

## Istraživanje primjene 3D ispisa postupkom taložnog očvršćivanja u realizaciji prototipova potpetica ženskih cipela od akrilonitril/butadien/stirena

Dr. sc. **Suzana Kutnjak-Mravlinčić**, dipl. ing.<sup>1</sup>

**Tea Krišković**, bacc. ing. techn. text.<sup>2</sup>

Prof. dr. sc. **Ana Sutlović**, dipl. ing.<sup>1</sup>

Prof. dr. sc. **Damir Godec**, dipl. ing.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup> Tvornica obuće Ivančica d.d.

Ivanec, Hrvatska

<sup>3</sup> Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje

Zagreb, Hrvatska

e-mail: skutnjak@ttf.unizg.hr

Prispjelo 20. 12. 2021.

UDK (677+687)..621.694/.72

Stručni rad\*

*U radu je istražena mogućnost primjene 3D ispisa (engl. 3D printing) u sektoru obućarstva. Postupkom taložnog očvršćivanja (engl. Fused Deposition Modeling - FDM) na stolnom 3D pisaču MakerBot Replicator 2X izrađeni su prototipovi potpetica ženskih cipela od akrilonitril/butadien/stirena (ABS). Jedno od ograničenja stolnih 3D pisaa je 3D ispis jednobojsnih ili dvobojsnih tvorevina (ovisno o broju mlaznica pisaa), što otežava ispunjavanje zahtjeva za visokokvalitetnu višebojsnu reprodukciju. Stoga je istražena i mogućnosti naknadnog bojanja 3D ispisanih prototipova potpetica iz akrilonitril/butadien/stirena s disperznim bojilima postupkom iscrpljivanja. Rezultati su potvrdili mogućnost postizanja višebojsnih efekata sa svrhom dobivanja proizvoda dodane vrijednosti. Izrađeni prototipovi potpetica su u suradnji s razvojn timerom Tvornice obuće Ivančica d. d. Ivanec ugrađeni u funkcionalne i nosive modele ženskih cipela - salonki.*

**Ključne riječi:** postupak taložnog očvršćivanja, 3D ispis, akrilonitril/butadien/stiren, bojenje, dizajn obuće, prototipovi potpetica

### 1. Uvod

Dizajn proizvoda značajan je segment u okviru kojeg napredne znanosti i tehnologije omogućuju povećanje broja inovacija u indu-

strijskom procesu, pa tako i u području proizvodnje obuće. Jedan od postupaka aditivne proizvodnje (engl. Additive Manufacturing – AM) koja omogućava brzu izradu prototipova ili malih serija je postupak taložnog očvršćivanja (engl. Fused Deposition Modeling - FDM) [1-3]. Akrilo-

nitril/butadien/stiren (ABS) je jedan od najčešće primjenjivih materijala za FDM zbog dimenzijske stabilnosti i niske temperature staklastog prijelaza za izradu raznovrsnih 3D objekata različitih primjena, no njegova primjena u sektoru obućarstva nedovoljno je istražena [4, 5].

\*Izlaganje na 14. znanstveno-stručnom savjetovanju „Tekstilna znanost i gospodarstvo“, 26. siječnja 2022., Zagreb, Hrvatska

Aditivna proizvodnja nudi veću fleksibilnost u odnosu na tradicionalnu proizvodnju, a glavna joj prednost izrada tvorevine u jednom koraku, izravno iz modela [3, 4]. Upotreba aditivne proizvodnje i 3D ispisa povećava se i u modnoj industriji u prvom redu zbog niza prednosti u odnosu na tradicionalne proizvodne procese, kao što su ubrzani proces dizajniranja i konstruiranja, kraće vrijeme izrade te niži troškovi povezani sa zalihama, skladištenjem i dr. AM se primjenjuje u modnoj industriji za razvoj prototipova, inovativnih primjera visoke mode (engl. haute couture) ili prilagodljivih personaliziranih tvorevina [6].

Primjenom aditivnih postupaka orijentiranih na razvoj novih modela obuće omogućava se izrada prototipova, personaliziranih primjera i manjih serija izrađenih modela [7]. Aditivnim postupcima se mogu izrađivati funkcionalni dijelovi obuće vrlo složenih geometrija, dobre dimenzijske tolerancije te glatke površine izrađenih dijelova. Primjenjivost tehnologije 3D ispisa u izradi modela - prototipa obuće uključuje ispitivanja pomoću kojih je, već u ranim fazama razvoja, moguće provesti detaljnu analizu estetskog aspekta i povezanosti

dizajnerskih elemenata s antropometrijskim karakteristikama i geometrijom stopala [8, 9]. U izradi i razmatranju personalizirane obuće moguće je pristupiti s tri stajališta: estetskog, dimenzijskog i funkcionalnog. U suvremenu modnu industriju uvedene su cipele izrađene postupcima 3D ispisa različitog dizajna, od umjetničkih dizajnerskih primjera do funkcionalne i praktične obuće za određene sportske namjene ili svakodnevnu primjenu [6]. Mnogobrojni eksperimentalni i umjetnički primjeri obuće (sl.1) jasno prikazuju mogućnosti i prednosti aditivnih postupaka kao što su izrada komplicirane geometrije bez ograničenja i bez potrebe za dodatnim alatima [10-14].

