

Hrapovost prototipova izrađenih 3 D print postupkom

Obranović, Dino

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:497512>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
Stručni studij Strojarstva

Dino Obranović

**Hrapavost prototipova
izrađenih 3D print postupkom**

**Roughness of the prototypes made
by the 3D printing process**

Završni rad

Karlovac, 2016.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
Stručni studij Strojarstva

Dino Obranović

**Hrapavost prototipova
izrađenih 3D print postupkom**

**Roughness of the prototypes made
by the 3D printing process**

Završni rad

Nikola Šimunić, mag.ing.mech.

Karlovac, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru, mag. ing. stroj. Nikoli Šimuniću na uloženom vremenu i savjetima prilikom izrade ovog rada.

Također hvala i mag. ing. stroj. Denisu Kotarskom, svojim roditeljima Damiru i Josipi, svojoj sestri Lei i cijeloj obitelji, rodbini, prijateljima, kolegama i ostalim profesorima koji su me pratili tijekom procesa studiranja.

Dino Obranović



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni studij: Strojarsva

Usmjerenje: Proizvodno Strojarsvo

Karlovac, 03.10.2016

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: **Dino Obranović**

Matični broj: 0110613020

Naslov: **Hrapavost prototipova izrađenih 3D print postupkom**

Opis zadatka:

Dati aktualni pregled postupaka u području aditivne proizvodnje sa posebnim osvrtom na 3DP (3Dprint) postupak. Iznijeti teoretsku podlogu o hrapavosti i načinu mjerenja. Za različite debljine slojeva ispisa na epruветama proizvedenim 3Dprint postupkom mjeriti hrapavost. Rezultate mjerenja obraditi, prikazati grafički i tablično te iznijeti zaključke i objasniti utjecaj slojevitosti izrade na hrapavost prototipova.

Koristiti odgovarajuću dostupnu literaturu, priručnike i podatke.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

03.10.2016

21.10.2016

28.10.2016

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Nikola Šimunić, mag.ing.stroj.

Marijan Brozović, dipl.ing.

SADRŽAJ

| | |
|--|-----|
| POPIS SLIKA | II |
| POPIS TABLICA | III |
| POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE | IV |
| POPIS OZNAKA | V |
| SAŽETAK | VI |
| SUMMARY | VII |
| 1. UVOD | 1 |
| 2. ADITIVNA TEHNOLOGIJA | 3 |
| 2.1. Stereolitografija | 3 |
| 2.2. 3D print | 5 |
| 2.3. Polyjet postupak | 5 |
| 2.4. FDM postupak | 6 |
| 2.5. LOM postupak | 8 |
| 2.6. Selektivno lasersko srašćivanje | 9 |
| 2.7. Izravno taloženje metala (LENS) | 11 |
| 3. 3D PRINT | 14 |
| 3.1. Materijali | 15 |
| 3.2. Prednosti | 16 |
| 3.3. Nedostaci | 16 |
| 4. HRAPAVOST POVRŠINE | 17 |
| 4.1. Parametri hrapavosti površine | 18 |
| 5. PRAKTIČNI DIO | 19 |
| 5.1. ZCorp Z450 | 19 |
| 5.1.1. Materijal | 19 |
| 5.1.2. Ispitne epruvete | 19 |
| 5.2. Mitutoyo sj-210 | 20 |
| 5.2.1. Parametri mjerenja hrapavosti | 21 |
| 6. ANALIZA REZULTATA | 24 |
| 7. ZAKLJUČAK | 25 |
| PRILOZI | 26 |
| LITERATURA | 27 |

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Područja primjene aditivne tehnologije | 2 |
| Slika 2. Stereolitograf u radu | 3 |
| Slika 3. Prikat procesa stereolitografije | 4 |
| Slika 4. Prikaz procesa stereolitografije "bottom up" | 4 |
| Slika 5. Primjer modela izrađenog stereolitografskim postupkom | 4 |
| Slika 6. Primjer modela izrađenog na 3D printeru | 5 |
| Slika 7. Prikaz Polyjet postupka | 6 |
| Slika 8. Polyjet pislač CONNEX 500 | 6 |
| Slika 9. FDM postupak | 7 |
| Slika 10. Primjer izrađenih modela FDM postupkom | 7 |
| Slika 11. FDM pislač | 7 |
| Slika 12. LOM postupak | 8 |
| Slika 13. Model nastao LOM postupkom | 9 |
| Slika 14. Stroj za izradu modela LOM postupkom | 9 |
| Slika 15. Princip rada SLS printera | 10 |
| Slika 16. Primjer modela izrađenih na SLS pislaču | 10 |
| Slika 17. SLS pislač | 11 |
| Slika 18. Princip rada postupka izravnim taloženjem metala | 11 |
| Slika 19. Prikaz izrade tvorevine LONS postupkom | 12 |
| Slika 20. Stroj za izradu predmeta LENS postupkom | 13 |
| Slika 21. Shema postupka 3D printa | 14 |
| Slika 22. Faze postupka 3D printa | 15 |
| Slika 23. Predmet izrađen postupkom 3D printa | 15 |
| Slika 24. 3D pislač ZCorp Z450 | 16 |
| Slika 25. Procjenjivanje hrapavosti površine | 17 |
| Slika 26. Model ispitne epruvete | 20 |
| Slika 27. Uređaj za mjerenje hrapavosti Mitutoyo sj-210 | 21 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Mjerenja hrapavosti debljina sloja 0,0875 i 0,1 mm | 22 |
| Tablica 2. Mjerenja hrapavosti debljina sloja 0,1125 i 0,125 mm | 23 |

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|---------------|-----------------|--|
| R_a | μm | Srednje aritmetičko odstupanje profila |
| y_i | μm | Visina profila hrapavosti s obzirom na srednju referentnu crtu |
| R_z | μm | Srednja visina neravnina |
| y_i | μm | Visina i-tog najvišeg vrha |
| λ_c | mm | Dužina uzorkovanja |
| v | mm/s | Brzina mjerenja |

SAŽETAK

U ovom završnom radu opisan je razvoj aditivnih tehnologija od samih početaka pa sve do današnjih modernih visokokvalitetnih postupaka.

Uz opis najznačajnijih postupaka aditivne tehnologije, posebno sam se osvrnuo na postupak 3D tiskanja jer sam mjerio hrapavost epruveta izrađenih tim postupkom, ali različitih debljina slojeva izrade.

Pomoću tih mjerenja epruveta s različitim debljinama slojeva izrade ustanovio sam da će hrapavost biti veća što je sloj izrade veći i obrnuto.

Ključne riječi: aditivne tehnologije, 3D tiskanje, mjerenje hrapavosti

SUMMARY

This final paper describes the development of additive technology from beginning until the present modern high-quality processes.

With a description of the principal methods of additive technology, I especially mentioned the process of 3D printing because I measured the roughness of the test tubes made by this process, but with a different thickness of layers in their making.

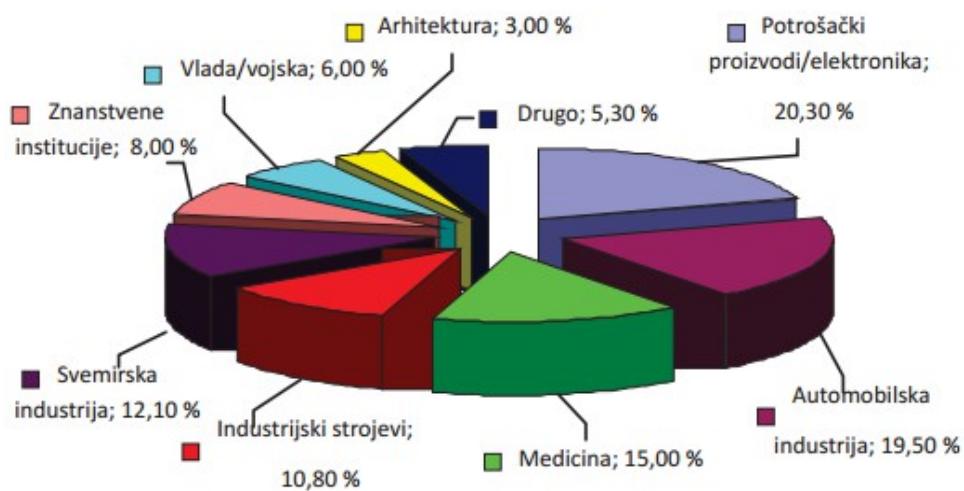
Using these measurement of the test tubes with a different thickness of layers, I established that the roughness is higher as the layer thickness is higher and vice versa.

