

Professional paper / Stručni rad
Manuscript received: 2017-03-17
Revised: 2019-03-08
Accepted: 2019-03-15
Pages: 135 - 148

Postupci brze izrade prototipova u trodimenzionalnom (3D) ispisu

Zoran Hercigonja, mag.edu.inf.

Tomislav Krištof, mag.oec.

Druga gimnazija Varaždin

Voditelj suradnje s gospodarstvom

Visoko učilište Algebra

zoran.hercigonja@gmail.com

tomo.kristof@gmail.com

Sažetak: Tehnologija brze izrade prototipova razvija se posljednjih 25 godina. Iako omogućava brz, ekonomičan i kvalitetan proces izrade prototipa, alata i proizvoda, tehnologija se sporo probija u industriji zbog nekoliko razloga: nedostatka informacija i standardizacije, troškova investiranja, ograničene dimenzije radnog volumena i ograničen broj ponuđenih materijala. Brza izrada prototipa je tehnologija kojom se, direktno iz digitalnog prikaza prostornog ili trodimenzionalnog (3D) modela izrađenog u nekom od grafičkih alata, proizvodi, funkcionalan i relativno kompleksan radni prototip. Brza izrada prototipa razlikuje se od uobičajenih metoda koje geometriju realiziraju uklanjanjem materijala. Gradnja modela kod brzog prototipiranja bazira se na digitalno rezanim slojevima modela koji se u fizičkom prostoru sloj po sloj lijepe u finalni oblik. U radu je predstavljeno i evaluirano nekoliko različitih metoda brzog prototipiranja.

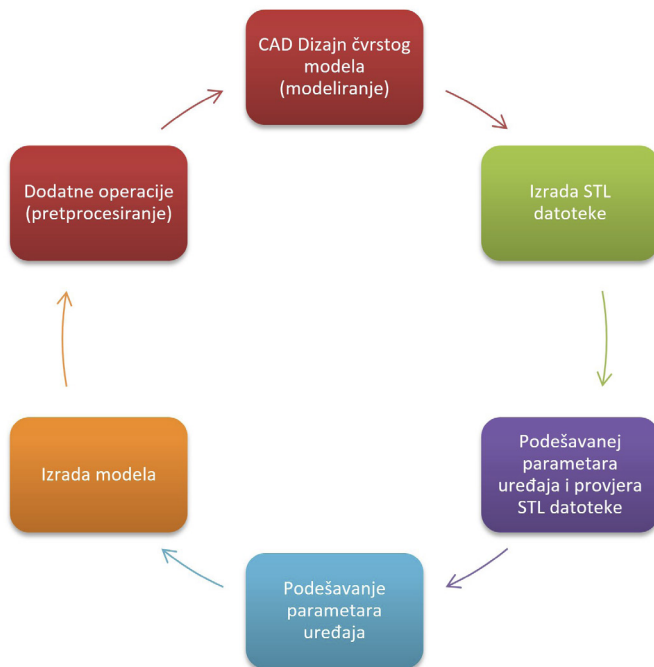
Ključne riječi: Prototipiranje, 3D ispis, SLS, DMLS, SLA

