

# Utjecaj digitalnog prototipiranja odjeće na održivost modne industrije i zaštitu okoliša

Slavenka Petrak<sup>1</sup>, Maja Mahnić Naglić<sup>1</sup> i Dubravko Rogale<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zavod za odjevnu tehnologiju, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb

**Sažetak:** Modna industrija je u samom vrhu industrija čije djelovanje ima negativan utjecaj na okoliš. Prekomjerna proizvodnja odjeće, kao jedna od glavnih karakteristika modne industrije 21. stoljeća, zahtijeva veliki broj resursa kao što su energija, voda, materijali i kemikalije. Posljedično, stvara značajan otisak na okoliš i onečišćenje otpadom. Tekstilni otpad uglavnom završava na odlagalištima, a stope recikliranja su preniske. U radu su analizirane mogućnosti koje digitalne tehnologije i digitalno prototipiranje odjeće može pružiti u kontekstu doprinosa održivoj modnoj industriji. Opisan je proces razvoja digitalnog odjavnog predmeta, s aspekta inženjerskog projektiranja prototipa modela, digitalizacije tekstilnih materijala i računalne analize deformacija koje se javljaju na simuliranim tekstilnim materijalima, tijekom analize prototipa na digitalnom modelu tijela. Na primjerima razvijenih digitalnih odjavnih predmeta analizirana su mehanička svojstva tekstilnih materijala i njihov utjecaj na pristalost modela te prilagodbu krojnih dijelova. Analizirane su prednosti digitalnog prototipiranja novih modela u kolekcijama s aspekta unaprjeđenja poslovnog procesa, te s obzirom na smanjenje utroška materijala i energenata koji proizlaze iz tradicionalnog procesa izrade realnih probnih uzoraka. Završno su istaknuti novi razvojni pravci i utjecaji koje digitalna odjeća ima na sve segmente opskrbnog lanca modne industrije.

**Cljučne riječi:** modna industrija, digitalizacija, razvoj odjeće, digitalni prototip, održivost, zaštita okoliša

## 1. Uvod

Tekstilna i modna industrija imaju nažalost negativan utjecaj na okoliš zbog više razloga. Proizvodnja tekstilnih materijala zahtijeva veliku potrošnju energenata kao što su voda, struja, goriva te sirovine za proizvodnju, a u tehnološkim procesima proizvodnje koriste se kemikalije kao što su različita bojila, otapala i sredstava za

izbjeljivanje te druge obrade tekstila, koje završavaju u otpadnim vodama i tlu, kada se ispuštaju u okoliš [1,2]. U proizvodnji odjeće generiraju se velike količine tekstilnog otpada koji dijelom nastaje u tehnološkom procesu krojenja, a u najvećoj mjeri u procesu razvoja probnih uzoraka modela [3]. U tehnološkim procesima proizvodnje tekstila i odjeće, ali i u fazama transporta proizvoda također dolazi do emisije stakleničkih plinova te posljedično do zagađenja zraka. Prekomjerna proizvodnja tekstila i odjeće, kao i prekomjerna potrošnja, posebice u posljednjem desetljeću, utjecala je na značajan rast negativnog utjecaja ove industrijske grane na okoliš na globalnoj razini [4]. Još uvijek se vrlo mali postotak tekstilnog industrijskog otpada i iskorištene odjeće reciklira, koji prema statistikama iznosi svega oko 12 % na globalnoj razini [5], a većina tekstilnog otpada završava na odlagalištima u slabije razvijenim zemljama i u značajnoj mjeri utječe na zagađenje okoliša te prouzrokuje štetu u eko-sustavima. Ovo su samo neki od razloga zašto tekstilna i odjevna industrija imaju negativan utjecaj na okoliš. Međutim, postoji sve veći interes i napor da se smanji negativan utjecaj ove industrije putem inovacija u proizvodnji, recikliranju te održivim praksama i novim poslovnim modelima [6,7].

Naime, u kontekstu navedene problematike, klimatskih promjena kojima svjedočimo i potrebe za transformacijom industrijske proizvodnje, posebice prerađivačkih industrija u održive eko-sustave, ulažu se veliki naponi na svjetskoj razini od strane vlada vodećih svjetskih država, brojnih asocijacija i regulatornih tijela, udruženja za zaštitu okoliša, kao i istaknutih pojedinaca. Održivost u modnoj industriji postala je vrlo važna tema i u Europskoj uniji, što je rezultiralo donošenjem nekoliko ključnih direktiva i inicijativa. Neke od važnijih europskih direktiva koje imaju utjecaj na održivost modne industrije uključuju: Direktivu o ekološkom dizajnu (EuP direktiva), Direktivu o plastici jednokratne uporabe, Okvir za održivost tekstila, Direktivu o pravima potrošača, Direktivu o kemikalijama REACH, Strategiju za cirkularnu ekonomiju i Europski zeleni plan. Kroz sve navedene direktive, propisuju se zahtjevi čija primjena bi trebala postupno dovesti do transformacije tekstilne i modne industrije u kontekstu stvaranja održive industrijske grane koja će se temeljiti na implementaciji ekološki prihvatljivih tehnoloških procesa, razvoja i proizvodnje biorazgradivih materijala i proizvoda, primjene energenata koji ne zagađuju okoliš i smanjenja ukupne proizvodnje tekstila i odjeće. Fokus je na implementaciji inovacija, digitalnoj transformaciji i uvođenju inovativnih poslovnih modela, kako bi se osigurala konkurentnost, smanjili troškovi i povećala učinkovitost [8-10].

Digitalna transformacija u procesu dizajna i razvoja novih modela odjeće igra pri tom značajnu ulogu, s obzirom da ima potencijal za smanjenje svih troškova, a najviše tekstilnih materijala i energenata koji proizlaze iz tradicionalnog procesa razvoja većeg broja realnih probnih uzoraka, tijekom razvoja svakog novog modela za serijsku proizvodnju odjeće [11,12]. U tom smislu, razvoj i implementacija specijaliziranih digitalnih sustava za dizajn i razvoj digitalnih prototipova modela otvara mogućnost za potpunu digitalizaciju ovog segmenta pripreme proizvodnje odjeće, ali i za uvo-

đenje održivih poslovnih modela ne samo u proizvodnji, već i u promociji i prodaji odjeće sa značajno smanjenim troškovima i negativnim utjecajem na okoliš [13,14]. U nastavku rada opisan je proces razvoja digitalne odjeće temeljen na istraživanju i definiranju svih potrebnih parametara, po segmentima inženjerskog projektiranja prototipa modela.

