

# Primjena 3D printera u proizvodnji modne obuće

## 1. Uvod

3D printanje obuće jest zanimljiva tehnologija koja omogućuje da se u vrlo kratkome vremenu izradi ono što je zamišljeno bez potrebe za konvencionalnim načinima pripreme i izrade obuće. Tehnologija 3D printanja jest metoda izrade trodimenzionalnog objekta iz STL (engl. *Standard Tessellation Language*) datoteke kreirane nekim od CAD (engl. *Computer Aided Design*) programa [1]. Ta tehnologija spada u procese brze izrade prototipova (engl. *Rapid prototyping*), brze izrade alata (engl. *Rapid tooling*) i brze izrade proizvoda (engl. *Rapid manufacturing*). Procesi izrade prototipova obuće različiti su, no svi rade na sličnome načelu. Načelo 3D printanja (proizvodnje) omogućuje izradu vrlo složene geometrije i različita svojstva materijala obuće koje bi drugim, klasičnim postupcima proizvodnje bilo vrlo teško ili nemoguće proizvesti. Kod 3D printanja obuća se proizvodi izravno na opremi za 3D printanje, tj. na 3D printer. Izrada se realizira na temelju matematički određenog 3D računalnog modela obuće bez potrebe za dodatnim alatima [2,3,4]. Model predmeta (obuće) kreira se sloj na sloj nanošenjem određenog materijala ovisno o tehnici 3D printanja.

Upotreba 3D printera uključuje mnoge tehničke izazove ne samo prilikom konstruiranja već i prilikom postavljanja parametara izrade kako bi se dobila obuća dobre kvalitete, npr. optimiranje brzine izrade, poboljšanje svojstva materijala, postavljanje parametara izrade novih materijala i sl. Ovdje se uvelike pojednostavnjuje proizvodnja obuće 3D printerom i skraćuje vrijeme rada konstruktora [5].

Taj postupak omogućuje bržu prilagodbu na zajednički smišljene proizvode i njihovu distribuciju namijenjene prodaji internetom. Time se lakše dobiva uvid u želje potrošača i razvijaju se bolji odnosi između proizvođača i kupca.

Danas se 3D printeri mogu upotrebljavati u proizvodnji modne i zaštitne obuće različitih vrsta polimernih materijala složene geometrije, različitih svojstava kao što su elastičnost, vodljivost, udobnost te dizajn s modnim dodatcima.

## 2. 3D printeri

Kod 3 D printanja najčešće se upotrebljavaju printeri koji rade s tehnologijama:

a) Taložno srašćivanje (engl. *Fused Deposition Modeling*) – 3D FDM

b) Stereolitografija (engl. *Stereolithography*) – 3D SLA, SL

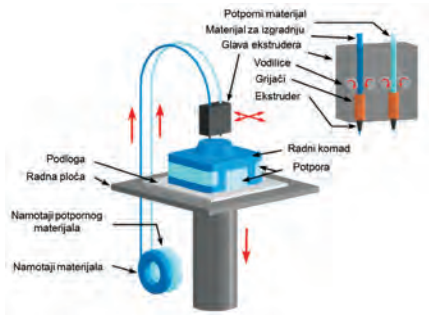
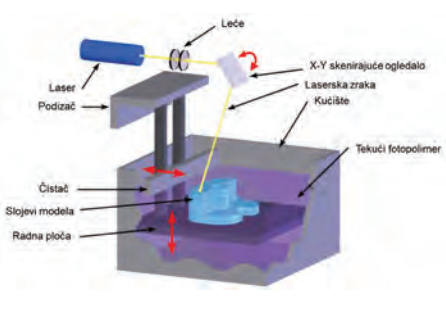

c) Selektivno lasersko srašćivanje (engl. *Selective Laser Sintering*) – 3D SLS

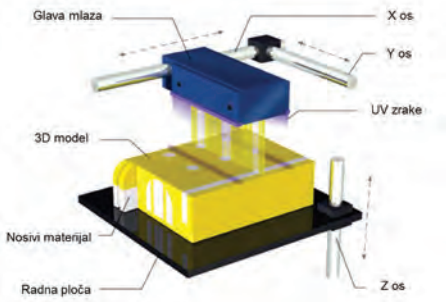
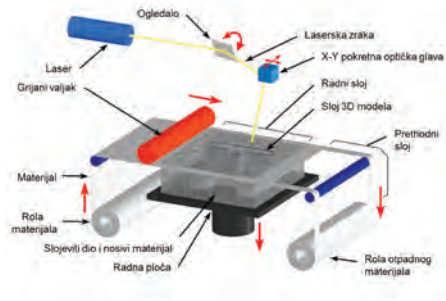
d) PolyJet postupak (engl. *PolyJet*)

e) Laminirana objektna proizvodnja (engl. *Laminated Object Manufacturing*) – LOM.