Primjenu AM u obućarstvu moguće je podijeliti u tri segmenta:

- 3D ispis pojedinih dijelova obuće kao npr. donovi, potpetice, ukrasni i/ili funkcionalni detalji,
- 3D ispis cjelovitih modela jednostavnih ili složenih geometrija te
- 3D ispis ugradbenih dijelova, npr. uložne tabanice.

Personalizirane uložne tabanice prvi su potrošački proizvodi u obućarskoj industriji (uključujući ortopedske proizvode) koji se masovno proizvode pomoću AM

[15, 16]. Komercijalna dostupnost omogućena je putem aplikacija na mobilnim uređajima, online trgovinama ili skeniranjem stopala izravno u trgovini. Pozitivan primjer je tvrtka Bivics Wiivv Wearables Inc. koja je 2016. godine pokrenula Kickstarter kampanju izrade prilagođenih uložnih tabanica pomoću 3D ispisa. Uspjeh Wiivv 3D prilagođenih uložaka rezultirao je suradnjom s tvrtkom Scholl koja trenutno nudi prilagođene 3D ispisane anatomske uloške za cipele [17]. Izrada pojedinih dijelova obuće kao što su savitljivi donovi također su potrošački proizvodi koji se masovno proizvode pomoću aditivne proizvodnje, a razvile su ih tvrtke Adidas, New Balance i Nike [16]. U komercijalnoj proizvodnji Nike već od 2012. godine primjenjuje 3D ispis za izradu prototipova i proizvodnju prilagođenih potplata (donova) za Vapor Laser Talon, sportsku nogometnu obuću (sl.2a) [18]. Tvrtke Carbon i Adidas predstavile su 2016. godine Futurecraft 4D tenisicu za trčanje (sl.2b) prezentiranu kao najinovativniji 3D ispisani proizvod na tržištu [19], a od iste godine u ponudi je i New Balance tenisica za trčanje (sl.2c) [20].

Osim dizajnerskih i estetskih obilježja u razvoju modela obuće,



a)



b)

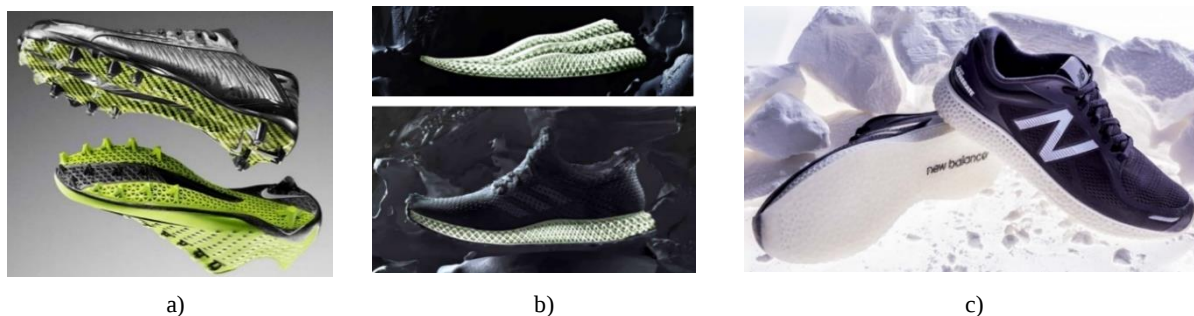


c)



d)

Sl.1 3D ispisani eksperimentalni i umjetnički primjeri obuće: a) Marieka Ratsma cipele „*Biomimicry*” 2012., b) Neta Soreg 2014., c) “*Exobiology*” Ica & Kostika 2018., d) Francis Bitonti 2014. [11-14]



Sl.2 Primjeri 3D ispisanih savitljivih đonova u sportskoj obući: a) *Nike Vapor Laser Talon* 2013., b) *Adidas Futurecraft 4D* 2016., c) *New Balance* 2016. [18-20]



Sl.3 Primjeri hibridnih modela ženske obuće: a) tvrtke *Delcam CRISPIN*, b) dizajnerice *Zoe Dai* 2015., c) dizajnerice *Kerrie Luft* 2013., d) dizajnera *Ganit Goldstein* 2018. [15, 21-23]

nužno je zadovoljiti i funkcionalne i ergonomске kriterije, stoga se u modnoj obući trenutačno najčešće kombiniraju 3D ispisan dijelovi (đonovi i potpetice) s klasičnim materijalima i postupcima za izradu gornjišta obuće, tzv. „hibridi”. Kombinacijom 3D ispisa i klasične proizvodnje obuće osigurava se funkcionalnost i udobnost, ali i personalizacija obuće usmjerena masovnoj prilagodbi AM postupaka u sektoru obuće [19].