Key words: additive technology, 3D printing, roughness measuring

1. UVOD

Počeci aditivne tehnologije su u osamdesetim godinama prošlog stoljeća. Prva poznata aditivna tehnologija je iz 1987. godine i zove se stereolitografija gdje se foto-osjetljivi tekući polimeri skrućuju kada su obasjani UV svjetlom. Godine 1988. 3D Systems i Ciba-Geigy razvili su i komercijalizirali prvu generaciju akrilne smole. Nakon što su 3D Systems komercijalizirali stereolitografiju u SAD-u, počele su i druge kompanije razvijati i prodavati svoje strojeve za takvu tehnologiju. Godine 1991. su komercijalizirane tehnologije FDM (fused deposit modeling) od tvrtke Stratasys gdje se utiskuje termoplastični materijal u obliku vlakana za proizvodnju sloj po sloj, druga tehnologija je SGC (solid ground curing) od tvrtje Cubital gdje se koristi tekući polimer osjetljiv na UV svjetlost i treća je LOM (laminated object manufacturing) od tvrtke Helisys gdje je materijal vezan u listovima. Tvrtka DTM 1992. godine predstavlja stroj za selektivno lasersko sinteriranje (SLS) gdje se korištenjem topline lasera spaja praškasti materijal. 1994. godina je bila godina brojnih novih aditivnih proizvodnih sustava među kojima je Model Maker od tvrtke Solidscap, taj stroj radio je prototipove od slojeva voska pomoću inkjet glave za ispis. Još jedan od novih japanskih sustava je bio mali stereolitografski stroj od tvrtke Meiko specijaliziran samo za proizvođače nakita. Nakon osam godina prodavanja stereolitografskog stroja, tvrtka 3D Systems 1996. godine prodala je svoj prvi 3D printer (Actua 2100), koristeći tehnologiju slojeva voska sloj po sloj koristeći inkjet mehanizma. Iste godine tvrtka Z Corp plasirala je svoj Z402 3D printer koji se temelji na inkjet pisačima. Predmet nastaje od škroba, gipsa u obliku praha i veziva. Sljedećih godina su se jako počeli razvijati 3D printeri i usavršili tako da se mogu izrađivati predmeti većih dimenzija i bolje kvalitete. Postupak normizacije postupaka i ostalih pojmova vezanih za aditivne postupke počinje 2007. godine, a pojam aditivna proizvodnja odnosno tehnologija uvodi se tek 2009. godine.

Primjena aditivne tehnologije u proizvodnji i razradi prototipova je vrlo velika i široka. Aditivna tehnologija se koristi u medicini, građevinarstvu, auto industriji, brodogradnji..., za razvoj novih proizvoda, unaprjeđenje starih i izradu novih proizvoda koje nije moguće izraditi klasičnim postupcima obrade.



Slika 1. Područja primjene aditivne tehnologije [1]

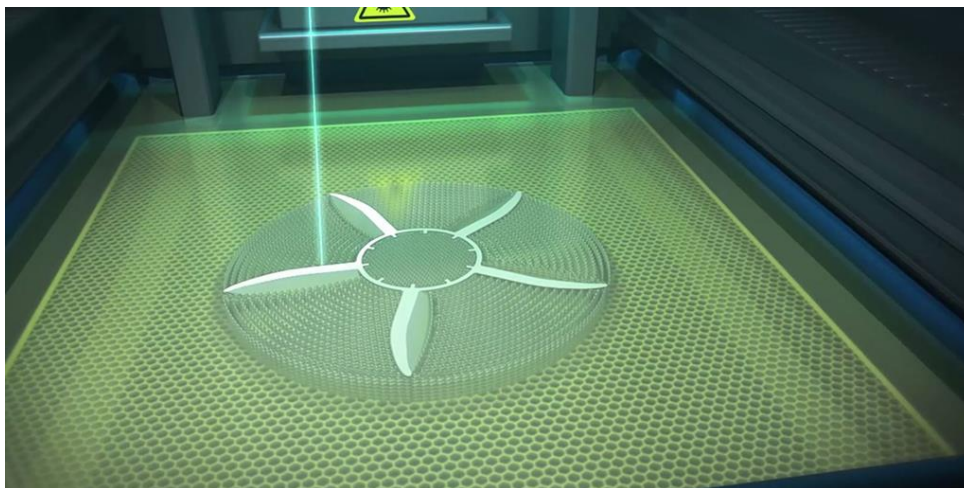
U budućnosti će aditivne tehnologije biti sve više preciznije i bolje kvalitete površine izrade čime će izrada predmeta tim postupcima biti još više upotrebljivija i prihvaćenija.

2. ADITIVNA TEHNOLOGIJA

Aditivna tehnologija je dio proizvodnog strojarstva koja se bavi izradbom predmeta nanošenjem čestica u tankim slojevima. Proizvodni proces aditivne proizvodnje počinje konstruiranjem trodimenzionalnog modela na jednom od računalnih CAD programa za modeliranje ili već gotovog dijela skeniranjem na trodimenzionalnim skenerima. Nakon toga se model pretvara u niz horizontalnih poprečnih presjeka koji se određenim strojem za proizvodnju prototipova ili predmeta otiskuju sloj po sloj do konačnog izgleda.

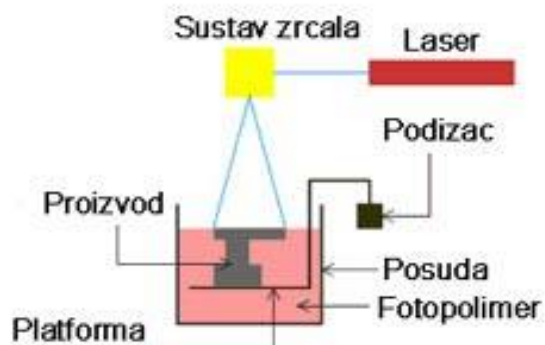
2.1. Stereolitografija

Stereolitografija je postupak aditivne proizvodnje koja se zasniva na fotopolimerizaciji. Tim postupkom laser emitira ultraljubičastu svjetlost koja osvjetljava sloj tekućeg polimera zadana oblika presjeka koji se skrućuje iznad podloge. Zatim se radna podloga spušta za debljinu sloja i laser opet prati presjek objekta koji ispisuje i povezuje sa skrućenim dijelom ispod njega. Kada je proces gotov tvorevina se vadi iz tekućeg polimera, a višak se ispiru u otapalu.

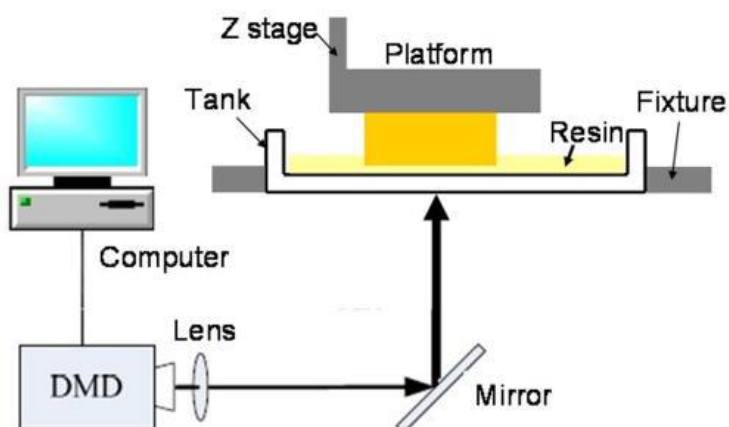


Slika 2. Sterelitograf u radu [2]

Postoje dva načina izrade modela stereolitografskim postupkom, dijele se na postupke sa spuštanjem radne površine i modela u fotopolimer (slika 3) i "bottom up" koji podiže napravljeni sloj od prozirnog dna spremnika (slika 4).



