

**University of Zagreb Faculty of Textile Technology**  
**Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet**



**BOOK OF PROCEEDINGS**  
**18<sup>th</sup> Scientific – Professional Symposium**  
**TEXTILE SCIENCE & ECONOMY**

**ZBORNIK RADOVA**  
**18. znanstveno – stručno savjetovanje**  
**TEKSTILNA ZNANOST I**  
**GOSPODARSTVO**

University of Zagreb Faculty of Textile Technology

# **TEXTILE SCIENCE AND ECONOMY**

## **BOOK OF PROCEEDINGS**

18<sup>th</sup> Scientific – Professional Symposium

**Education, Research and Economy:  
A Bridge for Stronger Development of the  
Fashion, Textiles and Leather Sector**



27<sup>th</sup> January 2026, Zagreb, Croatia

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

# **TEKSTILNA ZNANOST I GOSPODARSTVO**

## **ZBORNİK RADOVA**

18. znanstveno-stručno savjetovanje

**Obrazovanje, istraživanje i gospodarstvo:  
Most za snažniji razvoj sektora  
mode, tekstila i kože**



27. siječnja 2026. Zagreb, Croatia

## U organizaciji

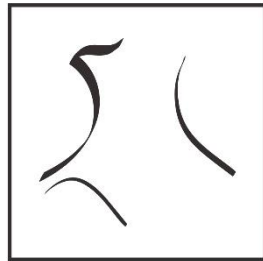
Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta



ISSN 2991-9207

**Pokrovitelji:****Ured Predsjednika Republike Hrvatske****GRAD  
ZAGREB****Grad Zagreb****REPUBLIKA HRVATSKA  
Ministarstvo znanosti,  
obrazovanja i mladih****Republika Hrvatska  
Ministarstvo znanosti, obrazovanja i mladih****Sveučilište u Zagrebu****Hrvatska gospodarska komora****Hrvatska akademija tehničkih znanosti****Hrvatski inženjerski savez tekstilaca****SAVEZ INOVATORA  
ZAGREBA****Savez inovatora Zagreba****HDKO  
HRVATSKO DRUŠTVO KOŽARA I OBUČARA  
CROATIAN LEATHER AND FOOTWEAR SOCIETY****Hrvatsko društvo kožara i obučara****HUP****Hrvatska udruga poslodavaca**

**Donator:**



**GALKO**

**Izdavač:**

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

**Glavna urednica:**

Dr. sc. Maja Mahnić Naglič

**Urednici:**

Prof. dr. sc. Anica Hursa Šajatović

Izv. prof. dr. sc. Lea Botteri

Doc. dr. sc. Emilija Zdraveva

**TZG Logo:**

Prof. dr. sc. Martina Glogar

**Podaci za kontakt:**

Sveučilište u Zagrebu  
Tekstilno-tehnološki fakultet  
Prilaz baruna Filipovica 28a  
10000 Zagreb, Hrvatska  
☎: +(385) (1) 3712500  
✉: tzg2026@ttf.unizg.hr

<https://www.ttf.unizg.hr/tekstilna-znanost-i-gospodarstvo/1194>

**Napomena:**

Sve sažetke objavljene u ovoj publikaciji pregledao je međunarodni recenzentski odbor. Međutim, urednici i organizatori ne preuzimaju odgovornost za sadržaj iznesen u sažecima. Sva prava pripadaju autorima, što znači da se uvjeti daljnjeg objavljivanja trebaju dogovoriti s autorima. Nakon objave Knjige sažetaka, autori, kao i druge osobe ili institucije koje žele citirati, objaviti ili na bilo koji drugi način koristiti sažetke iz ove publikacije, dužni su jasno navesti da su sažeci prethodno objavljeni u Knjizi sažetaka TZG 2026.

## Znanstveni odbor

**Predsjednica:** Prof dr. sc. Anica Hursa Šajatović

### Članovi:

Prof. dr. sc. Željko Penava  
Prof. dr. sc. Slavenka Petrak  
Prof. dr. sc. Snježana Firšt Rogale  
Prof. dr. sc. Sandra Bischof  
Prof. dr. sc. Sanja Ercegović Ražić  
Prof. dr. sc. Branka Vojnović  
Prof. dr. sc. Anita Tarbuk  
Prof. dr. sc. Edita Vujasinović  
Prof. dr. sc. Martina Glogar  
Prof. dr. sc. Dragana Kopitar  
Izv. prof. dr. sc. Bosiljka Šaravanja  
Izv. prof. dr. sc. Irena Šabarić Škugor  
Izv. prof. dr. sc. Ksenija Smoljak Kalamir  
Izv. prof. dr. sc. Ivana Špelić

## Organizacijski odbor

**Predsjednica:** Izv. prof dr. sc. Blaženka Brlobašić Šajatović

### Članovi:

Izv. prof. dr. sc. Ksenija Doležal  
Izv. prof. dr. sc. Renata Hrženjak  
Izv. prof. dr. sc. Lea Botteri  
Doc. dr. sc. Snježana Brnada  
Doc. dr. sc. Emilija Zdraveva  
Doc. art. Ivana Mrčela  
Dr. sc. Maja Mahnić Naglić  
Dr. sc. Franka Karin  
Antonija Petrov, mag. ing. techn. text.  
Robert Matašić, mag. ing. techn. text.  
Maja Matušin, bac. ing. techn. graph.  
Srđan Cvetanović

**Recenzenti:**

Anica Hursa Šajatović, Anita Tarbuk, Blaženka Brlobašić Šajatović, Bosiljka Šaravanja, Branka Vojnović, Dragana Kopitar, Duje Kodžoman, Edita Vujasinović, Emilija Zdraveva, Franka Karin, Goran Čubrić, Irena Šabarić Škugor, Iva Brlek, Ivana Schwarz, Ivana Špelić, Jasminka Končić, Kristina Maršić, Ksenija Doležal, Ksenija Smoljak Kalamir, Lea Botteri, Lea Popinjač, Maja Mahnić Naglič, Martina Glogar, Miljenko Krhen, Paula Marasović, Petra Krpan, Ružica Brunšek, Sandra Bischof, Sandra Flinčec Grgac, Sanja Ercegović Ražić, Siniša Fajt, Slavenka Petrak, Slavica Bogović, Snježana Brnada, Snježana Firšt Rogale, Sonja Šterman, Tomislav Rolich, Vesna Marija Potočić Matković, Željko Penava

## Riječ urednice

18. znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo – TZG 2026, održano je 27. siječnja 2026. godine, u organizaciji Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta. Dugogodišnja tradicija ovoga skupa potvrđuje njegovu važnu ulogu u povezivanju znanosti, obrazovanja i gospodarstva. Ovogodišnje savjetovanje, održano pod temom „Obrazovanje, istraživanje i gospodarstvo: most za snažniji razvoj sektora Mode, tekstila i kože“, jasno naglašava potrebu za snažnijom suradnjom akademske zajednice i gospodarskog sektora u kontekstu suvremenih tehnoloških, tržišnih i društvenih izazova. Tema je otvorila prostor za razmjenu znanja, iskustava i primjera dobre prakse usmjerenih na inovacije, održivi razvoj, transfer znanja i jačanje konkurentnosti industrije.

U okviru savjetovanja održano je sedam predavanja te je prezentirano ukupno 29 publikacija u kategorijama znanstvenih, preglednih i stručnih radova. Radovi obuhvaćaju širok raspon aktualnih tema iz područja obrazovanja, istraživanja i primjene novih tehnologija u tekstilnoj i odjevnoj industriji, čime se dodatno potvrđuje interdisciplinarni karakter savjetovanja. Posebnu vrijednost savjetovanju daje poster sekcija, u sklopu koje je uz prijavljene radove, predstavljeno i osam Institucionalnih projekata, čime je naglašena važnost projektnih aktivnosti Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta u razvoju znanstveno-istraživačkog i inovacijskog potencijala sektora Mode, tekstila i kože.

Objavljeni Zbornik radova TZG 2026 donosi pregled aktualnih istraživanja i stručnih promišljanja te predstavlja vrijedan izvor informacija za znanstvenike, nastavnike, studente i stručnjake iz gospodarstva. Zbornik ujedno svjedoči o kontinuiranom razvoju znanstveno-stručnog savjetovanja TZG kao relevantne platforme za dijalog između obrazovanja, znanosti i industrije.

Zahvaljujemo svim autorima i koautorima na doprinosu, predavačima na kvalitetnim izlaganjima, kao i članovima organizacijskog i programskog odbora na uloženom trudu u realizaciji savjetovanja. Vjerujemo da će predstavljeni radovi i rasprave potaknuti daljnju suradnju te pridonijeti jačanju i održivom razvoju sektora Mode, tekstila i kože.

Zagreb, 27. siječnja, 2026.

Glavna urednica Zbornika:



Dr. sc. Maja Mahnić Naglić



# SADRŽAJ

---

**PREGLEDNI RADOVI**

Martina <b>GLOGAR</b> , Vesna <b>HAJSAN DOLINAR</b> i Ivana <b>ČORAK</b> Boja u edukacijskom i radnom okruženju - utjecaj kromatskih parametara u prostoru na kognitivnu i radnu učinkovitost .....	2
Slavenka <b>PETRAK</b> i Belma <b>KAPIĆ</b> VR tehnologije u razvoju i digitalizaciji odjevne industrije .....	8
Dominik <b>VUKUŠIĆ</b> , Sandra <b>BISCHOF</b> i Mitja <b>DURNIK</b> Infrastrukturni preduvjeti konkurentnih kružnih poslovnih modela u tekstilnoj industriji .....	14

**ZNANSTVENI RADOVI**

Stefana <b>BEGOVIĆ</b> , Alice <b>HUANG</b> i Anita <b>TARBUK</b> Utjecaj enzimske predobrade na hidrofilitnost tkanina iz poliestera, pamuka i njihove mješavine ...	20
Snježana <b>KIRIN</b> , Damir <b>KRALJ</b> i Anica <b>HURSA ŠAJATOVIĆ</b> Računalna analiza radnog mjesta u odjevnoj industriji .....	26
Ana <b>PALČIĆ</b> , Sandra <b>FLINČEC GRGAC</b> , Sanja <b>VUČKOVIĆ</b> i Iva <b>BRLEK</b> Primjena inkluzijskog kompleksa $\beta$ -ciklodekstrin-eterično ulje u dizajnu dekorativnih tkanina tehnikom tiska .....	32
Željko <b>PENAVA</b> Izračun debljine tkanine na temelju Peirce-ovog modela .....	38
Lucija <b>ŠIPRAK</b> i Ivana <b>ŠPELIĆ</b> Analiza potrošnje električne energije pri injekcijskom prešanju potplata za cipele.....	44
Snežana <b>UROŠEVIĆ</b> , Marina <b>JOVANOVIĆ</b> , Milovan <b>VUKOVIĆ</b> Kompetencije i kreativnost ljudskih resursa kao čimbenik konkurentnosti u tekstilnoj industriji .....	50

**STRUČNI RADOVI**

Valentina <b>ALINČIĆ</b> , Irena <b>ŠABARIĆ ŠKUGOR</b> i Franka <b>KARIN</b> Motivi Gustava Klimta kao inspiracija za kolekciju odjeće .....	58
Lea <b>BOTTERI</b> , Višnja <b>ŠARIĆ</b> , Iva <b>BRLEK</b> , Maja <b>MAHNIĆ NAGLIĆ</b> , Ana <b>PALČIĆ</b> i Selma <b>IMAMAGIĆ</b> Razvoj kreativnosti, praktičnih vještina i ekološke osviještenosti učenika kroz obrazovni projekt „Iglu šiva svoju priču“ .....	63
Petra <b>BRAĆ</b> i Emilija <b>ZDRAVEVA</b> Modifikacija uređaja za elektroispredanje iz taline .....	68
Kaja <b>ČUFER</b> , Tanja Nuša <b>KOČEVAR</b> Integracija kulturne baštine i 3D tehnologije u suvremenom tekstilnom dizajnu .....	74

Tihana <b>DEKANIĆ</b> , Ayna Emina <b>KAPETANOVIĆ</b> , Sandra <b>FLINČEC GRGAC</b> i Suzana <b>ĐORĐEVIĆ</b> Džins i generacija Z: Od ideje do tehnološke realizacije .....	80
Snježana <b>FIRŠT ROGALE</b> , Robert <b>MATAŠIĆ</b> i Dubravko <b>ROGALE</b> Razvoj metoda i uređaja za određivanje procesnih parametara visokotehnoloških tehnika spajanja polimernih materijala i njihova primjena u nastavi .....	86
Petra <b>KRPAN</b> Održive i spore tekstilne prakse i njihova uloga u modnom dizajnu .....	92
Amela <b>MLIVIĆ</b> Povijesni narativ u modi: trenutak mračnog romantizma (Dark romance) kao inspiracija u modnom dizajnu .....	99
Marija <b>PEŠIĆ</b> i Ineta <b>NEMEŠA</b> Uloga 3D projektiranja odjeće u obrazovanju inženjera za potrebe suvremene tekstilne Industrije .....	104
Kristina <b>ŠIMIĆ</b> , Ozana <b>MARTINČIĆ</b> , Sandra <b>FLINČEC GRGAC</b> i Ana <b>PALČIĆ</b> Identifikacija vlakana arheološkog tekstila .....	110
Stefani <b>VITLOV</b> , Blaženka <b>BRLOBAŠIĆ ŠAJATOVIĆ</b> i Franka <b>KARIN</b> Elementi cirkuskih kostima kao inspiracija za kolekciju odjeće .....	115
<b>INSTITUCIONALNI PROJEKTI</b>	
<b>AI3D-BioWear</b> - Održivi razvoj odjeće dodane vrijednosti: Digitalno prototipiranje, primjena umjetne inteligencije i biomaterijala, voditeljica projekta: prof. dr. sc. Slavenka Petrak .....	121
<b>FABO</b> - Granice mode (Fashion Borders): Interdisciplinarnе artikulacije odjeće i tekstila, voditeljica projekta: prof. dr. sc. Katarina Nina Simončić .....	122
<b>FUNK-TEX</b> - Istraživanje i razvoj održivih, funkcionalnih tekstilnih komponenti za kompozite nove generacije, voditeljica projekta: doc. dr. sc. Snježana Brnada .....	123
<b>IMPUP-TEX</b> - Interdisciplinarnе metodološke i umjetničke perspektive u suvremenim istraživanjima dizajna tekstila i tekstilne umjetnosti, voditeljica projekta: izv. prof. art. Josipa Štefanac .....	124
<b>RoDv</b> - Razvoj održive odjeće s dodanom vrijednošću, voditeljica projekta: izv. prof. dr. sc. Ksenija Doležal .....	125
<b>SIMBA-6</b> - Održiva sinteza i ispitivanje bojadisarskih svojstava novih 6-azobenzotiazolnih derivata i njihovih kompleksa s cinkom, voditelj projekta: prof. dr. sc. Livio Racané .....	126
<b>TRASH</b> - Transformacija i recikliranje otpadnog asortimana u sekundarni hit, voditeljica projekta: izv. prof. dr. sc. Ivana Špelić .....	127
<b>ZORA</b> - Zelene tehnologije u ekološkom dizajnu i razvoju održivih materijala, voditeljica projekta: prof. dr. sc. Ana Sutlović .....	128



**INDEKS  
AUTORA**

---

**Indeks autora**

<b>A</b>		<b>M</b>	
<b>ALINČIĆ, Valentina</b>	<b>58</b>	<b>MAHNIĆ NAGLIĆ, Maja</b>	<b>63</b>
<b>B</b>		<b>MARTINČIĆ, Ozana</b>	<b>110</b>
<b>BEGOVIĆ, Stefana</b>	<b>20</b>	<b>MATAŠIĆ, Robert</b>	<b>86</b>
<b>BISCHOF, Sandra</b>	<b>14</b>	<b>MLIVIĆ, Amela</b>	<b>99</b>
<b>BOTTERI, Lea</b>	<b>63</b>	<b>N</b>	
<b>BRAĆ, Petra</b>	<b>68</b>	<b>NEMEŠA, Ineta</b>	<b>104</b>
<b>BRLEK, Iva</b>	<b>32, 63</b>	<b>P</b>	
<b>BRLOBAŠIĆ ŠAJATOVIĆ, Blaženka</b>	<b>115</b>	<b>PALČIĆ, Ana</b>	<b>32, 63, 110</b>
<b>Č</b>		<b>PENAVA, Željko</b>	<b>38</b>
<b>ČORAK, Ivana</b>	<b>2</b>	<b>PEŠIĆ, Marija</b>	<b>104</b>
<b>ČUFER, Kaja</b>	<b>74</b>	<b>PETRAK, Slavenka</b>	<b>8</b>
<b>D</b>		<b>R</b>	
<b>DURNIK, Mitja</b>	<b>14</b>	<b>ROGALE, Dubravko</b>	<b>86</b>
<b>DEKANIĆ, Tihana</b>	<b>80</b>	<b>Š</b>	
<b>Đ</b>		<b>ŠABARIĆ ŠKUGOR, Irena</b>	<b>58</b>
<b>ĐORĐEVIĆ, Suzana</b>	<b>80</b>	<b>ŠARIĆ, Višnja</b>	<b>63</b>
<b>F</b>		<b>ŠIMIĆ, Kristina</b>	<b>110</b>
<b>FIRŠT ROGALE, Snježana</b>	<b>86</b>	<b>ŠIPRAK, Lucija</b>	<b>44</b>
<b>FLINČEC GRGAC, Sandra</b>	<b>32, 80, 110</b>	<b>ŠPELIĆ, Ivana</b>	<b>44</b>
<b>G</b>		<b>T</b>	
<b>GLOGAR, Martina</b>	<b>2</b>	<b>TARBUK, Anita</b>	<b>20</b>
<b>H</b>		<b>U</b>	
<b>HAJSAN DOLINAR, Vesna</b>	<b>2</b>	<b>UROŠEVIĆ, Snežana</b>	<b>50</b>
<b>HUANG, Alice</b>	<b>20</b>	<b>V</b>	
<b>HURSA ŠAJATOVIĆ, Anica</b>	<b>26</b>	<b>VITLOV, Stefani</b>	<b>115</b>
<b>I</b>		<b>VUČKOVIĆ, Sanja</b>	<b>32</b>
<b>IMAMAGIĆ, Selma</b>	<b>63</b>	<b>VUKOVIĆ, Milovan</b>	<b>50</b>
<b>J</b>		<b>VUKUŠIĆ, Dominik</b>	<b>14</b>
<b>JOVANOVIĆ, Marina</b>	<b>50</b>	<b>Z</b>	
<b>K</b>		<b>ZDRAVEVA, Emilija</b>	<b>68</b>
<b>KAPETANOVIĆ, Ayna Emina</b>	<b>80</b>		
<b>KAPIĆ, Belma</b>	<b>8</b>		
<b>KARIN, Franka</b>	<b>58, 115</b>		
<b>KIRIN, Snježana</b>	<b>26</b>		
<b>KOČEVAR, Tanja Nuša</b>	<b>74</b>		
<b>KRALJ, Damir</b>	<b>26</b>		
<b>KRPAN, Petra</b>	<b>92</b>		



**PREGLIEDNI  
RADOVI**

---

# BOJA U EDUKACIJSKOM I RADNOM OKRUŽENJU - UTJECAJ KROMATSKIH PARAMETARA U PROSTORU NA KOGNITIVNU I RADNU UČINKOVITOST

Martina GLOGAR<sup>1\*</sup>, Vesna HAJSAN DOLINAR<sup>2</sup>, Ivana ČORAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>Zamjenica županice Karlovačke županije, grad Karlovac

\* Adresa za korespondenciju: martina.glogar@tff.unizg.hr

**Sažetak:** Boja je snažan vizualni podražaj povezan s emocijama, pozornošću i pamćenjem te u edukacijskom i radnom okruženju može djelovati kao funkcionalan alat, a ne samo estetski odabir. Rad polazi od kritike pojednostavljenih tumačenja boje kroz opise “toplo/hladno” te naglašava potrebu za pristupom temeljenim na dokazima, u kojem se boja operacionalizira kroz mjerljive kolorističke parametre (ton, svjetlina, zasićenost) i njihovu interakciju s rasvjetom, materijalima i tipom zadatka. Pregled literature sintetizira nalaze o učincima boje na afektivne reakcije, psihofiziološke pokazatelje i ishode izvedbe (učenje, produktivnost, kreativnost), uz naglasak na kontekst i individualne razlike. Odabrani studiji slučaja prikazuju (1) koncept uravnotežene podražajnosti učionice (svijetla podloga uz kontrolirane naglaske), (2) eksperimentalne nalaze o povezanosti hladnijih konfiguracija učionice s boljom pozornošću i pamćenjem te (3) primjer iz prakse u kojem se boja uvodi kroz tekstilne akustične elemente kao modularan sloj. Empirijski dio temeljen na doktorskom istraživanju pokazuje kako se boja može definirati parametarski (RAL/CIELAB) i pratiti u realnom školskom kontekstu kombinacijom subjektivnih procjena i pokazatelja uspjeha, pri čemu svijetliji žuti i plavo-zeleni tonovi pokazuju povoljnije obrasce, dok tamniji crveni zahtijevaju pažljivo doziranje. Zaključno se ističe uloga tekstila kao promjenjivog nositelja boje i potencijal razvoja smjernica i paketnih rješenja u suradnji obrazovanja, dizajna i tekstilne industrije.

**Ključne riječi:** boja, koloristički parametri, pozornost i pamćenje, radna učinkovitost, tekstil kao nositelj boje

## 1. Uvod

Boja je jedan od najsnažnijih vizualnih podražaja u ljudskoj percepciji te djeluje kao informacijski kanal povezan s emocijama, pozornošću i pamćenjem. U edukacijskom i radnom kontekstu to znači da boja nije samo estetski odabir, nego alat koji može modulirati pobuđenost, podržati usmjerenost pozornosti, olakšati strukturiranje sadržaja i oblikovati doživljaj prostora. Ipak, u praksi se boja često tumači kroz pojednostavljene opise poput “smirujuće/poticajne” ili “toplo/hladno”, što nije dovoljno za razumijevanje stvarnih učinaka niti njihove kontekstualne promjenjivosti. Unatoč dokazanoj psiho-fizičkoj i psiho-emocionalnoj ulozi boje, njezino se planiranje nerijetko svodi na preferenciju ili trend, umjesto na pristup temeljen na dokazima: teorija boje oslanja se na eksperimentalne paradigme i mjerljive parametre (npr. svjetlinu, ton, zasićenost, spektralne karakteristike) [1, 2]. Stoga funkcionalni dizajn boje treba polaziti od mjerljivih kolorističkih parametara i njihovih interakcija s rasvjetom, materijalima i vrstom radne ili kognitivne aktivnosti, kako bi se boja mogla ciljano primijeniti za podršku koncentraciji, smanjenje stresa ili poticanje kreativnosti. Važno je naglasiti da boja u radnom i edukacijskom okruženju djeluje kao sustav podražaja različitih nositelja: zidnih ploha, akustičnih panela, tekstilnih elemenata, podnih obloga, pregrada i odjevnih komponenti povezanih s aktivnostima. U tom sustavu tekstil ima posebnu vrijednost jer, uz boju, utječe na taktilni doživljaj, akustiku i vizualni zamor, a pritom je promjenjiv i modularan te omogućuje brze prilagodbe bez građevinskih zahvata. To otvara prostor za razvoj primjenjivih smjernica i “paketa” rješenja (kombinacija boja i tekstilnih elemenata) prilagodljivih tipu aktivnosti i profilu korisnika, čime se istraživački uvidi mogu prevoditi u projektantske odluke i proizvode relevantne za sektor mode, tekstila i kože. Polazeći od navedenoga, cilj rada je sintetizirati nalaze o utjecaju boje radnog okruženja na koncentraciju i radnu učinkovitost te ih prevesti u smjernice kroz kolorističke parametre i kontekst primjene u edukacijskim i poslovnim prostorima, uz osvrt na odabrane empirijske nalaze kao primjer operacionalizacije boje u realnom okruženju.

## 2. Pregled literature

Istraživanja boje u radnim i edukacijskim interijerima razvijaju se na sjecištu okolišne psihologije, ergonomije i kognitivne znanosti, pri čemu se učinci boje tipično promatraju kroz tri skupine ishoda: afektivne reakcije (raspoloženje/emocije), psihofiziološke pokazatelje (pobuđenost, stres) i ishode izvedbe (produktivnost, kreativnost, učinkovitost). U opsežnom pregledu znanstvenih istraživanja o primjeni boje kao funkcionalnog čimbenika u radnom okruženju, Savavibool i suradnici sintetiziraju nalaze koji upućuju na to da se *plava* i *zelena* dosljedno smatraju najomiljenijim bojama, no ističu i da preferencije nisu univerzalne te ovise o dobi, spolu, kulturnom kontekstu, iskustvu i drugim individualnim razlikama. Autori naglašavaju da u radnom okruženju preferencije boja mogu biti povezane s raspoloženjem, doživljajem dobrobiti i izvedbom, pri čemu su emocionalne reakcije na boju u značajnoj mjeri povezane i sa značenjima koja se pojedinim bojama pripisuju. U sažetku emocionalnih učinaka, Savavibool i sur. navode da se *zelena* u više istraživanja povezuje s pozitivnim emocionalnim odgovorima i povezuje se s opuštanjem i srećom. Međukulturalna studija otkrila je pozitivan emocionalni status pri radu u višebojnom okruženju. Dobra shema boja poboljšat će cjelokupno raspoloženje radnika. Plava se u otvorenom okruženju doživljava pozitivnije od crvene, ali druge studije sugeriraju da se može percipirati i kao depresivna i manje privlačna. Crveno okruženje može se percipirati kao stimulirajuće, ali i kao ometajuće. Istraživanja dalje potvrđuju da crvena boja poboljšava kognitivne zadatke, dok rad u plavoj boji poboljšava kreativne zadatke. Bijeli zidovi obično se doživljavaju kao dosadni i nezanimljivi. Rad u bijelom okruženju rezultirao je najvećim brojem pogrešaka. Višebojno radno mjesto imalo je tendenciju poboljšanja performansi više od radnog mjesta s akromatskom shemom [1-4]. Navedene zaključke dodatno podupiru istraživanja Ceylana i sur., čiji rezultati pokazuju da hladne boje u radnom okruženju pojačavaju kreativnost, i pospješuju misaoni rad i potiču generiranje ideja, što autori povezuju s pretpostavkom da hladni tonovi imaju umirujući učinak, dok topli tonovi u nekim situacijama mogu dovesti do pretjerane pobuđenosti koja otežava održavanje koncentracije [5, 6]. Elliot (2015) u preglednom radu sintetizira teorijske pristupe i empirijske nalaze o povezanosti boje i psihološkog funkcioniranja te naglašava da se učinci boje ne mogu tumačiti izolirano od konteksta. Posebno ističe da se boja u istraživanjima mora precizno operacionalizirati kroz njezina temeljna svojstva, *ton*, *zasićenost*, *svjetlinu*, jer promjene u svjetlini i zasićenosti mogu dovesti do različitih afektivnih i ponašajnih ishoda čak i kod istog tona boje. Slijedom toga, Elliot upozorava da generalizacije tipa "plava smiruje" ili "crvena potiče" bez specifikacije parametara i uvjeta opažanja imaju ograničenu znanstvenu vrijednost [7, 8]. Jalila i suradnici analiziraju 40 prethodnih studija iz različitih disciplina s ciljem identificiranja učinaka boje/obojenog okruženja na ljudsko ponašanje, uključujući utjecaje na percepciju okoline i zadataka, raspoloženje i emocije te radnu učinkovitost. U metodološkoj sintezi navode četiri dominantna "bloka" varijabli u istraživanjima boje: procjene emocija, procjene performanse, fiziološke mjere te usporedbe stvarnog naspram simuliranog okruženja. Autori eksplicitno navode da je njihov daljnji istraživački smjer usmjeren na odnos boje interijera i studentske pozornosti/koncentracije tijekom aktivnog učenja. U zaključnom dijelu sintetiziraju da "prikladna boja" može pridonijeti duljem rasponu koncentracije u učenju, poboljšanju izvedbe i pozitivnijim emocijama/percepciji okoline. Također navode i suprotnu stranu: ignoriranje značaja boje može biti povezano s nepovoljnim ishodima poput smanjenih čitalačkih sposobnosti, više pogrešaka u izvršavanju zadataka, osjećaja pospanosti i manjka koncentracije, što se može odraziti na ukupnu studentsku izvedbu [9]. Küller, Mikellides i Janssens ispituju odnos boje interijera, psihofiziološke pobuđenosti i radne izvedbe kroz tri eksperimenta. Autori polaze od pretpostavke da boja prostora nije samo estetska komponenta, nego okolišni podražaj koji može modulirati stanje budnosti, doživljaj opterećenja i učinkovitost u radu. Posebno ističu važnost kontrole kolorističkih uvjeta (npr. uparivanje crvene i plave po relevantnim karakteristikama te provjera reflektancije/rasvjete), kako bi se učinci mogli pripisati boji, a ne razlikama u osvjetljenju ili svjetlini. U prvom eksperimentu, usporedba višebojnog, vizualno kompleksnog prostora i sivog prostora pokazuje EEG promjene koje upućuju na višu kortikalnu pobuđenost u višebojnom okruženju. U drugom eksperimentu, u plavoj prostoriji bilježe se EEG indikacije povezane s pospanošću, dok crveno okruženje pokazuje obrasce više aktivacije. Treći eksperiment povezuje boju s radnim ishodima kroz dva tipa zadataka: rutinski - precizni pregled tekst i kreativni - pisanje eseja. Rezultati ne podupiru "jednu optimalnu boju", nego upućuju na interakcije s emocionalnim stanjem: u crvenom prostoru sudionici u lošijem raspoloženju pokazuju veću produkciju (npr. više obrađenog teksta), ali uz veći udio propuštenih korekcija, što ukazuje na kompromis brzina-točnost. Zaključno, rad podupire pristup u kojem se boja projektira funkcionalno: učinci ovise o tipu zadatka i kriteriju uspjeha (točnost naspram brzine), a smjernice moraju uvažiti i individualne razlike te uvjete osvjetljenja i materijalnosti prostora [10, 11]. Sun, Qi, Zhan i Yin ispituju kako topli i hladni tonovi učionice utječu na percipirane emocije učenika, polazeći od pretpostavke da su emocije važan preduvjet pozornosti i psihološke udobnosti tijekom učenja. Istraživanje je provedeno u realnim učionicama s usporedivim uvjetima, pri čemu se jedna učionica temeljila na hladnom tonalitету (svijetloplava), a druga na toplom (žuta/narančasta). Rezultati pokazuju da na razini ukupnog emocionalnog učinka nema statistički značajne razlike između toplih i hladnih tonova, ali se razlike pojavljuju u specifičnim emocijama: hladni tonovi su povezani s izraženijim osjećajem smirenosti, dok topli tonovi pokazuju veću sklonost porastu razdraženosti/ljutnje. Autori dodatno bilježe razlike po spolu i dobi (razredu), što upućuje na to da učinci boje

nisu univerzalni. Rad zaključuje da se “toplo/hladno” treba tumačiti kao različit emocionalni profil prostora, a ne kao jednostavno bolje/lošije rješenje, te naglašava potrebu uključivanja preciznijih kolorističkih parametara u budućim istraživanjima [12]. Suvremena istraživanja učinka boje u prostoru metodološki se nadovezuju na ranije teorijske okvire koji boju tretiraju kao relacijski i kontekstualni fenomen. U tom smislu, Ittenov Bauhausovski koncept kontrasta (osobito svjetlo–tamno, zasićenost i kvantiteta/udio boje) predstavlja povijesno polazište koje se u recentnoj literaturi prevodi u kvantificirane kromatske parametre te ispituje kroz mjere pozornosti, emocija i izvedbe u realnim i simuliranim radno-edukacijskim okruženjima. Johannes Itten, jedan od ključnih pedagoga Bauhauusa i autor djela *Umjetnost boje (Kunst der Farbe, 1961)*, boju promatra kao dinamičan odnos perceptivnih, psiholoških i kompozicijskih čimbenika te inzistira na iskustvenom učenju boje kroz kontraste, harmonije i kontekst. Takvo polazište, da se boja ne tumači izolirano, nego u odnosu prema prostoru, materijalu i čovjeku, u suglasju je s istraživačkim i kreativnim pravcima, koji boju operacionaliziraju kroz mjerljive parametre i razmatraju je u stvarnim uvjetima uporabe. Johannes Itten u svojoj teoriji ističe sedam kontrasta boje, pri čemu su za dizajn prostora osobito relevantni kontrast svjetlo–tamno, kontrast zasićenosti (kvalitete) te kontrast kvantitete (udjela boje na ploham), jer izravno povezuju doživljaj boje sa svjetlinom, zasićenošću i količinom boje u vidnom polju. Time se naglašava da se “toplo” i “hladno” ne mogu tumačiti kao apsolutne kategorije, nego kao odnos koji se mijenja ovisno o susjednim bojama i kontekstu. Takav okvir podupire polazište da boju u edukacijskim i radnim okruženjima treba planirati parametarski i sustavno, uz uvažavanje rasvjete, materijalnosti i tipa zadatka, a ne kroz pojednostavljene psihologizirane opise [13].

### 3. Boja kao intervencija u prostoru: pregled studija slučaja u edukacijskim i radnim okruženjima

U nastavku se prikazuju odabrani studiji slučaja iz literature koji boju tretiraju kao **prostornu intervenciju** u edukacijskim i radnim okruženjima te njezin učinak vrednuju kroz mjerljive ishode (npr. napredak u učenju, pažnju, pogreške, kreativnost ili produktivnost). Primjeri su odabrani jer jasno opisuju metodologiju (dizajn intervencije, trajanje izlaganja, mjere i kriterije uspjeha), što omogućuje usporedbu različitih pristupa i identificiranje obrazaca koji su primjenjivi u praksi. Na taj se način otvara prijelaz prema vlastitim istraživanjima, u kojima se boja također operacionalizira kroz kromatske parametre i prati kroz kombinaciju subjektivnih i objektivnih pokazatelja.

#### 3.1 Studij slučaja: Projekt „Pametna učionica“ u okviru HEAD programa (Holistic Evidence and Design), proveden na Sveučilištu u Salfordu, Manchester, UK. – boja kao regulacija optimalne stimulacije

Projekt “Pametne učionice”, jedan je od najznačajnijih empirijskih primjera koji povezuje obilježja učionice s mjerljivim napretkom učenika. Autori su analizirali 153 učionice u 27 osnovnih škola te pratili napredak 3766 učenika u čitanju, pisanju i matematici tijekom jedne školske godine. U istraživanju djelovanje prostora na učenje promatra se kroz tri skupine čimbenika: (1) uvjeti svjetla, temperature i zraka u prostoriji; (2) individualizacija i pripadnost prostoru (npr. osjećaj da učionica „pripada“ skupini, mogućnosti personalizacije i fleksibilnost korištenja), (3) razinu stimulativnosti prostora (koliko je prostor u ostalim elementima stimulativan). U tom trećem sklopu boja se razmatra zajedno s vizualnom složenošću okruženja, jer obje dimenzije mogu utjecati na budnost i usmjerenost pozornosti: premalo vizualnih podražaja može ostaviti dojam monotonije, dok previše podražaja može otežati održavanje usmjerene pozornosti na zadatku učenja. Zaključno, autori izdvajaju sedam prostornih obilježja koja zajedno najbolje objašnjavaju razlike u napretku učenika: svjetlo, temperaturu, kvalitetu zraka, osjećaj pripadnosti prostoru, fleksibilnost korištenja i uređenja učionice, vizualnu složenost prostora i boju. Procjenjuju da kombinacija tih obilježja učionice objašnjava oko 16% varijabilnosti u učeničkom akademskom napretku, što je za realni (nekontrolirani) školski kontekst značajan učinak. Učinak boje u ovom istraživanju ulazi u koncept stimulacije i vizualne kompleksnosti prostora, jer obje dimenzije djeluju kao regulator pozornosti. Rezultati pokazuju da i previsoka i preniska razina stimulacije povezuje s lošijim uvjetima, a posljedično i lošijim rezultatima učenja, dok se najbolji ishodi dobivaju pri umjerenoj razini podražajnosti. U tom kontekstu, boje visokog intenziteta (odnos visoke svjetline i visoke zasićenosti) na velikim površinama ocijenjene su nepovoljnima, kao i potpuno bijeli zidovi bez kolorističkih elemenata. Najpovoljnijom se pokazala kombinacija svijetlih zidova uz jednu naglašenu plohu u jačoj boji. Budući da se boja u stvarnom prostoru ostvaruje kroz više nositelja (zidovi, namještaj, podne obloge i vizualne plohe), dizajn boje treba promatrati kao upravljanje ukupnim “kolorističkim opterećenjem” učionice. U tom smislu, tekstil ima stratešku ulogu jer je promjenjiv, modularan i relativno lako zamjenjiv sloj (tepsi, zavjese, tapecirani elementi, akustični paneli), kojim se može sezonski ili funkcionalno prilagođavati razina podražajnosti. Time se preporuka o svijetloj podlozi i kontroliranim naglascima može operacionalizirati kroz “pakete” tekstilnih rješenja za različite zone aktivnosti (fokus, suradnja, kreativni rad), bez potrebe za ponovnim bojanjem zidova [14, 15].

### 3.2 Studij slučaja: boja učionice i kognitivne funkcije učenja

Llinares i suradnici [literatura], istražuju može li boja učionice, kao kontrolirani element prostornog dizajna utjecati na dvije kognitivne funkcije povezane s učenjem: pozornost i pamćenje. Umjesto rada u stvarnim učionicama, gdje je teško istodobno kontrolirati rasvjetu, raspored i druge okolišne varijable, autori koriste virtualnu učionicu. Time dobivaju standardizirane uvjete i mogu uspoređivati veći broj kolorističkih konfiguracija. U standardiziranju i objektivizaciji boja autori se služe Munsellovim sustavom, i boje definiraju kroz tri osnovne kolorističke dimenzije: ton boje, svjetlinu i zasićenost. Svjetlinu drže konstantnom na srednjoj vrijednosti, što je u Munsellovom sustavu vrijednost 5, dok sustavno variraju tople i hladne tonove (po četiri u svakoj skupini) te dvije razine zasićenosti. U istraživanju sudjeluje 160 studenata, svaki sudionik promatra tri konfiguracije učionice, nakon čega rješava dva zadatka: zadatak pozornosti te zadatak pamćenja. Uz to se bilježe neurofiziološki pokazatelji srčanog ritma kao indikator autonomne aktivacije te EEG u beta i višoj beta zoni, koje autori povezuju s budnošću, usmjerenom pozornošću i radnim pamćenjem. Dobiveni rezultati prilično su jasni: na zadatku pozornosti vrijeme reakcije se ne razlikuje značajno između „toplih“ i „hladnih“ učionica, ali se razlikuje točnost. U „hladnim“ konfiguracijama sudionici rade manje pogrešaka, što upućuje na stabilniju usredotočenost. Na zadatku pamćenja učinak je još izraženiji: u „hladnim“ konfiguracijama sudionici se prisjećaju više riječi nego u „toplim“, uz statistički značajnu razliku. Neurofiziološki nalazi idu u istom smjeru. U „hladnim“ konfiguracijama pojavljuje se obrazac više aktivacije, što u mjerama srčanog ritma znači veća simpatička i niža parasimpatička komponenta, a EEG pokazatelji u beta i višoj beta zoni su viši. Ovakvi rezultati sugeriraju da učinak boje nije samo stvar subjektivnog dojma o prostoru, nego ima uporište u promjenama budnosti i kognitivne spremnosti [16].



Slika 1. Primjer učionice s obilježjima studija slučaja 3.1.



Slika 2. Koncept istraživanja iz studija slučaja 3.2.

### 3.3 Studij slučaja: Tekstil kao modularni nositelj boje: primjer iz prakse dizajna interijera

U nastavku se prikazuje studij slučaja iz prakse uređenja uredskog prostora u kojem je boja uvedena prvenstveno kroz tekstilne akustične elemente [17]. U praksi se koloristička strategija radnog prostora rijetko svodi na "boju zida", nego se ostvaruje kroz sustav nositelja boje (strop, namještaj, pod i tekstil). Slika 3 prikazuje ured u kojem je dominantan akcentni ton uveden kroz tekstilne akustične elemente postavljene na stropu, dok su zidovi i većina ploha zadržani u svijetlim akromatskim vrijednostima. Time se jasno demonstrira kako tekstil može preuzeti ulogu modularnog, promjenjivog sloja boje koji se može prilagođavati bez građevinskih zahvata. Narančasto-crveni tonovi u prikazanom primjeru, spektralno su pozicionirani između crvene i žute, u sebi nose udio žute koja doprinosi briljantnosti i svjetlini u odnosu na potpuno crvenu, uz zadržavanje svih pozitivnih karakteristika čiste crvene. Ovime se postiže dvostruki učinak, s jedne strane visoka zasićenost daje snažan kontrast prema neutralnoj pozadini (bijelo/sivo), pa je za postizanje jasne kolorističke identifikacije prostora dovoljna relativno mala količina boje. S druge strane, pomak prema žutom spektru daje ovim tonovima veću optičku svjetlinu i doživljaj živosti, ali bez karakteristične oštrote i stimulativnosti čiste žute boje. Drugim riječima, narančasta boja djeluje kao svojevrsan stabilizator: omogućuje zadržavanje briljantnosti i energije koje žuti dio spektra nosi, ali umanjuje „opasnost“ hiperstimulacije i iritacije koji se ponekad veže uz vrlo svijetle, visoko zasićene žute tonove. U odnosu na to, crvena u užem smislu češće djeluje dominantno i zahtijeva pažljivije definiranje udjela, jer pri većim

zasićenostima može izgledati masivno i stvarati doživljaj pritiska na vidno polje. Crveno-narančasti tonovi ublažavaju taj učinak, zadržavaju jasnu toplinu i signalnu snagu crvene, ali zahvaljujući žutoj komponenti djeluju svjetlije i društvenije, što ih čini posebno pogodnima za akcentnu primjenu u neutralnim, dobro osvijetljenim interijerima. U funkcionalnom smislu, ovakvi crveno-narančasti akcenti vjerojatno će djelovati kao podizač razine pobuđenosti i "budnosti" u prostoru, što može podržati angažman i radni tempo, osobito u zonama suradnje i kraćih, dinamičnih aktivnosti.



**Slika 3.** Tekstilni akustični paneli kao nositelji kolorističkih akcenata u svijetlom uredskom interijeru

Međutim, upravo zbog visoke zasićenosti i signalne snage crvenog spektra, prevelika količina ili prevelika blizina radnoj plohi može povećati osjetljivost na podražaje i otežati održavanje dugotrajne usmjerene pozornosti u zadacima koji traže visoku preciznost i mirnu koncentraciju. U tom smislu, crveno-narančasta je pogodna kao kontrolirani akcent koji "aktivira" prostor, dok se za zone dubokog fokusa preporučuje vizualno mirnija podloga. Što se tiče kreativnosti, ovakvi tonovi mogu biti korisni kada je cilj potaknuti energiju, inicijativu i brže generiranje ideja u timskom radu, no za kreativne zadatke koji traže dulje uranjanje i istraživačko razmišljanje često se bolje pokazuje uravnotežena podražajnost, uz manje dominantne akcente. Zato je ključno zoniranje: crveno-narančasti tekstilni elementi mogu označiti "aktivne" dijelove prostora, dok se mirnije sheme zadržavaju u zonama učenja, analitičkog rada i zadataka visoke točnosti.

#### 3.4 Autorsko istraživanje: utjecaj boje okruženja na radne i kognitivne učinke osnovnoškolske djece

U autorskom istraživanju provedenom u sklopu doktorskog rada autorice Vesne Hajsan Dolinar, ispitivao se utjecaj boje na kognitivne i radne učinke djece osnovnoškolskog uzrasta [18]. U ovom istraživanju boje su primijenjene kao skup mjerljivih kolorističkih parametara (tona, svjetline, i zasićenosti), definiranih prema RAL sustavu uređenosti boja i prevedenih u CIELAB vrijednosti. Kao završna, ciljana shema za učionicu razredne nastave i dvije učionice predmetne nastave izabrane su sljedeće boje: za učionicu razredne nastave izabrana je žuta RAL 095 90 40 ( $h^* \approx 94,31$ ;  $L^* \approx 89,03$ ;  $C^* \approx 40,6$ ), za učionicu predmetne nastave fizika/kemija/biologija izabran je plavo-zeleni ton RAL 240 80 20 ( $h^* \approx 234$ ,  $L^* \approx 80$ ,  $C^* \approx 19$ ), a za učionicu predmetne nastave hrvatskog jezika izabran je tamniji crveni ton RAL 020 30 40 ( $h^* \approx 16$ ,  $L^* \approx 31$ ,  $C^* \approx 38$ ).



**Slika 4.** Primjer a) i b) učionice razredne nastave, c) učionica fizike/kemije/biologije; d) učionica Hrvatskog jezika

Učinci boje praćeni su dvostruko: (1) nakon dvotjedne prilagodbe provedena je anketa doživljaja prostora (izbor 5 od 29 pridjeva) i (2) analiziran je školski uspjeh u razdoblju od tri godine prije i tri godine nakon bojenja zidova (opći uspjeh za razrednu nastavu te uspjeh po predmetima za predmetnu nastavu). Rezultati pokazuju prepoznatljiv obrazac. Za žutu učionicu učenici su birali pozitivne opise (npr. "veselo", "udobno", "radno"), uz interpretaciju da odabrani odnos svjetline i zasićenosti daje poticajnu atmosferu bez prenaplašene stimulacije. U skladu s time, u razdoblju nakon bojanja zabilježen je porast zastupljenosti odličnog općeg uspjeha u razrednoj nastavi. Za crvenu učionicu rezultati su bili drugačiji: u praćenju ocjena pojavljuje se izraženiji porast dovoljnih ocjena, a crveni ton je u anketi češće opisan više negativnim pridjevima. Zanimljivo je da je i u samoj primjeni crveni ton tretiran kao akcent (ne kao potpuno "prekrivanje" prostora), što se eksplicitno povezuje s preporukama iz literature da se intenzivniji crveni tonovi koriste ograničeno i ciljano, a ne kao dominantna boja cijelog prostora. Upravo zbog ovih nalaza u završnoj fazi rada definiran je korigirani crveni ton s većom žutom komponentom (viša svjetlina i zasićenost; RAL 030 40 60,  $h^* \approx 25$ ,  $L^* \approx 44$ ,  $C^* \approx 50$ ) i primijenjen je na stražnji zid učionice razredne nastave, u zoni aktivnog, kreativnijeg dijela nastave, dok su prednji i bočni zidovi ostali u žutoj. Kod plavo-zelenog tona boje, odnos visoke svjetline i niske zasićenosti, daje vrlo svijetlu, smirenu varijantu hladnog tona, koja objedinjuje kvalitete plave, zelene i bijele. U praćenju uspjeha u prirodoslovnim predmetima zabilježen je porast odličnih

ocjena, uz indikativan nalaz da se nakon bojanja zidova negativne ocjene iz fizike i kemije više ne pojavljuju u promatranom razdoblju.

#### 4. Zaključak

Ovaj rad pokazuje da se boja u edukacijskom i radnom okruženju ne može pouzdano planirati na razini općih dojmova ("toplo/hladno"), nego kao funkcionalna dizajnerska varijabla koja se operacionalizira kroz mjerljive kolorističke parametre (svjetlina, zasićenost i ton) te njihovu interakciju s rasvjetom, materijalima i tipom zadatka. Pregled literature i studiji slučaja potvrđuju kontekstualnost učinaka boje te upućuju da su povoljniji ishodi često povezani s uravnoteženom razinom vizualne podražajnosti, odnosno svjetlom podlogom uz kontrolirane naglaske. Empirijski dio temeljen na doktorskom istraživanju pokazuje da se učinci boje mogu pratiti i u realnom školskom kontekstu kombinacijom subjektivnih procjena i pokazatelja uspjeha. Pri tome su svijetliji žuti i plavo-zeleni tonovi povezani s povoljnijim obrascima doživljaja prostora i školskog uspjeha, dok tamniji crveni tonovi zahtijevaju pažljivije doziranje. Konačno, rad naglašava da se boja u prostoru ostvaruje kroz različite nosioce, pri čemu tekstilni elementi predstavljaju modularan sloj kojim se podražajnost može precizno prilagođavati bez građevinskih intervencija, uz potencijal razvoja smjernica i "paketa" rješenja u suradnji obrazovanja, dizajna i tekstilne industrije.