Primjeri hibridne proizvodnje su cipele tvrtke Delcam CRISPIN (sl.3a) koje kombiniraju klasično kožno gornjište salonke s 3D ispisanim donjištem i potpeticom [21], cipele dizajnerice Zoe Dai (sl.3b) [22] ili inovativni modeli ženskih cipela s 3D ispisanim potpeticama od titana (sl.3c) dizajnerice Kerrie Luft javno prezentirani 2013. godine [15]. Povezivanjem suvremene proizvodne tehnologije i tradicionalnog modnog dizajna izrađene su i cipele modnog dizajnera Ganit Goldsteina, koji spaja 3D ispis s

tradicionalnim tehnikama tkanja (sl.3d) [23]. Iako postoji veći broj primjera primjene 3D ispisa u sektoru obućarstva aditivnim postupcima iz različitih materijala, primjena ABS-a u navedenom sektoru nije raširena i nisu zabilježena znanstvena istraživanja.

## 2. Eksperimentalni dio

U radu je istražen postupak primjene 3D ispisa za izradu prototipova potpetica ženskih cipela postupkom FDM od ABS-a na stolnom 3D pisaču te inovativan postupak naknadnog bojenja ABS tvorevina disperznim bojilima.

### 2.1. Materijali

Akrilonitril/butadien/stiren amorfn je kopolimer koji nastaje polimerizacijom emulzije ili mase akrilonitrila i stirena u prisustvu polibutadiena. Svaki od ovih monomera daje određenu prednost svojstvima ABS-a: akrilonitril osi-

gurava kemijsku i toplinsku stabilnost, butadien povisuje savojnu žilavost, a stiren daje lijep i sjajan izgled [24, 25]. Istraživanja u radu provedena su primjenom ABS-a proizvođača MakerBot Industries, SAD. Polimer je u obliku filameta promjera 1,75 mm namotan na kolut mase 1 kg, a uz bijelu, sivu i crnu raspoložive su sve spektralne boje. Prilikom 3D ispisa prototipova potpetica primijenjene su različite boje original ABS-a (bijela, crvena, narančasta, zelena i ljubičasta). Za inovativan postupak naknadnog bojenja disperznim bojilima za postizanje obojenih, ombre efekata primijenjen je ABS bijele boje [26]. U istraživanju su kombinirana tri disperzna bojila primarnih boja različitih kemijskih sastava: Cibacet Yellow 2GC (BASF, C.I. Disperse Yellow 3 – DY3), Cibacet Red 3B (BASF, C.I. Disperse Red 15 - DR15) i Foron Blue RD GLF, (Sandoz, C.I. Disperse Blue 27 – DB27).

## 2.2. Konstruiranje prototipova potpetica

Za potrebe konstruiranja 3D računalnog CAD modela prototipa potpetica, a zbog geometrijske i dimenzijske točnosti skeniran je originalni kalup ženske cipele broj 37 (tvornički naziv kalupa Pia) i pripadajuća originalna potpetica visine 75 mm te je izrađen CAD model kalupa i CAD model potpetice. Temeljem geometrije i dimenzija navedenih CAD modela u računalnom programu Rhinoceros 5 konstruirani su jednostavni CAD modeli potpetica klasičnih oblika (sl.4a, 4b) s ciljem provjere mogućnosti montiranja 3D ispisanе potpetice klasičnim postupcima spajanja gornjišta i donjišta te ponašanja ABS materijala tijekom postupka montaže (spajanje potpetice s gornjištem cipele). Tvorevine od ABS-a su lagane i čvrste, a nedostatak elastičnosti ABS-a

može se do određenog stupnja riješiti modeliranjem šupljikavih struktura [8]. Slijedom navedenog modelirani su CAD modeli prototipova potpetica šupljikavih struktura (sl.4c) te složenijih geometrijskih oblika (sl.4d) [27, 28].

Za prototipove namijenjene naknadnom bojenju disperznim bojilima za postizanje višebojnih efekata konstruirani su CAD modeli jednostavnijih oblika (sl.5a), kako bi se istakla mogućnost postizanja tonske modulacije boje od svjetlijih do tamnijih tonova, do kompleksnijih formi (sl.5b, 5c).

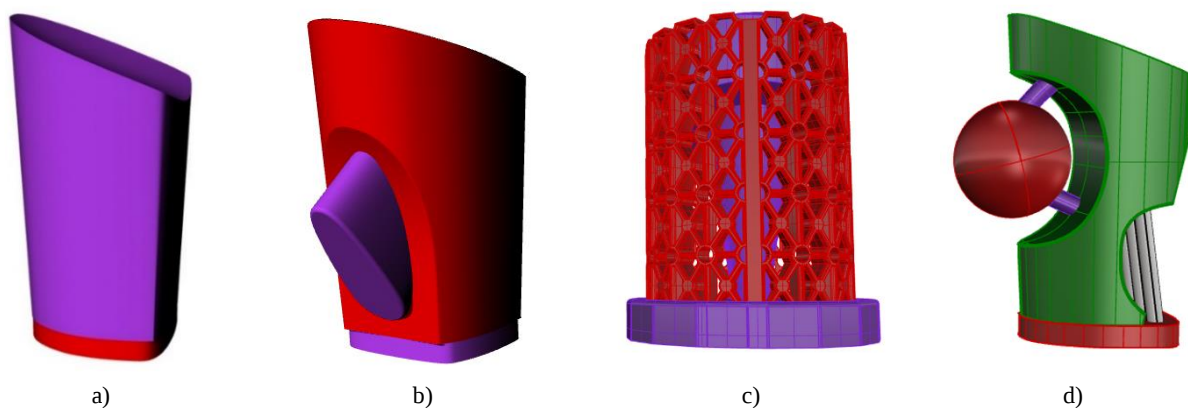
## 2.3. 3D ispis prototipova potpetica

Prototipovi potpetica izrađeni su postupkom FDM na stolnom pisau MakerBot Replicator 2X tvrtke MakerBot Industries, SAD. Nakon provjerene ispravnosti CAD mo-

