

# Utjecaj orijentacije na mehanička svojstva kod taložnog očvršćivanja

Suzana Kutnjak-Mravlinčić<sup>1</sup>, Ana Pilipović<sup>2</sup>, Damir Godec<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28, 10000 Zagreb, Hrvatska, skutnjak@ttf.unizg.hr, <sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Original scientific paper

UDK:

DOI: 10.34187/ko.68.4.4.

## Sažetak:

U industriji obuće, sve je veća pozornost na dizajnerski oblikovane potpetice. Ali taj dizajn uključuje mogućnost proizvodnje složene geometrije, personaliziranih potpetica male mase i ako je moguće jeftinu izradu. Tehnologija koja omogućuje i obuhvaća navedeno je aditivna proizvodnja (e. additive manufacturing - AM). Jedna od AM niskobudžetnih tehnologija i uređaja je postupak taložnog očvršćivanja (e. fused deposition modeling - FDM). U FDM-u se proizvod izrađuje sloj po sloj, s različitim oblicima i gustoćom unutrašnjih ispuna što omogućuje izradu složenih geometrija i malu masu. Tijekom hodanja potpetica je opterećena odozgo pritisnom silom same težine osobe, dok je bočno izložena savijanju i udarnom opterećenju. Uzimajući u obzir dizajn same potpetice, potrebno je pravilno orijentirati proizvod u radnom prostoru stroja, jer orijentacija utječe na mehanička svojstva. U ovom su radu provedena ispitivanja svojstava kod dvije različite orijentacije s obzirom na proizvodnju stvarne potpetice i njene primjene. Nadalje, načinjena je analiza parametara prerade (debljina sloja, gustoća ispune i temperatura ispisa) kako bi se utvrdio njihov utjecaj na svojstva u te dvije orijentacije.

## Ključne riječi:

3D ispis, obuća, taložno očvršćivanje – FDM, potpetice, mehanička svojstva, orijentacija, parametri prerade

## 1. Uvod

Od pojave cipela s visokom potpeticom njihova upotreba široko je rasprostranjena u suvremenom društvu u profesionalnom ili društvenom kontekstu i često igra ključnu ulogu u nekim aktivnostima za ostvarivanje estetskih i kulturnih potreba urbanog društva. Visoka potpetica čini važan dio ženskog rodnog identiteta iako su zabilježena brojna pitanja eksplicitne i implicitne upotrebe i posljedica nošenja cipela visokih potpetica. Znanstveno je dokazano da su cipele s visokim potpeticama često povezane s razvojem različitih deformacija stopala, bolovima u donjem dijelu leđa, bolovima u stopalima ili nelagodnom i umorom mišića nogu i stopala, a postoji i povećani rizik od ozljeda uslijed naprezanja mišića zbog dugotrajnog nošenja visokih potpetica [1 - 3]. Istraživanja su također pokazala da visoke potpetice povećavaju privlačnost žena za muškarce i da muškarci više brinu o fizičkim značajkama potencijalnih partnera suprotnog spola [3, 4]. Povijesno promatrano, funkcija prvih primjera obuće povišenih potpetica na zapadu (ili u Europi), bila je prvenstveno praktična, inspirirana vremenskim i uličnim uvjetima. Primjer su drvene, posebne podloge pričvršćivane na skupocjene cipele tijekom vanjske upotrebe u kasnom srednjem vijeku, zvane Pattens i cipele s vrlo visokom drvenom ili plutenom platformom Chopines, popularna ženska obuća u Veneciji u razdoblju renesanse. Cipele s visokim potpeticama postale su dominantan modni stil muške i ženske obuće tijekom sedamnaestog stoljeća (slika 1). Na francuskom dvoru u Versaillesu potpetice su bile tada važan statusni simbol. Louis XIV popularizirao je crvene kožnate potpetice te se i danas jedan oblik potpetice naziva njegovim imenom [5 - 7].

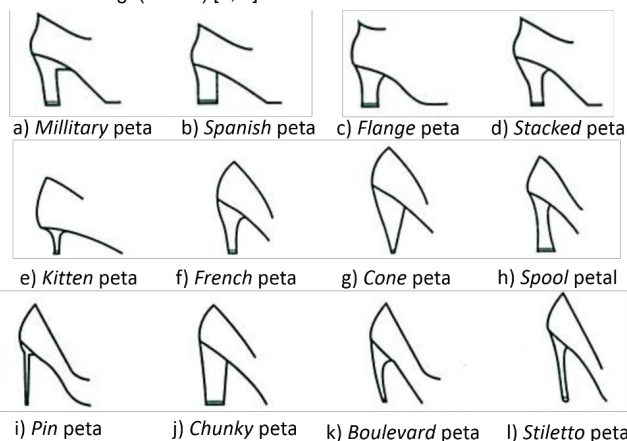


Francuska 1680-1700

Portugal 1695

Sl. 1. Muška cipela s crvenom visokom kožnatom potpeticom iz Francuske 1680-1700 god. i portugalske ženske cipele drvene visoke potpetice iz 1965. godine [7]