Sve navedene tehnologije rabe načelo slaganja sloj na sloj odozgo prema dolje. 3D printanje omogućuje kreiranje kompleksnih modela s tankim stijenkama te složenim unutarnjim strukturama.

Na slici 1. dana je kategorizacija i definicija 3D printera prema normi ISO/ASTM 52921:2013 E [5,6].

|  |   |
|--|---|
|  <p>a) Taložno srašćivanje (engl. <i>Fused Deposition Modeling</i>) – 3D FDM</p>              | <p>Polimerno vlakno konstantno prolazi kroz mlaznicu promjera do minimalno 0,1 mm. Mlaznica je zagrijana na određenu temperaturu te tako tali dobavljeni materijal i nanosi ga sloj na sloj tvoreći trodimenzionalni objekt. Tijekom procesa nanošenja glava mlaznice giba se u smjeru X i Y osi i tako ravnomjerno istiskuje materijal. Kad je otisnut jedan sloj, radna površina čini pomak po Z-osi za debljinu sloja te počinje nanošenje idućeg sloja. Taj se postupak ponavlja dok se ne otisne finalni sloj objekta. Kod ove je tehnologije debljina sloja od 50 µm do 762 µm.</p> |
|  <p>b) Stereolitografija (engl. <i>Stereolithography</i>) – 3D SLA, SL</p>                   | <p>Računalom se učitava CAD model te se kreiraju slojevi. Najčešća je debljina sloja oko 0,1 mm, no može varirati od 0,05 mm do 0,15 mm. Kontrolno računalo s pomoću laserske jedinice i hardvera pisara kreira potporni sloj. Uslijed ultraljubičastog zračenja, na osvijetljenim mjestima polimerna tekućina prelazi u krutu tvar. Taj se postupak nastavlja sve dok se ne ispiše i posljednji sloj objekta.</p>  |
|  <p>c) Selektivno lasersko srašćivanje (engl. <i>Selective Laser Sintering</i>) – 3D SLS</p> | <p>SLS metoda počinje konverzijom 3D CAD modela u standardni STL format. U STL datoteci mogu se mijenjati dimenzije te orijentacija 3D modela, o čemu ovise kvaliteta i točnost oblika. Nakon konverzije STL datoteka dijeli se u slojeve. Prah materijala doprema se s pomoću rotirajućeg cilindra u komoru za modeliranje. Prilikom dovođenja materijala može se dozirati stupanj rastapanja čestica te se tako mogu dobiti homogene strukture manje poroznosti. Kod ove je tehnologije debljina sloja od 100µm do 150 µm.</p>  |

|  |  |
|--|--|
|  <p>d) PolyJet postupak (engl. <i>PolyJet</i>)</p>  | <p>S pomoću 3DP PJ metode izgrađuju se modeli stabilnih dimenzija, točnosti 0,025-0,05 mm (ProJet) i 0,1-0,3 mm (PolyJet). Mogu se izrađivati stijenke debljine 0,6 mm. Površina ovakvih modela među kvalitetnijima je u industriji brze izrade prototipova, a maksimalne su dimenzije modela 550 x 400 x 300 mm. Ovo je prva tehnologija koja omogućuje istodobno nanošenje mlaza različitih materijala.</p>  |
|  <p>e) Laminirana objektna proizvodnja (engl. <i>Laminated Object Manufacturing</i>) – LOM</p> | <p>Tehnologija laminirane objektno proizvodnje omogućuje izradu modela različite mase, dok debljina ovisi o vrsti upotrijebljene folije. Folije mogu biti papirnate i polimerne. Ova se tehnologija primjenjuje pri izradi funkcionalnih modela visoke čvrstoće koji su otporni na agresivne medije i visoke temperature. Pogodna je kod verifikacije oblika i sukladnosti dijelova u sklopu, kod modela koji nemaju sitne detalje. Kod ove je tehnologije debljina sloja od 76µm do 150µm</p> |

Slika 1. Vrste 3D printera [5,6]

