stereolitografija, koristio je UV zračenje kako bi skicirao oblik objekta iz kadra tečnih fotopolimera.

On je patentirao tehnologiju 1984. godine, ali tri nedelje nakon što je tim francuskih pronalazača podneo patent za sličan proces. Međutim, njihovi poslodavci odlucili su da prestanu da dalje razvijaju tehnologiju zbog "nedostatka poslovne perspektive". To je omogućilo Hull-u autorsko pravo na pojam "Stereolithography". Njegov patent, naslovljen "Aparat za proizvodnju trodimenzionalnih objekata stereolitografijom" objavljen je u martu 1986. godine.

---

<sup>1</sup>Aditivna proizvodnja (eng. *Additive Manufacturing AM*) predstavlja način proizvodnje gde se iz digitalnog modela stvara trodimenzionalan predmet

<sup>2</sup>Hideo Kodama(1876-1947) – japanski političar i ratni ministar

<sup>3</sup>Chuck Hull(1939-)–američki pronalazač

Dok je Hullovo patent obuhvatao mnoge aspekte 3D štampanja, uključujući dizajn i operativni softver, tehnike i razne materijale, drugi izumitelji bi se nadovezali na koncept sa različitim pristupima. Tako je 1989. godine dodeljen patent Carlu Deckardu<sup>4</sup>, koji je razvio metod pod nazivom selektivno lasersko sinterovanje. Sa SLS-om, laserski zrak se koristi za prilagođavanje praškastih materijala, kako bi se formirao sloj objekta. Svježi prah bi se dodao na površinu nakon svakog uzastopnog sloja. Ostale varijacije kao što su direktno metalno lasersko sinterovanje i selektivno lasersko topljenje se takođe koriste za izradu metalnih predmeta.

Najpopularniji i najprepoznatljiviji oblik 3D štampanja naziva se modeliranje spojenih depozita. FDP, koji je razvio pronalazač S. Scott Crump<sup>5</sup>, postavlja materijal u slojeve direktno na platformu. Materijal, obično smola, se isprazni kroz metalnu žicu i, nakon puštanja kroz mlaznicu, odmah se ojača. Ideju za to, Crump je dobio 1988. godine, dok je pokušavao da napravi igračku žabu za svoju ćerku pomoću voska za sveće i pištolja za lepak.

1989. godine Crump je patentirao tehnologiju i sa svojom suprugom osnovao Stratasys Ltd. za proizvodnju i prodaju 3D štamparskih mašina za brzo prototipiranje ili komercijalnu proizvodnju. Kompaniju su izveli u javnost 1994. godine, a do 2003. godine FDP je postao najprodavanija tehnologija brže prototipizacije.

### 3 Tehnike 3D štampe[2]

Prema tehnici 3D štampanja možemo razlikovati sledeće tehnologije:

- Inkjet
- Fused Deposition Modelin(FDM)
- Stereolitografija
- Selektivno lasersko sinterovanje (SLS)
- Proizvodnja objekata laminacijom (LOM)

#### 3.1 Inkjet

Ubrizgavanje (eng. *Inkjet*) - kreira prototip na osnovu 3D modela tako što pravi sloj po sloj projekta.

Ističe se po atributu da je prilagodljiv na razne oblike tečnih materijala što pruža stvaranje konduktivnih ili izolacionih struktura u visokoj rezoluciji što dovodi do lakšeg implementiranja kompleksnih oblika.

Za razliku od drugih procesa, injeke štampanju nije potrebno dodatno prerađivanje i obrada nako izvršenog štampanja.

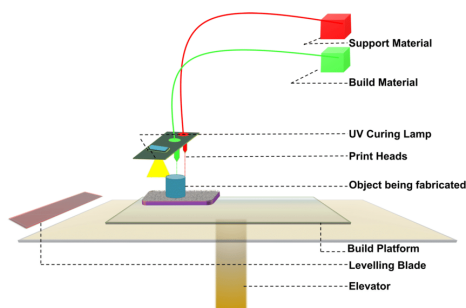
Prilikom izrade materijali u tečnom stanju se stavljaju na vrh za štampanje (eng. Printing head) koji pravi dati projekat.

---

<sup>4</sup>Carl Deckard(1961- )–američki pronalazač, učitelj, diplomant Univerziteta u Teksasu i biznismen

<sup>5</sup>Scott Crump (1954- )– pronalazač FDM tehnologije

Kao što slika 1 prikazuje uz glavni materijal, koji se koristi za izradu modela, se može dodati pomoćni materijal (eng. Support material) koji mu daje čvrstinu i stabilnost prilikom izrade.