Visoke potpetice su vrsta cipele u kojoj je potpetica, u usporedbi s nožnim prstom, znatno viša od tla. Cipele visokih potpetica čine nositelja višim, naglašavajući mišiće i dužinu noge u cjelini. Cipele s visokom potpeticom imaju visinu potpetice do 10 cm ili čak i više za razliku od tipičnih primjera obuće koji imaju povišenje potpetice približno 1 do 2,5 cm. Potpetice predstavljaju sklop dijelova donjišta obuće, a razlikuju se visinom, oblikom ili formom, dimenzijom, materijalom i načinom izvedbe, ukrasnim dodacima, aplikacijama i slično. Razvojem znanosti i tehnologije i promjenama u estetskim standardima postoje naizgled brojni oblici raznovrsnih potpetica koji se temeljem osnovnih sličnosti mogu svesti na uobičajene vrste potpetica kao npr. military, spanish, kitten, cone, spool, continental, chunky stilelto i drugi (slika 2) [8, 9].



i) Pin peta j) Chunky peta k) Boulevard peta l) Stiletto peta

Sl. 2. Neki primjeri uobičajenih tipova potpetica [8]

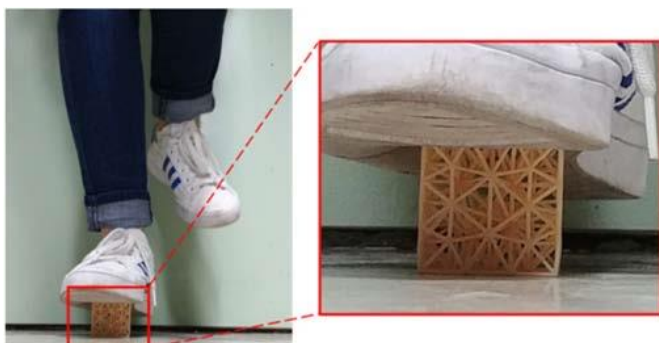
Oblik, visina i izgled vrlo su značajan segment cjelokupnog dizajna visokih potpetica. Proizvođači cipela u prošlosti i današnji dizajneri cipela posvećuju veliku pozornost inovacijama dizajna potpetica (slika 3). Eksperimentiraju s različitim materijalima i tipom ukrasa za stvaranje i uljepšavanje visokih potpetica [7-11]. Napredna tehnologija koja posljednjeg desetljeća nalazi sve veću primjenu u dizajnu obuće je aditivna proizvodnja. Postupcima aditivne proizvodnje mogu se izrađivati funkcionalni dijelovi obuće vrlo složenih geometrija, dobre dimenzijske tolerancije te glatke površine izrađenih dijelova. Tim postupcima moguće je izraditi pojedine segmente obuće: donjišta, donova, potpetica te cjelovitog modela jednostavnih ili složenih geometrija (primjer 3D tiskane potpetice dizajnerice Kerrie Luft, posljednji prikaz na slici 3) [7-11].



SI. 3. Primjeri dizajnerskih rješenja inovativnih potpetica [7, 8, 11]

**Aditivna proizvodnja u dizajnu potpetica**

Aditivna proizvodnja nudi veću fleksibilnost u dizajnu u usporedbi s tradicionalnim proizvodnim procesima jer ima mogućnost izrade kompliciranih oblika s funkcionalnim materijalima [12]. Na temelju tih mogućnosti, dizajn za aditivnu proizvodnju (e. design for additive manufacturing - DfAM) istražen je kao sredstvo za prevladavanje tradicionalnih ograničenja dizajna zbog ograničenja u proizvodnim procesima, uključujući strojnu obradu, oblikovanje metala, lijevanje i injekcijsko prešanje [13]. Prevladavanjem ovih proizvodnih ograničenja, DfAM ima svestrane primjene, uključujući integraciju više dijelova, dizajn višenamjenskih dijelova s složenim sastavom materijala i razvoj laganih struktura [14-16]. U radu autora Lim, Y-E. i sur. [17] utvrđeno je da dobro dizajnirana rešetkasta kocka može podnijeti 10 000 puta više opterećenje od vlastite težine (slika 4). Uz to, predložena rešetkasta struktura (struktura male mase) može se primjenjivati kao stvarni proizvod jer su stvorene stanične strukture sukladne njihovim graničnim površinama i mogu se učinkovito sastaviti s drugim čvrstim dijelovima (slika 5).