**Izjava o korištenju AI alata:** AI alati korišteni su za generiranje slika.

#### Literatura

- [1] Savavibool, N.; Gatersleben, B.; Moorapun, C.: The Effects of Colour in Work Environment: A systematic review, *Asian Journal of Behavioural Studies*, 3 (2018) 13, 149-160
- [2] Küller, R. et al.: The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environments. *Ergonomics*, 49 (2006) 14, 1496-1507
- [3] Baniani, M.; Yamamoto, S.: A comparative study on correlation between personal background and interior color preference. *Color Research & Application*, 40 (2015) 4, 416-424
- [4] Mehta, R.; Zhu, R.J.: Blue or red? Exploring the effect of color on cognitive task performances. *Science*, 323 (2009) 5918, 1226-1229
- [5] Ceylan, C.; Dul, J.; Aytac, S.: Can the office environment stimulate a manager's creativity? *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 18 (2008) 6, 589-602
- [6] Dul, J.; Ceylan, C.; Jaspers, F.: Knowledge workers' creativity and the role of the physical work environment. *Human resource management*, 50 (2011) 6, 715-734
- [7] Elliot, A.J. et al.: Color and psychological functioning: the effect of red on performance attainment. *Journal of experimental psychology: General*, 136 (2007) 1, 154.
- [8] Elliot, A. J.: Color and psychological functioning: a review of theoretical and empirical work, *Frontiers in Psychology*, 6 (2015), doi: 10.3389/fpsyg.2015.00368
- [9] Jalila, N.A.; Yunusb, R.M.; Saidc, N.S.: Environmental Colour Impact upon Human Behaviour: A Review, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 35 (2012), 54 – 62
- [10] Küller, R.; Mikellides, B.; Janssens, J.: Color, Arousal, and Performance - A Comparison of Three Experiments, *Color Research and Applications*, 34 (2009) 2, 141 – 152
- [11] Bower, I.S. et al.: Built environment color modulates autonomic and EEG indices of emotional response, *Psychophysiology*, 59 (2022) 12, doi: 10.1111/psyp.14121
- [12] Sun, Y.; Qi, N.; Zhan, J.; Yin, J.: The Impact of Cool and Warm Color Tones in Classrooms on the Perceived Emotions of Elementary School Students in Northwest China, 14 (2024), <https://doi.org/10.3390/buildings14103309>
- [13] Itten, J.: *The Elements of Color: A Treatise on the Color System of Johannes Itten Based on His Book the Art of Color*, Van Nostrand Reinhold, ISBN 0442240384, New York USA, (1970)
- [14] Barrett, P.; Davies, F.; Zhang, Y.; Barrett, L.: The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis, *Building and Environment* 89 (2015), 118-133
- [15] Barrett, P.S.; Zhang, Y.; Davies, F.; Barrett, L.C.: *Clever classrooms: Summary report of the HEAD project*, Dostupno na: <https://salford-repository.worktribe.com/>, Pristupljeno: 10-01-2026.
- [16] Linares, C.; Higuera-Trujillo, J.L.; Serra, J.: Cold and warm coloured classrooms. Effects on students' attention and memory measured through psychological and neurophysiological responses, *Building and Environment*, 196 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107726>
- [17] Case Study Acoustic Baffles Manchester, Dostupno na: <https://www.tvs-acoustics.com/case-study-acoustic-baffles-manchester/>, Pristupljeno: 06-01-2026.
- [18] Hajsan Dolinar, V.: Utjecaj spektralnih karakteristika boja odjeće i boja radnog okruženja na uspješnost i ponašanje učenika osnovnoškolskog uzrasta, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, (2015)

# VR TEHNOLOGIJE U RAZVOJU I DIGITALIZACIJI ODJEVNE INDUSTRIJE

Slavenka PETRAK<sup>1\*</sup>, Belma KAPIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tekstilno tehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Prilaz Baruna Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska;

<sup>2</sup> Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću, Ul. dr. Irfana Ljubijankića bb, Bihać, Bosna i Hercegovina

\* Adresa za korespondenciju: slavenka.petrak@ttf.unizg.hr

**Sažetak:** Virtualna stvarnost sve se češće prepoznaje kao tehnologija s potencijalom da značajno unaprijedi digitalnu transformaciju odjevne industrije, utječući na procese dizajna, proizvodnje, maloprodaje i marketinga. Ovaj rad donosi pregled relevantnih znanstvenih istraživanja objavljenih u razdoblju od 2020. do 2025. godine koja se bave primjenom VR-a u kontekstu odjevne industrije, s posebnim naglaskom na virtualno isprobavanje odjeće, digitalne procese dizajna i izrade prototipova, imerzivna maloprodajna iskustva te percepciju i odgovore korisnika. Sustavnim pretraživanjem znanstvenih baza podataka, u detaljnu analizu su uključeni relevantni radovi prema PRISMA smjernicama. Analiza odabranih radova pokazuje da VR rješenja mogu doprinijeti realističnijoj procjeni pristajanja odjeće, povećanom angažmanu korisnika i učinkovitijim razvojnim tijekovima rada. Međutim, rezultati također ukazuju na to da se većina postojećih istraživanja temelji na eksperimentalnim postavkama, malim uzorcima ispitanika i prototipskim sustavima, što ograničava razumijevanje dugoročnih učinaka i stvarne primjene VR-a u industrijskom okruženju. Rad stoga naglašava potrebu za daljnjim istraživanjima usmjerenima na dugoročnu evaluaciju, bolju tehničku integraciju i razvoj jasnih evaluacijskih kriterija kako bi se potencijal virtualne stvarnosti mogao pouzdano i održivo primijeniti u praksi.

**Ključne riječi:** virtualna stvarnost (VR); digitalni blizanac; sustavi virtualnog isprobavanja (VTO); VR maloprodaja; korisničko iskustvo; digitalna transformacija

## 1. Uvod

Digitalna transformacija odjevne industrije posljednjih godina ubrzano napreduje pod utjecajem tehnoloških inovacija koje omogućuju virtualizaciju procesa dizajna, proizvodnje i korisničkog iskustva. Pritisci globalizacije, ubranog tržišnog ciklusa, rastućih zahtjeva za personalizacijom, te sve snažnijeg pritiska održivosti, uvjetovali su brzu integraciju digitalnih tehnologija u gotovo sve faze lanca vrijednosti odjevne industrije. Posebnost odjevne industrije u odnosu na druge proizvodne sektore ogleda se u snažnoj povezanosti tehničkih, estetskih i psiholoških aspekata proizvoda. U tom kontekstu, termin *Fashion 4.0* postaje centralni koncept: industrijski ekosustav za sveobuhvatnu virtualizaciju proizvodnih procesa [1].

Odjevni predmet istodobno je funkcionalni objekt, kulturni artefakt i sredstvo osobnog izražavanja. Upravo zbog te višeslojnosti, VR tehnologije imaju potencijal djelovati kao integrativna platforma. Za razliku od ranijih digitalnih alata koji su primarno služili kao podrška vizualizaciji ili automatizaciji pojedinih faza proizvodnje, virtualna stvarnost (*eng. Virtual Reality – VR*) uvodi kvalitativno novu razinu interakcije kroz potpuno imerzivna, trodimenzionalna okruženja. Time se omogućuje neposredna evaluacija odjevnih proizvoda u kontekstu tijela, pokreta i prostora. Unutar ovog šireg okvira, virtualna stvarnost se izdvaja kao tehnologija s izuzetnim potencijalom da redefinira načine na koje kompanije dizajniraju, produciraju, prezentiraju, distribuiraju i prodaju odjeću. VR korisnika uranja u potpuno digitalno okruženje - omogućavajući iskustva, procjene i interakcije koje ranije nisu bile moguće [2]. Od 2020. godine, nagli porast potražnje za digitalnim rješenjima u odjevnoj industriji, dijelom potaknut pandemijom COVID-19, doveo je VR iz periferije u središte istraživačkog interesa [3]. Tradicionalne metode fizičkog prototipiranja, marketinga i maloprodaje bile su ograničene, a industrija je bila prisiljena tražiti digitalne alternative. Kao odgovor na te izazove, industrijski sektor i akademska zajednica intenzivirali su razvoj virtualnih rješenja za isprobavanje odjeće, digitalne trgovine, udaljenu suradnju dizajnerskih timova i virtualne prezentacije. Broj znanstvenih radova o VR-u u odjevnoj industriji porastao je eksponencijalno, posebno u područjima:

- virtualnog isprobavanja odjeće,
- VR maloprodajnih prostora,
- VR prototipiranja i digitalnog razvoja proizvoda i
- VR marketinga.

Uprkos naglom porastu broja znanstvenih i stručnih radova, noviji publicirani radovi i druge stručne publikacije su izrazito fragmentirane. Naime, novije publikacije su rezultat istraživanja autora iz različitih znanstvenih područja - računalstva, dizajna, tekstilnog inženjerstva, marketinga, psihologije korisnika, pa čak i kognitivnih znanosti. Zbog toga nema jedinstvene metodološke osnove, nalazi su raspršeni i teško usporedivi, evaluacijske metrike nisu standardizirane, tehnološki pojmovi se koriste nedosljedno, a mali broj istraživanja sagledava stvarne industrijske učinke.

S obzirom na navedeno, ističe se jasna potreba za sustavnim pregledom rezultata prethodnih istraživanja, koji objedinjuje, mapira i kritički analizira postojeća saznanja. Dosadašnji pregledni radovi uglavnom su usmjereni na pojedinačne aspekte, bez integriranog sagledavanja cijelog životnog ciklusa odjeće. Nadalje, metodološke razlike među istraživanjima, neujednačeni evaluacijski kriteriji i nedostatak dugoročnih empirijskih analiza otežavaju usporedbu rezultata i procjenu stvarnog industrijskog učinka VR tehnologija. Stoga, cilj ovoga rada je pružiti sveobuhvatan sustavni pregled znanstvenih istraživanja objavljenih između 2020. i 2025. godine, koja se bave primjenom virtualne stvarnosti u razvoju, proizvodnji, distribuciji i konzumaciji odjeće. Specifični doprinos rada očituje se u:

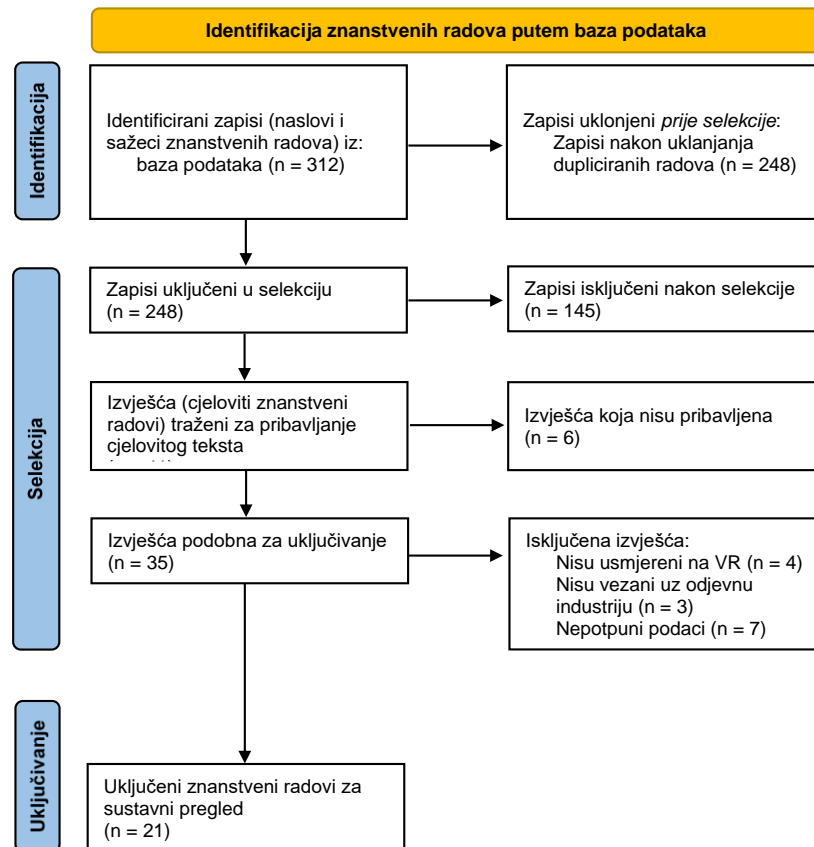
- klasifikaciji postojećih istraživanja u jasno definirana tematska područja;
- identifikaciji istraživačkih praznina relevantnih za akademsku i industrijsku zajednicu;
- kritičkoj analizi tehnoloških i metodoloških ograničenja; te
- prijedlogu budućih istraživačkih pravaca, usmjerenih na održivu i skalabilnu primjenu VR tehnologija u odjevnoj industriji.

## 2. Metodologija

Ovo poglavlje opisuje metodološki pristup i postupke korištene u ovom radu, s ciljem sustavnog istraživanja primjene VR tehnologija u odjevnoj industriji. U radu je primijenjen PRISMA (*eng. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) pristup te kriterij uključenja i isključenja, za jasno definiranje faza pretraživanja, selektiranja i analiziranja relevantne literature. PRISMA metodologija korištena je kako bi se identificirala, evaluirala i sintetizirala literatura koja se odnosi na VR tehnologije u odjevnoj industriji. Proces je obuhvatio četiri osnovne faze: identifikaciju izvora, preliminarnu provjeru, procjenu podobnosti i konačnu selekciju radova za analizu. U fazi identifikacije, literatura je prikupljena iz primarnih baza poput Web of Science, Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect i SpringerLink, ali i iz dodatnih izvora poput Research Gate-a, Google Scholar-a i tehničke dokumentacije CAD alata za digitalni razvoj odjeće poput CLO i VStitcher. Nakon uklonjenih dupliciranih radova, screening je uključivao provjeru naslova i sažetaka, čime su eliminirani radovi koji se nisu odnosili na primjenu VR tehnologija u odjevnoj industriji. Procjena podobnosti obuhvatila je detaljnu analizu cjelovitih tekstova, s posebnim naglaskom na kvalitetu metodologije i relevantnost za istraživačke ciljeve.

Strategija pretraživanja oblikovana je tako da obuhvati interdisciplinarnu prirodu teme, uključujući tekstilnu tehnologiju, 3D modeliranje, digitalne simulacije i VR alate u odjevnoj industriji. Ključne riječi su kombinirane pomoću Booleovih operatora, primjerice: „virtual reality AND clothing/apparel industry AND CAD 3D simulation“, „garment simulation AND physics-based modeling“, ili „digital try-on AND immersive experience“. Ove kombinacije omogućile su uključivanje radova koji pokrivaju sve aspekte primjene VR tehnologija u odjevnoj industriji: od dizajna i prezentacije odjeće, preko simulacije digitalnih blizanaca (*eng. Digital Twin*), do procjene održivosti proizvodnih procesa i evaluacije korisničkog iskustva. Isključeni su radovi koji se primarno bave računalnim igrima, marketingom ili modnim kolekcijama bez digitalnog sustava isprobavanja, kao i radovi koji nemaju pristup cjelovitom tekstu ili nisu recenzirani.

Konačan uzorak od 21 znanstvenog rada uključenog u pregled (Slika 1.) je ponajprije posljedica ograničenog broja znanstvenih radova koji u potpunosti ispunjavaju definirane kriterije uključenja i isključenja. Razlog tome leži u činjenici da je broj potpuno razvijenih i implementiranih VR sustava u odjevnoj industriji još uvijek jako malen, pri čemu se većina postojećih rješenja pojavljuje u obliku prototipova, pilot-projekata ili eksperimentalnih demonstracija najčešće za marketinške svrhe. To upućuje na ranu fazu znanstvene zrelosti ovog istraživačkog područja, uvjetovanu prvenstveno metodološkim te tehnološkim i industrijskim ograničenjima, a ne nedostatkom istraživačkog interesa.



Slika 1. PRISMA dijagram

### 3. Tematski pregled literature (2020–2025)

U okviru ovog rada provedena je sustavna klasifikacija literature koja se bavi primjenom tehnologija virtualne stvarnosti u odjevnoj industriji, pri čemu je identificirano pet dominantnih i međusobno povezanih tematskih područja: sustavi virtualnog isprobavanja odjeće i digitalne reprezentacije korisnika, virtualna maloprodaja, VR marketinška komunikacija, korisničko iskustvo te razvoj proizvoda i održiva proizvodnja. Ovakva klasifikacija omogućila je jasnije mapiranje istraživačkih fokusa i tehnoloških trendova, ali i uočavanje razlika između akademskih istraživanja i industrijskih prioriteta. Sustavni pregled pokazuje da je istraživačka aktivnost najintenzivnija u području virtualnog isprobavanja (*eng. Virtual Try-On – VTO*) sustava koji se ističe kao ključni alat za poboljšanje korisničkog iskustva i smanjenje nesigurnosti pri online kupnji. Cilj ovih sustava je omogućiti korisnicima da interaktivno vizualiziraju odjevne predmete u realnom vremenu, bez fizičkog kontakta [4]. Tehnološki napredak u periodu 2020–2025 značajno je unaprijedio virtualno isprobavanje odjeće kroz integraciju umjetne inteligencije (UI) i naprednih modela dubokog učenja (*eng. Deep Learning*). Primjena dubokog učenja omogućava generiranje realističnih 3D avatara i simulaciju različitih tekstura tkanina, dok fizikalne metode digitalne simulacije tekstilnih materijala omogućavaju precizno prikazivanje pada, prostornog oblikovanja i pokreta tkanine u interakciji s tijelom korisnika [5]. Pose-aware algoritmi dodatno poboljšavaju realističnost, tako što simuliraju odjeću u različitim pozama i pokretima, čime se smanjuje nesigurnost u procjeni pristalosti odjeće. Precizna reprezentacija tjelesne raznolikosti i proporcija korisnika još uvijek je izazov, a modeli često favoriziraju standardizirane veličine i tipove tijela [6]. Postoje indicije da virtualno isprobavanje odjeće može utjecati na percepciju tijela i standarde ljepote, posebno kod mladih korisnika [7]. Realistična simulacija tekstura specifičnih materijala, poput npr. svile, brokata ili veza, također predstavlja izazov, uz ograničenja u kapacitetu u grafičke procesorske jedinice (*eng. Graphics Processing Unit, GPU*) i renderiranju u realnom vremenu (*eng. Real-Time Rendering*) [5,8]. U usporedbi s dominantnim istraživanjima u području razvoja sustava virtualnog isprobavanja, stručna literatura i istraživanja o virtualnoj maloprodaji u odjevnoj industriji razvijaju se nešto sporije, iako se postepeno operacionaliziraju - radovi češće analiziraju VR trgovine uopćeno, kao višedimenzionalni prostor u kojem se kombiniraju dizajn interijera, interakcijski obrasci i kognitivni odgovori korisnika [9]. Ovi sustavi omogućavaju korisnicima da dožive potpuno uronjeno iskustvo kupnje, uključujući pregled i manipulaciju odjećom u digitalnom okruženju, koje simulira fizičku trgovinu ili kreira potpuno novi virtualni prostor, značajno povećava hedoničku vrijednost kupnje i ukupno zadovoljstvo korisnika u usporedbi s tradicionalnim 2D e-commerce platformama [10]. Ipak, neki korisnici prijavljuju kognitivno preopterećenje ili nelagodu, posebno kod dužeg korištenja VR zaslona za glavu, što ukazuje na potrebu za optimizacijom korisničkog

iskustva i ergonomije uređaja [11]. Međutim, dugoročni psihološki efekti ovih HCI (*eng. Human-Computer Interaction*) iskustava još uvijek su nedovoljno istraženi. Posebno se ističe pomak prema istraživanjima koja povezuju VR trgovine s mjerljivim ponašanjima korisnika, poput vremena zadržavanja, percepcije kvalitete proizvoda i namjere kupnje [9,12]. U literaturi koja se bavi virtualnom maloprodajom, marketinška komunikacija se često razmatra kao paralelna, ali metodološki zasebna tematska cjelina. Iako je primarno povezana s maloprodajnim okruženjima, suvremena istraživanja VR marketinga razvijaju vlastite analitičke okvire i istraživačke metode, pri čemu se u odjevnoj industriji fokusiraju na analizu promotivnih kampanja. Autori ističu da VR omogućuje prijenos narativa brenda, kroz prostorno i iskustveno bogate formate koji nadmašuju tradicionalne digitalne medije. Na primjer, VR modne revije omogućavaju korisnicima da prisustvuju virtualnim događajima, interaktivno pregledavaju digitalne blizance odjeće i doživljavaju odjevnu estetiku na način koji nadmašuje tradicionalne video ili fotografske prezentacije [11]. Također, prihvatljivost VR modnih revija može varirati ovisno o kulturnom kontekstu i prethodnom iskustvu s tehnologijom, što naglašava potrebu za međukulturalnim istraživanjima [13]. Takva povezanost dizajna korisničkog sučelja i marketinških aktivnosti omogućuje optimizaciju kampanja, personalizaciju ponuda i smanjenje troškova fizičkih promotivnih događaja, čime se kombinira komercijalni efekt s principima održivosti [1]. VR se na taj način pozicionira ne samo kao tehnološki, već i strateški marketinški alat - virtualne kabine i izložbeni prostori služe kao kanali za prezentaciju odjeće, a istovremeno omogućavaju prikupljanje podataka o ponašanju korisnika, preferencijama i afektivnim reakcijama. Osim što VR tehnologije imaju potencijal u optimizaciji marketinških i maloprodajnih strategija te poboljšanju korisničkog iskustva, njihov doprinos održivosti u odjevnoj industriji bi mogao biti višeslojan - omogućava simulaciju različitih scenarija vizualizacije, proizvodnje i distribucije bez stvarnog trošenja materijalnih i energetskih resursa [14]. Primjena VR tehnologije u održivoj proizvodnji još nije dovoljno istražena; iako se neki radovi osvrću na potencijal smanjenja otpada kroz virtualizaciju odjevne industrije [15], malo je empirijskih dokaza koji kvantificiraju utjecaj na okoliš i troškove. Razlog bi mogli biti visoki troškovi licenciranja, potreba za naprednim računalnim sustavima i zahtjevna krivulja učenja za dizajnere, što ograničava širu primjenu VR-a u manjim ili srednjim tvrtkama. S druge strane, uočene su značajne prednosti VR tehnologija u dizajniranju i prototipiranju u pogledu efikasnosti i preciznosti razvoja odjeće [16]. VR omogućava dizajnerima i proizvodnim timovima da surađuju u realnom vremenu na virtualnim prototipima i podržava kolaborativni dizajn, gdje više članova tima, često raspoređenih geografski, može istovremeno pregledavati i prilagođavati prototipove [17]. Povratne informacije u realnom vremenu ubrzavaju iteracije i smanjuju potrebu za višestrukim fizičkim uzorcima [14].

#### 4. Kritički izazovi i ograničenja VR-a u odjevnoj industriji

Iako virtualna stvarnost nudi značajne prednosti, postoje brojni tehnički, ljudsko-računalni, industrijski i etički izazovi koji ograničavaju široku primjenu u odjevnoj industriji. Jedan od glavnih tehničkih izazova je kompromis između simulacije modela u realnom vremenu i vizualne realističnosti. Još uvijek ne postoji univerzalni standard za mjerenje realističnosti digitalnih odjevnih predmeta, što otežava usporedivost rezultata. U znanstvenoj i stručnoj literaturi najčešće se navode dvije metode za simulaciju ponašanja tekstilnih materijala u CAD sustavima za razvoj digitalne odjeće: metode mase i opruge (*eng. Mass-spring*) te metode konačnih elemenata (*eng. Finite Element Method – FEM*). Metode mase i opruge omogućuju relativno jednostavnu implementaciju i brzu simulaciju u stvarnom vremenu, zbog čega se često primjenjuju u interaktivnim i vizualizacijskim sustavima. Međutim, njihova primjena ograničena je pri modeliranju složenih struktura i mehaničkih svojstava tekstilnih materijala. Nasuprot tome, Metoda konačnih elemenata omogućuju detaljno numeričko modeliranje naprezanja, deformacija i elastičnih svojstava tkanina te se primjenjuju u simulacijama koje zahtijevaju visoku razinu točnosti. Unatoč visokoj razini preciznosti, FEM metode zahtijevaju znatne računalne resurse te u pravilu nisu prikladne za izvođenje simulacija u stvarnom vremenu [5]. Pored toga, točnost prikaza avatara i reprezentativnost različitih tjelesnih tipova ostaje problematična. Standardizirani digitalni avatar modeli često ne odražavaju stvarnu tjelesnu raznolikost korisnika, odnosno imaju fiksne dimenzije ili generičke proporcije i služe kao referentna osnova za simulacije odjeće. To može utjecati na pogrešnu percepciju pristalosti i opće zadovoljstvo kupnjom, dok bi uvođenje hiperrealističnih i personaliziranih avatara moglo utjecati na psihološko stanje korisnika samopercepcijom tjelesne slike [12]. Etika i društveni aspekti primjene VR tehnologije postaju sve važniji, posebno u pogledu digitalne privatnosti, zaštite osobnih podataka i sigurnosti modela tijela korisnika [18]. Korištenje VR zaslona za glavu i interaktivnih uređaja može izazvati fizičku nelagodu i zamor, uključujući vrtoglavice, naprezanje očiju i neudobnost kod dužeg korištenja. Kompleksnost interakcije s proizvodima u VR trgovinama također može dovesti do kognitivnog preopterećenja, posebno kod korisnika s manjim iskustvom u korištenju VR tehnologije [8]. Takvi faktori smanjuju ukupnu prihvatljivost i angažman korisnika te zahtijevaju optimizaciju dizajna sučelja i ergonomije uređaja. Pored neophodnih malih uređaja za korisnike, implementacija VR rješenja u modnoj industriji nosi visoke troškove za tvrtke, uključujući kupnju opreme, licenciranje programa i obuku osoblja. Osim toga, evaluacija povrata ulaganja ostaje ograničena, jer je teško kvantificirati dugoročne efekte na prodaju, lojalnost korisnika [19] i smanjenje povrata proizvoda. Ovi faktori često ograničavaju

primjenu VR tehnologije na veće modne kuće, dok manji brendovi ostaju isključeni zbog resursnih ograničenja. Nedostatak empirijskih rezultata koji istražuju ekonomske učinke implementacije VR tehnologije u stvarnim proizvodnim okruženjima, također predstavlja značajnu prazninu koja ograničava širu industrijsku primjenu [16]. Osim toga, ekološki utjecaj VR tehnologije, uključujući proizvodnju zaslona za glavu, GPU komponenti i električne energije potrebne za njihovo funkcioniranje, predstavlja dodatni izazov u kontekstu održivosti odjevne industrije. S obzirom na sve veći fokus na smanjenja odjevnog otpada i održive procese, buduće implementacije VR tehnologija trebaju biti pažljivo balansirane s ekološkim i društvenim aspektima [1].

## 5. Budući smjerovi istraživanja VR-a u odjevnoj industriji

Na temelju pregleda literature iz razdoblja 2020–2025, jasno je da VR tehnologije u odjevnoj industriji predstavljaju značajan potencijal, ali njegova puna primjena zahtijeva daljnja istraživanja i tehnološki razvoj. Buduća istraživanja trebala bi fokusirati na hibridne modele koji kombiniraju fizikalno bazirane simulacije s generativnim modelima strojnog učenja. Takvi modeli omogućili bi visoku preciznost simulacije prostornog oblikovanja kompleksnih tekstilnih materijala i simulacije u realnom vremenu [5]. Pored toga, razvoj univerzalnih protokola za mjerenje pritalosti i vizualne realističnosti, omogućio bi standardiziranu evaluaciju različitih VR sustava, olakšavajući usporedivost istraživanja i industrijskih implementacija. Iako su postojeća istraživanja uglavnom fokusirana na kratkoročne eksperimente ili prototipove kojima se analizira i potvrđuje koncept, potrebno je provesti velika longitudinalna istraživanja koje bi ocijenile stvarni utjecaj VR iskustava na odluke o kupnji, stopu povrata proizvoda te dugoročno zadovoljstvo i angažman korisnika. Takva istraživanja trebala bi uključivati multikulturalne usporedbe kako bi se razumjele razlike u prihvatu i ponašanju korisnika širom svijeta [13]. Integracija VR tehnologije s CAD sustavima za razvoj digitalnih prototipova, radi uspostave digitalnih blizanaca i drugim naprednim tehnologijama baziranim na umjetnoj inteligenciji (UI), Internetu stvari (*eng. Internet of Things – IoT*), omogućila bi razvoj inteligentnih i prilagodljivih sustava [20]. Primjeri bi mogli uključivati pametne odjevne predmete koji šalju povratne informacije o pristalosti te potpuno virtualizirane lance vrijednosti, gdje dizajneri, proizvođači i korisnici interaktivno surađuju u VR okruženju. Ovakva integracija ima potencijal za revolucioniranje procesa dizajna, proizvodnje i maloprodaje, ali zahtijeva programsku interoperabilnost i standardizirane protokole [21] te može doprinijeti smanjenju ekološkog opterećenja kroz virtualno prototipiranje te optimizaciju resursa prije masovne proizvodnje. Buduća istraživanja trebala bi razviti metode za kvantifikaciju ušteda. Iako virtualno prototipiranje, digitalni uzorci i optimizacija resursa doprinose smanjenju ekološkog opterećenja, njihova implementacija istodobno otvara važna etička pitanja, vezana uz način na koji se tehnologije razvijaju i koriste. Daljnja istraživanja etičke implikacije privatnosti i korištenja osobnih podataka u VR sustavima trebala bi se fokusirati na utjecaj avatar-temeljenih iskustava na identitet, samopercepciju i standarde ljepote, s posebnim naglaskom na društveno odgovorna pitanja problema pristranosti i inkluzivnosti u virtualnim prikazima tijela [12].

## 6. Zaključak

Virtualna stvarnost se u postojećoj literaturi (2020-2025) predstavlja kao revolucionarni alat u odjevnoj industriji, s primjenama koje obuhvaćaju virtualni dizajn i prototipiranje, isprobavanje odjeće i digitalne reprezentacije korisnika, maloprodaju, marketinšku komunikaciju, korisničko iskustvo te održivu proizvodnju i razvoj proizvoda. Ove primjene pored unapređenja vizualizacije odjeće, omogućavanja interaktivnog i personaliziranog iskustva kupnje, te poticanja kreativnosti i angažmana korisnika, imaju potencijal da skraćuju razvojne cikluse, smanjuju troškove i doprinose održivosti. Dok se tehnička ograničenja odnose na kompromis između brzine izvođenja i razine realističnosti simulacija, ograničenu raznolikost avatara te izostanak standardiziranih metrika za evaluaciju pristalosti i vizualne realističnosti, jednako značajni izazovi javljaju se na razini interakcije čovjeka i računala. Ovi korisnički izazovi izravno se reflektiraju na industrijsku primjenu VR tehnologije, budući da zahtijevaju dodatna ulaganja u prilagodbu sustava i obuku osoblja, što u konačnici povećava troškove implementacije i otežava pouzdanu procjenu povrata ulaganja. Paralelno s tehničkim, korisničkim i ekonomskim ograničenjima, sve veću važnost dobivaju etički i društveni aspekti primjene VR tehnologija, uključujući zaštitu privatnosti podataka, utjecaj avatar-temeljenih prikaza na tjelesnu sliku i samopercepciju korisnika, kulturne razlike u prihvaćanju tehnologije te ekološke implikacije povezane s proizvodnjom i korištenjem VR tehnologije. Buduća istraživanja trebala bi se fokusirati na nekoliko ključnih smjerova: razvoj hiperrealističnih simulacija, istraživanja ponašanja korisnika, integraciju VR-a s UI, IoT i digitalnim blizancima, istraživanja usmjerena na održivost, te sociopsihološka i etička istraživanja. Takav pristup omogućit će maksimalno iskorištavanje potencijala VR tehnologija i transformaciju odjevne industrije u potpuno digitalno i društveno odgovorno okruženje. VR već predstavlja temelj za redefiniciju cijelog industrijskog ekosustava, a kako bi se njegova puna vrijednost ostvarila, nužno je razvijati standardizirane protokole, integrirati tehnologije, provoditi detaljna istraživanja i promišljeno usmjeravati izazove.

**Zahvala:** Objava rada proizašla je iz provedbe institucionalnog istraživačkog projekta „Održivi razvoj odjeće dodane vrijednosti: Digitalno prototipiranje, primjena umjetne inteligencije i biomaterijala“, AI3D-BioWear, šifra projekta: TTF-IIP-02, koji financira Europska unija – NextGenerationEU.



## Literatura

- [1] 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.org/10.1108/RJTA-03-2018-0023
- [2] Jung, J.; Yu, J.; Seo, Y.; Ko, E.: Consumer experiences of virtual reality: Insights from VR Luxury brand fashion shows, *Journal of Business Research*, 130 (2021), 517–524, doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.10.038
- [3] Silvestri, B.: How virtual and augmented reality are reshaping the fashion industry during the COVID-19 pandemic, u *Extended Reality Usage During COVID 19 Pandemic*, Springer, Cham, doi.org/10.1007/978-3-030-91394-6\_3, (2022), 39–54
- [4] Chen, C.; Ni, J.; Zhang, P.: Virtual try-on systems in fashion consumption: A systematic review, *Applied Sciences*, 14 (2024) 24, 11839, doi.org/10.3390/app142411839
- [5] He, J.; Cao, Y.; Guo, T. et al.: From physically-based to learning-based in cloth simulation: Evolution and future—a scoping review, *The Visual Computer*, 41 (2025) 15, 12711–12742, doi.org/10.1007/s00371-025-04182-3
- [6] Perez, M.; Pineda-Rafols, A.; Egea-Romero, MP.; Gonzalez-Moreno, M.; Rincon, E.: Addressing body image disturbance through metaverse-related technologies: A systematic review, *Electronics*, 12 (2023) 22, 4580, doi.org/10.3390/electronics12224580
- [7] Park, J.; Ogle, J.P.: How virtual avatar experience interplays with self-concepts: The use of anthropometric 3D body models in the visual stimulation process, *Fashion and Textiles*, 8 (2021) 1, 28, doi.org/10.1186/s40691-021-00257-6
- [8] Kim, T.; Ma, J.; Hong, M.: Real-time cloth simulation in Extended reality: Comparative study between unity cloth model and position-based dynamics model with GPU, *Applied Sciences*, 15 (2025) 12, 6611, doi.org/10.3390/app15126611
- [9] Fan, X.; Xun, J.; Dolega, L.; Xiong, L.: The role of augmented and virtual reality in shaping retail marketing: A meta-analysis, *Sustainability*, 17 (2025), 728, doi.org/10.3390/su17020728
- [10] Kim, H.-J.; Jeong, S.C.; Kim, S.-H. Comparative analysis of product information provision methods: Traditional E-commerce vs. 3D VR shopping, *Applied Sciences*, 15 (2025), 2089, doi.org/10.3390/app15042089
- [11] Tang, K.Y.; Yu, G.; Wang, Y.; He, Y.; Xu, SZ.; Zhang, SH.: Strategies for reducing motion sickness in virtual reality through improved handheld controller movements, *Graphical Models*, 138 (2025), 101254, doi.org/10.1016/j.gmod.2025.101254
- [12] Kim, S.J.: Virtual fashion experiences in virtual reality fashion show spaces, *Frontiers in Psychology*, 14 (2023), 1276856, doi: 10.3389/fpsyg.2023.1276856
- [13] Shadiev, R.; Wang, X.; Huang, YM.: Cross-cultural learning in virtual reality environment: facilitating cross-cultural understanding, trait emotional intelligence, and sense of presence, *Educational Technology Research and Development*, 69 (2021) 5, 2917–2936, doi.org/10.1007/s11423-021-10044-1
- [14] Glogar, M.; Petrak, S.; Mahnić Naglič, M.: Digital Technologies in the sustainable design and development of textiles and clothing—a literature review, *Sustainability*, 17 (2025) 4, 1371, doi.org/10.3390/su17041371
- [15] Xin, B.; Song, Y.; Tan, H.; Peng, W.: Sustainable digital fashion in a metaverse ecosystem, *Journal of Retailing and Consumer Services*, 82 (2025), 104099, doi.org/10.1016/j.jretconser.2024.104099
- [16] Papachristou, E.; Anastassiou, H.T.: Application of 3D virtual prototyping technology to the integration of wearable antennas into fashion garments, *Technologies*, 10 (2022) 3, 62, doi.org/10.3390/technologies10030062
- [17] Paulsen, L.; Dau, S.; Davidsen, J.: Designing for collaborative learning in Immersive Virtual Reality: A systematic literature review, *Virtual Reality*, 28 (2024), 63, doi.org/10.1007/s10055-024-00975-4
- [18] Rueda, J.; Lara, F.: Virtual reality and empathy enhancement: Ethical aspects, *Frontiers in Robotics and AI*, 7 (2020), 506984, doi.org/10.3389/frobt.2020.506984
- [19] Wu, C.W.: The virtual reality and augmented reality adoption impact on customer loyalty for the Fashion Brands, [Preprint], (2024), doi.org/10.20944/preprints202307.1408.v3
- [20] Zhang, Z.; Wen, F.; Sun, Z.; Guo, X.; He, T.; Le, C: Artificial intelligence-enabled sensing technologies in the 5G/internet of things era: From virtual reality/augmented reality to the Digital Twin, *Advanced Intelligent Systems*, 4 (2022) 7, 2100228, doi.org/10.1002/aisy.202100228
- [21] Danglade, F.; Guillet, C.: Choice of CAD model adaptation process for virtual reality using classification techniques, *Proceedings of CAD'21*, 61–65, ©2021 CAD Solutions, LLC, Barcelona, Spain, (2021)

# INFRASTRUKTURNI PREDUVJETI KONKURENTNIH KRUŽNIH POSLOVNIH MODELA U TEKSTILNOJ INDUSTRIJI

Dominik VUKUŠIĆ<sup>1\*</sup>, Sandra BISCHOF<sup>2</sup>, Mitja DURNIK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fakulteta za upravo, Univerza v Ljubljani, Gosarjeva ulica 5, Ljubljana, Slovenija / Ekonomski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Ivana Filipovića 4, 51000 Rijeka, Hrvatska

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska

\*Dominik Vukušić: dvukusic@worldbank.org / dv30894@student.uni-lj.si

**Sažetak:** Konkurentni kružni poslovni modeli u tekstilnoj industriji ovise o razvoju odgovarajućih infrastrukturnih uvjeta koji omogućuju učinkovito funkcioniranje faze ponovne uporabe i recikliranja tekstila. Ključni preduvjeti uključuju odvojeno prikupljanje otpadnog tekstila kako bi se smanjila kontaminacija i gubitak kvalitete, kao i dostupnost industrijskih kapaciteta za sortiranje, pri čemu je automatizirano sortiranje prema vrsti vlakana i stupnju očuvanosti presudno za povećanje učinkovitosti i transparentnosti tokova materijala. Nadalje, nedostatak infrastrukture za odvajanje otpadnog tekstila prema vrsti sirovine i pripremu za ponovnu uporabu recikliranih materijala (reciklata) u tekstilnoj industriji, odnosno za recikliranje iz vlakna u vlakno, značajno ograničava zatvaranje kružnih procesa, osobito u slučaju mješavina. U takvim uvjetima, kružni poslovni modeli suočeni su s visokim operativnim troškovima i slabom financijskom održivošću u usporedbi s linearnim sustavima. Stoga su uspostava proširene odgovornosti proizvođača (*egl. Extended producer Responsibility-EPR*), ulaganja u fizičku i digitalnu infrastrukturu te razvoj koordiniranog ekosustava nužni kako bi se omogućilo skaliranje i tržišna konkurentnost kružnih poslovnih modela u tekstilnoj industriji.

**Ključne riječi:** kružni poslovni modeli; tekstilna industrija; odvojeno prikupljanje tekstila; automatizirano sortiranje; proširena odgovornost proizvođača (EPR).

## 1. Uvod

Konkurentni kružni poslovni modeli u tekstilnoj industriji ovise o razvoju odgovarajućih infrastrukturnih uvjeta koji omogućuju učinkovito prikupljanje, sortiranje, popravak, ponovnu uporabu ili recikliranje otpadnog tekstila [1]. Bez odvojenog prikupljanja otpada koje minimizira kontaminaciju i gubitak kvalitete vlakana, kao i industrijskih kapaciteta za automatizirano sortiranje prema vrsti vlakana i stupnju očuvanosti, tokovi materijala ostaju netransparentni i neučinkoviti [2]. Nedostatak recikliranja vlakno u vlakno za mješovite materijale i ograničena priprema za ponovnu uporabu dovode do visokih operativnih troškova kružnih modela u odnosu na linearne sustave [3, 4]. Ovi izazovi posebno su izraženi u EU-u, gdje je godišnja proizvodnja tekstilnog otpada dosegla 6,95 milijuna tona u 2020, a veliki udio završava na deponijama ili se spaljuje zbog nedostatka koordiniranih sustava [5]. Prema Europskom parlamentu, nedostatni kapaciteti sortiranja predstavljaju glavnu prepreku provedbi obveznih mjera za tekstilni otpad od 2025., zahtijevajući koordinirana ulaganja [6]. Bez odgovarajuće infrastrukture za sortiranje i recikliranje, kružni modeli suočeni su s visokim troškovima i teškoćama u skaliranju, dok linearni sustavi zadržavaju troškovnu prednost [8]. Stoga je koordinacija između javnog sektora, industrije i lokalnih aktera ključna za zatvaranje kružnih tokova i postizanje dugoročne konkurentnosti [7, 9].

Automatizirano sortiranje tekstilnog otpada primjenom NIR (*eng. Near Infrared Technology*) spektroskopije ključno je za rješavanje izazova u recikliranju i postizanje kružnosti u tekstilnoj industriji [8]. Europska unija procjenjuje da se samo 12% tekstilnog otpada prikuplja, uglavnom zbog nedostatne infrastrukture za prikupljanje i sortiranje više od 12 milijuna tona tekstilnog otpada godišnje [5]. Uvođenje sheme proširene odgovornosti proizvođača (EPR) te ulaganja u fizičku infrastrukturu neophodna su za stvaranje koordiniranog ekosustava recikliranja tekstila [6].

Mješavine vlakana i prisutnost ne-tekstilnih komponenti značajno otežavaju automatizirano sortiranje, što nameće potrebu za višestupanjskim procesima i razvojem naprednih tehnologija; istodobno, ograničeni i često dobrovoljni sustavi prikupljanja ne obuhvaćaju cjelokupan tok otpadnog tekstila, što otežava skaliranje kružnih poslovnih modela i jačanje njihove tržišne konkurentnosti [10, 11]. Bez koordiniranih politika EPR-a i investicija, kružni modeli ostaju financijski neodrživi u usporedbi s linearnim.

## 2. Osvrt na strukturne i ekonomske prepreke kružnih poslovnih modela u tekstilnoj industriji

### 2.1. Strukturni i ekonomski izazovi

Kružni poslovni modeli u tekstilnoj industriji u najvećoj mjeri djeluju u kontekstu sustava koji je povijesno optimiziran za linearnu logiku: proizvodnju, potrošnju i odlaganje. Strukturne prepreke proizlaze iz činjenice da su postojeće proizvodne i logističke infrastrukture, od postrojenja do globalnih opskrbnih lanaca, projektirane kako bi omogućile velike serije proizvoda s minimalnim odstupanjima u kvaliteti i materijalu [7, 12]. Nasuprot tome, kružni modeli, temeljeni na ponovnoj uporabi, popravku i recikliranju, zahtijevaju fleksibilnije, lokalizirane i tehnički sofisticirane procese koji se teško uklapaju u postojeće linearne strukture [3].

Ekonomska dimenzija ovih izazova dodatno se produbljuje kroz promjene u troškovima sirovina i rada. Iako se globalna cijena novih tekstilnih proizvoda smanjuje zbog niske cijene rada u zemljama izvoznicama, troškovi obrade i popravka rabljenih proizvoda u Europi ostaju visoki [1, 10]. Rezultat je tržišna nelogičnost; u pojedinim slučajevima, reciklirani ili popravljeni proizvodi skuplji su od novih. Takva situacija smanjuje potražnju za kružnim proizvodima i otežava njihovu tržišnu konkurentnost, unatoč njihovoj ekološkoj superiornosti.

Kružni modeli zahtijevaju i dugoročne investicije u inovacije i digitalizaciju praćenja materijala (npr. putem različitih sustava za praćenje ili uvđenje digitalne putovnice proizvoda), no te investicije često ne generiraju neposredan financijski povrat. Kombinacija fragmentiranog tržišta sekundarnih materijala i nedostatna regulativna podrška čine kružne sustave izloženim ekonomskim fluktuacijama i investicijskim rizicima [12].

### 2.2. Prednosti linearnih modela

Linearni modeli i dalje dominiraju globalnim tekstilnim tržištem zahvaljujući kombinaciji niskih proizvodnih troškova, učinkovitih globalnih opskrbnih lanaca i vanjskih učinaka koji se ne internaliziraju u cijenu konačnog proizvoda [5]. EU tekstilna industrija suočava se s intenzivnom konkurencijom iz zemalja s niskim troškovima rada koje omogućavaju brzu i jeftinu proizvodnju, stvarajući pritisak na europske lance vrijednosti [10].

Ovakav model koristi ekonomiju razmjera i potiče hiperprodukciju, čime se dodatno potiče kultura brze mode i kratkih životnih ciklusa proizvoda. Kružni modeli nemaju tu prednost; umjesto masovne proizvodnje, oni zahtijevaju visoku razinu prilagodbe i individualne procese obrade materijala, što povećava troškove i produljuje vrijeme isporuke [2]. Poseban izazov čini i heterogenost rabljenih tekstilnih proizvoda, koja otežava standardizaciju procesa recikliranja i ponovne proizvodnje. Za razliku od homogenih materijalnih tokova u linearnoj proizvodnji, kružni procesi moraju obuhvatiti veliku varijabilnost u kvaliteti i čistoći materijala.

Uz to, linearnim modelima pogoduje postojeća potrošačka psihologija. Novi proizvodi se i dalje povezuju s kvalitetom, statusom i modnim izrazom, dok rabljeni proizvodi često nose stigmatu nižeg društvenog statusa [5]. Europska agencija za zaštitu okoliša (EEA) ističe da linearnim modelima pogoduje ograničena potrošačka preferencija za ponovno korištenje, gdje većina tekstila završava u mješovitom otpadu umjesto odvojenog prikupljanja, što umanjuje potencijal kružnih modela čak i uz nove europske standarde.

### 2.3. Nedostatak vještina i financiranja

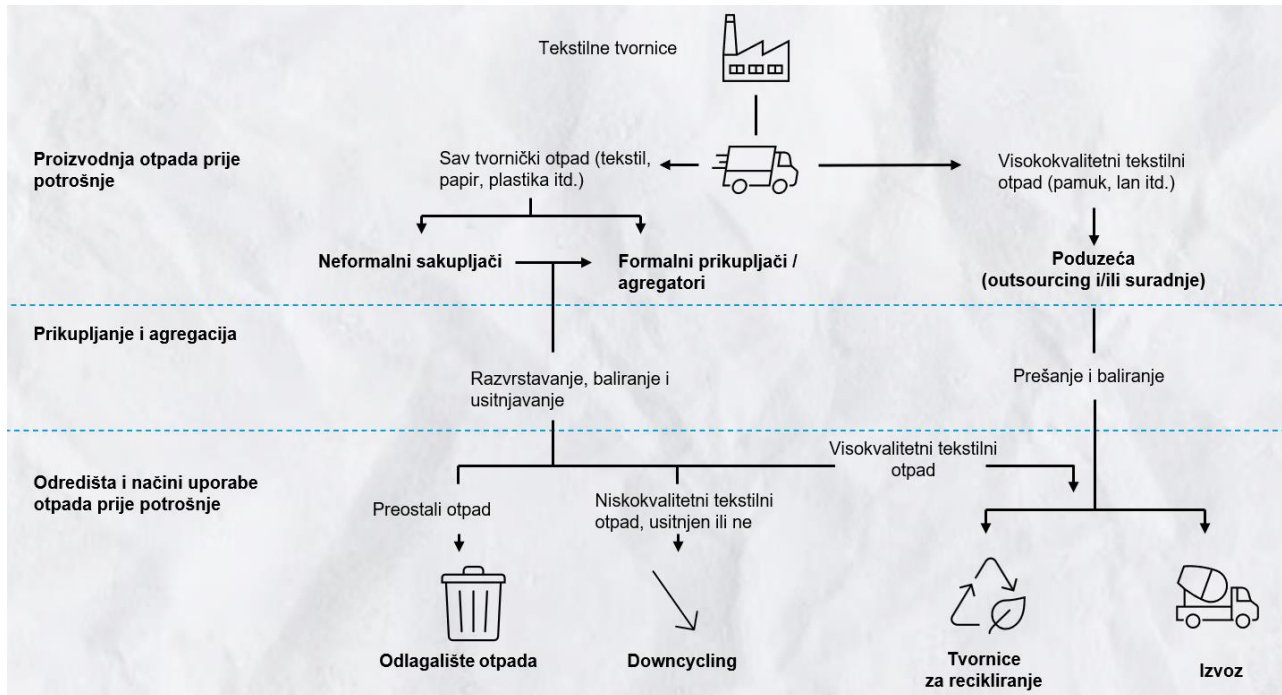
Jedan od najizraženijih izazova kružnih poslovnih modela je nedostatak kvalificirane radne snage. Smanjenje broja tekstilnih zanata tijekom posljednjih desetljeća rezultiralo je gubitkom znanja potrebnog za popravke, rekonstrukciju i preoblikovanje odjevnih predmeta [11]. Istodobno, tržište rada često ne prepoznaje vrijednost tih vještina, što dodatno odvraća nove radnike od ulaska u ovaj segment.

Uz nedostatak ljudskog kapitala, financijska dimenzija predstavlja jednu od ključnih točaka ranjivosti kružnih inicijativa. Većina manjih poduzeća i društvenih poduzeća u ovom sektoru ovisi o vanjskim izvorima financiranja: fondovima EU, nacionalnim potporama ili privatnim investicijama s društvenim učinkom. No, izvori tih sredstava su vrlo ograničeni, a investitori često preferiraju brže povrate koje nude tradicionalni linearni poslovni modeli.

Infrastrukturna i tehnološka ograničenja dodatno usporavaju tranziciju. Nedostatni kapaciteti za prikupljanje i sortiranje tekstilnog otpada, zajedno s ograničenim mogućnostima mehaničkog i kemijskog recikliranja,

onemogućavaju razvoj zatvorenih materijalnih tokova [7, 9]. Obvezno odvojeno prikupljanje tekstila u EU, koje je stupilo na snagu u 2025. godini, dodatno je povećalo pritisak na postojeću infrastrukturu, budući da mnogi lokalni sustavi još nemaju adekvatne logističke i tehnološke resurse [5].

Moderne tehnologije recikliranja, koje bi mogle značajno povećati učinkovitost sustava, još uvijek su u ranoj fazi industrijske primjene [4]. Zbog visokog udjela miješanih vlakana i nedostatka stabilne ponude sekundarne sirovine, njihova primjena često nije ekonomski opravdana. Istodobno, potražnja za recikliranim tekstilom ostaje niska zbog percepcije inferiorne kvalitete materijala, što stvara začarani krug između proizvodnje i tržišne potražnje [3].



Slika 1. Primjer: Lanac vrijednosti tekstilnog otpada. Uredio autor prema [7].

### 3. Rezultati i diskusija

Tehnološke tvrtke, kao ključni dionici rastućeg utjecaja u kružnom tekstilnom ekosustavu, razvijaju napredne višesenzorske platforme za automatizirano sortiranje tekstila [2, 4]. Te platforme integriraju NIR spektroskopiju, umjetnu inteligenciju za klasifikaciju materijala, sustave za praćenje te optičke i digitalne vodilice, čime se sustavno adresira vrlo izraženi nedostatak kapaciteta za obradu miješanih tekstilnih materijala [3, 8]. Implementacijom ovih tehnologija omogućuje se preciznija identifikacija pojedinih komponenti, što predstavlja ključni preduvjet za slijedeću fazu - kvalitetno mehaničko i kemijsko recikliranje.

U koordinaciji s proizvođačima i brendovima, javnim sektorom, neprofitnim organizacijama i potrošačima, tehnološka rješenja dodatno doprinose uspostavi učinkovitih i transparentnih opskrbnih lanaca [1, 9]. Time se povećavaju prinosi reciklata, smanjuju gubici materijala te optimizira ukupna resursna učinkovitost sustava, osobito u kontekstu obaveznog odvojenog prikupljanja tekstila u Europskoj uniji od 2025. godine [5]. Takav koordinirani i tehnološki potpomognut ekosustav svih relevantnih dionika stvara nužne infrastrukturne i tržišne preduvjete za dugoročnu održivost i konkurentnost kružnih poslovnih modela u tekstilnom sektoru [12, 10].

U okviru projekta INTERREG Green-Tex predlaže se model prikupljanja otpadnog tekstila i obuće putem zasebnih spremnika sa senzorom. Primjena digitalnih senzora u spremnicima značajno poboljšava učinkovitost procesa prikupljanja. Ovi senzori prate kapacitet svakog spremnika i omogućuju sustavu da identificira koje spremnike treba odmah isprazniti. Sprječavanjem prepunjavanja spremnika i smanjenjem nepotrebnih troškova prikupljanje, ovaj pristup optimizira korištenje resursa i minimizira troškove prijevoza [13].

