

# Primjena 3D tiska u proizvodnji odjeće i obuće

---

**Radenica, Barbara**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Textile Technology / Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:201:166884>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-26**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD  
PRIMJENA 3D TISKA U PROIZVODNJI ODJEĆE I OBUĆE**

**BARBARA RADENICA**

**Zagreb, lipanj 2019.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**  
**Zavod za tekstilnu kemiju i ekologiju**

**ZAVRŠNI RAD**  
**PRIMJENA 3D TISKA U PROIZVODNJI ODJEĆE I OBUĆE**

**Izv. prof. dr. sc. Ana Sutlović**

**Barbara Radenica**  
**10069/IDTO**

**Zagreb, lipanj 2019.**

**Zavod za tekstilnu kemiju i ekologiju**

**Broj stranica: 30**

**Broj slika: 20**

**Članovi povjerenstva:**

**Predsjednik povjerenstva: Izv. prof. dr. sc. Martinia Ira Glogar**

**Član povjerenstva: Izv. prof. dr. sc. Ana Sutlović**

**Član povjerenstva: Izv. prof. dr. sc. Sanja Ercegović Ražić**

**Zamjenik člana povjerenstva: Izv. prof. dr. sc. Anita Tarbuk**

**Datum predaje završnog rada:**

**Datum obrane završnog rada:**

## **SAŽETAK**

U radu je prikazan izbor aditivnih tehnologija (3D tiska) za proizvodnju odjeće i obuće. Također, obrazložen je izbor polimera u ovisnosti o željenim estetskim i funkcionalnim zahtjevima. Primjena 3D tiska kao suvremene tehnologije koja osigurava brzu proizvodnju individualiziranih proizvoda argumentirana je pregledom znanstvenih istraživanja i primjerima vizualno kvalitetnih rješenja.

**Ključne riječi:** aditivna tehnologija, 3D tisak, odjeća, obuća

**SUMMARY:** The paper presents a selection of additive technologies (3D prints) for the production of clothing and footwear. Also, the choice of polymers depends on the desired aesthetic and functional requirements. The use of 3D printing as a modern technology that ensures fast production of individualized products is argued by examining scientific research and examples of visually high quality solutions.

**Key words:** additive technology, 3D printing, clothes, shoes

## SADRŽAJ

<b>1. Uvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Povijest 3D tiska .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Rad 3D pisača .....</b>	<b>4</b>
<b>4. Polimeri u 3D proizvodnji .....</b>	<b>5</b>
<b>5. Tehnologija 3D ispisa celuloze .....</b>	<b>8</b>
<b>6. Metode 3D tiska.....</b>	<b>9</b>
<b>7. 3D u proizvodnji obuće i odjeće .....</b>	<b>11</b>
<b>8. Zaključak .....</b>	<b>28</b>
<b>9. Literatura.....</b>	<b>29</b>

## 1. UVOD

3D tisak je oblik aditivne proizvodnje (eng. AM - Additive Manufacturing), tj. stvaranja objekata uzastopnim nanošenjem slojeva za proizvodnju prototipova ili proizvodnju gotovih proizvoda. Nakon stvaranja 3D modela s CAD programom, ispisna datoteka koristi se za izradu dizajna sloja koji se nakon toga ispisa u tri dimenzija. 3D ispis može značajno skratiti vrijeme proizvodnje dijelova malih dimenzija, a osobito proizvodnju malih serija, što dodatno omogućuje veliku fleksibilnost i mogućnost stvaranja dijelova koje je nemoguće proizvesti uobičajenim tehnikama. Jedna od najzastupljenijih tehnika je modeliranje fuzijskog taloženja (eng. FDM - Fused Deposition Molding) koristi plastičnu nit koja se gura kroz zagrijanu mlaznicu za istiskivanje koja tali materijal [1].

3D tisak je konceptualno jednostavan. Objekt se kreira tako da se započinje s ničim i dodaje se sloj odjednom dok se ne dobije dovršeni objekt. Trenutni značaj za 3D tisak zapravo su samo evolucija, tehnologija i tehnika koje postoje već neko vrijeme [2].

3D tisak danas se može smatrati stabiliziranom tehnologijom, barem u tehničkom smislu. Međutim, usvajanje takve proizvodne tehnike na primjer u arhitektonsko inženjerstvo i graditeljstvo (eng. AEC - Architecture, Engineering & Construction) još nije široko rasprostranjeno, budući da, usporedbi s drugim inovativnim sektorima, sektor još nije u potpunosti spreman za uvođenje inovativnih proizvodnih metoda. Neke eksperimentalne studije razvijene su s obzirom na moguće primjene 3D tiska u arhitekturi i konstrukciji, ali rascjep koji treba zatvoriti je povezan s konsolidiranim načinom korištenja inovativnih tehnika proizvodnje [3].

U posljednjih nekoliko godina došlo je do velikog interesa za 3D tisak u tekstilu i modi. Bilo je više suptilnih primjera kombiniranja 3D tiskanih struktura s tradicionalnim tekstilom. Trenutno objavljena istraživanja pokazala su da je SLS (eng. Selective laser sintering) ograničen u smislu fleksibilnosti. Kako bi se ispisa 3D strukture, potrebno je crtati u 3D CAD programima. 3D CAD crtež treba uzeti u obzir debljinu i udaljenost između objekata, osobito međusobno povezanih struktura, tj. lančanu, pletenu, tkanu strukturu. 3D CAD crtež se zatim nanosi na slojeve pomoću softvera glavnog računala, a zatim se ispisa sloj po sloj. U SLS procesu koristi se CO<sub>2</sub> laser za fuziju finog praha u čvrsti materijal. Laser usmjerava kompjutorski upravljano zrcalo i gradi objekte u slojevima od 0,1 mm, a građevna platforma se smanjuje ovim mjerenjem svaki put kada se sljedeći sloj praha pomiče na površinu. Ne-sinterirani prah služi kao potpora za gradnju. Višak praška se zatim ukloni visokim tlakom nakon ispisa [1].

## 2. POVIJEST 3D TISKA

- 1980.–1981.: Hideo Kodama (Općinski institut za industrijska istraživanja u Nagoya-i) izumio je i opisao dvije prve proizvodne tehnike aditiva temeljene na fotostvrđnjavanju plastičnih polimera. Ovaj se temeljni rad može smatrati pretkom fotopolimerizacije i stereolitografije. Podnesen je zahtjev za priznanje patenta, ali izumitelj nije pratio zahtijevani rok od jedne godine nakon podnošenja zahtjeva [3].
- 1984.: Jean-Claude André (CNRS), Alain le Méhauté (CGE / Alcatel) i Olivier de Witte (Cilas) podnijeli su zahtjev za patent stereolitografije, tj. postupak proizvodnje aditiva kojim se laserska zraka selektivno stvrđjava s tekućinom osjetljivom na UV zračenje smole. Sustav se temeljio na ultraljubičastom laserskom svjetlu koje je očvrstnulo poprečni presjek smole sadržane u posudi. .stl ekstenzija datoteke Hull usvojena i još je uvijek u uporabi i danas za većinu AM. Osnovao je i 3D Systems, tvrtku koja se bavi izradom 3D pisača [3].
- 1987.: Carl R. Deckard izumio je u UT-Austinu tehniku selektivnog laserskog sinteriranja, temeljenu na snažnoj (obično pulsirajućoj) laserskoj zruci koja selektivno spaja čestice praha duž poprečnih presjeka željenog oblika. Prah se može sastojati od plastike, metala, keramike ili stakla, i obično se zagrijava u sloju neposredno ispod točke fuzije. Patent za sličnu tehniku podnio je 1979. R. F. Housholder, ali on nije bio komercijaliziran [3].
- 1989.-1990.: S. Scott Crump izumio je i patentirao do sada najpopularniju 3D tehniku tiska, posebno za hobiste i niskobudžetne laboratorije: fuzionirano taloženje (FDM). Sastoji se od taloženja spojenog materijala - najčešće plastike - sloj po sloj, prema .stl datoteci. Prve strojeve komercijalizirala je tvrtka Stratasys Scotta Crumpa počevši od 1992. godine, a patent je odobren (istekao je 2009.) [3].
- 1993.: MIT je razvio ono što se, strogo govoreći, smatralo 3D ispisom. Tehnika se sastojala od vezanja sloja po sloju sloja praha pomoću inkjet pisača, otuda i ime. Godine 1993. Sanders Prototype, Inc. je uveo još jednu tehniku, Solidscape: "dot-on-dot" tehniku. Bila je na bazi polimernog mlaza s topljivim nosačima, dajući vrlo precizne rezultate. Modeli su izvorno tiskani voskom [3].



