

PRIMENA 3D ŠTAMPE U MODNOJ INDUSTRIJI

Nebojša Ristić^{1*}, Aleksandra Mičić^{1,a}, Ivanka Ristić^{1,b}

¹ Akademija strukovnih studija Južna Srbija, Odsek Visoka tehnološko umetnička škola,
Vilema Pušmana 17, Leskovac

^a ORCID ID (<https://orcid.org/0009-0005-4882-3086>)

^b ORCID ID (<https://orcid.org/0009-0003-2838-8713>)

* E-mail: nr667288@gmail.com, ORCID ID (<https://orcid.org/0009-0004-9941-471X>)

Review paper

UDC: 677.01:687.1:655.1:004.04

DOI: 10.5937/tekstind2503031R



Apstrakt: Oblast 3D štampe je u razvoju i inovativno je tehnološko rešenje za tekstilnu industriju i srodna polja. Tekstilna industrija je veliki potrošač vode, hemikalija i energije i ima ogroman uticaj na životnu sredinu. Upotreba 3D štampe u odevnoj industriji ima potencijal da pojednostavi tehnološki proces izrade odeće i smanji broj potrebnih resursa. 3D štampa stvara proizvode sloj po sloj, smanjujući otpadni materijal. Osim sintetizovanih polimera proučavaju se alternativni materijali u skladu sa rastućom potražnjom za održivom modom i etičkom proizvodnjom odeće. U radu su opisane tehnike 3D štampe i materijali koji nalaze primenu u modnoj ondustriji. Takođe, diskutovane su prednosti i izazovi ove inovativne tehnologije.

Ključne reči: 3D štampa, CAD, CAM, termoplastični filament.

APPLICATION OF 3D PRINTING IN THE FASHION INDUSTRY

Abstract: The field of 3D printing is a developing and innovative technological solution for the textile industry and related fields. The textile industry is a large consumer of water, chemicals and energy and has a huge impact on the environment. The use of 3D printing in the clothing industry has the potential to simplify the technological process of making clothes and reduce the number of resources needed. 3D printing creates products layer by layer, reducing waste material. In addition to synthesized polymers, alternative materials are being studied in line with the growing demand for sustainable fashion and ethical clothing production. The paper describes 3D printing techniques and materials that are used in the fashion industry. Also, the advantages and challenges of this innovative technology were discussed.

Key words: 3D printing, CAD, CAM, thermoplastic filaments.

1. UVOD

Tekstilna industrija je grana industrije koja se bavi preradom vlaknastih sirovina i izradom tkanina, pletenina i odeće. Područje odevanja obuhvata odeću, kao što su haljine, pantalone, košulje, suknje, jakne, kaputi i drugi komadi odeće. Odevanje se takođe može odnositi na različite stilove, kao što su klasični, sportski, formalni, svečani i drugi. Za odeću se kaže da je najobuhvatljiviji vidljivi izraz čovekovog identiteta, odnosno izabrana odeća nosi poruku o vrednosnim kriterijumima neke osobe. Odeća i moda igraju značajnu ulogu kao simboli identiteta, jer način na koji se ljudi oblače često služi kao izraz njihovog ličnog stila, kulturne pripadnosti, društvenog statusa i individual-

nosti. Kroz istoriju, ljudi su koristili odeću da komuniciraju i izraze svoj identitet na različite načine [1]. Pre industrijskog doba, krojači su stvarali modu, a masovna proizvodnja odeće počela je sredinom XIX veka kada je nekoliko fabrika počelo proizvodnju odeće. Moda je širok pojam koji se odnosi na mnoge aspekte izgleda i stila i često se menja tokom vremena, prateći promene u društvu i kulturi. Moda je često sredstvo za izražavanje ličnosti i kreativnosti i ima veliku ulogu u našem svakodnevnom životu. Moda se odnosi na stil i trendove koji se javljaju u odevanju, obući, akcesorima, frizurama, šminkanju i drugim aspektima izgleda i stila. Moda je deo naše svakodnevne kulture i često se menja tokom vremena, prateći promene u

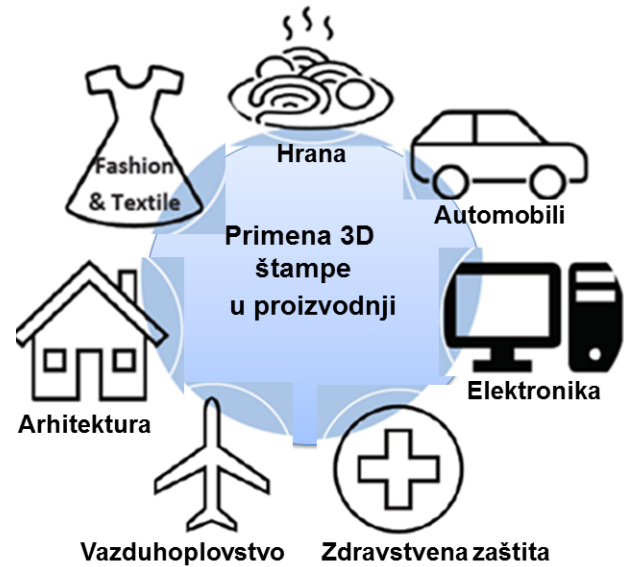
društvu, kulturi, tehnologiji, ekonomiji i drugim faktorima. Moda predstavlja stalno evoluirajuću industriju koja se neprestano menja i prilagođava trendovima. Kroz istoriju, moda je prolazila kroz mnoge prekretnice koje su uticale na njenu evoluciju i oblikovanje. Brza moda, kao segment poslovanja, karakteriše kratki životni ciklusi proizvoda, promenljiva i nepredvidiva tražnja, ogromna raznolikost jeftinih proizvoda i složen lanac snabdevanja. Brza moda podstiče prekomernu potrošnju i stvara preveliki otpad. Neki izveštaji predviđaju da bi do 2030. godine globalna potrošnja odeće mogla da poraste za 63%, sa 62 miliona tona danas na 102 miliona tona [2]. Neophodan je zaokret u modnoj industriji u pravcu održive mode, što podrazumeva smanjenu potrošnju prirodnih resursa i primenu kružnog poslovnog modela (cirkularna ekonomija). U ovom radu razmatrana je mogućnost upotrebe tehnologije 3D štampe u tekstilnoj industriji kao tehnološke inovacije u svrhu razvoja novog koncepta modne industrije.