Slika 3. Prikaz procesa stereolitografije [3]



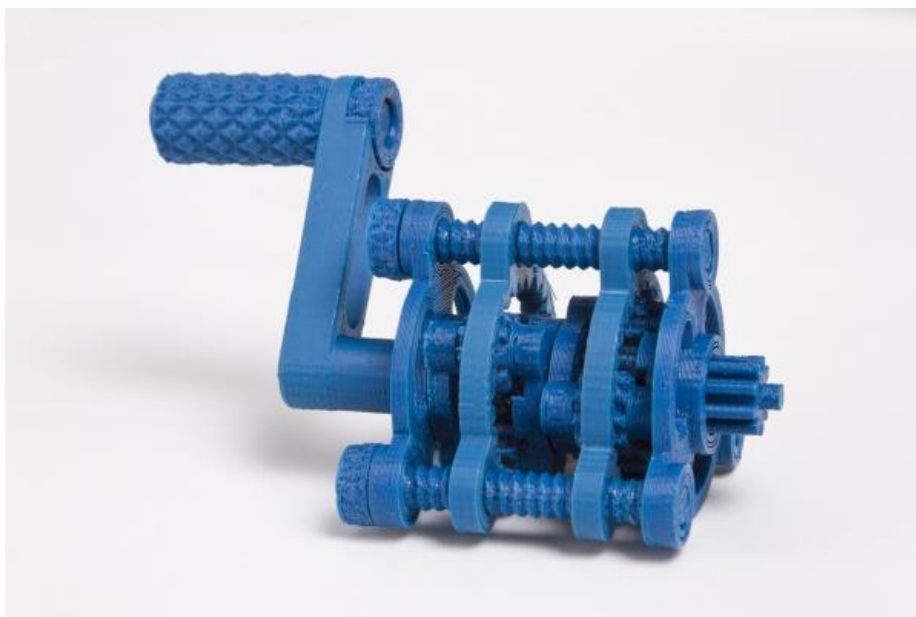
Slika 4. Prikaz procesa stereolitografije "bottom up" [4]



Slika 5. Primjer modela izrađenog stereolitografskim postupkom [5]

2.2. 3D print

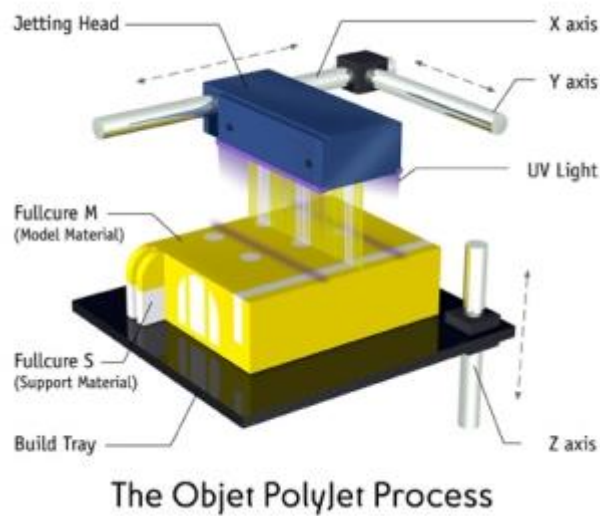
Trodimenzionalno tiskanje se zasniva na tehnologiji tintnih pisača, ali umjesto tinte izbacuje se ljepilo ili vezivo. Kapljevito vezivo se glavom pisača raspršuje u obliku presjeka po sloju postavljenog praha. Nakon što je sloj gotov radna podloga se spušta za debljinu sloja i nanosi se novi sloj praha te glava opet ispusta vezivo. Kada je predmet gotov, prah se treba ručno odstraniti, a kod profesionalnih strojeva uvelo se automatsko uklanjanje praha.



Slika 6. Primjer modela izrađenog na 3D printeru [6]

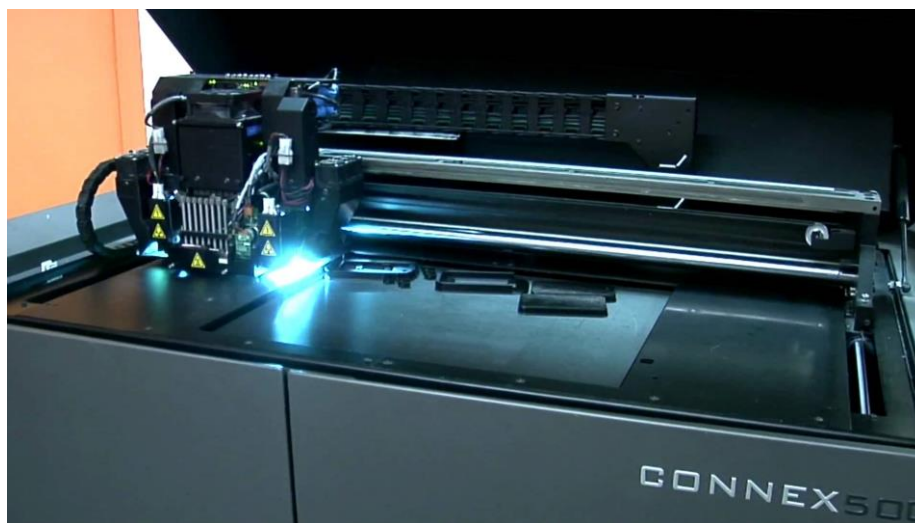
2.3. Polyjet postupak

Polyjet postupak je postupak aditivne proizvodnje koji je mješavina stereolitografskog i 3D print postupka. Kod ovog postupka sapnica raspršuje sloj polimernog materijala koji se skrućuje pod djelovanjem ultraljubičaste svjetlosti i veže se na prethodni sloj. Pomak tj. debljina sloja se ostvaruje tako što se radna podloga spušta za debljinu sloja. Prilikom tiskanja izrađuje se osim modela i potporna struktura koju je potrebno odstraniti vodom.



Slika 7. Prikaz Polyjet postupka [7]

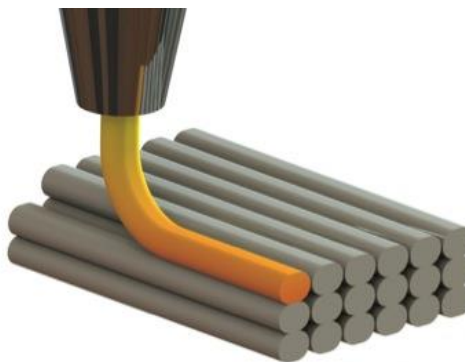
Prednosti polyjet postupka su glatka površina, mogućnost proizvodnje vrlo kompliciranih predmeta, moguće je pripojiti najširi izbor boja i materijala na jedan model, moguće je proizvesti precizne kalupe, sprave, naprave i druge proizvodne alate.



Slika 8. Polyjet pisac CONNEX 500 [8]

2.4. FDM postupak

Fused Deposition Modeling (hrv. taložno srašćivanje) je postupak aditivne proizvodnje koji izrađuje model tako da se omekšava polimerni materijal koji u obliku niti prolazi kroz sapnicu i polaže ga slojevito, jedan sloj na drugi. Ti slojevi se hlade i skrućuju i vežu za prethodni sloj na sobnoj temperaturi.

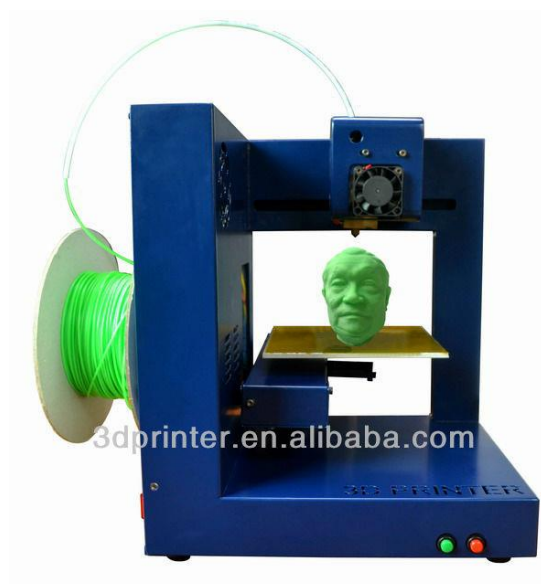


Slika 9. FDM postupak [9]

Za izradu složenijih modela složenije geometrije može se izraditi potporna struktura radi postizanja bolje završne površine predmeta, a posebno se odnosi ako je nagib veći od 45° . Kvaliteta i mehanička svojstva ovise o parametrima ispisa. Danas su uređaji s tim postupkom najzastupljeniji u kućnoj i manje zahtjevnoj profesionalnoj primjeni.