- 1995.: Institut Fraunhofer ILT, Aachen, izumio je proces selektivnog laserskog taljenja. Proces koji daje precizne i mehanički snažne izlaze, uzimajući u obzir upotrebu metalnih legura, i može se nositi s ugnježđenim i zamršenim geometrijama - sastoji se u taljenju, sloj po sloj, metalnog praha pomoću laserske zrake. Selektivno lasersko sinteriranje je sličan postupak, pri čemu metalni prah nije potpuno fuzioniran, stoga ne stvara onoliko koherentne i homogene mase kao izlaz [3].
- 1999.: Bioprint tehnike uspješno su eksperimentirane na Wake Forest Institutu za regenerativnu medicinu.
- 2004.: Adrian Bowyer razvio je RepRap open-source projekt s ciljem stvaranja samorepilabilnih 3D pisaa, u pokušaju širenja i demokratizacije AM tehnologije.
- 2008.: Shapeways je pokrenut u Nizozemskoj. Sastoji se od internetske usluge koja korisnicima omogućuje slanje 3D datoteka kako bi se objekti ispisali i poslali na traženu adresu. Usluga koristi različite tehnike i materijale, koji danas uključuju nekoliko plemenitih metala.
- 2009.: Makerbot je izradio DIY kit za 3D pisaa koji će u velikoj mjeri pridonijeti širenju tehnike u mnogim kućanstvima.
- 2011.: Mogućnosti koje nude tehnike 3D tiska, a ne proizvodnja čistih alata za izradu prototipova, još su jasnije utvrdili SULSA, sveučilišni laserski sinterizirani zrakoplovi sa Sveučilišta Southampton, bespilotne letjelice čija je struktura tiskana, od krila do integralnih kontrolnih površina pomoću laserskog stroja za sinteriranje, s razlučivošću od 100 mikrometara po sloju. Bespilotna letjelica (UAV) mogla bi se sastavljati bez alata, koristeći tehnike "prikvačivanja" [3].
- 2014.: Airbus Operation GmbH podnio je patent za 3D tisak cijele strukture aviona. Tehnika je zanimljiva i zbog svojstava nalik na 4D tisak: studija o deformaciji materijala, posebno u odnosu na druge, koristi se za daljnje jačanje strukture, iskorištavanjem rezultirajućih sila.

Iako temeljne ideje glavnih aditivnih proizvodnih tehnika potječu iz 1980-ih, daljnji razvoj i kombinacija među tehnikama postupno su implicirali pomak u potencijalnoj uporabi.

Zapravo, dok je AM počeo kao sredstvo za brzu izradu prototipova objekata, posebno za inženjering - gdje ograničena dostupnost materijala i nedostatak mehaničke čvrstoće nisu bili problem - sada se počinje usvajati kao potpuno novi način proizvodnje konačnih elemenata, s obzirom na poboljšanu kvalitetu izlaza i materijala koji se mogu koristiti. Takve mogućnosti mogu potencijalno poremetiti čitave industrijske procese i lanac opskrbe, omogućujući tako difuzne objekte za proizvodnju do te mjere da se može pojaviti tzv. "Nazvane mikrofaktorima, ove male tvornice drastično mijenjaju način proizvodnje velikih potrošačkih dobara za jedinstvene lokalne potrebe" [3].

### 3. RAD 3D PISAČA

Rad 3D pisača može prikazati na primjeru proizvoda jedne od uspješnih kompanija za proizvodnju 3D printera je Z Corporation, utemeljena 1944. godine, koja nudi modele ZPrinter 310, ZPrinter 310 Plus, ZPrinter 350 (Sl.1.), ZPrinter 406, ZPrinter 450, ZPrinter 650, ZPrinter 810 i ZCast System. Sjedište ove kompanije je u Burlingtonu, MA (USA), Boston. Njihovi printeri rade na principu ink-jet tehnologije. Proces proizvodnje modela se bazira na principu rada sa prahom od specijalne materije i vezivne supstance koja učvršćuje materijal. 3D printer ispušta sloj praha određenog materijala, a vezivna supstanca koju ink-jet glave nanese preko tog sloja, učvršćuju sloj praha. Nakon toga, nanijeti sloj se spušta za jedan sloj niže, a potom 3D printer ispušta slijedeći sloj i učvršćuje ga vezivnom materijom i veže za prethodni sloj. Ovi 3D printeri koštaju od 26.000 dolara, pa na više. Nakon završenog printanja, dobijeni model se očisti od viška materijala, i dobija se željeni model. Modeli mogu biti i obojeni [4].



Sl.1. ZPrinter 350 [4]

#### 4. POLIMERI U 3D PROIZVODNJI

Jedna od bitnijih stvari kod 3D printa (osim printera samih) su filamenti (sl.2.) – razne vrste plastičnih materijala izvučenih u obliku žice i namotanih na kalup. Osnovna karakteristika svakog filameta je promjer. Postoje dvije mjere: 1.75 mm i 3 (odn. 2.85) mm i velika većina filamenata proizvodi se u obje varijante. 1.75 mm češći je kod DIY 3D printera, većinom proizašlih iz RepRap pokreta, dok je 3/2.85 mm izbor proizvođača brendiranih 3D printera [5].

Trošak: Filamenti : \$20 do \$70 po 1kg

Prašak: \$45 do \$75 po 1kg

Smole: oko \$50 po litri

Metali: između \$350 i \$550 po 1kg [6]

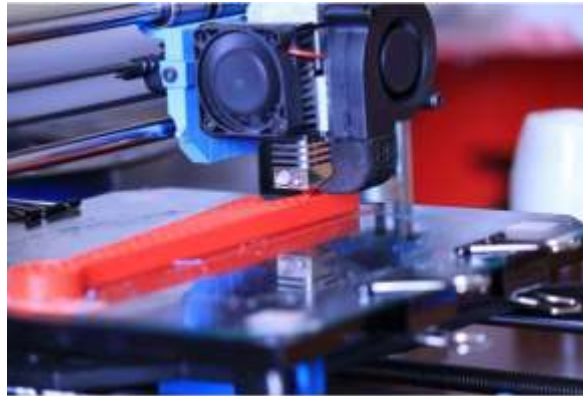


Sl.2. Filamenti [7]

### 3.1. Vrste filamenata

#### 3.1.1. Akrilonitril butadien stiren (ABS)

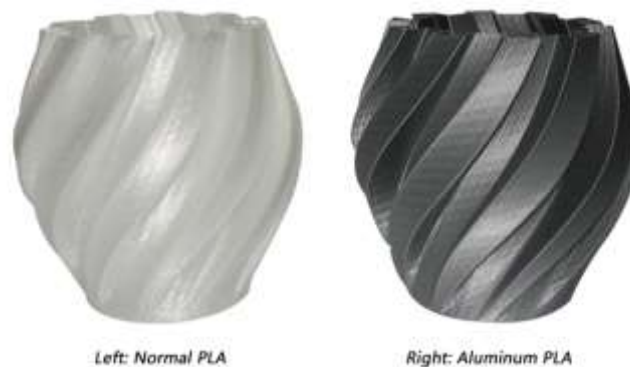
Akrilonitril butadien stiren (eng. ABS - Acrylonitrile butadiene styrene) je jedan je od najpopularnijih polimera (sl.3.). Postao je dostupna 1940-ih i odmah je prodan kao alternativa bakelitu. Njegova varijabilnost kopolimera i lakoća obrade doveli su do toga da ova plastika postaje najpopularniji inženjerski polimer [8].