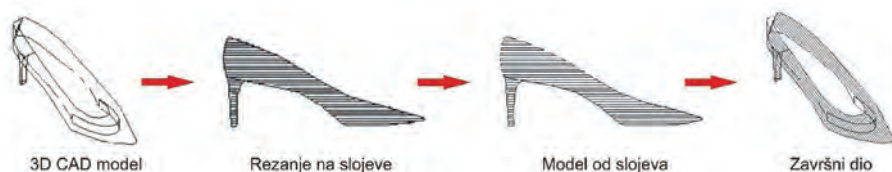
### 3. 3D printanje i proizvodnja obuće

Što je 3D printanje? Poznato je kao brzo modeliranje – brzo stvaranje (izrada) prototipova obuće. Zapravo je to proizvodnja gotove obuće dodavanjem materijala izgrađujući 3D objekt (obuću) sloj na sloj. 3D printeri mogu upotrebljavati više vrsta materijala i više boja. Debljina jednog sloja jest oko 100mm. Printanje je relativno sporo, brzina je 50 do 100 mm/s.

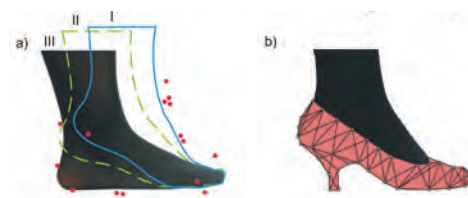
Kod 3D printanja obuće najčešće se rabi sljedeći postupak: najprije se skenira nova ideja obuće, biraju se kroj i materijal, usklađuje geometrija, materijal i boje te se u CAD programu izrađuje 3D slika. Programi na osnovu 3D slike stvaraju profil i omogućuju odabir određenoga željenog modela obuće.

Na slici 2. prikazano je načelo izrade modela modne obuće i rezanje na tanke slojeve gdje se dolazi do stepenaste površine modela. 3D model konstruiran računalom izreže se na dvodimenzionalne slojeve jednakih debljina koji se slažu jedan na drugi. Tako se postiže trodimenzionalni oblik, sa stepenastim izgledom površine, upravo zbog načela slaganja sloj na sloj.

Postupak proizvodnje obuće s pomoću 3D printera može se podijeliti u sljedeće faze izrade:



Slika 2. Proces izrade sloj na sloj

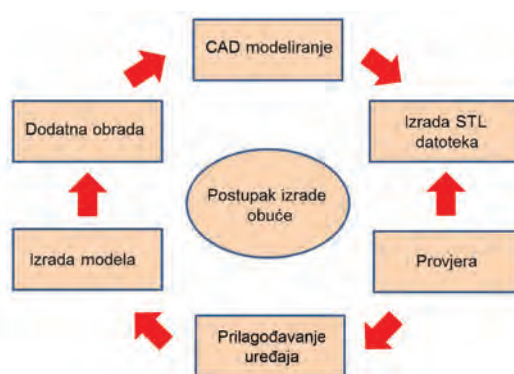


Slika 3. CAD model modne obuće

del obuće. U procesu stvaranja CAD datoteke mogu se testirati modeli obuće numeričkim metodama [7,8,9].

- c) **Pretvaranja CAD modela u STL** (engl. *Standard Triangulation Language*) **datoteku**. STL datoteka standardizirani je format za prijenos podataka koje rabe uređaji za brzu izradu prototipova. To je prikaz geometrije trodimenzionalnih površina u obliku trokuta. Datoteka u tom obliku upotrebljava se za izrezivanje modela na horizontalne poprečne presjeke, odnosno slojeve.
- d) **Prebacivanje STL datoteke u program za virtualno rezanje objekta u slojeve**.
- e) **Namještanje parametara 3D printera** (debljina sloja, snaga, brzina, temperatura, generiranje potporne strukture itd.).
- f) **Namještanje 3D printera** (zamjena materijala, kalibriranje itd.).
- g) **Izrada konačnog proizvoda 3D printerom**. Kvaliteta 3D printane obuće ovisi o visini sloja, a kad je riječ s tanjim slojevima, prijelazi između slojeva slabije su uočljivi, stepenasta struktura manje dolazi do izražaja, a predmeti imaju finiju površinu. Debljina jednog sloja najčešće se kreće u vrijednosti između 50 i 250 mm, a može biti i do 762 mm.
- h) **Završna obrada 3D objekta** obuće (otklanjanje viška materijala, naknadno, spajanje, odstranjivanje potporne strukture, lakiranje, brušenje, lijepljenje, bojenje, pjeskarenje, itd.).
- i) **Pakiranje i isporuka 3D objekta** obuće.