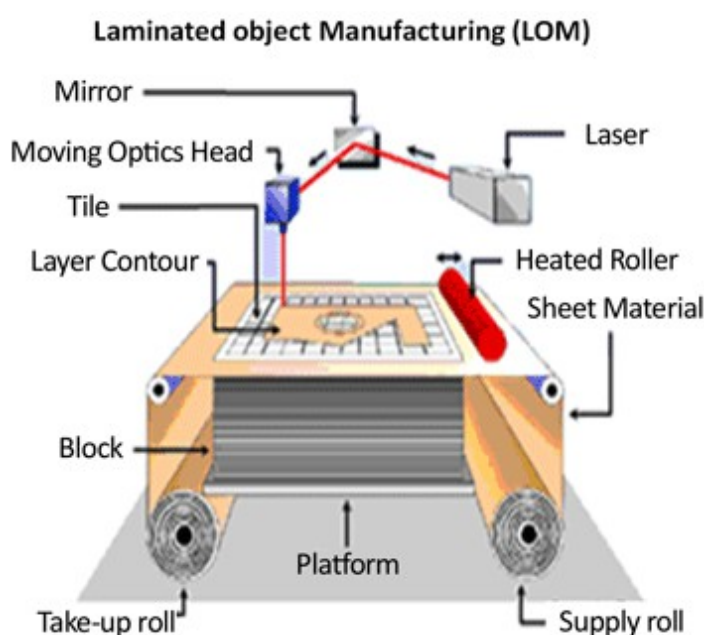
Slika 10. Primjer izrađenih modela FDM postupkom [10]



Slika 11. FDM pisaš [11]

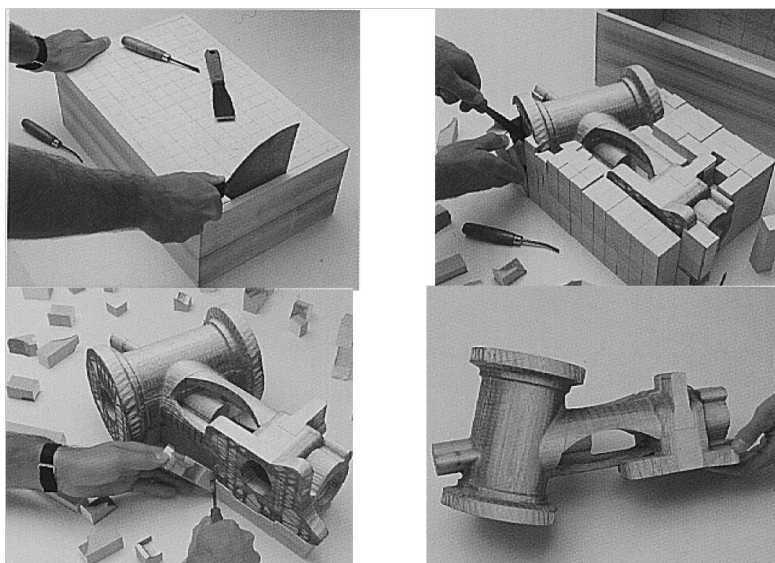
2.5. LOM postupak

Laminated Object Manufacturing (hrv. Proizvodnja laminarnih objekata) je postupak gdje se laserskim snopom izrezuje kontura modela iz posebne folije koja sa namotanog valjka prelazi preko valjkaste vodilice i staje iznad pomičnog stola dok laser ne izreže određeni oblik predmeta nakon čega se izrezani komad zaljepi za prijašnji sloj. Zatim se radni stol pomakne prema dolje za određenu dubinu a ostatak folije se namotava na valjak za neiskorišteni materijal. Kada je proces gotov model je okružen materijalom koji je izrezan u kockice ili uzorak te ga je potrebno ukloniti.

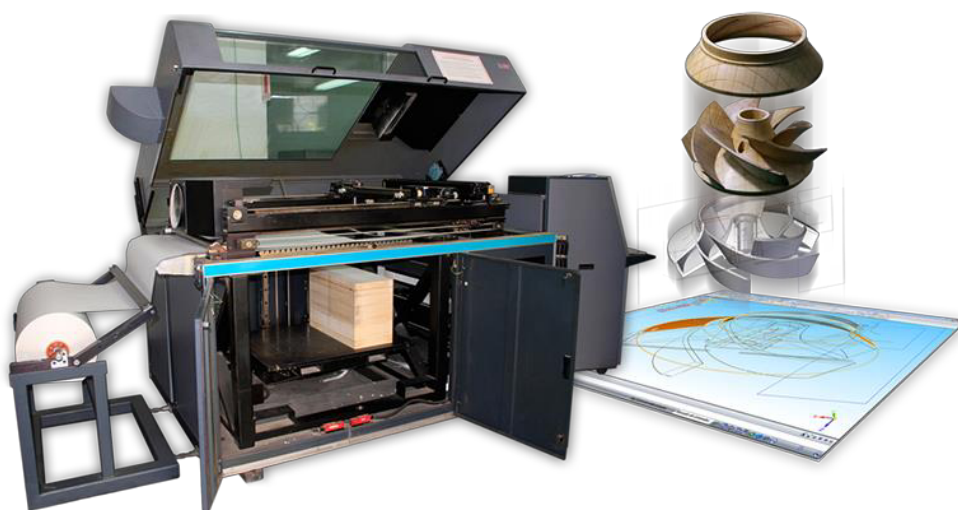


Slika 12. LOM postupak [12]

To je jedna od najbržih i najpristupačnijih metoda aditivne tehnologije, ali predmeti izrađeni ovim postupkom nisu baš dimenzijski točni i postoje odstupanja, te nije moguća izrada kompliciranih niti šupljih modela.



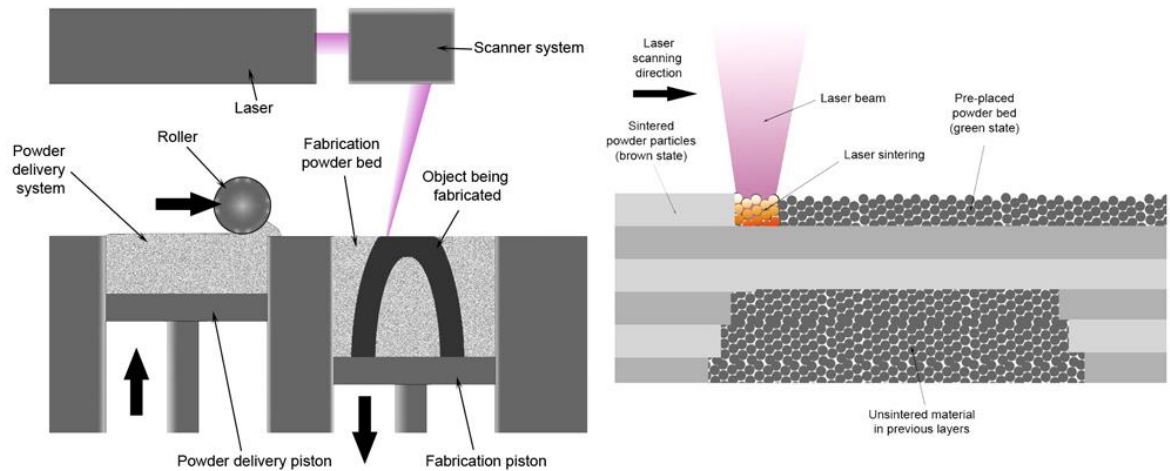
Slika 13. Model nastao LOM postupkom [13]



Slika 14. Stroj za izradu modela LOM postupkom [14]

2.6. Selektivno lasersko sraščivanje

Selektivno lasersko sraščivanje (eng. Selective Laser Sintering) je jedna od aditivnih postupaka proizvodnje pretežito metalnih dijelova. U tom postupku se nanosi sloj praškastog materijala koji nakon toga dolazi do sraščivanja pod djelovanjem visoke temperature lasera. Zatim se radna podloga spušta za određenu debljinu da bi se nanio novi sloj praha i tako se ponavlja sve do ispisa posljednjeg presjeka modela. Čitav postupak se odvija u temperiranoj komori ispunjenoj inertnim plinom, npr. dušikom, da se izbjegne oksidacija površine i potencijalno izgaranje čestica praškastog materijala.



Slika 15. Princip rada SLS printera [15]

Ovaj postupak aditivne proizvodnje je dobar zbog korištenja praškastog materijala pa nije potrebno koristiti potporne strukture pri izradi kompliciranih modela jer je model okružen nesinteriranim praškom. Ograničenje ove tehnologije je to što se ne mogu proizvoditi šuplji i potpuno zatvoreni modeli jer se ne može izvaditi nesinterirani prah iz takvog modela.