## **2. Razvoj prototipova odjeće u modnoj industriji i utjecaj na okoliš**

U tradicionalnoj modnoj industriji, prije nego što se započne serijska proizvodnja bilo kojeg odjevnog predmeta, njegov razvoj prolazi dug i složen put, počevši od izrade fizičkih uzoraka. Proces odobravanja uzoraka uključuje tjedne potrebne za dostavu te razmjenu informacija između brendova i tvrtki kooperanata u različitim zemljama, pri čemu nastaje veliki broj uzoraka s greškama koji završavaju na odlagalištima i pridonose zagađenju velikih razmjera. Proces razvoja novih modela odjeće u modnoj industriji obuhvaća niz postupaka koje je potrebno provesti kako bi se razvio finalni uzorak modela, kao osnova za serijsku proizvodnju odjeće. Proces započinje dizajniranjem i razvojem skica novih modela, sukladno aktualnim modnim trendovima ili zahtjevima kupca za kojeg se modeli razvijaju. U ovom procesu dizajneri razvijaju svoje ideje uz primjenu konvencionalnih 2D CAD programa ili specijaliziranih CAD sustava namijenjenih dizajniranju uzoraka tekstilnih materijala i modela odjevnih predmeta [15]. Pri dizajniranju novih modela, idejna rješenja se razvijaju u skladu s odabranom paletom tekstilnih materijala koji se prethodno nabavljaju od proizvođača tekstilnih materijala. Dalje se pripremaju tehnički crteži modela koji precizno prikazuju svaki element i detalj na odjevnom predmetu, uključujući dimenzije, oblike i detalje konstrukcije kroja te tehničke specifikacije osnovnih i pomoćnih tekstilnih materijala te pribora od kojih će se model izraditi, kao i popratne detaljne opise, što u konačnici čini tehnički paket [10]. Primjenom specijaliziranih konvencionalnih 2D CAD sustava razvijaju se krojevi za nove modele odjeće te se izrađuje probni uzorak modela iz predviđenih materijala. Uloga probnog uzorka je da se na njemu procijeni dizajn modela, primjerenost odabranog materijala, ispita pristalost kroja, funkcionalnost modela, provjere i definiraju svi detalji, materijali i pribor koji se ugrađuju u model, definiraju sredstva rada i tehnološke operacije u procesu izrade odjevnog predmeta. Ovakav tradicionalan način razvoja novih modela odjeće u industriji najčešće podrazumijeva izradu nekoliko probnih uzoraka, dok se ne provedu sve analize i dorade uzorka te se pripremi finalni prototip modela prema kojem se dalje izvodi gradiranje niza veličina i priprema se za serijsku proizvodnju. Opisani način razvoja uzoraka iziskuje puno vremena za razvoj novih modela odjeće, kao i troškova koji proizlaze iz cijene utrošenih materijala, ljudskog rada, energenata te troškova transporta, s obzirom da se uzorci vrlo često rade u tvrtkama partnerima u različitim zemljama. Zbog prostorne udaljenosti i niskog stupnja digitalizacije u

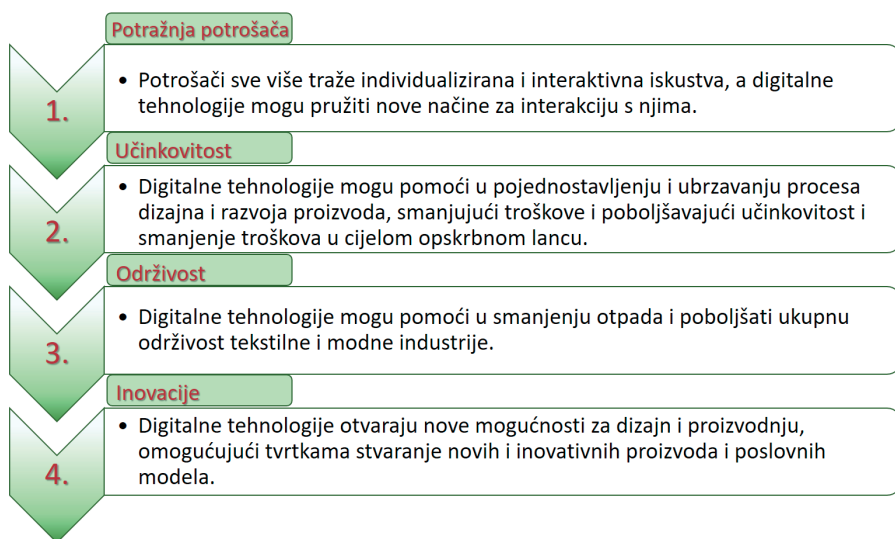
industriji, otežana je i komunikacija između svih uključenih dionika, zbog čega se uzorci višekratno doručuju i šalju ponovo naručitelju, što otežava učinkovitost poslovanja. U cijelom procesu stvara se vrlo velika količina uzoraka koji u konačnici trebaju biti zbrinuti, što predstavlja ekološki nepovoljan učinak, kao i potrošnja velikih količina uglavnom štetnih fosilnih goriva tijekom transporta [2,4]. Ovo je posebno značajan problem za velike proizvođače odjeće koji posluju u različitim zemljama s velikim brojem partnera, a na godišnjoj razini proizvode i više od deset kolekcija s vrlo velikom paletom odjevnih predmeta u kolekcijama.

### **3. Digitalna transformacija modnog dizajna i održivog razvoja prototipova modela odjeće**

Digitalna transformacija tekstilne i modne industrije postupno se provodi već više od tri desetljeća, pri čemu su se kontinuirano razvijali i implementirali CAD/CAM sustavi u procese pripreme proizvodnje, kao i same proizvodnje tekstila i odjeće [16]. Međutim, cjelovita digitalna transformacija i intenzivan razvoj digitalnih alata i platformi u fokusu je posljednjih godina, pri čemu je razdoblje pandemije Covid-19 značajno utjecalo na ubrzanje tog procesa, ali i sve šira implementacija umjetne inteligencije u razvoj novih digitalnih sustava i platformi [17]. CAD sustavi za dizajn i konstrukcijsku pripremu proizvodnje odjeće koji su se razvijali i postupno implementirali u industriju kroz prethodna tri desetljeća, posljednjih godina su nadograđeni na značajno višu razinu u kontekstu digitalnog dizajna i razvoj digitalnih 3D prototipova odjeće, ne samo za potrebe uzorkovanja novih modela, već i puno šire, s mogućnosti korištenja digitalnih modela u cijelom opskrbnom lancu modne industrije, ali i u virtualnim okruženjima uz primjenu tehnologija proširene stvarnosti [10,18,19]. Ovom trendu razvoja i značajno povećanog interesa za digitalizaciju od strane proizvođača doprinijele su i brojne direktive koje sve više propisuju smjernice i aktivnosti za transformaciju tekstilne i modne industrije u održive, zelene industrije, kako bi se usporio i smanjio negativan utjecaj koji proizvodnja tekstila i odjeće ima na okoliš, a pri tom povećala učinkovitost i konkurentnost poslovanja, uz istovremeno smanjivanje troškova. Premda još uvijek ne postoji konsenzus o stvarnom doprinosu digitalnih tehnologija transformaciji industrija u potpuno održive sustave, neosporan je pozitivan učinak koji se ostvaruje u segmentu dizajna i razvoja digitalnih prototipova odjeće, kao i postupnog preoblikovanje opskrbnih lanaca u održive sustave [20]. Dodatno, globalno nepovoljna epidemiološka situacija u posljednje tri godine, kao i potrebe mladih generacija, korisnika društvenih mreža i digitalnih platformi doprinijele su razvoju digitalne odjeće posljednjih godina, pri čemu ona dobiva sve veći značaj i nije više ograničena samo na razvoj i implementaciju CAD (engl. *Computer Aided Design*) sustava u procesima dizajna i razvoja odjeće te CAM (engl. *Computer Aided Manufacturing*) sustava u procesima proizvodnje odjeće, već se proteže kroz sve segmente modnog poslovanja, od upravljanja životnim ciklusom

proizvoda do razvoja novih poslovnih modela, koji promiču održivost za povezivanje virtualne i proširene stvarnosti s modom, kako bi se poboljšalo iskustvo potrošača putem pametnih rješenja [21].