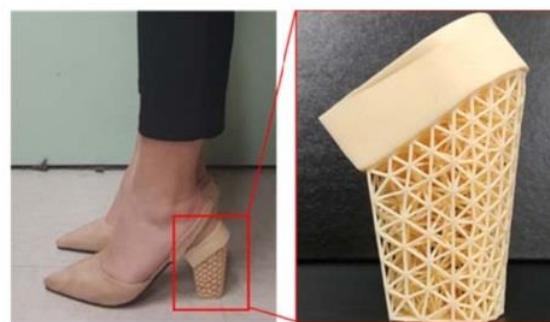
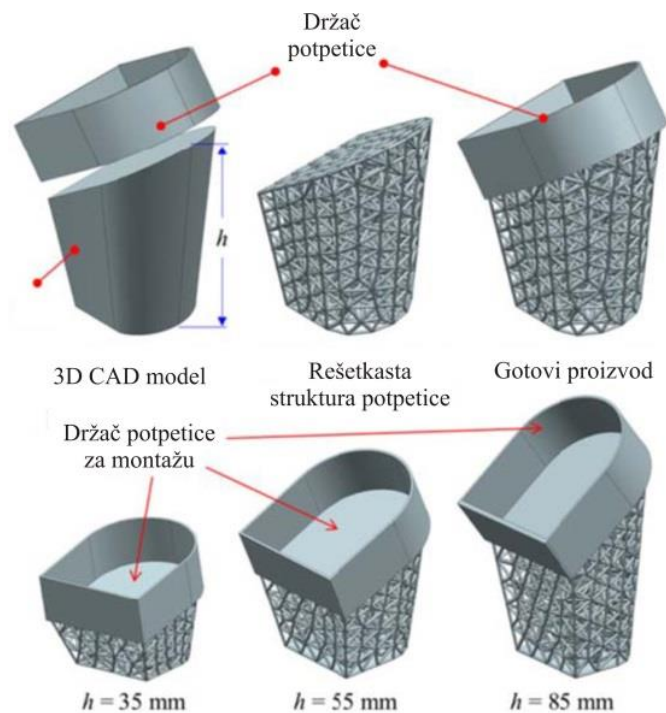


SI. 4. Ispitivanje opterećenja rešetkaste kocke (40 x 40 x 40 mm; l = 15 mm, d = 1,2 mm) [17]

**2. Eksperimentalni dio**

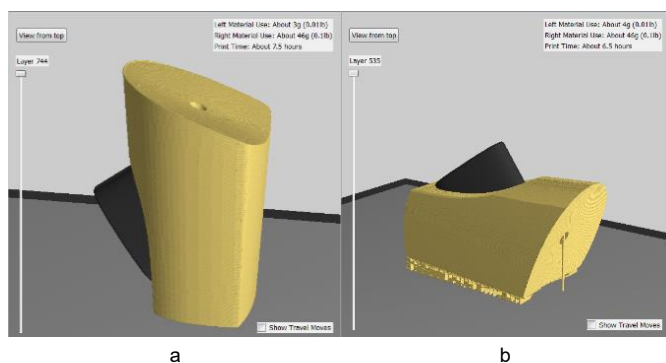
**2.1. Proizvodnja potpetice s postupkom taložnog očvršćivanja – FDM**

U ovom radu, potpetica je izrađena taložnim očvršćivanjem (FDM) na niskobudžetnom 3D pisaču Makerbot Replicator 2x i odabrane za izradu su dvije orijentacije kao što je prikazano na slici 6. U modeliranju taložnim očvršćivanjem (FDM) polimerni materijal u obliku žice prolazi kroz mlaznicu. Materijal izlazi iz mlaznice u omekšanom stanju i pri sobnoj temperaturi brzo očvršćuje. Nakon proizvodnje prvog sloja, radna podloga se spušta za debljinu novog sloja i novi se sloj istiskuje kroz mlaznicu [18]. Prvo se izrađuje vanjska kontura proizvoda, a zatim unutrašnjost (ispuna). Za proizvodnju proizvoda s debelim stijenkama unutrašnjost stijenke može se ispuniti različitim strukturama: puna struktura, mrežasta struktura (krugovi, crte, pravokutnici) i sačasta struktura (heksagonalna struktura) [18]. Izbor orijentacije proizvoda prilikom izrade ovisi o dizajnu, vremenu izrade, potpunoj strukturi koja se kasnije mora odvojiti (potporna konstrukcija kod