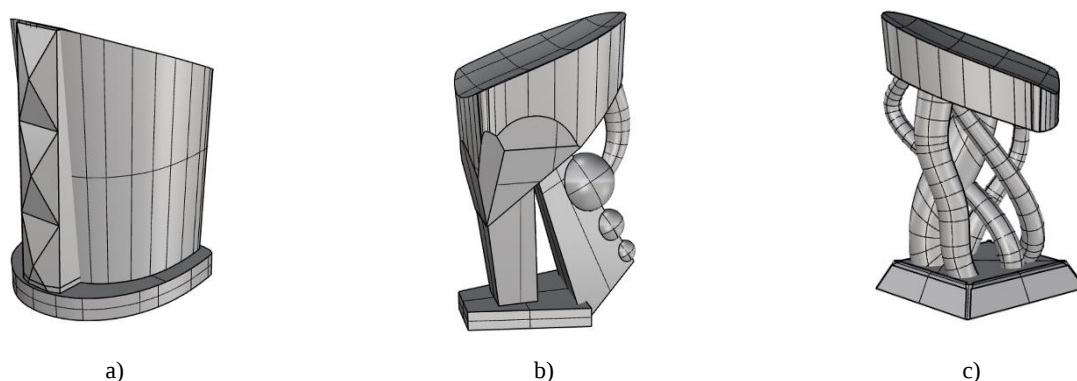
dela, STL datoteke se prebacuju na stolni 3D pisac i u programu MakerWare (softver uređaja za ispis) podešavaju se parametri 3D ispisa. Parametri 3D ispisa određeni su na temelju provedenog istraživanja mehaničkih svojstava (čvrstoća i žilavost) 3D ispisanih ispitnih tijela s ciljem primjene na konačan proizvod, konstruiranje prototipova dijelova donjišta obuće, odnosno visokih potpetica ženskih cipela [27].

Uvidom u rezultate kompleksnog optimiranja ispitnih tijela linearne ispune pod kutom od 45° i ispitnih tijela ispune saća definirani su sljedeći parametri 3D ispisa: linearna ispuna pod kutom od 45°, debljina sloja 0,15 mm, gustoća ispune 40 % i temperatura ispisa 205 °C [27].

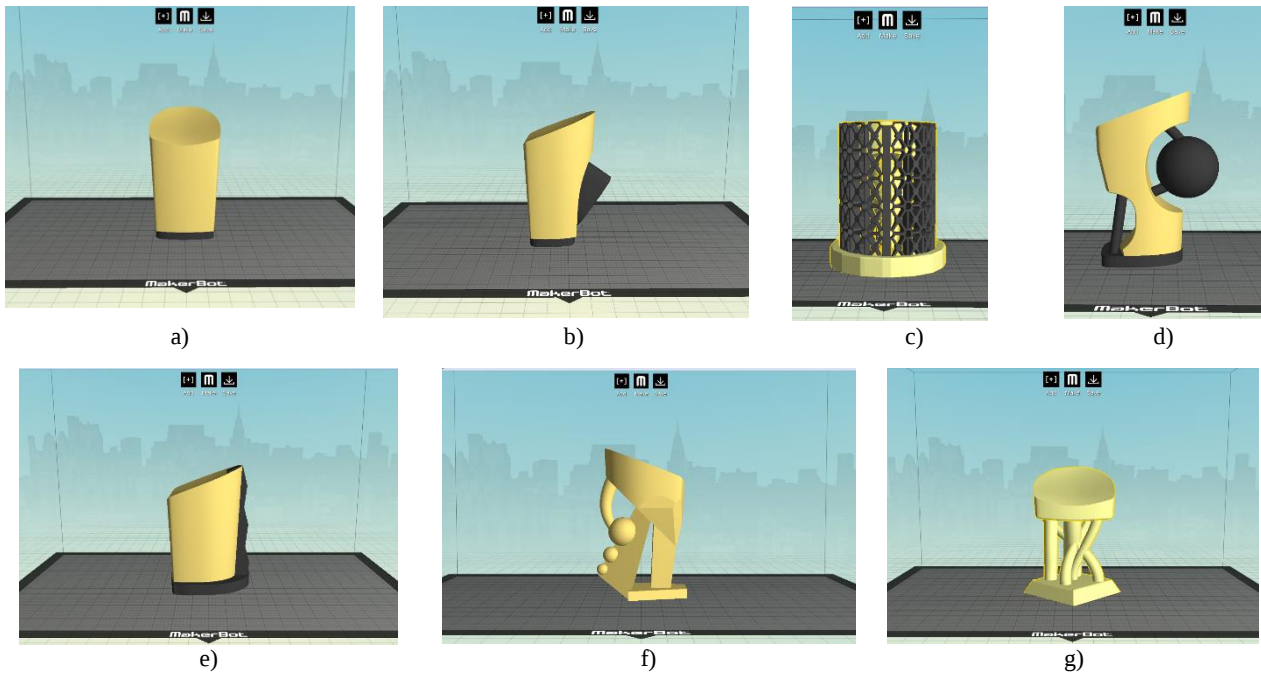
Parametri 3D ispisa prototipova potpetica navedeni su u tab.1.