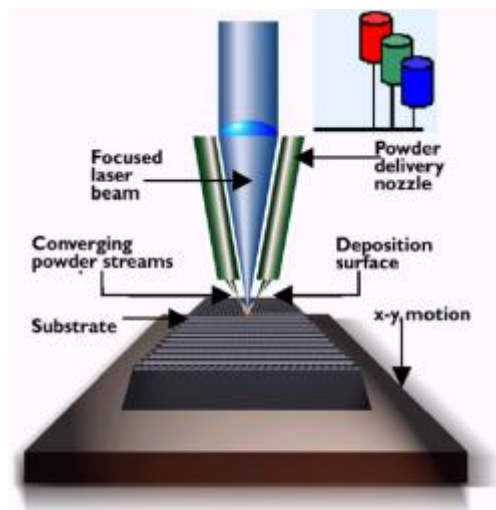
Slika 16. Primjer modela izrađenih na SLS pisaču [16]



Slika 17. SLS писаč [17]

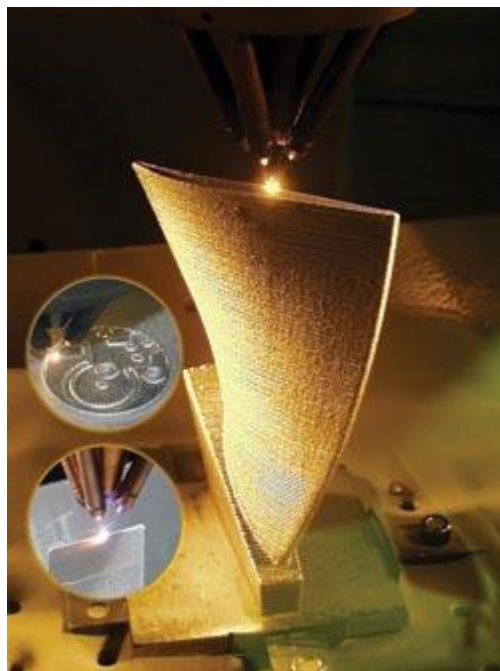
2.7. Izravno taloženje metala (LENS)

Izravno taloženje metala (eng. Laser Engineering Net Shaping) je postupak aditivne proizvodnje gdje djelovanjem laserske zrake na vrlo usko područje površine nastaje rastaljeno područje te se zatim mlaznicom dodaje točno određena količina novog praškastog materijala i nastaje novi sloj predmeta.



Slika 18. Princip rada postupka izravnim taloženjem metala [18]

Taj postupak se odvija u podtlačnoj komori u kojoj se lako mogu kontrolirati uvijeti izrade predmeta, to je posebice važno zbog toga jer pri izradi tvorevina od aluminija nesmije biti prisutan kisik jer on sprječava međusobno povezivanje slojeva.



Slika 19. Prikaz izrade tvorevine LONS postupkom [19]

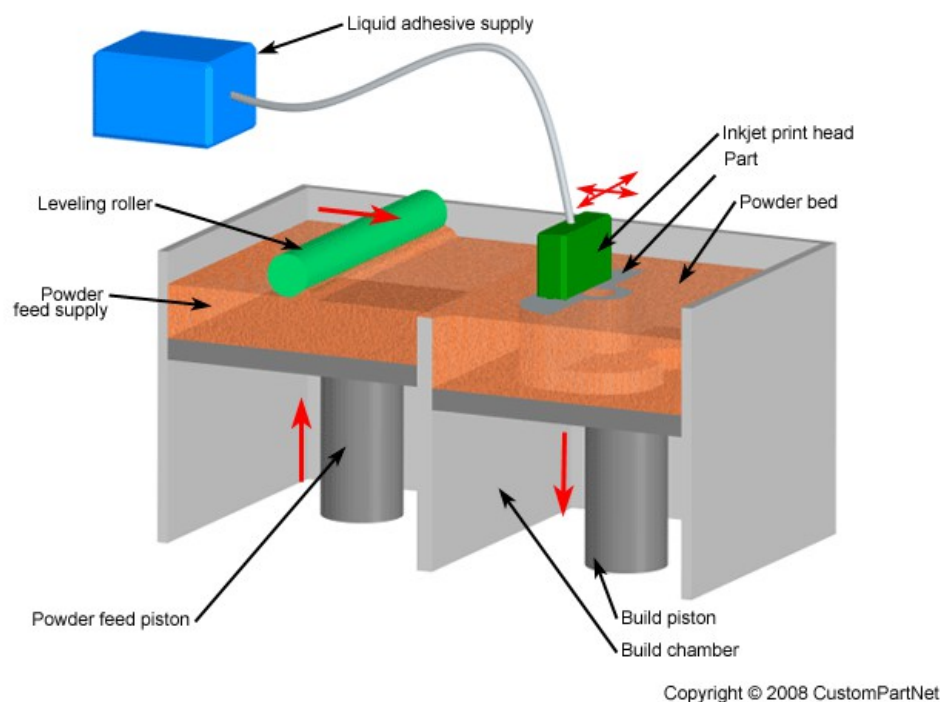
LENS postupak omogućuje izradu tvorevina od više različitih materijala u jednom ciklusu.



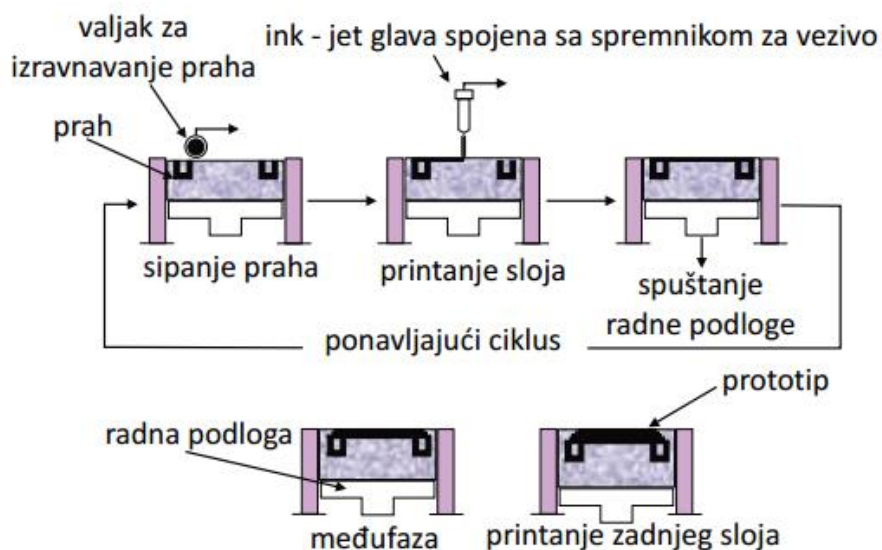
Slika 20. Stroj za izradu predmeta LENS postupkom [20]

3. 3D PRINT

Trodimenzionalno tiskanje se zasniva na tehnologiji tintnih pisača. U 3D tiskanju umjesto tinte izbacuje se ljepilo ili vezivo. Vezivo i prah se nanose u slojevima pa se stoga i tvorevina izrađuje sloj po sloj. Radna podloga smještena je na visini potrebnoj da se stavi sloj praha potrebne debljine. Kapljevito vezivo se glavom pisača koja je numerički upravljana raspršuje u obliku presjeka po sloju postavljenog praha. Nakon što je sloj gotov radna podloga se spušta za debljinu sloja i nanosi se novi sloj praha te glava opet ispušta vezivo i tako se ti ciklusi ponavljaju sve dok predmet nije gotov. Kada je predmet gotov ostavlja se neko vrijeme u komori s prahom da postigne potrebnu čvrstoću, zatim se vadi van i prah se treba ručno odstraniti, a kod profesionalnih strojeva uvelo se automatsko uklanjanje praha.



Slika 21. Shema postupka 3D printa [21]



Slika 22. Faze postupka 3D printa [22]

3.1. Materijali

Materijali koji se primjenjuju u ovom postupku su kompoziti s metalnom matricom nastali infiltriranjem bronce u nehrđajući čelik, nikal, epoksid, poliuretan, kompozitni materijali, materijal za izravno lijevanje (smjesa gipsa, pijeska i drugih dodataka), materijali za fino lijevanje (smjesa posebnih vlakana, celuloze i drugih dodataka) i elastomerni materijal (smjesa specijalnih vlakana, celuloze i drugih vlakana).