2. DEFINISANJE 3D ŠTAMPE

Trodimenzionalno (3D) štampanje poznato i kao aditivna proizvodnja (AP), stvara 3D objekte brzo i efikсно – sloj po sloj, na osnovu kompjuterskog dizajna (CAD) i primenom kompjuterizovane proizvodnje (CAM). Tehnologija 3D štampe omogućava kreiranje oblika koji nisu dostupni u konvencionalnoj proizvodnji, a odlikuje se jednostavnošću i odsustvom šablona. U ovom procesu digitalno kreirani proizvod se stvara nanošenjem slojeva čvrstog ili tečnog materijala, koji su međusobno povezani na različite načine u zavisnosti od tehnologije 3D štampanja i korišćenog materijala [3]. Standard ISO/ASTM 52900:2015 definiše AP kao "proces spajanja materijala radi proizvodnje delova na osnovu podataka 3D modela, obično sloj po sloj, za razliku od metode supstraktivne ili formativne proizvodnje" [4]. Aditivna proizvodnja može izraditi složene geometrijske delove sa minimalnom potrebom za naknadnom doradom i skoro nula otpada materijala [5]. Standard nudi pojašnjenje razlike

između ova tri tipa oblikovanja fizičkog objekta, kao što se vidi u tabeli 1.

Poslednjih godina 3D štampanje se pojavilo kao revolucionarna tehnologija sa transformativnim potencijalom u različitim industrijama. Glavna polja industrijske primene 3D štampe prikazana su na slici 1 [6].



Slika 1: Industrijska primena 3D štampe

Prema istraživanju koje su razvili Jimenez i saradnici, potrebno je sedam faza za kreiranje fizičkog objekta upotrebom 3D štampe u bilo kojoj industriji [7]. Ovih sedam faza su: 1) konceptualni razvoj, 2) dizajn 3D modela pomoću računara (CAD), 3) generisanje stl datoteke, 4) generisanje G koda, 5) proizvodnja, 6) čišćenje i 7) naknadna obrada.

U sektoru tekstila 3D štampa predvodi novi talas inovacija, preoblikujući način na koji se tkanine i odevni predmeti dizajniraju, proizvode i konzumiraju. Tehnologija 3D štampe omogućava dizajnerima da eksperimentišu sa komplikovanim šarama i strukturama koje je teško ili nemoguće postići tradicionalnim metodama proizvodnje tekstila [8]. Kreiranjem digitalnih modela dizajneri mogu brzo testirati nove tekstilne dizajne, materijale i krojeve odevnih pred-

Tabela 1: Definicija oblikovanja materijala prilagođena standardu ISO/ASTM 52900:2015

Oblikovanje materijala	Definicija
Formativno oblikovanje	Željeni oblik se dobija pritiskom na telo od sirovog materijala, na primer, kovanjem, savijanjem, livenjem i brizganjem, i sl.
Subtraktivno oblikovanje	Željeni oblik se dobija selektivnim uklanjanjem materijala, na primer, glodanjem, struganjem, bušenjem, i sl.
Aditivno oblikovanje	Željeni oblik se dobija uzastopnim dodavanjem materijala.

meta. Mogućnost brze izrade prototipa, ubrzava proces dizajniranja, smanjuje troškove i omogućava kreativnija i inovativnija modna rešenja. Takođe, 3D štampa minimizira otpad izradom odevnih predmeta direktno od digitalnih ctreža, koristeći tačnu količinu potrebnog materijala. Ova tehnologija omogućava i proizvodnju na zahtev, tj. potrošači mogu personalizovati svoju odeću odabirom specifičnih boja, dizajna i oblika [9].

2.1. Tehnike 3D štampe u odevnoj industriji

Proizvođači tekstila i modnih proizvoda 3D štampu uglavnom koriste za proizvodnju tkanina, odeće, obuće i modnih dodataka. Realizacija dizajna i željeni ishod u velikoj meri zavisi od izbora odgovarajuće metode ili procesa štampanja. Upotreba 3D štampe u odevnoj industriji obuhvata 3 pristupa:

1. štampanje cele odeće,
2. štampanje delova odeće za kasnije kombinovanje i
3. štampanje direktno na tekstu.

Za dobijanje željenog ishoda najčešće se koriste sledeći procesi i tehnike 3D štampanja:

1. Ekstruzija materijala (tehnika fuziono taloženje modelovanjem - FDM);
2. Fuzija slojeva praha (tehnika selektivno lasersko sinterovanje – SLS);
3. Brizganje materijala (tehnika Polijet štampanje - PJ) i
4. Fotopolimerizacija u kadi (tehnika stereolitografija – SLA) [10,11].