Digitalne tehnologije tako postaju neizostavan alat u procesima brzog razvoja novih kolekcija odjeće, ali otvaraju i mogućnost za nove oblike održivog razvoja modela odjeće prema zahtjevima kupaca te razvoj potpuno novih modela digitalne promocije i prodaje modnih proizvoda [22,23]. Najvažniji pokretači ubrzane digitalizacije koja se posljednjih godina odvija u modnoj industriji prikazani su na Slici 1. Osim za potrebe modne i odjevne industrije, digitalna odjeća sve više se razvija i predmet je istraživanja u području rastuće *gaming* industrije [24], kao i drugih kreativnih industrija. Time se za područje računalnog projektiranja i razvoja digitalnih modela odjeće otvara novi pravac budućih istraživanja u interdisciplinarnom području, u kojem odjevno inženjerstvo do sada nije bilo zastupljeno, a za koje se procjenjuje da može postići značajan doprinos, poglavito u kontekstu digitalizacije i održive mode [10].



Slika 1: Glavni pokretači digitalizacije u tekstilnoj i modnoj industriji

### 3.1 Pozitivni aspekti razvoja digitalnih prototipova modela odjeće

Digitalne i tehnološke inovacije značajno mijenjaju pristup modnom dizajnu, od konvencionalnog izraza modnog dizajnera preko 2D crteža modnih proizvoda, preko procesa koji kombinira dizajn i paralelni razvoj novih ideja i proizvoda korištenjem digitalnih tehnologija i specijaliziranih CAD sustava, do digitalne komunikacije s poslovnim partnerima te prezentacije i prodaje digitalnog ili stvarnog modnog proizvo-

da kupcima putem računalnih platformi [25]. To je vrlo složen proces, koji zahtijeva primjenu novih znanja i vještina, ali koji omogućuje podizanje modne industrije na puno višu tehnološku razinu. Rezultat ovog procesa koji objedinjuje kreativni segment razvoja dizajna i inženjerskog projektiranja 3D modela je digitalni blizanac, odnosno virtualni model proizvoda, Slika 2.

Digitalna transformacija ima ključnu ulogu u procesu dizajna i razvoja novih modela odjeće iz više razloga:

- 3D dizajn odjevnog predmeta kao rezultat sustavnog kombiniranja digitalnih alata omogućuje ubrzanje procesa dizajna, brži i precizniji proces digitalnog prototipiranja umjesto izrade nekoliko stvarnih probnih uzoraka, pri čemu se štede resursi, smanjuju troškovi te smanjuje negativan utjecaj na okoliš. Ušteda vremena omogućuje i brže reagiranje na promjene na tržištu i potražnji.
- Digitalno modeliranje i 3D simulacija omogućuju projektiranje realističnih modela odjeće s jasnim prikazom forme modela, kroja, svih detalja i tekstura materijala. 3D simulacija modela također omogućuje procjenu prikladnosti odabira različitih tekstilnih materijala u ovisnosti o željenoj formi modela i potrebnoj funkcionalnosti.
- Analiza ponašanja tekstilnih materijala u dinamičkim uvjetima na animiranim modelima tijela omogućuje predviđanje funkcionalnosti određenog modela u dinamičkim uvjetima nošenja, što je posebno važno za uniforme i drugu odjeću specijalnih namjena.
- Digitalni prototipovi modela odjeće mogu se za razliku od tradicionalnih fizičkih prototipova lako dijeliti i razmjenjivati između članova razvojnih timova koji su često prostorno dislocirani, čime se olakšava i ubrzava komunikacija, prilagodbe modela i razmjena informacija, što utječe na smanjenje troškova proizvodnje i ubrzava razvojni proces.
- Individualizacija modela odjeće značajno je olakšana i ubrzana, pri čemu potencijalni kupac može sudjelovati u procesu razvoja individualno prilagođenog modela odjevnog predmeta u kontekstu prilagodbe dizajna i dimenzija odjevnog predmeta. CAD sustavi za razvoj digitalnih modela odjeće omogućuju povezivanje s 3D skenerima tijela, kao i sve većim brojem aplikacija za skeniranje i mjerenje tijela pomoću pametnih telefona. Time se ujedno smanjuje i količina otpada, s obzirom da se proizvodnja odvija za ciljanog kupca.
- Povezanost i komunikacija u opskrbnom lancu između svih dionika se značajno olakšava i ubrzava, uključujući dizajnere, razvojne inženjere, proizvođače, dobavljače materijala i trgovce. To poboljšava transparentnost, praćenje i upravljanje kvalitetom te omogućuje brže reagiranje na promjene u potražnji i trendovima.

Kroz sve ove aspekte, digitalna transformacija donosi efikasnost, inovacije i održivost u proces dizajna i razvoja novih modela odjeće, prilagođavajući se potrebama suvremenog tržišta i kupaca.



**Slika 2:** Dizajn i razvoj digitalnog modnog proizvoda kao digitalnog blizanca – virtualna kopija fizičkog proizvoda

### 3.2 Digitalizacija tekstilnih materijala

Tekstilni materijali imaju značajan utjecaj na 3D simulaciju odjeće, jer određuju kako će se odjevni predmet ponašati i izgledati u digitalnom okruženju. Kompleksno ponašanje i deformabilnost različitih tekstilnih materijala u prostoru te pod djelovanjem vanjskih sila, predmet su znanstvenih istraživanja više od tri desetljeća, tijekom kojih su razvijene različite metode i tehnologije koje omogućuju dovoljno, ali ne i potpuno realističnu simulaciju ponašanja tekstilnih materijala [26]. Kako bi se digitalnom odjevnom predmetu dodijelila prirodna fizikalna svojstva koja su karakteristična za simulaciju tekstilnih materijala u 3D programima CAD sustava, koristi se fizička simulacija kao element simulacije virtualnog okruženja. Time se simulira ponašanje tijekom sudara, tj. kontakta između 3D modela tijela i tekstilnog materijala dodijeljenog krojnim dijelovima digitalne odjeće, kao i ponašanje između slojeva tekstilnog materijala [27]. Algoritmi programa također uzimaju u obzir zadana fizikalna i mehanička svojstva simuliranog tekstilnog materijala, koja su prethodno određena mjerenjem na specijaliziranim sustavima za objektivno vrednovanje tekstilnih materijala, kao što su FAST (engl. *Fabric Assurance by Simple Testing*) i KES (engl. *Kawabata*

*Evaluation System*) [28] mjerni sustavi, ali i neki noviji, razvijeni posebno za mjerenje svojstava tekstilnih materijala za potrebe simulacije u pojedinom CAD sustavu.