Slijedeći primjer jedne od novijih tehnologija koja stvara infrastrukturne preduvjete za konkurentne kružne poslovne modele u tekstilnoj industriji, je *Sort4Circle*. Riječ je o višesenzorskoj platformi koju razvija

Polysecure u suradnji s Carl Zeiss AG-om u Austriji, koja omogućuje preciznu detekciju reciklata putem integriranih NIR spektroskopskih, AI-baziranih slikovnih, i optičkih, digitalnih senzora [14]. Ovaj tehnološki otvoreni pristup omogućuje zatvoreni sustav recikliranja (engl. *closed-loop*) tako što klasificira tekstilne materijale prema specifičnim svojstvima vlakana, čime povećava prinos visokokvalitetnog reciklata, uz smanjenje CO<sub>2</sub> emisije i optimizaciju resursne efikasnosti unutar lanaca vrijednosti različitih industrija – od tekstilne, ambalažne, pa sve do i automobilske industrije.

Jedan od najnovijih primjera koji potvrđuje značaj ove teme je projekt SORT4CIRC, započeo 1.12.2025. Njegov cilj je upravo razvoj visokotehnološkog, sljedivog sustava za sortiranje tekstila korištenjem umjetne inteligencije, multisenzora i digitalnih putovnica proizvoda. Povezivanjem dizajnera, sortirera, reciklažera i tehnoloških stručnjaka, SORT4CIRC nastoji utrti put pametnom sustavu koji prati tekstil i potiče prelazak na kružno gospodarstvo [15].

**Tablica 1.** Mapa ključnih dionika (stakeholdera) u kružnom lancu vrijednosti

Dionici	Utjecaj	Glavna uloga	Ključni izazovi
Proizvođači / brendovi	Visok	Dizajn za kružnost	Eko-modulacija troškova i kompetentnost
Javni sektor	Visok	EPR regulative, subvencije	Koordinacija prije 2030.
Za sortiranje i/ili recikliranje	Visok	Automatizirano sortiranje, primjena reciklata	Nedostatak kapaciteta i potražnje za reciklatima
Neprofitna poduzeća	Srednji	Prikupljanje/ponovna upotreba	Rast troškova prikupljanja i energenata
Potrošači	Srednji	Odvajanje tekstila	Neodgovarajući sustav prikupljanja
Tehnološke tvrtke	Srednji	ML / FTIR-NIR analiza reciklata	Standardizacija ulazne sirovine

Iz tablice 1 je vidljiv utjecaj ključnih dionika i njihova uloga u rješavanju najvećih izazova koji još uvijek predstavljaju značajnu prepreku u tranziciji prema kružnom modelu. Izuzetno je važan izazov eko-modulacije troškova koji zahtijeva jasno definirane kriterije za ocjenjivanje kružnosti proizvoda te transparentan i pravedan sustav financijskih poticaja i nameta, kako bi se proizvođače i brendove učinkovito usmjerilo prema dizajnu proizvoda s duljim vijekom trajanja, većim udjelom recikliranih vlakana i lakšom ponovnom uporabom, umjesto da se dodatni troškovi percipiraju isključivo kao regulatorno opterećenje.

#### 4. Zaključak

Analiza infrastrukturnih, tehnoloških i tržišnih čimbenika pokazuje da razvoj konkurentnih kružnih poslovnih modela u tekstilnoj industriji nije moguć bez sustavne transformacije postojećih linearno orijentiranih sustava. Ključni infrastrukturni preduvjeti uključuju učinkovito odvojeno prikupljanje otpadnog tekstila, razvoj industrijskih kapaciteta za automatizirano sortiranje prema vrsti vlakana, što je osobito važno za materijale sastavljene od više komponenti (mješavine). Bez tih elemenata kružni modeli ostaju operativno skupi i financijski nekonkurentni u usporedbi s linearnim sustavima koji i dalje ne uzimaju u obzir okolišne i društvene troškove. U tom kontekstu, uspostava i dosljedna provedba proširene odgovornosti proizvođača (EPR) predstavljaju temeljni regulatorni mehanizam za osiguravanje stabilnih tokova sirovina, financiranje infrastrukturnih ulaganja i poticanje tržišne potražnje za recikliranim tekstilom.

Izuzetno je važna već prva faza odvojenog prikupljanja tekstilnog otpada iz kućanstva, koja je u većini gradova i županija organizirana isključivo putem reciklažnih dvorišta, što je nedostatno. Predloženi model zasebnih spremnika za prikupljanje tekstilnog otpada sa senzorom razvijen u okviru INTERREG Green-Tex projekta, koji omogućuje digitalno praćenje popunjenosti i potrebe za odvozom, predstavlja jedno je od naprednih rješenja koje je moguće primijeniti i u Hrvatskoj.

Nadalje, napredne višesenzorske tehnologije za automatizirano sortiranje, temeljene na NIR spektroskopiji, umjetnoj inteligenciji i digitalnom praćenju materijala, imaju ključnu ulogu u povećanju prinosa visokokvalitetnih reciklata, smanjenju gubitaka materijala i optimizaciji resursne učinkovitosti duž lanca

vrijednosti. Konačno, samo koordinirani ekosustav koji uključuje proizvođače i brendove, javni sektor, tehnološke tvrtke, neprofitne organizacije i potrošače može osigurati infrastrukturne i tržišne uvjete potrebne za skaliranje kružnih rješenja, njihovu dugoročnu financijsku održivost te uspješnu provedbu obveznog odvojenog prikupljanja tekstila i njegovog ponovnog korištenja za tekstilna vlakna i proizvode veće vrijednosti.

**Zahvala:** Rad je podržan Green-tex projektom, su-financiranom u sklopu Interreg programa za Dunavsku regiju sredstvima Europske unije (INTERREG DRP0204004).

**Izjava o korištenju AI alata:** U radu je korišten alat Perplexity za pronalaženje najnovijih regulativa i pregled aktualnih globalnih inovacija i projekata te za provjeru točnosti jezičnih konstrukcija.

## Literatura

- [1] Burkhardt, D.: Izvješće o strategiji EU-a za održive i kružne tekstilne proizvode, Europski parlament (2023). Dostupan na: [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2023-0176\\_HR.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2023-0176_HR.html), Pristupljeno: 29-12-2025
- [2] Atalay, E.: From Waste to Value: The Power of Automated Textile Sorting, Siemens blog (2025). Dostupan na: <https://blog.siemens.com/2025/03/from-waste-to-value-the-power-of-automated-textile-sorting/>, Pristupljeno: 29-12-2025
- [3] Joint Research Centre (JRC): Circular Economy Perspectives in the EU Textile sector, (2021). Dostupan na: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC125110>, Pristupljeno: 29-12-2025
- [4] Andritz: Textile Recycling - Automated Sorting (2021). Dostupan na: <https://www.andritz.com/spectrum-en/textile-recycling-automated-sorting>, Pristupljeno: 29-12-2025
- [5] European Environment Agency (EEA): Management of used and waste textiles in Europe's circular economy (2024). Dostupan na: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/management-of-used-and-waste-textiles-in-europes-circular-economy>, Pristupljeno: 29-12-2025
- [6] European Parliamentary Research Service (EPRS): Update of the Waste Framework Directive: Textile and Food Waste (2025). Dostupan na: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/757572/EPRS\\_BRI\(2023\)757572\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/757572/EPRS_BRI(2023)757572_EN.pdf), Pristupljeno: 30-12-2025
- [7] Circular and Sustainable Textiles and Clothing (CISUTAC), Unlocking Opportunities for Circular Business Models in Textiles: Phasing out Linearity. CISUTAC Project (2024). Dostupan na: <https://cdn.nimbu.io/s/zx3wipv/channelentries/2lwt848/files/1743172166351/cisutac-d32-circular-business-models-final-webiste.pdf>, Pristupljeno: 30-12-2025
- [8] Recover Fiber: Textile sorting: challenges and strategies for achieving circularity in industry (2023). Dostupan na: <https://recoverfiber.com/newsroom/textile-sorting-challenges-and-strategies-for-achieving-circularity-in-the-industry>, Pristupljeno: 29-12-2025
- [9] European Recycling Platform (ERP): Textiles EPR (2025). Dostupan na: <https://erp-recycling.org/streams/epr-textiles-erp-global/>, Pristupljeno: 29-12-2025
- [10] Euratex: EU Textile & Clothing Industry Outlook 2024–2025 (2025). Dostupan na: <https://euratex.eu/?p=100051732>, Pristupljeno: 29-12-2025
- [11] MedWaves, the UNEP/MAP Regional Activity Centre for SCP and ENT Environment and Management: Guide to Best Available Practices in Circular Economy for the textile sector. Resource efficient textile manufacturing and Circular Design guidelines, Barcelona (2024). Dostupan na: [https://www.medwaves-centre.org/wp-content/uploads/2025/04/Guide\\_Best-Available-Practices-Circular-for-Textiles\\_compressed.pdf](https://www.medwaves-centre.org/wp-content/uploads/2025/04/Guide_Best-Available-Practices-Circular-for-Textiles_compressed.pdf), Pristupljeno: 29-12-2025
- [12] European Environmental Bureau (EEB): Driving a Circular Economy for Textiles through EPR (2022). Dostupan na: <https://eeb.org/en/library/driving-a-circular-economy-for-textiles-through-epr/>, Pristupljeno: 29-12-2025
- [13] INTERREG DRP0204004 Enhancing Danube Green Textile and Garment Production and Consumption (Green-Tex), Scalable Circular Economy based Green-Tex Solutions (2024). Dostupan na: <https://interreg-danube.eu/projects/green-tex>, Pristupljeno: 30-12-2025
- [14] Polysecure GmbH i sur.: Sorting materials & products - Sort4Circle® (2025). Dostupan na: <https://www.polysecure.eu/en/sorting-materials-and-products>, Pristupljeno: 29-12-2025.
- [15] HORIZON-CL6-2024-CircBio Intelligent textile SORTing for enable CIRCularity (SORT4CIRC), Dostupan na: <https://cordis.europa.eu/project/id/101181988>, Pristupljeno 2-1-2026.



**ZNANSTVENI  
RADOVI**

---

# UTJECAJ ENZIMSKE PREDOBRADE NA HIDROFILNOST TKANINA IZ POLIESTERA, PAMUKA I NJIHOVE MJEŠAVINE

Stefana BEGOVIĆ<sup>1</sup>, Alice HUANG<sup>2</sup> i Anita TARBUK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28 a, Zagreb, Hrvatska;

<sup>2</sup> ENSAIT, Roubaix, Francuska

\*Adresa za korespondenciju: anita.tarbuk@tff.unizg.hr

**Sažetak:** Konvencionalnim pristupom hidrofilnost pamuka i/ili poliestera postiže se alkalnim obradama (iskuhavanje pamuka, alkalna hidroliza poliestera), najčešće primjenom NaOH na povišenim temperaturama. Ove obrade imaju značajan utjecaj na okoliš zbog potrošnje energije, vode i potencijalno opasnih spojeva. Enzimska obrada predstavlja ekološku alternativu alkalnim obradama jer enzimi djeluju na točno određenu tvar pri umjerenim temperaturama i uvjetima neutralnog pH što doprinosi održivosti procesa. Poznato je da pektinaze pospješuju uklanjanje primjesa pamuka otkrivajući hidroksilne skupine celuloze, dok enzimska hidroliza površine poliesterskog vlakna lipazama povećava broj polarnih skupina. Stoga je u ovom radu istražen utjecaj enzimske predobrade primjenom lipaza (Texazym PES) i pektinaza (Beisol PRO) na tkanine iz pamuka, iz poliestera i iz mješavine poliestera/pamuk (65/35). Pokazalo se da primjenom mješavine enzima lipaza/pektinaza dolazi do poboljšanja hidrofilnih svojstva istraženih kroz sposobnost upravljanja (kapljevitom) vlagom (MMT) uz minimalne promjene mehaničkih svojstava (gustoća, plošna masa, prekidna sila i istezanje).

**Ključne riječi:** pamučna tkanina, poliesterska tkanina, tkanina iz mješavine poliestera/pamuk, mehanička svojstva, MMT

## 1. Uvod

Pamuk je celulozno vlakno s izvrsnom moći upijanja (apsorpcijom) što doprinosi udobnosti pri nošenju, no sirovi pamuk inicijalno pokazuje hidrofobna svojstva jer sadrži prirodne primjese lokalizirane u vanjskom sloju kao što su pektini, proteini, voskovi, masti, šećeri, hemiceluloza, pigmenti i druge tvari. Primjese čine 4-12 % mase vlakana i djeluju kao hidrofobna barijera te ih je potrebno ukloniti u postupku iskuhavanja, najčešće u 2-3 % NaOH [1-4]. Nakon procesa iskuhavanja zaostaju pigmenti koji se razgrađuju u procesu kemijskog bijeljenja. Oksidativna razgradnja pigmenta rezultira većom bjelinom vlakana ali može doći do oksidativnog oštećenja celuloze i rezultirati smanjenom čvrstoćom. Kako bi se postigla bolja čvrstoća i adsorptivnost pamuka, često se provodi proces mercerizacije u 20-24 % NaOH [1]. Kao alternativa ovim procesima istražuje se enzimski predobrada [2-4]. Druga mogućnost za povećanje čvrstoće je miješanje sa sintetskim vlaknima, primjerice s poliestrom ili poliamidom.

Poliesterska vlakna imaju iznimnu čvrstoću, otpornost na kemikalije, svjetlost i mikroorganizme, dimenzijsku stabilnost i brzo se suše, ali zbog visokog stupnja kristalčnosti (65-85 %) imaju nisku adsorpciju i ne bubre što dovodi do neudobnosti pri nošenju. Poliesterska vlakna, ponajprije ona iz poli(etilen-tereftalata) (PET), imaju mali broj polarnih funkcionalnih skupina (hidroksilne i karboksilne skupine), što dovodi do smanjivanja sposobnosti formiranja vodikovih veza s molekulama vode [5-8]. Kako bi se povećao broj hidrofilnih skupina provode se površinske modifikacije obično hidrolizom s lužinama ili enzimima, aminolizom s aminima, a u novije vrijeme obrada s ionskim tekućinama, plazmom, naciopljivanjem i UV laserskom obradom [8]. Hidroliza uzrokuje cijepanje esterskih veza i dovodi do povećanog broja hidroksilnih i karboksilnih krajnjih skupina, koje poliestru daju veću hidrofilnost. Alkalna hidroliza površine poliesterskih vlakana jedna je od najčešće korištenih metoda u industriji zbog niske cijene, ali je energetski i ekološki nepovoljna. Provodi se u 4-20 % NaOH na temperaturama iznad 100 °C dulje od 1 sata u strogo kontroliranim uvjetima kako ne bi došlo do oštećenja vlakana [5-8]. Kao alternativa, istražuju se enzimi za hidrolizu poliesterskih vlakana. Enzimi su prirodne i potpuno biorazgradive proteinske strukture koje omogućuju reakciju hidrolize poliestera pri nižim temperaturama, a zbog svoje veličine funkcionaliziraju samo površinu bez oštećenja vlakana [8-10].

Većina procesa oplemenjivanja provodi se u vodenom mediju pa povećanje hidrofilnosti tekstilnih materijala predstavlja važan korak prije završnih obrada (bojadisanje, tisak, funkcionalizacija). Tekstilije iz mješavine poliestera i pamuka postale su uobičajene u primjeni te čine više od 15 % globalne proizvodnje. Pamučna komponenta pridonosi udobnosti i antistatičkim svojstvima radi dobre adsorptivnosti celuloze, dok

poliesterska komponenta osigurava mehaničku čvrstoću, jednostavno održavanje, otpornost na gužvanje, dimenzijsku i toplinsku stabilnost te ima primarnu ulogu u upravljanju vlagom [11-14]. Međutim, veći udio poliestera može izazvati osjećaj „vlažnog prljanja“ zbog male apsorpcije vode. Primjerice, tijekom intenzivne tjelesne aktivnosti, smanjeno upravljanje vlagom isključivo poliesterskih vlakana utječe na učinkovito transportiranje znoja s površine kože do vanjskog sloja tkanine, ali nema apsorpcije, te ako nema prisutnosti pamuka dolazi do smanjenja termofiziološke udobnosti [15].

Konvencionalnim pristupom hidrofilnost pamuka i/ili poliestera postiže se alkalnim obradama (iskuhavanje pamuka, alkalna hidroliza poliestera), najčešće primjenom NaOH na povišenim temperaturama, što značajno utječe na okoliš. Enzimaska obrada predstavlja ekološku alternativu alkalnim obradama jer enzimi djeluju na točno određenu tvar pri umjerenim temperaturama i uvjetima neutralnog pH što doprinosi održivosti procesa. Poznato je da pektinaze pospješuju uklanjanje primjesa pamuka otkrivajući hidroksilne skupine celuloze, a lipaze hidroliziraju površinu poliesterskog vlakna što rezultira povećanjem broja polarnih skupina [2-4,8,9,12-14]. Budući da se u prethodnom istraživanju autora [12,13] pokazalo da primjena enzima pektinaza i lipaza/esteraza u istoj kupelji povećava hidrofilnost tkanine iz mješavine pamuk/poliester (50/50), u ovom istraživanju primijenjeni su enzimi lipaze i pektinaze na pamučnoj i poliesterskoj tkanini te tkanini iz mješavine poliestera/pamuk (65/35) s ciljem poboljšanja hidrofilnih svojstva uz minimalne promjene mehaničkih svojstava tkanine.

## 2. Eksperimentalni dio

Za potrebe ovog rada korištene su WFK standardne tkanine (10A, 20A, 30A) u platno vezu, pri čemu je 10A 100 % pamuk (CO), 20A mješavina iz 65 % poliestera i 35 % pamuka (PES/CO), a 30A 100 % poliester (PES). WFK 10A (CO) je definirana ISO 2267:1986 standardom, dok su 20A i 30 A izrađene tako da budu slične 10A, ali različitog sirovinskog sastava.

Predobrada je provedena mješavinom enzima pektinaze Beisol PRO (CHT-Bezema) te lipaze Texazym PES (INOTEX Ltd.), 1 % na m.m. (na masu materijala) Beisol PRO i 1 % na m.m. Texazym PES, metodom iscrpljenja iz kupelji uz OK 1:10 na 60°C u vremenu 1 h u bubnju uređaja Polycolor Turbomat P4502 (Mathis) prema [12]. Oznake uzoraka i predobrade prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Obrade i oznake

Oznaka	Obrada
CO_N	100 % pamučna tkanina
PES_N	100 % poliesterska tkanina
PES/CO_N	tkanina iz mješavine poliestera/pamuk (65/35)
CO_BPT	enzimski predobrađena 100 % pamučna tkanina
PES_BPT	enzimski predobrađena 100 % poliesterska tkanina
PES/CO_BPT	enzimski predobrađena tkanina iz mješavine poliestera/pamuk (65/35)

### 2.1. Mjerne metode

Gustoća tkanine (br. niti osnove i potke po 1 cm) određena je prema ASTM D3775-07 *Standard Test Method for Warp (End) and Filling (Pick) Count of Woven Fabrics*. Plošna masa  $m$  tkanina određena je vaganjem na digitalnoj vagi ALJ 220-5DNM (KERN) s točnošću od 0,0001 g prema HRN ISO 3801:2003 *Tekstil - Tkanine - Određivanje mase po jedinici duljine i mase po jedinici površine*. Izračunata je promjena mase  $\Delta m$  u odnosu na početnu tkaninu istoga sirovinskog sastava. Prekidna sila i prekidno istezanje u smjeru osnove i u smjeru potke određeni su prema HRN EN ISO 13934-1:2013 *Tekstil - Vlačna svojstva plošnog tekstila - 1. dio: Određivanje maksimalne sile i istezanja pri maksimalnoj sili metodom trake* na dinamometru Tensolab (MESDAN-LAB) pri čemu: dimenzija uzorka 220 mm x 50 mm; razmak među stezaljkama 100 mm; brzina istezanja 100 mm/min; predopterećenje 2 N. Sposobnost upravljanja kapljevitom vlagom određena je prema AATCC TM 195-2017 *Liquid Moisture Management Properties of Textile Fabrics* na uređaju Moisture Management Tester, MMT M290 (SDL Atlas) te je određen glavni tip tkanine [16].

## 3. Rezultati s raspravom

U ovom radu istražen je utjecaj enzimske predobrade tkanina iz pamuka, iz poliestera i iz mješavine poliestera/pamuk. Budući da se prema literaturi pokazalo da enzimska predobrada pektinazom i lipazom

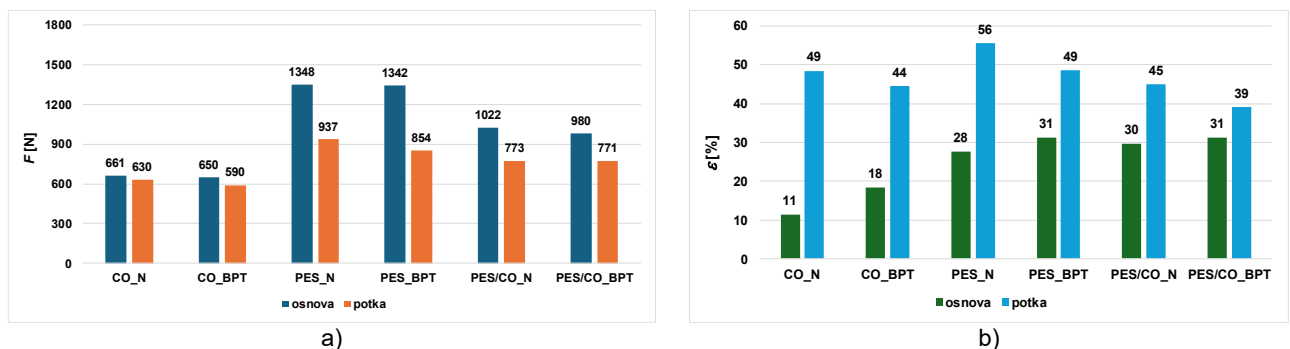
istovremeno povećava hidrofilnost uz minimalno smanjenje mehaničkih svojstava [12,13], provedena je predobrada uz 1 % na m.m. Beiosol PRO (pektinaza) i 1 % na m.m. Texazym PES (lipaza).

Rezultati mehaničkih svojstava, odnosno plošna masa i gustoća tkanine prikazani su u tablici 2, a prekidna sila i istežanje tkanina prije i nakon enzimske predobrade prikazani su na slici 1.

**Tablica 2.** Gustoća tkanine (broj niti po 1 cm) u smjeru osnove i potke i plošna masa (m) tkanina iz pamuka, poliestera i njihove mješavine prije i nakon enzimske predobrade

	Broj niti po cm [cm <sup>-1</sup> ]		m [g/m <sup>2</sup> ]	Δm [%]
	osnova	potka		
CO_N	28	28	181.40	
CO_BPT	30	30	190.46	4,995
PES_N	28	22	160.12	
PES_BPT	27	22	159.68	-0,275
PES/CO_N	28	23	162.05	
PES/CO_BPT	28	24	161.63	-0,263

Iz rezultata u tablici 2 vidljivo je da kod pamučne tkanine dolazi do skupljanja u mokroj obradi. Razlog tome je što vlakna bubre te se nakon sušenja skupljaju. Dodatno, enzimskom predobradom se uklanjaju primjese pamuka, hidroksilne skupine celuloze postaju dostupne, te pamučno vlakno jače bubri. Zato je gustoća veća i po osnovi i po potki, a posljedično dolazi i do porasta plošne mase od 5 %. Kod poliesterske tkanine i kod tkanine iz mješavine ne dolazi do skupljanja jer poliesterska vlakna ne bubre radi izrazito kristalne strukture. Međutim, vidljivo je smanjenje plošne mase oko 0,27 % a razlog je enzimska hidroliza poliester. Rezultati prekidne sile i istežanja to potvrđuju (slika 1).



**Slika 1.** a) Sila (F) i b) istežanje (ε) u trenutku prekida tkanina iz pamuka, poliestera i njihove mješavine prije i nakon enzimske predobrade

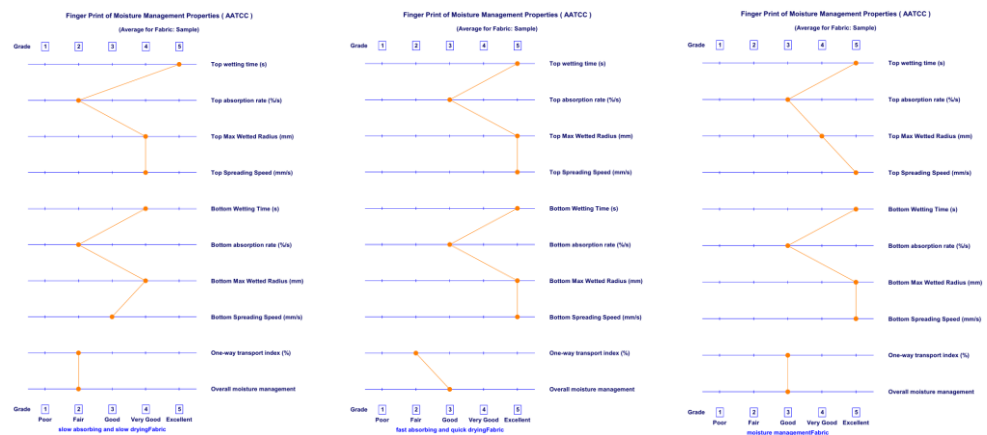
Sa slike 1 je vidljivo da dolazi do smanjenja prekidne sile 6-8 % ali u smjeru potke, dok vrijednosti u smjeru osnove ostaju podjednake. Tkanina u smjeru potke je manje gustoće pa je površina lakše dostupna enzimima. Smanjenje prekidne sile je naglašenije kod tkanina koje sadrže poliester, jer je poliesterska komponenta odgovorna za čvrstoću tkanine. Primjenom lipaza dolazi do hidrolize površine poliester, kao i cijepanja polimernog lanca, pri čemu dolazi do povećanja broja hidroksilnih (-OH) i karboksilnih (-COOH) skupina, no rezultira skraćivanjem polimernog lanca i smanjenjem čvrstoće. Istežanje pri maksimalnoj sili prekida se povećava u smjeru osnove, ali smanjuje u smjeru potke.

Ovaj učinak također ovisi o gustoći tkanina. Uklanjanjem primjese pamuka i hidrolize poliester istovremeno nastaju i/ili postaju dostupne hidroksilne i karboksilne skupine što povećava hidrofilnost tkanine, a time i udobnost pri nošenju. U tablicama 3 i 4 su prikazani rezultati sposobnosti upravljanja kapljevitom vlagom prije i nakon predobrade enzimima prema AATCC 195-2017. Rezultati mjerenja prikazani su za gornju i donju površinu uzorka uz pripadajući Fingerprint i dodijeljeni tip.

**Tablica 3.** Sposobnost upravljanja kapljevitom vlagom tkanina prema AATCC 195-2017

		CO_N		PES_N		PES/CO_N	
		srednje	CV	srednje	CV	srednje	CV
WT (s)	T	2,89	0,775	2,60	0,111	2,38	0,060
	B	4,92	0,083	2,85	0,107	2,66	0,036
AR (%/s)	T	28,78	0,018	39,55	0,097	33,58	0,063
	B	25,76	0,223	50,58	0,155	43,40	0,101
MWR (mm)	T	20,00	0,000	25,00	0,000	21,67	0,133
	B	20,00	0,000	26,67	0,108	25,00	0,000
SS (mm/s)	T	3,12	0,337	5,29	0,061	5,21	0,021
	B	1,99	0,061	5,36	0,096	5,32	0,003
R (%)		94,67	0,130	75,12	0,206	122,68	0,050
OMMC		0,29	0,017	0,50	0,074	0,54	0,035

Fingerprint



Tip

*Sporo apsorbirajuća i sporo sušeća tkanina*
*Brzo apsorbirajuća i brzo sušeća tkanina*
*Tkanina sa sposobnošću upravljanja vlagom*

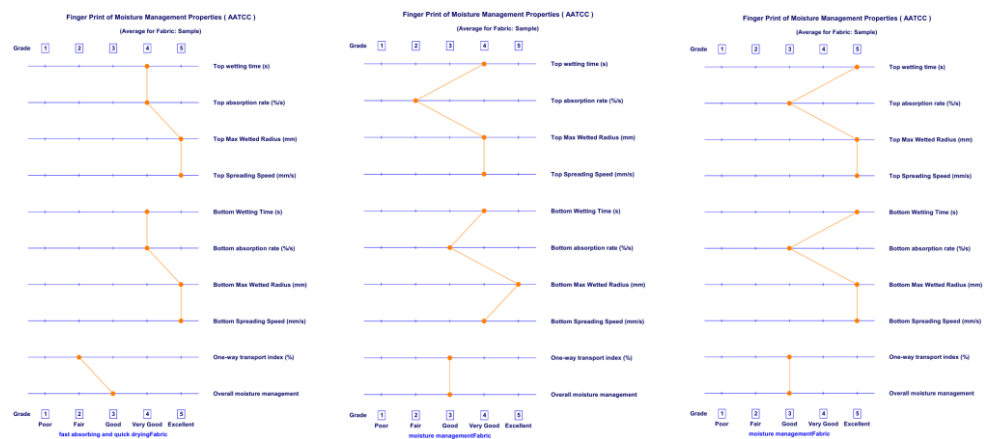
\*koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevito) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC)

Prema AATCC TM 195-2017 vrijeme vlaženja (WT) izmjereno na uređaju MMT definirano je kao vrijeme potrebno da se navlaže gornja i donja površina uzorka. Iz rezultata u tablici 3 vidljivo je da početne tkanine imaju vrijeme vlaženja za gornju površinu kako slijedi: pamučna 2,89 s; poliesterska 2,60 s; mješavina PES/CO 2,38 s. Iz rezultata vremena vlaženja donje površine jasno su vidljive razlike. Za vlaženje donje strane pamučne tkanine potrebno je 4,92 s, dok kod tkanina koje sadrže poliester vremena su 2,85 s za PES i 2,66 s za PES/CO. Ovdje dolazi do izražaja kapilarnost poliesteru pa je prijenos na donju površinu brži. Enzimskom predobrdom vidljivo je da dolazi do promjene. Tkanine koje sadrže pamuk imaju brže vrijeme vlaženja radi čišćenja od primjesa, a time je i brzina razlijevanja (SS) nešto veća i veći je maksimalni promjer vlaženja (MWR). Kod poliesterske tkanine vrijeme je nešto sporije. Razlog tome je vezivanje vode za nove kemijske skupine poliesteru nastale tijekom predobrade, pa je prijenos kroz tkaninu sporiji. Ovo potvrđuje i maksimalni promjer vlaženja (MWR) koji je manji kod ove tkanine, kao i brzina razlijevanja (SS).

Akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (R) predstavlja razliku između dvije površine krivulja sadržane kapljevite vlage na gornjoj i donjoj površini uzorka, s obzirom na vrijeme. Kod početnih uzoraka tkanine R iznosi 94,67 % za pamučnu tkaninu, 75,12 % za poliestersku tkaninu te 122,68 % za tkaninu iz mješavine pamuka i poliesteru. Navedeno ukazuje na visoku apsorptivnost jer je sadržaj vode na gornjoj površini veći nego na donjoj. Enzimska predobrada značajno snižava R kod pamučne tkanine (17,19 %) dok se kod poliesterske tkanine i mješavine poliesteru/pamuka povećava, što je pokazatelj kako je kod pamučne tkanine predobrađene enzimima veća koncentracija vlažnosti na donjoj površini u odnosu na gornju jer je apsorbirala vlagu. Navedeno ukazuje da se kapljevina polako prenosi s donje na gornju površinu. Kod tkanina koje sadrže poliester dolazi do povećanja što ukazuje na dobar jednosmjerni prijenos kapljevine.

**Tablica 4.** Sposobnost upravljanja kapljevitom vlagom tkanina nakon predobrade enzimima prema AATCC 195-2017

		CO_BPT		PES_BPT		PES/CO_BPT	
		srednje	CV	srednje	CV	srednje	CV
WT (s)	T	2,97	0,073	3,09	0,132	2,32	0,028
	B	3,09	0,052	3,25	0,066	2,57	0,046
AR (%/s)	T	71,83	0,027	24,02	0,068	42,90	0,073
	B	66,34	0,015	33,35	0,067	39,63	0,195
MWR (mm)	T	25,00	0,000	21,67	0,133	23,33	0,124
	B	25,00	0,000	23,33	0,124	26,67	0,108
SS (mm/s)	T	4,25	0,073	3,88	0,095	5,98	0,068
	B	4,14	0,064	3,97	0,120	6,07	0,044
R (%)		17,19	3,058	161,08	0,211	159,03	0,163
OMMC		0,48	0,121	0,54	0,037	0,56	0,056

**Fingerprint**

**Tip**

*Brzo apsorbirajuća i brzo sušeća tkanina*

*Tkanina sa sposobnošću upravljanja vlagom*

*Tkanina sa sposobnošću upravljanja vlagom*

\*koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevitom) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC)

Ukupna sposobnost upravljanja vlagom (OMMC) izračunava se iz triju ključnih čimbenika: prirasta apsorpcije na donjoj strani, sposobnosti jednosmjernog prijenosa i najveće postignute brzine razlijevanja na donjoj površini uzorka tkanine. OMMC služi kao pokazatelj ukupne učinkovitosti tkanine u upravljanju vlagom.

Kod početne pamučne tkanine OMMC je dovoljan, a enzimskom predobradom postaje dobar. Budući da početna pamučna tkanina (CO\_N) ima sporu apsorpciju, sporo razlijevanje i slabi jednosmjerni prijenos, dodijeljen joj je tip „Sporo apsorbirajuća i sporo sušeća tkanina“. Enzimski predobrađena pamučna tkanina (CO\_BPT) ima brzo vlaženje, vrlo dobru apsorpciju, veliko područje i brzo razlijevanje te slabi jednosmjerni prijenos, dodijeljen joj je tip „Brzo apsorbirajuća i brzo sušeća tkanina“.

Početna poliesterska tkanina (PES\_N) zbog velike kapilarnosti ima brzo vlaženje i razlijevanje, malu apsorpciju, veliko područje razlijevanja i dovoljan jednosmjerni prijenos te joj je dodijeljen tip „Brzo apsorbirajuća i brzo sušeća tkanina“. Enzimskom predobradom ima bolju apsorpciju i zadržavanje vlage, uz brzo vlaženje, veliko područje razlijevanja i brzo razlijevanje po donjoj površini i dobar jednosmjerni prijenos te joj je dodijeljen tip „Tkanina sa sposobnošću upravljanja vlagom“.

Tkanina iz mješavine poliester/pamuk (PES/CO) ima brzo vlaženje, srednju apsorpciju, srednje područje razlijevanja i brzo razlijevanje po donjoj površini, dobar jednosmjerni prijenos te joj je dodijeljen tip „Tkanina sa sposobnošću upravljanja vlagom“. Enzimskom predobradom ima bolju apsorpciju uz veliko područje razlijevanja i brzo razlijevanje po donjoj površini, no dodijeljeni tip ostaje isti.

## 4. Zaključak

Istražen je utjecaj enzimske predobrade lipazama (Texazym PES) i pektinazama (Beisol PRO) u istoj kupelji na tkanine iz pamuka, iz poliestera i iz mješavine poliester/pamuk (65/35). Analizirane su promjene mehaničkih svojstava (gustoća, plošna masa, prekidna sila i istezanje) te sposobnosti upravljanja kapljevitom vlagom.

Pokazalo se da primjenom mješavine enzima lipaza/pektinaza dolazi do poboljšanja hidrofилnih svojstva istraženih kroz sposobnost upravljanja (kapljevitom) vlagom uz minimalne promjene mehaničkih svojstava. Valja istaknuti kako je poliesterska tkanina koja je bila „Brzo apsorbirajuća i brzo sušeća tkanina“ enzimskom predobradom postala „Tkanina sa sposobnošću upravljanja vlagom“.

### Zahvala:

Rad je sufinanciran kratkoročnom financijskom potporom Sveučilišta u Zagrebu „Nekonvencionalni procesi iskuhavanja pamuka“ (TP2/25) te institucijskim istraživačkim projektom Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta „Zelene tehnologije u ekološkom dizajnu i razvoju održivih materijala – ZORA“. Autori zahvaljuju Erasmus+ programu, KA131, za mobilnost A. Huang na Erasmus+ stručnu praksu (SMP).

**Izjava o korištenju AI alata:** U radu nisu korišteni AI alati.

## Literatura

- [1] Soljačić, I.; Žerdik, M.: Osnovi mercerizacije pamuka, *Tekstil*, 17 (1968) 6, 495-518, ISSN 0492-5882
- [2] Zulić, D.; Grancarić, A.M.: Alkalne pektinaze za iskuhavanje pamuka, *Tekstil*, 51 (2002) 3, 128-135, ISSN 0492-5882
- [3] Pušić, T.; Tarbuk, A.; Dekanić, T. Bio-Innovation in Cotton Fabric Scouring – Acid and Neutral Pectinases, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 23 (2015) 1, 98–103, ISSN 2300-7354
- [4] Colombi, B. L. et al: Advances in sustainable enzymatic scouring of cotton textiles: Evaluation of different post-treatments to improve fabric wettability, *Clean Engineering and Technology*, 4 (2021), 100160, ISSN 2666-7908
- [5] Grancarić, A. M. i sur.: Utjecaj obrade na efekte alkalne hidrolize poliestera, *Tekstil*, 37 (1988) 12, 689-694, ISSN 0492-5882
- [6] Kallay, N.; Grancarić, A.M.; Tomić, M. Kinetics of Polyester Fibre Dissolution, *Textile research journal*, 60 (1990) 11, 663–668, ISSN 0040-5175
- [7] Čorak, I. et al: Sustainable Alkaline Hydrolysis of Polyester Fabric at Low Temperature, *Materials* 15 (2022) 1530, ISSN 1996-1944
- [8] Čorak, I. et al: Bio-Innovative Modification of Poly(Ethylene Terephthalate) Fabric Using Enzymes and Chitosan. *Polymers*, 16 (2024) 17, 2532, ISSN 2073-4360
- [9] Guebitz, G.M.; Cavaco-Paulo, A. Enzymes go big: Surface hydrolysis and functionalization of synthetic polymers. *Trends Biotechnol*, 26 (2008) 1, 32–38, ISSN 0167-7799
- [10] Wu, J. et al: Eco-friendly surface modification on polyester fabrics by esterase treatment, *Applied Surface Science*, 295 (2014), 150–157, ISSN 0169-4332
- [11] Tarbuk, A. et al: The Influence of Cotton/Polyester Blend Fabric Pre-treatment on Chitosan Functionalization. *Engineering Power*, 18 (2023) 1, 6-12, ISSN 1331-7210
- [12] Begović, S.; Beličev, L.; Tarbuk, A.: Enzymatic pre-treatment of cotton-polyester blended fabric, *RIM 2025 - Development and Modernization of Manufacturing (Electronic Proceedings)*, 493-499, ISSN 2566-3283, University of Bihać Faculty of Technical Engineering, Sarajevo (2025)
- [13] Tarbuk, A.; Begović, S.: Comfort Properties of Enzymatically Pretreated Cotton-Polyester Blended Fabrics, *Proceedings of the Joint International Conference: 5th Conference on Engineering and Entrepreneurship and 11th Textile Conference, ITC-ICEE 2025, Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering*, Guxho, G. et al. (ur.), e-ISBN 978-3-032-11085-5, Springer, Cham. (2026)
- [14] Tegegne, W.; Haile, A.: Improving hydrophilicity and comfort characteristics of polyester/cotton blend fabric through lipase enzyme treatment, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 27 (2025) 1, 3-16, ISSN 1618-954X
- [15] Onofrei, E.; Rocha, A. M.; Catarino, A.: The Influence of Knitted Fabrics' Structure on the Thermal and Moisture Management Properties, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 6 (2011) 4, 10-22, ISSN 1558-9250
- [16] Dekanić T. i sur.: Određivanje sposobnosti upravljanja vlagom vodoodbojne pamučne tkanine kondenzirane pri niskoj temperaturi, *Tekstil* 67 (2018) 7-8, 176-188, ISSN 0492-5882

## RAČUNALNA ANALIZA RADNOG MJESTA U ODJEVNOJ INDUSTRIJI

Snježana KIRIN<sup>1\*</sup>, Damir KRALJ<sup>1</sup> i Anica HURSA ŠAJATOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Veleučilište u Karlovcu, Odjel sigurnost i zaštita, Karlovac, Hrvatska

<sup>2</sup>Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska

\*Adresa za korespondenciju: snjezana.kirin@vuka.hr

**Sažetak:** U radu je provedeno istraživanje opterećenja tijela i analiza pokreta u realnom proizvodnom procesu prilikom izvođenja tehnološke operacije našivanja plastrona na prednji dio spavačice primjenom Perception Neuron 3 sustava za snimanje pokreta i programskog rješenja Nawo Live. Nawo Live je alat koji se koristi za procjenu rizika mišićno-koštanog sustava (MSD) pomoću načela ergosimulacije pri čemu koristi metodu RULA (engl. Rapid Upper Limb Assessment), REBA (engl. Rapid Entire Body Assessment), te NIOSH (engl. The National Institute for Occupational Safety and Health) metoda i dr. Ovdje je za analizu uzeta RULA metoda za analizu procjene napora i posturalnih ograničenja. Dobiveni podaci ukazuju na opterećenje radnika pri čemu je prisutno srednje opterećenje odnosno nizak rizik što zahtjeva preoblikovanje radnog mjesta u doglednom vrijeme.

**Ključne riječi:** Nawo Live računalni program, RULA metoda, tehnološka operacija šivanja

### 1. Uvod

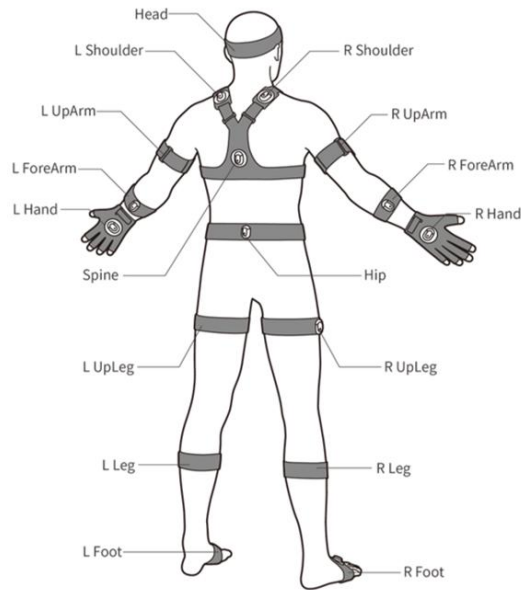
U odjevnoj industriji dolazi do nepovoljnih radnih uvjeta, visokog opterećenja, korištenja strojeva i druge radne opreme što čini rad izrazito psihofizički i statodinamički intenzivnim te je radnik podložan i profesionalnim oboljenjima [1]. Statodinamički naponi uzrokovani su mišićno-koštanim poremećajima koji mogu biti veliki zdravstveni i financijski problem jer je narušeno zdravlje radnika, a znatno utječe na smanjenje radne sposobnosti, smanjenja produktivnosti te odlaskom na bolovanje što opterećuje zdravstveni sustav [2]. Optimizacijom radnih pokreta kod posluživanja strojeva odnosno određivanje pogodne metode rada s pripadajućim vremenskim normativima dovodi do povoljnije strukture tehnološke operacije uz povećanje stupnja korištenja strojeva i satne proizvodnje te dovodi do smanjenja opterećenja i zamora radnika, smanjenja ukupnog psihofizičkog napora radnika kao i smanjenje broja ozljeda pri radu i smanjenja bolovanja [3]. U radu je primjenom programske podrške Nawo Live i pripadajućom RULA metodom analizirano radno mjesto u realnom radnom procesu.

### 2. Sustav za snimanje pokreta Nawo Live

Snimanje pokreta i praćenje radnika provodi se primjenom NOITOM Perception Neuron 3 (PN3) i programske podrške francuske tvrtke HRV pod nazivom Nawo Live.



**Slika 1.** Prikaz senzorskog kompleta Perception Neuron 3



Slika 2. Prikaz plana postavljanja senzora [4]

Nawo live je alat za procjenu ergonomskih rizika i opterećenja, koji precizno identificira čimbenike povezane s mišićno-koštanim poremećajima. Omogućuje poboljšanje radnih uvjeta i prevenciju rizika. Inercijski sustav unutar alata pruža detaljne podatke o kutovima, brzinama i ubrzanjima pokreta. Sustav omogućuje praćenje u stvarnom vremenu uz povratne informacije korisniku tijekom izvođenja radnih zadataka. Senzori bilježe podatke o tjelesnim pokretima, omogućujući pouzdanu i preciznu analizu. Nawo Live nudi dvije opcije snimanja: rješenje sa sensorima i rješenje putem videozapisa [5]. Nawo Live obuhvaća snimanje, analizu aktivnosti i generiranje izvještaja. Nakon snimanja, Nawo Live automatski generira Excel izvještaj koji sadrže sve relevantne pokazatelje i podatke o biomehaničkim opterećenjima.

**RULA Method**

Find the full guide here:

Name: \_\_\_\_\_ First Name: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Workstation: \_\_\_\_\_

Score: \_\_\_\_\_

#### A. Shoulder, elbow and wrist analysis

**Step 1** Locate shoulder position

Shoulder raised: **Add +1**  
Shoulder abducted: **Add +1**  
If the shoulder is supported or the person is leaning: **Remove -1**

Score: \_\_\_\_\_

**Step 2** Locate elbow position

If one forearm is working across midline or out to side of body: **Add +1**

Score: \_\_\_\_\_

**Step 3** Locate wrist position

If ulnar/radial wrist deviation: **Add +1**

Score: \_\_\_\_\_

**Step 4** Wrist pronosupination

Wrist position is neutral: **+1**  
Wrist is at or near end of range: **+2**

Score: \_\_\_\_\_

**Step 5** Group A score

Using the values from steps 1 to 4, find the score in **table A**.

Score: \_\_\_\_\_

**Step 6** Muscle activity

If posture is held static for more than 10 minutes or if the action is repeated more than 4 times per minute: **Add +1**

Score: \_\_\_\_\_

**Step 7** Effort and load score

Load less than 2kg (intermittently): **0**  
Load between 2kg and 10kg (intermittently): **Add +1**  
Load between 2kg and 10 kg (static posture or repetitiveness): **Add +2**  
Load greater than 10 kg with repetition or shocks: **Add +3**

Score: \_\_\_\_\_

**Step 8** Shoulder, elbow and wrist score

Add the values from steps 5 to 7 to obtain the **Shoulder, Elbow and Wrist score** corresponding to the rows in **table C**.

Score: \_\_\_\_\_

#### B. Neck, trunk and legs analysis

**Step 9** Locate neck position

Neck in axial rotation: **Add +1**  
Neck in lateral flexion: **Add +1**

Score: \_\_\_\_\_

**Step 10** Locate trunk position

Trunk in axial rotation: **Add +1**  
Trunk in lateral flexion: **Add +1**

Score: \_\_\_\_\_

**Step 11** Legs

Legs are in bipodal support: **+1**  
Legs are in monopodal support: **+2**

Score: \_\_\_\_\_

**Step 12** Group B score

Using the values from steps 9 to 11, find the score in **table A**.

Score: \_\_\_\_\_

**Step 13** Muscle activity

If posture is held static for more than 10 minutes or if the action is repeated more than 4-times per minute: **Add +1**

Score: \_\_\_\_\_

**Step 14** Effort and load score

Load less than 2kg (intermittently): **0**  
Load between 2kg and 10kg (intermittently): **Add +1**  
Load between 2kg and 10 kg (static posture or repetitiveness): **Add +2**  
Load greater than 10 kg with repetition or shocks: **Add +3**

Score: \_\_\_\_\_

**Step 15** Neck, trunk and legs score

Add the values from steps 12 to 14 to obtain the **Neck, Trunk and Legs score** corresponding to the columns in **table C**.

Score: \_\_\_\_\_

**RULA final score**

Table C score: \_\_\_\_\_

Score	Risk level
1-2	Negligible risk - no action required.
3-4	Low risk - change may be required.
5-6	Medium risk - vigilance, improvements to consider.
7	High risk - immediate response.

Check out your assessments and reduce your analysis time by 75% with Nawo Live.  
[www.nawo-solution.com](http://www.nawo-solution.com)

Slika 3. Prikaz načina izračuna opterećenja mišićno-koštanog sustava metodom RULA [7]

Na slici 3 dan je prikaz načina izračuna mišićno-koštanog opterećenja metodom RULA. Podloga za izračunavanje opterećenja radnika putem RULA metode u Nawo Live je rad McAtamney, L., Corlett, E.N.: RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders [7]. Računalnom analizom određuju se nepovoljni pokreti i položaji tijekom unutar tehnoloških operacija te njeno vremensko trajanje. Pojedini tehnološki zahvat, kao određeni sklop pokreta, moguće je izvesti kombinacijom različitih osnovnih pokreta, ovisno o vrsti pokreta, rasporedu radnih elemenata, veličini izratka i dužini pokreta. Odabirom računalnih rješenja postižu se povoljniji radni pokreti i položaji tijela te povoljnije oblikovano radno mjesto. Iznaženje pogodne metode rada s optimalnim sklopovima pokreta smanjuje se vrijeme izvođenja tehnoloških operacija uz manje opterećenje i zamor radnika [6].

### 3. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu rada za tehnološku operaciju našivanja ukrasnog prednjeg umetka na prednji dio spavačice koja se izvodi na univerzalnom šivaćem stroju izvedeno je:

- Snimanje video kamerom
- Snimanje radnika primjenom inercijskih senzora (PN3)
- Analiza radnog opterećenja RULA metodom primjenom programskog rješenja Nawo Live.

Tehnološka operacija se sastoji od sljedećih tehnoloških zahvata: uzimanje prednjeg dijela spavačice, uzimanje ukrasnog prednjeg umetka, međusobno sastavljanje dijelova, pozicioniranje pod šivaću iglu, šivanje, te odlaganja.