2.1.1. Fuziono taloženje modelovanjem (FDM)

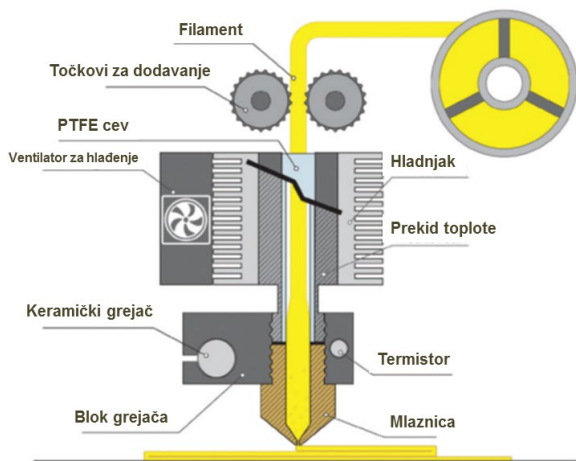
Fuziono taloženje modelovanjem (FDM) je metoda ekstruzijske aditivne proizvodnje u kojoj se rastopljeni polimer selektivno ekstrudira sloj po sloj. Deponovani rastopljeni materijal se postepeno učvršćuje da bi se dobio željeni čvrsti predmet. Fuziono taloženje modelovanjem je jedna od najčešće korišćenih tehnika 3D štampanja koja koristi polimere za kreiranje modela, prototipova ili čak krajnjih proizvoda. Od 2009. godine potražnja za FDM raste neverovatnom brzinom iz godine u godinu, a mnogi stručnjaci veruju da ova tehnologija ima potencijal da revolucionise proizvodnju u mnogim sektorima. Glavne prednosti FDM tehnologije su u tome što ova tehnika nudi jednostavniji proces proizvodnje i isplativiju metodu u poređenju sa drugim istaknutim tehnikama 3D

štampanja [12]. FDM se sada široko koristi za razvoj tekstilnih i modnih proizvoda zbog velike dostupnosti materijala, jednostavnog mehanizma i niske početne investicije. FDM tehnologija koristi termoplastični filament koji se zagreva do temperature topljenja a zatim u obliku rastopa potiskuje mlaznicom povezanom sa glavom za štampanje. Materijal koji izlazi iz štamparске glave u veoma tankom sloju polaže se na platformu u slojeve i model se formira [13]. Slika 2 predstavlja šematski dijagram FDM 3D štampanja [14]. Tokom štampanja mlaznica se mora držati blizu potporne strukture od istog ili različitog materijala. Visina štampe se podešava tokom celog procesa, posebno prilikom kreiranja slojeva. Na osnovu digitalno kreiranog modela FDM tehnika omogućuje štampanje različitih pletenih i tkanih struktura, uključujući i 3D štampanih kompozita [15]. Primenom FDM tehnike dizajnerka Marija Alejandra je izradila haljinu upotrebom termoplastičnog poliuretana (TPU), prikazanu na slici 3 [16]. Haljina je namenjena da bude odeća koja može da se prilagođava veličini tela.

2.1.2. Selektivno lasersko sinterovanje – SLS

SLS je aditivna metoda proizvodnje koja spaja sitne čestice polimernog praha u čvrste 3D objekte pomoću jednog ili više lasera. Tipične komponente SLS sistema za štampanje uključuju platformu za sinterovanje, platformu za dovod praha, valjak, sistem za skeniranje i laser. Konsolidacija predmeta se dobija obradom izabranih površina korišćenjem toplotne energije koju isporučuje fokusirani laserski zrak. Koristeći sistem skretanja zraka (galvano ogledala), svaki sloj se skenira prema njegovom odgovarajućem preseku kako je izračunato iz CAD modela [17]. Proces počinje tako što se tanak sloj praha nanosi na platformu za izgradnju. Prašak se zatim zagreva do tik ispod tačke topljenja. Različiti mehanizmi vezivanja, kao što su hemijski indukovano vezivanje, potpuno topljenje, sinterovanje u čvrstom stanju i fazno sinterovanje, mogu se koristiti za spajanje praha čestice zajedno. Na slici 4 prikazan je šematski primer SLS sistema. Komercijalne mašine se razlikuju na primer u načinu nanošenja praha (valjak ili strugač), atmosferi (Ar ili N₂) i u tipu lasera koji koriste (CO₂ laser, Nd:YAG laser sa pumpom sa lampom ili diodom, disk ili laser sa vlaknima) [17].

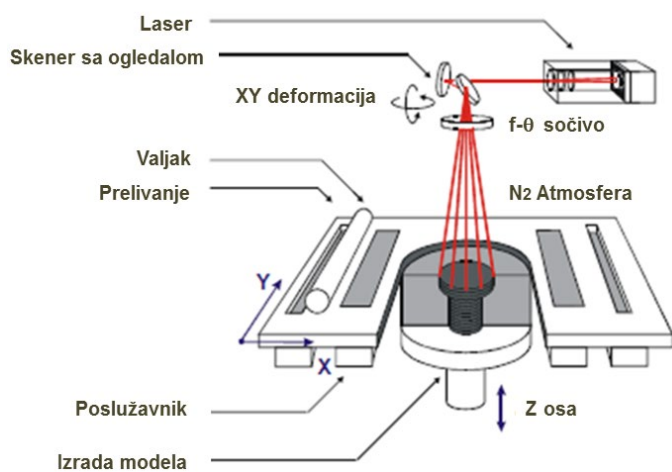
Slika 5 prikazuje haljinu sa laticama koju je kreirao studio Nervni sistem koristeći SLS tehnologiju, sa preko 1600 jedinstvenih komponenti povezanih sa više od 2600 šarki. Ova haljina je dizajnirana da odgovara tačnom obliku tela korisnika pomoću 3D skeniranja i može se nositi kao haljina, suknja ili gornji deo [18].