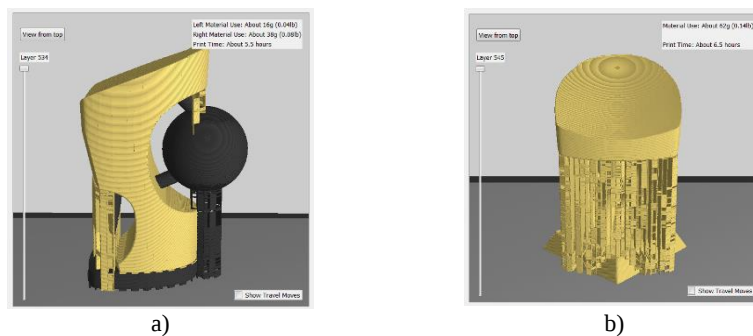
SL.4 CAD model prototipa potpetica: a) prototip 1, b) prototip 2, c) prototip 3, d) prototip 4



SL.5 CAD model prototipa potpetica: a) prototip 5, b) prototip 6, c) prototip 7



Sl.6 Pozicioniranje na radnoj podlozi 3D pisača: a) prototip 1, b) prototip 2, c) prototip 3, d) prototip 4, e) prototip 5, f) prototip 6, g) prototip 7



Sl.7 Pregled 3D ispisa s potpornom strukturom: a) prototip 4, b) prototip 7

Tab.1 Parametri 3D ispisa prototipova potpetica

| Parametar ispisa               | Vrijednost          |
|--------------------------------|---------------------|
| debljina sloja ispisa          | 0,15 mm             |
| gustoća ispune                 | 40 %                |
| broj vanjskih kontura          | 3                   |
| brzina ispisa                  | 90 mm/s             |
| tip ispune                     | linearna ispuna L45 |
| debljina zadnjih punih slojeva | 1,00 mm             |
| temperatura mlaznice pisača    | 205 °C              |
| temperatura podloge pisača     | 110 °C              |

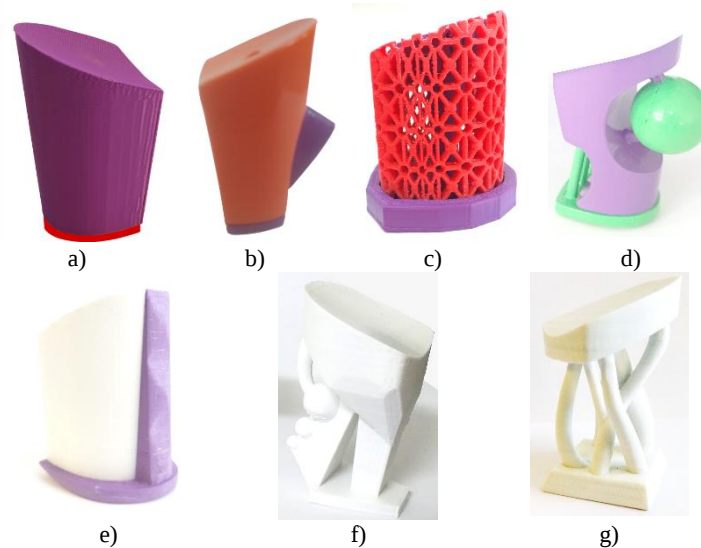
Način izrade tvorevine i orijentacija ovise o dizajnu, vremenu izrade, potpornoj strukturi koja se kasnije mora odvojiti ili ciljanim mehaničkim svojstvima konačnog proizvoda [28]. Određena je vertikalna orijentacija 3D ispisa prototipova potpetica sukladno stvarnoj orijentaciji pot-petice i centralno pozicioniranje na radnoj podlozi 3D pisača (sl.6) [27, 28]. S obzirom na odabrane parametre i orijentaciju ispisa predviđeni ukupan utrošak materijala i vrijeme 3D ispisa za prototipove potpetica prikazan je u tab.2. Prototipovi 1 do 5 izrađeni su 3D ispisom polimera različitih boja

stoga su u tab.2 za navedene prototipove prikazani utrošci materijala 1 i materijala 2.

Kod prototipa 4 i 7 pojedine plohe zatvaraju kut sa Z-osi uređaja veći od 45° te je potrebno prilikom 3D ispisa dodati potporne strukture (sl.7). Između potporne strukture i tvorevine postavlja se sloj za razdvajanje, tako da se nakon izrade tvorevine potporna struktura može lako odvojiti bez oštećivanja proizvoda. Prilikom dvobojnog ispisa potporna struktura će zadano ispisivati s mješovitim materijalima, pri čemu svaki dio odgovara dijelu objekata koji dodiruje, vidljivo na sl.7.