Inovativne tehnologije i sustavi za digitalizaciju tekstila temelje se na primjeni umjetne inteligencije. Nakon skeniranja stvarnog uzorka tkanine, sustav koji se temelji na tehnologiji strojnog učenja, analizira digitalnu sliku tkanine sloj po sloj i zatim vrlo brzo generira 3D slojeve tkanine koji se mogu pohraniti kao (U3M ili Zfab) format datoteke, prikladne za primjenu na CAD sustavima za razvoj i 3D simulaciju odjevnog predmeta, kao što je Clo 3D, Optitex, Browzwear i drugi, pri čemu se postiže vrlo realistično ponašanje digitalnih tkanina unutar CAD sustava. Osim 3D digitalnog uzorka tekstilnog materijala, neki od sustava omogućuju i generiranje metapodataka koji uključuju specifikaciju materijala i njegovih fizikalno-mehaničkih svojstava, cijene, zalihe kod proizvođača i sl. Također je omogućeno i generiranje podataka o porijeklu te o utjecaju pojedinih materijala na okoliš, omogućujući dizajnerima i razvojnim inženjerima donošenje odluka o odabiru ekološki prihvatljivih materijala. U ovom području ističu se Frontier.cool Inc., SEDDI Textura te Style 3D, koji su razvili sustave za digitalizaciju tekstila temeljene na umjetnoj inteligenciji i digitalne platforme na kojima korisnici mogu preuzimati digitalne tekstilne materijale iz baze, ali i koristiti mogućnosti digitalizacije za odabrane uzorke stvarnih materijala [10].

## 4. Metodologija razvoja digitalnog 3D prototipa modela



U okviru eksperimentalnog dijela rada opisan je proces istraživanja parametara potrebnih za razvoj digitalnih odjevnih predmeta na primjeru muškog odijela, s aspekta inženjerskog projektiranja prototipa modela, digitalizacije tekstilnih materijala i računalne analize deformacija koje se javljaju na simuliranim tekstilnim materijalima, tijekom analize prototipa na digitalnom modelu tijela.

### 4.1 Uzorci tkanina za ispitivanje

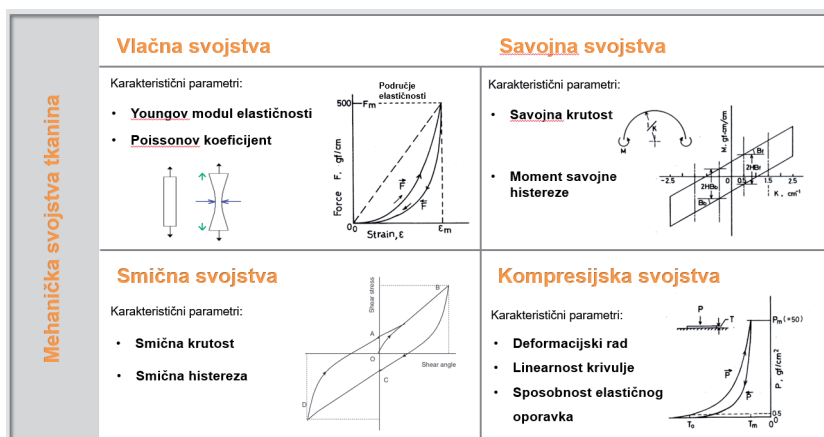
Za ispitivanje su prema subjektivnom doživljaju opipa odabrane 2 različite tkanine, primjerene za izradu gornje odjeće. Odabrane tkanine razlikuju se prema sirovinskom sastavu, vezu te plošnoj masi, kao i mehaničkim svojstvima. Provedeno je objektivno vrednovanje vrijednosti parametara fizikalnih i mehaničkih svojstava za odabrane tkanine, primjenom sustava *Kawabata Evaluation System* (KES) [28], što je prikazano u Tablici 1. Odabrane su dvije tkanine kako bi se kroz proces 3D simulacije i analize pristalosti modela u konačnici odabrala tkanina za koju će biti utvrđena bolja pristalost i funkcionalnost modela.



**Tablica 1:** Struktura odabranih tkanina prema sirovinskom sastavu, vezu, plošnoj masi i vrijednostima parametara mehaničkih svojstava tkanina utvrđene KES sustavom


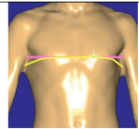
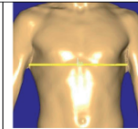


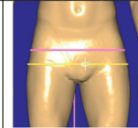
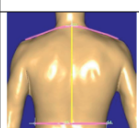
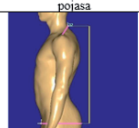


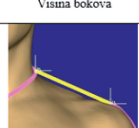



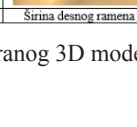
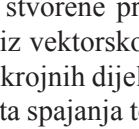
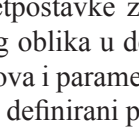
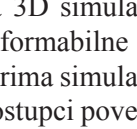
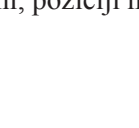
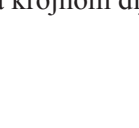
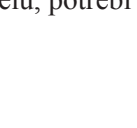



Oznaka tkanine	Sirovinski sastav	Tip tkanine	Plošna masa [g/m <sup>2</sup> ]	Debljina [mm]	Istezanje [%]		Savojna krutost [cNcm]		Smična krutost [cN/cm <sup>2</sup> ]
					E100-1	E100-2	B-1	B-2	
M1	63% poliester 23% viskoza 4% elasthan	Keper 2/1 	286,1	0,900	21,54	22,05	0,0297	0,0240	0,61
M2	100 % vuna	Platno 1/1 	161,8	0,439	3,02	9,58	0,0324	0,0161	0,73

Fizikalno modeliranje ponašanja tekstilnih materijala u razvoju i 3D simulaciji digitalnog prototipa modela odjevnog predmeta odnosi se na simulaciju fizičkih svojstava tkanine, kako bi se postigao realističan izgled i ponašanje odjevnog predmeta u virtualnom okruženju. Ovaj proces uključuje razvoj matematičkih modela i algoritama koji opisuju ponašanje tkanine pod različitim uvjetima, poput savijanja, istezanja, oblikovanja nabora, pregiba, željenog volumena i sl. Razvijeni modeli ponašanja tekstilnih materijala integrirani su u programe CAD sustava za razvoj i 3D simulaciju modela odjeće, kako bi se omogućilo ispitivanje i analiza primjerenosti odabira pojedinog tekstilnog materijala za određeni odjevni predmet, prije izrade stvarnog uzorka modela. Svojstva tekstilnih materijala koja značajno utječu na oblikovanje digitalnog prototipa modela u CAD sustavu prikazana su na Slici 3.