Sl.3. Primjena ABS-a [8]

#### 3.1.2. Polilaktična kiselina (PLA)

Polilaktična kiselina (eng. Polylactic acid-PLA) filament je daleko najpopularniji materijal koji se koristi u FDM 3D ispisu (sl.4.). Dolazi u mnogim nijansama i stilovima, što ga čini idealnim za širok raspon primjena. Bilo da tražite živahne boje ili jedinstvene mješavine, PLA filament je jednostavan za korištenje i estetski ugodan materijal [9].



Sl.4. Aluminium PLA filament [9]

### 3.1.3. LayWood

Laywood je posebno razvijen 3D tiskarski materijal za 3D pisaae ulazne razine. Dolazi u obliku filamenta i kompozit je drvo / polimer [10].

### 3.1.4. Metali

Sve veći broj metala i metalnih kompozita koristi se za 3D tiskanje u industrijskom procesu. Dva najčešća su aluminijски i kobaltни derivati. Jedan od najjačih i stoga najčešće korištenih metala za 3D tisak je nehrđajući čelik u obliku praha za postupke sinteriranja / taljenja / EBM. Prirodno je srebro, ali može biti presvučeno drugim materijalima kako bi se dobio zlatni ili brončani efekt.

U posljednjih nekoliko godina zlato i srebro dodani su u asortiman metalnih materijala koji se mogu 3D ispisati izravno u sektoru nakita. To su vrlo jaki materijali i obrađuju se u obliku praha. Titan je jedan od najsnažnijih mogućih metalnih materijala i već se neko vrijeme koristi za industrijsku primjenu 3D tiska [10].

### 3.1.5. Ostali 3D materijali za ispis

#### *Keramika*

Keramika je relativno nova grupa materijala koja se može koristiti za 3D tisak s različitim razinama uspjeha. Posebno je važno naglasiti da se nakon tiskanja keramički dijelovi moraju podvrgnuti istim procesima kao i svaki keramički dio izrađen tradicionalnim metodama proizvodnje - pečenje i glaziranje [10].

#### *Papir*

Standardni A4 kopirni papir je 3D tiskovni materijal koji se koristi vlastitim SDL procesom kojeg isporučuje Mcor Technologies. Kapitalni izdatak za stroj je u srednjem rasponu, ali naglasak je na lako dostupnoj i isplativoj opskrbi materijalima koja se može kupiti na lokalnoj razini. 3D tiskani modeli izrađeni od papira sigurni su, ekološki prihvatljivi, lako se mogu reciklirati i ne zahtijevaju naknadnu obradu [10].

### *Bio materijali*

Postoji velika količina istraživanja o potencijalu 3D tiska bio materijala za niz medicinskih primjena. Živa tkiva se istražuju u nekoliko vodećih institucija s ciljem razvoja aplikacija koje uključuju ispis ljudskih organa za transplantaciju, kao i vanjskih tkiva za zamjenske dijelove tijela. Druga istraživanja u ovom području usmjerena su na razvoj prehrambenih proizvoda - meso kao glavni primjer [10].

### *Hrana*

Ekspirimenti s ekstruderima za tvar za ispis 3D hrane dramatično su porasli u posljednjih nekoliko godina. Čokolada je najčešća. Tu su i pisači koji rade sa šećerom, a neki su eksperimenti prolazili i sa tjesteninom i mesom [10].



**Sl. 5.** The Bocusini 3D printer hrane [11]

## 5. TEHNOLOGIJA 3D ISPISA CELULOZE

Primjena 3D tehnologije u području proizvodnje odjeće i obuće svakako je povezana i sa razvojem 3D ispisa celuloze.

Tehnologija ispisa 3D pisača ključni je dio cijelog procesa 3D ispisa, igrajući ključnu ulogu u povezivanju digitalnih 3D modela, 3D tiskovnih materijala (Tab.1.) i konačnih aplikacija. Prema načinu na koji su slojevi pohranjeni za izradu dijelova i korištenih materijala, 3D pisac se može klasificirati u različite kategorije. 3D sustavi za tisak s materijalima od celuloze su uglavnom podijeljeni u tri kategorije: proces, izravno pisanje s tintom (DIW), te 3D bioprintiranje s mikroekstruzijom; Inkjet 3D ispis i 3D vrtnja. Osigurana su neka konceptualna znanja o proizvodnji laminiranih objekata (LOM) i selektivnom laserskom sinteriranju [12].

Tab. 1: Tipični celulozni materijali ojačani plastičnim filamentom za FDM [12]

Materijali (sadržaj cel.materijala,%)	Metoda obrade filameta	Promjer niti (mm)	FDM pisac	Veličina mlaznice (mm)	Temperatura ispisa
Mikro-nanoceluloza / PLA (0–30%)	Ekstruder s dva vijka	1.75	Z603S, Jgaurora Ltd	0.4	190
ColorFabb reciklirano drveno brašno / PLA (15%)	-	2.85	Prusa i3 rework 3D printerwas	0.3	210
Celulozna vlakna / PLA (0-20%)	Ekstrudirati u 2 koraka	2.85	Lulzbot TAZ 5 3D pisac	-	210
Celulozni nanokristali / polivinil alkohol (2–10%)	Ekstruder s jednim vijkom	1.7.	Sharebot Next Generation 3D pisac	0.35	-
Hidroksipropil celuloza / Domperidon (80–90%)	Ekstruder s dva vijka	1.75	Replicator 2X	0.2	210
Nano-kristal celuloze / poli ( $\epsilon$ -kaprolakton) (0–10%)	Ekstruder s dva vijka	3	Thing-O-Matic 3D pisac	0.3	185
Otpad kokosove ljuske / poli ( $\epsilon$ -kaprolakton) (0–50%)	Ekstruder s jednim vijkom	1.75	Prusa i3 Hephestos 3D pisac	0.3	120

3D tisak na bazi ekstruzije je jedan od najčešće korištenih postupaka u kojima se materijal za ekstrudiranje selektivno raspodjeljuje kroz mlaznicu i nanosi slojevito. Prije taloženja drugog sloja, prvi sloj mora zadržati strukturnu čvrstoću. Proces fuzioniranja taloženja (FDM), izravno ispisivanje tinte (DIW) i 3D bioprintiranje mikroekstruzije pripadaju kategoriji ekstruzije materijala. Zbog velike dostupnosti materijala, 3D tisak na bazi ekstruzije trenutno je najčešće korištena tehnika. Materijali za celulozu, uključujući lignocelulozni materijal, derivat celuloze i celulozne nanočestice, prijavljeni su kao materijali za 3D tisak na bazi ekstruzije (sl.6). Proizvodnja filamenata s manjim promjerom pomoću 3D tiska na bazi ekstruzije i dalje je zahvatljiva zbog bubrenja koje nastaje kada se viskozni tekući materijali ekstrudiraju kroz mlaznicu malog promjera. Ekstrudiranost ili mogućnost tiskanja materijala na bazi celuloze u 3D tisku ključni su za kvalitetu 3D tiskanih konstrukata[12].