Tab.2 Utrošak materijala i vrijeme 3D ispisa prototipova potpetica

| Vrijednost      | Prototip 1 | Prototip 2 | Prototip 3 | Prototip 4 | Prototip 5 | Prototip 6 | Prototip 7 |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Materijal 1 [g] | 4          | 8          | 36         | 16         | 16         | 45         | 62         |
| Materijal 2 [g] | 53         | 50         | 61         | 38         | 70         | -          | -          |
| Vrijeme [h]     | 7,5        | 8,5        | 13,5       | 5,5        | 8,5        | 4,5        | 6,5        |



Sl.8 3D ispisni prototipovi potpetica: a) prototip 1, b) prototip 2, c) prototip 3, d) prototip 4, e) prototip 5, f) prototip 6, g) prototip 7

Tab.3 Prototipovi potpetica višebojnih, ombre efekta postignuti kombinacijama bojila

| Prototip 5                                                                          | Bojilo<br>Smjer bojenja                                                 | Prototip 6                                                                          | Bojilo<br>Smjer bojenja                                                                                             | Prototip 6                                                                            | Bojilo<br>Smjer bojenja                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 1 % DB 27 ↓<br>3 % DR 15 ↓<br>3 % DR 15 +<br>1 % DB 27 ↓<br>3 % DR 15 ↑ |  | 3 % DR 15 +<br>1 % DB 27 ↓<br>3 % DR 15 ↓<br>3 % DR 15 +<br>3 % DY 3 ↓<br>3 % DR 15 +<br>1 % DB 27 ↑<br>1 % DB 27 ↑ |  | 3 % DY 3 ↑<br>3 % DY 3 +<br>3 % DR 15 ↓<br>3 % DR 15 ↓<br>3 % DR 15 +<br>1 % DB 27 ↓<br>1 % DB 27 ↓ |

## 2.4 Proces bojenja

Bojenje ombre tehnikom izvedeno je kapilarnim kretanjem bojila na 3D ispisanim ABS prototipovima potpetica. Prototip je postavljen okomito u otopini bojila, a bojilo se nanosi okomito dajući podlozi efekt blijedenja boje. Rotacijom 3D ispisanih ABS prototipova, odnosno promjenom smjera i vrste bojila, postignuti su različiti toni i višebojni efekti [26].

Omjer kupelji iznosio je 1:30, pH 4 je podešen s 20% octenom kiselinom, Kemika, Hrvatska,

koncentracija boje ( $D_c$ ) 1 i 3 % na masu materijala.

## 3. Rezultati

Rezultati 3D ispisa prototipova potpetica od ABS-a na stolnom pisaču MakerBot Replicator 2X prikazana su na sl.8.

Izrađeni prototipovi 5, 6 i 7 od ABS-a obojeni su kombinacijom plavog, crvenog i žutog disperznog bojila postupkom iscrpljenja i postignuti obojeni efekti prikazani su u tab.3. Koncentracija

kupelji i gradijenti su podešeni temeljem preliminarnih ispitivanja [25, 26].

Ugradnja prototipova 3D ispisanih potpetica iz ABS-a (sl.9) u funkcionalne modele ženskih cipela kombinirana je s klasičnom izradom cipela u okviru industrijske proizvodnje obuće s ciljem izrade personaliziranih modela nosivih cipela ili manjih limitiranih serija. Isticanje prototipova potpetica, odnosno primjene novih tehnologija (3D ispisa) u kombinaciji s



Sl.9 Realizirani prototipovi ženskih cipela s potpeticama: a) prototip 1, b) prototip 2, c) prototip 3, d) prototip 4, e) prototip 5, f) prototip 6, g) prototip 7

tradicionalnim metodama izrade obuće, naglašeno je izborom kontrastnih boja materijala gornjišta u odnosu na potpetice. Gornjište realiziranih prototipova provjereni je model klasične ženske salonke, ergonomski modeliranog kroja prema pravilima i zahtjevima konstrukcije cipela, izrađenih od kože koja je još uvijek jedan od najcjenjenijih i kvalitetnijih materijala u izradi obuće.

Gornjište prototipova 1 i 5 izrađeno je iz goveđeg boksa, a svi ostali iz goveđeg velura koji pored dobrih mehaničkih svojstava; prekidna čvrstoća, otpornost na kidanje, mekoća i podatnost zadovoljavaju i specifična svojstva kao npr. hidrofobnost, antibakterijska, postojanosti na različite utjecaje okoline, svojstva ekološke opravdanosti itd. Uložne tabanice su iz svinjske podstavne kože koja svojim svojstvima; postojanost na znoj, dobra proštavljenost, propusnosti zraka i vodene pare te apsorpcije vlage, osigurava udobnost i tzv. higijenska svojstva obuće [7].

#### 4. Zaključak

U industriji obuće, sve je veća pozornost na dizajnerski obliko-

vane potpetice, no taj dizajn uključuje mogućnost proizvodnje složene geometrije, personaliziranih potpetica male mase i ako je moguće jeftiniju izradu. Tehnologija koja kombinira i omogućuje navedeno je aditivna proizvodnja.