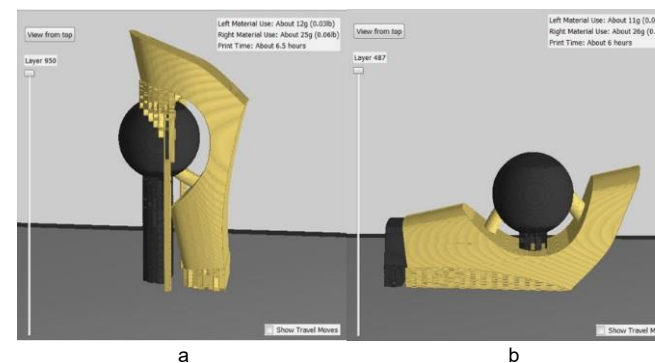
SI. 5. Primjena rešetkaste strukture na stvarnom proizvodu - potpetica [17]

modeliranja taložnim očvršćivanjem odvaja se lomljenjem, pa je sukladno tome ponekad potrebno odabrati orijentaciju koja se duže izrađuje, ali se izbjegne potporna struktura koju je teško odvojiti ako je izrađena s niskobudžetnim 3D pisačima s jednom mlaznicom – potporna struktura i proizvod se izrađuje od istog materijala). Za proizvod na slici 6a s vertikalnom orijentacijom potrebno je 46 g materijala za potpeticu i 3 g za potpornu strukturu, a izrada traje 7,5 h, dok za drugu orijentaciju, horizontalnu orijentaciju (slika 6b) treba 46 g materijala za potpeticu, 4 g za potpornu strukturu, a za izradu je potrebno 6,5 h. Debljina sloja ovisi o otvoru mlaznice, doziranju materijala i brzini ekstrudera. Obično iznosi 0,18 mm do 0,26 mm [18].



SI. 6. Orijehtacija potpetice prilikom izrade za prvi dizajn: a) vertikalna orijentacija, b) horizontalna

Za drugi dizajn potpetice (slika 7) u vertikalnoj orijentaciji (slika 7a) potrebno je 25 g materijala za potpeticu i 12 g za potpornu strukturu, a izrada traje 6,5 h, dok za horizontalnu orijentaciju (slika 7b) treba 26 g materijala za potpeticu, 11 g za potpornu strukturu, a za proizvodnju je potrebno 6 h.



SI. 7. Orijehtacija drugog dizajna potpetice: a) vertikalna orijentacija, b) horizontalna orijentacija

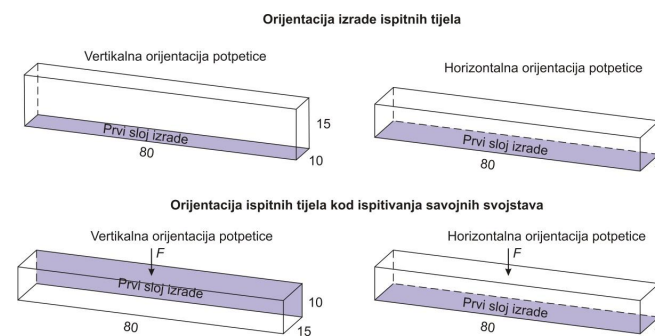
**3. Rezultati i diskusija**

Tijekom hodanja potpetica je opterećena odozgo pritiskom silom težine osobe, dok je bočno potpetica opterećena savijanjem i udarnom opterećenju. U svrhu ovog rada ispitana su savojna svojstva. Ispitna tijela izrađena su s različitim parametrima izrade kod taložnog očvršćivanja (debljina sloja, gustoća ispune i temperatura izrade) i s linearnom unutrašnjom ispunom pod 45°. Ispitna tijela izrađena su prema normi HRN EN ISO 178: 2011 za savojna svojstva. Međutim, budući da je jedan od parametara gustoća ispune i utjecaj rešetkaste strukture na potpeticu, dimenzije ispitnih tijela povećane su s 10 x 4 x 80 mm na 15 x 10 x 80 mm (širina x debljina x duljina) da se unutrašnja rešetkasta struktura učini uočljivijom.

Ostali konstantni parametri izrade bili su:

- materijal: ABS (akrilonitril/butadien/stiren)
- broj vanjske konture: 3
- temperatura radne podloge: 110 °C
- brzina izrade ispune: 90 mm/s
- brzina izrade vanjske konture: 40 mm/s

Prema orijentaciji potpetice na slikama 6 i 7 i načinu ispitivanja savojnih svojstava (ispitivanje u tri točke) napravljena su ispitna tijela na 3D pisaču prema slici 8.