Stereolitografija, fotopolimerizacijski postupak s tekućinom koji polimerizira polimerizacijom, ostaje jedna od najatraktivnijih i najsnažnijih tehnologija 3D tiska. Zahvaljujući visokoj razlučivosti izvora svjetlosti, ima veću preciznost proizvodnje, što daje manju debljinu sloja, veće informacije o detaljima i bolju kvalitetu površine. Sve veći broj tekućih fotopolimera razvijen je i korišten za stereolitografiju za različite primjene[12].

### 3D ispis s lignoceluloznim materijalima

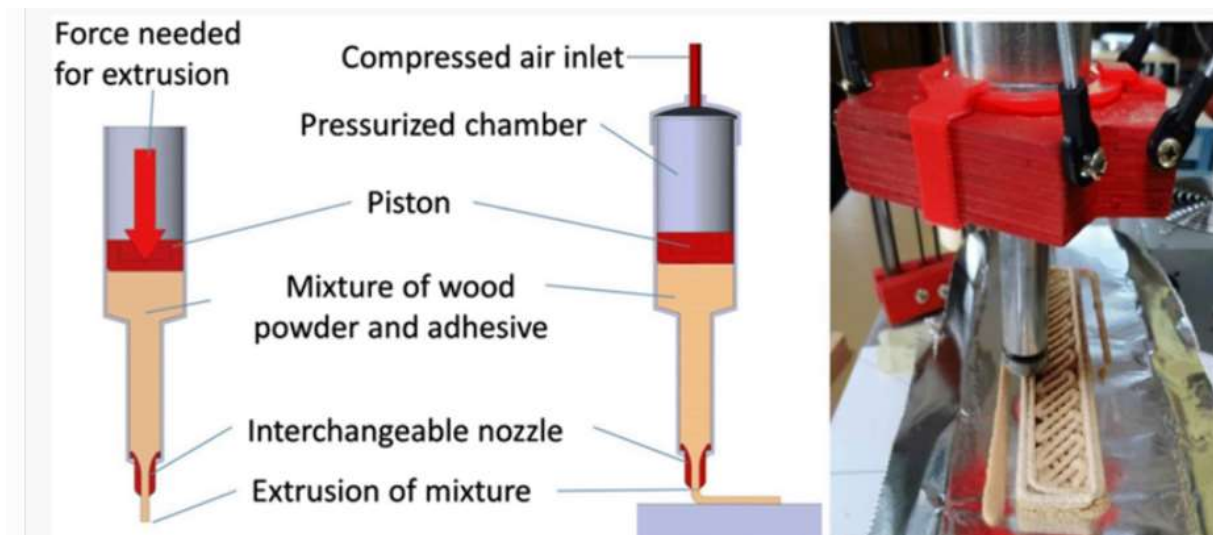
Mnoga istraživanja su pokušana za FDM 3D tisak s lignoceluloznim materijalima. Do termičke razgradnje dolazi prije nego što lignoceluloza postane ekstrudirana. Lignocelulozni materijali su se uglavnom koristili kao komponenta za provedbu kako bi se poboljšala mehanička svojstva ili pomoglo u smanjenju globalnih emisija ugljika u preliminarnim istraživanjima. Prah lignoceluloze može se koristiti kao komponenta u 3D tisku s uobičajenim plastičnim materijalima i ljepilima. Istraživanja Britanaca i suradnika pokazala su da se dodatak drvenog praha (pluta) može obraditi s HDPE (eng.High density polyethylene, hrv. polietilen visoke gustoće) pomoću 3D tiska na bazi ekstruzije. Naznačeno je da 3D tiskani materijali na bazi drveta pokazuju slabo mehaničko ponašanje, koje se ne može koristiti za konstrukcijske primjene[12].

Slično lignocelulozi, čiste celulozne čestice se također mogu upotrijebiti kao komponenta za 3D tiskarske filamente kako bi se poboljšala mehanička čvrstoća 3D tiskanih proizvoda. Hidrofilnost i manja termička stabilnost celuloznih mikro / nanočestica ograničavaju raspon izbo-



ra polimerne matrice i metode obrade kompozita (Oksman et al. 2016). Disperzija, distribucija i interfacijalna interakcija celuloznih čestica u termoplastičnim kompozitima bitni su dijelovi istraživanja i razvoja proizvodnog procesa matrice 3D ispisa celuloznog materijala [12].

Lignocelulozni materijali pokazuju mnogo zanimljivih svojstava, uključujući održivost, hidrofilnost, biokompatibilnost, biorazgradivost, ne toksičnost i široki kapacitet kemijske modifikacije. Celulozni materijali su široko korišteni za dekorativne elemente, medicinsku primjenu, biološke uređaje, elektroniku, skladištenje energije i tekstilne primjene [12].



SI.6. 3D pisac na bazi ekstruzije i 3D ispisa s mješavinom drvnog praha i ljepila [13]

## **6. METODE 3D TISKA**

### **6.1. Ekstruzija fuzioniranog / tekućeg materijala**

Ove tehnike dijele zajedničko svojstvo »glave za ispis« koja se sastoji od pokretne mlaznice koja nanosi sloj na sloj materijala [3]

### **6.2. Ekstrudiranje polukrutog materijala**

Postoje dvije glavne vrste strojeva: portalni (ili kartezijski) i delta. Portalni se temelji na ekstruderu koji se kreće duž kartezijskih X i Y osi, dok se ploča kreće duž sloja Z, sloj po sloj. Delta sustavi temelje se na tri ruke povezane s univerzalnim zglobovima na dnu, koji se kreću unutar paralelograma. Tako se daje brži i točniji izlaz. Plastični su materijali glavni materijali koji se koriste u ovoj tehnici - posebno termoplasti, ABS i PLA, te najlon, PET, HIPS i TPU - keramika, glina i cement nedavno su eksperimentirani. Tiskani materijal nastoji pokazati anizotropna svojstva, a jačina u smjeru z je obično mnogo niža nego u x i y smjeru. Ispisani objekti pokazuju glatku, slojevitú površinu na temelju slojeva rezanja koji su usvojeni za ispis. Ne može se proizvesti nikakva geometrijska forma ovom tehnikom: zapravo, maksimalno 45 °. Kosi dijelovi mogu se proizvesti bez stvaranja dodatnih nosača, koji se kasnije moraju ukloniti. Brzina je ozbiljno ograničenje za ovu tehniku koja se koristi izvan granica prototipizacije: kocka od 20 × 20 × 20 cm može zahtijevati ispis više od 24 sata. Druge dvije manje uobičajene vrste strojeva su polarne i robotske ruke. Polarni strojevi rade na temelju kuta i duljine, a potrebna su samo dva motora, dok sa portalom trebaju tri. Robotska ruka nije samo tiskarski stroj već se glava za ispis može pričvrstiti na robotsku ruku. On pruža mnogo veću fleksibilnost i dimenziju ispisa, posebno ako ruka nije fiksirana na tlu. Obje tehnike su prilično eksperimentalne i nisu jako raširene [3].

### **6.3. Ekstrudiranje polutvrđog materijala**

Iako nije konsolidirana tehnika, eksperimentirali su je s umjetnicima i istraživačima. Sastoji se od proširenja prethodno analizirane tehnike na uporabu gline i sličnih "mokrih" materijala. Glavna razlika, iako je postupak sklon varirati za svaki eksperiment, je odsutnost zagrijane glave pisača, budući da materijal ne mora biti spojen, dok je neka vrsta mehanizma pod tlakom obično prisutna da prisili blatni materijal kroz mlaznicu.

Mogućnost korištenja tipičnih građevinskih materijala u arhitekturi - poput gline i betona - čini ovu tehniku perspektivnom za arhitektonske projekte. Međutim, za sada kvaliteta ishoda u smislu "rezolucije", preciznosti i geometrije za ispis još uvijek nije dovoljna za stvarne projekte izvan područja istraživanja [3].