Izrađeni prototipovi potpetica od ABS-a postupkom FDM montirani su u funkcionalne modele ženskih cipela industrijskim postupcima i tehnologijama sastavljanja gornjišta i donjišta obuće po svim operacijama faze montaže. Uspješnom provedbom postupka montaže vidljivo je da su visina potpetica i geometrija gornje plohe prototipova potpetica precizno modelirane prema kalupu čime su postignuti i tehnički i estetski zahtjevi sastavljanja potpetica s klasičnim gornjištem u industrijskim uvjetima proizvodnje. Također je ustanovljeno da se ABS kao jedan od najčešće upotrebljivanih materijala u postupku FDM može funkcionalno primijeniti za izradu prototipova potpetica te pojedinih elemenata donjišta obuće, odnosno u ovom radu visokih potpetica ženskih cipela.

Promatrajući rezultate višebrojnih efekata („ombre“) vidljiva je mogućnost realizacije tvorevina dodane vrijednosti u području vizualnih efekata s obzirom na ograni-

čenje ispisa, u dvije boje kod većine stolnih 3D pisaa. Kod primjene cipela s potpeticama načinjenim s ABS-om dolazi do proklizavanja što bi moglo utjecati na nepraktičnost tijekom nošenja te se preporučuje dodavanje protukliznog sloja.

#### Zahvala



Ovaj je rad financirala Hrvatska zaklada za znanost projektom HRZZ-IP-2013-11 „Napredni tekstilni materijali dobiveni ciljanom modifikacijom površine“ (ADVANCETEX) i Tvornica obuće Ivančica d. d., Ivanec, Hrvatska.

#### Literatura:

- [1] Matias E., B. Rao: 3D printing: On its historical evolution and the implications for business, Proceedings of the PICMET 2015: Management of the Technology Age, Portugal 2015, 551-558
- [2] Calzado M., L. Romero, et al: Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods

- and Future Prospects, Complexity (2019.) 1–31
- [3] Gibson I., D. Rosen, et al: Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing, 2nd ed., Springer, New York, 2015
- [4] Boschetto A., L. Bottini, et al: Finishing of Fused Deposition Modeling parts by CNC machining, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 41 (2016.), 92–101
- [5] Bikas H., P. Stavropoulos, et al.: Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 83 (2016) 1-4
- [6] Vanderploeg A., S.-E. Lee, et al: The application of 3D printing technology in the fashion industry, International Journal of Fashion Design, Technology and Education 10 (2017.), 170-179
- [7] Kutnjak-Mravlinčić S., J. Akalović, et al: Merging footwear design and functionality, AUTEX research journal, 20 (2020) 372-381
- [8] Vanderploeg A., S.-E.; Lee, et al.: The application of 3D printing technology in the fashion industry, International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 10 (2017.), 170-179
- [9] Kutnjak-Mravlinčić S., D. Godec, i sur.: 3D modeliranje i 3D ispis šupljikavih struktura u obućarstvu, Zbornik radova 9. znanstveno - stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo - Kreativni mikser, Zagreb 2016, 100-103
- [10] Thompson M.K., G. Moroni, et al: Design for Additive Manufacturing: Trends, Opportunities, Considerations, and Constraints, CIRP Annals Manufacturing Technology 65 (2016.), 737-760
- [11] Sun Lim H.: Development of 3D Printed Shoe Designs Using Traditional Muntin Patterns, Fashion & Textile Research Journal, Vol. 19 (2017.), 134-139
- [12] Chalcraft E.: Biomimicry Shoe by Marieka Ratsma and Kostika Spaho, dostupno na: <https://www.dezeen.com/2012/07/17/biomimicry-shoe-by-marieka-ratsma-and-kostika-spaho>
- [13] Yusuf B.: These Spring Heel Shoes Can Only Be Made with 3D Printing, Available from: <https://all3dp.com/spring-heel-shoes/>
- [14] Watkin H.: Ica & Kostika Launch 3D-Printed Exobiology Shoe Collection, dostupno na: <https://all3dp.com/4/ica-kostika-launch-3d-printed-exobiology-shoe-collection>
- [15] Kutnjak-Mravlinčić S., S. Bischof, et al: Application of additive technology in footwear design, Proceedings of the 8th Central European Conference on Fiber-grade Polymers, Chemical Fibers and Special Textiles, Zagreb 2015., 201-206
- [16] Sher D.: Footwear industry leads in race for 3D printed consumer products, dostupno na: <https://www.3dprintingmedia.network/footwear-industry-leads-in-race-for-3d-printed-consumer-products>
- [17] Scott C.: Dr. Scholl's Partners with Waiiv for 3D Printed Custom Insoles, 3D Printing Industry, dostupno na: <https://3dprint.com/233413/dr-scholls-partners-with-waiiv/>
- [18] Wilson M.: Nike Vapor Laser Talon: Football's First 3-D Printed Shoes, dostupno na <https://www.fastcompany.com/1672004/nike-vapor-laser-talon-football-s-first-3-d-printed-shoes>
- [19] Koslow T.: Carbon & Adidas Unleash Revolutionary Futurecraft 4D Footwear, dostupno na <https://all3dp.com/carbon-adidas-futurecraft-4d-footwear>
- [20] Molitch-Hou M.: New Balance Announces Date of Exclusive 3D Printed Shoe Sales, dostupno na: <https://3dprintingindustry.com/news/new-balance-announces-date-of-exclusive-3d-printed-shoe-sales-76121>
- [21] Thimmesch D.: Delcam CRISPIN's 3D Footwear Design Software: Hybrid Shoes Combine Tradition and High-Tech, dostupno na: <https://3dprint.com/40233/delcam-crispin-hybrid-shoes>
- [22] Krassenstein E.: Interview with Zoe Dai – Designer of Incredible 3D Printed High Heel Shoes, dostupno na: <https://3dprint.com/60746/zoe-dai-3d-printed-shoes>
- [23] Freier A.: Fashion Design Graduate Takes Major Step With Woven 3D Printed Shoes, dostupno na: <https://all3dp.com/fashion-design-graduate-takes-major-step-woven-3d-printed-shoes>
- [24] Chen G., C. Chen, et al: Color 3D Printing: Theory, Method, and Application, New Trends in 3D Printing, InTechOpen, London 2016., 25–51
- [25] Kutnjak-Mravlinčić S., M.I. Glogar, et al: Determination the coloristic values of 3D objects printed from acrylonitrile/butadiene/styrene, Proceedings of the VI Scientific-Vocational Conference Development Tendencies in the Textile