Slika 23. Predmet izrađen postupkom 3D printa [23]

3.2. Prednosti

Prednosti ovog postupka su mogućnost tiskanja predmeta u boji u jednom ciklusu, visoka preciznost uređaja, dobre dimenzijske tolerancije predmeta, mogućnost izrade vrlo tankih slojeva, relativno niska cijena, mogućnost primjene strojeva u uredima jer su materijali neotrovni, korišteni materijal se može ponovno upotrijebiti, nije potrebna upotreba potporne strukture.



Slika 24. 3D pisač ZCorp Z450 [24]

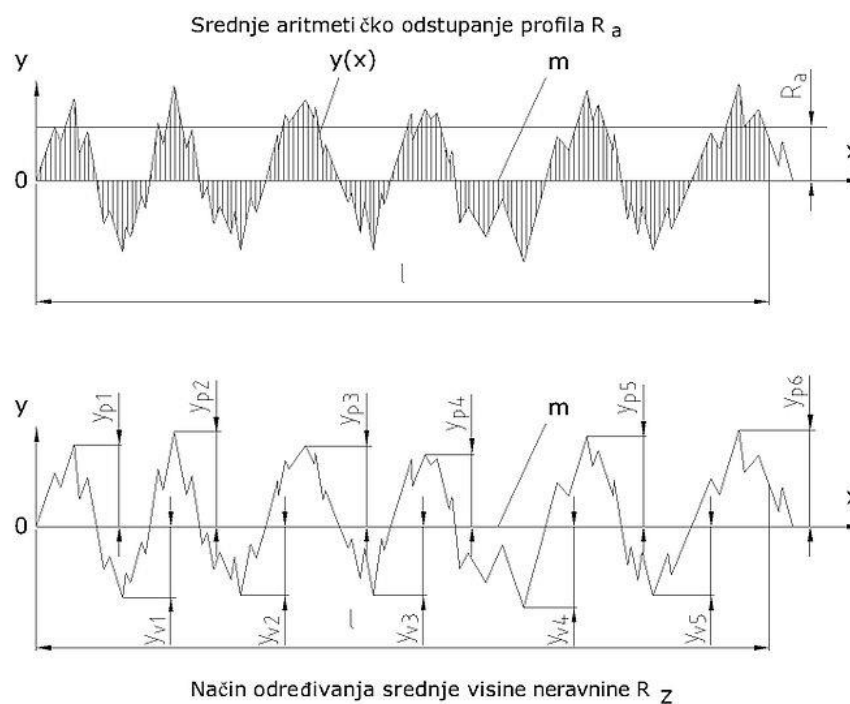
3.3. Nedostaci

Nedostaci ovog postupka su ograničene dimenzije predmeta, ograničen broj materijala i brzina izrade, kod predmeta većih dimenzija lošija dimenzijska točnost u odnosu s drugim postupcima, potrebno je vrijeme za čišćenje predmeta, visoka hrapavost (teorijski što je veća debljina sloja to će hrapavost biti veća, ali to ćemo još ispitati i opisati u praktičnom dijelu).

4. HRPAVOST POVRŠINE

Hrapavost površine u općem smislu je mikrogeometrijska nepravilnost površine koja nastaje tijekom postupaka obrade ili drugih utjecaja. Ona utječe na radna svojstva strojnih dijelova, posebno na mjestima međusobnog spoja. Hrapavost površine znatno utječe i na cijenu proizvoda što je ona manja to je cijena proizvodnje veća, a samim tim je i cijena proizvoda odmah veća.

Veličina hrapavosti obično se mjeri obzirom na srednju referentnu crtu profila neravnine m koja dijeli profil tako da je unutar mjerne duljine l veličina svih kvadrata odsupanja profila od te crte najmanja. Mjerna duljina l ovisna je o kvaliteti i vrsti obrade, te metodi mjerenja.



Slika 25. Procjenjivanje hrapavosti površine [25]

4.1. Parametri hrapavosti površine

Najčešće se upotrebljava srednje aritmetičko odstupanje profila R_a a ono je jednako srednjoj aritmetičkoj vrijednosti apsolutnih vrijednosti visina profila neravnina na mjernoj duljini l .

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

Gdje je:

- R_a [μm] – srednje aritmetičko odstupanje profila
- y_i [μm] – visina profila hrapavosti s obzirom na srednju referentnu crtu
- n – broj točaka procjenjivanja visine profila uzduž mjerne duljine

Drugi parametar hrapavosti je srednja visina neravnina R_z , ona je jednaka zbroju aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti visine pet najviših vrhova i aritmetičke sredine apsolutnih pet najvećih dubina, udolina na mjernoj duljini l . Približno vrijedi: $R_z \sim 4R_a$.

$$R_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

Gdje je:

- R_z [μm] – srednja visina neravnina
- y_i [μm] – visina i -tog najvišeg vrha
- n – broj točaka procjenjivanja visine profila uzduž mjerne duljine

5. PRAKTIČNI DIO

U praktičnom dijelu ćemo mjeriti hrapavost pomoću uređaja Mitutoyo sj-210 na epruvetama izrađenim postupkom 3D tiskanjem na uređaju ZCorp Z450 (slika 23).

5.1. ZCorp Z450

Pisač ZCorp Z450 je 3D pisač na kojemu je moguće izrađivati tvorevine u boji.

Zcorp Z450 specifikacije:

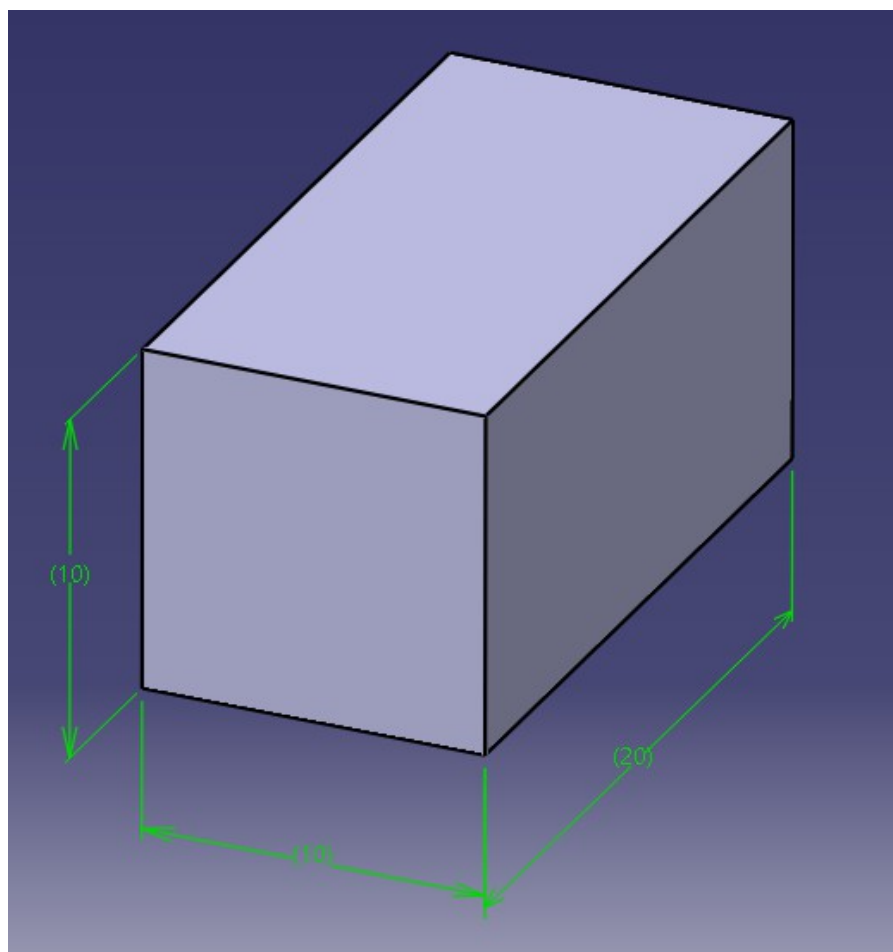
- Radni prostor 203 x 254 x 203 mm (8“x 10“x 8“)
- Tiskanje u boji, jedna glava tri boje
- Rezolucija tiskanja 300 x 450 dpi
- Slojevi debljina: 0,0875 / 0,1 / 0,1125 / 0,125 mm
- Brzina tiskanja: 2 – 4 sloja / minuti
- Kompatibilni materijali zp150, zb58, zb59

5.1.1. Materijal

Materijal koji koristi ovaj printer je zp150, a to je kompozitni prah visokih performansi tako da je pogodan za sve potrebe. Glavne prednosti ovog praha su dobra dimenzijska točnost, žive boje, visoka definicija oblika. Vezivo koje se koristi za ovaj pisač je zb58 i zb59, ta veziva mogu biti u boji ili bezbojna.