### **6.4. Obrada kontura: ekstruzija + punjenje polu-tekućim materijalima**

Eksperimentalna tehnika - koju je 1998. godine razvio prof. Behrokh Khoshnevis sa Sveučilišta u Južnoj Kaliforniji u Los Angelesu - kombinira tehniku ekstruzije, primijenjenu na površinu objekta, na materijal punila koji se ubrizgava između ekstrudiranih lica, stvarajući tako čvrstu jezgru. Tehnika je pogodna za arhitekturu, jer je mnogo brža od usporedivih tehnika baziranih na ekstruziji, kao što su polimeri, keramika, kompozitni drveni materijali, mort, cement, beton i drugi materijali, koji kad se jednom odlažu mlaznicom, mogu se brzo stvrdnuti i odoljeti pritisku od težine same konstrukcije. Tehnologija Contour Crafting može izgraditi kuću od 185 m<sup>2</sup> sa svim komunalnim uslugama za električne i vodovodne sustave u manje od 24 sata [3].

### **6.5. Ispis betona**

Omogućuje kontrolu rezolucije mlaznice za taloženje rasutih materijala i finih detalja unutar istog procesa [3].

### **6.6. Ekstrudiranje metala (FDM)**

Obuhvaća niz alternativnih eksperimentalnih tehnika koje su ili prilagođene tehnici ekstruzije polučvrstog materijala metalu s niskom temperaturom taljenja, ili upotrebom robota za zavarivanje plinom s metalnim lukom [3].

### **6.7. Lijepljenje zrnastih materijala**

Za razliku od prethodno analiziranih tehnika, ova tehnika temelji se na selektivnom "vezivanju" zrna materijala koja su prethodno smještena u polja. Prednost ovog skupa tehnika leži u gotovo beskonačnoj slobodi geometrijskih oblika koje može proizvesti, budući da nisu potrebne potpore, pa čak i ugnježdjeni oblici mogu se ispisati u jednom koraku[3].

### **6.8. Mlazenje veziva**

Postupak se sastoji od višestruke inkjet ispisne glave koja se pomiče sloj po sloj na "praškastom sloju", prethodno postavljenom na platformu za izradu. Dok lopatica za čišćenje ili valjak ravnomjerno raspoređuje prah preko sloja, glava selektivno izbacuje otopinu veziva, koja skrućuje prašak u skladu s dijelom o kojem je riječ. Zatim se spušta sloj na sloj. Različiti materijali mogu se koristiti kao prah, uključujući izvorno škrob i gipsanu žbuku, dok vezivo - uglavnom voda - može također sadržavati boje i druge tvari koje utječu na fizička svojstva praha (kao što su viskoznost i površinska napetost). Rezultati takve tehnike imaju tendenciju nedostatka točnosti [3].

### **6.9. Selektivno lasersko sinteriranje (SLS)**

Postupak se generički naziva "fuzija praškastog sloja" i koristi laser velike snage za spajanje čestica materijala. Slično procesu vezanja veziva, postupak se sastoji u selektivnom stvrdnjavanju / vezivanju sloja praha. U ovoj tehnici, stvrdnjavanje se odvija kroz lasersku zraku koja slijedi presjek odgovarajućeg sloja. Materijal se zagrijava odmah ispod točke vrenja (odgovarajuće sinteriranje) ili iznad njega (selektivno lasersko taljenje). Proces je završen sloj po sloj.

Glavni nedostatak ovog procesa je relativno visoka cijena snažnih lasera potrebnih za ispis u materijalima koji nisu kompoziti, plastika i voskovi, te relativno slaba mehanička svojstva kompozitnih prahova pogodnih za inženjerske primjene. Prednosti su brojne, od geometrijske slobode, do činjenice da nakon tiskanja objekta nije potrebno mnogo dodatnog alata. Osim toga, rezultati mogu biti vrlo precizni uz visoku rezoluciju[3].

## **6.10 Sinteriziranje selektivne inhibicije (SIS)**

Ova tehnika, koju je razvio dr. Behrokh Khoshnevis i njegov tim na Sveučilištu južne Kalifornije, pokušava riješiti kompromise između troškova lasera velike snage za sinteriranje metala i slabih mehaničkih svojstava kompozitnih materijala. Glavna inovacija koja stoji iza SIS tehnike je sprječavanje odabranih područja svakog sloja praha od sinteriranja, koje se postiže djelovanjem na područja izvan vanjskog dijela, u svakom sloju, pomoću "inhibitora sinteriranja". Komercijalna piezoelektrična ispisna glava se koristi za odlaganje tekuće kemijske otopine (inhibitora) na periferiji dijela za svaki sloj. Kada su svi slojevi obrađeni, cijeli dio se uklanja iz stroja i sinterira u konvencionalnoj peći za sinteriranje. Inhibitor se raspada na tvrde čestice koje ometaju proces sinteriranja. Čestice u ovom području su spriječene da se stapaju, omogućujući uklanjanje inhibiranih graničnih dijelova i otkrivanje dovršenog dijela. Ova je tehnika još uvijek eksperimentalna, ali obećava zbog nižih troškova koji proizlaze iz uporabe konvencionalnih ispisnih glava dostupnih na tržištu [3].

## **6.11. Fotopolimerizacija tekućih materijala**

### *Stereolitografija (SLA)*

Stereolitografija je izumljena osamdesetih godina i sastoji se od tehnike kojom se laserska zraka selektivno stvrdnjava na UV-osjetljivu tekuću smolu u posudi, slijedeći slijed poprečnih presjeka predmeta koji se tiska. Posuda se spušta sloj po sloj, sve dok se ne ispiše cijeli objekt. Tehnika je prvotno zamišljena kao brži i jeftiniji način stvaranja prototipa za inženjere. Glavna prednost takve tehnike je visoka rezolucija koja se može postići, budući da se temelji na laserskoj zruci. Budući da je potrebna određena fotopolimerna smola, ona je skupa i ne nudi široku lepezu materijala za ispis; konstantno se dodaju i teški novi materijali, koji mogu omogućiti uporabu takve tehnike ne samo za izradu prototipova / kalupljenje, već i za konačne objekte. Pri tome su potrebne potpore i moraju biti uklonjene nakon završetka procesa. Potrebno je čišćenje i ostala naknadna obrada, uključujući sušenje u UV pećima, nestajanje ili pjeskarenje staklenim perlicama [3].

### *Digitalna obrada svjetla (DLP)*

Ova tehnika je jeftina verzija stereolitografije. Temelji se na istom principu fotopolimerizacije, ali umjesto laserske zrake koristi video projektor kako bi se smola očvrstnula. DLP projektor je smješten iznad posude za smolu, a smola je očvrstnuta sloj po sloj, kao u SLA. Rezultati su slični onima za SLA, ali ovdje se može postići veća rezolucija na manjoj površini projekcije, budući da projicirana slika ima fiksnu rezoluciju (projektor). Proces je jeftiniji i brži od SLA, budući da se temelji na zajedničkoj tehnologiji (snop) i stvrdnjava svaki sloj odjednom [3].

### **6.12. Multijet modeliranje (Polyjet)**

Kombinira prskanje tekućih fotopolimera, glave za ispis u vrlo tanke slojeve i UV lampu - smještenu ispod mlaznica ispisne glave. Slojevi se stvaraju spuštanjem radne platforme, dok se glava samo kreće duž Y osi, jer prekriva os X kroz niz mlaznica. Postupak omogućuje upotrebu kombinacije između dva materijala različite građe, čime se omogućuje lokalno prilagođavanje svojstava materijala ("digitalni materijali"). Na primjer, mješavina mekih i tvrdih dijelova može se ispisati zajedno. Glavni nedostatak je ograničenje fotopolimera kao tiskarskog materijala, koji je skup i ne daje dovoljno mehaničke čvrstoće za neke primjene. Adidas je multijet modeliranjem napravio 3D potplat (sl.7) [3].