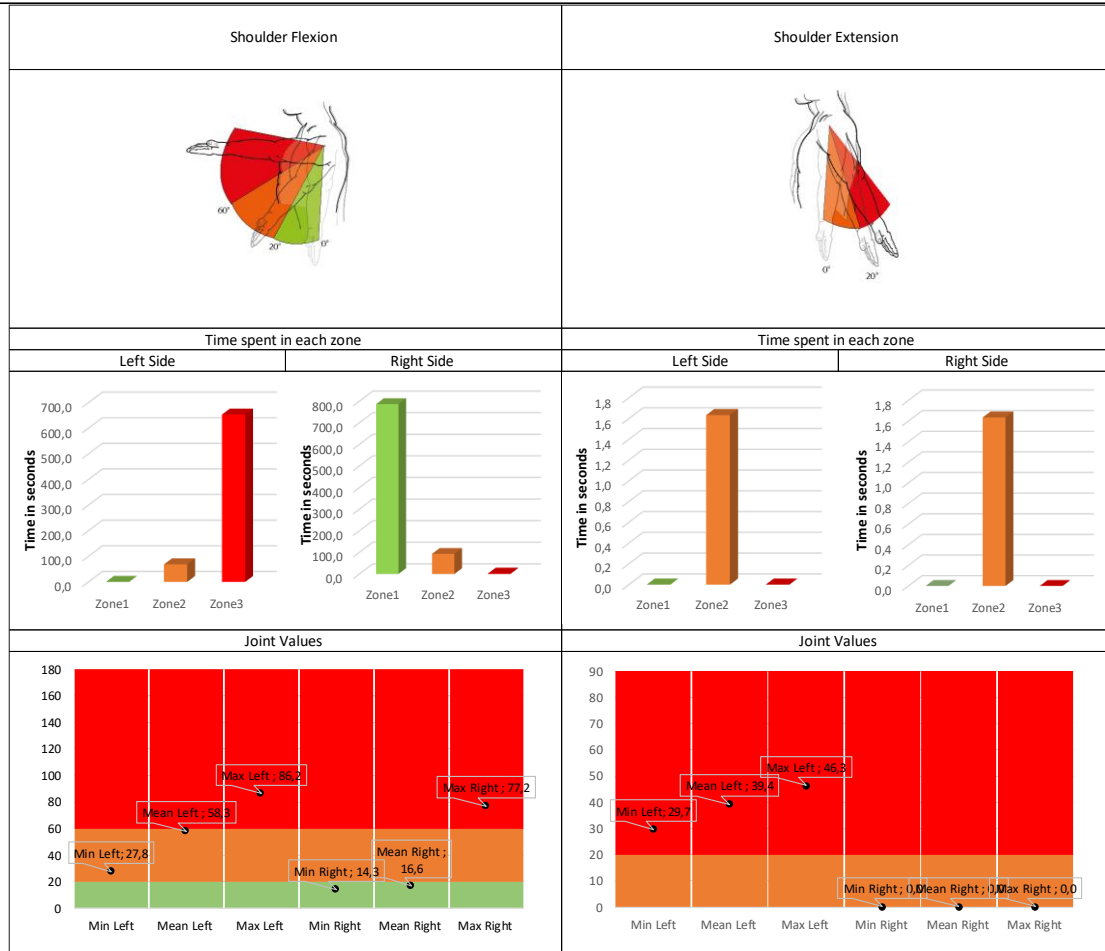
Tehnološka operacija snimana je u tt. Pletix pri čemu je zabilježeno 10 ponavljanja u trajanju od 15 min, pri čemu izrada jedne tehnološke operacije traje 90 sekundi. Za snimanje tehnološke operacije korištena je kamera Microsoft LifeCam HD-3000. Provedena je kalibracija inercijskih senzora prije te nakon postavljanja na radnicu u programu Axis Studio gdje je određen i antropometrijski izmjer radnice (predložak za visinu 173 cm). Senzori pružaju podatke o brzini, rotaciji i položaju radnikova tijela, aplikacija Axis Studio ih evidentira i prosjeđuje na daljnju obradu u aplikaciju Nawo Live. U programskom rješenju Nawo Live, se za ponavljajuće kretnje stvarnog radnika preoblikovane u kretnje robota-manekena prikupljaju podaci o kretanjama i potom obrađuju putem RULA metode. U Nawo Live definiraju se opći parametri opterećenja, a potom program temeljem snimke određuje opterećenje lijeve i desne strane za nadlaktice, podlaktice, zapešća, trup i vrat.

Opterećenje je podijeljeno u tri zone: bez opterećenja, srednje opterećenje i visoko opterećenje s pripadajućim vremenom. Temeljem pojedinih opterećenja program izračunava ukupno opterećenje ocjenom od 1 do 7.

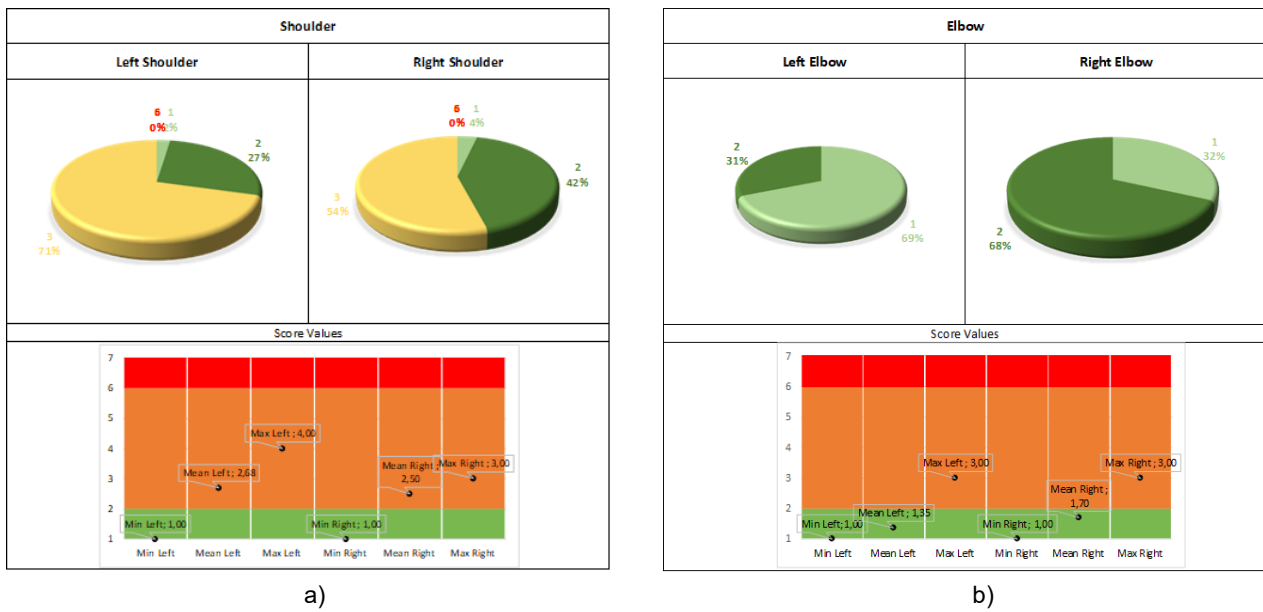
### 4. Rezultati i rasprava

Rezultati pojedinih opterećenja nadlaktice, podlaktice, zapešća, prstiju, trupa i vrata prikazani su na sljedećim grafikonima. Na slici 4 dan je prikaz prvog koraka izračuna opterećenja nadlaktice (fleksija i rastezanje) za lijevu i desnu s vremenom trajanja i opterećenjem podijeljenom u tri zone. Podaci pokazuju da radnica s lijevom nadlakticom u području fleksije iznad 60° (91,7°) radi veći dio vremena (400 s), što predstavlja visoko opterećenje, dok s desnom nadlakticom radi u području između 20° i 60° (776,7 s) što predstavlja srednje opterećenje. Rastezanje lijeve i desne nadlaktice je u području srednjeg opterećenja (0°-20°).

Na slici 5a dano je ukupno opterećenje za lijevu i desnu stranu nadlaktice koji ukazuju da nema opterećenja nadlaktice te je opterećenje nisko (ocjena 3 - 71% lijeva nadlaktica, ocjena 3 - 54% vremena desna nadlaktica), dok na slici 5b dano je ukupno opterećenje za lijevu i desnu podlakticu što ukazuje da nema opterećenja (ocjena 1-69%- lijeva nadlaktica, ocjena 2 - 68% desna podlaktica).



Slika 4. Prikaz izračuna opterećenja nadlaktice (prvi i drugi korak analize)



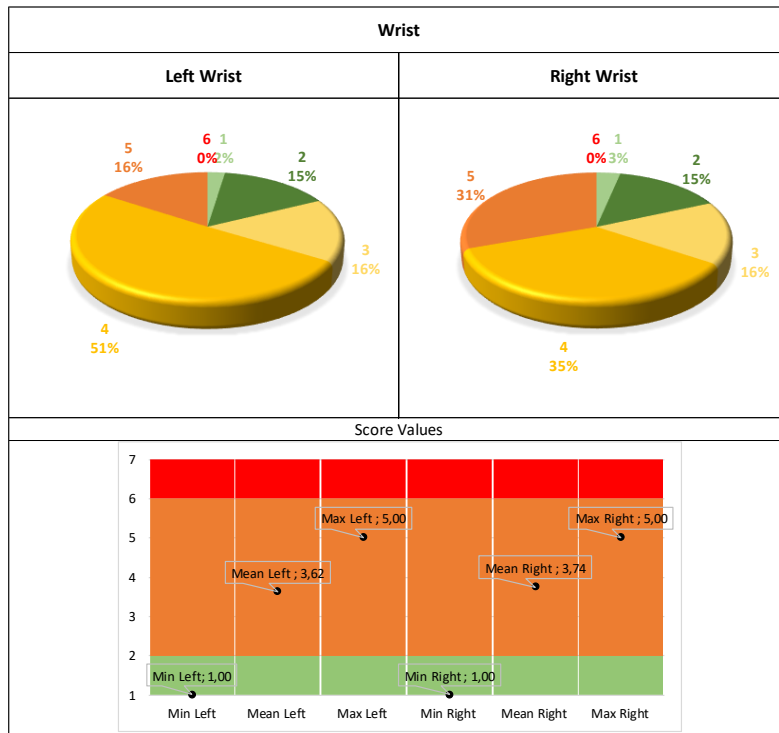
a)

b)

Slika 5. Prikaz ukupnog opterećenja: a. nadlaktice i b. podlaktice

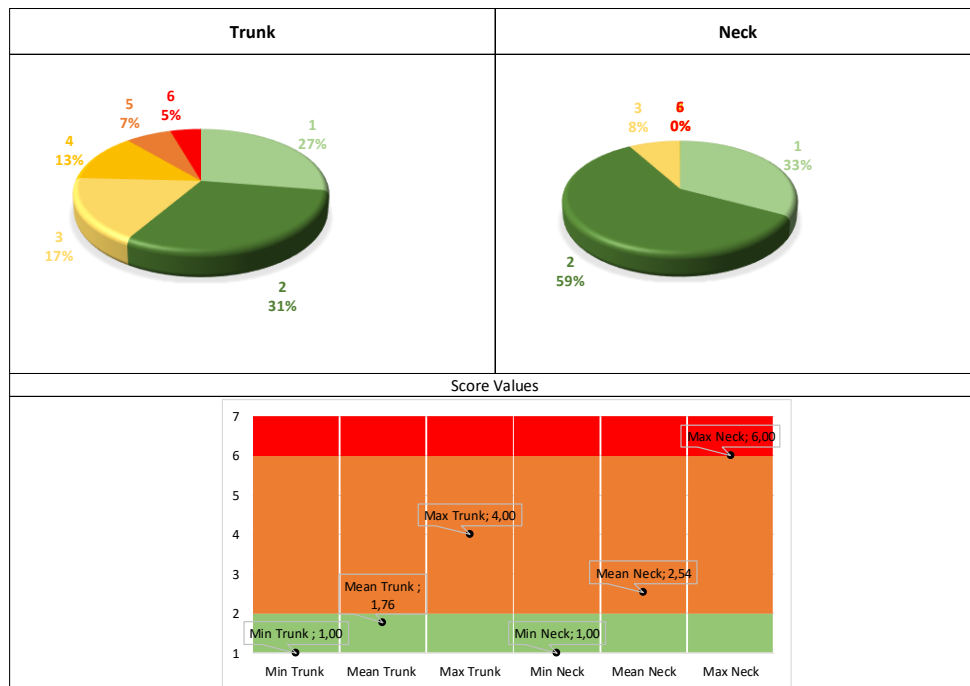
Na slici 6 dan je prikaz opterećenja prstiju za lijevu i desnu ruku koji ukazuju da je prisutan nizak rizik (ocjena 3-4). Veći dio vremena radnica kod rada s prstima lijeve ruke provede 51% (ocjena 4), te 16% provede 16% (ocjena 3). Kod rada s prstima desne ruke radnica provede 16% (ocjena 3), 35% (ocjena 4), te 31% (ocjena

5), što ukazuje nešto veće opterećenje prstiju desne ruke. Ocjena 3 i 4 predstavlja nizak rizik uz potrebu potrebe eventualnih promjena na radnom mjestu.



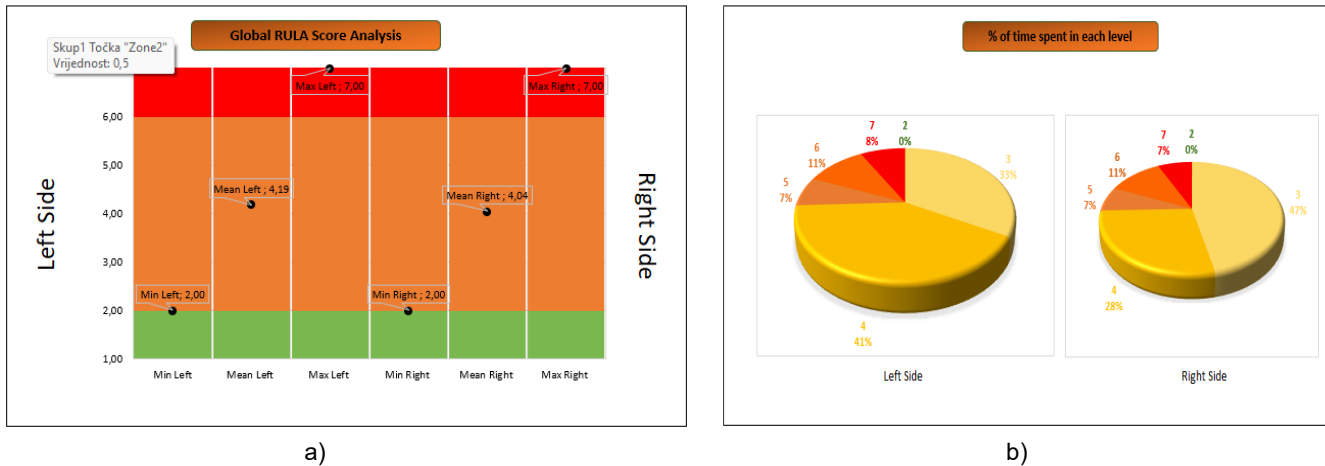
Slika 6. Prikaz opterećenje prstiju

Na slici 7 dano je ukupno opterećenje trupa i vrata koje ukazuje da je prisutno srednje opterećenje - nizak rizik. Opterećenje trupa je ocjenom 1 i 2 (58%), ocjenom 3 i 4 (30%) što ukazuje na nešto veće opterećenje ali još uvijek nizak rizik što predstavlja potrebu preinaka na radnom mjestu. Vrat je s niskim rizikom (ocjena 1 i 2 – 92%) za što nije potrebno preoblikovanje radnog mjesta.



Slika 7. Prikaz opterećenja trupa i vrata

Na slici 8a dan je prikaz opterećenja s obzirom na tri zone pri čemu je vidljivo da je ukupno opterećenje srednjeg intenziteta i zahtjeva oblikovanje radnog mjesta u doglednom vremenu. Na slici 8b dano je opterećenje s obzirom na vrijeme pri čemu je vidljivo da radnik radi veći dio vremena sa srednjim rizikom ocjenom 3 i 4 što potvrđuje da je prisutan nizak rizik koji zahtjeva preopterećenje radnog mjesta u doglednom vremenu.



**Slika 8.** Prikaz ukupnog opterećenja RULA metodom: a. lijeva i desna strana podijeljena u tri zone; b. ukupno opterećenje s obzirom na vrijeme

Na postojećem radnom mjestu nepovoljni radni odnos čovjek-stroj-okolina može dovesti do opterećenja uzrokovanog prisilnim položajem trupa, povećanja abdominalnog tlaka, smanjenja vidnih sposobnosti i motorike pokreta uzrokovani nepovoljnim kutovima pripadajućih kinematičkih zglobnih sustava.

## 5. Zaključak

Za tehnološku operaciju našivanja ukrasnog prednjeg umetka na prednji dio spavačice izvedeno je snimanje inercijskim sensorima radnika u realnom proizvodnom procesu te analiza radnog opterećenja RULA metodom primjenom računalnog programa Nawo Live.

Analizirani rezultati upućuju na opterećenje niskog i srednjeg intenziteta prilikom izvođenja tehnološke operacije našivanje plastrona na prednji dio spavačice, čime se ne umanjuje potencijalno povećanje rizika i potreba preoblikovanja radnog mjesta uvođenjem dodatnih tehnoloških operacija. Pored toga dolazi do opterećenja prstiju uzrokovanih cjelodnevnom manipulacijom izradcima.

**Izjava o korištenju AI alata:** U radu nisu korišteni AI alati.

## Literatura

- [1] Kralj, D.; Kirin, S.; Vulić, M.: Meeting the "Teksergo" project, Book of proceedings of 9th International Professional and Scientific Conference "Occupational Safety and Health", Kirin, S.; Štedul, I.; Lulić, S. (url.). 478-484, ISSN 2623-6435, Karlovac University of Applied Science, Zadar (2024)
- [2] Čolović, G.: Garment Industry Problems, Journal of Textile Science & Engineering, 4 (2014) 6, 1-5
- [3] Kralj, D.; Kirin, S.; Štedul, I.: Istraživanje mogućnosti unapređenja radnih procesa primjenom računalne podrške // Sigurnost: časopis za sigurnost u radnoj i životnoj okolini, 67 (2025) 1, 19-29
- [4] Noitom Ltd., Perception Neuron User Manual, Pristupljeno: 10-11-2025
- [5] Nawo Solution: Ergonomic Diagnostic Tool – Nawo Live, Dostupno na: [www.nawo-solution.com](http://www.nawo-solution.com), Pristupljeno: 10-11-2025
- [6] Vujica-Herzog, Natasa, Borut Buchmeister, and Matic Breznik.: Ergonomics, digital twins and time measurements for optimal workplace design, Human Factors and Simulation, 30 (2022), 60–67
- [7] McAtamney L., Corlett, E.N.: RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, Applied Ergonomics, 24 (1993) 2, 91-99

# PRIMJENA INKLUZIJSKOG KOMPLEKSA $\beta$ -CIKLODEKSTRIN-ETERIČNO ULJE U DIZAJNU DEKORATIVNIH TKANINA TEHNIKOM TISKA

Ana PALČIĆ<sup>1</sup>, Sandra FLINČEC GRGAC<sup>1\*</sup>, Sanja VUČKOVIĆ<sup>1</sup> i Iva BRLEK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska

\* Adresa za korespondenciju: [sflincec@ttf.unizg.hr](mailto:sflincec@ttf.unizg.hr)

**Sažetak:** Od prapovijesnih vremena tekstilni tisak ima poseban značaj jer omogućava prenošenje složenih motiva i boja na tkaninu, dajući joj umjetničku i kulturnu dimenziju. S obzirom na rastuće izazove vezane za održivost, istraživanja se usmjeravaju na postizanje dodatnih svojstava tekstilnih materijala, poput antimikrobne zaštite, otpornosti na vanjske utjecaje ili ugradnje mirisnih i terapijskih komponenti. U tom se kontekstu javlja interes za uvođenje aktivnih komponenti u proces tiska, koje tekstilu mogu pružiti dodatne vrijednosti pri čemu se posebno ističu ciklodekstrini koji nalaze široku primjenu u tekstilnoj industriji zbog netoksičnosti, biorazgradivosti i sposobnosti poboljšanja ciljanih svojstava tekstilija. Njihova jedinstvena struktura omogućuje stvaranje inkluzijskih kompleksa s različitim aktivnim tvarima, a u kombinaciji s eteričnim uljima mogu stabilizirati hlapljive aktivne komponente, kontrolirati njihovo otpuštanje te im produljiti djelovanje. U ovom radu istražena je mogućnost primjene inkluzijskih kompleksa  $\beta$ -ciklodekstrina i eteričnog ulja čajevca ( $\beta$ -CD-TT) u postupku sitotiska na pamučne tkanine prema izrađenim unikatnim uzorcima otisaka. Ujedno je istražen postupak pripreme paste uz optimiranu količinu dodanog kompleksa i uvjet termokondenzacije radi postizanja postojanog otiska. Nakon tiska, dio uzoraka podvrgnut je procesu pranja u skladu sa standardom. Praćene su fizikalno-kemijske promjene na spektrofotometru s Fourier-ovom transformacijom infracrvenog spektra u tehnici prigušene totalne refleksije (FTIR-ATR) te je potvrđeno vezivanje  $\beta$ -CD-TT s celulozom posredstvom tiskarske paste, što je dodatno potvrđeno i olfaktometrijskim testiranjem intenziteta mirisa. Utvrđeno je da miris otiska na tkanini prije pranja pokazuje veći intenzitet, koji i nakon pranja zadržava dobra svojstva kroz cijelo razdoblje ispitivanja. Remisijskim spektrofotometrom Datacolor 850 provedeno je kvantitativno praćenje odstupanja u boji uzoraka te postojanosti otiska. Posebna pozornost posvetila se ostvarivanju ravnoteže između vizualnog dojma i novih svojstava tkanina, kao i održivosti samog procesa. Integracija ovih spojeva u proces tiska predstavlja inovativan spoj tradicije i suvremene znanosti te estetike tekstilnog dizajna i naprednih kemijskih tehnologija.

**Ključne riječi:** celulozna tkanina, inkluzijski kompleks  $\beta$ -ciklodekstrin–eterično ulje čajevca, tekstilni tisak, FTIR-ATR analiza, intenzitet mirisa.

## 1. Uvod

Tekstil je jedan od najstarijih i najvažnijih materijala u ljudskoj povijesti te je od samih početaka imao funkcionalnu, estetsku i simboličku ulogu. Od prapovijesnog ukrašavanja tijela do suvremenih visokotehnoloških postupaka oplemenjivanja, tekstil je pratio razvoj čovjeka i društva. Posebnu ulogu u tom razvoju ima tekstilni tisak, koji omogućuje prijenos složenih motiva i boja na tkaninu te joj daje umjetničku i kulturnu dimenziju. Tekstilni tisak predstavlja proces spajanja kreativne ideje i dizajna tehnikom nanošenja bojila unutar jasno definiranih kontura uzorka [1, 2]. Jedna od najraširenijih tehnika direktnog tiska je pigmentni tisak, pri kojem se koriste netopljivi pigmenti bez afiniteta prema tekstilnom vlaknu, a fiksiraju se pomoću vezivnih sredstava. Prednost ove tehnike očituje se u jednostavnosti i ekonomskoj opravdanosti, budući da ne zahtijeva dodatne faze poput pranja ili uklanjanja nefiksiranih komponenti. Nakon sušenja i fiksiranja toplim zrakom, proces tiska je završen, a proizvod spreman za uporabu [3-4]. Suvremeni izazovi tekstilne industrije, osobito u području održivosti, potaknuli su istraživanja usmjerena na postizanje dodatnih funkcionalnih svojstava tekstila [5]. U tom se kontekstu sve veći interes pridaje uvođenju aktivnih komponenti u proces oplemenjivanja [6-7]. Posebno se ističu ciklodekstrini (CD), ciklički oligosaharidi sposobni stvarati inkluzijske komplekse s različitim aktivnim tvarima. Građeni su od glukopiranoznih jedinica povezanih  $\alpha$ -1,4 vezama, a karakterizira ih hidrofobna unutarnja šupljina i hidrofilna vanjska površina. Ova struktura omogućuje kompleksiranje alifatskih i aromatskih molekula, čime se povećava njihova topljivost, stabilnost te sprječava brzo isparavanje i degradacija [8]. Tijekom formiranja inkluzijskih kompleksa ne dolazi do stvaranja ili prekidanja vodikovih veza. Zahvaljujući tim svojstvima, ciklodekstrini omogućuju razvoj tekstilija s novim funkcionalnim karakteristikama, a njihova sposobnost trajnog vezivanja za tekstilna vlakna intenzivno se

istražuje. U kombinaciji s eteričnim uljima, ciklodekstrini stabiliziraju hlapljive komponente, kontroliraju njihovo otpuštanje te produljuju djelovanje. Istraživanja su pokazala da se aktivna tvar nakon kontakta s kožom oslobađa, dok kovalentno vezani ciklodekstrin zadržava sposobnost ponovnog kompleksiranja [9-10]. Time se otvara mogućnost primjene u području antimikrobnih, wellness, medicinskih i aromatskih tekstilnih proizvoda [11-14]. Eterično ulje čajevca jedno je od najpoznatijih prirodnih antimikrobnih sredstava. Njegove lipofilne komponente, poput terpinen-4-ola, linalola i  $\alpha$ -terpineola, ulaze u stanice mikroorganizama, inhibiraju metabolizam i uzrokuju njihovu smrt. Dokazana je njegova učinkovitost protiv bakterija kao što su *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* i vrste roda *Streptococcus* [14-16]. Dosadašnja istraživanja potvrđuju potencijal ciklodekstrina u tekstilnom tisku. Ibrahim i suradnici [17] postigli su učinkoviti otisak i UV zaštitu tkanina kompleksiranjem disperznih bojila s  $\beta$ -ciklodekstrinom. Zhao i suradnici [18] pokazali su da modifikacija pamučnih tkanina  $\beta$ -ciklodekstrinom poboljšava adsorpciju prirodnih bojila, postojanost i mehanička svojstva. Flinčec Grgac i suradnici [19] istraživali su inkluzijske komplekse eteričnog ulja limuna i  $\beta$ -ciklodekstrina, ukazujući na mogućnost zaštite od insekata. Daljnja istraživanja u ovom području mogu dovesti do inovativnih, održivih i funkcionalnih tekstilnih proizvoda.

## 2. Eksperimentalni dio

### 2.1. Materijali i metodologija

U radu je korištena 100 % pamučna tkanina (CO) s gustoćom osnove 26 niti/cm i potke 40 niti/cm, atlasnog veza (4/1). Za tehniku tiska primijenjen je  $\beta$ -ciklodekstrin (Tokyo Chemical Industry Co., Ltd.), čije je inkluzijsko kompleksiranje s 30 % eteričnog ulja čajevca (AROMARA, Australija) provedeno visokoenergetskim vibracijskim mikromlinom (RETSCH® MM 400) pri frekvenciji 25,0 Hz tijekom 15 min. Dobiveni kompleks osušen je u autoklavu na 80 °C tijekom 24 h te dodatno aktiviran mikrovalnom energijom (SHARP YC-GG252A, Japan) snage 80 % u trajanju od 2 min. Tiskarska pasta sadržavala je pastu Printperfekt 226 EC (CHT Bezema, Švicarska), 20 % inkluzijskog kompleksa  $\beta$ -CD s eteričnim uljem čajevca ( $\beta$ -CD-TT), demineraliziranu vodu ( $< 1 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) i pigment Colormatch 300 Blau (CHT Bezema, Švicarska). Nakon tiska uzorci su sušeni konvekcijski na 100 °C tijekom 2 min te termokondenzirani na 150 °C tijekom 6 min. Dio uzoraka podvrgnut je jednom ciklusu pranja prema normi HR EN ISO 6330:2012 [20] u uređaju Wascator FOM71 CLS pri 40 °C, uz standardni deterdžent bez optičkog bjelila i fosfata (WFK 88031), a potom sušeni u sušilici Electrolux T5130-LAB prema programu NORMALNO LAB tijekom 30 min. Oznake otisnutih uzoraka prije i nakon pranja prikazane su u tablici 1. Izrada idejnog crteža uzoraka i priprema šablona za sitotisak provedene su u programu Adobe Illustrator 2024. Za tisak na pamučnu platnenu torbu odabrani su uzorci prikazani na slici 1. Uzorak karakterizira dvostruka ritmizacija kvadrata u horizontalnom i dijagonalnom smjeru, što mu daje dinamičan vizualni dojam. Jednobojan je, tamnoplave boje, s izraženim kontrastom prema bijeloj podlozi, a motivi su inspirirani španjolskim, grčkim i portugalskim keramičkim pločicama.

Tablica 1. Oznake uzoraka i njihovo značenje

Oznaka	Značenje
P_B P_B_W	Pamučna tkanina otisnuta pastom B, osušena na rasteznom sušioniku na 100 °C, 2 min; ista jednom oprana tkanina (W)
P_B_TB P_B_TB_W	Pamučna tkanina otisnuta pastom B, osušena na rasteznom sušioniku na 100 °C, 2 min i termokondenzirana na 150 °C, 6 min; ista jednom oprana tkanina (W).
P_20_CD_B P_20_CD_B_W	Pamučna tkanina otisnuta s tiskarskom pastom B uz dodatak 20 % $\beta$ -CD-TT, osušena na rasteznom sušioniku na 100 °C, 2 min; ista jednom oprana tkanina (W).
P_20_CD_B_TB P_20_CD_B_TB_W	Pamučna tkanina otisnuta s tiskarskom pastom B uz dodatak 20 % $\beta$ -CD-TT, osušena na rasteznom sušioniku na 100 °C, 2 min i termokondenzirana na 150 °C, 6 min; ista jednom oprana tkanina (W).

Za izradu šablone izrađen je negativ uzorka koji se tiska crnom bojom na prozirnoj foliji. Kod izrade tiska uzornica se razradi po efektima i izrađuje se šablona. Za izradu šablone za sitotisak sito se premazuje fotoemulzijom s vanjske i unutarnje strane. Fotoemulzija se priprema prema sljedećoj recepturi: za 100 g fotoemulzije korišteno je 100 g emulzije SAATIGRAF HS3 + D.SAATI A i 0,44 g MDZ4 senzibilizatora. Premazana sita osušena su na temperaturi od 40 °C u mraku. Nakon sušenja pripremljena sita premazuju se fotoemulzijom i osvjetljavaju preko pripremljenih folija s uzorcima. Fotoemulzija polimerizira na mjestima prolaza svjetla, a vrijeme osvjetljavanja ovisi o finoći uzorka, u ovom slučaju provodilo se 90 sekundi. Na mjestima gdje nije došlo do prolaza svjetlosti, jer je blokiran negativom uzorka, fotoemulzija se nije polimerizirala i nije se fiksirala za sito te se ispiru pomoću laganog mlaza vode i tako otvara sito u konturama željenog uzorka.



**Slika 1.** Dizajn uzoraka i vizualizacija na platnenoj torbi

Remisijskim spektrofotometrom Datacolor 850 (Švicarska) provedeno je kvantitativno praćenje odstupanja u boji uzoraka kroz parametre spektralnih karakteristika (CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  i  $h^\circ$ ) unutar mjernog područja od 360 nm do 700 nm. Fizikalno-kemijske promjene u otisnutim pamučnim uzorcima analizirane su primjenom Fourierovog transformacijskog infracrvenog spektrofotometra (FTIR, Spectrum 100, Perkin Elmer, USA). Spektralne krivulje snimljene su u tehnici prigušene totalne refleksije (ATR) sa četiri skena pri rezoluciji od  $4\text{ cm}^{-1}$  između  $4000\text{ cm}^{-1}$  i  $380\text{ cm}^{-1}$  te su obrađene u programu Spectrum 100S. U svrhu praćenja brzine otpuštanja mirisa eteričnog ulja čajevca iz inkluzijskog kompleksa  $\beta$ -ciklodekstrina primijenjena je subjektivna olfaktometrijska metoda određivanja intenziteta mirisa otisnutih pamučnih uzoraka. Ispitivanje je provelo 5 osoba koji su periodično procijenili (1., 3. i 6. dan) intenzitet mirisa te sukladno tome dodijelili ocjene uzorcima od 1 do 5 (1 - nema mirisa, 2 - lagan miris, 3 - srednji miris, 4 - jak miris, 5 - intenzivan miris).

### 3. Rezultati i diskusija

Kako bi se objektivno utvrdile promjene u intenzitetu, nijansi i zasićenosti boja korišten je remisijski spektrofotometar Datacolor 850 koji omogućuje kvantitativno praćenje odstupanja u boji. Izračunata je i ukupna razlika u boji  $\Delta E$  te prikazana i razlika u pojedinim parametrima:  $\Delta L^*$  (razlika u svjetlini),  $\Delta C^*$  (razlika u kromi),  $\Delta h$  (razlika u tonu),  $\Delta a^*$  i  $\Delta b^*$  (razlike u  $a^*$  i  $b^*$  koordinatama). Ukupna razlika u boji  $\Delta E$ , izračunava se prema izrazu [3]:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

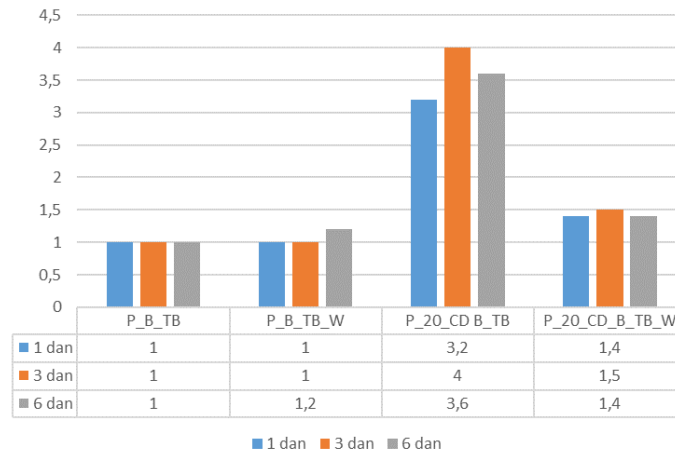
Dobiveni podaci prikazani su u tablici 2. i pružaju uvid u promjene obojenja otisnutih uzoraka prije i nakon postupka pranja.

**Tablica 2.** Rezultati mjerenja remisijskim spektrofotometrom

Uzorak	CIE $L^*$	CIE $a^*$	CIE $b^*$	CIE $C^*$	CIE $h^\circ$	$\Delta C^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
P_B_TB	48,95	-19,65	-40,51	45,03	244,13	-	-	-	-	-
P_B_TB_W	48,42	-18,95	-39,72	44,01	244,50	-1,02	-0,53	0,7	0,79	1,18
P_20_CD_B_TB	57,21	-24,34	-37,80	44,96	237,22	-0,07	8,26	-4,69	2,71	9,88
P_20_CD_B_TB_W	52,17	-22,47	-38,83	44,86	239,95	0,85	3,75	-3,52	0,89	5,22

Praćen je utjecaj dodatka 20 %  $\beta$ -CD-TT, pigmenta i procesa termokondenzacije na stabilnost obojenja. Uzorci otisnuti pastom B s primjesom 20 %  $\beta$ -CD-TT svjetliji su u odnosu na otisnute uzorke bez sadržaja  $\beta$ -CD-TT što se očituje kroz blagi rast CIE  $L^*$  vrijednosti. Negativne vrijednosti CIE  $a^*$  (-18 do -24) potvrđuju prisutnost zelene komponente, a s pranjem se te vrijednosti smanjuju. Negativne CIE  $b^*$  vrijednosti upućuju na prisutnost plave komponente (-37 do -41), njihova vrijednosti se smanjuje nakon postupka pranja. CIE  $C^*$  i CIE  $h^\circ$  ostaju relativno stabilne, nijansa ostaje plava, ali nešto je manje zasićena nakon postupka pranja. Kod uzoraka P\_20\_CD\_B\_TB ( $\Delta L^*=8,26$ ), P\_20\_CD\_B\_TB\_W ( $\Delta L^*=3,75$ ) zabilježena su najveća odstupanja vrijednosti  $\Delta L^*$  što može biti posljedica reakcije  $\beta$ -ciklodekstrina i pigmenta. Uzorci s najvećim odstupanjem pokazali su negativne  $\Delta a^*$  vrijednosti, što ukazuje na smanjenje crvene komponente i pomak prema zelenkastim tonovima što je najviše vidljivo kod uzoraka P\_20\_CD\_B\_TB ( $\Delta a^*=-4,69$ ), P\_20\_CD\_B\_TB\_W ( $\Delta a^*=-3,52$ ). Najveće ukupne razlike u boji ( $\Delta E^*$ ) zabilježene su kod uzoraka P\_20\_CD\_B\_TB ( $\Delta E^*=9,88$ ) i P\_20\_CD\_B\_TB\_W ( $\Delta E^*=5,22$ ) te pokazuju povećanje svjetline (visok pozitivan  $\Delta L^*$ ) i pomak tonova prema zeleno-plavom spektru (visoki negativni  $\Delta a^*$ ) što upućuje na degradaciju površinskog sloja pigmentata, moguće promjene u strukturi vezivanja pod utjecajem topline i interakcije ciklodekstrina s pigmentima.

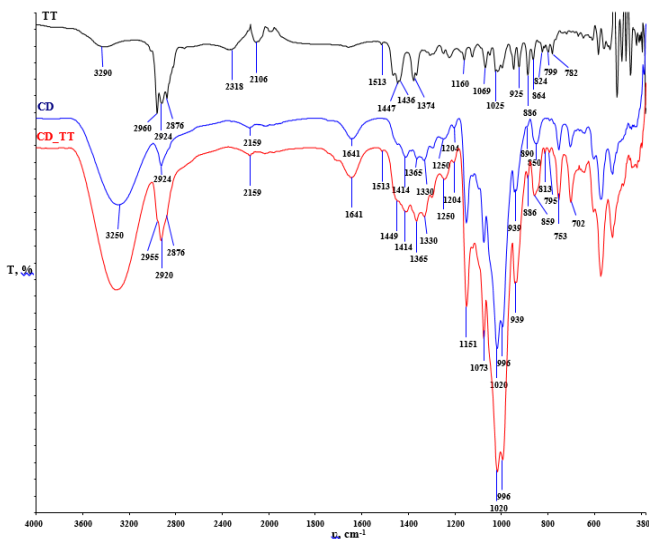
Subjektivna metoda određivanja intenziteta mirisa primijenjena je za ispitivanje uzoraka otisnutih pastom B bez i s dodatkom 20 %  $\beta$ -CD-TT te termokondenziranih na rasteznom sušioniku. Rezultati ocjenjivanja intenziteta mirisa prikazani su tablično i grafički na slici 2.



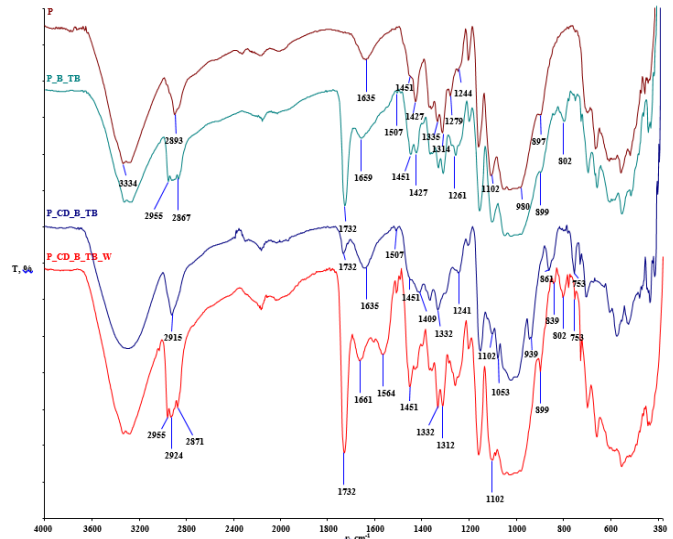
**Slika 2.** Rezultati ispitivanja intenziteta mirisa

Prema grafičkom prikazu na slici 2 prvog dana testiranja vidljivo je da najintenzivniji osjet mirisa ima uzorak P\_20\_CD\_B\_TB koji je otisnut tiskarskom pastom uz dodatak 20 %  $\beta$  CD-TT te je podvrgnut postupku termokondenzacije, a ocjenjen je prosječnom ocjenom od 3,2 (između srednjeg do jakog mirisa). Nakon trećeg dana odležavanja istog uzorka, osjet intenziteta mirisa mu se povećava te je ocijenjen s 4 (jak miris) koji se dužim odležavanjem nakon šest dana neznatno smanjuje na ocjenu 3,6 (između srednjeg do jakog mirisa). Ovakav profil ponašanja ukazuje na uspješno kompleksiranje eteričnog ulja čajevca u šupljinu  $\beta$ -ciklodekstrina te postupno otpuštanje mirisa kroz vrijeme. Intenzitet mirisa kod istog, ali opranog uzorka se smanjuje te je i dalje veći u odnosu na uzorak koji je otisnu pastom bez dodatka  $\beta$ -CD-TT koji ima i najnižu ocjenu 1 (nema mirisa) što je i očekivano.

Na slikama 3 i 4 prikazani su spektri čistih komponenti i otisnutih pamučnih tkanina s i bez sadržaja  $\beta$ -CD-TT, prije i nakon pranja snimljene FTIR-om u ATR tehnici pri sobnoj temperaturi.



**Slika 3.** Spektralne krivulje eteričnog ulja čajevca (TT),  $\beta$ -ciklodekstrina (CD) i inkluzijskog kompleksa  $\beta$ -ciklodekstrin-eterično ulje čajevca (CD\_TT)



**Slika 4.** Spektralne krivulje pamuka (P), tkanine otisnute pastom B bez (P\_B\_TB) i s dodatkom  $\beta$ -CD-TT (P\_CD\_B\_TB) podvrgnute procesu termokondenzacije te jednom oprane (P\_B\_TB\_W) i (P\_CD\_B\_TB\_W)

Iz spektralne krivulje eteričnog ulja čajevca (TT) prikazane na slici 3 vidljiv je vrh na  $3250\text{ cm}^{-1}$  koji ukazuje na O-H rastezanje, a pojava vrhova na  $2960\text{ cm}^{-1}$ ,  $2924\text{ cm}^{-1}$  i  $2876\text{ cm}^{-1}$  ukazuju na vibracijsko istežanje unutar C-H skupine. Vrh na  $1025\text{ cm}^{-1}$  ukazuje na C-C, C-OH i C-H vibracije unutar aromatskog prstena, dok

vrhovi u rasponu valnih brojeva 886, 864 i 79  $\text{cm}^{-1}$  ukazuju na prisutnost terpinen-4-ola, te na 824 i 782  $\text{cm}^{-1}$  ukazuju na prisutnost  $\gamma$ -terpinena [21]. Spektralna krivulja čistog praha  $\beta$ -ciklodekstrina (CD) i inkluzijskog kompleksa  $\beta$ -ciklodekstrin-eterično ulje čajevca (CD-TT) pokazuje vrh u području 3250  $\text{cm}^{-1}$  (O–H rastezanje) koji nastaje zbog nakupljenih molekula vode u hidrofilnim šupljinama ciklodekstrina. Vrh na 2920  $\text{cm}^{-1}$  uočen je zbog istezanja unutar C-H skupina ciklodekstrina, a prisutnost vrha na 1151  $\text{cm}^{-1}$  ukazuje na istezanja esterske skupine (C=O). U području od 1020  $\text{cm}^{-1}$  prisutne su C-O-C vibracije. Također, vrhovi pri valnim brojevima 1513, 1125, 1076, 886, 813  $\text{cm}^{-1}$  ukazuju na prisutnost eteričnog ulja odnosno potvrđuju uspješno kompleksiranje ciklodekstrina i eteričnog ulja [10-11,17, 21-22]. Na spektralnoj vrpici pamuka prikazanoj na slici 4 vidljivi su karakteristični vrhovi nastali vibracijama unutar celuloznog polimera. Vrh oko valnog broja 3334  $\text{cm}^{-1}$  nastaje uslijed vibracija unutar –OH skupina i vode, dok pri valnom broju 2897  $\text{cm}^{-1}$  nastaje uslijed istezanja unutar C-H skupina prisutnih u celulozi. Vrh pri valnom broju 1427  $\text{cm}^{-1}$  povezan je s  $\text{CH}_2$  simetričnim savijanjima unutar celuloze, dok vrhovi na 1359 i 1314  $\text{cm}^{-1}$  nastaju uslijed vibracija savijanja unutar C-H i C-O skupina aromatskih prstena u polisaharidima celuloze. U području od 1053  $\text{cm}^{-1}$  do 983  $\text{cm}^{-1}$  prisutni su intenzivni vrhovi na spektralnoj vrpici celuloze koji nastaju uslijed vibracija rastezanja unutar CO i OH skupina, dok vrh na 890  $\text{cm}^{-1}$  ukazuje na gibanja  $\beta$ -glikozidne veze između monosaharida. Na slici 4 također su prikazani i spektri otisnutih uzoraka bez i sa  $\beta$ -CD-TT uz provedeni postupak termokondenzacije gdje su vidljivi izmijenjeni vrhovi kod uzoraka P\_CD\_B\_TB u odnosu na P\_B\_TB pri valnom broju 2915  $\text{cm}^{-1}$  koji nastaje uslijed vibracija unutar C-H skupina prisutnih u inkluzijskom kompleksu  $\beta$ -CD-TT. Kod uzorka koji ne sadrži  $\beta$ -CD-TT vidljive su promjene pri valnim brojevima 1732  $\text{cm}^{-1}$  gdje je vrh u značajnije manjem intenzitetu u odnosu na uzorak koji sadrži  $\beta$ -CD-TT što ukazuje na prikrivanje estera C=O s prisutnim  $\beta$ -CD-TT u pasti. Vrlo izraženi vrh na 1053  $\text{cm}^{-1}$  vidljiv je kod uzorka otisnutih pastom uz dodatak  $\beta$ -CD-TT te on ukazuje na C-C, C-OH i C-H vibracije unutar aromatskog prstena, no nakon provedenog postupka pranja intenzitet vrha pri tom valnom broju se smanjuje. Također je vidljiv oštar vrh u valnom broju 753  $\text{cm}^{-1}$  kod uzorka obrađenih uz dodatak  $\beta$ -CD-TT koji se pripisuje deformacijskim vibracijama alkenskih skupina u terpenima te se zadržava i nakon provedenog ciklusa pranja u nešto manjem intenzitetu. Vrhovi na 939  $\text{cm}^{-1}$  i 861  $\text{cm}^{-1}$  ukazuju na prisustvo terpinen-4-ola što potvrđuje uspješno kompleksiranje ciklodekstrina i eteričnog ulja [9-11,17, 21-22].

#### 4. Zaključak

Cilj ovoga rada bio je ispitati mogućnosti primjene inkluzijskih kompleksa  $\beta$ -ciklodekstrina i eteričnog ulja čajevca u procesu tekstilnog tiska, s posebnim naglaskom na očuvanje estetskih vrijednosti uz istodobno uvođenje dodatnih funkcionalnih svojstava materijala. FTIR analiza otisnutih uzoraka potvrdila je prisutnost inkluzijskog kompleksa  $\beta$ -CD-TT. Remisijskom spektrofotometrijom utvrđena su tek blaga odstupanja u svjetlini ( $L^*$ ), pomacima osi  $a^*$  i  $b^*$ , zasićenosti ( $C^*$ ) te tonu boje ( $h^\circ$ ) kod uzoraka otisnutih tiskarskom pastom s dodatkom  $\beta$ -CD-TT, i prije i nakon provedenog ciklusa pranja, u odnosu na uzorke otisnute bez dodatka inkluzijskog kompleksa. Olfaktometrijskom analizom intenziteta mirisa utvrđeno je da uzorci koji nisu bili podvrgnuti pranju pokazuju veći intenzitet mirisa. Analiza postojanosti tiska pokazala je da uzorci otisnuti pastom s dodatkom  $\beta$ -CD-TT zadržavaju željena vizualna svojstva, uz istodobno ostvarivanje dodatnih funkcionalnosti. Dobiveni rezultati potvrđuju da interdisciplinarni pristup, koji integrira dizajn, kemiju i tehnologiju, može dovesti do inovativnih i održivih rješenja u tekstilnoj industriji. S obzirom na sve izraženije zahtjeve tržišta za funkcionalnim i ekološki prihvatljivim proizvodima, ovakav pristup predstavlja čvrstu osnovu za daljnja istraživanja i razvoj novih aplikacija. Buduća istraživanja mogla bi obuhvatiti primjenu inkluzijskih kompleksa ciklodekstrina s drugim vrstama eteričnih ulja, kao i uporabu prirodnih pigmenata. Ovaj rad ujedno potvrđuje da se povijesna tradicija tekstilnog tiska može kreativno reinterpretirati i povezati s suvremenim znanstvenim dostignućima, čime tekstil dobiva novu dimenziju koja objedinjuje dizajn, funkcionalnost i održivost.

**Zahvala:** Ovaj rad je sufinanciran iz sredstava Hrvatske zaklade za znanost projektom UIP-2017-05-8780 Bolničke zaštitne tekstilije, kratkoročne potpore za temeljno financiranje znanstvene i umjetničke djelatnosti Sveučilišta u Zagrebu u ak. god. 2024./2025., Funkcionalizacija i karakterizacija tekstilija i kože uz praćenje utjecaja na okoliš - TP/7 i institucijskog istraživačkog projekta Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta „Zelene tehnologije u ekološkom dizajnu i razvoju održivih materijala – ZORA“ financiranog od Europske unije – NextGenerationEU.