- Industry - Design, Technology, Management, Beograd 2018., 101–105
- [26] Kutnjak-Mravlinčić S., A. Sutlović, et al: Innovative Development of Batch Dyed 3D Printed Acrylonitrile/Butadiene/ Styrene Objects, *Molecules* 26 (2021.), 1-14
- [27] Kutnjak-Mravlinčić S. Utjecaj parametara 3D ispisa postupkom taložnog očvršćivanja i geometrije šupljikavih struktura na svojstva 3D ispisanih proizvoda od akrilonitril/butadien/stirena, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, 2021.
- [28] Kutnjak-Mravlinčić S.; A. Pilipović, et al: Selection of appropriate 3D printing orientation considering actual product, *Proceedings of the RIM 2019 - Development and Modernization of Production*, Sarajevo 2019., 455–460

## SUMMARY

### Application of 3D printing from acrylonitrile/butadiene/styrene in the realization of prototypes of heels of women's shoes

S. Kutnjak-Mravlinčić<sup>1</sup>, T. Krišković<sup>2</sup>, A. Sutlović<sup>1</sup>, D. Godec<sup>3</sup>

This paper researches the possibility of applying 3D printing in the footwear sector. On the 3D desktop printer MakerBot Replicator 2X with the process of Fused Deposition Modeling (FDM), women's shoe heel prototypes were made from acrylonitrile/butadiene/styrene (ABS). One of the limitations of FDM-ABS 3D printing on 3D desktop printers is the printing of monochrome or two-color 3D objects (depending on the number of printer nozzles), which makes it difficult to meet the requirements for high-quality reproduction. Therefore, the possibilities of dyeing the printed ABS heels subsequently with disperse dyes by the exhaustion process was investigated. The results confirmed the possibility of achieving multicolor effects with the aim of obtaining value-added products in the field of visual effects. The developed prototypes of ABS heels are in cooperation with the development team of the footwear factory Ivančica d. d. Ivanec built into functional and wearable models of women's pumps.

**Keywords:** fused deposition modeling, 3D printing, acrylonitrile/ butadiene/styrene, dyeing, footwear design, heel prototype

<sup>1</sup>University of Zagreb Faculty of Textile Technology  
Zagreb, Croatia

<sup>2</sup>Shoe factory Ivančica d.d., Ivanec, Croatia

<sup>3</sup>University of Zagreb Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Zagreb, Croatia

e-mail: skutnjak@ttf.unizg.hr

Received December 20, 2021

### 3D-Druck mit Acrylnitril/Butadien/Styrol für die Herstellung von Prototypen von Damenschuhabsätzen

In diesem Artikel wird die Möglichkeit der Anwendung des 3D-Drucks in der Schuhbranche untersucht. Prototypen von Damenschuhabsätzen wurden auf dem MakerBot Replicator 2X 3D-Desktop-Drucker mit dem Fused Deposition Modeling (FDM)-Verfahren und Acrylnitril/Butadien/Styrol (ABS) hergestellt. Einer der Nachteile des FDM-ABS-3D-Drucks auf 3D-Desktop-Druckern ist die Erstellung ein- oder zweifarbiger 3D-Objekte (je nach Anzahl der Druckerdüsen), was die Erfüllung der Anforderungen an eine hochwertige Reproduktion erschwert. Daraufhin wurden die Möglichkeiten untersucht, die gedruckten Absätze später mit Dispersionsfarben im Ausziehverfahren einzufärben. Die Ergebnisse bestätigten die Möglichkeit, mehrfarbige Effekte mit dem Ziel zu erzielen, Produkte mit Mehrwert im Bereich der visuellen Effekte zu erhalten. Die entwickelten Prototypen von Absätzen wurden in Zusammenarbeit mit dem Entwicklungsteam der Schuhfabrik Ivančica d. d. Ivanec hergestellt und in tragbare Modelle von Damenschuhen mit hohem Absatz integriert.