UVOD

Trodimenzionalni ispis ili 3D ispis je metoda pretvaranja virtualnog 3D modela u fizički objekt. 3D pisac dizajniran je s namjerom proizvodnje izlaza s tri dimenzije, uz korištenje različiti fizičkih slojeva materijala [1]. 3D pisac za brzu izradu prototipova danas se koristi u različitim aplikacijama, a posebno na području dizajniranja, medicine i inženjeringa. Sam termin rapid prototyping ili brza izrada prototipova označava čitavu klasu tehnologija kojima je moguće direktno iz digitalne dvodimenzionalne reprezentacije nekog objekta ili modela napravljenog u CAD (engl. Computer Aided Design) alatima stvoriti njegovu fizičku reprezentaciju [2]. Brza izrada prototipova omogućuje detaljnije analize projekta u ranijoj fazi razvoja proizvoda, više stupnjeva korekcije u istom vremenskom periodu i zadanom roku te, poboljšava ukupnu kvalitetu gotovog proizvoda. Uključuje više različitih metoda izrade modela: Stereolitografija (SLA), Selective Laser Sintering, (SLS), Laminated Object Manufacturing (LOM), Fused Deposition Modeling (FDM), Election Beam Melting (EBM), 3D Printing (3DP) [3]. Sve ove tehnologije imaju zajednički princip rada: uzimaju geometriju modela iz CAD datoteka, model softverski predočuju nizom slojeva, šalju pisacu informacije za ispis, a pisac umjesto tintom ispisuje slojeve materijala, potpore i veziva - sloj po sloj, sve do finalnog modela. Prema svemu sudeći trodimenzionalni ispis daje inženjerima i dizajnerima mogućnost jasnog uvida u tijek postupka dizajniranja, mogućnost isticanja raznih parametara, mogućnost lakog i ranog uočavanja mogućih grešaka i njihovog brzog i efikasnog ispravljanja. Koristeći se ovim mogućnostima 3D pisaca znatno se skraćuje vrijeme izrade i povećava razina kvalitete modela i prototipa. Sam prototip služi da bi se na njemu testirala određena svojstva prema parametrima, da bi se odredila kvaliteta ili neki drugi željeni parametar s najmanjim utroškom. Prednost prototipa je puno manje ulaganje sredstava u testiranje i verifikiranje nego bi se ti isti postupci izvodili nad objektom u prirodnoj veličini. Naglasak se stavlja također na brzinu izrade prototipa. Budući da postoje rokovi za projekte kao što je izrada određenih modela, potrebno je istraživanja, simulacije i verifikaciju provesti „odmah“. To znači da 3D model ili prototip mora biti „odmah“ proizveden. Upravo se to postiže određenim postupcima brze izrade prototipa. Rad prije svega evaluira značaj i korist 3D prototipa te daje pregled postupaka za brzu izradu prototipa paralelnom usporedbom i evaluacijom prednosti i nedostataka svakog od njih.

PROCES BRZE IZRADE PROTOTIPA

Brza izrada prototipa je tehnologija kojom se, direktno iz digitalnog prikaza prostornog ili trodimenzionalnog (3D) modela izrađenog u nekom od grafičkih alata, proizvodi, funkcionalan i relativno kompleksan radni prototip. RP (engl. Rapid Prototyping) uređaji grade model, za razliku od CAM (engl. Computer Aided Manufacturing) tehnologija koje geometriju realiziraju uklanjanjem materijala. Gradnja modela bazira se na digitalno rezanim slojevima modela koji se u fizičkom prostoru sloj po sloj lijepe u finalni oblik. Prednost gradnje u slojevima je izrada kompleksnih oblika koje je klasičnim metodama gotovo nemoguće izraditi [4]. Primjenom RP tehnologije moguće je izgraditi kompleksne strukture unutar modela i tanke stijenke. Sve RP tehnologije (aditivnim metodama) stvaraju model, tako da nanose sloj po sloj materijala u obliku poprečnih presjeka modela u x-y ravnini po z osi. Da bi se izradio prototip potrebno je proći kroz proces dizajna. Početak razvoja svakog proizvoda mora započeti konceptualizacijom odnosno konceptom osnovnih ideja koji bude razrađen u daljnjim fazama. Nakon toga slijedi faza izrade preliminarnog dizajna u obliku grube skice, tehničkog crteža ili čvrstog 3D modela u nekom od CAD alata [4] (Double CAD, AutzoCAD, Free CAD ili TinkerCAD). Dakle, tu je uobičajeno vršiti preliminarna ispitivanja pomoću računala i računalnog softvera radeći analizu naprezanja ili sukladnost objekata u cjelini. Iz te faze, prelazi se u izradu prototipa pomoću kojeg se verificira oblik, dimenzije, točnost, sukladnost ili se koristi za testiranje mehaničkih svojstava. Sve greške detektirane na prototipu ispravljaju se u CAD datoteci i proces izgradnje novog prototipa se ponavlja. Nakon izrade čvrstog modela u CAD alatu, model je potrebno eksportirati u STL datoteku kako bi se takva datoteka pripremila za različite tipove RP sustava. Neki sustavi mogu prihvatiti STL datoteku direktno u interni program uređaja gdje se datoteka doraduje, tj. priprema za proces izgradnje fizičkog modela. Na tržištu postoje aplikacije za pripremu različitih CAD formata u STL datoteku, te aplikacije služe za analizu, popravljavanje i optimizaciju 3D modela, rezanje modela na slojeve, pozicioniranje i orijentaciju modela u komori i postavljanje potporne konstrukcije. Nakon što je STL datoteka importirana u uređaj podešavaju se parametri uređaja.