SI. 8. Orijehtacija ispitnih tijela kod izrade i prilikom ispitivanja savojnih svojstava: a) vertikalna orijentacija potpetice, b) horizontalna orijentacija potpetice (sve dimenzije su u mm)

U radu je prikazana detaljna analiza savojne čvrstoće, a u svakom su pokusu ispitana 3 ispitna tijela gdje je utvrđena srednja vrijednost i standardna devijacija. Tablica 1 prikazuje samo srednje vrijednosti savojne čvrstoće. Potrebno je izvesti 19 različitih stanja pokusa (stanje u središtu ponovljeno je pet puta).

Tablica 1. Parametri izrade i rezultati savojne čvrstoće za dvije orijentacije

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Savojna čvrstoća	
				Vertikalna orijentacija	Horizontalna orijentacija
	A: Debljina sloja	B: Gustoća ispune	C: Temperatura	$\sigma_{mV}$ , N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{mH}$ , N/mm <sup>2</sup>
	LT, mm	ID, %	$\theta$ , °C		
1	0.2	25	230	36.20	35.53
2	0.15	35	245	37.68	36.98
3	0.2	40	230	41.66	39.96
4	0.1	25	230	35.7	33.72
5	0.2	25	230	38.10	35.43
6	0.2	25	230	36.79	35.41
7	0.2	25	255	35.47	35.51
8	0.2	25	205	37.35	34.91
9	0.15	15	245	34.15	33.35
10	0.15	15	215	36.19	33.93
11	0.25	35	245	39.81	37.60
12	0.2	25	230	36.09	34.78
13	0.3	25	230	40.47	36.58
14	0.25	15	215	35.52	30.95
15	0.25	15	245	33.83	32.59
16	0.2	25	230	34.79	34.35
17	0.2	10	230	32.91	31.86
18	0.15	35	215	39.96	37.50
19	0.25	35	215	39.75	36.91

**3.1. Vertikalna orijentacija potpetice**

Za analizu savojne čvrstoće za vertikalnu orijentaciju odabran je kubični model i krivulja kao aproksimacijska krivulja. Svi ostali modeli (srednji, linearni, kvadratni, itd.) nemaju značajne parametre prerade, a imaju i značajno odstupanje od modela, što nije dobro, pa kubična krivulja najbolje opisuje model. Tablica 2 prikazuje rezultate analize varijance. Da bi određeni faktor utjecao na promjenu, vrijednost u tablici 2 u zadnjem stupcu (Prob > F) trebala bi biti manja od 0,05.

Tablica 2. Rezultati analize varijance – savojna čvrstoća vertikalne orijentacije potpetice

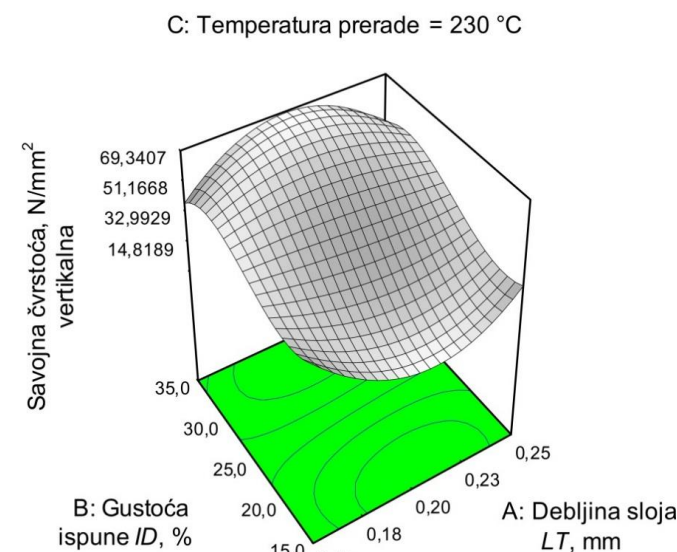
	Suma kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode DF	Srednji kvadrat odstupanja	Varijabla F	Rizik odbacivanja hipoteze H0 (Prob > F)
Model	1143.2	14	81.65	56.61	0.0007
A	116.33	1	116.33	80.64	0.0009
B	56.26	1	56.26	39.0	0.0034
C	125.47	1	125.47	86.98	0.0007
A <sup>2</sup>	4.13	1	4.13	2.87	0.1658
B <sup>2</sup>	47.95	1	47.95	33.24	0.0045
C <sup>2</sup>	3.7·10 <sup>-4</sup>	1	3.7·10 <sup>-4</sup>	2.5·10 <sup>-4</sup>	0.9881
AB	135.38	1	135.38	93.85	0.0006
AC	93.23	1	93.23	64.63	0.0013
BC	12.11	1	12.11	86.04	0.0008
A <sup>3</sup>	92.98	1	92.98	64.45	0.0013
B <sup>3</sup>	51.53	1	51.53	35.72	0.0039
C <sup>3</sup>	51.31	1	51.31	35.57	0.0040
A <sup>2</sup> B	40.89	1	40.89	28.34	0.0060
ABC	127.92	1	127.92	86.68	0.0007
Pogreška	5.77	4	1.44		
Ukupno	1148.9	18			