Slika 2: Osnovni princip FDM štampe



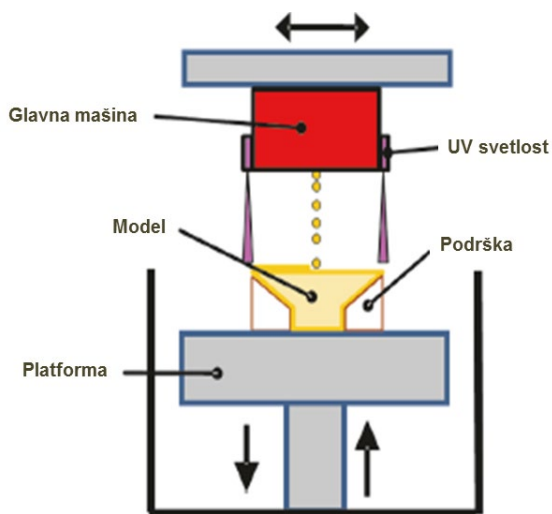
Slika 3: FDM štampana haljina



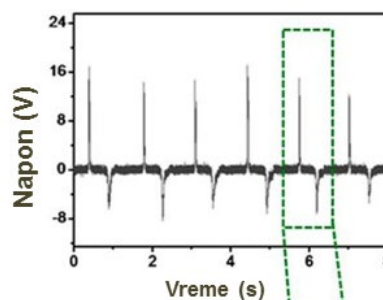
Slika 4: Tipičan raspored SLS mašine



Slika 5: Kinematička haljina od latica koju proizvodi studio Nervni sistem



Slika 6: Šema tehnologije Polijet



Slika 7: Fleksibilna jednolančana tkana struktura (FW-TENG)

2.1.3. Polijet štampanje – PJ

Polijet tehnologija 3D štampanja slična je inkjet štampi, gde se koristi UV svetlo za očvršćavanje slojeva tečnih fotopolimera na platformi za izgradnju [19]. Više glava za štampanje prskaju slojeve tečnosti, kap po kap, fotopolimera prema CAD modelu i pri tom svaki sloj očvršćuje UV svetlom skoro trenutno (slika 6) [7]. Park i saradnici koristili su Polijet tehnologiju za ugradnju fleksibilnih triboelektričnih nanogeneratorskih vlakana u tkanine [20]. Ova vlakna stvaraju električnu energiju mehaničkim pokretima, transformišući tekstil u pametne uređaje sa sopstvenim napajanjem. Nosivi uređaji koriste tkane strukture sa triboelektričnim nanogeneratorima (TENG) za pretvaranje ljudskog kretanja u električnu energiju. Međutim, savremenim TENG-ovima je potrebno mnogo vlakana i imaju ograničenu rastegljivost. Ovaj rad nudi izuzetno rastegljive, fleksibilne jednolančane TENG-ove na bazi vlakana (FW-TENG), koji proizvode oko $34,4 \text{ mV/cm}^2$ kroz kontakt sa kožom, demonstrirajući izdržljivost i potencijal za primenu u e-tekstilu (slika 7).

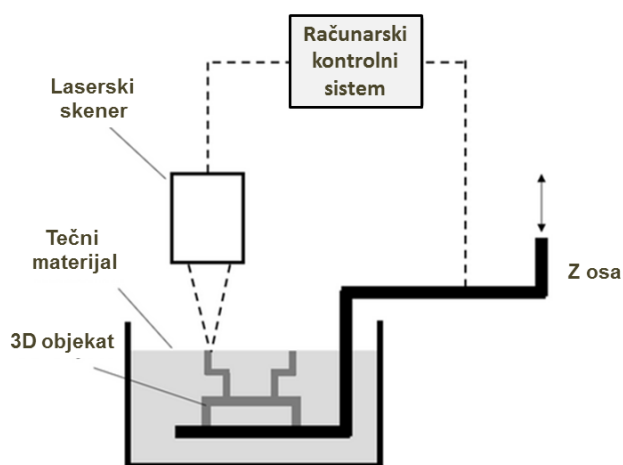
2.1.4. Stereolitografija – SLA

Stereolitografija (SLA) je tehnika aditivne proizvodnje, zasnovana na principu fotopolimerizacije tečne smole primenom lasera (UV svetla) za iniciranje reakcije polimerizacije. SLA tehnologija pretvara tečnu smolu u čvrste materijale upotrebom UV svetlosti visokog intenziteta [21-23]. SLA nudi superiornu rezoluciju, visok kvalitet završne obrade, poboljšanu brzinu i preciznost i isplativa je u poređenju sa drugim tehnikama kao što je fuziono taloženje modelovanjem (FDM). Fotopolimerna smola se sastoji od prekursora (monomera ili oligomera), veziva, fotoinicijatora (PI), apsorbera, aditiva i agensa za umrežavanje. Prekursori su glavni elementi smole koji se učvršćuju zbog

unakrsnog povezivanja. Fotoinicijatori se transformišu u radikale kada su izloženi svetlosti, što pomaže umrežavanju između monomera/oligomera i rezultira stvaranjem polimernih lanaca [24]. Tečni rastvor smole pretvara se u čvrste strukture isparavanjem rastvarača i svaki sloj se sukcesivno učvršćuje do formiranja celog predmeta. Šematski dijagram SLA 3D štampača prikazan je na slici 8 [25]. Holandska dizajnerka, Iris van Herpen, koristila je Materialiseov Mammoth SL štampač (sa površinom izrade $210 \text{ cm} \times 70 \text{ cm} \times 800 \text{ cm}$) i Materialise's Magics softver za izradu dugačke, delimično providne haljine, prikazane na slici 9 [26]. Tečna smola je bila primenjena za štampanje tankih, prozirnih delova različitih uzoraka. Onda se ovi delovi sklapaju da bi se napravila velika haljina.