**Slika 3:** Parametri mehaničkih svojstava tkanina koji utječu na 3D simulaciju digitalnog modela odjevnog predmeta



kolekcije vrlo često koriste i dodatno modeliraju krojevi iz prethodnih kolekcija. Preciznost pri konstrukciji i modeliranju krojeva je vrlo važna, jer točno i precizno konstruiran i modeliran kroj u velikoj mjeri doprinosi kvaliteti odjevnog predmeta i zadovoljavajućoj pristalosti modela na tijelu. Sustavnim kombiniranjem digitalnih alata i funkcija konstruirani su krojni dijelovi za model muškog odijela prema individualnim mjerama tijela. U tom smislu izvedeno je 3D skeniranje ispitanika te su utvrđene sve potrebne antropometrijske mjere na tijelu [29]. Dio utvrđenih mjera prikazan je na Slici 5. Na temelju utvrđenih mjera izvedena je prilagodba tjelesnih mjera i držanja tijela parametarskog modela tijela unutar CAD sustava, a dodatno je u sustav importiran i 3D skenirani model tijela. Vizualizacija modela tijela prilagođenog u mjerama određenoj odjevnoj veličini ili individualnim mjerama u velikoj mjeri može olakšati i promišljanje o dizajnu modela odjeće primjerene za određeni stas i uzrast tijela, a također i promišljanje o prilagodbi konstrukcije krojeva te potrebi za specijalnim vrstama gradiranja krojeva. Model tijela predstavlja tzv. kolizijski objekt s kojim će modelirani krojni dijelovi biti u interakciji.

Naziv tjelesne mjere			Iznos [cm]	
			Tjelesna visina	182,8
			Opseg grudni	101,2
			Opseg ispod grudni	99,7
			Opseg struka	79,9
			Opseg struka na pojasnici	83,3
			Opseg bokova	103,8
			Visina struka	42,1
			Visina bokova	61,6
			Visina pojasnice	106,7
			Duljina koraka	82,3
			Opseg struka na poziciji pojava	12,7
			Opseg bokova	13,8
			Kut lijevog ramena	24,2°
			Kut desnog ramena	23,6°
			Duljina lijeve ruke	65,8
			Duljina desne ruke	66,9
			Opseg lijevog koljena	38,6
			Opseg desnog koljena	38,2
			Opseg lijevog lista	38,2
			Opseg desnog lista	38,6

Slika 5: Antropometrijsko mjerenje skeniranog 3D modela tijela

Time su stvorene pretpostavke za 3D simulaciju, odnosno prevođenje 2D krojnih dijelova iz vektorskog oblika u deformabilne 3D površine, prema definiranim parametrima krojnih dijelova i parametrima simulacije. U tom smislu, izvedena je analiza segmenata spajanja te definirani postupci povezivanja segmenata u ovisnosti o njihovoj duljini, poziciji na krojnom dijelu, potrebi formiranja nabora ili ušitaka te ostalih

konstrukcijskih parametara. Definirani su parametri krojnih dijelova, pri čemu je za svaki krojni dio definiran postotni udio koji određuje cilindričnost krojnog dijela prije izvođenja simulacije, pravilno pozicioniranje u odnosu na model tijela, sloj u odnosu na tijelo te rezoluciju poligonalne mreže, ovisno o intenzitetu deformacije koja se želi postići tijekom simulacije na pojedinom dijelu modela. Nadalje, uvedeni su parametri za tkanine, odnosno prethodno utvrđene vrijednosti mehaničkih svojstava tkanina za koje se želi ispitati pristalost digitalnog modela. Dodatno, tijekom simulacije odjeće definira se i sila gravitacije, kako bi se postiglo nalijeganje i padanje krojnih dijelova oko i duž tijela.

U suvremenim 3D CAD sustavima za modeliranje, simulaciju i animaciju objekata, tekstilni materijali se definiraju kao dinamički objekti koji uzajamno djeluju s različitim vanjskim silama, npr. sudar, vjetar, gravitacija, turbulencija itd. Različite konfiguracije računala, kao i različiti programi koji omogućuju 3D modeliranje, simulaciju i/ili animaciju modela, koriste različite načine modeliranja i simulacije tkanina. Kada se određeni 3D model, koji predstavlja virtualnu tkaninu ili odjevni predmet, podijeli na veliki broj malih područja (segmenata ili poligona), on postaje fleksibilan i deformabilan u virtualnom 3D prostoru. Posljedično, ostvaruje se realističan prikaz digitalnog modela odjavnog predmeta nakon izvedene simulacije. Iako postoje različite vrste površina u računalnoj grafici te različite fizikalno temeljene tehnike modeliranja tkanine, mrežna, poligonalna struktura površina krojnih dijelova pokazala se kao najbolji odabir za simulaciju složenih oblika odjeće, poglavito kada je potrebno simulirati nabore na odjevnom predmetu. Primjenom algoritma koji se temelji na triangulaciji, definira se razina podjela na poligone unutar mreže, ovisno o potrebi za intenzitetom deformacije površine [30]. Za svaki vrh poligona unutar mreže moguće je pohraniti sve potrebne podatke za izvođenje simulacije (brzina, položaj, sile, itd.). Analizom krojnih dijelova za model muškog odijela i potrebom za intenzitetom deformacije odnosno ukrućivanja pojedinog krojnog dijela tijekom 3D simulacije, utvrđene su vrijednosti veličina poligona za pojedine krojne dijelove. Fizikalni pristup modeliranju ponašanja tekstilnog materijala uzima u obzir i karakteristike tekstilnih materijala koje su prethodno utvrđene objektivnim vrednovanjem.

Nakon definiranja svih potrebnih parametara izvedene su simulacije muškog odijela na parametarskom i 3D skeniranom modelu tijela za svaku od analiziranih tkanina. Parametarski model tijela u tom smislu predstavlja potpuno simetričan model tijela prilagođen mjerama ispitanika, a 3D skenirani model tijela koji nije u potpunosti simetričan predstavlja potpuno vjernu repliku stvarnog tijela. Izvedba simulacije na svakom od navedenih modela ima svoje prednosti i nedostatke, zbog čega izvođenje simulacija na oba modela može biti korisno u provođenju analiza i vrednovanja pristalosti digitalnog prototipa modela, kako bi se ocijenili svi relevantni parametri i prema potrebi provele potrebne korekcije prije izrade realnog uzorka modela. Uspješnost 3D simulacije prototipa modela ovisi o sustavno provedenom definiranju parametara simulacije i parametara krojnih dijelova.

### 4.3 Aplikacija boja, tekstura i detalja na digitalnom prototipu modela

U završnoj fazi vizualizacije simuliranog odjevnog predmeta, sa svrhom realističnog prikaza virtualnog prototipa modela, na krojne dijelove se apliciraju boje i uzorci materijala, različite teksture s vidljivim vezom tkanine ili teksture materijala te ukrasni šavovi i detalji, prema potrebi. S aspekta dizajna odjeće potrebno je ocijeniti usklađenost apliciranih boja ili tekstura ovisno o dizajnu modela te o modnim trendovima. Također, ukoliko se razvija model prema individualnim mjerama za poznatog kupca, potrebno je boje i uzorke prilagoditi prema konstituciji tijela, dobi osobe i želji kupca. Na razvijeni model muškog odijela aplicirane su teksture tkanina za koje je bilo provedeno objektivno vrednovanje mehaničkih svojstava.