Sl.7. Carbon/Adidas 3D printed sole (<https://tinyurl.com/y7ked3cu>). [3]

### **6.13. Ugljična „digitalna sinteza svjetla”™**

Tehnika, koju je razvila tvrtka Carbon 2013. godine, koristi digitalnu projekciju svjetla, optiku propusnu za kisik i ugljične programabilne tekuće smole i omogućuje ispisivanje do 100 puta brže od ostalih aditivnih proizvodnih procesa. Carbonova tehnologija je u osnovi sposobna ispisivati dijelove visoke rezolucije s izvrsnom površinskom obradom i izotropnim mehaničkim svojstvima. Omogućuje jedinstven ispis rešetki koje mogu zamijeniti materijale kao što su pjena u slušalicama, podlošci za cipele i aplikacije za sjedenje. Ono što je posebno jedinstveno je sposobnost Carbona da dizajnira i napravi podesive rešetke ovisno o potrebama korisnika. Inženjeri po prvi put mogu ispisati više jedinstvenih funkcionalnih zona unutar istog monolitnog dijela i podesiti mehanička svojstva unutar svake od tih funkcionalnih zona ovisno o zahtjevima primjene. Ova tehnika je jedinstvena u aditivnoj proizvodnji, a Adidas ga koristi za ispisivanje potplata obuće u industrijskim razmjerima s varijacijama u gustoći materijala, kako bi se dobile potrebne lokalne performanse. To je dobar primjer kako mogućnosti 3D tiska u procesu industrijske proizvodnje gotovih proizvoda, tako i revolucionarni potencijal dobivanja različitih fizičkih performansi kontroliranjem gustoće i strukture materijala [3].

### **6.14. Volumetrijski 3D ispis**

Tim znanstvenika i inženjera na čelu s Nacionalnim laboratorijem Lawrence Livermore (LLNL) razvio je proces koji koristi lasere poput holograma za izradu kompletnih objekata u sekundi unutar spremnika tekuće smole. Ovaj pristup primjenjujemo holografskim uzorcima svjetlosnih polja, demonstriramo izradu različitih struktura i proučavamo svojstva svjetlosnih uzoraka i fotoosjetljivih smola potrebnih za ovaj pristup izrade. Rezultati upućuju na to da se nisko apsorbirajuće smole koje sadrže ~ 0.1% fotoinicijatora, osvijetljene u umjerenim snagama (~ 100-100 mW), mogu uspješno koristiti za izgradnju punih struktura u rasponu od 1 do 10' [3].

## **7. 3D U PROIZVODNJI OBUĆE I ODJEĆE**

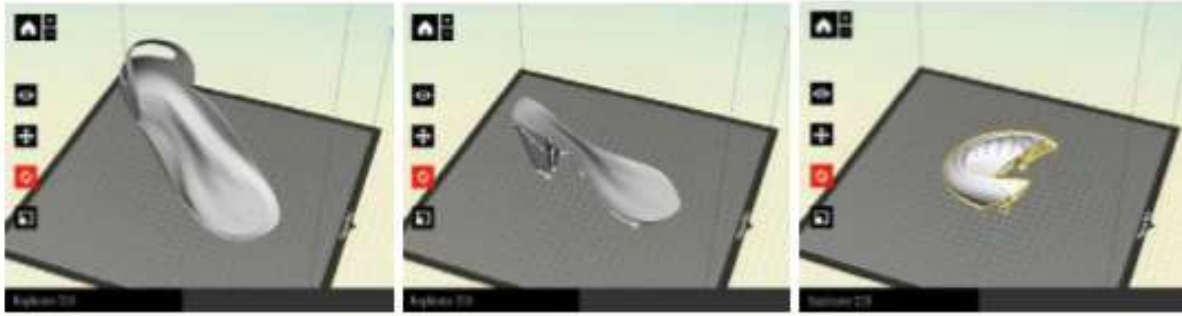
Dizajn obuće razvijen je već dugo vremena, a istraživanja za obuću uvijek se fokusiraju na ergonomiju ili fiziologiju. U posljednje vrijeme sve je više vrsta obuće namijenjenih različitim funkcijama, kao što su planinarske cipele, sportske cipele i obuća s visokom petom . Međutim, obuća s visokom petom univerzalno se smatra šarmantnim dizajnom bez ikakvog razmatranja ergonomije i uzrokuje mnoge probleme vezane za naša stopala. Stoga se mnogim istraživanjima pokušavaju otkriti čimbenici problema analizom hoda, kliničkim ispitivanjima statističkih parametara, koja dovode do nekih novih zapažanja. Primjerice, visina pete ima veći utjecaj na našu ravnotežu i hod, za razliku od debljine pete. Iako mnoge teorije snažno ukazuju na nedostatke u ergonomiji, obuća s visokom petom se sve više prodaje [13].

Kako se ergonomija stopala primjenjuje na dizajn stopala i kako nove ideje mogu promijeniti proces i koncept cipela su fokusne točke. Kroz metodu dizajna, kao što je morfološka analiza, ova studija mogla bi donijeti novo stajalište o razmišljanju o dizajnu obuće, a također uzeti u obzir i ergonomiju, za stvaranje novog oblika ženske obuće. Ovaj novi oblik obuće u ovoj studiji mogao bi se dekonstruirati i kombinirati s potrebama korisnika, smanjujući neugodnost tijekom hodanja. Najvažnije od svega, ova studija razbija granicu proizvodnje cipela uz korištenje 3D tiska i 3D skeniranja. To znači da se mijenja cijeli proces i koncept cipela. Korisnici mogu biti vlastiti obućar i kreator. Konačnu ocjenu ergonomije i zadovoljstva pokazala bi Likertova skala [13].

### **7.1. 3D ispisivanje i 3D skeniranje**

Tradicionalni način proizvodnje obuće rezultira mnogim ograničenjima kada se kombiniraju dijelovi cipela. 3D tisak osigurava slobodu pri proizvodnji tehnologije ispisa .3D, kao što je fuzionirana izrada vlakana i stereolitografija, olakšava cjelovito oblikovanje ili proizvodnju dijelova. S druge strane, 3D skeniranje (sl.9) je također korisno u 3D tisku i koristi se za proučavanje odnosa između stopala i obuće zbog prednosti stvaranja točnih modela (sl.8). Uz točne modele, ljudi mogu dobiti cipele koje odgovaraju njihovim nogama [13].





Sl.8. 3D ispis dijelova i modela[12]



Sl.9. (lijevo) 3D skeniranje; (desno) 3D modeliranje [12]



Sl.10. Prototipovi cipela i testiranje [12]

## 7.2. Razmatranje ergonomije

Prethodna istraživanja pokazala su da visina peta i oblik obuće igraju važnu ulogu u ravnoteži stajanja. U pokusnim ispitima, 20 sudionika koji su imali 21 godinu s istom težinom i visinom sudjelovali su u ovom testu. 10 od tih sudionika redovito vježba, a još njih 10 bili su baletani s prosječno više od 14,6 godina. Kilby je promatrao performanse Center Of Pressure (COP) - područja pritiska pomoću udaljenosti, brzine udaljenosti i varijacije. Izvedba je pomogla odrediti koliko visoka peta utječe na naš položaj [13].

Rezultati COP testa pokazuju da razlika debljine peta nije izravno utjecala na ravnotežu stajanja, već samo razlika u visini ima očite utjecaje. Također, stalna iskustva (iskustvo baletnih plesača) utječu na rezultat stajanja sa samo jednom nogom i testom stajanja bez obuće. Iskusni baletani pokazuju veliku ravnotežu na oba testa. Ali i testovi visine i debljine pokazuju da stajanje bez obuće čini najbolje performanse COP-a, kako za baletane tako i za obične ljude. To ukazuje na to da obuća koja se može uklopiti u oblik normalnih stopala ima veći potencijal da doprinese boljem iskustvu stajanja, ali i ukazuje na izazov stvaranja para udobnih visokih potpetica [13].