U ovom su slučaju A, B, C, B2, AB, AC, BC, A3, B3, C3, A2B, ABC su značajni parametri, dok A2C, B2A B2C, C2A, C2B ne utječu i u potpunosti su isključeni iz analize. Tablica 3 prikazuje osnovne statističke podatke o modelu. Koeficijent determiniranosti Rkvadrat (r<sup>2</sup>) je mjera odstupanja od aritmetičke sredine koja je objašnjena modelom. Što je r<sup>2</sup> bliži 1, to model bolje slijedi podatke.

**Tablica 3.** Pregled statističkih podataka o modelu za savojnu čvrstoću za vertikalnu orijentaciju

	Savojna čvrstoća
Standardno odstupanje	1.20
Aritmetička sredina	35.39
Koeficijent determiniranosti (r <sup>2</sup> )	0.995

Slika 9 prikazuje ovisnost savojne čvrstoće o debljini sloja i gustoći ispune. Temperatura izrade uzeta je kao konstanta (θ = 230 °C).



**SI. 9.** Ovisnost savojne čvrstoće o debljini sloja i gustoći ispune kod konstantne temperature izrade za vertikalnu orijentaciju

Iz slike 9 može se zaključiti da je s porastom gustoće ispune (ID) i s debljinom sloja (LT) 0,2 mm savojna čvrstoća najviša. Model savojne čvrstoće može se opisati jednadžbom 1 u stvarnim faktorima:

$$\sigma_{fmv} = -6964.3 - 6600.4 \cdot LT - 63.6 \cdot ID + 103.7 \cdot \theta + 22149.3 \cdot LT^2 + 1.6 \cdot ID^2 - 0.4 \cdot \theta^2 + 360.7 \cdot LT \cdot ID - 17.9 \cdot LT \cdot \theta - 0.08 \cdot ID \cdot \theta + 12856.7 \cdot LT^3 - 0.02 \cdot ID^3 + 6.4 \cdot 10^{-4} \cdot \theta^3 - 1187.7 \cdot LT^2 \cdot ID + 0.5 \cdot LT \cdot ID \cdot \theta \quad (1)$$

### 3.2. Horizontalna orijentacija potpetice

Za savojnu čvrstoću kod horizontalne orijentacije izabran je linearni model i aproksimacijska krivulja. Tablica 4 prikazuje rezultate analize varijance.

**Tablica 4.** Rezultati analize varijance – savojna čvrstoća horizontalne orijentacije potpetice

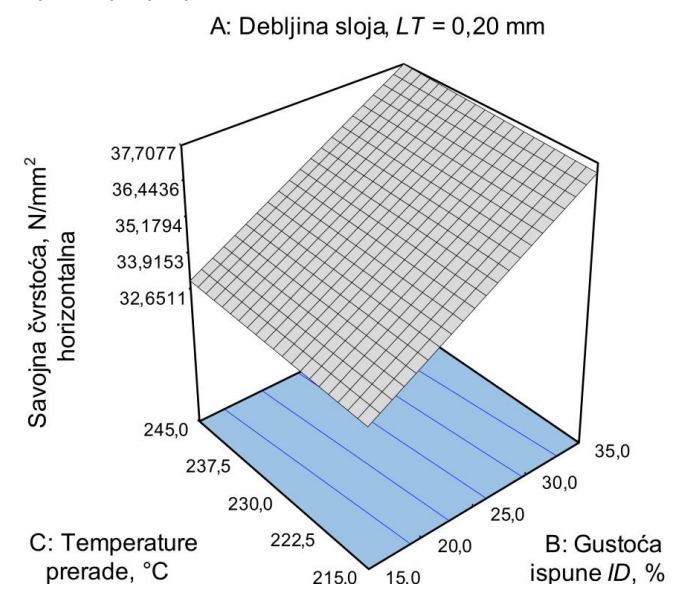
	Suma kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode DF	Srednji kvadrat odstupanja	Varijabla F	Rizik odbacivanja hipoteze H0 (Prob > F)
Model	73.72	3	24.57	29.54	<0.0001 značajno
A	0.25	1	0.25	0.3	0.589
B	73.1	1	73.1	87.89	<0.0001
C	0.37	1	0.37	0.44	0.5166
Ostatak	12.48	15	0.83		
Odstupanje od modela	11.42	11	1.04	3.94	0.0988 neznačajno
Pogreška	1.05	4	0.26		
Ukupno	86.2	18			