Prije izrade prototipa obuće definira se namjena i svrha te u skladu s tim odabire tehnika izrade prototipa obuće. Nakon verifikacije oblika i dimenzija izrađuje se prototip. Eventualni nedostaci prototipa eliminiraju se i ispravljaju u CAD datoteci. Proces izrade prototipa prikazan je na slici 4.



Slika 4. Ciklus brze izrade prototipa [5]

Osim složenosti dizajna kod 3D printanja, prema datoteke i njezina konverzija također mogu biti dugotrajni i složeni, posebno za modele obuće koji zahtijevaju složenu tehnologiju izrade. Međutim, danas su redovito dostupna ažuriranja i nadogradnje programa čime se postupak izrade poboljšava. Nadalje, kad izađe iz printera, obuci je potrebna završna obrada. Uklanjanje potrebe za potpornim elementima ubrzava postupak izrade, ali ipak ostaju postupci koji uključuju pjeskarenje, lakiranje, bojenje ili druge vrste tradicionalnih završnih radova koji se obično obavljaju ručno te zahtijevaju određene vještine i strpljenje.

## 4. Materijali za 3D printanje

Kod 3D printanja materijal može imati dvije funkcije, kao temeljni materijal od kojeg se radi predmet (obuća) ili kao pomoćni za potporne strukture. Iako se tim postupkom mogu izraditi različiti predmeti, potrebno je voditi brigu o orijentaciji predmeta na podlozi jer se katkad oštri bridovi ili izbačeni elementi neće moći isprintati. Izbor materijala za 3D printanje obuće ovisan je o njezinoj namjeni, pri čemu su važna mehanička svojstva (udari), kemijska svojstva (propusnost), toplinska svojstva, boja i izgled [10,11]. Ako se printaju predmeti s pomoćnim materijalima, potrebno ih je po završetku odstraniti tako da se odlome ili otope u nekoj otopini, ovisno o materijalu. Materijal za printanje u obliku je plastičnog vlakna, žice i namotan je na kolut (tablica 1). U uporabi su najčešće plastomeri ili mješavine plastomera i organskih materijala. Najzastupljeniji polimerni materijali jesu ABS (acrylonitrile butadiene styrene), PA (polyamide) i PLA (polylactic), a iza njih PC (polycarbonate), uz još neke poput PVA (Polyvinyl alcohol) i PS-HI (Polystyrene, High Impact).

Za 3D printanje modne obuće upotrebljavaju se noviji materijali kao što su FilaFlex (termoplastični filament iz poliuretana (TPU – Thermoplastic Urethane) koji ima slični elasticitet kao guma.

Printanje cipela s dvostrukim ekstruderom i kombinacijom PLA i FilaFlex proizvodi cipele koje pružaju stabilnost i udobnost.

Tablica 1. Prikaz dijela upotrebljivanih materijala za 3D printere [1]

| Tip materijala | Proces                | Vrsta materijala  |
|----------------|-----------------------|---|
| tekući         | fotopolimerizacija    | fotopolimeri i epoksi smole                                   |
|                | modeliranje taljenjem | termoplastični polimeri, elastomeri i vosak                   |
| praškasti      | lasersko sinteriranje | polimeri, keramika, gips, pijesak s vezivom, metali s vezivom |
|                | 3D Ink-jet            | polimerni i metalni prašci                                    |
| krti           | laminiranje           | polimeri i papir  |

## 5. Radna podloga

Radna podloga jest podloga na koju dolazi materijal iz mlaznice tijekom printanja i na njoj nastaje predmet. Njome su definirane dimenzije predmeta koji može nastati 3D printanjem. Uglavnom je zagrijana na određenu temperaturu koja je niža od temperature grijanja materijala. Katkad se upotrebljava i ona koja nije zagrijana, a tad je riječ o posebnim materijalima. Grijana podloga upotrebljava se zato što znatno poboljšava kvalitetu printanja tako što sprečava savijanje predmeta dok se materijal hladi tako da ga drži lagano ugrijanim i nakon izlaska iz mlaznice. Kad se ekstrudirani materijal hladi, malo se skuplja, a ako se to ne događa ravnomjerno, kroz cijeli predmet dolazi do savijanja. Savijanje se očituje kroz podignute rubove što prouzrokuje deformacije 3D printanog predmeta. S grijanom podlogom održava se temperatura predmeta do završetka procesa te osigurava hlađenje i skupljanje cijelog predmeta istodobno pa ne dolazi do savijanja i podizanja rubova. Podloga se sastoji od dva dijela: grijane ploče od nekog električno vodljivog materijala i površinskog materijala ili površinske ploče. Grijana je ploča najčešće od metalnog materijala, zbog dobre toplinske vodljivosti. Najčešće je riječ o aluminiju koji se vrlo brzo grije i hladi. Na aluminijsku foliju nanosi se poliamidna traka. Površinski materijal podloge ima ulogu da pokrije grijaću ploču i da se na njega nanosi ekstrudirani materijal, koji dobro prijanja na tu površinu.