Kako bi se stvorile ergonomijske ženske visoke potpetice i osigurale inovacije, 3D tisak, 3D skeniranje i montaža ključni su koncepti u ovom istraživanju (sl.10). Ne samo da se stvara novi stil obuće, već se mijenja i proces proizvodnje u odnosu na tradicionalni proces proizvodnje( od sl.11. do sl.15) [13].



**Sl.11.**3D tiskana obuća[14]



**Sl.12.** 3D tiskana obuća [15]



**Sl.13.** 3D tiskana obuća[16]



**Sl.14.** 3D tiskana obuća[17]



**Sl.15.** Reebok printani uzorak[18]

### 7.3. 3D tiskana odjeća

Poboljšanja 3D tehnologije i računalne grafike promijenili su način projektiranja odjeće. Korištenje računalnih sustava daje mogućnost stvaranja dvodimenzionalne i trodimenzionalne ilustracije i vizualizacije proizvoda. U posljednje vrijeme, korištenje fizičkih manekenki zamijenjeno je 3D virtualnim avatarima. Ispitivanje odjeće u istom virtualnom okruženju omogućuje smanjenje pogrešaka pri nošenju odjeće i troškove potrebne za fizičke uzorke. S druge strane, 3D ispis, posebice s jeftinom FDM tehnologijom, nudi nove mogućnosti za stvaranje pravih modela iz virtualnih avatara ili točaka koja proizlaze iz opreme za skeniranje tijela. U 3D tisku na bazi FDM, oblik se oblikuje iz termoplastičnog polimera rezanjem odgovarajućeg digitalnog predmeta vodoravno i ispisujući ga sloj po sloj na posteljici za ispis. 3D pisac koristi se za stvaranje 3D minijature skenirane osobe. Ocjena odjeće se vrši na virtualnom i stvarnom modelu tijela. Ocjenjivanje i uspoređivanje odjeće prilagođeno stvarnom, virtualnom i skaliranom 3D tiskanom modelu pokazat će pouzdanost simulacije virtualne odjeće i moguću uporabu tehnologije 3D tiska u industriji odjeće [19].

Kao nova metoda za ubrzavanje procesa od ideje do proizvodnje, 3D tehnologija je dobila na važnosti u industriji odjeće. Primjena 3D tehnologije skeniranja tijela može se naći u različitim područjima kao što su: odjeća, moda, antropometrijske studije, medicina, kozmetika, umjetnost, animacija, igre itd. Tehnologije koje se komercijalno koriste za digitalno mjerenje ljudskog tijela mogu se podijeliti na četiri glavne skupine kao što su lasersko skeniranje, skeniranje bijelim svjetlom, pasivne metode (kao što su fotogrametrija, silueta, vizualni trup) i tehnologije temeljene na drugim aktivnim sensorima (kao radar milimetarskog vala, TOF 3D kamere) ili senzori na dodir. Stvaranje fizičkih replika 3D objekata generiranih iz 3D skeniranja može se ostvariti korištenjem 3D ispisa, koji pripada aditivnim tehnikama proizvodnje. Objekti se stvaraju uzastopnim slojevanjem za predprodukciju ili proizvodnju. Takve tehnike brze izrade prototipa ili tehnike brze proizvodnje često se temelje na krutim tvarima, npr. u obliku selektivnog laserskog sinteriranja (SLS) iz praha), tintnog trodimenzionalnog tiska s termoplastima, ili FDM koji je najprije uspostavljen od strane Stratasysa. FDM tehnologiju koriste najjeftiniji 3D pisaci. Temelji se na zagrijavanju filameta u mlaznici ekstrudera i taloženju rastaljenog materijala redom po sloju na posteljici za tiskanje gdje se stvrdnjava. Nakon što je jedan sloj završen, postolje za ispis se spušta, a sljedeći sloj se ispisuje na vrhu prethodnog [19].

3D tisak tekstilnih tkanina nije novi u industriji odjeće. Napravljeno je nekoliko pokušaja kombiniranja tekstilnih tkanina s 3D tiskom, što je rezultiralo novim dizajnom i mehaničkim svojstvima koja se ne mogu postići samo jednim od tih materijala. Dizajneri odjeće često su išli korak dalje i konstruirali u potpunosti 3D tiskanu odjeću ili cipele. Luksuzna marka Pringle iz Škotske utkala je 3D tisak u modu "spremnju za nošenje". Danit Peleg, koristi opružne uzorke u suknjama i drugim odjevnim predmetima kako bi postigao zanimljive kinematičke učinke. Cjelovita haljina bila je 3D ispisana pomoću SLS tehnike pomoću živčanog sustava. Koristeći 3D tiskane obrasce kao komplet za model, istraživači Sveučilišta Loughborough planiraju napraviti odjeću i cipele za ispis kako bi se izbjegla proizvodnja otpada. Reprezentativni 3D modeli kao što su torzo i glava, snimljeni tehnologijom 3D skeniranja, tiskani su u 3D za učinkovitu uporabu za dizajn i procjenu srodnih proizvoda. Modne lutke pretvaraju se u 3D tisak, ili su 3D tiskane na temelju stvarne veličine osobe i sve je više modnih revija na 3D tiskanim manekenima [19].



Sl.16. Proces virtualnog oblikovanja odjeće i testiranja odjeće odgovara: 1) uvozu 3D modela tijela; 2) dizajn odjeće; 3) ogrtač odjeće; 4) ispitivanje prikladnosti odjeće[19]

### Metodologija

3D modeli tijela korišteni za simulaciju odjeće generirani su primjenom 3D laserskog skeniranja Konica Minolta VIVID 910 . Tijek rada za postavljanje sustava, od kalibracije do pred-testa prije početka procesa skeniranja ljudskog tijela (sl.17).



Sl.17. Postavljanje i kalibracija sustava s Konica Minolta VIVID 910[19]

Skeniraju se različiti subjekti i jedan model tijela nasumično se bira iz ove ciljne skupine.

Uvoz 3D modela tijela za dizajn virtualne odjeće i simulaciju u 3D okruženju pomaže dizajnerima da brzo provjere probleme vezane za nabiranje tkanine na 3D avataru i procjenu prikladnosti odjeće. 3D tehnologija kao nova tehnologija koja se koristi u modnoj industriji omogućuje dizajneru da praktično shvati i prikaže odjeću čak i kada nije proizvedena. Istodobno se može procijeniti virtualno prianjanje modela odjevnih predmeta preko 3D modela tijela, a mogu se napraviti i promjene kako bi se poboljšalo prianjanje odjeće. Proizvodnja prototipa za procjenu prikladnosti odjeće oduzima mnogo vremena i nije isplativa. Digitalna ekstrakcija antropometrijskih podataka može se koristiti za personalizaciju avatara i testiranje sposobnosti odjeće [19].

### *3D ispis skaliranog ljudskog tijela*

Prije 3D ispisa, skenirani model tijela umetnut je u host odašiljača radi skaliranja dimenzija i rezanja. FDM pisac Orcabot XXL (Sl.18) kojeg proizvodi Prodim (Nizozemska) korišten je za izradu skaliranih modela. Promjer mlaznice je odabran kao 1,0 mm, debljina sloja je 0,5 mm. Tiskanje je provedeno pomoću PLA (polilaktične kiseline) koja je kruta tvar, ali ne previše krhka i stoga prikladna za 3D model stopala i skalirani 3D model tijela. Temperatura mlaznice bila je 195 °C, a sloj za ispis zagrijavan je na 60 °C. Od prvog pokušaja testiranja odjeće na modelu tijela, pojavila se neka nepravilnost. Zbog toga je 3D tiskanjem otisnut veći model skaliranog 3D tijela (32,5 cm) (Sl.19.) i otvor blende u odnosu na prvi. Otvor za ruku pomaže lakšem odijevanju modela odjeće [19].