5.1.2. Ispitne epruvete

Ispitne epruvete izrađene su na gore navedenom pisaču iz kompozitnog praha zp150 koje su fiksirane s cijanoakrilnim ljepljivom. Ispitali smo svukupno 12 epruveta, tako da su od svake debljine sloja (0.0875, 0.1, 0.1125 i 0.125 mm) izrađene po tri epruvete. Dimenzije tih epruveta su 10 x 10 x 20 mm jer nam za ovo ispitivanje nisu bile potrebne veće.



Slika 26. Model ispitne epruvete

5.2. Mitutoyo sj-210

Mitutoyo sj-210 je prijenosni mjerač hrapavosti namijenjen proizvodnji. Moguće je mjeriti na integriranom pogonu koji se nalazi na samom uređaju i na odvojenom koji je povezan sa kabelom što omogućuje mjerenje teško dostupnih mjesta.

Prije početka mjerenja uređaj treba obavezno kalibrirati na etalonu za kalibriranje, zatim se trebaju namjestiti parametri mjerenja. Nakon toga se uređaj mora postaviti tako da sonda odnosno ticalo bude okomito na predmet koji mjerimo i onda počinjemo s mjerenjem. Taj uređaj radi u načelu tako da svojim ticalom prelazi preko površine predmeta i šalje povratne signale središnjoj procesnoj jedinici koja ih obrađuje i daje grafički prikaz karakteristika površine kao i parametre hrapavosti Ra i Rz.



Slika 27. Uređaj za mjerenje hrapavosti Mitutoyo sj-210 [26]

5.2.1. Parametri mjerenja hrapavosti

Parametri mjerenja hrapavosti:

- Standard ISO 1997
- Brzina mjerenja $v = 0,25$ mm/s
- Dužina uzorkovanja $\lambda_c = 0,25$ mm
- Broj dužina uzorkovanja $N = 6$

Tablica 1. Mjerenja hrapavosti debljina sloja 0,0875 i 0,1 mm

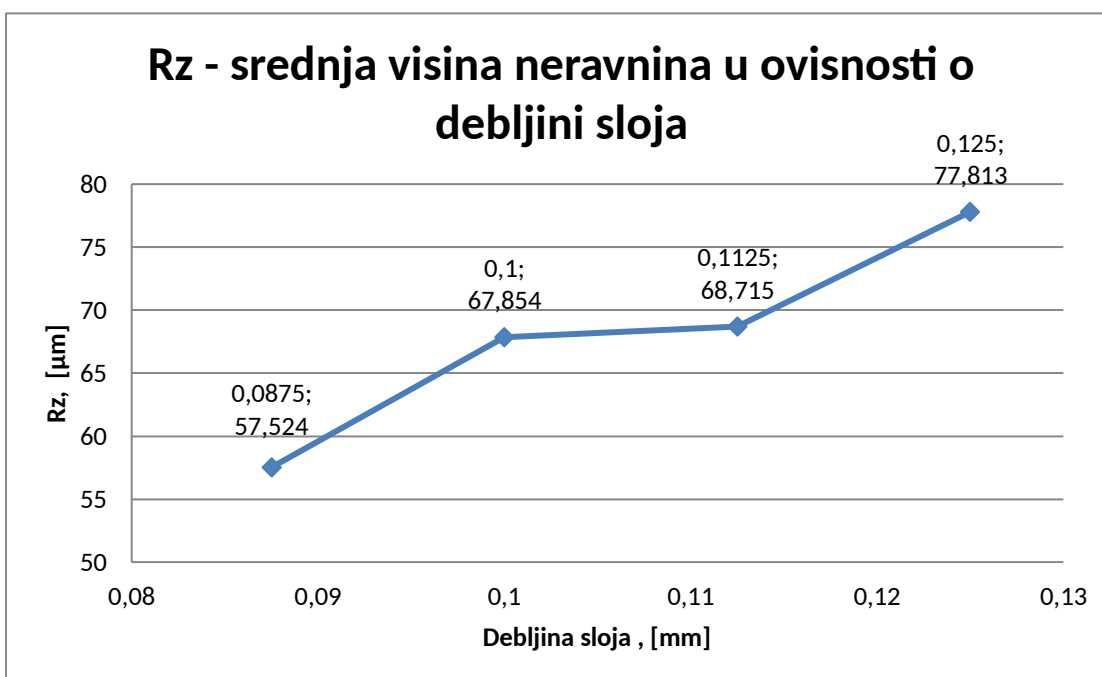
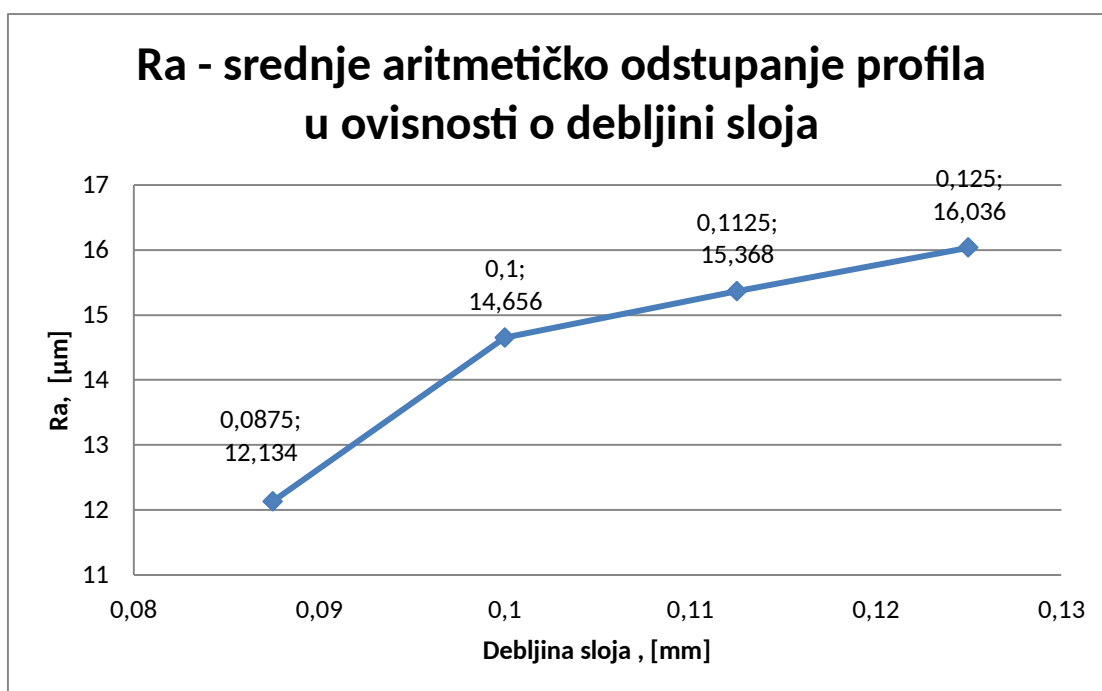
| Debljina sloja | Epruveta broj | Mjerenje | Ra [μm] | Rz [μm] | |
|----------------------------|----------------------------|----------|----------------------|----------------------|-----------------|
| 0,0875 mm | 1 | 1 | 9,582 | 45,946 | |
| | | 2 | 15,758 | 70,11 | |
| | | 3 | 16,462 | 70,381 | |
| | | 4 | 12,871 | 60,215 | |
| | <i>R_{srednje}</i> | | | 13,668 ± 3,136 | 61,663 ± 11,496 |
| | 2 | 1 | 11,289 | 52,285 | |
| | | 2 | 8,866 | 40,085 | |
| | | 3 | 12,429 | 60,388 | |
| | | 4 | 13,567 | 64,571 | |
| | <i>R_{srednje}</i> | | | 11,538 ± 2 | 54,332 ± 10,781 |
| | 3 | 1 | 15,087 | 81,69 | |
| | | 2 | 11,085 | 49,695 | |
| | | 3 | 7,954 | 40,484 | |
| | | 4 | 10,663 | 54,439 | |
| <i>R_{srednje}</i> | | | 11,19725 ± 2,941 | 56,577 ± 17,716 | |
| $\bar{X} \pm \text{SD}$ | | | 12,134 ± 2,729 | 57,524 ± 12,791 | |
| 0,1 mm | 1 | 1 | 12,54 | 52,544 | |
| | | 2 | 10,376 | 50,168 | |
| | | 3 | 12,011 | 44,957 | |
| | | 4 | 12,538 | 65,131 | |
| | <i>R_{srednje}</i> | | | 11,866 ± 1,024 | 53,2 ± 8,562 |
| | 2 | 1 | 14,608 | 78,218 | |
| | | 2 | 14,881 | 64,879 | |
| | | 3 | 13,198 | 66,584 | |
| | | 4 | 11,204 | 48,075 | |
| | <i>R_{srednje}</i> | | | 13,473 ± 1,683 | 64,439 ± 12,416 |
| | 3 | 1 | 16,241 | 69,398 | |
| | | 2 | 14,466 | 64,521 | |
| | | 3 | 20,785 | 98,88 | |
| | | 4 | 23,019 | 110,89 | |
| <i>R_{srednje}</i> | | | 18,628 ± 3,956 | 85,922 ± 22,527 | |
| $\bar{X} \pm \text{SD}$ | | | 14,656 ± 3,795 | 67,854 ± 20,037 | |