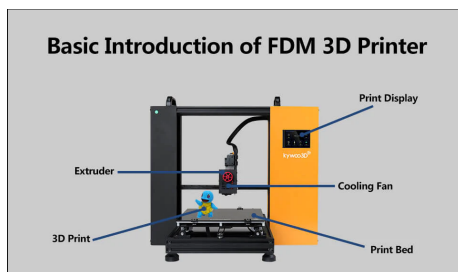
Slika 1: Model ubrizgavanja (eng. *Inkjet*)

### 3.2 Fused Deposition Modelin(FDM)[3]

FDM (eng. *Fused Deposition Modeling*) - predstavlja najkorišćeniju i najjeftiniju tehniku za 3D štampanje. Lak je za korišćenje, on koristi termoplastične filamente <sup>6</sup> sa ekstruzijom između svakog sloja.

Najčešće se koristi u developovanju proizvoda i test modela koji inženjeri koriste da provere da li oblik odgovara datom uređaju po dimenzijama.

Sastoji se od podloge na kojoj se izvršava štampanje, displeja za štampanje, mašine koja zagreva filamente i kulera koji održava temperaturu uređaja.



Slika 2: Uprošćena šema FMD 3D šampača

### 3.3 Stereolitografija

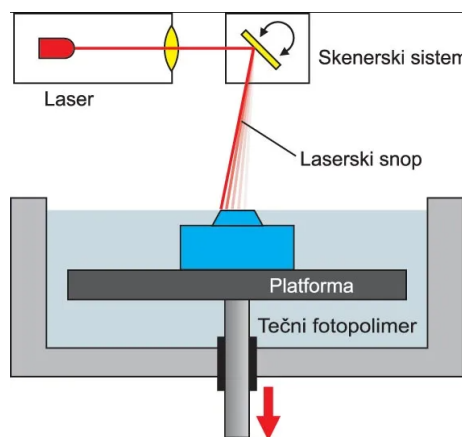
Stereolitografija (eng. *Stereolithography SLA*) - Koristi rezervoar tečnog fotopolimera <sup>7</sup> koji formira sloj po sloj projekta, gde se nakon formiranja svakog sloja polimer stvrdne uz pomoć ultraljubičastog svetla.

Nakon svakog odrađenog sloja podloga se spušta kako bi krenula obradu sledećeg. Kada se završi obrada 3D modela potrebno je izvršeni projekat oprati rastvaračem da bi se uklonila tečnost opasna po život.

<sup>6</sup>Termoplastični filament - materijali za 3D štampanje od termoplastičnih polimera. Oni se oblikuju prilikom zagrevanja.

<sup>7</sup>Fotopolimer - polimer koji ima različite hemijske reakcije u zavisnosti od temperature.

Ova tehnika se najčešće koristi za kreiranje 3D modela visokih rezolucija. Stereolitografija koristi pomoćne stubove koji sprečavaju da dođe do deformacije prilikom izgradnje sledećih slojeva koji se nalaze iznad njega.



Slika 3: Šema stereolitografije

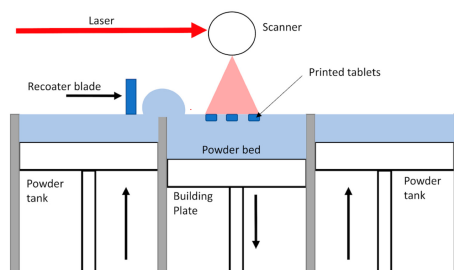
### 3.4 Selektivno lasersko sinterovanje (SLS)[4]

Izborna lasersko lemljenje (eng. *Selective Laser Sintering SLS*) - koristi se za pravljenje prototipa od metala i plastike. Uz pomoć zrna materijala (eng. *powder beds*) mašina pravi dizajne sloj po sloj, pri čemu koristi lasersko grejanje i zbijanje (sinterovanje) praha datog materijala.

Nakon svakog sloja postolje se spušta i dodaje novi sloj materijala sve dok mašina ne završi izgradnju modela. Pošto čvrstina modela zavisi od najveće temperature mašine SLS zagreje prevremeno prah materijala ispod njegove temperature topljenja kako bi dostigao maksimalne temperature za najmanji period, što isto omogućava da laser lakše izreže željene oblike za sloj.

Kao što je pokazano na slici 4 rezervoari (eng. *powder tank*) stavljaju prah na vrh prethodnog sloja, dok se njegova platforma spušta za sledeći sloj.

Sečivo za slojeve (eng. *recoater blade*) prolazi i ravna vrh modela, nakon toga laser gradi i oblikuje dati model.



Slika 4: Šema SLS-a

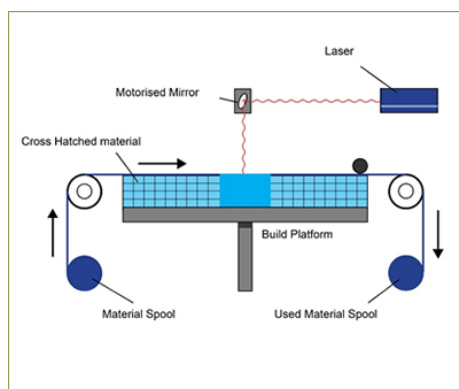
### 3.5 Proizvodnja objekata laminacijom (LOM)[5]

Proizvodnja objekata laminacijom (eng. *Laminated object manufacturing LOM*) - Korišćenjem papira premazanim lepkom, plastiku ili metalni laminat kao sredstvo za 3D štampanje.