**Izjava o korištenju AI alata:** Pri izradi rada korišten je AI alat za strukturiranje dijela vlastitog teksta.

## Literatura

- [1] Miles, L.W.C.: Textile Printing, Society of Dyers and Colourists, ISBN: 9780901956798, Bradford, Engleska, (2003)
- [2] Brunello, F.: The Art of Dyeing in the History of Mankind, Neri Pozza, ISBN: 2900013279883, Venecija, Italija, (1973)
- [3] Jablan, J.: Oblikovanje i vrednovanje ciklodekstrinskih terapijskih sustava za oralnu primjenu zaleplona, Doktorska disertacija, Dostupan na: <https://scispace.com/pdf/oblikovanje-i-vrednovanje-ciklodekstrinskih-terapijskih-54yt2n9pxk.pdf>, Pristupljeno: 2-12-2025
- [4] Grancarić, A. M.; Soljačić, I.; Katović, D.: Osnove oplemenjivanja tekstila. Knjiga II: Procesi mokre apreture, bojadisanja i tiska, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN: 9789539618382, Zagreb, Hrvatska, (1994)
- [5] Bhaskara-Amrit, U.R.; Agrawal, P.B.; Warmoeskerken, M.M.: Applications of  $\beta$ -Cyclodextrins in Textiles, Autex Research Journal, 11 (2011) 4, 94-101
- [6] Di Cagno, M.P.: The Potential of Cyclodextrins as Novel Active Pharmaceutical Ingredients: A Short Overview, Molecules, 22 (2017) 1
- [7] Haji, A.: Functional Finishing of Textiles with  $\beta$ -Cyclodextrin, u Frontiers of Textile Materials: Polymers, Nanomaterials, Enzymes and Advanced Modification Techniques, Scrivener Publishing LLC, ISBN: 9781119620396, Beverly, Massachusetts, SAD, (2020), 87–116
- [8] Buschmann, H.J. i sur.: The Use of Cyclodextrins in Textile Processes – An Overview, Journal of the Textile Institute, 89 (1998) 3, 554–561
- [9] Flinčec Grgac, S. i sur.: Investigation of the Possibility of Binding Cationized  $\beta$ -Cyclodextrin on Cotton Fabric, Book of Proceedings of The International Textile Clothing & Design Conference, Dragčević, Z.; Hursa Šajatović, A.; Vujasinović, E. (ur.), 94–99, ISSN: 1847-7275, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Dubrovnik, Hrvatska (2022)
- [10] Flinčec Grgac, S. i sur.: Investigation of Moisture Management Ability of Cotton Fabric Treated with  $\beta$ -Cyclodextrin and Inclusive Complexes  $\beta$ -CD–Essential Oil, Book of Proceedings of 8th International Professional and Scientific Conference: Occupational Safety and Health, Kirin, S.; Štedul, I.; Bubaš, M. (ur.), 578–584, ISSN: 2975-3139, Sveučilište u Karlovcu, Zadar, Hrvatska (2022)
- [11] Flinčec Grgac, S. i sur.: The Effect of Ultrasonic Treatment on the Binding of the Inclusion Complex  $\beta$ -Cyclodextrin–Peppermint Oil with Cellulose Material, Materials, 15 (2022) 2, 470
- [12] Flinčec Grgac, S. i sur.: Monitoring the Influence of Temperature on the Crosslinking of Inclusion Complexes  $\beta$ -Cyclodextrin–Essential Oil with Cellulose, Proceedings of 14th Symposium Novel Technologies and Economic Development, Lazić, M. (ur.), 74–81, ISBN: 9788689429459, Leskovac, Srbija (2021)
- [13] Aldora, K.; Ardiana, D.; Narayana, E.: The Role of Tea Tree Oil as a Skin Antimicrobial: A Literature Study, Medical and Health Science Journal, 5 (2021) 1, 26–33
- [14] Rytwo, G.; Zakai, R.; Wicklein, B.: The Use of ATR-FTIR Spectroscopy for Quantification of Adsorbed Compounds, Journal of Spectroscopy, 2015 (2015) 1, 727595
- [15] Carson, C.F.; Riley, T.V.: Antimicrobial Activity of the Major Components of the Essential Oil of Melaleuca alternifolia, Journal of Applied Microbiology, 78 (1995) 3, 264–269
- [16] Flinčec Grgac, S. i sur.: Hydrothermal Synthesis of Chitosan and Tea Tree Oil on Plain and Satin Weave Cotton Fabrics, Materials, 15 (2022) 14, 5034
- [17] Ibrahim, N.A.; El-Zairy, E.M.R.: Union Disperse Printing and UV-Protecting of Wool/Polyester Blend Using a Reactive  $\beta$ -Cyclodextrin, Carbohydrate Polymers, 76 (2009) 2, 244–249
- [18] Zhao, C. i sur.: Improvement of Ink-Jet Printing Performances Using  $\beta$ -Cyclodextrin Forming Inclusion Complex on Cotton Fabric, Fibers and Polymers, 18 (2017) 4, 619–624
- [19] Flinčec Grgac, S. i sur.: Application of Inclusion Complexes  $\beta$ -Cyclodextrin–Citrus Essential Oil in the Printing Procedure on Cotton Fabric, Crossing Boundaries: 50th International Symposium on Novelties in Textiles, Proceedings of 10th Conference on Information and Graphic Arts Technology, Gorjanc, M.; Tomšič, B.; Gabrijelčič Tomc, H. i dr. (ur.), 149–154, ISBN: 9789617189209, Ljubljana, Slovenija (2025)
- [20] HRN EN ISO 6330:2012: Tekstil – Postupci pranja i sušenja u kućanstvu za ispitivanje tekstila
- [21] Morin-Crini N., Crini G.: Environmental applications of water-insoluble  $\beta$ -cyclodextrin–epichlorohydrin polymers, Progress in Polymer Science, 38 (2013) 2, 344–368
- [22] Yadav, D. K. i sur.: Identification of Phytoconstituents in Oil of Melaleuca alternifolia Through Fourier Transform Infrared Spectroscopy, International Journal of Advanced Biochemistry Research, 8 (2024) 8, 1024–1026

# IZRAČUN DEBLJINE TKANINE NA TEMELJU PEIRCE-OVOG MODELA

Željko PENAVAL<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska

\* Adresa za korespondenciju: zeljko.penava@tff.unizg.hr

**Sažetak:** U radu je prikazan geometrijski model za proračun debljine tkanine temeljen na Peirce-ovu modelu strukture tkanine. Model povezuje osnovne konstrukcijske parametre tkanine, uključujući gustoću niti osnove i potke, promjer pređe te utkanje osnove i potke, s ciljem predviđanja debljine tkanine. U tu svrhu razvijen je računalni program koji omogućuje numerički proračun debljine tkanine na temelju navedenih ulaznih parametara. Eksperimentalni dio rada proveden je na pamučnim tkaninama platnenog veza s konstantnom gustoćom osnove i različitim gustoćama potke. Utkanje osnove i potke određeno je eksperimentalno, promjeri pređe izmjereni su unutar strukture tkanine pomoću digitalne mikroskopije, dok je debljina tkanine određena standardnim mjernim postupkom. Dobiveni eksperimentalni rezultati uspoređeni su s vrijednostima izračunatima pomoću razvijenog geometrijskog modela. Usporedba izračunate i izmjerene debljine tkanine pokazala je vrlo dobro slaganje, uz visoku vrijednost koeficijenta determinacije ( $R^2 = 0,974$ ). Rezultati potvrđuju da Peirce-ov geometrijski model, uz primjenu realnih izmjerenih parametara pređe i utkanja, može pouzdano opisati promjene debljine tkanine u promatranom rasponu konstrukcijskih parametara.

**Cljučne riječi:** debljina pređe, tkanina, debljina tkanine, Peirce-ov model, utkanje.

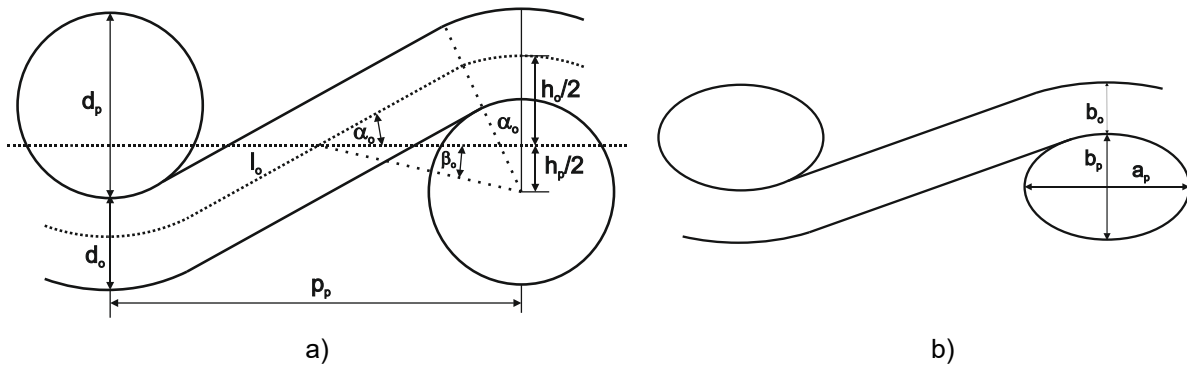
## 1. Uvod

Geometrijski opis strukture tkanine prvi je sustavno formulirao Peirce, koji je razvio idealizirani model tkane strukture temeljen na periodičnoj valovitosti niti osnove i potke te pretpostavci kružnog presjeka pređe [1]. Ovaj model omogućio je analitičko povezivanje duljine pređe, gustoće tkanja i utkanja te je postao temelj za kasniji razvoj geometrijsko-mehaničkih modela tkanina. Na Peirceov rad nadovezao se Olofsson, koji je predložio općenitiji pristup modeliranju tkanine kao geometrijsko-mehaničke strukture, uključujući međudjelovanje geometrije i mehaničkih svojstava pređe [2]. Daljnji razvoj teorijskih modela bio je usmjeren na precizniji opis putanje pređe i geometrije vezne točke. Kovar je analitički razradio duljinu pređe u veznoj točki platnenog veza, ističući važnost točne matematičke reprezentacije zakrivljenosti niti za određivanje strukturnih parametara tkanine [3]. Ovi analitički pristupi objedinjeni su i sustavno prikazani u nizu monografija i preglednih radova koji obrađuju strukturu i mehaniku tkanina, pri čemu se geometrijski modeli povezuju s mehaničkim i uporabnim svojstvima tekstila [4–6]. Peirce-ov model ostao je široko korišten i u kasnijim istraživanjima usmjerenima na analizu strukturnih i mehaničkih svojstava tkanina. Jeon i Chun primijenili su Peirceov model za proučavanje odnosa između strukture i mehaničkih svojstava tkanina izrađenih od različitih vlakana, potvrdivši njegovu uporabljivost za jednostavne tkane strukture [7]. Sličan pristup korišten je u radovima usmjerenima na predviđanje utkanja osnove i potke u pamučnim tkaninama, gdje je pokazano da geometrijski modeli mogu dati zadovoljavajuće rezultate, ali uz ograničenja kod većih gustoća tkanja [8]. Suvremenija istraživanja usmjerena su na poboljšanje geometrijskog opisa tkanine kroz detaljnu analizu poprečnog presjeka strukture. Kolčavová Sirková i Vyšanská razvile su metodologiju evaluacije geometrije tkanine na temelju presjeka, omogućujući realniji uvid u prostorni raspored niti osnove i potke te određivanje efektivne debljine tkanine [9]. Takvi pristupi često se koriste u kombinaciji s geometrijskim modelima kako bi se smanjio jaz između idealizirane teorije i stvarne strukture tkanine [10, 11]. Poseban izazov u geometrijskom modeliranju predstavlja definiranje promjera predene pređe, budući da ovakva pređa ne predstavlja homogeno čvrsto tijelo. Problematika definiranja promjera pređe razmatrana je u kontekstu različitih tekstilnih struktura, uključujući i pletene strukture, gdje je dodatno naglašena uloga deformabilnosti pređe [12]. Nadalje, eksperimentalna istraživanja pokazala su da se debljina i promjer pređe značajno mijenjaju pod djelovanjem vanjskih sila, što ima izravne implikacije na geometrijsko modeliranje tkanina i predviđanje njihove debljine [13]. Unatoč opsežnoj literaturi, predviđanje debljine tkanine na temelju geometrijskih modela i dalje se u velikoj mjeri oslanja na pojednostavljene pretpostavke. Posebno je izražen nedostatak modela koji sustavno povezuju promjer i deformabilnost pređe, utkanje te realne uvjete opterećenja s izmjerenom debljinom tkanine, što upućuje na potrebu za daljnjim razvojem i proširenjem postojećih geometrijskih pristupa [1, 5, 7, 10].

Cilj rada bio je razviti geometrijski model za proračun debljine tkanine temeljen na Peirce-ovu modelu strukture tkanine, koji povezuje gustoću niti, promjer pređe i utkanje osnove i potke. Dodatni cilj bio je eksperimentalno provjeriti točnost predloženog modela usporedbom izračunatih i izmjerenih vrijednosti debljine tkanine.

## 2. Teorijski dio

Pojam geometrije tkanine odnosi se na prostorni raspored i međusobni položaj niti osnove i potke unutar tekstilne strukture. Takva geometrijska konfiguracija izravno utječe na fizikalna i mehanička svojstva tkanine, koja su od temeljne važnosti za njezinu kvalitetu s aspekta krajnje uporabe. Proučavanje geometrije vezne točke i ukupne strukture tkanine bilo je predmet razmatranja i primjene matematičkih modela već prije početka 20. stoljeća, čime su postavljeni temelji za kasniji razvoj suvremenih geometrijskih modela tkanina. Prvi sustavni prikaz osnovne geometrijske strukture tkanine u platnenom vezu dao je F. T. Peirce [1]. Cilj tog rada bio je odrediti duljine i promjere pređe u promatranoj veznoj točki te, na temelju tih parametara, omogućiti predviđanje strukturnih promjena tkanine. Navedeni rad i danas predstavlja polazište brojnih istraživanja usmjerenih na analizu strukture tkanine. U svom pristupu Peirce je pošao od pretpostavke da su niti osnove i potke idealnog kružnog presjeka, savršeno savitljive te da u veznoj točki ne dolazi do istežanja pređe niti do bilo kakvih drugih deformacija. Nadalje, u razmatranju vezne točke platnenog veza pretpostavio je da se debljina tkanine može aproksimirati zbrojem debljina niti osnove i potke. Na slici 1a prikazana je vezna točka platnenog veza prema izvornom prikazu koji je dao Peirce, te na slici 1b promjer pređe s eliptičnim presjekom.



**Slika 1.** Geometrijski model tkanine u platnenom vezu prema Peirce: a) kružni poprečni presjek, b) eliptični poprečni presjek

gdje je:  $d_o$  - promjer osnove (mm);  $d_p$  - promjer potke (mm);  $p_p$  - udaljenost između simetrala dviju susjednih potkinih niti (mm);  $\alpha_o$  - gornja polovica kuta obavijanja osnove oko potke (rad);  $\beta_o$  - donja polovica kuta obavijanja osnove oko potke (rad);  $l_o$  - duljina stvarno utkane osnove (mm);  $h_o$  - visina pregiba osnove (mm);  $h_p$  - visina pregiba potke (mm). Analogno vrijedi i za veličine s indeksom p.

$$u_o = \frac{l_o}{p_p} - 1$$

$$(1) \quad u_p = \frac{l_p}{p_o} - 1 \quad (2)$$

gdje je  $u_o$  - utkanje osnove (1);  $u_p$  - utkanje potke (2). Indeksi "o" i "p" odgovaraju osnovi i potki. Prema slici 1a izvedene su slijedeće jednadžbe (3-7):

$$D = d_o + d_p \quad (3)$$

$$p_o = (l_p - D\alpha_p)\cos\alpha_p + D\sin\alpha_p \quad (4)$$

$$p_p = (l_o - D\alpha_o)\cos\alpha_o + D\sin\alpha_o \quad (5)$$

$$h_o = (l_o - D\alpha_o)\sin\alpha_o + D(1 - \cos\alpha_o) \quad (6)$$

$$h_p = (l_p - D\alpha_p)\sin\alpha_p + D(1 - \cos\alpha_p) \quad (7)$$

$$d_s = \frac{(d_o + d_p)}{2} \quad (8)$$

Srednji promjer pređe  $d_s$  definiran je izrazom (8). Valovitost  $e_o$  (9) i  $e_p$  (10) ispreplitanja osnove i potke određena je visinom veznog vala u tkanini. Relativna visina vala vezivanja osnove  $e_o$  ili potke  $e_p$  je mjera valovitosti niti osnove ili potke u valu vezivanja i dana je izrazima:

$$e_o = \frac{h_o}{h_o + h_p} = \frac{2h_o}{d_o + d_p} \in (0,1) \quad (9)$$

$$e_p = \frac{h_p}{h_o + h_p} = \frac{2h_p}{d_o + d_p} \in (0,1) \quad (10)$$

$$e_o + e_p = 1 \quad (11)$$

Peirce-ova jednadžba za utkanje je rezultat omjera duljine kružnog luka i njegove projekcije u ravnini tkanine. Iz slike 1a slijedi da je za graničnu konstrukciju  $\alpha_p + \beta_p = \pi/2$  i slično za drugi sustav  $\alpha_o + \beta_o = \pi/2$ . U slučaju da struktura tkanine nije granična, tada zbroj kutova ispreplitanja mora biti manji od  $\pi/2$ . U Peirceovu geometrijskom modelu tkanine pretpostavlja se da se nit između dviju kontaktnih točaka savija u obliku kružnog luka radijusa  $R$ . Stvarna duljina niti u jednom periodu jednaka je duljini tog luka  $l = 2R\theta$ , dok je njezina projekcija u ravnini tkanine  $p = 2R\sin\alpha$ . Utkanje se definira kao relativno produljenje niti zbog savijanja,  $u = (l - p)/p$ . Uvođenjem bezdimenzijskog parametra  $e$  korištenjem trigonometrijskih veza dobivaju se relacije koje povezuju utkanje niti i njezinu valovitost.

$$u_p = \frac{\arctg\left(\frac{\sqrt{1 - e_o^2}}{e_o}\right)}{\sqrt{1 - e_o^2}} - 1 \quad (12)$$

$$u_o = \frac{\arctg\left(\frac{\sqrt{1 - e_u^2}}{e_u}\right)}{\sqrt{1 - e_u^2}} - 1 \quad (13)$$

Iz izraza (12) i (13) vrijednosti  $e_o$  i  $e_p$  mogu se izračunati numerički (metodom bisekcije). Izračunavanjem debljine osnove i potke mogu se odrediti svi geometrijski parametri Peirce-ovog modela. Prema slici 1a i koristeći jednadžbu (9) i (10), možemo odrediti debljinu tkanine prema izrazu (14).

$$t = 2 \max \left[ \frac{d_p}{2} + h_p, \frac{d_o}{2} + h_o \right] = (d_o + d_p) \max \left[ \frac{d_p}{d_o + d_p} + e_p, \frac{d_o}{d_o + d_p} + e_o \right] \quad (14)$$

### 3. Eksperimentalni dio

#### 3.1. Materijali

Uzorci tkanina definiranih konstrukcijskih karakteristika proizvedeni su na zračno-mlaznom tkalačkom stroju OMNIplus 800 tt (Picanol). Osnova i potka izrađene su od 100 % pamučne predene pređe. Ispitivana tkanina otkana je od sirove, jednostruke, škrobljene pamučne osnove nazivne duljinske mase  $T_{to} = 30$  tex te sirove, jednostruke pamučne potke nazivne duljinske mase  $T_{tp} = 30$  tex. Tkanina je proizvedena u platnenom vezu pri gustoći osnove  $g_o = 232$  niti/10cm te pri pet različitih gustoća potke ( $g_p = 180, 200, 220, 240$  i  $260$  niti/10cm). Svi uzorci bili su u sirovom stanju, nedorađeni. Duljinska masa pređe određena je gravimetrijskom metodom prema normi HRN ISO 2060:1994, dok je gustoća tkanine mjerena u skladu s normom HRN ISO 7211-2:1984. Debljina tkanine određena je prema normi HRN ISO 5084:1996. Sva ispitivanja provedena su na kondicioniranim uzorcima u laboratorijskim uvjetima standardne referentne atmosfere, pri temperaturi  $20 \pm 2$  °C i relativnoj vlažnosti zraka  $65 \pm 4$  %, u skladu s normom HRN EN ISO 139:2008/A1:2011.

Tablica 1. Konstrukcijski i fizikalni parametri ispitivanih uzoraka tkanina

Oznaka uzorka	Duljinska masa $T_{to}$ (tex)	Duljinska masa $T_{tp}$ (tex)	Gustoća osnove $g_o$ (niti/10cm)	Gustoća potke $g_p$ (niti/10cm)	Plošna masa $m$ (g/m <sup>2</sup> )	Debljina tkanine $t$ (mm)
U18	30,1	29,8	232	181	135,1	0,362
U20	30,2	29,8	232	201	141,2	0,364
U22	30,1	30,1	232	219	149,6	0,366
U24	30,2	30,2	232	241	157,5	0,367
U26	30,2	30,1	232	262	165,3	0,369

U tablici 1 prikazani su konstrukcijski i fizikalni parametri ispitivanih uzoraka tkanina s različitim gustoćama potke. Duljinska masa osnove i potke te gustoća osnove zadržane su približno konstantnima za sve uzorke. Povećanjem gustoće potke uočen je porast plošne mase i debljine tkanine, što upućuje na očekivani utjecaj povećanog broja niti potke na kompaktnost i strukturu tkanine.

#### 3.2. Ispitivanje utkanja osnove i potke

Utkanje osnove i potke određeno je prema normi HRN ISO 7211-3:2003. Utkanje osnove definira se kao razlika između duljine osnove i duljine tkanine, a utkanje potke definira se kao razlika između duljine potke i širine tkanine. Utkanje ovisi o vrsti veza, duljinska masa potke i osnove, elastičnosti pređe, napetosti osnove

i potke za vrijeme tkanja, gustoći osnove i potke. Utkanje pređe izražava se u postocima, a dobiva se iz odnosa razlike duljine pređe u izravnanom stanju i duljine tkanine iz koje je izvučena nit, prema duljini pređe u izravnanom stanju.

**Tablica 2.** Izmjereno utkanje osnove i potke

Oznaka uzorka	U18	U20	U22	U24	U26
Utkanje osnove $u_o$ (%)	7,5	8,7	9,2	9,6	10,0
Utkanje potke $u_p$ (%)	3,3	3,5	3,4	3,4	3,5

Iz tablice 2 je vidljivo da se utkanje osnove za uzorke U18–U26 postupno povećava, s vrijednosti 7,5 % kod uzorka U18 do 10 % kod uzorka U26. Takav trend upućuje na porast valovitosti osnovine pređe, koji se može povezati s promjenama konstrukcijskih parametara tkanine, ponajprije s povećanjem gustoće potke ili promjenom geometrije preplitanja, što zahtijeva veće izvijanje niti osnove unutar strukture tkanine. Nasuprot tome, utkanje potkine pređe pokazuje vrlo male varijacije i zadržava se u uskom rasponu od 3,3 % do 3,5 % za sve analizirane uzorke. Takva ujednačenost ukazuje na stabilan položaj potkine pređe u tkanini te na relativno nepromijenjene uvjete njezina utkanja, što može biti posljedica konstantne gustoće potke ili sličnog naprežanja potkine pređe tijekom formiranja tkanine. Izraženija razlika između utkanja osnove i potke potvrđuje anizotropni karakter tkane strukture, pri čemu osnova, zbog većeg broja preplitanja i većeg naprežanja tijekom tkanja, pokazuje veću valovitost u odnosu na potku. Navedeni rezultati u skladu su s pretpostavkama Peirce-ova geometrijskog modela te objašnjavaju veći doprinos utkanja osnove ukupnoj debljini tkanine u promatranim uzorcima.

### 3.3. Ispitivanje debljine pređe

Promjer pređe osnove i potke određen je pomoću digitalnog mikroskopa Dino-Lite uz uporabu programske podrške DinoCapture, pri povećanju od 200x. Prije mjerenja provedena je kalibracija mjernog sustava u skladu s uputama proizvođača kako bi se osigurala točnost dimenzijskih mjerenja pri odabranom povećanju. Mjerenja promjera pređe provedena su na pređi u samoj tkanini, bez izdvajanja uzoraka pređe iz strukture tkanine. Primjenom dovoljnog povećanja omogućeno je jasno razlučivanje vanjskih rubova pojedinih niti, čime je izbjegnuta dodatna deformacija pređe koja bi mogla nastati tijekom izdvajanja ili manipulacije uzoraka. Mjerenje promjera pređe provedeno je analizom mikroskopskih snimaka u programu DinoCapture, korištenjem ugrađenih mjernih alata. Promjer pređe određen je kao udaljenost između vanjskih rubova niti, mjerenjem u više karakterističnih presjeka duž duljine pređe. Za svaku pređu izvršeno je deset pojedinačnih mjerenja, a konačna vrijednost promjera određena je kao aritmetička sredina dobivenih rezultata. Mjerenja su provedena odvojeno za pređu osnove i pređu potke, pri čemu su dobivene srednje vrijednosti promjera korištene kao ulazni parametri u razvijeni računalni program za proračun debljine tkanine prema Peirce-ovu geometrijskom modelu.

**Tablica 3.** Srednje vrijednosti izmjerenih debljina pređa za osnovu i potku

Oznaka uzorka	U18	U20	U22	U24	U26
Debljina osnovine pređe (mm)	0,223	0,222	0,226	0,230	0,234
Debljina potkine pređe (mm)	0,227	0,231	0,228	0,224	0,226

Srednje vrijednosti izmjerenih debljina osnovine i potkine pređe koje se nalaze u tablici 3 za uzorke U18–U26 kreću se u rasponu od 0,222 do 0,234 mm, što odgovara očekivanom rasponu debljine pamučne pređe nazivne duljinske mase od 30 tex. Srednje vrijednosti debljine obje skupine pređa približno su 0,230 mm. Razlike između debljine osnovine i potkine pređe su male i ne pokazuju sustavni trend. Blagi porast debljine osnovine pređe s porastom gustoće potke može se povezati s utjecajem konstrukcijskih parametara tkanine, posebice gustoće potke i stupnja utkanja, koji mogu dovesti do različitog stupnja spljoštenja i međusobnog kontakta niti u strukturi tkanine.

## 4. Rezultati i diskusija

### 4.1. Računalni program

U okviru istraživanja razvijen je računalni program (slika 2) za proračun geometrijske debljine tkanine na temelju konstrukcijskih parametara tkanine, polazeći od Peirce-ova geometrijskog modela strukture tkanine. Program je modularno razvijen u okruženju Visual Studio Express 2012 (Microsoft, SAD). Ovaj računalni program je originalno autorovo djelo.

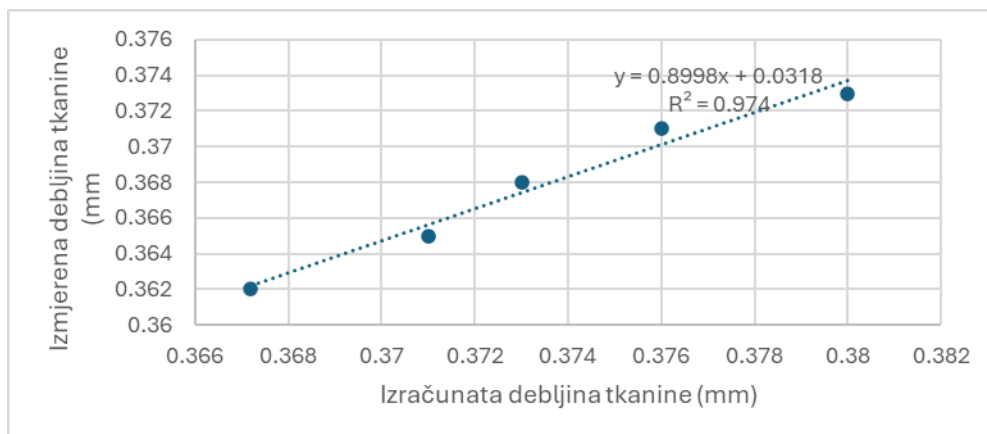
```
Izračunati rezultati:  
Valovitost osnove (-): 0,66015  
Valovitost potke (-): 0,33985  
Kut Alfa osnove (stupnjevi): 23,301730  
Kut Alfa potke (stupnjevi): 15,566688  
Kut Beta osnove (stupnjevi): 11,058578  
Kut Beta potke (stupnjevi): 25,947556  
Zbroj efektivnih promjera (mm): 0,317720143  
Relativni promjer osnove (-): 0,49556  
Relativni promjer potke (-): 0,50444  
Koeficijent kompresije pređe (-): 0,70604  
Debljina tkanine (mm): 0,36719
```

Slika 2. Sučelje razvijenog programa za proračun debljine tkanine

Program omogućuje sustavnu analizu utjecaja gustoće niti, promjera pređe i utkanja pređe osnove i potke na debljinu tkanine. Ulazni parametri modela su gustoća niti osnove i potke, izražena kao broj niti na 10 cm, promjer pređe osnove i potke izražen u milimetrima te utkanje pređe osnove i potke izraženo u postocima. Utkanje pređe u ovom radu odnosi se na geometrijski uvjetovanu valovitost pređe u tkanini. Na temelju zadanih ulaznih podataka program izračunava niz geometrijskih veličina koje opisuju položaj i oblik niti u tkanini, uključujući koeficijente valovitosti osnove i potke, kutove nagiba niti u odnosu na ravninu tkanine, relativne i efektivne promjere niti te koeficijent kompresije pređe. Navedene veličine služe kao međukoraci u proračunu debljine tkanine. Konačni rezultat proračuna je debljina tkanine izražena u milimetrima, određena geometrijskim odnosima između promjera pređe, gustoće niti i njihove valovitosti u tkanini. Program omogućuje numerički prikaz svih izračunatih parametara te izvoz rezultata u CSV format radi daljnje analize i usporedbe s eksperimentalno izmjerenim vrijednostima debljine tkanine. Preciznost prikaza numeričkih rezultata može se prilagoditi izborom broja decimalnih mjesta.

#### 4.2. Usporedba izračunate i izmjerene debljine tkanine

Na temelju prikazanog odnosa između izračunate i izmjerene debljine tkanine može se zaključiti da razvijeni geometrijski model pokazuje vrlo dobro slaganje s eksperimentalnim rezultatima (slika 3).



Slika 3. Graf korelacije između izračunate i izmjerene debljine tkanine

Linearna regresija između izračunatih i izmjerenih vrijednosti daje koeficijent determinacije  $R^2 = 0,974$ , što upućuje na visoku razinu objašnjene varijabilnosti i potvrđuje da promjene debljine tkanine model pouzdano prati u promatranom rasponu konstrukcijskih parametara. Nagib regresijskog pravca blizak je jediničnoj vrijednosti ( $y = 0,8998x + 0,0318$ ), što ukazuje na blagu sustavnu razliku između modeliranih i izmjerenih vrijednosti, koja se može pripisati utjecaju kompresije pređe i djelomičnog spljoštenja niti pri mjerenju debljine tkanine pod opterećenjem, kao i nužnim ograničenjima Peirce-ovu geometrijskom modelu. Unatoč tome, mala raspršenost točaka oko regresijske pravca potvrđuje da je predloženi model prikladan za predviđanje debljine tkanine na temelju gustoće niti, promjera pređe i utkanja osnove i potke.

## 5. Zaključak

U ovom radu analizirana je mogućnost predviđanja debljine tkanine primjenom Peirce-ova geometrijskog modela strukture tkanine. Razvijeni model i pripadajući računalni program omogućuju proračun debljine tkanine na temelju gustoće niti, promjera pređe te utkanja osnove i potke, čime se uspostavlja jasna veza između konstrukcijskih parametara i geometrijskih svojstava tkanine. Eksperimentalna ispitivanja provedena na pamučnim tkaninama platnenog veza pokazala su da povećanje gustoće potke dovodi do porasta utkanja osnove, plošne mase i debljine tkanine, dok utkanje potke ostaje gotovo konstantno. Izmjerene vrijednosti promjera pređe osnove i potke pokazale su malu raspršenost, što potvrđuje pouzdanost primijenjene metode mjerenja unutar strukture tkanine. Usporedba izračunate i izmjerene debljine tkanine pokazala je vrlo dobro slaganje rezultata, uz visoku vrijednost koeficijenta determinacije. Uočena manja sustavna odstupanja mogu se pripisati utjecaju kompresije i djelomičnog spljoštenja pređe pri mjerenju debljine tkanine, kao i idealiziranim pretpostavkama Peirce-ova modela. Unatoč tim ograničenjima, rezultati potvrđuju da je predloženi geometrijski model prikladan za analizu i predviđanje debljine tkanine u ovisnosti o njezinim konstrukcijskim parametrima. Dobiveni rezultati predstavljaju dobru osnovu za daljnja istraživanja usmjerena na uključivanje utjecaja deformabilnosti pređe, uvjeta opterećenja i završnih postupaka u proširene modele za realnije predviđanje debljine tkanina.

**Zahvala:** Istraživanje je dio istraživačkih aktivnosti institucionalnog projekta FUNK-TEX (TTF-IIP-06), financiranog sredstvima programa Europska unija - NextGenerationEU kroz Mehanizam za oporavak i otpornost.

**Izjava o korištenju AI alata:** U radu nisu korišteni AI alati.

## Literatura

- [1] Peirce, F.T.: The Geometry of Cloth Structure, *Journal of Textile Institute*, 28 (1937), 45-96
- [2] Olofsson B.: A general model of a fabric as a geometric mechanical structure, *Journal of Textile Institute*, 55 (1964) 11, 541-557
- [3] Kovar, R.: Length of the yarn in plain weave crimp wave, *Journal of The Textile Institute*, 102 (2011) 7, 582-597
- [4] Hu, J.: Structure and mechanics of woven fabrics, Woodhead publishing Ltd, ISBN 185573-904-6, Cambridge CB1 6AH, (2004)
- [5] Behera, B.K.; Hari P.K.: Woven textile structure: Theory and application, UK: Woodhead Publishing Ltd., ISBN 978-1-84569-514-9, Cambridge, (2010)
- [6] Seyam A.M.: Structural design of woven fabric, *Textile Progress*, 31 (2002) 3, 1-36
- [7] Jeon, B.S.; Chun, S.Y.: Structural and mechanical properties of woven fabrics employing Peirce's model, *Textile Research Journal*, 73 (2003) 10, 929-933
- [8] Maqsood, M. i sur.: Prediction of warp and weft yarn crimp in cotton woven fabrics, *The Journal of The Textile Institute*, 106 (2015), 11, 1180-1189
- [9] Kolčavová Sirková, B.; Vyšanská, M.: Methodology of Evaluation of Fabric Geometry on the Basis of Fabric Cross-section, *Fibers & Textiles in Eastern Europe*, 20 (2012) 5, 41-47
- [10] Behera B. K. i sur.: Modeling of Woven Fabrics Geometry and Properties, u *Woven Fabrics*, IntechOpen, e-ISBN: 978-953-51-5672-7, London, (2012), 1-32
- [11] Jeon, B.S.: Evaluation of the structural properties of plain fabrics woven from various fibers using Peirce's model, *Fibers and Polymers*, 13 (2012), 130-134
- [12] Pavko-Čuden, A.: Promjer pređe u pletenim strukturama, *Tekstil*, 61 (2012) 7-12, 228-235
- [13] Hađina, J.; Orešković, V.; Pleško, D.: Promjena debljine pređe pod djelovanjem sila, *Tekstil*, 37 (1988) 11, 643-651

# ANALIZA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE PRI INJEKCIJSKOM PREŠANJU POTPLATA ZA CIPELE

Lucija ŠIPRAK<sup>1</sup> i Ivana ŠPELIĆ<sup>1\*</sup>

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

\* Adresa za korespondenciju: ivana.spelic@ttf.unizg.hr

**Sažetak:** Potplati cipela, bilo radne bilo sportske obuće, proizvode se ekstruzijom i injekcijskim prešanjem u kalupima od termoplastičnih polimera kao što su poliizopren (IR), termoplastični poliuretan (TPU), poliuretanske pjene, etilen vinil acetata (EVA) ili poli(vinil-klorida) (PVC). Analiza potrošnje električne energije prilikom postupka oblikovanja potplata brizganjem, odnosno injekcijskim prešanjem pri kojemu se brizganjem grijanog termoplastičnog polimera u visoko plastičnom stanju pod visokim tlakom u šupljinu kalupa postiže željeni oblik, dovela je do zaključka kako dnevna proizvodnje od 3600 pari potplata za cipele zahtjeva potrošnju od 20736 kWh električne energije.

**Ključne riječi:** potplati cipela, poli(vinil-klorid) (PVC), injekcijsko prešanje.

## 1. Uvod

Polimeri se koriste kao alternativa u proizvodnji obuće kako bi se zadovoljila tržišna potreba za obućom, ali i kako bi se otklonili nedostaci kože. Obuća se sastoji od komponenti poput gornjišta, srednjeg dijela ili podstave i donjeg dijela ili potplata koji su spojeni, a polimeri se mogu nalaziti u svim dijelovima obuće. Polimeri moraju ispunjavati određena svojstva kako bi bili pogodni za funkcionalnu upotrebu u obući kao što je čvrstoća, fleksibilnost, ali i udobnost. Polimerni materijali pronalaze široku upotrebu s obzirom da je obuća podvrgnuta ponovljenom djelovanju sile zbog težine nositelja tokom hodanja i dodatnoj sili tijekom trčanja. Polimerni materijali uključuju niz polimera od prirodnih do sintetskih koji se obrađuju tako da mogu zadovoljiti tražene zahtjeve za određenu komponentu. Najviše zastupljeni materijali koji obuhvaćaju više od 50% u proizvodnji obuće su poli(vinil-klorid) (PVC), termoplasti (stiren-butadien), etilen vinil acetat (EVA) i poliuretan (PU). Zahvaljujući istraživanju i razvoju u području polimerne kemije i injekcijskim prešanjem, koja se sastoji od jedne komponente, razvijena je obuća na bazi 100% polimernih pjena. S obzirom na velika odlagališta otpada, ulažu se veliki napor u istraživanju biorazgradivih sintetičkih polimera kako bi se spriječile loše ekološke posljedice [1].

Poli(vinil-klorid) najstariji je i više od 70 godina jedna je od najvažnijih plastičnih masa na svjetskom tržištu s instaliranim globalnim proizvodnim kapacitetom od 32 milijuna tona godišnje. PVC zadržava svoju titulu najsvestranije plastike (Slika 1), i s obzirom na brojnost načina prerade i na raznolikost krajnjih proizvoda zahvaljujući širokoj paleti dostupnih tipova PVC smola i sposobnosti PVC-a da se modificira dodavanjem raznih aditiva, neusporedivo bolje no bilo koja druga plastika [2].

Prednosti PVC potplata za sportske cipele su:

- visoka čvrstoća i otpornost na trošenje (zbog velike gustoće materijala);
- visoka otpornost na smrzavanje (što uzrokuje upotrebu potplata za proizvodnju zimskih cipela);
- visoka fleksibilnost i elastičnost;
- jednostavnost izrade.

Nedostaci PVC potplata za sportske cipele su:

- velika masa (zbog velike gustoće materijala)
- protokom vremena, plastifikatori mogu početi isparavati iz materijala, što može dovesti do gubitka elastičnosti, pojave pukotina i smanjenja otpornosti na smrzavanje.



Slika 1. Granule PVC-a [3]

## 2. Eksperimentalni dio

### 2.1. Materijali i metodologija

Opisan je postupak injekcijskog prešanja potplata za cipele, kao dominantan postupak oblikovanja potplata cipela izrađenih iz sintetskih polimera u masovnoj proizvodnji zahvaljujući izostanku sirovinskih gubitaka, jer je iskorištenje potpuno. Kalupi su najčešće izrađeni od nehrđajućih kovina poput čelika, aluminija ili nehrđajućeg čelika. Injekcijsko prešanje ekonomski je isplativo samo u slučaju velikih proizvodnih količina. Prednosti injekcijskog prešanja uključuju bolju dimenzijsku kontrolu, manje otpadaka i kraće vrijeme ciklusa. Zbog visokih troškova kalupa potrebne su velike proizvodne količine, kako bi se opravdalo injekcijsko prešanje [4].

Shematski prikaz dijelova stroja za injekcijsko prešanje korištenog u radu (Slika 2) [5,6]:

1. jedinica za brizganje plastike
2. jedinica za stezanje kalupa (preša).

Jedinica za brizganje plastike sastoji se od cijevi, koja se napaja lijevkom za dovod plastičnih kuglica. Unutar cijevi je povratna rotirajuća jedinica koja okreće i zagrijava polimer brizgajući rastaljeni polimer u kalup. Jedinica za stezanje kalupa sadrži dvije ploče, fiksnu i pomičnu ploču, međusobno smještene u pravilnom odnosu, i drži kalup zatvoren tijekom brizganja primjenom sile stezanja, koja je dovoljna da se odupre sili brizganja i otvori i zatvori kalup [4].



Slika 2. Stroj za injekcijsko prešanje Ariel 3/E [6]

Prosječni ciklus brizganja svakoga kalupa iznosi otprilike 7 minuta, tako da se strojem s više stanica može postići brža i učinkovitija proizvodnja.

Koraci injekcijskog prešanja su [6]:

- a) dodavanje polimerne smjese u spremnik (injektorska jedinica za brizganje),
- b) prilagođavanje volumena polimerne smjese u skladu s dimenzijama kalupa,
- c) zagrijavanje polimerne smjese i brizganje u kalup,
- d) zagrijavanje kalupa do aktivacije ekspandera i uz istodobnu aktivaciju sredstava za umrežavanje elastomera,
- e) kemijska reakcija stvaranja elastomernih veza, te
- f) otvaranje kalupa, vađenje i ekspanzija otpreska potplata za cipele.

Uređaj za injekcijsko prešanje potplata cipela opremljen je s tri radne komore (Slika 3), koje u proizvodnji nazivaju „gnijezdima“. Priprema taline se odvija u miješalici pomoću sustava za grijanje koji zagrijava materijal u obliku granula pri temperaturi 140–160 °C, dok se podizanje, spuštanje i zatvaranje kalupa odvija putem hidrauličnih sustava pri čemu se održava stalna temperatura taline od 175 do 185 °C. Kako bi se održavala stabilna temperatura i spriječilo pregrijavanje, koristi se rashladna tekućina, a precizna regulacija temperature ovisi o vrsti granulata i preporukama proizvođača. Granulat, najčešće poliuretan (PU) i poli(vinil-klorid) (PVC), dolazi u različitim bojama.



**Slika 3.** Radna komora uređaja za prešanje potplata [6]

Svaki kalup ima ugrađene senzore koji signaliziraju na ekranu kada je prostor ispunjen talinom. Parametri rada stroja, poput temperature i vremena hlađenja (od 50 do 120 sekundi), podešavaju se putem ekrana ovisno o veličini i vrsti kalupa. Veličine potplata kreću se u veličinama stopala od 20 do 42 te od 19 do 30, a promjena kalupa traje otprilike 10 do 15 minuta. Prilikom promjene boje granulata (npr. iz crne u bijelu) odbaci se 30–40 pari potplata zbog ostataka prethodne boje u sustavu, dok je kod sličnijih tonova (npr. pri prijelazu iz žute u smeđu) gubitak znatno manji – oko 3 do 4 para. Potrebno je otprilike pola sata za ujednačavanje obojenja prilikom promjene boje materijala, a još dodatnih pola sata da izađu svi zaostaci s nehomogenim obojenjem.

Veličine potplata kreću se u veličinama stopala od 20 do 42 te od 19 do 30, a promjena kalupa traje otprilike 10 do 15 minuta. Prilikom promjene boje granulata (npr. iz crne u bijelu) odbaci se 30–40 pari potplata zbog ostataka prethodne boje u sustavu, dok je kod sličnijih tonova (npr. pri prijelazu iz žute u smeđu) gubitak znatno manji – oko 3 do 4 para. Potrebno je otprilike pola sata za ujednačavanje obojenja prilikom promjene boje materijala, a još dodatnih pola sata da izađu svi zaostaci s nehomogenim obojenjem.

Uređaj za injekcijsko prešanje potplata cipela radi kontinuirano u tri smjene, što omogućuje visok kapacitet proizvodnje, te rezultira s približno 3600 pari dnevno na dva stroja. Nominalna snaga stroja iznosi 45 kW, iako se u praksi ne koristi maksimalni kapacitet cijelo vrijeme, čime se ostvaruju energetske uštede po svakom proizvedenom potplatu. Svaka jedinica za brizganje ima snagu 11 kW, a specifični parametri se

prilagođavaju ovisno o željenoj čvrstoći potplata. Uređaj je opremljen drobilicom/mlinom koji omogućuje recikliranje ostataka potplata s greškom (npr. nepotpuno ispunjeni kalupi, Slika 4). Ti se ostaci usitnjavaju i ponovno miješaju s novim granulatom u omjeru propisanom od strane proizvođača (najčešće do 10 %) bez narušavanja kvalitete proizvoda. Tijekom rada, na mlaznici se s vremenom taloži izgoreni materijal („čada“), što može uzrokovati onečišćenje taline. Zbog toga se otprilike jednom tjedno koristi specijalni granulati za čišćenje kanala, koji svojim svojstvima čisti stroj bez rastavljanja, a pritom se odbacuje 2 do 3 para potplata. Kontinuiran rad osigurava stabilnost procesa i minimalna odstupanja u kvaliteti, što je ključno za serijsku proizvodnju obućarskih dijelova.



**Slika 4.** Primjer potplata s greškom u proizvodnji, npr. nehomogeno obojenje [6]

Uređaj za injekcijsko prešanje potplata cipela ARIEL 3/E je opremljen s tri jedinice za brizganje opremljene jedinicom za stezanje kalupa (prešom) sa steznom silom 1176/1470 kN (120/150 tona). Napaja se trofaznom strujom s neutralnim vodičem, na naponu od 380 V i frekvenciji 50 Hz, uz ukupnu snagu potrebnu za rad od 18 kW.

Glavni dio pogona čine tri elektromotora jedinice za brizganje – svaki snage 11 kW (~15 KS) s naponom napajanja 400/ 690 V, potrošnje 23,3/13,4 A i radnoj brzini od 1464 okr/min te frekvencije 50 Hz. Osim toga, stroj uključuje i motor za hidrauličnu pumpu jedinice za stezanje kalupa snage 7,5 kW (~10 KS) te pomoćni motor za podešavanje visine injektora snage 0,09 kW s naponom napajanja od 380/220 V, potrošnjom od 0,37/0,63 A, radnoj brzini od 1280 okr/min te frekvencijom 50 Hz. Zone za brizganje griju se pomoću devet grijača snage po 300 W, napajanih monofazno na 240 V, raspoređenih tako da pet grijača pokriva stražnju, a četiri prednju zonu.



**Slika 5.** Elektromotori uređaja za ekstruziju potplata cipela Ariel 3/E [6]

Za priključivanje stroja na električnu mrežu potreban je kabel s pet vodiča – tri za faze, jedan za neutralni i jedan za uzemljenje. Napajanje mora biti zaštićeno automatskim prekidačem od 4 x 125 A ili osiguračima iste snage, a preporučeni presjek vodiča iznosi 35 mm<sup>2</sup> za faze (crne boje) i 16 mm<sup>2</sup> za neutralni vodič (plave boje). Važno je osigurati pravilno uzemljenje putem opreme unutar upravljačkog ormara, pri čemu ukupni otpor ne smije prelaziti 20 Ω kako bi se zajamčio siguran rad uređaja i spriječila moguće štete. Spajanje na električnu mrežu mora obaviti isključivo kvalificirano osoblje, uz poštivanje važećih sigurnosnih normi. Nepravilno uzemljenje može uzrokovati ozbiljna oštećenja stroja i sigurnosne rizike, za koje proizvođač ne preuzima odgovornost.

Za povezivanje stroja na električnu mrežu potrebno je koristiti kabel koji se sastoji od ukupno 5 vodiča: tri za faze, jedan za neutralni vodič i jedan za uzemljenje (ekvipotencijalni vodič). Električne karakteristike stroja su sljedeće: napon napajanja 380 V, frekvencija 50 Hz, s trofaznim sustavom i neutralnim vodičem. Potrošnja stroja u radu iznosi 18 kW, uz prosječni faktor snage  $\cos\varphi = 0,76$ .

### 3. Rezultati i diskusija

Prikazani uređaj za injekcijsko prešanje potplata cipela radi kontinuirano u tri smjene. Potrošnja energije u proizvodnji cipela provodi se sa stopom  $n=1800$  pari/dan ( $n=75$  pari/sat). Postrojenje radi 24 sata na dan, 25 dana u mjesecu pa je godišnji fond sati  $\tau = 7200$  sati na godinu.

Stupanj iskoristivosti kapaciteta je:

$$\beta = \frac{\tau}{8760} = \frac{7446}{8760} = 0,85 = 85 \% \quad (1)$$

Električna snaga uređaja  $N_e$  (električni rad u jedinici vremena) uz zanemarene gubitke iznosi:

$$N_e = \frac{L}{3600} = 18 \text{ kW} \quad (2)$$

Posredno se izračunava utrošeni rad kao:

$$L = N_e \cdot 3600 = 18 \cdot 3600 = 64800 \text{ kJ/h} \quad (3)$$

Dnevna specifična efektivna potrošnja električne energije uređaja za injekcijsko prešanje potplata cipela je:

$$E_e = N_e \cdot 24 = 18 \cdot 24 = 432 \text{ kWh} \quad (4)$$

Potrošnja električne energije po jedinici proizvoda (jedinčna utrošena energija) iznosi:

$$e_{elP} = \frac{E_e}{n} = \frac{432}{75} = 5,76 \text{ kWh}_e/\text{par} \quad (5)$$

Osnovni proces zahtijeva električnu energiju u količini od 5,76 kWh<sub>e</sub> po paru proizvedenih potplata koja se isporučuje iz mreže. Ukoliko dva uređaja injekcijsko prešanje potplata cipela rade u tri smjene, na sat će trošiti 864 kWh električne energije.

U 2024. godini prosječna cijena električne energije je iznosila 0,1899 € po kWh električne energije [7]. Ukoliko se za potrebe izračuna uzme prethodno izračunata potrošnja električne energije po jedinici proizvoda od 5,76 kWh<sub>e</sub>/par, cijena električne energije po paru ( $C_p$ ) proizvedenih potplata cipela iznosi:

$$C_p = 0,1899 \cdot 5,76 = 1,093824 \text{ €/par} \quad (6)$$

Za ukupnu dnevnu proizvodnju  $n=3600$  pari/dan, cijena električne energije ( $C_D$ ) iznosi:

$$C_D = 1,093824 \cdot 3600 = 3937,7644 \text{ €/dnevno} \quad (7)$$

### 4. Zaključak

U radu je prikazana analiza i udio cijene električne energije u procesu oblikovanja potplata cipela utiskivanjem u šupljinu kalupa kako bi se postigao željeni oblik te opisan postupak proizvodnje poli(vinil-klorida) (PVC), polimera od kojih se oblikuju potplati cipela. Izračun potrošnje električne energije u pogonima kemijske industrije vrlo je važno jer industrijska proizvodnja sintetičkih polimera spada u energetske vrlo intenzivne procese i troši električnu i toplinsku energiju koja se uglavnom generira iz fosilnih goriva. Stoga će se u daljnjim istraživanjima, rad usmjeriti na potencijal uštede električne i toplinske energije te smanjenje primarnih energenata u vidu fosilnih goriva.

### Zahvala:

Ovaj rad je financiran u okviru Institucionalnog istraživačkog projekta „Transformacija i recikliranje otpadnog asortimana u sekundarni hit (TRASH)“ (šifra projekta: TTF-IIP-03) sredstvima Europske unije NextGenerationEU. Također jedno veliko hvala stručnjacima iz tt. Ivančica d. d. koji su odvojili svoje cijanjeno vrijeme i znanje te tako omogućili da ovaj rad ugleda svijetlo dana.