Slika 1. Ciklus brze izrade prototipa (prilagođeno [4])

Prednosti postupka brze izrade prototipa [4]:

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

Nedostaci postupka brze izrade prototipa [4]:

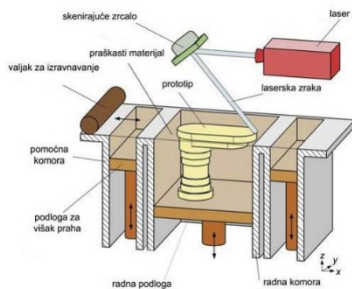
- Ograničen izbor materijala
- Kvaliteta površine
- RP/RM neekonomičan kod velikih serija
- Ograničene dimenzije modela
- Nedostatak kompleksnosti dizajna koji bi RP činilo konkurentnim

3. POSTUPCI BRZE IZRADE PROTOTIPOVA

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

SELEKTIVNO LASERSKO SINTERIRANJE (ENGL. SELECTIVE LASER SINTERING, KRATICA: SLS)

SLS je proces trodimenzionalnog ispisa na bazi tehnologije sinteriranja, a komercijaliziran je proizvodima tvrtke 3D Systems. Laserska zraka CO₂ solid-state lasera usmjerava se na materijal (u obliku finog praška) koji se uslijed visoke temperature kojoj je izložen sinterira. To znači da se pod visokom temperaturom između čestica praha povećava adhezija, tako da se prah grupira u veću krutinu točno određenog oblika. Fizikalne karakteristike produkata stvorenih sinteriranjem mogu se lako mijenjati promjenom gustoće, stvaranjem legura ili daljnjim pečenjem, a finalni proizvod može biti i mnogo čvršći nego onaj napravljen konvencionalnim metodama [5]. SLS tehnologija se u 3D pisačima također izvodi u slojevima (koji mogu biti tanki i do nekoliko tisućinki milimetra), a prah materijala se pomoću rotirajućeg cilindra doprema u komoru za modeliranje. Sav višak praha koji izlazi van gabarita modela ujedno služi i kao potporna konstrukcija pa nema potrebe za dodatnim potpornim materijalima i strukturama kao kod SLS i FDM tehnologija. SLS tehnologija se, ovisno o izboru materijala, može smatrati rapid tooling ili rapid manufacturing tehnologijom, budući da je njome moguće napraviti ne samo prototipove, već i posve funkcionalne finalne proizvode koje krase iznimno velika stabilnost, čvrstoća i trajnost. Većina proizvedenih modela je spremna za uporabu nakon minimalne obrade i čišćenja, bez potrebe za dodatnim "pečenjem" [6]. Proces koji uključuje SLS tehnologiju ima vjerojatno najveći raspon dostupnih materijala, budući da se mnoštvo metala može sinterirati. Ovo je osobito točno za čiste metale proizvedene u izoliranim i sterilnim uvjetima, no i mnogi nemetali su pogodni za sinteriranje, poput stakla ili različitih organskih polimera.



Slika 2. SLS postupak (preuzeto iz [7])

Prednosti SLS postupka [7]:

- Dijelovi boljih mehaničkih svojstava od onih izgrađenih stereolitografijom
- SLS dijelovi mogu se koristiti za funkcionalna ispitivanja
- Postupak SLS brži je od stereolitografije
- Moguća primjena većeg broja materijala
- Nije potreban potporanj jer višak praha podupire prototip
- Neuporabljeni prah može se iskoristiti za slijedeći prototip
- Bolja obradivost izrađenih dijelova u odnosu na stereolitografske dijelove

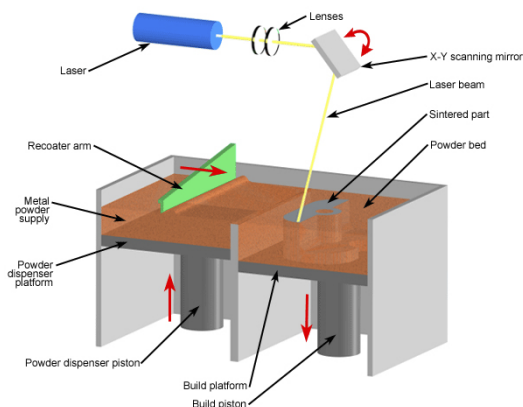
Nedostaci SLS postupka [7]:

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

DIREKTNO LASERSKO SINTERIRNJE METALA (ENGL. DIRECT METAL LASER SINTERING, KRATICA: DMLS)

Kod ove metode, metalni puder se topi i kreira se struktura pune gustoće. Oblici se izrađuju sloj po sloj pa je moguće izraditi unutrašnje oblike, šupljine i prijelaze koji ne bi mogli biti izliveni ili izrađeni na drugi način. Korisna je za izradu kanala za hlađenje u automobilima, za izradu medicinskih implanata koji se prilagođavaju svakom korisniku. Ovom metodom se izrađuju modeli sa najkompleksnijom geometrijom. Modeli imaju visoku rezoluciju, i uveliko su kvalitetni. Ova metoda dozvoljava slobodu konstruiranja i efikasnija konstrukcijska rješenja u tehničkim aplikacijama. DMLS ima još prednosti

u odnosu na tradicionalne tehnike proizvodnje; kraće vrijeme izrade gdje nisu potrebni nikakvi dodatni alati, izrada više različitih struktura istovremeno i mogućnost izrade struktura od različitih legura, zbog čega se naziva tehnologijom koja štedi vrijeme i novac. Neki modeli se mogu odraditi za par sati, a neki do sada neizvodivi modeli se mogu upravo kreirati ovom metodom [8].



Slika 3. DMLS postupak (preuzeto iz [12])

Prednosti DMLS postupka [7]:

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

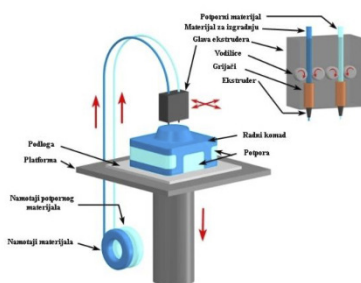
Nedostaci DMLS postupka [7]:

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

MODELIRANJE NANOŠENJEM RASTOPLJENOG MATERIJALA (ENGL. FUSED DEPOSITION MODELING, KRATICA: FDM)

Ta se tehnologija zasniva na izradi pomoću čvrstih materijala na principu ekstruzije kroz mlaznicu. U osnovi, plastično vlakno konstantno se dobavlja kroz mlaznicu maloga promjera. Mlaznica je zagrijana te se dobavljeni materijal topi i nanosi u slojevima. Tijekom nanošenja materijala mlaznica se giba u X-Y ravnini ravnomjerno istiskujući materijal. Nakon završetka nanošenja jednog sloja, radni stol vrši pomak po Z-osi te započinje nanošenje idućeg sloja. Prema širini nanesenog sloja u horizontalnoj ravnini varira i kreće se oko 0,25mm [6]. FDM omogućava izradu funkcionalnih dijelova materijalima istog ili približno istog sastava u svrhu daljnjeg ispitivanja. Posebno se ističe uporaba ABS-plastike kojom je moguće postići gotovo identičnu čvrstoću u odnosu na gotov proizvod. S obzirom na to da se dopremanje materijala vrši kroz mlaznicu i izravno se nanosi na

prethodno očvršćeni sloj, mala je količina neiskorištenog materijala. Osnovni materijali koji se koriste u ovome procesu su razne vrste polimera ili voska.



Slika 4. FDM postupak (preuzeto iz [8])

Prednosti FDM postupka [8]:

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

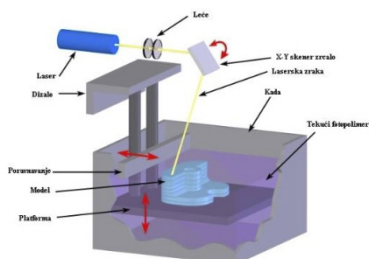
Nedostaci FDM postupka [8]:

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

STEREOLITOGRAFIJA (ENGL. STEREOLITHOGRAPHY, KRATICA: SLA)