## 6. Proizvodnja i prodaja

Izračun ukupne cijene 3D printanja obuće izračunava se za svaki model pojedinačno. Prvi i najvažniji parametar izračuna cijene jest volumen objekta koji se izrađuje [12, 13, 14]. Osnovna cijena izračuna se po utrošenom, odnosno ispisanom kubnom centimetru materijala (1cm<sup>3</sup> materijala). Drugi parametar cijene ovisi o materijalu koji se upotrebljava pri izradi objekta te o potrebi za potpornim materijalom. U kategoriju najpovoljnijeg 3D tiska općenito spadaju predmeti izrađeni iz ABS i PLA materijala.

## 7. Zaključak

Tehnologija 3D printanja brzo se razvija i nalazi primjenu u industriji modne obuće. Kako bi se izvukao maksimum iz ove tehnologije, potreb-

no je postići određenu kvalitetu ispisa modela poštovanjem određenih pravila. Noviji printeri rade brže i preciznije te imaju bolje programe, više glava, sve boje, više različitih materijala i veliki izbor datoteka s objektima. Primjena 3D printera i prodaja uključuje izradu obuće po narudžbi. Konačna svojstva obuće načinjene 3D printanjem ovise prije svega o izabranoj tehnologiji, izabranome materijalu te postavljenim parametrima izrade. Za optimalno iskorištavanje prednosti koje pruža 3D printanje potrebno je biti informiran o prednostima i nedostacima tehnologije u usporedbi s klasičnim postupcima proizvodnje.

## Literatura

- [1] Gebhardt, A.: Understanding Additive Manufacturing, Rapid Prototyping – Rapid Tooling – Rapid Manufacturing, Carl Hanser Verlag, Munich, 2012.
- [2] Pahl, G.; Beitz, W.: Engineering Design, Springer-Verlag, Berlin, 1984.
- [3] Reinthaler, M. A.: 3D CAD – CAM Concepts for Multiaxis Milling of Lasts and Moulds, Schuh-Technik + abc, 2, 1988., 102 – 104.
- [4] Zhao, J., Ding, Y., Goonetilleke, R. S.: Three-dimensional data processing techniques, The Science of Footwear (Edited by R. S. Goonetilleke), CRC Press, 2013.
- [5] Pilipović, A.: Aditivna proizvodnja, Polimeri 33, 3 – 4, 2012., 134 – 135.
- [6] Matthews. J.: 3D Printing Breaks Out of Its Mold. Physics Today, 64, 10, 2011., 25 – 28.
- [7] Mijović, B.: Biomehanička analiza stopala u cipeli s visokom potpeticom, Koža i obuća, 10 – 12, 2012., 28 – 31.
- [8] Mijović, B.: Biomehanička analiza stopala u sportskoj obući, Koža i obuća, 7 – 9, 2014., 21 – 23.
- [9] Mijović, B., Agić, A.: Foot structure in ergonomic design // Ergonomis Congress of Portuguese Speaking Countries / Anabela Simoes (ur.). Funchal, Portugal: APERGO, 2004. c7c5, 1 – 6.
- [10] <http://www.3d-printing.net/tags/fashion?page=1> (pristupljeno 13. 10. 2015.)
- [11] Canessa, E., Fonda C., Zennaro M.: Low-cost 3D printing for science, education & sustainable development, ICTP – The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, 2013.
- [12] Cimtech Prototype, Operator's Guide, Version 2, Cimtech-Microdynamics Inc., Trenton, Canada, 1989.
- [13] <http://www.ijesrt.com/issues%20pdf%20file/Archives%202013/july-2013/25.pdf> (pristupljeno 10. 7. 2015.)
- [14] <https://www.printuridigital.ro/print-3d> (pristupljeno 10. 7. 2015.)
- [15] <https://www.additivefashion.com/3d-printing-2014/printing-without-a-3d-printer/> (pristupljeno 10. 7. 2015.)
- [16] <https://3dprintingindustry.com/2014/12/30/gyrobot-3d-print-insole/> (pristupljeno 10. 7. 2015.)