U ovom je slučaju samo faktor B (gustoća ispune) je značajan parametar prerade. Tablica 5 prikazuje osnovne statističke podatke o modelu.

**Tablica 5.** Pregled statističkih podataka o modelu za savojnu čvrstoću za horizontalnu orijentaciju

	Savojna čvrstoća
Standardno odstupanje	0.91
Aritmetička sredina	35.15
Koeficijent determiniranosti (r <sup>2</sup> )	0.8553

Slika 10 prikazuje ovisnost savojna čvrstoće o gustoći ispune i temperaturi prerade. Debljina sloja uzeta je kao konstanta (LT = 0,2 mm). Iz slike 10 može se zaključiti da je s porastom gustoće ispune savojna čvrstoća za horizontalnu orijentaciju potpetice također raste dok temperatura i debljina sloja nemaju utjecaja.



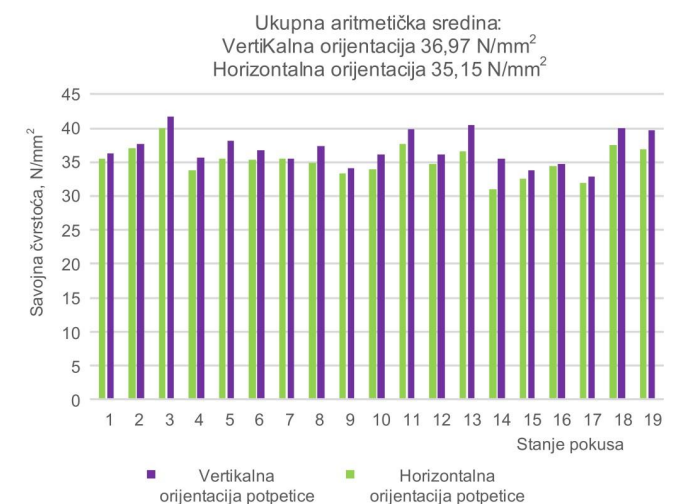
**SI. 10.** Ovisnost savojne čvrstoće o debljini sloja i temperaturi prerade kod konstantne debljine sloja za horizontalnu orijentaciju

Model savojne čvrstoće može se opisati jednadžbom 2 u stvarnim faktorima:

$$\sigma_{fmH} = 26.2 + 2.5 \cdot LT + 0.24 \cdot ID + 0.011 \cdot \theta \quad (2)$$

### 3.3 Usporedba dvije orijentacije i diskusija

Ako usporedimo ove dvije orijentacije može se vidjeti da, u slučaju izrade potpetice u vertikalnom položaju, u svim stanjima pokusa, savojna čvrstoća ima više vrijednosti (od 0-15 % ovisno o stanju pokusa / broj eksperimenta) (slika 11). Općenito govoreći, ukupna prosječna vrijednost savojne čvrstoće potpetice proizvedene u okomitom položaju viša je za 5,2 % u usporedbi s horizontalnom proizvodnjom potpetice.



**SI. 11.** Savojna čvrstoća za sve brojeve pokusa

Ne postoji dobra ili pogrešna orijentacija, ali orijentacija se mora odabrati u skladu s dizajnom, mogućnostima proizvodnje, odvajanjem potporne strukture nakon izrade, mehaničkim svojstvima, vremenom proizvodnje, itd. Iako su vrijednosti za vertikalnu orijentaciju veće, za proizvodnju je potreban i 1 h duže, pa je prema svakom proizvodu potrebno odlučiti što je važnije: vrijeme proizvodnje, određena mehanička svojstva ili kvaliteta samog proizvoda u skladu s njegovim dizajnom (slika 12).