### 4.4 Analiza pristalosti digitalnog prototipa modela

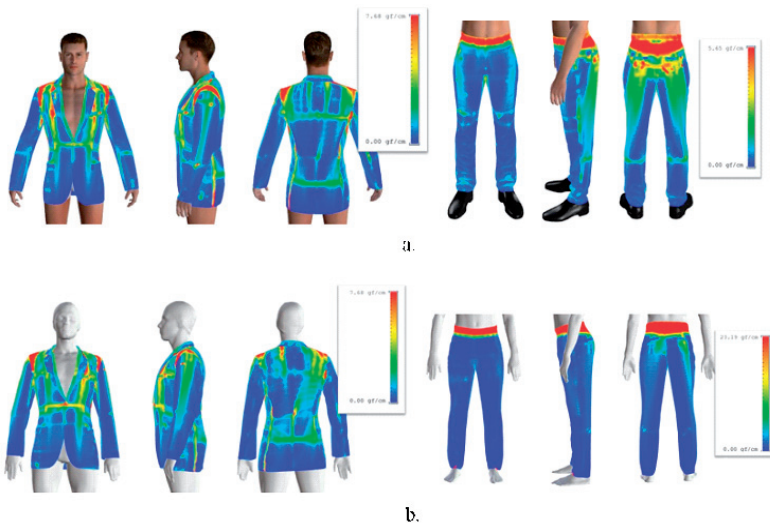
Vizualizacijom izgleda digitalnog 3D prototipa modela nakon izvedene simulacije i aplikacije boja, tekstura i detalja modela postiže se realističan prikaz dizajna modela, koji u značajnoj mjeri može olakšati komunikaciju i suradnju između dizajnera i članova razvojnog tima. Međutim, sama vizualizacija nije dostatna u kontekstu procjene funkcionalnosti modela. Potrebno je provesti dodatna mjerenja na digitalnom prototipu kako bi se na temelju utvrđenih vrijednosti kontrolnih mjera utvrdilo da li prototip zadovoljava u kontekstu potrebnih iznosa komocije na karakterističnim opsezima tijela. U tom smislu, izvedeno je mjerenje i utvrđivanje vrijednosti komocije na sakou na poziciji opsega grudi, struka i bokova te na hlačama na poziciji opsega struka, bokova i koljena, Slika 6. Mogućnost presijecanja modela poprečnim ravninama omogućuje istovremeno utvrđivanje mjere opsega na tijelu i na digitalnom prototipu modela. Na taj način, komocija se vrlo jednostavno i vrlo precizno može odrediti na bilo kojoj poziciji na modelu.



Slika 6: Mjerenje i analiza komocije na digitalnim prototipovima modela

Verifikacija pristalosti sakoa i hlača izvedena je mjerenjem na parametarskom modelu tijela i na 3D skeniranom modelu. Naime, parametarski model tijela kao pot-

puno simetričan model olakšava izvođenje 3D simulacije, međutim, s obzirom da ima ograničen broj mjera koje se mogu prilagoditi, ipak nije u potpunosti precizno prilagođen tijelu ispitanika. U tom smislu, analiza provedena dodatno na 3D skeniranom modelu tijela doprinosi preciznijoj ocjeni pristalosti modela. Provedenim kontrolnim mjerenjem na oba modela tijela utvrđene su vrijednosti komocije koje su bile predviđene konstrukcijom kroja. S obzirom da su simulacije prototipa modela tijela izvedene uz primjenu vrijednosti mehaničkih svojstava za dvije analizirane tkanine, dalje je izvedena dodatna analiza pristalosti razvijenih digitalnih prototipova modela mjerenjem i analizom napreznja simuliranih tkanina na digitalnim prototipovima modela, Slika 7.



**Slika 7:** Računalna analiza napreznja tkanine na prototipovima modela: a. na prilagođenom parametar-skom modelu tijela; b. na 3D skeniranom modelu tijela

Mogućnost analize napreznja i istežanja simuliranog tekstilnog materijala, odnosno deformacije na tkanini do koje dolazi uslijed djelovanja sila na simulirani tekstilni materijal, od velikog je značaja za konačnu ocjenu pristalosti prototipa modela [31]. To je posebno važno kada se radi o modelima odjevnih predmeta koji su dizajnirani i konstruirani na način da imaju užu formu i bolje prate liniju tijela, kao što je i prikazani model muškog odijela. Kod takvih modela posebno do izražaja dolazi pravilan odabir tekstilnih materijala, koji će osigurati postizanje željene forme modela, ali istovremeno osigurati i potrebnu pokretljivost i udobnost tijekom nošenja. Analiza se provodi mjerenjem iznosa napreznja po karakterističnim zonama na modelu pri čemu se iznos napreznja materijala na određenoj poziciji očitava prema kontrolnoj skali, na temelju vrijednosti zadanih mehaničkih svojstava za simulirani tekstilni materijal. Pri tome je posebno važna pravilna interpretacija očitanih vrijednosti u zona-

ma koje su označene crvenom bojom, s obzirom da te vrijednosti sugeriraju prevelu komociju modela, pogotovo ako su utvrđene na mjerama karakterističnih glavnih opsega na tijelu. U tom slučaju provode se potrebne korekcije krojnih dijelova ili eventualno odabir drugog tekstilnog materijala koji ima potrebnu elastičnost, ukoliko je potrebno postići užu formu modela i pri tom osigurati neometanu pokretljivost tijekom nošenja. Za razvijeni digitalni prototip modela muškog odijela utvrđeno je primjereno naprezanje tekstilnog materijala oznake M1 iz Tablice 1. Kao što je vidljivo na Slici 7, distribucija zona koje sugeriraju pojačano naprezanje materijala za tkaninu oznake M1 prisutna je u gornjem ramenom dijelu, međutim s obzirom da se na tom dijelu radi o nalijeganju modela na pozicije ramena, te da tkanina prema sirovinskom sastavu sadrži 4% elastanskog vlakna, odabir tkanine oznake M1 može se ocijeniti kao prihvatljiv. Analiza prototipa modela sakoa uz odabir svojstava tkanine oznake M2 pokazala je pojačano naprezanje tekstilnog materijala na više zona na modelu. S obzirom da je tkanina oznake M2 prema sirovinskom sastavu izrađena od 100 % vunenog vlakna, odabir ove tkanine mogao bi biti primjereniji za model sakoa s malo većom komocijom modela.