### Literatura

- [1] Gnanasundaram, S.; Ranganathan, M.: Footwear. In: Mishra, M. (eds). Encyclopedia of Polymer Applications. vol 2. CRC Press, Taylor & Francis Group, (2019), ISBN 978-1-4987-2993-2.
- [2] Grossman, R. F. (Eds.): Handbook of vinyl formulating. John Wiley & Sons, Inc., (2008), ISBN 978-0-471-71046-2.
- [3] Dostupno na: <https://oxoplast.com/en/pvc-the-oldest-plastic-material-with-a-wide-range-of-applications/>,  
Pristupljeno: 4-2-2026
- [4] Groover, M. P.: Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems. 4th edition, John Wiley & Sons Inc. (2010)
- [5] Špelić, I.; Mihelić-Bogdanić, A.; Budin, R. Optimizacija energetske uštede u procesu proizvodnje potplata za cipele, Koža & obuća 68(1), (2019).
- [6] Šiprak, L.: Energetska analiza procesa oblikovanja potplata za cipele, diplomski rad, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet (2025.)
- [7] Dostupno na: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics#Electricity\\_prices\\_for\\_non-household\\_consumers](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics#Electricity_prices_for_non-household_consumers),  
Pristupljeno: 5-8-2025

# KOMPETENCIJE I KREATIVNOST LJUDSKIH RESURSA KAO ČIMBENIK KONKURENTNOSTI U TEKSTILNOJ INDUSTRIJI

Snežana UROŠEVIĆ<sup>1\*</sup>, Marina JOVANOVIĆ<sup>1</sup>, Milovan VUKOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Beogradu; Tehnički fakultet Bor, 12 Vojske Jugoslavije Bor, Srbija

\*Adresa za korespondenciju: surosevic@tfbor.bg.ac.rs

**Sažetak:** Konkurentnost tekstilne industrije obilježena je inovativnošću, kreativnošću, kvalitetom, suvremenom tehnologijom i visokom razinom stručnosti zaposlenika. Tekstilne organizacije suočavaju se s intenzivnom konkurencijom, brzo promjenjivim modnim trendovima i sve složenijim tržišnim zahtjevima. U takvom okruženju uspjeh organizacija u tekstilnom sektoru uvelike ovisi o kompetentnosti ljudskih resursa uključenih u proces projektiranja i proizvodnje odjeće. Pojam kompetencije u suvremenoj teoriji upravljanja ljudskim resursima podrazumijeva integrirani skup znanja i vještina koji omogućuju uspješno obavljanje određenih radnih zadataka. U tekstilnoj industriji ovaj pojam poprima dodatnu dimenziju zbog interdisciplinarne prirode rada, koja uključuje tehnološke, inženjerske, estetske, umjetničke, ekonomske i tržišne aspekte. Dizajneri, tekstilni inženjeri i menadžeri koji sudjeluju u stvaranju odjevnog proizvoda moraju posjedovati potrebna znanja, vještine i kompetencije koje će im pomoći da brzo reagiraju na promjene na tržištu i u okruženju. Stoga je važno da ljudski resursi u tekstilnoj industriji posjeduju samopouzdanje, sposobnost brzog rješavanja problema, potrebna znanja i vještine, svijest o vlastitim snagama i slabostima, dar za kreativnost te, iznad svega, iskustvo u sintetiziranju velike količine informacija kako bi se stvorio odjevni proizvod koji potrošači traže. Cilj ovoga rada je analizirati ulogu kompetencija i kreativnosti dizajnera, tekstilnih inženjera i menadžera u procesu projektiranja i proizvodnje odjevnih proizvoda, s posebnim naglaskom na kreativnost kao ključnu dimenziju kompetencije.

**Ključne riječi:** kompetencije, ljudski resursi, kreativnost, tekstilna industrija, konkurentnost.

## 1. Uvod

Tekstilna industrija, koju obilježavaju česte promjene modnih trendova, široka ponuda na globalnom i nacionalnom tržištu te izražena konkurencija, suočava se s brojnim izazovima koji zahtijevaju stalnu prilagodbu modnim i tržišnim kretanjima. U takvim okolnostima opstaju oni proizvođači koji su sposobni brzo odgovoriti na zahtjeve potrošača [1]. Iz tog razloga poduzeća u tekstilnom i odjevnom sektoru moraju raspolagati kvalificiranim i kompetentnim kadrom koji omogućuje učinkovit odgovor na tržišne zahtjeve [2]. Upravljanje ljudskim resursima ima ključnu ulogu u uspješnom poslovanju i konkurentnosti organizacije [3]. Kvalitetne ljudske resurse prati i razvoj ljudskih resursa, odnosno osiguravanje edukacija i osposobljavanja usmjerenih na razvoj i unapređenje zaposlenika, kako bi se pratili zahtjevi tržišta te istodobno osigurao opstanak i bolja tržišna pozicija organizacije [4].

Ljudski resursi i njihove kompetencije predstavljaju temelj uspješnog poslovanja, stoga je njihovom razvoju u tekstilnoj i odjevnoj proizvodnji potrebno posvetiti posebnu pozornost. Suvremeni pristupi upravljanju ljudskim resursima uvode pojam kompetencije kao kombinacije sposobnosti i osobina ličnosti [5]. Kompetentnost zaposlenika ne obuhvaća samo znanje, vještine i ponašanje, već uključuje i kreativnost kao neizostavnu sastavnicu kompetencija. Kreativnost se može promatrati kao trajna težnja prema promjenama te stvaranju novih, originalnih i vrijednih ideja koje doprinose pojedincu, organizaciji i društvu u cjelini [6]. Fenomen kreativnosti definira se kao sposobnost generiranja novih originalnih ideja, stvaranja nečega novoga te razvijanja novih koncepata ili rješenja. Samo sinergija ovih četiriju komponenti kompetencija omogućuje zaposlenicima uspješno odgovaranje na zahtjeve dinamičnog i promjenjivog okruženja.

U procesu projektiranja i proizvodnje tekstila i odjeće uočava se posebna potreba za suradnjom između umjetnika, tehničkih stručnjaka i menadžera. Kvalitetan dizajn odjeće rezultat je timskog rada dizajnera, inženjera i menadžera. Dobra suradnja dizajnera odjeće, tekstilnih dizajnera, konstruktora, krojača probnih uzoraka, tekstilnih inženjera te stručnjaka zaduženih za marketinšku komunikaciju i vizualnu prezentaciju proizvoda podrazumijeva sklad forme i funkcije tekstilnog proizvoda [7]. Za uspjeh organizacije iznimno je važna uloga marketinškog menadžera, njegovo razumijevanje poslovnih procesa i tržišta na kojima poduzeće djeluje [8]. Kao i u svakom razvojnom procesu, menadžeri imaju ključnu ulogu, zbog čega dobivaju posebno značenje u fazi projektiranja i proizvodnje odjeće [9]. Od njih se očekuje odgovornost u

donošenju odluka, spremnost na preuzimanje poslovnih rizika te sposobnost suradnje sa stručnim i profesionalnim timovima. Upravo iz tog razloga ljudski resursi predstavljaju ključnu komparativnu prednost tekstilnih organizacija koje žele postići veću konkurentnost na domaćem i međunarodnom tržištu. U ovom radu analizirat će se važnost kompetencija i kreativnosti dizajnera, tekstilnih inženjera i menadžera u procesu dizajniranja i proizvodnje odjevnih predmeta, s posebnim osvrtom na kreativnost kao temeljnu komponentu profesionalnih kompetencija. Posebna će se pozornost posvetiti analizi stavova ispitanika o ulozi kreativnosti u poticanju i oblikovanju inovacijskih procesa u organizacijama tekstilne industrije.

## 2. Teorijski okvir kompetencija i kreativnosti

Već je istaknuto da ljudski resursi sa svojim znanjem, vještinama i iskustvom predstavljaju temeljni potencijal svakog poduzeća. Budući da upravo ljudi stvaraju materijalne i nematerijalne resurse, ljudski se resursi smatraju najvažnijim organizacijskim resursom [10]. Oni sudjeluju u kreiranju strategije, definiranju ciljeva, oblikovanju organizacijske kulture, razvoju proizvoda, kontroli kvalitete i financijskom upravljanju, zbog čega se kvaliteta kadrova smatra ključnim čimbenikom poslovnog uspjeha. Suvremeno upravljanje ljudskim resursima ima strateški karakter i omogućuje organizacijama stjecanje konkurentne prednosti. Način upravljanja ljudskim resursima postaje odlučujući čimbenik konkurentne prednosti, ali i opstanaka, rasta i razvoja poduzeća [11]. Zaposlenici koji posjeduju sposobnost učenja, prilagodbe promjenama te inovativnog i kreativnog djelovanja osiguravaju dugoročnu održivost i konkurentnost organizacije. Suvremena poduzeća sve više prepoznaju važnost kontinuiranog ulaganja u razvoj zaposlenika, budući da njihov opstanak i uspjeh u globalnom gospodarstvu ponajprije ovise o kvaliteti raspoloživog ljudskog kapitala [12]. Ulaganje u profesionalni rast i razvoj zaposlenika može imati značajan utjecaj na njihovu radnu uspješnost. Kada zaposlenici imaju pristup obrazovanju i osposobljavanju koji odgovaraju njihovim potrebama i interesima, postaju motiviraniji, angažiraniji i spremniji preuzeti veće odgovornosti. Svi ovi čimbenici doprinose pozitivnoj radnoj atmosferi i stvaranju uvjeta za izgradnju organizacijske kulture koja potiče rast i razvoj [13]. Posljedica takvog ulaganja u zaposlenike jest povećanje produktivnosti, budući da zaposlenici stječu nove kompetencije i znanja koja im omogućuju učinkovitiji rad. Unaprjeđenje kompetencija zaposlenika postalo je ključno područje djelovanja organizacija koje nastoje očuvati konkurentsku prednost i potaknuti inovacije [14].

Kompetencija se najčešće definira kao sposobnost uspješnog obavljanja određenog posla ili zadatka te se potvrđuje pisanim dokumentom koji svjedoči o osposobljenosti osobe za obavljanje određenog zanimanja. Također, kompetencija se može definirati kao skup znanja, vještina i sposobnosti korisnih za povećanje produktivnosti poduzeća [15]. U suvremenoj teoriji upravljanja ljudskim resursima pojam kompetencije podrazumijeva integrirani skup znanja, vještina, sposobnosti, ponašanja i vrijednosti koji omogućuju uspješno obavljanje određenih radnih zadataka [16]. Kompetencije obuhvaćaju:

- kognitivne kompetencije (implicitno znanje stečeno iskustvom),
- funkcionalne kompetencije (vještine i tzv. „*know-how*“),
- osobne kompetencije (ponašanje u određenim situacijama),
- etičke kompetencije (osobne i društvene vrijednosti).

Posebno važno mjesto zauzimaju ključne kompetencije koje omogućuju zapošljavanje, profesionalni razvoj i aktivno sudjelovanje u društvenim i gospodarskim tokovima. U kontekstu tekstilne industrije te kompetencije uključuju komunikacijske vještine, tehničku i digitalnu pismenost, timski rad, poduzetnički duh i kreativno izražavanje [16]. Kreativnost je u središtu svake uspješne priče. Ona predstavlja ključni element za ostvarivanje konkurentskih prednosti poduzeća na globalnom tržištu. Po svojoj prirodi kreativnost je stalna potraga za promjenama te razvoj novih i originalnih ideja koje imaju vrijednost za pojedinca, organizaciju ili društvo u cjelini. Ona je također funkcija znanja, mašte i evaluacije te obuhvaća dva temeljna obilježja: novost i značaj. Kreativnost je aktivnost koja rezultira novim, originalnim proizvodom. Novi proizvodi nastali u kreativnom procesu trebali bi učinkovitije i kvalitetnije zadovoljiti individualne i društvene potrebe u odnosu na postojeće proizvode. Smatra se da postoji neizravna povezanost između kreativnosti i organizacijske učinkovitosti i djelotvornosti. Kreativnost se može promatrati iz dvaju aspekata: kao mentalni proces koji uključuje generiranje novih i originalnih ideja i koncepata te stvaranje novih načina povezivanja postojećih elemenata, ali i kao skup kreativnih postupaka i rezultata koji posjeduju originalnost i primjenjivost. Najčešće prihvaćena definicija u znanstvenoj literaturi kreativnost određuje kao stvaranje novog djela koje je istodobno originalno i korisno. Sir Ken Robinson definira kreativnost kao „proces stvaranja originalne ideje koja ima vrijednost“ [17]. Na temelju toga može se zaključiti da je kreativnost proces stvaranja nečega što je istodobno novo i istinski vrijedno [18]. Iako ju je teško precizno definirati, kreativnost predstavlja ključni talent koji se uvijek nalazi u središtu uspješnih poduzeća te se smatra neizostavnom osobinom svakog uspješnog poduzetnika.

Kreativnost se može promatrati kao dio organizacijske klime, odnosno kulture koja potiče inovativnost i radnu uspješnost [19]. Ona je ključno obilježje zaposlenika i fenomen čije su mogućnosti razvoja gotovo

neograničene. Ostvaruje se kroz kreativni proces te kroz produktivnije i učinkovitije usvajanje znanja. Kreativnost se razvija kontinuiranim radom, učenjem i strpljenjem. Poslovni subjekti izražavaju svoju kreativnost kroz nove proizvode, inovativne oblike kontrole kvalitete poslovnih procesa i proizvoda, nove tehnologije, suvremene načine plasiranja i naplate proizvoda, novi dizajn proizvoda, inovativnu ambalažu, nove načine distribucije, kreativne oblike tržišne komunikacije i promocije proizvoda ili usluga i slično [20]. Kreativnost postaje ključni razvojni resurs nacionalnog gospodarstva i čimbenik konkurentske prednosti [21]. Konkurentnost se temelji na kreativnosti. Kreativna osoba je originalna, sposobna brzo proizvesti velik broj različitih informacija, ustrajna je i predana rješavanju problema te izrazito maštovita. Prepoznaje se po otvorenosti, brzini razmišljanja, impulzivnosti, uvjerljivosti, zahtjevnosti, odanosti radu, intelektualnoj znatiželji, samopouzdanju, sklonosti estetici, neovisnosti u mišljenju, fleksibilnosti, osjetljivosti, dominantnosti i smislu za humor. Natprosječno kreativne osobe imaju široko znanje i interese, razvijenu maštu, usmjerenost prema budućnosti, snažnu motivaciju za postizanje rezultata te sposobnost korištenja svih osjetila, uz toleranciju i fleksibilnost [22]. Jedno od aktualnih pitanja suvremenog menadžmenta je kako osloboditi kreativno razmišljanje zaposlenika. U tu svrhu dostupni su brojni izvori koji potiču znatiželju, interes, kreativne aktivnosti i inicijativu. Na taj način, s jedne strane postoje čimbenici koji potiču kreativnost zaposlenika, dok s druge strane postoje čimbenici koji je ograničavaju. Kontinuiranim jačanjem prvih i smanjenjem utjecaja drugih čimbenika kreativna osobnost zaposlenika može razviti nove dimenzije i potencijale [23].

### 3. Kompetencije i kreativnost zaposlenika u tekstilnoj industriji

Organizacije nastoje ostvariti konkurentsku prednost i najbolje upravljačke prakse povezivanjem inovacija i kreativnosti [24]. Uspjeh organizacija u tekstilnoj industriji temelji se na unapređenju produktivnosti ključnih resursa, prvenstveno ljudskih. Ljudski resursi u tekstilnim organizacijama imaju središnju ulogu u stvaranju proizvoda, kontroli kvalitete, upravljanju proizvodnim procesima i komunikaciji s tržištem. Stoga se kompetencije zaposlenika promatraju kao strateški resurs koji izravno utječe na inovativnost, fleksibilnost i sposobnost prilagodbe promjenama u okruženju. Suvremeno tržište zahtijeva stručnjake s interdisciplinarnim znanjima, osobito u području menadžmenta i informacijskih tehnologija, koji su sposobni brzo donositi odluke i primjenjivati inovativna rješenja. Uloga menadžera u tekstilnom sektoru složena je i zahtijeva profesionalne, međuljudske i konceptualne vještine. Suvremeni menadžeri moraju biti fleksibilni, kreativni, komunikativni i sposobni prilagoditi se različitim tržišnim i kulturnim okruženjima [25]. Menadžerske kompetencije predstavljaju zbroj znanja, vještina i sposobnosti menadžera koje omogućuju ostvarenje kratkoročnih i dugoročnih ciljeva organizacije. Među njima se posebno ističe komunikacijska kompetencija, koja uključuje sposobnost jasnog izražavanja, aktivnog slušanja i razumijevanja informacija. Posebno se naglašava uloga tekstilnih inženjera koji, uz tehnička i tehnološka znanja, moraju posjedovati i menadžerske i organizacijske vještine.

Profil tekstilnog i modnog dizajnera izrazito je interdisciplinaran te uključuje znanja iz područja dizajna, umjetnosti, 3D modeliranja, tehnologije, poznavanja materijala, marketinga, ekonomije, ergonomije, psihologije i sociologije. Ova multidisciplinarnost zahtijeva da dizajner bude istodobno umjetnik, tehnolog i stručnjak društvenih znanosti kako bi mogao odgovoriti na sve veće zahtjeve za inovativnošću, raznolikošću i zadovoljstvom potrošača [26]. Osim stručnog znanja, od dizajnera se zahtijevaju razvijene intelektualne i kreativne sposobnosti, mašta, fleksibilnost te sposobnost sinteze velike količine informacija u funkcionalan i tržišno prihvatljiv proizvod. Radna sposobnost dizajnera temelji se na obrazovanju, iskustvu, vještinama, talentu i kontinuiranom profesionalnom usavršavanju [27]. Uloga dizajnera u suvremenim poslovnim uvjetima postaje sve značajnija jer se od njih, osim stvaranja novog proizvoda, očekuje i planiranje njegova „kraja životnog vijeka“ kroz recikliranje i stvaranje novih proizvoda, čime se izravno utječe na potrošačke navike i ekološku svijest. Na temelju navedenoga može se zaključiti da dizajneri svojim radom utječu na kulturu, navike i estetske kriterije potrošača, zbog čega je važno poznavati specifičnosti ove profesije. U suvremenim i dinamičnim poslovnim uvjetima kreativnost, osobito zaposlenika u tekstilnoj industriji, ima iznimno važnu ulogu. Stvaranje novih ideja predstavlja pokretačku snagu uspješnih poduzeća, dok njihov izostanak dovodi do stagnacije i gubitka konkurentnosti.

### 4. Rezultati istraživanja i rasprava

Predmet ovog istraživanja je ispitivanje uloge i primjene kreativnosti među zaposlenicima u organizacijama tekstilnog sektora u Republici Srbiji. Cilj istraživanja bio je analizirati primjenu kreativnosti zaposlenika u tekstilnim organizacijama i njezin utjecaj na cjelokupno poslovanje organizacije. Kao glavni istraživački instrument korišten je anketni upitnik koji se sastojao od demografskih podataka ispitanika te 40 pitanja podijeljenih u tri skupine, a odnosila su se na subjektivne preferencije ispitanika, kreativnu klimu u organizaciji te životne stavove zaposlenika i menadžmenta ispitanih organizacija. U skladu s prevladavajućom prirodom prikupljenih podataka, odabrane su odgovarajuće statističke metode. Budući da

je istraživanje primarno usmjereno na opisivanje stavova i percepcija ispitanika bez testiranja uzročno-posledičnih odnosa, primijenjena je metoda deskriptivne statistike, koja omogućuje sustavan prikaz i interpretaciju dobivenih rezultata. Deskriptivna statistička metoda korištena je radi sistematizacije i interpretacije prikupljenih podataka, omogućujući prikaz temeljnih obilježja uzorka putem frekvencija i postotaka. Za dio pitanja korištena je Likertova ljestvica od 1 do 5, koja označava razinu slaganja s ponuđenom tvrdnjom (1 = „uopće nisam zadovoljan/na“, 5 = „u potpunosti sam zadovoljan/na“). Prikupljanje podataka provedeno je osobno i putem elektroničke pošte, a obrada podataka izvršena je uz pomoć statističkog paketa SPSS, verzija 20.0.

Ukupan broj ispitanika iznosio je 105, od čega su 64 ispitanika žene, što je u skladu s obilježjima tekstilne industrije u kojoj prevladava ženska radna snaga. Ispitanici su većinom pripadnici mlađe i srednje generacije, a najveći broj njih, ukupno 70 (66,67 %), ima do 20 godina radnog staža. Prema razini obrazovanja, 61,90 % ispitanika ima završeno visoko obrazovanje ili viši stupanj, što odgovara strukturi ispitivanih stručnjaka među kojima prevladavaju tekstilni inženjeri, dizajneri i menadžeri (Tablica 1).

Tablica 1: Demografski podaci ispitanika

		Učestalost	Postotak (%)	Kumulativni postotak (%)
Spol	Muško	41	39,05	39,05
	Žensko	64	60,95	100,00
	<b>Ukupno</b>	<b>105</b>	<b>100,0</b>	
Godine radnog iskustva	Do 10 godina	31	29,53	29,53
	Od 10 do 20 godina	39	37,14	66,67
	Više od 20 godine	35	33,33	100,00
	<b>Ukupno</b>	<b>105</b>	<b>100,0</b>	
Stupanj obrazovanja	Visokoškolsko obrazovanje	50	47,62	47,62
	Visokoškolsko strukovno obrazovanje	15	14,28	61,90
	Srednjoškolsko obrazovanje	40	38,10	100,00
	<b>Ukupno</b>	<b>105</b>	<b>100,0</b>	

Rezultati deskriptivne statistike ukazuju na to da su ispitani zaposlenici u visokoj mjeri svjesni utjecaja kreativnih procesa na inovativne procese svojih organizacija. Za 47,62 % ispitanika rad predstavlja ostvarenje profesionalnih sklonosti i interesa, što upućuje na zaključak da je većina ispitanika profesionalno ostvarena u svom radu, što je važan preduvjet za razvoj kreativnosti i kreativne organizacijske klime. Dobiveni rezultati pokazuju da se čak 87,62 % ispitanika smatra kreativnim osobama, što upućuje na prevladavanje subjektivne procjene. Analiza rezultata također pokazuje da su kreativne osobe u ispitanim tekstilnim organizacijama prepoznate, budući da je 54,29 % ispitanika na to pitanje odgovorilo potvrdno, dok je 40,95 % dalo negativan odgovor, što nije zanemariv udio. Na temelju toga može se zaključiti da su kreativni pojedinci prepoznati, ali ne u dovoljnoj mjeri, te da postoji značajan prostor za njihovo daljnje poticanje i razvoj.

Među ispitanicima prevladava mišljenje (55,24 %) da se u njihovim organizacijama potiče razvoj kreativnosti i novih ideja. Međutim, 43,81 % ispitanika koji se s time ne slažu upućuju na potrebu kontinuiranog stvaranja i razvoja što kreativnije organizacijske klime. Zanimljivo je da 70,48 % ispitanika smatra kako kreativni pojedinci u njihovim organizacijama daju značajan doprinos razvoju cjelokupne organizacije. Općenito, dobiveni rezultati daju pozitivnu sliku ispitivanih organizacija i njihova menadžmenta, prikazujući ih kao uspješne i inovativne organizacije s razvijenom kreativnom klimom. Spomenuti rezultati prikazani su u tabličnom obliku (Tablica 2).

Analiza utvrđenih podataka pokazuje da zaposlenici u ispitanim organizacijama tekstilnog sektora imaju dobru međusobnu suradnju, budući da je 78,09 % ispitanika u potpunosti ili uglavnom zadovoljno suradnjom s kolegama. Također, 48,58 % ispitanika u potpunosti je zadovoljno suradnjom s nadređenima, dok je 27,61 % djelomično zadovoljno. Općenito se može zaključiti da zaposlenici i menadžment ostvaruju vrlo dobru suradnju, što predstavlja važan preduvjet za poticanje kreativne organizacijske klime i unaprjeđenje cjelokupnog poslovanja. Analiza rezultata istraživanja pokazuje da 47,62 % ispitanika ima djelomično pozitivan stav prema razvoju kreativnih i inovativnih sposobnosti svih zaposlenika, dok 23,81 % ima izrazito pozitivan stav. Nadalje, 40,95 % ispitanika u potpunosti je zadovoljno razvojem kreativne suradnje unutar organizacije, dok je 41,90 % djelomično zadovoljno. Na temelju navedenoga može se zaključiti da i zaposlenici i menadžment ulažu napore u razvoj i njegovanje kreativne suradnje, iako postoji prostor za njezino dodatno unaprjeđenje. Odgovori ispitanika mogu se vidjeti u Tablici 3.

Tablica 2. Osobni stav prema kreativnosti

		Učestalost	Postotak (%)	Kumulativni postotak (%)
Šta za Vas predstavlja rad?	Materijalna egzistenciju	39	37,14	37,14
	Profesionalna postignuća i sklonosti	50	47,62	84,76
	Profesionalni napredak	16	15,24	100,00
	<b>Ukupno</b>	<b>105</b>	<b>100,00</b>	
Smatrate li se kreativnom osobom?	Da	92	87,62	87,62
	Ne	13	12,38	100,00
	<b>Ukupno</b>	<b>105</b>	<b>100,00</b>	
Jesu li kreativni ljudi u vašoj organizaciji prepoznati?	Nije bilo odgovora	5	4,76	4,76
	Da	57	54,29	59,05
	Ne	43	40,95	100,00
	<b>Ukupno</b>	<b>105</b>	<b>100,00</b>	
Potiče li klima u vašoj organizaciji razvoj kreativnosti i novih ideja?	Nije bilo odgovora	1	0,95	0,95
	Da	58	55,24	56,19
	Ne	46	43,81	100,00
	<b>Ukupno</b>	<b>105</b>	<b>100,00</b>	
Da li kreativni pojedinci daju doprinos razvoju celokupne organizacije?	Da	74	70,48	70,48
	Ne	31	29,52	100,00
	<b>Ukupno</b>	<b>105</b>	<b>100,00</b>	

Tablica 3: Stav ispitanika o klimi kreativnosti u organizaciji

		Učestalost	Postotak (%)	Kumulativni postotak (%)
Jeste li zadovoljni međusobnom suradnjom s kolegama?	Uopće nisam zadovoljan/na	1	0,95	0,95
	Uglavnom nisam zadovoljan/na	5	4,76	5,71
	Jesam i nisam zadovoljan/na	17	16,20	21,91
	Uglavnom sam zadovoljan/na	45	42,85	64,76
	U potpunosti sam zadovoljan/na	37	35,24	100,00
	<b>Ukupno</b>	<b>105</b>	<b>100,00</b>	
U kojoj mjeri ste zadovoljni suradnjom sa nadređenima?	Nije bilo odgovora	1	0,95	0,95
	Uopće nisam zadovoljan/na	8	7,62	8,57
	Uglavnom nisam zadovoljan/na	16	15,24	23,81
	Jesam i nisam zadovoljan/na	29	27,61	51,42
	Uglavnom sam zadovoljan/na	30	28,58	80,00
	U potpunosti sam zadovoljan/na	21	20,00	100,00
	<b>Ukupno</b>	<b>105</b>	<b>100,00</b>	
Koliko ste zadovoljni razvojem kreativnih i inovativnih sposobnosti svakog zaposlenika?	Uopće nisam zadovoljan/na	4	3,81	3,81
	Uglavnom nisam zadovoljan/na	26	24,76	28,57
	Jesam i nisam zadovoljan/na	50	47,62	76,19
	Uglavnom sam zadovoljan/na	19	18,10	94,29

	U potpunosti sam zadovoljan/na	6	5,71	100
	<b>Ukupno</b>	<b>105</b>	<b>100,00</b>	
Koliko ste zadovoljni razvojem kreativne suradnje i dobrih međuljudskih odnosa među zaposlenicima?	Uopće nisam zadovoljan/na	1	0,95	0,95
	Uglavnom nisam zadovoljan/na	3	2,86	3,81
	Jesam i nisam zadovoljan/na	44	41,90	45,71
	Uglavnom sam zadovoljan/na	14	13,34	59,05
	U potpunosti sam zadovoljan/na	43	40,95	100,00
	<b>Ukupno</b>	<b>105</b>	<b>100,00</b>	

Obzirom na to da prosječna ocjena razine kreativnosti, prema procjeni svih ispitanika, iznosi 3,376 (od maksimalne ocjene 5), može se zaključiti da se obrasci ponašanja i ideje karakteristične za kreativnu organizacijsku klimu kontinuirano razvijaju, ali da istodobno postoje realne osnove za njihovo daljnje unapređenje. Rezultati istraživanja prikazani u ovom radu ukazuju na to da su ispitanici svjesni utjecaja kreativnosti te vlastite uloge u inovativnim procesima svojih organizacija.

## 5. Zaključak

Konkurentna pozicija poduzeća u tekstilnoj industriji ovisi o njihovoj fleksibilnosti, kreativnosti, inventivnosti, inovativnosti te, prije svega, o kvaliteti zaposlenika. Visok stupanj konkurencije u tekstilnoj industriji nameće potrebu za strategijom temeljenom na ljudskim resursima kao ključnom čimbeniku uspjeha. Pojam kompetencija dobiva sve veće značenje, osobito u kontekstu rada menadžera, dizajnera i tekstilnih inženjera uključenih u proces stvaranja odjeće.

Kombinacija znanja, vještina, iskustva, sposobnosti održavanja dobrih međuljudskih odnosa i kreativnosti omogućuje zaposlenicima u tekstilnoj industriji učinkovitu prilagodbu promjenama, pravodobno donošenje odluka i odgovor na tržišne zahtjeve. Razvijeni ljudski resursi koji posjeduju ključne kompetencije predstavljaju temelj za ostvarivanje održive konkurentne prednosti te zadovoljenje sve zahtjevnijih potreba potrošača. U suvremenim i dinamičnim poslovnim uvjetima kreativnost zaposlenika u tekstilnoj industriji ima iznimno važnu ulogu. Stvaranje novih ideja pokretačka je snaga uspješnih poduzeća, dok njihov izostanak dovodi do stagnacije i gubitka konkurentnosti.

Provedeno istraživanje u organizacijama tekstilnog sektora potvrđuje ulogu i važnost svih zaposlenika u ostvarivanju poslovnih rezultata i ciljeva. Posebno se ističe doprinos kreativnih i inovativnih zaposlenika koji postaju ključni čimbenici konkurentnosti na tržištu. Rezultati istraživanja ukazuju na to da su ispitanici u visokoj mjeri svjesni utjecaja kreativnosti na inovativne procese u svojim organizacijama. Iako je razina razvijenosti kreativnosti zaposlenika i menadžmenta u analiziranim organizacijama procijenjena kao prosječna, dobiveni rezultati ukazuju na značajan pomak prema većem interesu za razvoj kreativnosti svih zaposlenika. Ispitanici jasno prepoznaju bit i ulogu kreativnosti zaposlenika, kao i njezinu važnost za uspješan razvoj i unapređenje poslovanja organizacije. Dobiveni rezultati mogu poslužiti kao temelj za buduća istraživanja u području upravljanja ljudskim resursima u tekstilnom sektoru, ali i kao smjernice menadžmentu za oblikovanje strategija usmjerenih na jačanje kreativnog i inovativnog potencijala zaposlenika.

**Zahvala:** Ovaj rad izrađen je uz financijsku potporu Ministarstva znanosti, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, u okviru financiranja znanstveno-istraživačkog rada na Tehničkom fakultetu u Boru, Sveučilište u Beogradu, prema ugovoru br. 45-03-137/2025-03/200131.

**Izjava o primjeni UI alata:** Za pripremu radu nisu korišteni UI alati.

## Literatura

- [1] Kokeza, G.; Josipović, S.; Urošević, S.: Socio-economic aspects of contemporary trends in the development of the textile industry, 8th International Scientific Conference „Contemporary trends and innovations in the textile industry“, CT&ITI 2025, Beograd, (2025), Dostupan na: [https://doi.org/10.5937/CT\\_ITI25001K](https://doi.org/10.5937/CT_ITI25001K)

- [2] Avakumović, J.; Avakumović, J.: Menadžment, ljudski resursi i novi trendovi poslovanja u tekstilnoj industriji. *Tekstilna industrija*, 66 (2018) 3, 47-51
- [3] Harvey, G.; Turnbull, P.: Ricardo flies Ryanair: Strategic human resource management and competitive advantage in a Single European Aviation Market, *Human Resources Management Journal*, 30 (2020), Dostupan na: <https://doi.org/10.1111/1748-8583.12315>
- [4] Winarno, S.; Elvira, L.; Latumahina, J.; Sabil, S.; Cindrakasih, RR.; Putra, A.S.: Human resources development in increasing company development, *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 1 (2022) 11, 1529-1534
- [5] Stefanović V.; Vojnović B.; Urošević S.: Menadžment ljudskih resursa – savremene strategije i kontroverze, Institut za ekonomiku poljoprivrede, Beograd (2012)
- [6] Vujić, D.: Kompetencije kao odgovor na nove izazove upravljanja ljudskim resursima, *International Scientific Conference Sinteza*, (2015), doi: 10.15308/Synthesis-2015-686-690
- [7] Jelić Aksentijević, A.A.: Razvoj kreativnih kadrova u oblasti tekstilnog dizajna. *Tekstilna industrija*, 57 (2009) 1-3, 14-18
- [8] Gašović, M.; Čurčić, N.: Efekti marketinga i dizajna primenom CAD sistema u kompanijama - proizvođačima odeće. *Vojno delo*, 70 (2018) 6, 309-320
- [9] Celcar, D.; Gruden, B.V.: Uloga percepcije potrošača i kupovnog ponašanja u procesu dizajniranja odeće za spavanje. *Tekstilna industrija*, 72 (2024) 3, 30-39
- [10] Micić, I.; Randić, J.K.: Setting a competence framework to strengthen organizational strategic performance. *Ekonomija-teorija i praksa*, 15 (2022), 1
- [11] Kahrović, E.; Čorović, E.; Dobardžić, A.: Proces upravljanja ljudskim resursima u tekstilnoj industriji - studija slučaja novopazarskih preduzeća. *Tekstilna industrija*, 68 (2020) 1, 36-45
- [12] Urošević, S.; Đorđević, D.: Mesto i uloga upravljačkih znanja i veština u obrazovanju tekstilnih inženjera. *Tekstilna industrija*, 57 (2009) 1-3, 7-13
- [13] Matejić, I.; Čurčić, M.: Značaj obuke i razvoja zaposlenih za organizacionu efikasnost. *Ekonomija: teorija i praksa*, 16 (2023) 2, 24-43
- [14] Slavković, A.; Slavković, V.: Značaj treninga zaposlenih u savremenoj organizaciji. Menadžment u hotelijerstvu i turizmu, 7 (2019) 2, 115-125
- [15] Marković Radović, M.; Marković, D.; Simović, V.: Informatičke kompetencije menadžera i virtuelnih timova. *Trendovi u poslovanju*, 6 (2018) 2, 29-36
- [16] Urošević, S.: Razvoj karijere, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, ISBN 978-86-6305-001-3 (2012)
- [17] Robinson, K.; Aronica, L.: *The Element*, Penguin Books, UK, (2009)
- [18] Rotenberg, A.: *Kreativnost i ludilo*, Clio, Beograd, (2010)
- [19] Arizanović, G.; Krstić, M.; Bojković, R.: Razvijanje menadžerske kreativnosti, *International Scientific Conference MANAGEMENT 2010*, Kruševac, (2010)
- [20] Novak, I.; Šaravanja B.: Kreativnost – uvjet opstanka poslovnih subjekata, 9. znanstveno-stručno savjetovanje *Tekstilna znanost i gospodarstvo TZG 2016 - Zagreb: Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, (2016), 108-111
- [21] Radović, D.; Radović, B.: Kreativnost i inovativnost kao razvojni potencijal kreativnih industrija, *Ekonomski vidici*, XXI (2016) 2-3, 131-144
- [22] Nakano, T. C.; Wechsler, S.M.: Creativity and innovation: Skills for the 21st Century. *Estudos de Psicologia (Campinas)*, 35 (2018) 3, 237-246
- [23] Stefanović, V.; Cvijanović, D.; Vojnović, B.: *Lavirinti menadžmenta*, Monografija, Institut za ekonomiku poljoprivrede, Beograd, ISBN 978-86-6269-009-8, (2012)
- [24] Alves, C.; De Sousa, F.S.J.H.: Creativity and Innovation to Improve Processes in a Textile Industry, *International Journal of Engineering and Management Sciences (IJEMS)*, 6 (2021) 3, Dostupan na: <https://hdl.handle.net/2437/325184>
- [25] Urošević, S.: Uloga menadžera u poslovanju u kriznim vremenima, *Lider-Direktor*, časopis za teoriju i praksu menadžmenta, 3 (2009) 11, 51-56
- [26] Gürcüm, B. H.: Conceptual design method and creativity in textile design. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 3 (2017) 1, 1-11
- [27] Aksentijević Jelić A.: Razvoj ljudskih resursa u procesu dizajna tekstila: od kreativnog ka efektivnom, *Visoka tekstilna strukovna škola DTM Beograd*, ISBN 978-86-87017-23-8, (2014)



**STRUČNI  
RADOVI**

---

# MOTIVI GUSTAVA KLIMTA KAO INSPIRACIJA ZA KOLEKCIJU ODJEĆE

Valentina ALINČIĆ<sup>1</sup>, Irena ŠABARIĆ ŠKUGOR<sup>1</sup>, Franka KARIN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska

\* Adresa za korespondenciju: franka.karin@tf.unizg.hr

**Sažetak:** U radu se analizira umjetničko stvaralaštvo Gustava Klimta kroz prepoznatljive motive u zlatnim tonovima koji dominiraju u njegovom kreativnom prikazu ženskih figura. Eksperimentalni dio rada odnosi se na reinterpretaciju Klimtovih motiva koji su glavna inspiracija za kolekciju odjeće u suvremenom modnom dizajnu. Nakon analize motiva i ornamentike bečke secesije u računalnom programu Clip Studio Paint digitalno su oblikovani uzorci za tkaninu namijenjeni za digitalni tisak. Prikazana je kolekcija ženskih haljina inspirirana stvaralaštvom Gustava Klimta. Iz kolekcije odjeće odabrana su dva odjevna predmeta prema kojima je izrađena simulacija u računalnom programu Clo3D. Cilj rada je prikazati kako povijesna umjetnost može biti inspiracija u oblikovanju suvremene modne kolekcije uz primjenu digitalnih alata kojima se ubrzava proces izrade.

**Ključne riječi:** Gustav Klimt, modna kolekcija, Clo3D, digitalni alati.

## 1. Uvod

Umjetničko stvaralaštvo Gustava Klimta obilježilo je bečku secesiju i europsku umjetnost. Njegov vizualni izričaj koji podrazumijeva ornamente, zlatne tonove i ekspresivan prikaz ženskog lika dobra je inspiracija za razvoj koncepta autorske kolekcije odjeće koja povezuje povijesnu umjetnost i suvremeni modni dizajn. Vrhunac njegova stvaralaštva tijekom „zlatnog razdoblja“ (1901.–1909.), karakterističan je po motivima zlatnih listića, slojevitih ornamentata i kompozicija nadahnutih bizantskim mozaicima. Najčešći motivi u Klimtovim djelima su spirala, krug, cvjetni uzorci i zlatne plohe. Spajao je realistične figure i ornamentalnu apstrakciju, stvarajući kompozicije koje prikazuju senzualnost i mistiku. Ženska figura uvijek je bila glavna inspiracija njegovih djela prikazana kao božanstvo, muza, zavodnica ili simbol duhovne snage. Djela poput Poljupca, Judite I. i Portreta Adele Bloch-Bauer sinergija su figurativnosti i apstraktnog dekorativnog prostora, a upravo su njegova najpoznatija djela inspiracija za razvoj kolekcije odjeće i uzoraka tkanine u ovom radu [1-5].

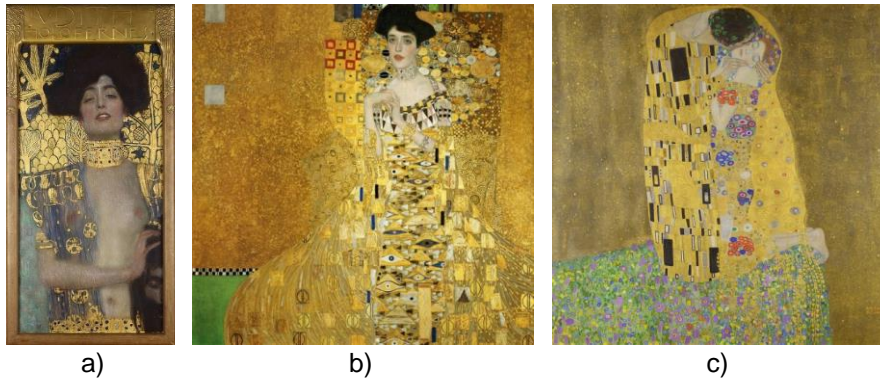
## 2. Umjetnička djela Gustava Klimta kao inspiracija za kolekciju odjeće

Iz širokog, umjetničkog opusa Gustava Klimta izdvojena su njegova tri najpoznatija djela čija je analiza motiva i likovnih elemenata rezultirala kao glavno polazište za dizajn uzoraka tekstita i odjeće koji su razvijeni, realizirani i prikazani pomoću digitalnih alata. To su: „Judita I.“, „Portret Adele Bloch-Bauer I.“, „Poljubac“.

Klimtova „Judita I.“ prikazuje modernu i psihološki složenu interpretaciju biblijske heroine, kojoj je naglašena senzualnost umjesto tradicionalne religiozne kreposti, slika 1a. Juditini poluzatvoreni kapci i razdvojene usne sugeriraju spoj erotike i moći. Judita prikazuje arhetip „femme fatale“ (hrv. zavodnica) koja pritom preispituje tradicionalnu ikonografiju kroz prizmu suvremenih tema seksualnosti, nasilja i ženske autonomije [6].

„Portret Adele Bloch-Bauer I.“ prikazuje realističan prikaz Adele s ornamentalnom i apstraktnom pozadinom koju čine zlatni listići i reljefne teksture, nadahnute bizantskim mozaicima iz Ravene. Motivi spirala, geometrijskih uzoraka i stiliziranih očiju povezuju djelo s Art Nouveau estetikom. Adele predstavlja mitsku figuru koja spaja stvarnu osobu i arhetip ženske elegancije i moći, a portret je spoj bečke secesije i modernizma, slika 1b [7].

„Poljubac“ jedno je od najpoznatijih djela Gustava Klimta spaja erotiku, simbolizam i ornamentalnu raskoš. Središte kompozicije je ljubavni par obavljen u zlatne haljine, u kojima muška figura simbolizira snagu i strukturu, a ženska organske spirale i cvjetne motive. Djelo prikazuje ljubav kao univerzalno, duhovno i tjelesno sjedinjenje, a likovi arhetipove ljubavnog jedinstva muške i ženske energije. Poljubac odražava tematsku povezanost života, ljubavi i vječnosti, te predstavlja vrhunac Klimtova istraživanja senzualnosti i ženske figure, i težnju bečke secesije za ujedinjenjem likovne i primijenjene umjetnosti, slika 1c [8].



Slika 1. a) Judita I., b) Portret Adele Bloch-Bauer I., c) Poljubac [6-8]

### 2.1. Utjecaj Klimtovog stvaralaštva na dizajn tekstila i odjeće

Mnogi poznati dizajneri inspiraciju za svoje kolekcije pronašli su upravo u radu Gustava Klimta čija su najpoznatija umjetnička djela pretočili u luksuzne odjevne predmete. Na temelju dosadašnjih rezultata nastalih inspiracijom ovog umjetnika rodila se ideja za nastanak kolekcije odjeće koja je prikazana u nastavku rada.

U „couture“ kolekciji Christian Dior za proljeće 2008. John Galliano inspiriran Klimtovom „Zlatnom fazom“ izradio je kolekciju u kojoj su dominirali zlatni tonovi, složeni ornamentalni uzorci i bogata paleta boja. Kolekcija odjeće je reinterpetacija Klimtovih plošnih kompozicija, apstraktnih geometrijskih oblika i senzualnosti njegovih ženskih figura koja ne imitira Klimta, već spaja umjetnost s modom, slika 2a [9].

U „couture“ kolekciji „Becoming Love“ za jesen/zimu 2025. Rahul Mishra crpi inspiraciju iz ornamentalne umjetnosti Gustava Klimta koju je spojio s tradicionalnim indijskim rukotvorstvom kroz tehnike aari, zarzodi i naqshi veza. Zlatni detalji u kolekciji utjecaj su iz djela „Poljupca“ i „Portreta Adele Bloch-Bauer I.“. Dizajner u svojim odjevnim siluetama iz kolekcije spaja estetsku, raskoš u detaljima i tradicionalni zanat, slika 2b [10].



Slika 2. a) John Galliano za Christian Dior, Couture kolekcija, proljeće 2008, b) Rahul Mishra, Couture kolekcija, jesen/zima 2025 [9, 10].

### 3. Eksperimentalni dio

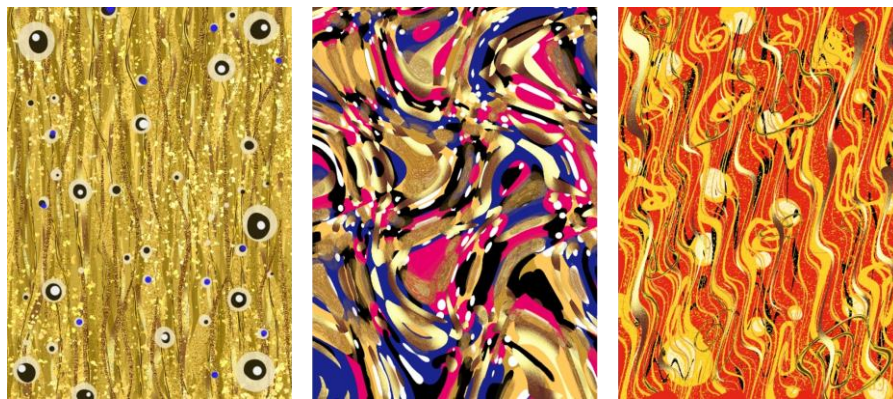
Spiralni ornamenti, geometrijski uzorci i zlatni tonovi preuzeti iz umjetničkih djela Gustava Klimta interpretirani su u kolekciju odjeće koja predstavlja metamorfozu žene, od nježne do moćne figure svjesne svoje privlačnosti i unutarnje snage. Kolekcija spaja povijesnu umjetnost i suvremeni modni dizajn, a sastoji se od 12 modela koji su digitalno izrađeni u računalnom programu Clip Studio Paint, slika 3. Dizajnirana su i tri tekstilna uzorka koji su prilagođeni digitalnom tisku na tekstil. Time se postigla precizna realizacija koncepta i uspostavila poveznica između likovne umjetnosti, suvremene tehnologije i mogućnost za njihovu primjenu u razvoju modne kolekcije. Za dva modela iz kolekcije u računalnom programu Clo3D izrađena je simulacija kroja i tekstilnog uzorka kako bi se utvrdilo uklapanje digitalnog uzorka u dizajn odjevnog predmeta i pristajanje istog prema tijelu [11].



Slika 3. Kolekcija odjeće inspirirana motivima Gustava Klimta [11].

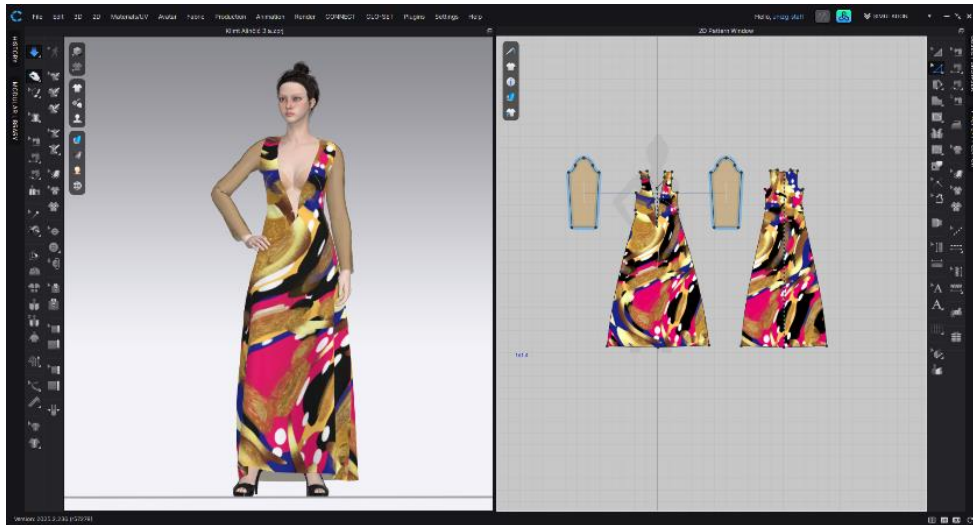
#### 4. Rezultati rada

Primjenom digitalnih alata koje sadrži računalni program Clip Studio Paint realizirana su tri primjera dizajna uzorka za tekstil koji su namijenjeni za digitalni tisak kako bi se što preciznije prikazali likovni elementi nastali kao inspiracija iz prepoznatljivih motiva Gustava Klimta, slika 4.

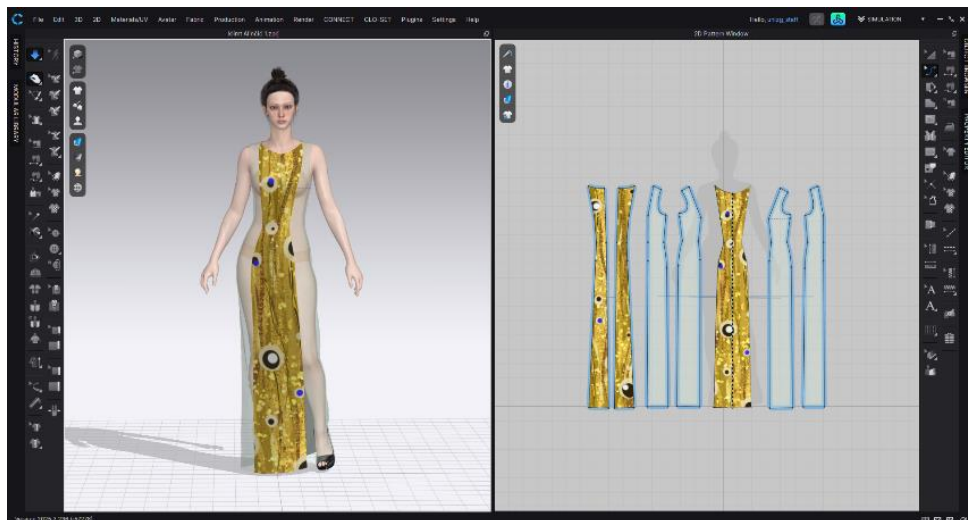


Slika 4. Uzorci tekstila inspirirani Klimtovim stvaralaštvom [11].

Za dva odabrana modela haljine iz kolekcije, primjenom digitalnih alata u računalnom programu Clo3D izrađena je konstrukcija i modeliranje prema zamišljenom dizajnu. Nakon digitalne simulacije kako bi se ispitao i potvrdio modelirani kroj haljina, uklapljen je digitalni uzorak za tkaninu koji se prilagodio modeliranom kroju kako ne bi izgubio estetsku komponentu. Izrađena je digitalna simulacija haljina nakon modeliranja i uklapanja uzorka čime se potvrdilo dobro uklapanje digitalnog uzorka u kroj i dobro pristajanje odjevnog predmeta, slika 5 i 6.



Slika 5. Simulacija modela 1 iz kolekcije odjeće u računalnom programu Clo3D.



Slika 6. Simulacija modela 2 iz kolekcije odjeće u računalnom programu Clo3D.

## 5. Zaključak

Klimtovi motivi i snažna simbolika ženskog lika poslužili su kao polazište za razvoj modne kolekcije u kojoj su se povezali inspiracija s povijesnim umjetničkim djelima. Suvremena estetika i digitalizacija kroz računalne programe omogućuju brže promjene modela i detaljan prikaz dizajnerskog rješenja prije procesa realizacije. Dizajn je ispitan i prilagođen te su se minimizirale greške u realizaciji. Izrađeni digitalni tekstilni uzorci u programu Clip Studio Paint predstavljaju most između klasične umjetnosti i suvremenih tehnologija te su primijenjeni u razvoju kolekcije. Konstrukcija i modeliranje odabranog modela haljine prikazana je u računalnom programu Clo3D za koji je edukacija omogućena kroz projekt FashionTex. Tako ovaj rad spaja uobičajene i suvremene metode istraživanja koje unapređuju realizaciju modnih kolekcija čiji rezultati doprinose održivijem razvoju u dizajnu tekstilnih uzoraka i odjevnih predmeta. Isto tako rad pokazuje kako uspješno spojiti povijesne motive i inspiraciju korištenjem suvremenih alata.