SLA ili stereolitografija, jedna je od najraširenijih metoda rapid prototypinga, a ujedno je bila prva komercijalno dostupna rapid prototyping tehnologija u svijetu. Uređaji koji koriste ovu tehnologiju sastoje se od četiri osnovna dijela: računala koje obrađuje podatke i kreira slojeve, kontrolnog računala koje nadzire proces, prostorije u kojoj se modeliranje obavlja, te laserske jedinice. Računalo za kreiranje slojeva čita CAD model i kreira slojeve koje kontrolno računalo pomoću laserske jedinice i hardvera samog pisača nanosi na potporni sloj. Materijal koji se koristi za izradu prototipa jest polimerna tekućina koja se polijeva po potpornoj konstrukciji u tankom sloju. Budući da ova tekućina ima svojstvo da se pod UV zračenjem laserske jedinice pretvara u krutinu, tekućina se vrlo brzo pretvori u čvrstu tvar, gdje god laser osvjetli polimer [6]. Nakon što je čitav sloj dovršen, praznine se nadopunjuju potpornim materijalom, čitav sloj spušta se niže po vertikalnoj

osi pisača i sljedeći sloj se nanosi na prethodni (zbog adhezivnih svojstava materijala, slojevi se odmah spajaju i nakon nekoga vremena formiraju gotov trodimenzionalni objekt). Prednosti stereolitografije su: visoka rezolucija, moguća izrada dvobojnih prototipova, nepostojanje geometrijskih ograničenja oblika, automatiziranost procesa. Postoji i nekoliko nedostataka: prototip je slabijih mehaničkih svojstava, prototip je potrebno peći, fotopolimer je otrovan u tekućem stanju.



Slika 5. SLA postupak (preuzeto iz [6])

Prednosti SLA postupka [6]:

- Precizna izrada
- Kvaliteta površine
- Brzina izrade
- Nema sustava za dobavu materijala
- Stabilnost dimenzija

Nedostaci SLA postupka [6]:

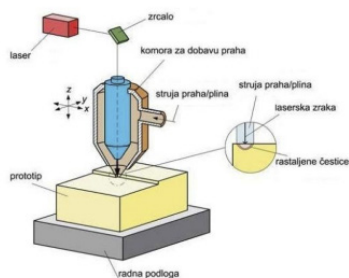
- Škart je neupotrebljiv
- Cijena materijala i uređaja
- Kratak vijek trajanja žarulje kod DLP

OTAPANJE SNOPA ELEKTRONA (ENGL. ELECTRON BEAM MELTING, KRATICA: EBM)

Otapanje snopa elektrona je vrsta aditiva za proizvodnju metalnih dijelova. Često je klasificiran kao brza metoda za proizvodnju. Ova tehnologija proizvodi dijelove otapanjem metalnog praha sloj po sloj sa elektronskim snopom u visokom vakuumu. Za razliku od nekih metalnih tehnika sinteriranja, dijelovi su potpuno gusti bez praznina i izuzetno čvrsti. Čvrsta prostoručna izrada daje potpuno guste metalne dijelove direktno iz metalnog praha sa karakteristikama ciljnog materijala u prahu. EBM stroj čita podatke iz 3D CAD modela i polaže uzastopne slojeve materijala u prahu. Ovi su slojevi rastopljeni zajedno i koriste računalno upravljani elektronski snop. Na taj se način grade dijelovi.

Proces se odvija pod vakuumom, što ga čini pogodnim za proizvodnju dijelova u reaktivnim materijalima s visokim afinitetom za kisik. Rastopljeni materijal je od čiste legure u obliku praha konačnog materijala koji će biti proizveden (bez punjenja). Iz tog razloga, tehnologija snopa elektrona ne zahtijeva dodatnu toplinsku obradu kako bi se dobila puna mehanička svojstva dijelova. Taj aspekt omogućuje klasifikaciju EBM-a sa LSM-om, gdje konkurentne tehnologije, kao što su SLS i DMLS, zahtijevaju termičke obrade nakon proizvodnje. Usporedno s SLS-om i DMLS-om, EMB ima općenito superiorniju

stopu proizvodnje zbog svoje veće energetske gustoće i metode skeniranja. Minimalna debljina: 0,5 mm., sposobnost tolerancije: +/- 0,4 mm [7].



Slika 6. EBM postupak (preuzeto iz [6])

Prednosti EBM postupka [6]:

- Dijelovi odličnih mehaničkih svojstava
- Izbor materijala
- Brza izrada funkcionalnih
- modela složenih geometrija
- Niski unos topline
- (male deformacije zone zagrijavanja)

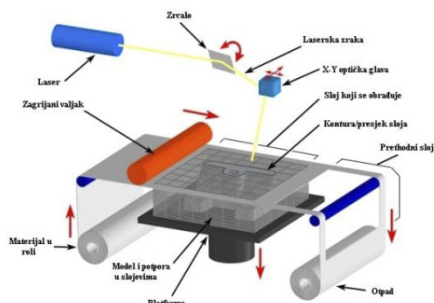
Nedostaci EBM postupka [6]:

- Gruba površina (potrebno poliranje)
- Slaba dimenzionalna točnost
- (potrebna obrada odvajanja čestica)
- Cijena

LAMINIRANA OBJEKTNJA PROIZVODNJA (ENGL. LAMINATED OBJECT MANUFACTURING, KRATICA: LOM)

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

janje vlage i time promjena dimenzija. Funkcionalnost prototipova ograničena je uskim izborom materijala, traženu višu kvalitetu površine treba postići dodatnom završnom strojnom obradom, velik udio otpadnog materijala.