Analogno provedenoj analizi naprezanja tekstilnog materijala na primjeru sakoa, provedena je analiza i na modelu muških hlača za obje tkanine. Na Slici 7 prikazana je distribucija naprezanja po zonama na modelu na primjeru tkanine M2, pri čemu je utvrđeno pojačano naprezanje u području struka. S obzirom da se također radi o malo užem modelu hlača, i za njih je dodatnom analizom utvrđena bolja pristalost mjerenjem naprezanja na modelu uz primjenu vrijednosti mehaničkih svojstava za tkaninu oznake M1.

## 5. Digitalni prototip modela muškog odijela

Nakon svih provedenih analiza i izvedenih korekcija krojnih dijelova za model muškog odijela, potvrđen je konačni kroj modela, prema kojem bi se u industrijskim uvjetima dalje pristupilo izradi realnog prototipa modela, za konačnu potvrdu modela prije serijske proizvodnje. Za razvijeni kroj modela dalje se također može provesti gradiranje za potreban raspon odjevnih veličina, pri čemu se za svaku veličinu također može provesti analiza pristalosti računalnih prototipova prije izrade stvarnih modela. Na taj način se u značajnoj mjeri štedi vrijeme, smanjuju troškovi i značajno smanjuje utrošak materijala i energenata, a time ujedno i količina otpada, što s aspekta održivosti donosi brojne prednosti u odnosu na tradicionalan način izrade probnih uzoraka modela. Razvijen digitalni prototip modela muškog odijela prikazan je na Slici 8, pri čemu su izvedene varijacije boja i tekstura, što u konačnici može biti definirano u skladu sa zahtjevima kupca. Osim za potrebe razvoja modela za industrijske potrebe, prikazani digitalni model može imati svoju puno širu primjenu u svim segmentima opskrbnog lanca u modnoj industriji, kao što je digitalna promocija i prodaja odjeće preko platformi koje omogućuju sudjelovanje kupaca u procesu prilagodbe dizaj-

na i naručivanju odjeće izrađene prema individualnim mjerama. Najnoviji trendovi razvoja usmjereni su na razvoj i prodaju digitalne odjeće, koja se može koristiti na različitim digitalnim platformama za odijevanje digitalnih avatara modela, pri čemu se razvijeni prototipovi modela za potrebe industrijskog razvoja odjeće mogu konvertirati u formate zapisa primjerene za korištenje u drugim virtualnim okruženjima i dodatno nadograditi u vrlo kreativne modele s obzirom da u virtualnom okruženju digitalni model ne mora nužno zadovoljiti sve kriterije za funkcionalnosti kao realni modeli [32]. Na taj način modni brendovi postupno stvaraju svoju digitalnu imovinu, uvode nove poslovne modele i otvaraju nova tržišta koja su u najvećoj mjeri usmjerena na mlađe populacije, korisnike različitih društvenih mreža i digitalnih platformi.



Slika 8: 3D prototipovi modela muškog odijela uz varijaciju boja i tekstura tekstilnog materijala

## 6. Zaključak

S intenzivnim razvojem i postupnom implementacijom inovativnih digitalnih tehnologija u modnu industriju, ova tradicionalno usmjerena industrijska grana postupno doživljava svoju transformaciju, što se posebno ogleda u procesima digitalizacije procesa dizajna i razvoja modnih proizvoda, ali i ostalih segmenta opskrbnog lanca. Potreba za unaprjeđenjem segmenta razvoja novih modela odjeće sve više je u fokusu, s obzirom na značajne uštede koje digitalizacija donosi u razvoj prototipova modela, ali i smanjenje negativnog utjecaja modne industrije na onečišćenje okoliša. Rezultati znanstvenih istraživanja i sve veća primjena umjetne inteligencije, rezultirali su proteklih godina brojnim inovacijama i tehnološkim rješenjima za modnu industriju, pri čemu su nove generacije digitalnih sustava, tehnologija i platformi omogućile da se modna industrija transformira na puno višu tehnološku razinu i nakon dugog niza godina zaostajanja za ostalim industrijama u kontekstu digitalizacije i automatizacije proizvodnih procesa, uvede nove poslovne modele i digitalizirane procese. Razvoj



digitalnih prototipova modela odjeće donosi brojne prednosti i otvara mogućnosti puno šire primjene, što u konačnici vodi i do novih učinkovitih modela poslovanja za modne brendove te novih tržišta. Međutim, ovaj proces zahtijeva i značajan zaokret u obrazovanju i osposobljavanju stručnjaka na puno višoj razini digitalnih vještina za rad sa specijaliziranim alatima uz istovremeno povezivanje sa strukovnim znanjima i vještinama. Novi sustavi za razvoj odjeće sve više se proširuju i nadograđuju s tehnologijama proširene i virtualne stvarnosti, intenzivno se razvijaju sustavi za digitalizaciju tekstilnih materijala temeljeni na umjetnoj inteligenciji i dubokom strojnom učenju, a postupna transformacija Interneta u Metaverzum kao paralelnom virtualnom svijetu, postupno dovodi do sve većeg broja različitih digitalnih platformi za različita područja djelatnosti. Sve to dovodi do sve većeg interesa i potrebe za razvojem digitalne odjeće, koja će u budućnosti imati puno veći značaj i primjenu u odnosu na razvoj prototipova u industriji. Ujedno, time se stvaraju pretpostavke da se djelomično uspori proizvodnja prevelikih količina odjeće koja u konačnici završava na odlagalištima, poglavito s obzirom na potrebe mladih generacija usmjerenih na društvene mreže i digitalne sustave, a sve više i na digitalnu odjeću koju mogu koristiti na različitim platformama.

## 7. Literatura

- [1] Singh, J., Bansal, S.: The impact of the fashion industry on the climate and ecology, *World Journal of Advanced Research and Reviews*, **21** (2024) 1, 210-215, doi: 10.30574/wjarr.2024.21.1.2610
- [2] Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., Gwilt, A.: The environmental price of fast fashion, *Nature Reviews Earth & Environment*, **1** (2020) 4, 89-200, doi: 10.1038/s43017-020-0039-9
- [3] Kim, E., Fiore, A.M., Payne, A., Kim, H.: *Fashion Trends, 2nd ed.*, Bloomsbury Visual Arts, ISBN: 978-1350099012, New York, (2021)
- [4] Zekri, H. B.: Globalization and the fast fashion phenomenon: the impact upon labors, environment and the consumer behavior, *MAS Journal of Applied Sciences*, **6** (2021) 3, 651–660, doi: 10.52520/masjaps.102
- [5] Zahira, M. S., Alfakihuddin, M. L., Anwari, J. A., Hadi, J.M., Chutzpah Kuntadi, S., Lim, J., Kholik, F. N.: Textile Waste Recycling: A need for a stringent paradigm shift, *Journal of Multidisciplinary Issues*, **10** (2023) 6, doi: 10.1177/24723444231188342
- [6] Casciani, D., Chkanikova, O., Pal, R.: Exploring the nature of digital transformation in the fashion industry: opportunities for supply chains, business models, and sustainability-oriented innovations. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, **18** (2022) 1, 773-795, doi: 10.1080/15487733.2022.2125640