**Zahvala:** European Academy for Young Designers to Study Innovative Technologies in Digital Fashion Design, FashionTEX, Institucijski istraživački projekt RoDv, financiran sredstvima NextGenerationEU – Mehanizam za oporavak i otpornost (RRF).

**Izjava o korištenju AI alata:** AI alati u ovom radu korišteni su za prijevod literature na hrvatski jezik i za provjeru nepoznatih informacija.

## Literatura

- [1] Neret, G.: Gustav Klimt: 1862.-1918, Taschen, ISBN 10: 3822896713, Zagreb, (2006)
- [2] Down, L.: Gustav Klimt & The Revolutionary Secession Movement, Arts, artists, artwork, Dostupan na: <https://artsartistsartwork.com/gustav-klimt-the-revolutionary-secession-movement/>, Pristupljeno: 07-06-2025
- [3] Belvedere.; Klimt's Golden Phase, Arts and Culture, Dostupan na: <https://artsandculture.google.com/story/klimt-39-s-golden-phase-belvedere/4wUxWenizTxkZA?hl=en>, Pristupljeno: 06-06-2025
- [4] The Editors of P55.ART.: The symbolism and ornamentation in the paintings Gustav Klimt, P55.ART, Dostupan na: <https://www.p55.art/en/blogs/p55-magazine/the-symbolism-and-ornamentation-in-the-paintings-gustav-klimt>, Pristupljeno: 03-07-2025
- [5] Maksimova, A.: Mysticism and symbolism in the works of Gustav Klimt, Art De Vivre, Dostupan na: <https://artdevivre.com/articles/mysticism-and-symbolism-in-the-works-of-gustav-klimt/>, Pristupljeno: 03-07-2025
- [6] Meyer, E.: Judith and Holofernes by Gustav Klimt – Decoding This Masterpiece, Art in Context, Dostupan na: <https://artincontext.org/judith-and-holofernes-by-gustav-klimt/>, Pristupljeno: 06-07-2025
- [7] Snow, E.: Masterpiece Story: Portrait of Adele Bloch-Bauer by Gustav Klimt, DailyArt Magazine, Dostupan na: <https://www.dailyartmagazine.com/portrait-of-adele-bloch-bauer/>, Pristupljeno: 06-07-2025
- [8] Du Plessis, A.: The Kiss Gustav Klimt – An Analysis of Klimt's Painting, "The Kiss", Art in Context, Dostupan na: <https://artincontext.org/the-kiss-gustav-klimt/>, Pristupljeno: 06-07-2025
- [9] Lampit, S.: Christian Dior Spring 2008 Couture Collection, WordPress, Dostupan na: <https://slampittunit8.wordpress.com/2017/03/09/christian-dior-spring-2008-couture-collection/>, Pristupljeno: 04-08-2025
- [10] JTDapper Fashion Week.: Rahul Mishra Couture Fall/Winter 2025 at Paris Couture Week, JTDapper Fashion Week, Dostupan na: <https://jtdapperfashionweek.com/2025/07/09/rahul-mishra-couture-fall-winter-2025-at-paris-couture-week/>, Pristupljeno: 04-08-2025
- [11] Alinčić, V.: Stvaralaštvo Gustava Klimta kao poticaj za projektiranje kolekcije odjeće, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, (2025)

# RAZVOJ KREATIVNOSTI, PRAKTIČNIH VJEŠTINA I EKOLOŠKE OSVIJEŠTENOSTI UČENIKA KROZ OBRAZOVNI PROJEKT „IGLA ŠIVA SVOJU PRIČU“

Lea BOTTERI<sup>1\*</sup>, Višnja ŠARIĆ<sup>2</sup>, Iva BRLEK<sup>1</sup>, Maja MAHNIĆ NAGLIĆ<sup>1</sup>, Ana PALČIĆ<sup>1</sup>, Selma IMAMAGIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz b. Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup> Druga ekonomska škola, Dobojska 12, Zagreb, Hrvatska

\*Adresa za korespondenciju: lea.botteri@tff.unizg.hr

**Sažetak:** Projekt „Igla šiva svoju priču“, odobren od Ministarstva znanosti, obrazovanja i mladih u sklopu projekta za izvannastavne aktivnosti osnovnih i srednjih škola te učeničkih domova u školskoj godini 2025./2026., provodi se u Drugoj ekonomskoj školi u Zagrebu u suradnji sa Sveučilištem u Zagrebu Tekstilno-tehnološkim fakultetom i Udrugom Kamensko. Cilj projekta je potaknuti učenike na kreativnost, razvijanje praktičnih vještina te stjecanje ekološke svijesti kroz sadržaje koji povezuju tradiciju, tekstilnu tehnologiju i održivu modu. Projekt započinje istraživačkim zadatkom o povijesti odijevanja i posjetom Etnografskom muzeju. Ključni doprinos projektu daje Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet kroz predavanja i radionice o postupcima oplemenjivanja tekstila, povijesti bojadisanja tekstila (s naglaskom na prirodna bojila) te suvremenim digitalnim tehnologijama koje se primjenjuju u modnoj industriji. U udruzi Kamensko, kroz radionice šivanja, učenici će steći osnove vještine krojenja i šivanja. Stečeno znanje omogućit će im da samostalno u školi na šivaćim strojevima izrađuju jednostavne odjevne predmete, starim predmetima udahnu novi život i na taj način doprinesu smanjenju tekstilnog otpada. Projekt će završiti izložbom učeničkih radova u prostoru škole i predstavljanjem rezultata čime se osigurava diseminacija stečenih znanja i njihova integracija u daljnje obrazovne aktivnosti. Vrijednost projekta ogleda se u njegovom doprinosu na više razina. Učenicima pruža mogućnost razvoja kreativnosti, timskog rada, socijalnih i životnih vještina te potiče kritičko razmišljanje i odgovornost prema okolišu. Školskom osoblju omogućuje inovativne oblike poučavanja i suradnju s vanjskim institucijama, a suradnja sa Sveučilištem u Zagrebu Tekstilno-tehnološkim fakultetom dodatno obogaćuje obrazovni proces učenika. Uključivanjem učenika u stručne i praktične aktivnosti Fakultet stječe izravan kontakt s budućim potencijalnim studentima, promovira suvremene nastavne metode te povećava interes za studentske programe vezane uz tekstilnu i modnu industriju. Ujedno se jača prepoznatljivost i konkurentnost Fakulteta u obrazovnom i istraživačkom području.

**Ključne riječi:** tekstilna industrija, kružno gospodarstvo, ekološka osviještenost, održivi razvoj, redizajn

## 1. Uvod

U suvremenom obrazovanju sve veći značaj dobiva razvoj praktičnih vještina, kreativnosti i ekološke osviještenosti učenika, jer se učenje više ne temelji samo na usvajanju teorijskih znanja već i na sposobnosti primjene naučenog u stvarnom životu. Učenici se danas suočavaju s kompleksnim društvenim i ekološkim izazovima, što zahtijeva razvoj kompetencija koje uključuju kreativno razmišljanje, inovativno rješavanje problema i aktivno sudjelovanje u održivim praksama [1]. Kreativnost, kao sposobnost generiranja novih ideja i rješenja, postaje ključna u obrazovanju jer omogućuje učenicima da pristupaju zadacima na inovativan način, izražavaju vlastite ideje i razvijaju samopouzdanje u vlastite sposobnosti [2].

Globalni izazovi u području održivosti dodatno naglašavaju potrebu za uključivanjem praktičnih i ekološki osviještenih aktivnosti u obrazovne programe. Rast tekstilnog otpada, intenzivna potrošnja odjeće i resursa te utjecaj modne industrije na okoliš predstavljaju značajan problem za cijelo društvo. Tekstilna industrija je jedna od najvećih industrija koja doprinosi zagađenju voda, emisijama stakleničkih plinova i stvaranju ogromnih količina otpada, a mladi su posebno osjetljiva skupina koja može postati pokretač promjena kroz svjesno donošenje odluka i odgovorno ponašanje. Stoga je nužno da obrazovni programi integriraju održive prakse, kako bi učenici razumjeli vlastitu ulogu u očuvanju okoliša, učili o principima kružne ekonomije, recikliranja i odgovorne potrošnje te usvojili vrijednosti koje će primjenjivati i izvan školskog okruženja [3].

Izvannastavne aktivnosti pružaju učenicima prostor za praktično učenje, kreativno izražavanje i timski rad, omogućujući im stjecanje osnovnih vještina, poput šivanja, bojadisanja prirodnim bojilima, dizajna i recikliranja, te razvijaju svijest o održivosti i važnosti odgovorne potrošnje. Takvi programi pripremaju mlade

ljude da aktivno doprinose održivom razvoju društva i primjenjuju stečene kompetencije u svakodnevnom životu, izvan formalnog školskog okruženja.

Projekt „Igla šiva svoju priču“, financiran od Ministarstva znanosti, obrazovanja i mladih u sklopu projekta za izvannastavne aktivnosti osnovnih i srednjih škola te učeničkih domova u školskoj godini 2025./2026, provodi se u Drugoj ekonomskoj školi u Zagrebu u suradnji sa Sveučilištem u Zagrebu Tekstilno-tehnološkim fakultetom (TTF) i Udruhom Kamensko.

Ovim projektom škola želi potaknuti učenike na kreativnost, razvoj praktičnih vještina te odgovorno promišljanje o okolišu i budućnosti. Kroz niz edukativnih i praktičnih aktivnosti učenice i učenici će steći nova znanja i vještine, ali i priliku da izraze vlastitu kreativnost, razviju ekološku svijest te usvoje vrijednosti održivog življenja. Poseban naglasak stavlja se na važnost recikliranja odjeće i očuvanja prirode, što ovaj projekt čini ne samo edukativnim, nego i društveno odgovornim.

Kroz istraživački zadatak učenici će istražiti povijest odijevanja, usporediti problem količine odjeće danas i nekad te posjetit Etnografski muzej u Zagrebu.

Suradnja sa TTF-om sastojat će se od predavanja i radionica usmjerenih na promicanje održive mode i ekološke osviještenosti kod učenika. Kroz predavanje „*Održiva moda kroz oplemenjivanje i bojadisanje tekstila*“ učenici će se upoznati s osnovnim pojmovima održive mode, postupcima predobrade tekstila te poviješću i primjenom prirodnih bojila, dok će se na radionici „*Kreativni put prema održivoj modi – oplemenjivanje tekstila i bojadisanje prirodnim bojilima*“ upoznati s procesima predobrade i ekološkim bojadisanjem „zero waste“ postupkom. Predavanje „*Generacije mode XMZY: Suvremene tehnologije i koncepti održivosti u modnoj industriji*“ pružit će uvid u povijesne i suvremene tehnološke procese u proizvodnji odjeće, s posebnim naglaskom na digitalnu modu, računalnu 3D vizualizaciju i primjenu digitalnih tehnologija u razvoju održivih modnih proizvoda. Nadovezujući se na to, radionica „*Upoznavanje s tehnikama konstrukcije i modeliranja kroja i osnove rada na industrijskim šivaćim strojevima*“ omogućit će sudionicima usvajanje osnovnih znanja iz konstrukcije i modeliranja kroja, redizajna digitalnih modela te praktičnih vještina rada na industrijskim šivaćim strojevima. Projekt će povezati teorijska znanja s praktičnim iskustvima, razvijat će kreativnost i inovativnost sudionika te će pridonositi razumijevanju i primjeni načela održivosti u području tekstilne i modne industrije.

Slijedit će radionice šivanja za početnike u Udruzi Kamensko, nakon čega će stečeno znanje samostalno primijeniti na šivaćim strojevima u školi stvarajući novi tekstilni proizvod od npr. stare košulje. Svoje radove prezentirati će na izložbi u prostoru škole.

## 2. Ciljevi projekta

Tekstilna industrija suočava se s izazovima istovremene integracije ekonomskih, političkih i društvenih utjecaja, kulture, okoliša, ekološki prihvatljivih tehnologija i održivih materijala. Utjecaj tekstilnih proizvoda na okoliš često je zanemaren i od strane tekstilne industrije i od strane potrošača. Iako globalizacija ima mnogo prednosti kao što su povećano ispreplitanje kultura, veći i brži prijenos informacija, veliko tržište koje omogućuje proizvodnju ipak dovodi do ubrzanja trendova i, posljedično, do pojave "brze mode" što oblikuje modernu tekstilnu industriju. Održivi razvoj podrazumijeva usklađeno korištenje resursa i tehnološki razvoj s ciljem zadovoljavanja potreba sadašnjih i budućih generacija. Snaga održivosti leži u povezivanju ekoloških, ekonomskih, društvenih, kulturnih nastavnih i znanstvenih aktivnosti [4]. Iz navedenih razloga važnost projekta „Igla šiva svoju priču“ očituje se na više razina:

- **Za učenike**, projekt nudi priliku za razvoj kreativnosti, praktičnih i životnih vještina, potiče timski rad, socijalizaciju, kritičko razmišljanje i odgovornost prema okolišu. Također, nudi ideje za kvalitetno provođenje slobodnog vremena u aktivnosti koja nije dio online svijeta o kojemu je dosta mladih danas ovisno.
- **Za osoblje škole**, projekt predstavlja inovativan oblik nastave koji potiče međupredmetnu suradnju i otvara mogućnosti za nove edukativne metode i projekte.
- **Za Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet (TTF)**, projekt će pridonijeti promociji, povećanju interesa za upis novih generacija studenata te jačanju konkurentnosti TTF-a u području obrazovanja i istraživanja vezanih uz tekstilnu i modnu industriju.
- **Za lokalnu zajednicu**, projekt podiže svijest o održivosti, ekologiji i recikliranju, a ujedno povezuje obrazovne i znanstvene institucije, udruge i kulturne ustanove.



Slika 1. Ciljevi projekta „Iгла šiva svoju priču“

### 3. Aktivnosti projekta

Projekt započinje istraživačkim zadatkom u kojem učenici, radeći u paru, proučavaju povijest odijevanja te kroz posjet Etnografskom muzeju upoznaju kulturnu i povijesnu vrijednost odjevnih predmeta našega podneblja. Na taj način učenici stječu uvid u bogatu tradiciju, ali i razvijaju osjećaj poštovanja prema kulturnoj baštini.

Predavanje „Održiva moda kroz oplemenjivanje i bojadisanje tekstila“ sadržavati će osnovne pojmove vezano za održivu modu i zašto je važna u suvremenom društvu. Slušatelji će naučiti osnove i značaj postupaka predobrade u tekstilnoj industriji te pregled povijesti bojadisanja tekstila (s naglaskom na prirodna bojila). Biti će objašnjen utjecaj tekstilne industrije na okoliš i kako održivi pristupi (recikliranje, prirodna bojila, redizajn) mogu smanjiti negativne posljedice. Biti će prezentirani dosadašnji radovi u izradi modnih dodataka ili redizajnu stare odjeće te će se provest diskusija o mogućnostima njihove daljnje primjene) [5-10].

Na radionici „Kreativni put prema održivoj modi - oplemenjivanje tekstila i bojadisanje prirodnim bojilima“ polaznici će se upoznati s pojedinim procesima predobrade tekstilnog materijala (odškrobljavanje, iskuhavanje, kemijsko i optičko bijeljenje tkanina). Nakon toga, provest će se proces bojadisanja s odabranim prirodnim bojilima dobivenim na temelju „zero waste“ načela te će se koristeći razne tehnike dobiti raznoliki efekti na tekstilnim materijalima [9-12].

Definiranje načina proizvodnje odjeće kroz povijest (zanatski, manufakturni, industrijski). Definiranje procesa proizvodnje odjeće. Podjela na tri tehnološke faze – tehnološki proces krojenja, šivanja i dorade. Praćenje razlike u zanatskom i industrijskom načinu izrade odjeće kroz prikaze sredstava rada. Pojam digitalne mode i primjena računalnih tehnologija u procesima razvoja modnog proizvoda, od ideje do 3D vizualizacije. Značaj digitalnih tehnologija s aspekta održivosti razvojnih i proizvodnih procesa u modnoj industriji. Digitalna moda u virtualnom svijetu, primjena na društvenim mrežama i internetskim platformama za videoigre biti će glavne teme predavanja „Generacije mode XMZY: Suvremene tehnologije i koncepti održivosti u modnoj industriji“ [13-16].

„Upoznavanje s tehnikama konstrukcije i modeliranja kroja i osnove rada na industrijskim šivaćim strojevima“, radionica je na kojoj će se polaznicima demonstrirati osnovne tehnike konstrukcije i modeliranja kroja, primjenom tradicionalnih i suvremenih metoda. Redizajn modela odjevnog predmeta primjenom digitalnih tehnologija gdje će svaki polaznik, uz stručno vodstvo i prema zadanom predlošku, redizajnirati digitalni model u 3D vizualizaciju vlastitog idejnog rješenja. Upoznat će se sa suvremenim industrijskim šivaćim strojevima i njihovom primjenom. Demonstrirat će se uvođenja konca na univerzalnom šivaćem stroju. Šivanje raznih oblika bez konca (po papiru) te šivanje četiri tipa šivanih šavova na tkanini [17,18].

Kroz dvije radionice šivanja za početnike u organizaciji Udruge Kamensko učenici će usvojiti osnove krojenja i šivanja, vještine koje su korisne i za svakodnevni život. Stečeno znanje omogućit će im da samostalno na šivaćim mašinama u školi izrađuju jednostavne odjevne predmete, starim predmetima udahnu novi život i na taj način doprinesu smanjenju tekstilnog otpada. Njihov završni zadatak bit će osmisliti i izraditi odjevni predmet od starog (npr. stare košulje), istražujući pritom dobrobiti ponovne uporabe i prenamjene.

Projekt će završiti izložbom radova učenika u prostoru škole, koja će služiti kao inspiracija i poticaj drugim učenicima i posjetiteljima. Također, rezultati i iskustva projekta učenici će predstaviti na sjednici Nastavničkog vijeća, čime se osigurava prenošenje ideja i znanja među nastavnicima te njihova integracija u buduće obrazovne sadržaje.

**Tablica 1.** Popis aktivnosti projekta „Igla šiva svoju priču“

Aktivnost	Naziv aktivnosti	Lokacija
1.	Posjet Etnografskom muzeju, Zagreb	Etnografski muzej Trg Antuna, Ivana i Vladimira Mažuranića 14, Zagreb
2.	Predavanje – „Održiva moda kroz oplemenjivanje i bojadisanje tekstila“	Druga ekonomska škola Dobojska 12, 10110 Zagreb
3.	Radionica – „Kreativni put prema održivoj modi-oplemenjivanje tekstila i bojadisanje prirodnim bojilima“	Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet Prilaz b. Filipovića 28a, Zagreb
4.	Predavanje – „Generacije mode XMZY: Suvremene tehnologije i koncepti održivosti u modnoj industriji“	Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet Prilaz b. Filipovića 28a, Zagreb
5.	Radionica – „Upoznavanje s tehnikama konstrukcije i modeliranja kroja i osnove rada na industrijskim šivaćim strojevima“	Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet Prilaz b. Filipovića 28a, Zagreb
6.	Radionica - Osnove šivanja	Udruga Kamensko, Rudolfa Bičanića 4, 10000 Zagreb
7.	Samostalna izrada odjevnog predmeta	Druga ekonomska škola Dobojska 12, 10110 Zagreb
8.	Izložba radova	Druga ekonomska škola Dobojska 12, 10110 Zagreb

#### 4. Zaključak

Projekt „Igla šiva svoju priču“ doprinijet će razvoju kreativnosti, praktičnih vještina i ekološke osviještenosti učenika kroz povezivanje teorijskih znanja i praktičnih aktivnosti iz područja tekstilne tehnologije i održive mode. Kroz suradnju škole s vanjskim institucijama učenicima će se omogućiti neposredan kontakt sa suvremenim tehnologijama, stručnjacima i radnim okruženjem tekstilne i modne industrije, čime će se dodatno potaknuti njihova motivacija za učenje i profesionalni razvoj u tom području.

Projekt će imati važnu ulogu i u promociji studijskih programa Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta. Pridonijet će povećanju interesa za nastavak obrazovanja i upis novih generacija studenata te jačanju prepoznatljivosti i konkurentnosti TTF-a u području obrazovanja i istraživanja vezanih uz tekstilnu i modnu industriju.

**Zahvala:** Projekt „Igla šiva svoju priču“ financiran je od Ministarstva znanosti, obrazovanja i mladih u sklopu projekta za izvannastavne aktivnosti osnovnih i srednjih škola te učeničkih domova u školskoj godini 2025./2026.

**Izjava o korištenju AI alata:** Pri izradi rada korišten je AI alat za strukturiranje vlastitog teksta i provjeru pravopisa.

## Literatura

- [1] Pastulović, N.: *Obrazovanje i razvoj: Kako obrazovanje razvija ljude i mijenja društvo, a kako društvo djeluje na obrazovanje*, Institut za društvena istraživanja u Zagrebu, Centar za istraživanje i razvoj obrazovanja, ISBN 978-953-6218-47-9, (2012)
- [2] Kunac, S.: *Kreativnost i pedagogija, Napredak : Časopis za interdisciplinarna istraživanja u odgoju i obrazovanju*, 156 (2015) 4, 423–446, ISSN 1848-8641
- [3] *Europski parlament: Brza moda: zakoni EU-a za održivu potrošnju tekstila*, 19.11.2025, Dostupan na: [https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2020/12/story/20201208STO93327/20201208STO93327\\_hr.pdf](https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2020/12/story/20201208STO93327/20201208STO93327_hr.pdf), Pristupljeno: 08-01-2026
- [4] Tkalec, M.; Sutlović, A.; Glogar, M.I.: *Ecological, Economic and Social Aspects of Textile Dyes, Economic and Social Development, Book of Proceedings of 81<sup>st</sup> International Scientific Conference on Economic and Social Development - "Green Economy & Sustainable Development"*, Baracskai, Z.; Bujan Katanec, I.; Hublin, T (ur.), 69-79, ISSN 1849-7535, Varaždin Development and Entrepreneurship Agency, Varaždin, Croatia, Čakovec, Croatia (2022)
- [5] Bagarić, P.; Canal, J.M.; Grgić, K.; Tarbuk, A.: *Utjecaj predobrade na dizajn odjevnih predmeta*, Zbornik radova 10. znanstveno-stručnog savjetovanja *Tekstilna znanost i gospodarstvo*, Glogar, M. I. (ur.), 19-24, ISSN 2459-8186, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb (2017)
- [6] Katović, D.; Vukušić, S.B.; Grgac, S.F.: *Primjena mikrovalova u procesima oplemenjivanja*, *Tekstil*, 54 (2005) 7, 313-318
- [7] Schwappe, H.: *Handbuch der Naturfarbstoffe: Vorkommen, Verwendung, Nachweis*, Ecomed, ISBN: 3933203465, Landsberg am Lech, (1992)
- [8] Hofenk de Graaff, J. H.: *The colourful past: origins, chemistry and identification of natural dyestuffs*, Archetype, ISBN: 1-873-132-13-1, London, (2004)
- [9] Sutlović, A.; Glogar, M.; Brlek, I.; Čorak, I.: *Colorful textiles from colorful nature*, Book of Proceedings of 17th Scientific – Professional Symposium and 7th International Scientific – Professional Symposium *Textile Science & Economy*, Brlek, I. (ur.), 56-66, ISSN (On - line): 2991-9207, University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Zagreb (2025)
- [10] Sutlović, A.; Glogar, M.I.; Bešlić, S.; Brlek, I.: *Prirodna bojila za tekstil – doprinos kreativnosti i održivosti*, *Tekstil*, 69 (2020) 1-3, 1-10, ISSN 0492-5882
- [11] Dekanić, T.; Čorak, I.; Tarbuk, A.; Hofmann, J.; Marković, N.: *The influence of the optical brighteners concentration on the degree of whiteness and UV protection of cotton fabric*, *Tekstil: časopis za tekstilnu i odjevnu tehnologiju*, 69 (2020) 4-6, 67-79
- [12] Tarbuk, A.; Dekanić, T.; Pušić, T.: *Oxidative bleaching of woolen fabrics*, Book of Proceedings of The International textile, clothing & design conference, Dragčević, Z.; Hursa Šajatović, A.; Vujasinović, E. (ur.), 151-156, ISSN 1847-7275, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Dubrovnik (2018)
- [13] Petrak, S.; Mahnić Naglič, M.; Rogale, D.: *Computer Technology in Fashion Design and Product Development*, *Engineering power : bulletin of the Croatian Academy of Engineering*, 13 (2018) 2, 22-24
- [14] Petrak, S.; Mahnić Naglič, M.: *Design and Development of Digital Clothing Within the Study Programs at the University of Zagreb Faculty of Textile Technology*, International Scientific-Professional Symposium "Textile Science & Economy" Book of Proceedings "Digital Fashion", Simončić K.N.; Krpan P. (ur.), University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Zagreb, (2024), 95-100
- [15] Rogale, D. i sur.: *Procesi proizvodnje odjeće*, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN 978-953-7105-32-7, Zagreb (2011)
- [16] Firšt Rogale, S.; Rogale, D. & Knezić, Ž.: *Povijest izrade i proizvodnje odjeće u Hrvatskoj*, u *Godišnjak 2019 Hrvatske akademije tehničkih znanosti – Hrvatska tehnička i industrijska baština*, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ), ISSN 1332-3482, Zagreb (2020), 145-161
- [17] Marjanović, J.; Petrak, S.; Mahnić Naglič, M.; Glogar, M.I.: *Design and computer construction of structural sleeve forms for women's clothing*, *Textile & leather review*, (2019) 13, doi: 10.31881/TLR.2019.29
- [18] Amaden-Crawford, C.: *A Guide to Fashion Sewing*, 5th edition, Fairchild Books, ISBN 978-1-60901-001-0, New York (2011)

# MODIFIKACIJA UREĐAJA ZA ELEKTROISPREDANJE IZ TALINE

Petra BRAC<sup>1</sup> i Emilija ZDRAVEVA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz b. Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska;

\* Adresa za korespondenciju: emilija.zdraveva@tff.unizg.hr

**Sažetak:** Elektroispredanje iz polimerne taline je u puno manjem opsegu zastupljena tehnika u literaturi u odnosu na elektroispredanje iz polimerne otopine, a poglavito zbog složenosti konfiguracije uređaja kao i izazovnijoj proizvodnji vlakana s promjerima na nanoskali. U ovom radu dan je kratki pregled modifikacije uređaja za elektroispredanje iz polimerne taline s naglaskom na varijacije sustava za grijanje, kolektora i mlaznica te bezmlaznično elektroispredanje, a u svrhu postizanja vlakana manjih promjera. Osvrt je dan i na procesnim parametrima, te parametrima polimerne taline, o kojima ovisi promjer vlakana. Također, značajan porast u istraživanju u novije vrijeme doživjela je i tehnika elektroispisivanja iz polimerne taline obzirom da kombinira principe rada tehnike elektroispredanja i 3D tiskanja. Ovom tehnikom je moguće proizvesti materijale s visoko preciznom geometrijskom strukturom, koji su pogodni za tkivno inženjerstvo. Zbog sve većeg porasta obrade različitih polimera, kao i njihove funkcionalizacije u samom procesu ili naknadno, ova tehnika privlači sve veći interes istraživača za različita područja primjene pored biomedicine.

**Ključne riječi:** elektroispredanje, polimerna talina, modifikacije uređaja, elektroispisivanje.

## 1. Uvod

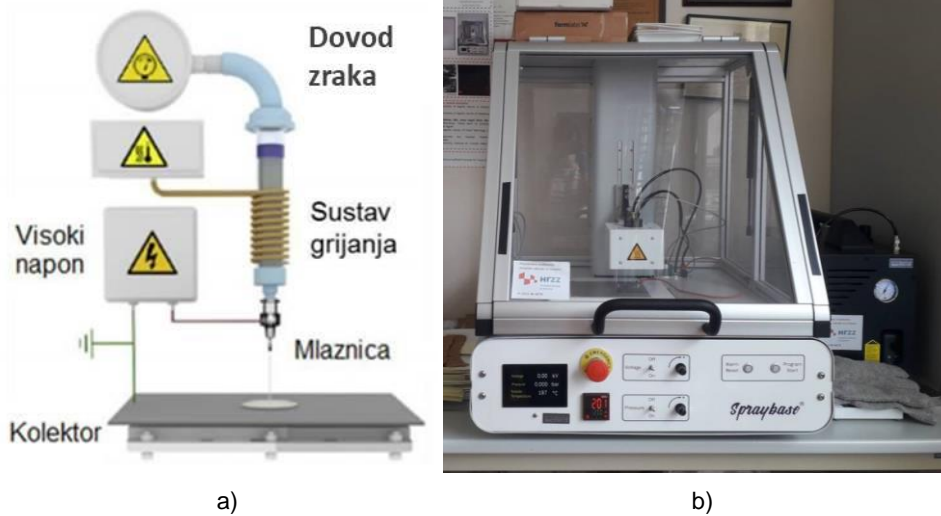
Elektroispredanje iz polimerne taline je tehnika proizvodnje nano- i (ili) mikrovlakana primjenom visoke temperature i visokonaponskog električnog polja. Kontrola temperature je u skladu s temperaturom taljenja polimera kako bi rastaljeni polimer mogao nesmetano teći kroz grijani sustav odnosno mlaznicu. Djelovanjem elektrostatskih sila dolazi do formiranja i istezanja Taylorova konusa na vrhu mlaznice, a nastali mlaz se tijekom gibanja ka kolektoru hladi i očvršćuje kako bi nastala kontinuirana nano- i (ili) mikrovlakna. U usporedbi s elektroispredanjem iz polimerne otopine ova tehnika je manje zastupljena u literaturi poglavito zbog izazova koji nastaju kombinacijom visoke temperature i visokog električnog napona, odnosno kompleksnosti uređaja [1]. Iako je po prvi puta detaljno opisana još 1981. godine [2] zbog veće viskoznosti polimerne taline u usporedbi s otopinom, generalno ovom se tehnikom proizvode deblja vlakna pa je samim time bila i manja zainteresiranost istraživača za rad na području i objavu publikacija. Prednost u odnosu na elektroispredanje iz polimerne otopine je svakako u eliminaciji toksičnih organskih otapala, smanjenju potrošnje, odnosno većoj mogućnosti primjene u npr. biomedicini [3]. Materijali koji se koriste u elektroispredanju iz taline su termoplastični polimeri, s najčešće korištenim polimerom polikaprolaktonom (PCL) (oko 80 %), ali i polilaktidom (PLA), polipropilenom (PP), poliuretanom (PU) itd. Autori su objavili istraživanja o primjeni PLA u filtraciji zraka ili vode [4, 5], PCL-a u pakiranju hrane [6], PU u nosača za tkivno inženjerstvo [7], PP u filtraciji zraka [8] i sl.

U novije vrijeme vrlo popularna je postala tehnika elektroispisivanja iz polimerne taline (engl. melt electrowriting) koja kombinira princip rada aditivne proizvodnje ili 3D printanja. Aditivna proizvodnja je tehnika kojom se 3D objekti izrađuju sloj po sloj izravno iz digitalnih CAD modela [9]. Prvi naziv ove tehnike bio je elektroispredanje iz polimerne taline bliskog električnog polja (engl. near field melt electrospinning) jer se provodila na vrlo malim udaljenostima između mlaznice i kolektora. Ova tehnika je omogućila precizno pozicioniranje ili kontrolu udaljenosti i rasporeda taljenih filamenata, te su se na taj način proizvodili materijali s visokim stupnjem strukturne organizacije, poglavito korisni u biomedicini [10, 11].

## 2. Osnovna konfiguracija uređaja za elektroispredanje iz polimerne taline

Osnovni sastavni elementi uređaja za elektroispredanje iz polimerne taline su: sustav za grijanje odnosno taljenje, izvor visokog električnog napona, sustav za homogenizaciju taline (npr. pužni homogenizator, klipni sustav, dovod zraka, plina i sl.) i kolektor [12]. Konfiguracija je najčešće vertikalna, odnosno rastaljeni filamenti sakupljaju se na horizontalno postavljenu kolektor, slika 1. Kod uređaja za elektroispisivanje iz polimerne taline kolektor ima sustav za troosnu kontrolu slojevitog nanošenja polimera. Za razliku od 3D

printanja gdje je kolektor statičan, a pomični je sustav grijanja, ovdje je kolektor pomičan i to prema željenoj 3D geometriji. Procesni parametri kod elektroispredanja iz taline su: temperatura taljenja, električni napon, brzina izbacivanja mlaza, brzina kretanja kolektora (ili mlaznice) i udaljenost vrha mlaznice od kolektora [13].



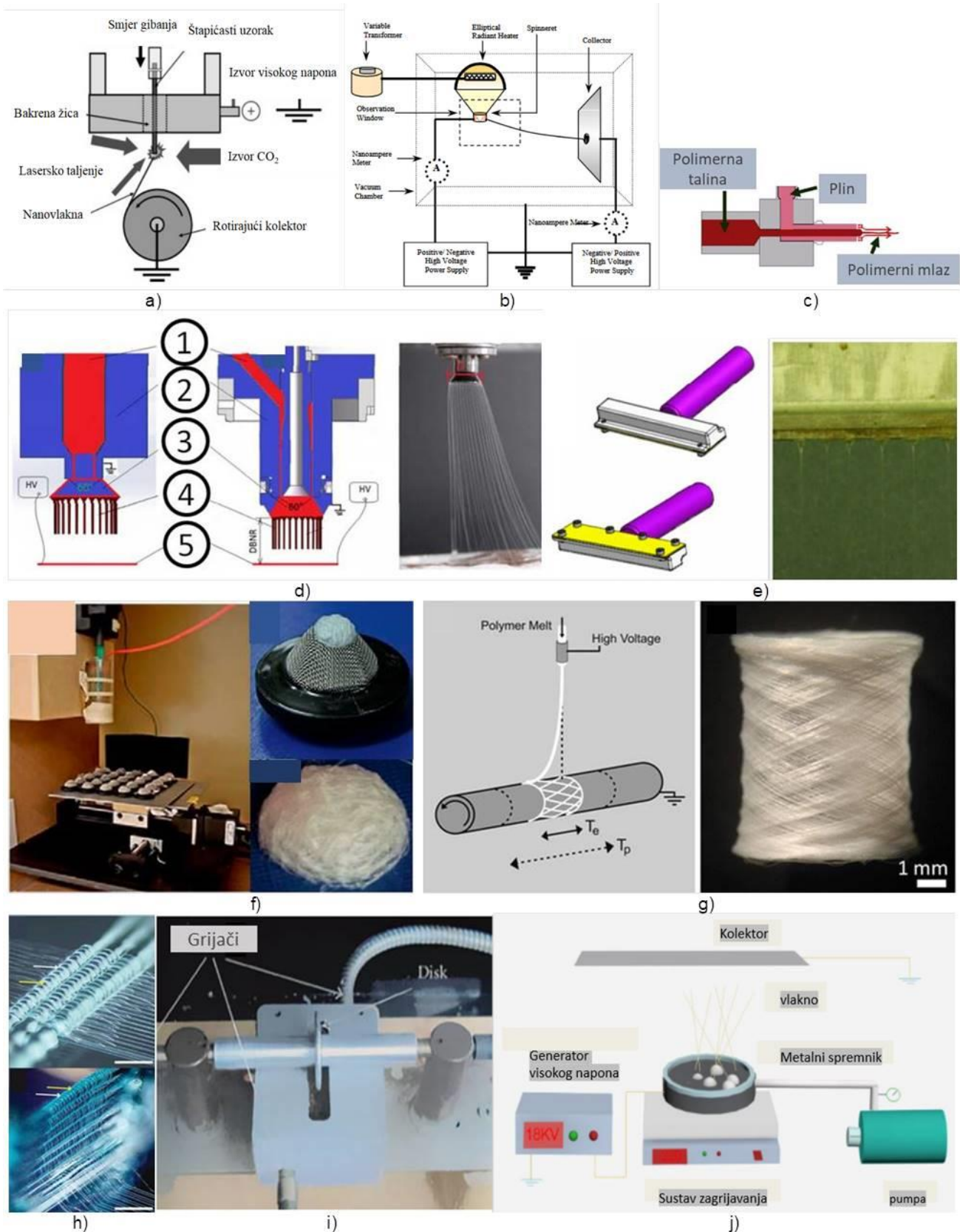
**Slika 1.** a) Osnovna konfiguracija uređaja za elektroispredanje iz polimerne taline [12], b) uređaj za elektroispisivanje iz taline (SuZg, Tekstilno-tehnološki fakultet), autorska fotografija

## 2.1. Ovisnost promjera vlakana o parametrima elektroispredanja iz taline

Parametri koji utječu na promjer vlakana kod elektroispredanja iz polimerne otopine su isti i kod elektroispredanja iz polimerne taline. Razlike se odnose na kontinuirano zagrijavanje polimera kako bi se talini održavala fluidnost tijekom ispredanja. Nadalje, kod elektroispredanja iz taline udaljenost mlaznica-kolektor može biti manja i od 2 cm, dok je kod elektroispredanja iz polimerne otopine najčešće iznad 10 cm. Također polimerna talina ima veću viskoznost od polimerne otopine pa je samim time potreban veći električni napon za početno istezanje mlaza [14]. Parametri koji imaju značajnu ulogu u procesu prikupljanja elektroispredanih vlakana su: jačina električnog polja, viskoznost rastaljenog polimera, udaljenost mlaznica-kolektor, brzina polaganja filamenata, temperatura i relativna vlažnost okoline te vodljivost i hrapavost površine kolektora [13]. Za proizvodnju značajno tanjih vlakana predlaže se primjena agenata u samom procesu elektroispredanja iz taline, a kako bi se povećala vodljivost polimerne taline. To znači da je najdominantniji parametar koji utječe na promjer vlakana viskoznost taline. Autori su objavili da je najučinkovitiji agent u smanjenju promjera vlakana na nanometarsku skalu, tj. s prosječnim promjerom vlakana od 880 nm, bio natrijev oleat. Također su opisali utjecaj koncentracije agenta na promjenu promjera vlakana. Dodatak natrijevog oleata rezultirao je proizvodnjom vlakana s jednoličnom morfologijom, najmanji promjer vlakana dobiven je pri koncentraciji natrijevog oleata od 7 %, a povećanje nastaje povećanjem koncentracije iznad 7 %. Razlog tome je bila povećana vodljivost taline što rezultira nestabilnošću elektroisprednog mlaza i povećanjem Taylorovog konusa. S povećanjem udaljenosti mlaznica-kolektor promjer vlakana se smanjuje, a pri ekstremno većoj udaljenosti zbog nedovoljno velikog elektrostatskog otpora vlakna se nisu formirala [15]. Drugi su autori objavili da je temperatura komore dominantan faktor za regulaciju promjera vlakana u elektroispredanju iz taline. Niska temperatura rezultira bržim skrućivanjem polimera i ograničava istezanje vlakana, pa su vlakna deblja, dok se finija vlakna dobivaju povećanjem temperature komore. Značajno visoka temperatura ometa početak kontinuiranog elektroispredanja i rezultira stvaranjem kuglica [16].

## 3. Modifikacije uređaja za elektroispredanje iz taline

Varijacije osnovnog uređaja za elektroispredanje iz taline uključuju varijacije uvjeta okoline (komore), modifikacije sustava za grijanje, mlaznica i kolektora, kao i bezmlaznično elektroispredanje. Općenito je cilj svih modifikacija proizvodnja tanjih vlakana kao i ciljane geometrije ili strukture materijala. Opisano je nekoliko vrsta sustava grijanja i to ovisno o izvoru energije, npr. lasersko grijanje [17, 18], električno grijanje [19], grijanje infracrvenim zračenjem [20], grijanje cirkulirajućim fluidom [21] i sl. Autori su utvrdili da se elektroispredanjem iz taline s laserskim-CO<sub>2</sub> grijanjem mogu proizvesti vlakna promjera od 1 μm pa i manje (Slika 2a) [17].



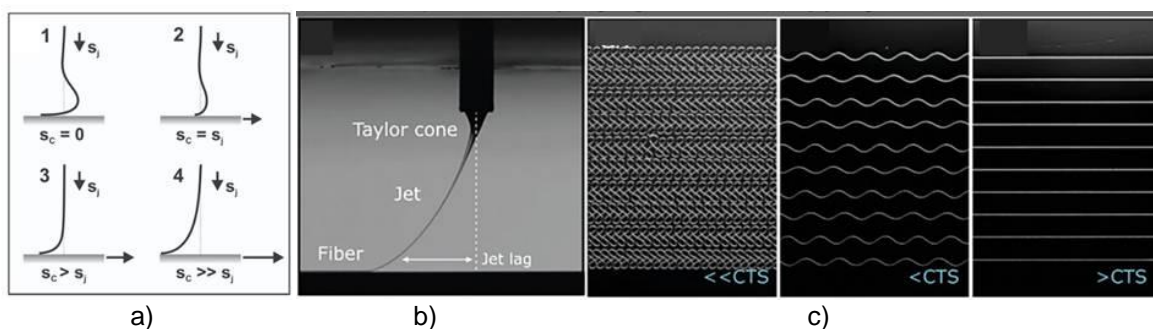
**Slika 2.** Modifikacije uređaja za elektroispredanje iz taline;

- 1) varijacije sustava za grijanje: a) lasersko grijanje [17], b) infracrveno grijanje [20],
- 2) varijacije uvjeta okoline: c) komora za elektroispredanje s plinom [22],
- 3) varijacije mlaznica: d) kišobran mlaznica [23], e) mlaznica s procijepom [24],
- 4) varijacije kolektora: f) mrežasti polusferni kolektor [25], g) rotirajući cilindrični kolektor [26], h) tiskani hidrogel kolektor [27],
- 5) bezmlaznično elektroispredanje: i) rotirajući disk [28], j) elektroispredanje mjehurićima zraka [29].

Na slici 2b prikazano je taljenje polimera s infracrvenim zračenjem i pri tome su dobivena vlakna s promjerom u rasponu od 300 nm do 30  $\mu\text{m}$  [20]. Značajno tanja vlakna s prosječnim promjerom od 0,18  $\mu\text{m}$  proizvedena su u uvjetima grijanog plina (Slika 2c). Strujanje plina osigurava zagrijavanje i blizu mlaznice te odgođeno skrućivanje vlakana. Također povećanje protoka plina rezultira dodatnom silom otpora na površini mlaza, što omogućuje proizvodnju tanjih vlakana i veću produktivnost [22]. Veća produktivnost se može postići modificiranim mlaznicama, npr. mlaznica u obliku kišobrana kod tzv. uređaja za diferencijalno elektroispredanje iz polimerne taline, gdje se mogu formirati na desetke manjih Taylorovih konusa pod utjecajem električnog polja (Slika 2d). Uređaj se sastoji od spremnika taline, distributora taline, mlaznice u obliku kišobrana, izvora visokog napona i kolektora (Slika 2d, 1-5). Autori su opisali dvije vrste mlaznica, za vanjsku i unutarnju distribuciju mlaza. U ovoj konfiguraciji polimerna talina savladava površinsku napetost te se pod djelovanjem električnog polja, usmjerava prema kolektoru, čime se postiže ravnomjerna raspodjela vlakana. Utvrđeno je da međusobna udaljenost višestrukih mlazova ovisi o jakosti električnog polja, svojstvima polimera te viskoznosti taline [23]. Druge vrste mlaznica su mlaznice otvorenog tipa, npr. procijepa, kroz koji se formiraju višestruki konusi taline (Slika 2e). Opisano je da se jednolična distribucija mlazova postiže polimerima manje viskoznosti (npr. PP) dok je izazovnije elektroispredanje polimera veće viskoznosti (npr. PCL s većom molekulskom masom). Prednost ovog sustava očituje se u klipnom doziranju polimera te u mogućnosti industrijalizacije, gdje bi se klipni sustav trebao zamijeniti s ekstruderom kako bi se osiguralo ujednačenije zagrijavanje polimera [24]. U svrhu proizvodnje 3D struktura visoke poroznosti predloženo je elektroispredanje PCL-a na mrežastom (statičnom) kolektoru polusfernog oblika (Slika 2f). Elektroispredana PCL vlakna imala su promjer od 15  $\mu\text{m}$ , dok je srednja vrijednost promjera nastalih pora bila u rasponu od 250-300  $\mu\text{m}$  [25]. Kao i kod elektroispredanja iz polimerne otopine i ovdje se mogu proizvesti materijali cjevastog oblika, a najčešće za izradu nosača u tkivnom inženjerstvu. Autori opisuju kontrolirano polaganje nevodljivog polimera na rotirajući cilindar promjera 6 mm (Slika 2g). Dobivena su vlakna s promjerom od 20  $\mu\text{m}$ . Ključan parametar je kut namatanja ( $30^\circ$ ,  $45^\circ$  i  $60^\circ$ ) vlakana pri čemu je omogućena kontrola nad morfologijom pora nosača, odnosno njihova veličina, oblik i broj [26]. Za proizvodnju složenijih struktura koji vjernije simuliraju 3D arhitekturu nativnih tkiva predloženo je polaganje elektroispredanih filamenata iz taline na printani hidrogel na kolektoru (Slika 2h). Hidrogel omogućava precizno vođenje vlakana u ravnini te prostorno, bez ugrožavanja mehaničkih svojstava [27]. Kod bezmlazničkog elektroispredanja iz taline, mlaznice nema, a spremnik s talinom je otvorenog tipa, dok se formiranje Taylorovih konusa na otvorenoj površini taline uspostavlja uranjanjem elektrode u spremnik. Tako je opisan uređaj s elektrodom u obliku rotirajućeg diska uronjenog u spremnik s polimernom talinom (Slika 2i). Proizvedena vlakna imala su prosječni promjer od 400 nm, međutim uređaj je imao vrlo malu mogućnost industrijalizacije jer je radio samo u slučaju izuzetno male viskoznosti taline [28]. Formiranje Taylorovih konusa na otvorenoj površini rastaljenog polimera provedeno je i upuhivanjem zraka pumpom u spremnik (Slika 2j). Zrak u talini je rezultirao mjehurićima iz kojih su se formirala vlakna s promjerom u rasponu od 5 do 45  $\mu\text{m}$  [29].

### 3.1. Elektroispisivanje iz taline

Obzirom na veliku popularnost aditivnih tehnologija, od 2011. godine od kada se prvi put pojavljuje [30], pa do danas, elektroispisivanje iz taline ne prestaje privlačiti pažnju, ali prvenstveno na području tkivnog inženjerstva. Osim primarne izrade visoko preciznih geometrija materijala, od nedavno je značajan i porast obrade različitih materijala, funkcionalizacije istih u samom procesu (dodatkom punila) ili naknadnom obradom ili ispisom, kao i kombinacijom s drugim tehnikama. Na taj način se javljaju i nova potencijalna područja primjene, npr. pametni tekstil, mikrofluidi, energija i elektronika [10, 31]. Ovisno o parametrima procesa mogu se elektroispisivati vlakna različitih oblika i morfologija. U slučaju statičkog kolektora formiraju se spiralna vlakna, a ako je brzina kolektora jednaka brzini mlaza, onda su vlakna linearna. Daljnjim porastom brzine kolektora vlakno se nastavlja istežati (Slika 3a) [30].



**Slika 3.** a) ovisnost oblika mlaza o brzini kolektora, b) elektroispisivanje iznad kritične brzine translacije, c) vlakna formirana pri različitim brzinama kolektora [10, 30, 31].

Kritična brzina translacije je brzina kolektora u trenutku kada je veća od brzine mlaza. Povećanje brzine kolektora povlači mlaz u lančani oblik tako da se elektroispisivanje događa iza mlaznice (Slika 3b). Brzina bliže kritičnoj brzini translacije uzrokuje elektroispisivanje vlakana izravno ispod mlaznice. Na slici 3c dani su različiti oblici vlakana elektroispisanih pri brzinama iznad ili ispod kritične brzine translacije [31]. Osim brzine, na morfologiju i promjer vlakana utječu i drugi parametri, uključujući karakteristike uređaja (promjer mlaznice ili udaljenost mlaznice od kolektora), procesni parametri (električni napon, tlak zraka ili temperatura zagrijavanja), svojstva polimera (viskoznost, električna vodljivost ili toplinska stabilnost) i uvjeti okoline (temperatura ili relativna vlažnost). Npr. smanjenjem temperature ubrzava se skrućivanje polimernog mlaza što rezultira formiranjem vlakana pravilnog kružnog poprečnog presjeka. Optimiranjem ovih parametara, mogu se proizvesti vlakna s promjerima od 350 nm do 140 µm [32, 33].

#### 4. Zaključak

Modifikacije osnovnog uređaja za elektroispredanje iz taline prema dosadašnjim istraživanjima uključuju varijacije uvjeta okoline (komore), modifikacije sustava za grijanje, mlaznica, kolektora i bezmlaznično elektroispredanje. Prednosti ovih modifikacija su u smanjenju promjera vlakana, kontroliranom polaganju i namatanju filamenata, većoj produktivnosti te potencijalnoj industrijalizaciji nekih od predloženih konfiguracija. Tehnikom elektroispisivanja osim materijala visoko preciznih geometrija za primjenu u biomedicini, predlažu se i materijali s potencijalnom primjenom kod pametnog tekstila, mikrofluida, energije i elektronike. Zainteresiranost za istraživanje ove tehnike se i dalje nastavlja kako bi se savladali izazovi poput kompleksnosti konfiguracija, deformacije polaganja filamenata, osjetljivost mlaza na okolne uvjete te ponovljivosti proizvodnje. S tim u vezi daljnja istraživanja usmjerena su na modeliranje procesa za predviđanje stabilnosti mlaza, multikomponento elektroispisivanje, standardizaciju te industrijalizaciju.

**Zahvala:** Rad je izrađen u okviru aktivnosti na Institucionalnom istraživačkom projektu RoDv, koji je financiran sredstvima NextGenerationEU – Mehanizam za oporavak i otpornost (RRF).