3. MATERIJALI KOJI SE KORISTE U 3D ŠTAMPI ODEĆE

Rastuća upotreba aditivne proizvodnje jedno je od glavnih obeležja četvrte industrijske revolucije. Ova brza tehnika omogućava proizvodnju trodimenzionalnog elementa korišćenjem virtuelnog modela i sukcesivno dodavanje materijala sloj po sloj [27]. Polimeri su najšire korišćeni materijali za aditivnu proizvodnju u industriji. Obično se za 3D štampanje predlažu termoplastični polimerni filamenti koji imaju nisku tačku topljenja [28]. Najčešće korišćeni polimeri za 3D štampanje u tekstilnoj industriji, različitim tehnikama, su polimlečna kiselina (PLA), akrilonitril butadien stiren (ABS), termoplastični poliuretan (TPU), polikarbonat (PC), kopolimer polietilen tereftalata (PET-G) i poliamid (PA). PLA, je termoplastični polimer koji se proizvodi iz obnovljivih izvora poput kukuruza, šećerne trske ili skroba. On se često koristi u 3D štampanju zbog svoje biodegradabilnosti i ekološke prirode [29]. PLA ima specifične tehničke karakteristi-



Slika 8: Šematski prikaz SLA štampača



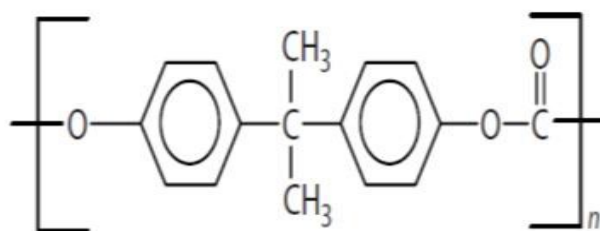
Slika 9: Haljina napravljena stereolitografijom za Nedelju mode u Parizu AV-2012/13

ke koje ga čine atraktivnim za širok spektar primena u 3D štampanju: temperatura ostakljivanja 45-60°C, temperatura topljenja 150-162°C, prekidno izduženje 5-11% i gustina 1,21-1,43 g/cm³. Tokom štampanja PLA ne proizvodi neugodne mirise kao neki drugi materijali i dostupna je u različitim bojama [30]. ABS (akrilonitril butadien stiren) predstavlja jedan od najpopularnijih materijala u svetu 3D štampe, unoseći izuzetnu svestranost i dugovečnost u proces kreiranja trodimenzionalnih objekata. Ovaj termoplastični polimer sastoji se od akrilonitrila, butadiena i stirena (slika 10), donoseći jedinstvene osobine u svet filamenata za 3D štampanje [31]. ABS je posebno varijabilan zbog činjenice da se tri monomera koja se koriste u njegovoj proizvodnji mogu dodati u različitim odnosima i u različitim fazama, što rezultira i mešavinama i kopolimerima koji su označeni kao ABS. ABS ima amorfnu strukturu, temperaturu ostakljivanja oko 105°C i temperaturu topljenja između 210 i 240°C [32].

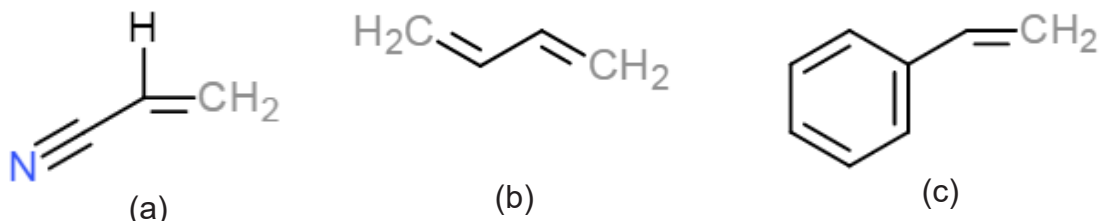
Termoplastični poliuretan (TPU) je jedinstvena kategorija plastike koja nastaje kada dođe do reakcije poliadiacije između diizocijanata i jednog ili više diola. Prvi put razvijen 1937. godine, ovaj svestrani polimer je mekan i obradiv kada se zagreje, tvrd kada se ohladi i sposoban da se više puta obrađuje bez gubitka strukturalnog integriteta (slika 11) [33].

Termoplastični poliuretani imaju performanse koje ih izdvajaju od drugih plastičnih materijala: visoka otpornost na habanje, visoka elastičnost u celom opsegu tvrdoće, odlična otpornost na niske tempera-