Slika 7. LOM postupak (preuzeto iz [6])

Prednosti LOM postupka [6]:

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

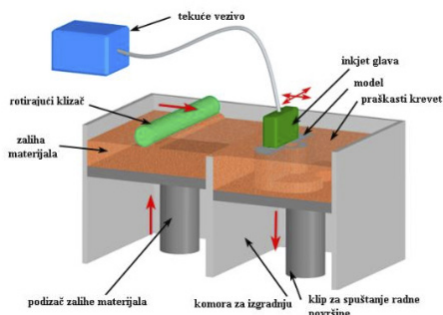
Nedostaci LOM postupka [6]:

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

3D ISPIS - 3DP

Trodimenzionalni ispis (engl. 3D Printing - 3DP) je licencirao MIT (engl. Massachusetts Institute of Technology) [10]. Postupak se bazira na inkjet mlaznicama, pomoću kojih se nanosi tekuće vezivo na praškast polimerni materijal kojeg povezuje. Postupak je brz i precizan način izrade modela, koji se koristi za verifikaciju koncepta ili izgradnju kalupa i jezgre za lijevanje. Pomoću CAD programa eksportira se STL datoteka, te se programskim paketom uređaja izrezuje na stotine digitalnih poprečnih presjeka modela. Ciklus 3D tiska započinje zagrijavanjem komore, nakon čega se ispunjava slojem od 3,18 mm polimernog praha, na kojem se model izgrađuje i kasnije lakše vadi. Time je završena priprema. Pomoću klizača uzduž komore nanosi se novi sloj debljine 0,1 mm. Nakon toga glava prolazi komorom te nanosi vezivo (i boju ako je pišač u boji). Klizač sa glavom kreće se po x-y ravnini dok se radni stol spušta za visinu sloja po z osi. Prvi sloj praha vezivom je očvrstnut po obliku prvog STL sloja modela. Ostatak praha koji se nalazi van kontura služi kao potporna konstrukcija, a kasnije se reciklira. Ciklus se ponavlja do završetka izgradnje modela. Podešavanje orijentacije modela i parametri ispisa mogu bitno utjecati na geometriju i točnost izrade. Smjer orijentacije osjetljivih detalja postavlja se u vertikalni položaj. Kod tankih stjenki debljina sloja mora se smanjiti na 0,089 mm i podesiti vrijednost zasićenja praha vezivom, čime se one ojačavaju. Ojačanjem na ovaj

način povećava se vrijeme sušenja. Kad je model izgrađen višak praha iz komore usisava se u spremnik. Izgrađeni model se propuhuje komprimiranim zrakom u zasebnoj komori [11].



Slika 8. 3DP postupak (preuzeto iz [6])

Prednosti 3DP postupka [6]:

- Izrada modela srednjih do velikih dimenzija
- Nema gubitaka materijala
- na izradi potporne konstrukcije
- Materijali koji nisu štetni za zdravlje
- Prikaz u bojama
- Brzina izrade
- Točnost
- Mogućnost očvršćivanja vodom
- (ZCorp)

Nedostaci 3DP postupka [6]:

- Potrebna česta zamjena uložaka
- sa vezivom (100 sati operacije)
- Slabe mehaničke karakteristike
- Ograničen broj primjenjivih materijala
- Mogućnost oštećenja kod manualnog rukovanja zelenim komadom