Hartije se lepe jedna za drugu sloj po sloj na platformi uz pomoć motora koji na krajevima imaju rolne korišćenog materijala (eng. *Material spool*).

Na radnoj površini se seku u željeni oblik pomoću noža ili lasera, a neiskorišćeni ostatak ide u rolnu koja se nalazi u smeru obrtanja motora.

Nakon tog procesa projekat se može doraditi šmirglanjem i bušenjem ako je potrebno.



Slika 5: Šema LOM-a

| Broj | Tip              | Materijali  |
|------|------------------|---|
| 1    | tečni materijali |   |
| 2    | FDM              | termoplastični filament                             |
| 3    | SLA              | tečni fotopolimer                                   |
| 4    | SLS              | metal ili plastika                                  |
| 5    | LOM              | papir premazan lepkom, plastiku ili metalni laminat |

Tabela 1: Tipovi - Materijal

## 4 Primena[6]

U proteklih nekoliko godina, štampači postaju sve dostupniji i dostupniji. Više se ne koriste isključivo u teškoj industriji, već i u manjim preduzećima i čak i za ličnu upotrebu. Koriste se u najrazličitije svrhe i skoro svim granama privrede. Kao što je već napomenuto, broj raznovrsnih materijala koji se koriste za rad sa 3d štampačima je ogroman i raste vrtoglavo brzinom. To omogućava veliku raznovrsnost njihove primene.

### 4.1 Medicina

Primena 3D štampača u medicini je počela 2014. godine u Velikoj Britaniji kada je pacijentu koji je od posledica raka izgubio gotovo pola kože lica, upravo putem 3D štampe napravljen novi deo lica i postavljen na mesto starog. Ovo predstavlja veliki korak u modernoj medicini jer se prvi put dogodilo da je čovek u mogućnosti da odštampa neki deo svog tela.

Ovakvi procesi se izvršavaju primenom fotogrametrije. Proces se sastoji iz niza kamera koje prave fotografije zdravih tkiva pacijenta, a zatim ga računarski sklapaju u jednu 3D celinu koja će kasnije biti odštampana. Proces slikanja i izrade celine je vrlo brz i traje svega nekoliko sati, dok je proces štampanja vrlo delikatan i sa veoma malim prostorom za grešku, naravno, traje znatno duže od prethodnih. Pričvršćivanje novog, štampanog tkiva se izvršava hirurškim zahvatom.

### 4.2 Prototipovi

Ovo je najvažniji i najrasprostranjeniji vid primene 3D štampača. Dizajnerima je znatno olakšan i ubrzan rad. Štampač može uz korišćenje male količine materijala i u kratkom vremenskom roku da stvori prototip za čiju bi izradu bilo potrebno značajno više. Ovaj vid primene se koristi u gotovo svim granama privrede.

### 4.3 Vojna primena

Naravno, ljudi su vrlo brzo našli primenu 3d štampačima u vojnoj industriji. Konkretno, za izradu delova za pištolje i puške, kao i za izradu bojeve municije. Počelo je tako što je jedan mladi Amerikanac došao na ideju da napravi jeftine delove za svoju pušku, što mu je i pošlo za rukom. Ono što je izuzetno privlačno kompanijama za proizvodnju oružja, kao i vladama i organizacijama koje ga kupuju, je upravo mogućnost pravljenja oružja kome se ne može ući u trag. U vojnoj industriji se očekuje najveći porast primene štampača.

### 4.4 Izrada odeće i obuće

Razne kompanije za proizvodnju odeće i obuće obilato koriste 3D štampače. Ne toliko za pravljenje konkretnih celina kao što su patike, već za pravljenje raznih manjih delova. Poznati su upravo delovi za sportsku odeću poput krampona za kopačke ili ojačanih vrhova pertli.

## 5 Zaključak

U proteklih nekoliko godina, primena kao i dostupnost 3D štampanja raste, 3D štampa prelazi iz sveta fikcije u realan svet i uskoro će se pretopiti u savremenu upotrebu. Od krucijalne važnosti je dalji razvitak ove tehnologije jer su, teorijski, mogućnosti neograničene i trenutno je jedini limit nivo tehnologije našeg vremena. 3D štampanje će moći imati ogroman udeo u raznim sferama kao što su medicinske svrhe, inženjering, avio i automobilske industrije...



## Literatura

- [1] <https://3dstampa.rs/sta-sve-moze-da-se-3d-stampa//>.
- [2] <https://bs.eferrit.com/ko-je-pronasao-3d-stampanje//>.
- [3] <https://tractus3d.com/knowledge/learn-3d-printing/fdm-3d-printing//>.
- [4] <https://www.nano-di.com/resources/blog/2019-the-3d-inkjet-printing-process-explained/>.
- [5] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-laminated-object-manufacturing-lom/>.
- [6] <https://3dstampa.rs/sta-je-3d-stampa/>.