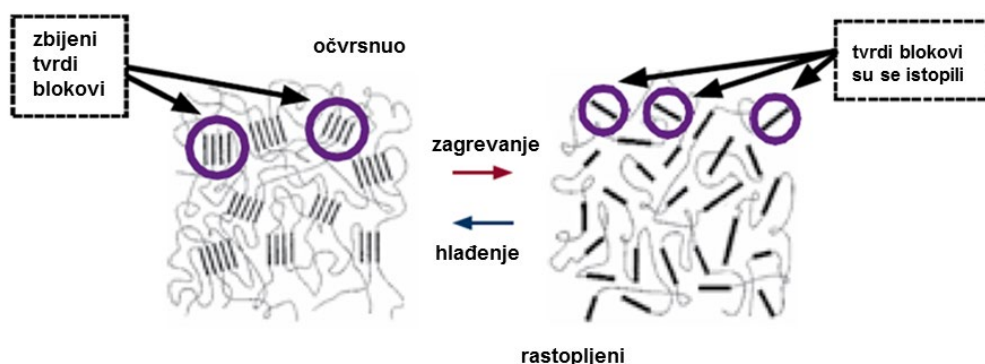
ture, otpornost na ulja, masti i brojne rastvarače, dobra fleksibilnost u širokom temperaturnom opsegu, prijatna taktilna svojstva, pogodnost za lepljenje i zavarivanje, lakoća bojenja i mogućnost recikliranja [34]. Polikarbonat (PC) (slika 12) je materijal visoke čvrstoće namenjen za različite inženjerske primene. Ima izuzetno visoku otpornost na toplotu i otpornost na udarce. PC ima visok indeks prelamanja, gustinu 1,20 g/cm³ koja je stabilna u rasponu od -20°C do 140°C. Visoka temperatura ostakljivanja polikarbonata od 145°C i visoka temperatura topljenja od 250°C, obezbeđuju pouzdano zadržavanje strukturnog integriteta do 135°C, što ga čini pogodnim za upotrebu u aplikacijama na visokim temperaturama [35,36]. Takođe se može savijati bez lomljenja i često se koristi u aplikacijama gde je potrebna manja fleksibilnost. PC zahteva veoma visoke temperature za štampanje i pokazuje razdvajanje slojeva ako se štampa na pre niskim temperaturama ili uz omogućeno prekomerno hlađenje. Većina dostupnih polikarbonatnih filamenata sadrži aditive koji omogućavaju štampanje filamena na nižim temperaturama.



Slika 12: Struktura polikarbonata



Slika 10: Monomeri akrilonitrila (a), butadiena (b) i stirena (c)



Slika 11: Grafička ilustracija promene morfologije TPU-a prilikom zagrevanja i hlađenja

Kopolimer polietilen tereftalata (PET-G) je varijanta PET-a koja je kombinovana sa glikolom da bi se postigli brojni poželjni efekti za 3D štampanje, poput visoke transparentnosti. Čvršći je od PLA, izdržljiviji i termostabilan do 70°C. PET-G je termoplastični polimer koji kombinuje izvanredne tehničke osobine sa širokom primenom u 3D štampanju. Ovaj filament je sve popularniji zbog svoje izdržljivosti i jednostavnosti štampanja [37]. PET-G može biti podložniji degradaciji pod uticajem UV zraka u poređenju sa nekim drugim filamentima, što može dovesti do promene boje ili strukture materijala tokom vremena izloženosti sunčevom svetlu. PET-G je poznat po svojoj sposobnosti da se lako laminira, što omogućava kreiranje slojevitih struktura sa visokom preciznošću i izdržljivošću. Najlon je polimer iz porodice sintetičkih poliamida, poznat po svojoj visokoj izdržljivosti, snazi i fleksibilnosti. Ovaj materijal za 3D štampanje se obično nalazi u varijantama PA 12 i PA 11, iako su druge varijante (npr. PA 6) takođe dostupne za 3D štampanje. Pored toga, najlon je često ojačan vlaknima i česticama iz drugih materijala kako bi se poboljšala termička i mehanička svojstva kao što su krutost ili otpornost na habanje. Zbog izvanrednih mehaničkih svojstava i dobre otpornosti na hemikalije, udarce i toplotu, 3D štampa najlonom je idealna za funkcionalne delove i prototipove [38].

4. PREDNOSTI I OGRANIČENJA 3D ŠTAMPE

Integracija tehnologije 3D štampe sa 3D skeniranjem tela i veštačkom inteligencijom postojeću odevnu industriju će značajno promeniti, uključujući proizvodni proces i ukupan lanac snabdevanja. Modni dizajneri mogu primenom 3D štampanja da dostignu veću slobodu dizajniranja i na taj način pomere granice u oblikovanju modnih proizvoda. Takođe, dizajneri bi mogli biti partneri sa pružaocima usluga 3D štampanja u personalizaciji proizvoda, kraćem vremenu isporuke i minimiziranju gubitka u poređenju sa tradicionalnom proizvodnjom [39]. Ostale prednosti 3D štampanja u modi uključuju [11,40]:

- Brzina i efikasnost: Velika prednost 3D štampanja u modi je mogućnost kreiranja prilagođenih i personalizovanih predmeta. Svaka osoba ima jedinstven oblik i veličinu tela, a tradicionalna masovna proizvodnja često ne uspeva da zadovolji individualne potrebe. 3D štampa omogućava dizajnerima da kreiraju odevne predmete i dodatke koji su prilagođeni merama svakog pojedinca, obezbeđujući savršeno pristajanje.

- Preciznost: 3D štampa omogućava preciznu kontrolu upotrebe materijala, smanjujući otpad i nudeći održivu alternativu tradicionalnim metodama. Tehnologija osigurava da se koristi samo neophodna količina materijala.
- Smanjenje otpada: 3D štampa stvara proizvode sloj po sloj, smanjujući otpad materijala. Za razliku od tradicionalne proizvodnje, 3D štampa koristi samo materijal neophodan za svaki predmet.
- Proizvodnja na zahtev: Umesto da proizvode odeću u velikim količinama i rizikuju prevelike zalihe, brendovi brze mode mogu koristiti proizvodnju na zahtev. Ovo osigurava da se proizvodi prave samo kada su naručeni, smanjujući višak zaliha i otpada.
- Održivost: Jedan od trendova u nastajanju u 3D štampanju je upotreba održivih i biorazgradivih materijala. Dizajneri i istraživači istražuju alternativne materijale, kao što su filamenti na bazi algi i reciklirana plastika, kako bi stvorili ekološki prihvatljiviji 3D štampani modni materijal. U nedavno objavljenom radu opisana je mogućnost upotrebe biomaterijala u 3D štampanju tekstila, kao deo strategije održivog razvoja [41]. Istaknuti su praktični primeri razvoja biorazgradivog filameta iz konoplje, pod nazivom BioFila®, i drvnog biorazgradivog filameta pod nazivom „LaiVood“.