ZAKLJUČAK

U radu su predstavljeni postupci brze izrade prototipova i proizvoda aditivnom metodom. Tehnologija je relativno nova i još uvijek u stadiju razvoja, standardizacije i dokazivanja. Tehnologija brze izrade prototipova razvija se posljednjih 25 godina i još uvijek je relativno nepoznata. Iako omogućava brz, ekonomičan i kvalitetan proces izrade prototipa, alata i proizvoda, tehnologija se sporo probija u industriji zbog nekoliko razloga: nedostatka informacija i standardizacije, troškova investiranja, ograničene dimenzije radnog volumena i ograničenog broja ponuđenih materijala. U bližoj budućnosti ti nedostaci će vjerojatno biti djelomično ili potpuno uklonjeni čime će tehnologija biti

sprema ispuniti sve zahtjeve koje postavlja industrija u različitim granama proizvodnje. Ovim radom je uspoređeno i evaluirano preko prednosti i nedostataka sedam (7) postupaka za brzu izradu prototipova. Neki od postupaka prevladavaju u brzini izrade prototipova poput SLS, SLA i EBM postupka. Uz brzinu je važna i točnost. U točnosti prevladava 3DP. Optimistični smo u pogledu novih postupaka koji bi tehnologiji brze izrade prototipova omogućili prepoznavanje koristi i prednosti uporabe u industriji po tehničkim i ekonomskim karakteristikama.

LITERATURA

- [1] Blog WB engineering, <http://wb-3d.com/2012/01/3d-printing>, citirano [09.01.2017.]
- [2] efunda-rapid prototyping 2017, http://www.efunda.com/processes/rapid_prototyping/intro.cfm, citirano [09.01.2017.]
- [3] Proto 3000, <http://proto3000.com/what-is-rapid-prototyping.php>, citirano [09.01.2017.]
- [4] Aćimović B., Čomić B., Kolak J., Mićović T., Sekerez D., Brza izrada prototipa primjenom 3D štampača, <http://infotech.etf.unssa.rs.ba/zbornik/2013/radovi/STS/STS-14.pdf>, citirano [09.01.2017.]
- [5] Matthew F., Sanjay B. Wisk R. Rapid prototyping as an integrated product/process development tool an overview of issues and economics, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.111.93&rep=rep1&type=pdf>, citirano [09.01.2017.]
- [6] Rapid Prototyping Solutions At Proto3000, <http://proto3000.com/what-is-rapid-prototyping.php>, citirano [09.01.2017.]
- [7] Šercer M., Jerbić B., Brza izrada prototipova i brza izrada prototipova i alata, https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1426604179-0-pred2.pdf, citirano [09.01.2017.]
- [8] Tiro D., Komparativna analiza zatezne čvrstoće tri postupka brze izrade prototipa, <http://www.quality.unze.ba/zbornici/QUALITY%202015/031-Q15-070.pdf>, citirano [09.01.2017.]
- [9] efundaLaminaed Object Mfg, http://www.efunda.com/processes/rapid_prototyping/lom.cfm, citirano [09.01.2017.]
- [10] Trodimenzionalni tisak, <http://materijali.grf.unizg.hr/media/TRODIMENZIONALNI%20TISAK.pdf>, citirano [09.01.2017.]
- [11] Grujović, N.; Milivojević, N.; Milivojević, V.; Dimitrijević, V.; Grujović, Đ.: Iskustva u brznoj izradi prototipova tehnologijom 3D štampe, 31. savetovanje proizvodnog mašinstva Srbije i Crne Gore sa međunarodnim učesćem, Mašinski fakultet Kragujevac, 2006
- [12] DMLS postupak brze izrade prototipova, <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/dmls.png>, posjećeno [09.01.2017.]

Rapid prototyping procedures in three-dimensional (3D) printing

Abstract. The Rapid Prototyping Technology which has evolved over the last 25 years. Although it provides a quick, cost-effective and an quality process of prototyping tools and products, the technology is slowly making its way into the industry due the lack of information and standardization, investment costs and limited dimensions of working volume and offered materials. With Rapid Prototyping Technology were now able directly, from the digital blueprint of the three-dimensional (3D) model developed in some of graphical tools available, build a functional and relatively complex working prototype. Rapid prototyping differs from usual methods which realizes the geometry by removing material. Therefore, models are built by digitally separating the layers of the model and assembling layer after layer in the physical space to its final form. This paper presents and evaluates several different methods of rapid prototyping.

Keywords: Prototyping, 3D printing, SLS, DMLS, SLA

List of figure:

Figure 1. Fast prototyping cycle

Figure 2. SLS Procedure

Figure 3. DMLS Procedure

Figure 4 FDM procedure

Figure 5 SLA procedure

Figure 6 EBM Procedure

Figure 7. LOM procedure

Figure 8. 3DP procedure