Tablica 2. Mjerenja hrapavosti debljina sloja 0,1125 i 0,125 mm

| Debljina sloja | Epruveta broj | Mjerenje | Ra [μm] | Rz [μm] | |
|----------------------------|----------------------------|----------|----------------------|----------------------|---------------------|
| 0,1125 mm | 1 | 1 | 20,949 | 93,588 | |
| | | 2 | 24,019 | 104,52 | |
| | | 3 | 14,533 | 61,19 | |
| | | 4 | 13,717 | 71,124 | |
| | <i>R_{srednje}</i> | | | 18,305 \pm 4,997 | 82,601 \pm 19,927 |
| | 2 | 1 | 13,314 | 57,682 | |
| | | 2 | 16,297 | 74,643 | |
| | | 3 | 11,17 | 53,255 | |
| | | 4 | 10,559 | 51,737 | |
| | <i>R_{srednje}</i> | | | 12,835 \pm 2,593 | 59,329 \pm 10,516 |
| | 3 | 1 | 13,284 | 58,009 | |
| | | 2 | 16,925 | 69,496 | |
| | | 3 | 14,463 | 64,938 | |
| | | 4 | 15,183 | 64,399 | |
| <i>R_{srednje}</i> | | | 14,964 \pm 1,524 | 64,211 \pm 4,724 | |
| $\bar{X} \pm \text{SD}$ | | | 15,368 \pm 3,848 | 68,715 \pm 15,941 | |
| 0,125mm | 1 | 1 | 17,345 | 84,735 | |
| | | 2 | 15,123 | 74,247 | |
| | | 3 | 20,812 | 107,08 | |
| | | 4 | 16,592 | 77,887 | |
| | <i>R_{srednje}</i> | | | 17,468 \pm 2,413 | 85,987 \pm 14,719 |
| | 2 | 1 | 19,916 | 87,084 | |
| | | 2 | 16,252 | 79,785 | |
| | | 3 | 15,114 | 74,775 | |
| | | 4 | 17,846 | 73,177 | |
| | <i>R_{srednje}</i> | | | 17,282 \pm 2,083 | 77,955 \pm 4,962 |
| | 3 | 1 | 13,278 | 59,982 | |
| | | 2 | 15,405 | 87,174 | |
| | | 3 | 14,249 | 77,815 | |
| | | 4 | 10,501 | 53,012 | |
| <i>R_{srednje}</i> | | | 13,358 \pm 2,094 | 69,496 \pm 15,748 | |
| $\bar{X} \pm \text{SD}$ | | | 16,036 \pm 2,808 | 77,813 \pm 13,524 | |

6. ANALIZA REZULTATA

Iz grafova ispod teksta se vidi da hrapavost ovisi o debljini sloja, kako debljina sloja raste tako i hrapavost raste. Prilikom mjerenja iste epruvete dobivali smo različite rezultate zbog neravnomjernog upijanja cijanoakrilnog ljepila u epruvetu i sušenja na njoj, ali ipak smo potvrdili teorijsku pretpostavku navedenu pod točkom 3.3.



7. ZAKLJUČAK

Razvojem aditivnih postupaka kroz godine od svojih početaka pa do danas, ta je tehnologija postajala sve pristupačnija, jeftinija i sve primjenjivija u proizvodnji i razradi prototipova. Proizvodnja tim postupcima je postajala sve brža tokom godina, a samim time i poželjnija tehnologija.

Mjerenjem hrapavosti sam ustanovio da hrapavost površine kod postupka 3D tiskanja znatno ovisi o debljini sloja tiskanja. Ustanovio sam da što je veća debljina sloja to će hrapavost površine biti veća.

Aditivni postupci su postupci budućnosti i biti će u sveopćoj upotrebi kao profesionalni strojevi, ali i u hobby upotrebi s obzirom na cijenu i mogućnosti izrade različitih proizvoda.

PRILOZI

I. CD-R disc

LITERATURA

- [1] https://portal.hok.hr:50443/brosure/45a_Brosura_AdTEC.pdf
- [2] <https://www.stratasysdirect.com/wp-content/uploads/2015/10/stereolithography-sla-twitter.jpg>
- [3] <http://www.gradimo.hr/blobs/17924.jpg>
- [4] http://manufacturingscience.asmedigitalcollection.asme.org/data/Journals/JMSEFK/926058/051011_1_f2.jpeg
- [5] <http://www.artcorp.com/protocast-big.jpg>
- [6] <https://3dprint.com/wp-content/uploads/2015/01/fun.jpg>
- [7] <http://www.3daddfab.com/images/3D-Printing-Technology.jpg>
- [8] <https://i.ytimg.com/vi/D4Yq3gIEyec/maxresdefault.jpg>
- [9] <http://3devo.eu/wp-content/uploads/2015/08/Desiging-for-3D-Printing-1.jpg>
- [10] <http://www.javelin-tech.com/3d-printer/wp-content/uploads/2013/12/fdm-nylon-12.jpg>
- [11] http://i00.i.aliimg.com/photo/v2/855128146/New_Model_Mootooh_Personal_FDM_3d_Printer.jpg
- [12] <http://www.compositesworld.com/cdn/cms/LOMfig2.gif>
- [13] <http://blog.nus.edu.sg/u0804594/files/2011/10/LOM-part.png>
- [14] <http://ivikas.com/wp-content/uploads/2016/03/base-lom-1.png>
- [15] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Selective_laser_melting_system_schematic.jpg
- [16] http://img.diytrade.com/smimg/450410/30283933-140255-0/3D_Platform_SLS_NYLON_POWDER/1f0f.jpg
- [17] <http://proto3000.com/assets/uploads/ContentImages/selectivelasersinteringmachines.jpg>
- [18] http://www.rpm-innovations.com/images/ldt_how_it_works.jpg
- [19] http://www.photonics.com/images/Web/Articles/2003/4/1/Rapid_Figure2.jpg
- [20] <https://chms.ucdavis.edu/research/web/schoenung/LENS.jpg>
- [21] <http://3dprinting.com/wp-content/uploads/2012/06/binder-jetting.png>
- [22] https://portal.hok.hr:50443/brosure/45a_Brosura_AdTEC.pdf
- [23] <http://zdnet3.cbsistatic.com/hub/i/r/2014/08/25/f15c58b7-2c16-11e4-9e6a-00505685119a/resize/1170x878/0ddf094f578130c036e94a503973042b/3d-bike-helmet-502x381-v1.png>

- [24] <http://aeirotec.com/image/cache/data/zprinter%20450%203-500x500.jpg>
- [25] https://hr.wikipedia.org/wiki/Hrapavost_površine#/media/File:Procjenjivanje_hrapavosti_povrsine.jpg
- [26] <http://www.lighttoolsupply.com/includes/imageRendering.jsp?productID=3561&size=medium&extension=gif>