Sl.18. Orcabot XXL 3D pisac koji se koristi za ispis 3D tijela skaliranog ljudskog tijela i procesa ispisa [19]



Sl.19. 3D tiskani modeli: 1) skalirani model tijela; 2) skalirani model tijela s različitim položajima ruku; 3) model stopala. [19]



### *3D dizajn i simulacija odjeće*

Dizajn odjeće i simulacija se obavlja u 3D softveru za dizajn odjeće. 3D modeli ili avatari koji se koriste za 3D dizajn i simulaciju odjeće mogu biti parametarski ili 3D modeli tijela snimljeni iz 3D sustava skeniranja. 3D model tijela generiran iz 3D skeniranja uvozi se u 3D softver za oblikovanje odjeće CLO 3D dizajniran za modnu industriju. Model haljine je odabran i dizajniran u 2D načinu. Nakon postavljanja linija šava i uređivanja tekstura tkanine, raspored uzoraka i ogrtač odjeće se obavlja na 3D odjeći [19].

Karta stresa stvorena iz virtualne simulacije odjeće pokazuje dobre rezultate za uklapanje odjeće. Zbog toga se uzorci haljine dizajnirani i simulirani u 3D programu izvoze u .dxf formatu za ispis. Isti uzorci haljina su skalirani prema dimenzijama skaliranog 3D tiskanog modela i izvezeni kako bi se koristili za proizvodnju odjeće (Sl.20). Procjena odjeće vrši se na modelu stvarnog tijela i na skaliranom 3D tiskanom primjeru [19].



Sl.20. Ispitivanje odjeće odgovara stvarnom modelu tijela i skaliranom 3D tiskanom modelu tijela[19]

## 8. ZAKLJUČAK

Od 80.-ih godina prošlog stoljeća do danas, 3D tehnologija se sve više razvija, kako u građevinskom i strojarskom sektoru, tako i u sektoru odjeće i obuće.

Pravi primjer je tvrtka Adidas koja se usredotočila na 3D potplate od TPU (Termoplastični poliuretan). Što se tiče same 3D proizvodnje u području odjeće i obuće, ljudi još nisu dovoljno educirani, međutim, kako druge proizvodne sektore preuzimaju nove tehnologije izrade, tako polako dolazi i u taj sektor. 3D tehnologija daje slobodu dizajneru da napravi model točno onako kako želi, uz mogućnost biranja materijala u obliku filamenata, te velikog raspona boja. 3D tehnologija omogućuje uvid u greške, kao što je nabiranje haljine, prije nego li se krene s tiskanjem modela, pa je i utrošak materijala skoro pa nikakav.

Kroz par godina bi 3D tehnologija mogla preuzeti masovnu proizvodnju i klasičan način šivanja odjeće baciti u zaborav. Cipele koje bi se radile putem 3D tehnologije bile bi veliki korak naprijed zbog ljudi kojima pronalazak odgovarajućeg modela stvara problem, što zbog veličine stopala što zbog ortopedskih problema.

## 8. LITERATURA

- [1] M. Beecroft: 3D printing of weft knitted textile based structures by selective laser sintering of nylon powder, 2016, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 137 012017  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/137/1/012017/meta>, od 22.4.2019.
- [2] J. Horvath: Mastering 3d printing, Tehnology in action., Kindle Edition, SAD, 2014, ISBN-13: 978-1484200261
- [3] I. Paoletti, C. Lorenzo: The Evolution of 3D Printing in AEC: From Experimental to Consolidated Techniques, 2018; DOI: 10.5772/intechopen.79668  
<https://re.public.polimi.it/handle/11311/1066949#.XL3U8PZuJuk> , od 22.4.2019
- [4] A. Muran: 3D printeri;  
[http://www.am.unze.ba/pzi/2010/Anela%20Muran/3D\\_printeri.html](http://www.am.unze.ba/pzi/2010/Anela%20Muran/3D_printeri.html) , od 10.5.2019
- [5] T. Preksavec: Vodić kroz filamente za početnike, 2018; <https://seekreators.org/3d-print/vodic-kroz-filamente-za-pocetnike> od 10.5.2019.
- [6] L. Gregurić: How Much Do 3D Printing Materials Cost in 2019, 2019;  
<https://all3dp.com/2/how-much-do-3d-printer-materials-cost/> od 10.5.2019.
- [7] Q. Wang, et al: 3D printing with cellulose materials,2018;  
[https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-018-1888-y?utm\\_source=hybris&utm\\_medium=email&utm\\_content=internal&utm\\_campaign=SPSN\\_2\\_kn\\_ACSSpr19&sap-outbound-id=251811312B5E45C1213ED61ED2BE2470E99601F6](https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-018-1888-y?utm_source=hybris&utm_medium=email&utm_content=internal&utm_campaign=SPSN_2_kn_ACSSpr19&sap-outbound-id=251811312B5E45C1213ED61ED2BE2470E99601F6)  
od 7. 5. 2019.
- [8] C. Fonda: Things you can only 3d print; <http://scifablab.ictp.it/wp-content/uploads/2016/01/Design-for-3D-Printing.pdf> , od 22. 4. 2019.
- [9] A. Locker: ABS filament for 3D Printing-all you need to know;  
<https://all3dp.com/abs-3d-printer-filament-explained/> ,od 23.4.2019.
- [10] T. Koslow: 2019 PLA filament guide- all you need to know,2019;  
<https://all3dp.com/1/pla-filament-3d-printing/> , od 23.4.2019.
- [11] F. Houser: 3D Printed Food: A Culinary Guide to 3D Printing food  
<https://all3dp.com/1/3d-printed-food-3d-printing-food/> , od 20.5.2019

- [12] Think 3D team: Beginner's guide to 3d printing; <https://www.think3d.in/landing-pages/beginners-guide-to-3d-printing.pdf> , od 22.4.2019.
- [13] L. Lin, C. Chen: Innovation and Ergonomics Consideration for Female Footwear Design,2015; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978915008926> , od 22.4.2019.
- [14] Design: 3D printed shoes, 2016: <https://design42day.com/magazine/3d-printed-shoes-united-nude> , od 20. 5. 2019.
- [15] A. Richardot : 3D Printed Shoes: How Two Fashion Experts See This Revolution, 2017,; <https://www.sculpteo.com/blog/2017/11/22/3d-printed-shoes-a-true-revolution-in-the-shoe-industry/> , od 20.5.2019.
- [16] C. Joel: 3D printed shoes: a step in the right direction ; <https://www.3dprintersonlinestore.com/3d-printed-shoes-a-step-in-the-right-direction> , od 20.5.2019.
- [17] Students Create Eco-Friendly 3D Printed Shoes; [https://www.becoming3d.com/3d-printing\\_news/recyclable-3d-printed-shoes/](https://www.becoming3d.com/3d-printing_news/recyclable-3d-printed-shoes/) od 20.5.2019
- [18] B. Lord: Reebok's 3D printed shoe line dashes into production, 2018,; <https://3dprintingindustry.com/news/reeboks-3d-printed-shoe-line-dashes-into-production-137497/> , od 20.5.2019.
- [19] T. Spahlu, et al.: On the possible use of 3D printing for clothing and shoe manufacture, 2016; [https://www.researchgate.net/profile/Andrea\\_Ehrmann/publication/310156927\\_On\\_the\\_possible\\_use\\_of\\_3D\\_printing\\_for\\_clothing\\_and\\_shoe\\_manufacture/links/5832a6d108ae102f07338ee0.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Andrea_Ehrmann/publication/310156927_On_the_possible_use_of_3D_printing_for_clothing_and_shoe_manufacture/links/5832a6d108ae102f07338ee0.pdf) , od 23.4.2019.