Iako je potencijal 3D štampe u modi ogroman, još uvek postoji nekoliko izazova i ograničenja koja treba prevazići za široku upotrebu [42]:

- Ograničen izbor materijala: Iako je tehnologija 3D štampanja napredovala, još uvek postoje ograničenja u pogledu materijala koji se mogu koristiti. Modna industrija se oslanja na široku lepezu tekstila i materijala, od kojih se mnogi još ne mogu replicirati sa 3D štampanjem. Ovo ograničava raspon tekstura i završnih obrada koje se mogu postići, što predstavlja značajan izazov za dizajnere.
- Visoki troškovi: Uprkos dugoročnim prednostima, početni troškovi 3D štampanja mogu biti visoki. Sami štampači su skupi, a materijali koji se koriste za štampanje takođe mogu biti skupi. Ovo može biti prepreka za manje dizajnere i brendove koji žele da usvoje ovu tehnologiju.
- Potrebna stručnost: Korišćenje tehnologije 3D štampanja zahteva određeni nivo tehničke stručnosti. Dizajneri moraju biti vešti u softveru

za 3D modeliranje i razumeti komplikovanost procesa štampanja.

- Problemi masovne proizvodnje: Povećanje proizvodnje pomoću 3D štampanja može biti izazovno. Iako je tehnologija odlična za izradu prototipa i proizvodnju malih serija, još uvek nije izvodljiva za proizvodnju velikih razmera. Ovo ograničava njegovu primenu za modne brendove masovnog tržišta koji žele da proizvode velike količine odeće.

5. ZAKLJUČAK

Brzina menjanja modnih trendova uslovljava potrebu za stalnim inovacijama. U sektoru tekstila 3D štampa predvodi novi talas inovacija, preoblikujući način na koji tkanine i odeća mogu da se dizajniraju i proizvode. Umesto tradicionalne masovne proizvodnje odeće, koja rezultira otpadnim materijalom i neiskorišćenim zalihama, 3D štampa omogućava proizvodnju „na zahtev“, smanjujući otpad i doprinoseći ekološkoj održivosti. Ova tehnologija omogućava brzo prototipiranje i razvoj dizajna, što je ključno u industriji koja se brzo menja i gde je vreme od ideje do gotovog proizvoda od suštinskog značaja. Dizajneri mogu brzo testirati i prilagođavati svoje ideje, što ubrzava proces kreiranja i omogućava brže reagovanje na trenutne modne trendove. Iako je potencijal 3D štampe u modi ogroman, još uvek postoji više izazova i ograničenja koja treba prevazići za široku upotrebu.

REFERENCES

- [1] Ristić, N., Đikić Jovanović, E., Ristić, I., Đorđević, P., Mičić, A. (2024). Boja odeće kao estetski i komunikacioni faktor i sistemi boja, *Tekstilna industrija*, 72 (1), 23-35.
- [2] UK, H. O. (2019). *Fixing Fashion: clothing consumption and sustainability*. London: House of Commons.
- [3] Xiao, Y.Q., Kan, C.W. (2022). Review on Development and Application of 3D-Printing Technology in Textile and Fashion Design, *Coatings*, 12 (2), 267.
- [4] ISO/ASTM 52900: *Additive manufacturing. General principles. Terminology*. ISO/ASTM 2015.
- [5] Perez, M., Carou D., Rubio E.M., Teti R. (2020). Current advances in additive manufacturing, *Procedia CIRP*, 88, 439-444.
- [6] Dip, M., Sayem T&M., Sadat A. (2021). 3D printing technology for textiles and fashion, *Textile Progress*, 52 (4), 167-260.
- [7] Jimenez, M., Romero, L., Dominguez, I. A., Espinosa, MdM., Dominguez, M. (2019). Additive manufacturing technologies: An overview about 3D printing methods and future prospects, *Complexity*, Article ID 9656938.
- [8] Vanderploeg A., Lee, S-E., Mamp, M. (2017). The application of 3D printing technology in the fashion industry, *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 10 (2), 1-10.
- [9] <https://www.textilesphere.com/2024/09/3d-printing-in-textile-industry.html> (dostupno 13. 1. 2025)
- [10] Dilek, E., Yildirim, M.I., Uzun, M. (2021). Additive manufacturing (3D printing) in technical fashion industry applications, *Tekstilna industrija*, 69 (2), 4-15.
- [11] Sadiku, M.N.O., Olaleye, O.D., Sad, JO., Perry, R.G., Jordan-Mickey, B., King J. (2024). 3D Printing in Fashion, *International Journal of Trend in Research and Development*, 11 (4), 11-14.
- [12] Rahim, T.N.A.T., Abdullah, A.M, Md Akil, H. (2019). Recent developments in fused deposition modeling-based 3D printing of polymers and their composites, *Polymer Reviews*, 59 (4), 589-624.
- [13] Chakraborty, S., Biswas, M.C. (2019). Fused deposition modeling 3D printing technology in textile and fashion industry: Materials and innovation, *Modern Concepts in Material Science*, 2 (1), 1-5.
- [14] Diak, V., Diak, A. (2024). Features and limitations of fused deposition modelling (FDM) in obtaining textile-like structures, *Tekstilec*, 67 (4), 397-411.
- [15] Grimmelsmann, N., Kreuziger, M., Korger, M., Meissner, H., Ehrmann, A. (2018). Adhesion of 3D printed material on textile substrate, *Rapid Prototyping Journal*, 24 (1), 166-170.
- [16] Li, S. (2024). Development and application of fused deposition molding 3D printing technology in textile and fashion design, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 19 (3), 1-18.
- [17] Kruth, J-P., Mercelis, P., Van Vaerenbergh, J., Froyen, L., Rombouts M. (2005). Binding Mechanisms in Selective Laser Sintering and Selective Laser Melting, *Rapid Prototyping Journal*, 11 (1), 26-36.
- [18] Rosenkrantz, J. Louis-Rosenberg, J. (2017). Dress/Code Democratising Design Through Computation and Digital Fabrication, *Architectural Design*, 87 (6), 48-57.
- [19] Kozior, T., Ehrmann, A. (2023). First Proof-of-Principle of PolyJet 3D Printing on Textile Fabrics, *Polymers*, 15 (17), 3536.
- [20] Park J., Kim D., Choi A.Y., Kim, Y.T. (2018). Flexible Single-Strand Fiber-Based Woven-Structured Tribo-