- [7] Akhtar, W.H., Watanabe, C., Neittaanmäki, P.: A new perspective on the textile and apparel industry in the digital transformation era, *Textiles*, **2** (2022) 4, 633-656, doi: 10.3390/textiles2040037
- [8] Von der Assen, L.: Digitalization as a Provider of Sustainability? - The Role and Acceptance of Digital Technologies in Fashion Stores. *Sustainability*, **15** (2023) 4621, doi: 10.3390/su15054621
- [9] Alexander, B., Rutter, C.: Towards transformation: digitalization, sustainability and customer experience, *The Journal of Design, Creative Process & the Fashion Industry*, **14** (2022) 3, 319-328, doi: 10.1080/17569370.2022.2129468
- [10] Petrak, S.: Digital fashion innovation and sustainability, *RIM 2023, Electronic proceedings of 14th International Scientific Conference on Manufacturing Engineering DEVELOPMENT AND MODERNIZATION OF MANUFACTURING*, Hodžić, A., Hodžić, D., Islamović, F., Crnkčić, A. (Ed.), 280-289, ISSN: 2566-3283, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, September 2023, University of Bihać, Faculty of Technical Engineering, Bihać, (2023)
- [11] Sayem, A. S. M. (Ed.): *Digital Fashion Innovations Advances in Design, Simulation, and Industry*, CRC Press, ISBN: 978-1-032-20729-2, Boca Raton (2023)
- [12] Yezhova, O.: Computer-Aided Designing and Manufacturing of Fashion Goods, u *Innovations in Science: the Challenges of Our Time*, Dei, M., Rudenko, O., Tsekhmister, Y., Lunov, V. (Ed.), Accent Graphics Communications & Publishing, ISBN: 978-1-77192-422-1, Ontario, Canada, (2018), 525-534
- [13] Ranjan, R., Pandey, R., Kumar, V.: Integration of CAD technology for fast and customized production of apparels. *Psychology and Education*, **57** (2020) 9, 4639-4645, doi: 10.17762/pae.v57i9.1817
- [14] Pellicelli, M.: *The Digital Transformation of Supply Chain Management*, Elsevier, ISBN: 0323855326, Amsterdam, The Netherlands, (2022)
- [15] Rudrajeet, P., Jayarathne, A.: Digitalisation in the Textile and Clothing Industry, u *The Digital Supply Chain*, MacCarthy, B. L., Ivanov, D. (Ed.), Elsevier, ISBN: 9780323916141, Amsterdam, The Netherlands, (2022), 255-271
- [16] Petrak, S., Glavica, B., Geršak, J., Mahnić, M., Rogale, D., Ujević, D.: Garments Prototype Development Using an Innovative Computer Technology, *Book of Proceedings of the 5th International Textile, Clothing and Design Conference – Magic World of Textiles*, Dragčević Z. (Ed.), 488-493, ISSN 1847-7275, Dubrovnik, Croatia, October 2010, University of Zagreb Faculty of Textile Technology, (2010)
- [17] Arania, F., Putri, I. M., Saifuddin, M.: The Impact of Covid-19 on Textile and Fashion Industries: The Economic Perspective, *Journal of Marketing Innovation*, **1** (2022) 2, 01-14, doi: 10.35313/jmi.v2i1.18
- [18] Arribas, V., Alfaro, J. A.: 3D technology in fashion: from concept to consumer, *Journal of Fashion Marketing and Management*, **22** (2018) 2, 240-251, doi: 10.1108/JFMM-10-2017-0114

- [19] Bertola, P., Teunissen, J.: Fashion 4.0. Innovating fashion industry through digital transformation, *Research Journal of Textile and Apparel*, **22** (2018) 4, 352-369, doi: 10.1108/RJTA-03-2018-0023
- [20] Wiegand, T., Wynn, M.: Sustainability, the Circular Economy and Digitalisation in the German Textile and Clothing Industry. *Sustainability*, **15** (2023) 11, 9111, doi: 10.3390/su15119111
- [21] Choi, C.: 3D dynamic fashion design development using digital technology and its potential in online platforms, *Fashion and Textiles*, **9** (2022) 1-28, doi: 10.1186/s40691-021-00286-1
- [22] Silva, E. S., Hassani, H., Madsen, D. Ø., Gee, L.: Googling Fashion: Forecasting Fashion Consumer Behaviour Using Google Trends, *Social Sciences*, **8** (2019) 4, 111, doi: 10.3390/socsci8040111
- [23] Grilec, A., Petrak, S., Mahnić Naglic, M.: Consumer Perception of 3D Body Scanning While Online Shopping for Clothing, *WASET International Journal of Humanities and Social Sciences*, **13** (2019) 7, 1025-1030
- [24] Noris, A., Sabatini, N., Cantoni, L.: Fashion Games, Fashion in Games and Gamification in Fashion. A First Map. Human-Computer Interaction, in *Computer Science*, Springer, ISBN: 978-3-031-35601-8, Germany, (2023), 477-491
- [25] 2023 3D LOOK, *Dostupno na*: <https://3dlook.me/content-hub/virtual-fitting-room-for-e-commerce/>, *Pristupljeno*: 2024-03-07
- [26] Kuijpers, S., LuibleBär, C. Gong H.: *The measurement of fabric properties for virtual simulation - a critical review*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., The University of Manchester, ISBN: 978-1-5044-6497-0, Manchester, (2020)
- [27] Petrak, S., Brlobašić Šajatović, B., Mihaljević, I.: Digitalne tehnologije u kontekstu održivog modnog dizajna i razvoja odjeće, *Zbornik radova 15. znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo, Održiva moda, tekstil i zelene tehnologije u kontekstu kružnog gospodarstva*, Vujasinović, E., Dekanić, T. (ur.), 15-20, ISSN: 2975-5956, Zagreb, siječanj 2023., Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, (2023)
- [28] Geršak, J.: *Objektivno vrednovanje plošnih tekstilija i odjeće*, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN: 978-953-7105-42-6, Zagreb, (2013)
- [29] Petrak, S., Mahnić Naglič, M.: Dynamic Anthropometry – Defining a Protocols for Automatic Body Measurement, *Tekstilec*, **60** (2017) 4, 254-262, doi: 10.14502/Tekstilec2017.60.254-262
- [30] Petrak, S., Mahnić Naglič, M., Rogale, D. Geršak, J.: Analysis of Polygonal Computer Model Parameters and Influence on Fabric Drape Simulation, *Materials*, **14** (2021) 996-1944, doi: 10.3390/ma14216259
- [31] Jhanji, Y.: Computer-aided design—garment designing and patternmaking, in *Automation in Garment Manufacturing*, Woodhead Publishing, ISBN: 008101211X, Cambridge, United Kingdom, (2018), 253-290
- [32] Boardman, cR., Henninger, C. E., Zhu, A.: Augmented Reality and Virtual Reality: New Drivers for Fashion Retail? in *Technology-Driven Sustainability*, Palgrave Macmillan, Cham, ISBN: 978-3-030-15483-7, London, UK, (2020), 155-172