**SI. 12.** Potpetica izrađena taložnim očvršćivanjem montirana na cipelu

## 4. Zaključak

Problemi sa stopalima mogu dovesti do problema s nogama, bokovima i leđima, a problemi s leđima mogu dovesti do problema s ostatkom tijela. Nažalost, svakodnevne aktivnosti poput hodanja mogu nanijeti veliku štetu bez prave vrste cipela - a pravu vrstu cipela teško je pronaći individualno za svako stopalo, a da pritom nisu skupe. To se mijenja s aditivnom proizvodnjom, jer aditivna proizvodnja omogućuje individualnu proizvodnju, omogućujući nam da na cipelama imamo jedinstvene potpetice, s mogućnošću izrade bilo kojeg dizajna (bez ograničenja), ali i da dobijemo određena mehanička svojstva s parametrima prerade i orijentacijama prilikom ispisa. Ova tehnologija je omogućila da se dizajniraju i proizvode prilagođene cipele koje ne samo da savršeno odgovaraju nogama svakog kupca, već ciljaju na rješavanje problematična mjesta.

## 5. Literatura

- [1] Stefanyshyn D. J., Nigg B. M., Fisher V., Liu W. V.: The Influence of High Heeled Shoes on Kinematics, Kinetics, and Muscle EMG of Normal Female Gait, Journal of applied biomechanics 16 (2000) 3, 309-319
- [2] Cronin N. J., Barrett R. S., Carty C. P.: Long-term use of high-heeled shoes alters the neuromechanics of human walking, J Appl Physiol 112 (2012), 1054–1058
- [3] Barnish M., Morgan H. M., Barnish J.: The 2016 HIGH Heels: Health effects And psychosexual Benefits (HIGH HABITS) study: systematic review of reviews and additional primary studies, BMC Public Health, 18 (2017) 1, 1-13
- [4] Guéguen G.: High Heels Increase Women's Attractiveness, Archives of Sexual Behavior 44 (2015) 8, 2227–2235
- [5] Pendergast S., Pendergast, T.: Fashion, Costume, and Culture: Clothing, Headwear, Body Decorations, and Footwear through the Ages, Volume 3: European Culture from the Renaissance to the Modern Era, The Gale Group, 2004
- [6] Choklat, A.: Footwear design, Laurence King Publishing Ltd, London, 2012
- [7] O'Keeffe L.: Shoes, A Celebration of Pumps, Sandals, Slippers & more, Workman Publishing Company Inc., New York, 1996
- [8] Fashionary, Shoe Design, A Handbook for Footwear Designers, Fashionary Internacional Ltd, 2016
- [9] Wei B. X.: Views under the feet – An analysis on the heels design of high-heeled shoes, IEEE 11th International Conference on Computer-

Aided Industrial Design & Conceptual Design (2010), 121-123

- [10] Walford J.: Shoes A-Z: Designers, Brands, Manufacturers and Retailers, Thames & Hudson, London, 2010
- [11] Luft K.: Sculptured heels, <https://thecitizensoffashion.com/2013/01/29/kerrie-lufts-sculptured-heels/>, accessed 12.03.2020.
- [12] Gibson I., Rosen D. W., Stucker B.: Additive Manufacturing Technologies, Springer, 2010
- [13] Thompson M. K., Moroni G., Vaneker T., Fadel G., Campbell R. I., Gibson I., Bernard A., Schulz J., Graf P., Ahuja B., Martina F.: Design for Additive Manufacturing: Trends, Opportunities, Considerations, and Constraints, CIRP Annals Manufacturing Technology, 65 (2016) 2, 737-760
- [14] Rosen D.: Design for Additive Manufacturing: Past, Present, and Future Directions, Journal of Mechanical Design, 136 (2014) 9, 1-2
- [15] Chu W-S., Kim M-S., Jang K-H., Song J-H., Rodrigue H., Chun D-M., Cho Y. T., Ko S. H., Cho K-J., Cha S. W., Min S., Jeong S. H., Jeong H., Lee C-M., Chu C. N., Ahn S.H.: From Design for Manufacturing (DFM) to Manufacturing for Design (MFD) via Hybrid Manufacturing and Smart Factory: A Review and Perspective of Paradigm Shift, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 3 (2016) 2, 209-222
- [16] Khare V., Sonkaria S., Lee G-Y., Ahn S-H., Chu W-S.: From 3D to 4D Printing-Design, Material and Fabrication for Multi-Functional Multi-Materials, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 4 (2017) 3, 291-299
- [17] Lim Y-E., Park J-H., Park K.: Automatic Design of 3D Conformal Lightweight Structures Based on a Tetrahedral Mesh, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 5 (2018) 4, 499-508
- [18] Krznar N., Kos J., Pilipović A.: Application of reverse engineering in the development of polymer products for manufacturing by additive technologies, 15th International scientific conference on production engineering – CIM 2015, Vodic, Croatia, (2015), 161-168