- electric Nanogenerator for Self-Powered Electronics, *APL Materials*, 6 (10), 101106.
- [21] Singh S., Ramakrishna S., Berto F. (2020). 3D Printing of polymer composites: A short review, *Material Design & Processing Communications*, 2:e97.
- [22] Dragović, Nj., Urošević, S., Vuković, M. (2024). Innovation of using 3D printing for textile fibers, *7th International Scientific Conference "Contemporary Trends and Innovations in the Textile Industry"*, Belgrade 19-20 September 2024, pp. 274-284.
- [23] Afridi, A., Al Rashid, A., Koc, M. (2024). Recent advances in the development of stereolithography-based additive manufacturing processes: A review of applications and challenges, *Bioprinting*, 43 (6), e00360.
- [24] Heller, C., Schwentenwein, M., Russmueller, G., Varga, F., Stampfl, J., Liska, R. (2009). Vinyl Esters: Low cytotoxicity monomers for the fabrication of biocompatible 3D scaffolds by lithography based additive manufacturing, *Journal Polymer Science Part A Polymer Chemistry*, 47 (24), 6941–6954.
- [25] Huang, J., Qin, Q., Wang, J. (2020). A review of stereolithography: processes and systems, *Processes* 8 (9), 1138.
- [26] Chakraborty, S., Manik, Chandra Biswas, (2020). 3D printing technology of polymer-fiber composites in textile and fashion industry: A potential roadmap of concept to consumer, *Composite Structures*, 248, 112562.
- [27] Dana, H.R., Ebrahimi F. (2023). Synthesis, properties, and applications of polylactic acid-based polymers, *Polymer Engineering & Science*, 63 (1), 22-43.
- [28] Chacn, J.M., Caminero, M.A., Garcia-Plaza, E., Nunez, P.J. (2017). Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection, *Materials & Design*, 124, 143-157.
- [29] Khouri, N.G, Bahu, J.O., Blanco-Llamero, C., Severino, P., Concha, V.O.C, Souto E.B. (2024). Polylactic acid (PLA): Properties, synthesis, and biomedical applications – A review of the literature, *Journal of molecular structure*, 1309, 138243.
- [30] <https://3dhut.rs/pla-materijal-za-3d-stampanje-sve-sto-treba-da-znate> (dostupno 1.3.2025).
- [31] https://3dhut.rs/abs-3d-printer-filament/?_rstr_nocache=rstr54267c31a3225d18 (dostupno 1.3.2025).
- [32] https://www.materialseducation.org/educators/matedu-modules/docs/Materials_in_FDM.pdf (dostupno 2.3.2025).
- [33] https://huntsman-pimcore.equisolve-ev.com/Documents/PU_Elastomers_Guide_to_TPU.pdf (dostupno 3.3.2025).
- [34] Suganeshwaran, P. Isa M.R. (2023). Characterization of physical properties of 3D printing materials on fabrics, *AIP Conference Proceedings*, 2544(1), 040036.
- [35] <https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/polycarbonate/> (dostupno 8.3.2025).
- [36] Sisodia, M.S., Arora, P. (2022). Polycarbonate Material of future, *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 7(4), 553-556.
- [37] <https://3dhut.rs/unapredite-svoje-3d-stampane-projekte-sa-visokokvalitetnim-petg-filamentom/> (dostupno 8.3.2025).
- [38] <https://www.beamlr.com/3d-printing-capabilities/materials/nylon-pa/> (dostupno 8.3.2025).
- [39] Valtas, A., Sun, D. (2016). 3D Printing for garments production: An exploratory study, *Journal of Fashion Technology & Textile Engineering*, 4(3), 1000139.
- [40] <https://www.tomorrow.bio/post/how-3d-printing-is-revolutionizing-the-fashion-industry-2023-06-4727466168-3d-printing> (dostupno 9.3.2025).
- [41] Polewka, M., Enz, F., Jennisen, M., Wirth E., Sabantina L. (2023). 3D Printing with biomaterials-the new sustainable future of textiles?, *Engeneering Proceedings*, 37, 59.
- [42] <https://www.dms.com.ph/blog/3d-printing-fashion-industry/> (dostupno 9.3.2025).

Primljeno/Received on: 15.07.2025.

Revidirano/ Revised on: 29.08.2025

Prihvaćeno/Accepted on: 30.08.2025

© 2021 Authors. Published by Union of Textile Engineers and Technicians of Serbia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)