**Izjava o korištenju AI alata:** U ovom radu nisu korišteni AI alati.

#### Literatura

- [1] Yang, W.; Li, H.; Chen, X.: Melt Electrospinning, in *Micro and Nano Technologies, Electrospinning: Nanofabrication and Applications*, William Andrew Publishing, ISBN 9780323512701, (2019), 339-361
- [2] Larrondo, L.S.J.M.; Manley, R.St.J.: Electrostatic fiber spinning from polymer melts. I. Experimental observations on fiber formation and properties, *Journal of Polymer Science: Polymer Physics Edition*, 19 (1981) 6, 909-920
- [3] Nazari, T.; Garmabi, H.: The effects of processing parameters on the morphology of PLA/PEG melt electrospun fibers, *Polymer International*, 67 (2018) 178-188
- [4] Guo, Y.; Wu, M.; Ye, X. et al.: High-Efficiency and Low-Resistance Melt-Blown/Electrospun PLA Composites for Air Filtration, *Polymers*, 17 (2025) 424
- [5] Hu, Y.; Liu, C.; Zhao, H. et al.: Melt electrospun polylactic acid micro/nanofiber membranes with gradient pore structures and enhanced mechanical properties for high-performance water filtration, *Journal of the Textile Institute*, (2025) 1-11
- [6] Bhullar, S.; Kaya, B.; Jun, M.B.G.: Development of Bioactive Packaging Structure Using Melt Electrospinning, *Journal of Environmental Polymer Degradation*, 23 (2015), 416-423
- [7] Karchin, A.; Simonovsky, F.I.; Ratner, B.D. et al.: Melt electrospinning of biodegradable polyurethane scaffolds, *Acta Biomaterialia*, 7 (2011) 9, 3277-3284
- [8] Ye, H.; Chen, J.; Ge, J. et al.: Simulation and experimental investigation of electret polypropylene fiber preparation via centrifugal melt electrospinning for enhanced air filtration, *Separation and Purification Technology*, 357 (2025), 130113
- [9] Said, B.; Ayadi, B.; Alharbi, S. et al.: Recent advances in additive manufacturing: A review of current developments and future directions, *Machines*, 13 (2025) 9, 813
- [10] Saiz, P.G.; Reizabal, A.; Vilas-Vilela, J.L. et al.: Materials and strategies to enhance melt electrowriting potential, *Advanced Materials*, 36 (2024) 24, 2312084
- [11] King, W.E.; Bowlin, G.L.: Near-Field Electrospinning and Melt Electrowriting of Biomedical Polymers - Progress and Limitations, *Polymers*, 13 (2021) 7, 1097
- [12] Brown, T.D.; Dalton, P.D.; Hutmacher, D.W.: Melt electrospinning today: An opportune time for an emerging polymer process, *Progress in Polymer Science*, 56 (2016), 116-166
- [13] Ju, H.; Mirihanage, W.; Wang, W. et al.: Review on Melt Electrowriting Modelling and Applications, *Machines*, 13 (2025) 9, 763

- [14] Ramakrishna, S.: An introduction to electrospinning and nanofibers, World Scientific Publishing, Singapore, (2005)
- [15] Nayak, R.; Padhye, R.; Kyratzis, I.L. et al.: Effect of viscosity and electrical conductivity on the morphology and fiber diameter in melt electrospinning of polypropylene, *Textile Research Journal*, 83 (2012) 6, 606-617
- [16] Daenicke, J.; Lämmlein, M.; Steinhübl, F. et al.: Revealing key parameters to minimize the diameter of polypropylene fibers produced in the melt electrospinning process, *Polymers*, 19 (2019) 1, 330-340
- [17] Ogata, N.; Shimada, N.; Yamaguchi, S. et al.: Melt electrospinning of poly (ethylene terephthalate) and polyalirate, *Journal of Applied Polymer Science*, 105 (2007), 1127-1132
- [18] Ogata, N.; Lu, G.; Iwata, T. et al.: Effects of ethylene content of poly (ethylene-co-vinyl alcohol) on diameter of fibers produced by melt-electrospinning, *Journal of applied polymer science*, 104 (2007) 2, 1368-1375
- [19] Ostheller, M.-E.; Balakrishnan, N.K.; Groten, R. et al.: The Effect of Electrical Polarity on the Diameter of Biobased Polybutylene Succinate Fibers during Melt Electrospinning, *Polymers* 14 (2022) 14, 2865
- [20] Rangkupan, R.; Reneker, D.H.: Electrospinning Process of Molten Polypropylene in Vacuum, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 12 (2003) 2, 81-87
- [21] Detta, N.; Brown, T.D.; Edin, F.K. et al.: Melt electrospinning of polycaprolactone and its blends with poly (ethylene glycol), *Polymer international*, 59 (2010), 1558-1562
- [22] Zhmayev, E.; Cho, D.; Joo, Y.L.: Nanofibers from gas-assisted polymer melt electrospinning, *Polymer*, 51 (2010) 18, 4140-4144
- [23] Li, H.; Chen, H.; Zhong, X. et al.: Interjet distance in needleless melt differential electrospinning with umbellate nozzles, *Journal of Applied Polymer Science*, 131 (2014) 15, 8 pages
- [24] Komarek, M.; Martinova, L.: Design and evaluation of melt-electrospinning electrodes, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> NANOCON International Conference*, 72-77, Olomouc, Czech Republic (2010)
- [25] Zaiss, S.; Brown, T.D.; Reichert, J.C. et al.: Poly ( $\epsilon$ -caprolactone) scaffolds fabricated by melt electrospinning for bone tissue engineering, *Materials*, 9 (2016) 4, 232
- [26] Brown, Toby D., et al.: Design and Fabrication of Tubular Scaffolds via Direct Writing in a Melt Electrospinning Mode, *Biointerphases*, 7 (2012) 1, 13 pages
- [27] Ruijter, M. D.; Ribeiro, A.; Dokter, I. et al.: Simultaneous micropatterning of fibrous meshes and bioinks for the fabrication of living tissue constructs, *Advanced Healthcare Materials*, 8 (2019) 7, 1800418
- [28] Fang, J.; Zhang, L.; Sutton, D. et al.: Needleless melt-electrospinning of polypropylene nanofibres, *Journal of nanomaterials*, 2012 (2012) 1, 9 pages
- [29] Li, Y.-M.; Wang, X.-X.; Yu, S.-X. et al.: Bubble Melt Electrospinning for Production of Polymer Microfibers, *Polymers*, 10 (2018) 11, 1246
- [30] Brown, T.D.; Dalton, P.D.; Hutmacher, D.W.: Direct writing by way of melt electrospinning, *Advanced Materials*, 23 (2011) 47, 5651-5657
- [31] Hrynevich, A.; Elci, B.S.; Haigh, J.N. et al.: Dimension-based design of melt electrowritten scaffolds, *Small*, 14 (2018) 22, 1800232
- [32] O'Neill, K.L.; Dalton, P.D.: A Decade of Melt Electrowriting, *Small Methods*, 7 (2023) 7, 2201589
- [33] Eichholz, K.F.; Goncalves, I.; Barcelo, X. et al.: How to design, develop and build a fully-integrated melt electrowriting 3D printer, *Additive Manufacturing*, 58 (2022), 102998

# INTEGRACIJA KULTURNE BAŠTINE I 3D TEHNOLOGIJE U SUVREMENOM TEKSTILNOM DIZAJNU

Kaja ČUFER<sup>1</sup>, Tanja Nuša KOČEVAR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, grafiko in oblikovanje,  
Snežniška 5, 1000 Ljubljana, Slovenija  
\* tanja.kocevar@ntf.uni-lj.si

**Sažetak:** Rad istražuje integraciju tradicionalnih čipkastih motiva s digitalnim dizajnom i naprednom tehnologijom 3D ispisa, s posebnim naglaskom na izravan 3D ispis na tekstil. Cilj istraživanja je povezivanje kulturne baštine, poput idrijske čipke, s modernim pristupima u tekstilnom i modnom dizajnu, stvarajući nove mogućnosti kreativnog izražavanja i redefiniirajući percepciju tekstila u suvremenoj proizvodnji. U radu su razvijeni digitalni uzorci koji se prenose iz 2D u 3D okruženje, a zatim ispisuju direktno na različite tekstilne podloge, uključujući til i pamučna tkanina. Tijekom procesa ispitivane su različite debljine linija, gustoće i rasporedi uzoraka, uz praćenje tehničkih parametara kao što su adhezija filameta, podešavanja pisača i kompatibilnost materijala. Posebna je pažnja posvećena vizualnom odnosu između filameta i tekstilne podloge te utjecaju strukture na pokretljivost i udobnost nošenja. Inspiracija za uzorke proizlazi iz doodle crteža – spontanijh, nestrukturiranih linija koje omogućuju visoku razinu kreativnog izraza i osobne interpretacije. Motivi čipke prepoznati u doodle crtežima rezultirali su jedinstvenim uzorcima, čime je spoj tradicije i slobodnog stvaralaštva prenesen u digitalno i 3D okruženje. Ključni rezultat istraživanja uključuje izbor konačnih uzoraka koji zadovoljavaju kriterije vizualne izražajnosti, tehničke izvedivosti i estetskog potencijala. Jedan od uzoraka simuliran je na tijelu i realiziran kao fizički objekt, pri čemu til služi kao podloga, a 3D ispis reproducira čipkastu strukturu. Takav pristup pokazuje mogućnosti primjene 3D tehnologije u oblikovanju tekstila, kombinirajući tradiciju i inovaciju te omogućujući daljnju personalizaciju, eksperimentiranje s parametrima uzoraka i razvoj održivih proizvodnih procesa. Dodatna prednost ovog pristupa je održivost – materijal se nanosi samo tamo gdje je potreban, smanjuje se otpad i transport, što doprinosi ekodizajnu i fleksibilnijoj proizvodnji. Rezultati pokazuju da detalji poput vrste materijala, debljine linija, kompozicije i veličine uzorka značajno utječu na konačni vizualni i funkcionalni učinak, dok korištenje doodle motiva omogućuje jedinstvenu kreativnu slobodu i osobni izraz. Također, u procesu oblikovanja mogu se koristiti digitalne vizualizacije na tijelu, koje pomažu pri planiranju i prilagodbi uzorka za izvedbu konačnog proizvoda.

**Ključne riječi:** čipka, 3D ispis na tekstil, tekstilni dizajn, doodle umjetnost.

## 1. Uvod

Tradicionalna čipka, vrijedna kulturna baština u Sloveniji i svijetu, stoljećima predstavlja spoj profinjenosti, strpljivosti i vještine ručnog rada. U uvjetima suvremenog tehnološkog razvoja postavlja se pitanje kako spojiti ovu delikatnu zanatsku tradiciju s digitalnom umjetnošću i naprednim tehnologijama, stvarajući nove interpretacije koje poštuju povijesnu vrijednost, a istovremeno omogućuju suvremen i eksperimentalan pristup.

3D tisak u tekstilnom dizajnu pruža mogućnost istraživanja vizualnih i materijalnih kvaliteta koje klasične tehnike ne omogućuju. Osim proizvodne funkcije, on služi i kao platforma za oblikovanje složenih struktura. Kombinacija tradicionalne čipke, digitalnog oblikovanja i 3D tiska otvara prostor za kreativno izražavanje i reinterpretaciju baštinskih elemenata. Eksperimentiranjem s gustoćom, debljinom, veličinom i rasporedom linija moguće je oblikovati otvorene i zatvorene strukture koje podsjećaju na čipkastu ornamentiku. Takvi digitalno optimizirani modeli, namijenjeni izravnom 3D tisku na tekstil, omogućuju razvoj unikatnih proizvoda – od modnih dodataka i odjevnih komada do dekorativnih elemenata za interijer. Ovakav spoj tradicije i suvremene tehnologije pokazuje kako digitalni alati mogu proširiti kreativni potencijal povijesnih obrta te doprinijeti njihovoj vidljivosti, razumijevanju i revitalizaciji u današnjem dizajnerskom kontekstu. Istovremeno, digitalne simulacije olakšavaju oblikovanje uzorka i pripremu za izvedbu konačnog proizvoda.

## 1.1. Čipka

Čipka, unatoč tehnološkim promjenama, ostaje važan dio tekstilne i kulturne baštine, prepoznatljiva po estetskoj vrijednosti i sposobnosti prilagodbe suvremenom dizajnu. Nastala je u 15. i 16. stoljeću u Flandriji i Italiji, a potom se proširila u Španjolsku, Francusku i Englesku kao luksuzni materijal aristokracije. Razvojem iglene i čunčane tehnike oblikovani su temeljni stilski pravci, dok je u renesansi zbog zahtjevne ručne izrade stekla posebno visoku vrijednost. Industrijska revolucija 19. stoljeća uvela je strojnu proizvodnju i time promijenila simboliku čipke – od statusnog znaka aristokracije postaje dostupniji i šire korišten dekorativni element. [1, 2]

U tom povijesnom kontekstu posebno se izdvaja idrijska čipka, jedno od neprepoznatljivijih obilježja slovenske kulturne baštine. Od 17. stoljeća stvaranje čipke u Idriji ima važnu umjetničku i gospodarsku ulogu, osobito u rudarskim zajednicama, gdje se ručna izrada pomoću drvenih batića prenosila generacijama i oblikovala prepoznatljive motive. Najkarakterističnija tehnika je ris, izrađen sa šest do osam parova batića. Osnivanjem Čipkarske škole 1876. tradicija se sustavno čuva i razvija, a idrijska čipka danas predstavlja uspješan spoj baštine i suvremenog dizajna. [3, 4]

Povijesna vrijednost i tehnička raznolikost čipke stvaraju temelje za njezine suvremene interpretacije. U današnjem dizajnu sve se češće koristi pojam „čipkasta struktura“, koji označuje otvorene, isprepletene oblike nalik čipki, neovisno o materijalu ili tehnici izrade. Tradicionalna čipka ostaje dekorativni tekstil s jasno definiranim povijesnim postupcima, dok čipkasta struktura služi kao široko primjenjiva inspiracija u odjeći, interijeru, arhitekturi i industrijskom dizajnu. Estetska vrijednost suvremenih čipkastih formi proizlazi iz kombiniranja tradicije s novim tehnologijama te povezivanja s kontrastnim materijalima. Kako ističe Andra Marinko u knjizi *Oko, srce, drvo - sodobna idrijska čipka*, baština nije samo trag prošlosti, već i polazište za stvaranje novih rješenja i proizvoda koji moraju djelovati i emocionalno i racionalno [4]. Stoga čipka i danas ostaje svestrani dizajnerski element, čija se privlačnost temelji na uspješnom spoju povijesnog nasljeđa i suvremenih oblikovnih pristupa.

Primjeri suvremene primjene čipke uključuju ručno izrađenu Gugalicu (Slika 1a) autorice Katje Magister i rad Andreje Kragelnik Slušalice (Slika 1b), koji pokazuju kako se tradicionalna čipka može modernizirati i uključiti u dizajn namještaja i svakodnevnih predmeta, zadržavajući njezinu nježnost. Oba projekta realizirana su u suradnji Katedre za oblikovanje tekstilij in oblačil Univerze v Ljubljani s Idrijom, pod mentorstvom Vere Sešlar Založnik, uz sudjelovanje klekljarica Mire Guzelj i Milene Kalan. [5]



**Slika 1.** Suvremena čipka: a) Gugalica, b) Slušalice [5]

## 1.2. 3D ispis na tekstil

3D ispis, odnosno aditivna proizvodnja, omogućuje pretvaranje digitalnih 3D modela u fizičke objekte sloj po sloj, za razliku od tradicionalnih metoda koje uklanjaju materijal. Ova tehnologija omogućuje visoku preciznost, personalizaciju i izradu složenih oblika te se primjenjuje u medicini, industriji, modi, arhitekturi i drugim područjima [6]. U tekstilnoj industriji 3D tisak koristi se u tri osnovna oblika: tisak fleksibilnih struktura, direktni tisak na tekstil i tisak s elastičnim materijalima. Najčešće se primjenjuje FDM tehnologija (Fused Deposition Modelling), gdje termoplastični filament prolazi kroz zagrijanu mlaznicu i nanosi se na površinu tkanine. Za uspješan tisak ključna je dobra adhezija filameta na tekstil, pri čemu se najčešće koristi PLA

(Polyactic Acid) filament zbog visoke preciznosti, fleksibilnosti i mogućnosti stvaranja detaljnih struktura. Adhezija ovisi o sastavu filameta, postavkama tiskanja (temperatura, brzina, visina sloja), udaljenosti mlaznice od tkanine te tipu i svojstvima tekstilnog substrata. Otvorene strukture tkanina, poput tila, mreže i organze, omogućuju bolje povezivanje polimera s podlogom. [7] Til je lagan i proziran, pogodan za nježne i prozirne uzorke, mreža je robusnija i prikladna za složenije kompozicije, dok organza daje svečan izgled, ali zahtijeva veću pažnju zbog slabije adhezije. Na slici 2 primjer je 3D ispisa na tekstilu, rezultat diplomskog rada Mance Drusany, izrađen pod mentorstvom Tanje Nuše Kočevar [8].



Slika 2. 3D ispis na tekstilu – rezultat istraživanja u odjevnom dizajnu [8]

## 2. Eksperimentalni dio

Cilj eksperimentalnog rada bio je prikazati izgled čipke na suvremen način, koristeći naprednu tehnologiju. Za izradu smo odabrali metodu 3D tiska na tekstil jer nam je omogućila detaljnije oblikovanje uzorka i njegovo prilagođavanje finalnom proizvodu. Odabrali smo tekstilnu podlogu na koju je uzorak 3D otisnut, čime smo postigli vizualni dojam sličan čipkastoj strukturi. Jedan od ciljeva bio je oblikovati 3D ispisani uzorak na tekstilu koji povezuje karakteristike čipke s elementima doodle crteža. Uzorak smo razvili s pomoću računalnih programa za 2D i 3D grafiku, koji su omogućili transformaciju doodle crteža i istraživanje mogućnosti njegova prijenosa u trodimenzionalni oblik. Pri tome smo pazili na površinu koju je moguće prekriti s obzirom na tehnička ograničenja odabranog 3D pisaača te na utjecaj duljine, debljine, veličine i položaja linija na funkcionalnost i estetski izgled tekstila.

### 2.1. Materijali i metodologija

Kroz cijeli proces oblikovanja, modeliranja i planiranja korišteni su programi za 2D i 3D dizajn. Adobe Illustrator i Adobe Photoshop korišteni su za oblikovanje uzoraka, dok je za transformaciju 2D uzoraka u 3D modele korišten besplatni 3D računalni program Blender. Za pripremu modela za 3D tisak korišten je softver Ultimaker Cura, aplikacija koja priprema konačni model za tisak, istovremeno pretvarajući STL datoteku u G-kod, programski jezik koji razumije 3D pisaač.

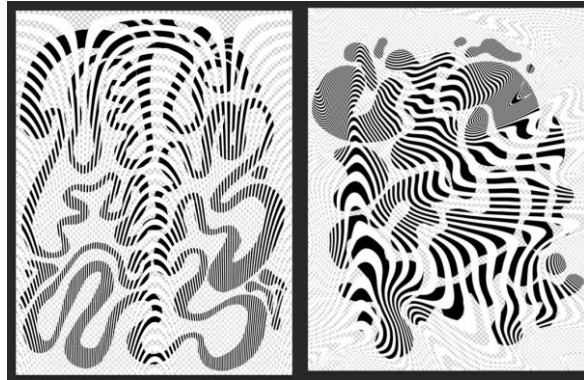
Za izravni 3D tisak na tekstil korišten je pisaač 3D Jozko proizvođača Jožeta Hrovata iz Slovenije. Pisaač radi na tehnologiji FDM (Fused Deposition Modeling) i omogućuje ispis na površini 140 mm × 160 mm, uz maksimalnu visinu od 220 mm. Debljina sloja kreće se od 40 do 300 mikrona, temperatura ekstruzivne mlaznice doseže do 260 °C, a brzina pomaka glave pisaača do 250 mm/s. Promjer mlaznice iznosi 0,2 – 0,6 mm, dok maksimalni promjer korištenog filameta može biti 1,75 mm. Za ispis je korišten PLA filament.

Za konačni 3D tisak korišten je mekši bijeli til, težine 11 g/m<sup>2</sup>, izrađen od 100 % poliestera. Radi se o mekoj, tankoj i nježnoj tkanini koja se najčešće koristi za izradu dječjih baletnih suknji (tutu), vjenčanica i svećanih haljina, vela te za druge dekorativne svrhe.

### 2.2 Razvoj uzoraka

Razvoj uzoraka temeljen je na opuštenom kreativnom procesu, crpljenju inspiracije iz autorskih doodle crteža na papiru, pri čemu je proces sličan stvaranju čipke – meditativan i repetitivan. Spontane linije podsjećale su na čipkaste elemente, a istodobno su se istraživale mogućnosti pronalaska čipkastih struktura unutar slobodnog i intuitivnog crtanja, stvarajući fluidne, apstraktne i dinamične uzorke (Slika 3). Svi su

uzorci oblikovani u programima Adobe Photoshop i Illustrator. Fotografije su obrađene u crno-bijelu sliku visokog kontrasta s pomoću funkcije Threshold. U Illustratoru su dodane paralelne i vodoravne linije radi transformacije uzorka, što je prikazano na slici 3.



**Slika 3.** 2 primjera uzorkovanja s transformacijom linija

Konačne 2D uzorke oblikovali smo u Blenderu (verzija 4.3.2), dodajući im treću dimenziju. Najprije su kreirani osnovni elementi radi testiranja adhezije na tekstilu i upoznavanja s procesom izravnog 3D tiska. Pri oblikovanju pazilo se na raspored, razmak, debljinu linija i veličinu elemenata. Svaki se uzorak uvozio u Blender i nadograđivao visinom pomoću alata *Extrude*. Linije su spajane radi ujednačenog ekstrudiranja do maksimalne visine od 1,5 mm, a funkcijom *Sculpt Mode* oblikovana je površina i dodana dinamika, uz stalnu kontrolu visine radi očuvanja adhezije. Uzorke smo prilagođavali tehničkim zahtjevima 3D tiska – povećavali razmak između elemenata, debljinu linija te uklanjali dijelove prema ograničenjima pisača, čime je omogućena realna predodžba konačnog izgleda.

### 2.3 Neposredni 3D ispis na tekstil

Prije konačnog 3D ispisa na tekstil izrađeni su testni uzorci za provjeru adhezije te utjecaja debljine i duljine linija, gustoće uzorka i vrste filameta na ponašanje tekstila. Korišteni su til različitih debljina i pamučna tkanina. Isprobavale su se osnovne forme poput polukugli i kocki, a zatim im se dodavala visina s pomoću alata *Sculpt* u Blenderu. Testovi su omogućili bolje razumijevanje odnosa materijala i 3D tiska te postizanje ravnoteže između estetike i funkcionalnosti. Cilj nije bila zamjena čipke, već nadogradnja koja omogućuje stvaranje struktura teško izvedivih ručno, dodajući novu vrijednost uzorku i materijalu. 3D tisak linija na mekši til s manjim porama bio je uspješan. Linije su tanje i razmaknute tako da omogućuju fleksibilnost pri savijanju ruke, čime se uzorak prilagođava pokretu. Tijekom testiranja utvrđeno je da linije najbolje prate obliku kada se protežu paralelno s njom. Duže linije ograničavaju gibljivost i povećavaju rizik od loma, dok kratke linije osiguravaju dobru pokretljivost. Bojna povezanost filameta i tkanine stvara skladan i elegantan efekt, gdje uzorak istovremeno zadržava izražajnost. Na slici 4 prikazan je testni 3D tisak linija na tekstilu.



**Slika 4.** 3D tisak linija različitih duljina i boja na različitim materijalima

Nakon uspješnog tiska linija, isprobali smo elemente različitih visina u Blenderu s pomoću Sculpt Mode, stvarajući valoviti efekt. Visina je dodala dinamiku i prostornu dimenziju. Promjena visine linija nije utjecala na adheziju, koja je bila uspješna i na pamučnoj tkanini. Gruba vlaknasta površina pamučne tkanine omogućila je bolju povezanost polimera. Ujednačene boje filameta i podloge stvaraju skladan, čipkasti efekt (slika 5).



Slika 5. 3D tisak linija različitih duljina i debljina na pamučni tkanini

### 3. Rezultati i diskusija

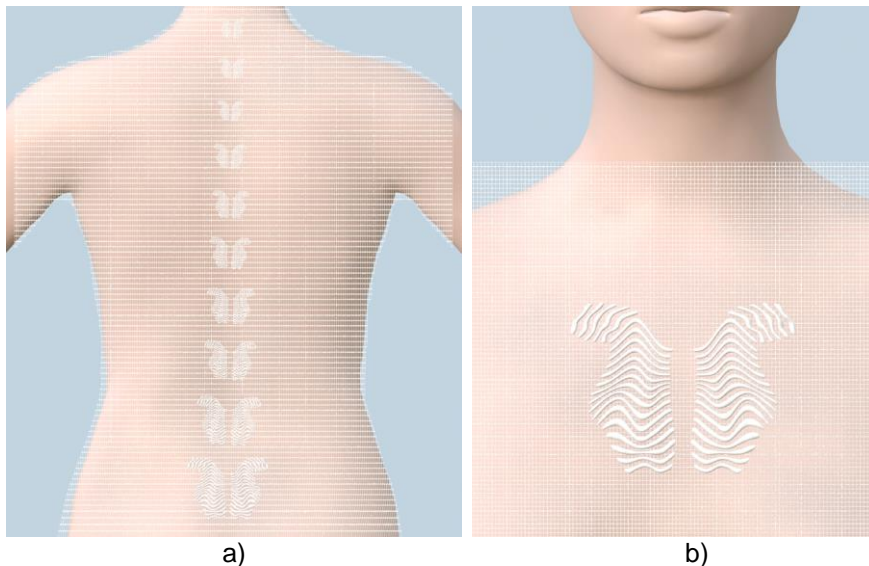
U procesu razvoja uzoraka stvoren je širok spektar različitih linijskih struktura temeljenih na doodle crtežima. Pri oblikovanju se obraćala pažnja na čipkastu estetiku u suvremenom i digitalnom kontekstu, vizualnu skladnost, ravnotežu otvorenih i zatvorenih dijelova, tehničku izvedivost 3D tiska te prilagodljivost primjeni na tekstil. Odabrani uzorci prikazuju različite dizajnerske pristupe, pri čemu je svaki oblikovan na sličan, ali ipak jedinstven način. Svi su dizajnirani za nadogradnju, ponavljanje ili prilagodbu veličini površine, a posebna je pažnja posvećena smjeru linija i njihovim međusobnim odnosima unutar kompozicije.

Konačna kreacija kombinira dva odabrana uzorka koja se na površini nadopunjuju – jedan s prozračnom, otvorenom strukturom i dugim linijama, a drugi s gušćom strukturom i kraćim linijama, čime se postiže uravnotežena kompozicija. Za tisak je korišten til, koji omogućuje dobru adheziju linija i naglašava 3D efekt, podsjećajući na čipku. Otisnute linije oponašaju čipkaste motive, dok til djeluje kao mreža prepletenih niti. Fotografije prikazuju ponašanje uzorka, njegovu prilagodljivost pokretu i igru svjetla sa strukturom, naglašavajući odnos između materijala i uzorka koji je vodio cijeli proces – od crteža do 3D realizacije (Slika 6a i 6b).



Slika 6. Fotografija 3D tiskanog tekstila a) na koži i b) preko odjeće

Za daljnje istraživanje uzoraka korisna je digitalna simulacija, jer prikazuje uzorak u odnosu na tijelo i omogućuje planiranje njegove primjene kao ukrasa ili samog odjevnog predmeta. Vizualizacija, izrađena u Blenderu, je omogućila prilagodbu linija pokretima tijela, raspodjelu i veličinu uzorka te stvaranje skladnih, čipkastih kompozicija. Tako su testirane estetske i funkcionalne kvalitete uzorka, osiguravajući fleksibilnost i udobnost u kontekstu odjeće za posebne prigode (Slika 7).



Slika 7. Vizualizacija 3D ispisa na tekstu na tijelu: a) cjelina, b) detalj

#### 4. Zaključak

U ovom radu čipka, cijenjena zbog nježnosti, profinjenosti i strukture, dobila je novu interpretaciju u 3D obliku, nadahnutu intuitivnim doodle crtežima i realiziranu izravnim 3D ispisom na tekstil. Ispitane su različite tehnološke varijante, analizirani estetski potencijali te zabilježeni izazovi primjene 3D tehnologije u tekstilnom dizajnu i razvoju uzoraka. Posebna je pozornost posvećena odnosu čipkaste strukture, spontanih crteža i suvremenih tehničkih rješenja. U radu su identificirane tehničke i materijalne ograničenosti – od karakteristika filameta, osjetljivosti tekstilnih podloga i parametara linija do rasporeda i adhezije materijala. Svaka pogreška i odstupanje pridonijeli su boljem razumijevanju procesa. Iako su postupci ponavljani, neočekivane situacije zahtijevale su stalna prilagođavanja. Proces izravnog 3D ispisa pokazao se kao kontinuirano učenje, gdje su ponašanje materijala, funkcionalnost i izvedivost uzoraka te preciznost postavljanja podloge neprestano promatrani i vrednovani. Svaki uzorak i ispis donijeli su nova saznanja, otvarajući pogled na oblikovanje u kojem se tradicija, osobni izraz i napredna tehnologija prirodno povezuju.

#### Izjava o korištenju AI alata:

U ovom je radu korištena pomoć AI alata za prijevod teksta na hrvatski jezik.

#### Literatura

- [1] Heathcoat, J.: Lace history, Dostupan na: <https://www.britannica.com/art/>, Pristupljeno: 06-12-2025
- [2] Kraatz, A.: Lace, history and fashion, Rizzoli, ISBN 9780847810291, New York, (1989)
- [3] Založnik Sešlar, V.: Od črte do čipke: razvoj sodobne idrijske klekljane čipke, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, ISBN 978-961-6045-69-8, Ljubljana, (2009)
- [4] Fortuna, M.: Čipkarska šola Idrija – osrednja nosilka ohranjanja, prenašanja in razvijanja znanja klekljanja v Sloveniji, Glasnik Slovenskega etnološkega društva, 52 (2012) 1-4, 87
- [5] Marinko, A.: Oko, srce, drevo: sodobna idrijska čipka, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, ISBN 978-961-6900-03-4, Ljubljana, (2013)
- [6] Muck, T.; Križanovskij, I.: 3D tisk, Pasadena, ISBN 978-961-6661-69-0, Ljubljana, (2015)
- [7] Sitotaw, D.B.: Additive Manufacturing and Textiles - State-of-the-Art, Applied sciences, 10 (2020) 15, 5033
- [8] Drusany, M.: Oblikovanje vzorcev z aplikacijom 3D tiska na tekstil : diplomsko delo = Pattern design with 3D printing on textile: diploma thesis, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, 2021, 31-40

## DŽINS I GENERACIJA Z: OD IDEJE DO TEHNOLOŠKE REALIZACIJE

Tihana DEKANIĆ<sup>1\*</sup>, Ayna Emina KAPETANOVIĆ<sup>1</sup>, Sandra FLINČEC GRGAC<sup>1</sup> i Suzana DORĐEVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup> Akademija strukovnih studija Južna Srbija, Vilema Pušmana 17, Leskovac, Srbija

\* Adresa za korespondenciju: tihana.dekanic@ttf.unizg.hr

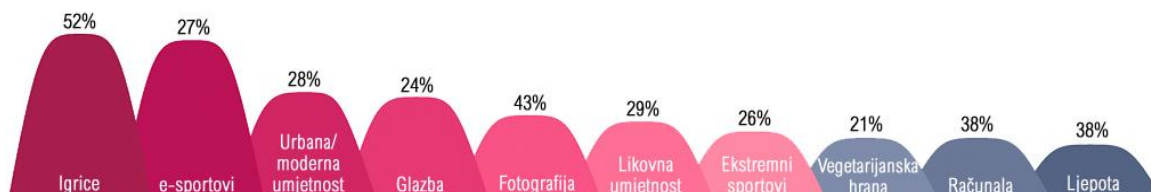
**Sažetak:** U ovom radu provedeni su postupci oplemenjivanja džins tkanine s ciljem postizanja vizualno i grafički privlačnih motiva. Džins je odabran zbog svoje prepoznatljivosti, izdržljivosti i prikladnosti za ostvarenje raznolikih površinskih efekata. Poseban naglasak stavljen je na percepciju i odabir motiva od strane Generacije Z, skupine mladih potrošača koja oblikuje suvremene modne trendove. Najuspješniji motiv, odabran prema preferencijama Generacije Z, potom je realiziran na gotovom odjevnom predmetu, demonstrirajući kako kombinacija tekstilno-tehnoloških postupaka i korisničkih preferencija može utjecati na suvremeni izgled džins odjeće. Rad ilustrira sinergiju između tekstilne tehnologije, estetske obrade tkanine i trendova definiranim od strane mladih generacija.

**Ključne riječi:** džins, motiv, specijalni efekti, Generacija Z, realizacija

### 1. Uvod

Džins kao tekstilni materijal predstavlja puno više od pukog odjavnog predmeta. Još iz razdoblja kalifornijske zlatne groznice sredinom 19. stoljeća, kroz patent Levi Straussa, oblikovao je modni, društveni i kulturni fenomen koji je zauvijek promijenio tijek tekstilne industrije. Indigo plave radne hlače u keper vezu, proizašle iz ovog patenta, postale su simbol izdržljivosti, udobnosti i svestranosti, a mogućnost primjene različitih specijalnih obrada održala je kulturni status džinsa sve do danas [1-3]. Mogućnost postizanja raznovrsnih efekata na džins tkanini omogućuju ne samo praćenje postojećih trendova, već i stvaranje novih u svijetu mode i tehnologije [4,5]. Osim estetske i funkcionalne vrijednosti, džins je kroz povijest postao i simbol društvenih promjena, pokretač mnogih kulturnih fenomena te pripadnosti određenim supkulturama. Od radničkog odijela i prvobitne namjene pa sve do modnog izričaja mladih generacija, odjeća od džinsa pratila je društvene događaje i kultne pomake, oblikujući kroz godine način života i identitet svojih korisnika [6,7].

Današnje oblikovanje modnih trendova sve više diktira Generacija Z, osobe rođene između 1997. i 2012., koje odrastaju u potpuno digitaliziranom sustavu. Ova generacija ima vrlo malo ili čak nimalo svijesti i sjećanja o svijetu u kojem ne postoji razvijena digitalna tehnologija. Internet, društvene mreže i online komunikacija čine temelj njihovog svakodnevnog i uobičajenog života, oblikujući im stavove, način razmišljanja i navike kupovanja [8,9], slika 1. Za njih je važan vizualan dojam, funkcionalnost proizvoda, etički i održivi aspekti te socijalne vrijednosti koje neki *brand* promovira [10]. Generacija Z cijeni autentičnost, personalizaciju i interaktivnost, te se pri donošenju odluke o kupnji u pravilu oslanja na sustavno online istraživanje i usporedbu proizvoda. Istodobno pokazuje visoku razinu otvorenosti prema novim iskustvima i kulturama [11].



Slika 1. Interesne sfere Generacije Z [9]

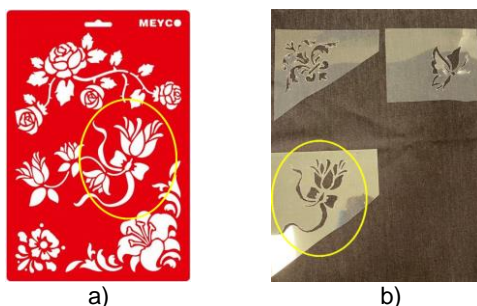
U kontekstu mode, džins se nameće kao iznimno fleksibilan materijal koji omogućuje širok raspon estetskih i funkcionalnih intervencija, čime postaje prikladna osnova za eksperimentiranje i prilagodbu preferencijama pripadnika ove generacije. Njegova sposobnost povezivanja vizualnih, tehnoloških i etičkih dimenzija omogućuju oblikovanje proizvoda koji odražavaju identitet i vrijednosne orijentacije mladih potrošača.

Rad istražuje mogućnost prilagodbe izbora motiva na džins tkanini shodno specifičnim preferencijama Generacije Z, pri čemu se naglašava važnost promišljenog dizajna te strateškog planiranja i pozicioniranja na tržištu. U suvremenom potrošačkom okruženju, u kojem pripadnici ove generacije zauzimaju sve istaknutiju i utjecajnu ulogu, takav pristup postaje ključan za oblikovanje konkurentnih i relevantnih modnih proizvoda.

## 2. Eksperimentalni dio

### 2.1. Materijali i metodologija

Za potrebe ostvarivanja zadanog cilja korištena je džins tkanina sirovinskog sastava 97% pamuk/3% elasthan, plošne mase 397,6 g/m<sup>2</sup>, gustoće niti osnove/potke 30 cm<sup>-1</sup>/20 cm<sup>-1</sup>, u keper 3/1 vezu i tamnoplave boje. Preliminarno su odabrana su 3 motiva. Za prijenos motiva na džins korištene su dvije vrste šablona: industrijski proizvedena, komercijalno dostupna, šablona s unaprijed definiranim motivima te ručno izrađena šablona prilagođena potrebama istraživanja a na koju su motivi prenijeti skalpelom, slika 2.



Slika 2. Primjer šablone: a) komercijalne, b) ručno izrađene

U svrhu površinske modifikacije i prijenosa motiva na džins tkaninu odabrana su dva različita specijalna efekta: efekt velur kože i metalni efekt, tablica 1.

Tablica 1. Kemijski sastav sredstava, svojstva i primjena

Kemijski sastav	Ionski karakter	Područje primjene i svojstva
Na bazi akrilata	anionski	za dobivanje efekata površine velur kože
Melaminska smola	neionski	umreživač za velur efekt
Na bazi sedefastih pigmenata	anionski	za dobivanje metalnog i sedefastog efekta
Melaminska smola s niskim udjelom formaldehida	neionski	umreživač za visoke temperature
Koncentrirana disperzija pigmenata	-	za nijansiranje vodenih i pokrivnih pasti

Za postizanje efekta velur kože priprema se smjesa koja sastoji od 35 g sredstva na bazi akrilata, 2 g melaminske smole, 4 g disperzije pigmenata i 10 g vode. Metalni efekt se ostvaruje miješanjem 40 g sredstva na bazi sedefastih pigmenata, 2 g melaminske smole s niskim udjelom formaldehida, 0,2 g disperzije pigmenata i 5 grama vode. Tako pripremljene paste jednakomjerno se nanose preko šablone na džins podlogu, nakon čega se uzorci suše na 100 °C te termokondenziraju na 150 °C, u trajanju od 10 minuta.












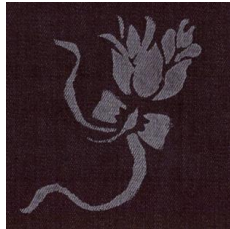
### 2.2. Anketno istraživanje među ciljanom skupinom

Istraživanje među pripadnicima Generacije Z provedeno je putem anonimnog anketnog upitnika izrađenog u alatu Google obrasci. Upitnik je sadržavao ukupno devet pitanja, raspoređenih u dvije tematske cjeline. Prvi dio obuhvaćao je dva pitanja usmjerena na prikupljanje osnovnih demografskih podataka (dob i spol ispitanika). Drugi dio je sadržavao sedam pitanja vezanih uz predmet istraživanja, pri čemu su ispitanici zamoljeni odabrati kriterije koji su im najvažniji pri kupnji odjevnih predmeta, te motiv koji smatraju najprimjerenijim za prijenos na gotov odjevni predmet.

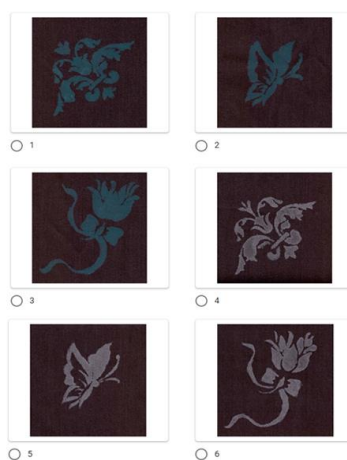
## 3. Rezultati i rasprava

U tablici 2 prikazani su rezultati dobiveni površinskom modifikacijom džins tkanine, tzv. velur i metalni efekt.

**Tablica 2.** Specijalni efekti na džinsu

Šablona	Opis	Apstraktni motiv	Životinjski motiv	Cvjetni motiv
Komeracionalna	Efekt velur kože			
	Metalni efekt			
Ručna	Efekt velur kože			
	Metalni efekt			

Za potrebe anketnog istraživanja odabran je dio motiva realiziranih pomoću komercijalne šablone, pri čemu je ključni kriterij bio vizualan dojam i oštrina postignutih efekata. Uzorci prikazani ispitanicima bili su označeni brojevima od 1 do 6, slika 3.


**Slika 3.** Prikaz uzoraka džins tkanine s motivima u anketnom upitniku

Istraživanjem je obuhvaćeno 76 ispitanika, čiji su odgovori prikazani u tablici 3 i na slikama 4 i 5.

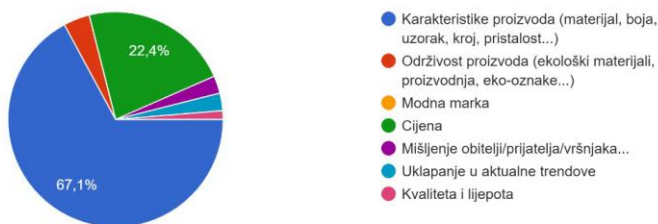
**Tablica 3.** Pitanja o demografskim podacima ispitanika – dob i spol

Pitanje	10-13 godina (4%)	14-17 godina (9,2%)	18-21 godinu (17,1%)	22-25 godina (69,7%)
Molim označite Vašu dob				
Molim naznačite Vaš spol	M (18,4%)	Ž (78,9%)	Ostalo (0%)	Ne želim odgovoriti (2,7%)

Pitanja koja su se odnosila na preferencije pripadnika Generacije Z pri odabiru i kupnji odjevnih predmeta, kao i na ključne značajke, zajedno s pripadajućim odgovorima, prikazana su na slici 4.

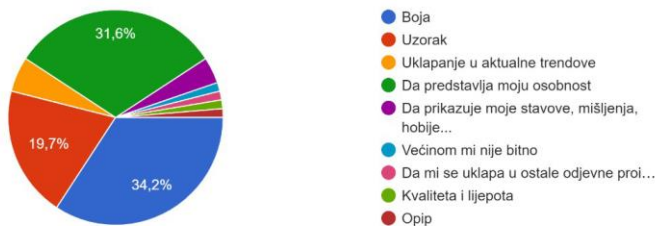
Pri kupnji odjeće, glavni utjecaj na Vašu odluku o kupovini ima(ju)...

76 odgovora



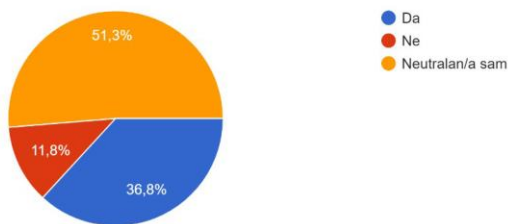
Pri odabiru motiva na odjevnim predmetima, koja karakteristika Vam je najvažnija?

76 odgovora



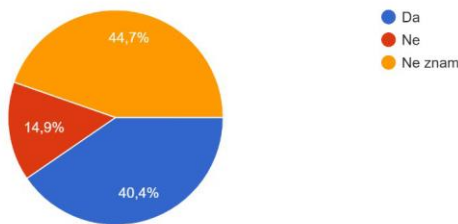
Dajete li prednost ručnoj izradi odjevnih predmeta, odnosno da je neki njegov dio "handmade"?

76 odgovora



Ako ste na prethodno pitanje odgovorili s "Da", jeste li spremni financijski izdvojiti više za takav odjevni predmet?

47 odgovora



**Slika 4.** Pitanja o materiji istraživanja

Analizom prikupljenih odgovora utvrđeno je da je 51 ispitanik (67,1%) naveo karakteristike proizvoda - poput materijala, boje, uzorka, kroja i pristalosti – kao glavni čimbenik koji utječe na odluku o kupnji odjevnog

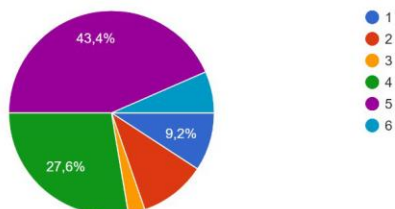
predmeta. Cijenu je kao najvažniji kriterij izdvojilo 17 ispitanika (22,4 %), dok je održivost proizvoda kao ključni utjecaj pri kupovini navelo svega 3 ispitanika (3,9 %).

Prilikom procjene motiva kao važnog elementa na odjevnom predmetu, najveći broj ispitanika, njih 26 (31,6%), navodi boju kao presudan čimbenik pri odabiru. Dvadeset i četiri ispitanika smatraju da motiv treba odražavati osobnost, dok je 15 ispitanika (19,7%) dalo prednost samom uzorku motiva.

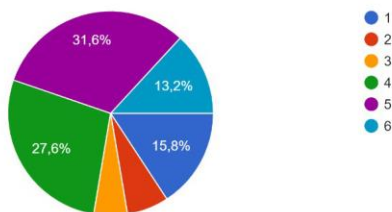
Na pitanje preferiraju li odjevne predmete s ručno izrađenim detaljima, više od polovice ispitanika (51,3%) zauzelo je neutralan stav, dok je 28 ispitanika iskazalo sklonost takvim proizvodima. Samo 9 ispitanika je navelo da im ručno izrađeni dijelovi nisu važni. Među onima koji su izrazili pozitivnu preferenciju prema ručno izrađenim dijelovima, 21 ispitanik (44,7%) nije siguran bi li bio spreman platiti višu cijenu, dok bi 19 ispitanika (40,4%) to bilo spremno učiniti.

Na slici 5 prikazana su pitanja vezana uz odabir najprimjerenijeg motiva na uzorcima džins tkanine koji će se potom realizirati na gotovom odjevnom predmetu.

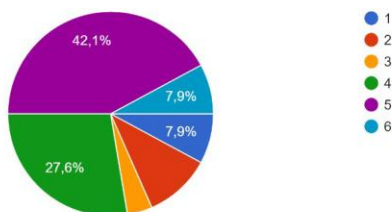
Koji od sljedećih motiva Vam se čini najbolje izveden s obzirom na vizualni dojam (boja, tekstura, površinski efekt...)?  
76 odgovora



Koji od sljedećih motiva Vam se čini najbolje izveden s obzirom na grafiku, njegovu geometriju i tip (apstraktni, životinjski i cvjetni)?  
76 odgovora



Uzevši u obzir oba prethodna kriterija, koji motiv smatrate najboljim za prenošenje na gotovi odjevni predmet od džinsa, primjerice na traperice?  
76 odgovora



**Slika 5.** Pitanja o odabiru motiva na džins uzorcima

Odabir motiva temeljen je na kombinaciji vizualnih i tehničkih kriterija ostvarenih uzoraka. S obzirom na vizualan dojam (boja, tekstura, površinski efekt), najveći broj ispitanika odabrao je motiv broj 5 (slika 3). Slijedi motiv broj 4, koji je odabrao 21 ispitanik (27,6%), dok je motiv broj 1, odnosno efekt velur kože s apstraktnim motivom izdvojilo 7 ispitanika (9,2%). Slični trendovi uočeni su i pri procjeni tehničkih karakteristika motiva. Uzimajući u obzir oba kriterija, kao konačan najprikladniji motiv za prijenos na gotov odjevni predmet odabran je motiv broj 5, koji je ukupno preferiralo 32 ispitanika (42,1%).

Konačan cilj i preliminarno postavljene zadatke u ovom radu bio je prenijeti odabrani motiv na gotovi odjevni predmet, u skladu s preferencijama potrošača ciljane skupine, odnosno pripadnika Generacije Z. U ovom slučaju riječ je o životinjskom motivu s metalnim efektom (slika 6).



Slika 6. Prikaz realiziranog motiva na ženskoj suknji

#### 4. Zaključak

Tehnološki napredak značajno oblikuje stavove i potrošačke navike pripadnika Generacije Z, što modna industrija prati kroz kontinuirano uvođenje trendova i prilagodbu proizvoda. Džins je u tom kontekstu odabran kao univerzalna i iznimno pogodna podloga za različite vrste obrada i aplikacije motiva. Rezultati provedenog istraživanja pokazuju da pripadnici ove generacije, tzv. *Genzenijalci*, podjednako cijene vizualne i tehničke karakteristike odjevnih predmeta, što proizvođačima omogućuje preciznije i strateški usmjereno oblikovanje proizvoda u skladu s njihovim preferencijama.

Provedeno istraživanje ujedno potvrđuje da oplemenjivanje džinsa nadilazi puku estetsku funkciju te predstavlja ključnu strategiju očuvanja njegove relevantnosti u suvremenoj modnoj industriji. Time se džins potvrđuje kao materijal koji se može kontinuirano prilagođavati novim generacijama potrošača te zadržati svoj status bezvremenskog odjavnog elementa.

#### Literatura

- [1] Roshan P.: Denim: Manufacture, Finishing and Applications, Woodhead Publishing, ISBN 978-0-85709-843-6, Cambridge, UK (2015)
- [2] Bunić Ž.: Utjecaj postupaka oplemenjivanja na promjene fizikalno-mehaničkih svojstava džins odjevnih predmeta, Tekstil 41 (1992) 3, 142-150
- [3] Brodić Z.: Izrada denim tkanina, Tekstil 23 (1974) 5, 278-287
- [4] Dekanić, T.; Pušić, T.; Soljačić, I.: Influence of special finishes on denim properties, Indian Journal of Fibre & Textile Research, 40 (2015) 2, 170-174
- [5] Periyasamy, A. P.; Periyasami, S.: Critical Review on Sustainability in Denim: A Step toward Sustainable Production and Consumption of Denim, ACS Omega 8 (2023) 5, 4472-4490
- [6] Miller, D.; Woodward, S.: A Manifesto for the Study of Denim, Social Anthropology, 15 (2007) 3, 335-351
- [7] Im, M.J.: Analyzing the Changing Social Meanings of Denim Jeans Through Media framing: Focused on The New York Times Articles, Journal of Fashion Business, 28 (2024) 6, 142-161
- [8] Gomez, K.; Mawhinney, T.; Betts, K.: Welcome to Generation Z, Dostupan na: <https://www.deloitte.com/content/dam/assets-zone3/us/en/docs/industries/consumer/2024/welcome-to-gen-z.pdf>, Pristupljeno: 15-11-2025
- [9] Brandon: Gen Z: Where They Live, How They Live, How to Reach Them', The Brandon Agency, 2 February. Dostupan na: <https://brandon.agency/blog/gen-z-where-they-live-how-they-live-how-to-reach-them/>, Pristupljeno: 15-11-2025
- [10] Theocharis, D.; Tsekouropoulos, G.: Sustainable Consumption and Branding for Gen Z: How Brand Dimensions Influence Consumer Behavior and Adoption of Newly Launched Technological Products. Sustainability, 17 (2025) 9, 4124
- [11] Bindu, N. H.: Understanding Online Consumer Behaviour of Gen Z Consumers. International Journal of Creative Research Thoughts, 12 (2024) 1, 277-283

# RAZVOJ METODA I UREĐAJA ZA ODREĐIVANJE PROCESNIH PARAMETARA VISOKOTEHNOLOŠKIH TEHNIKA SPAJANJA POLIMERNIH MATERIJALA I NJIHOVA PRIMJENA U NASTAVI

Snježana FIRŠT ROGALE<sup>1</sup>, Robert MATAŠIĆ<sup>1\*</sup> i Dubravko ROGALE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska

\* Adresa za korespondenciju: rmatasic@tff.unizg.hr

**Sažetak:** Razvojem suvremenih tehnika spajanja u odjevnom inženjerstvu, uz tehniku spajanja šivanim šavovima, sve više se primjenjuju visokotehnološke tehnike poput toplinskog spajanja kondukcijom ili konvekcijom, ultrazvučnog spajanja i spajanja u visokofrekventnom elektromagnetskom polju (VF). Navedene tehnike koriste se za spajanje termoplastičnih polimernih materijala i omogućuju postizanje čvrstih, zrakonepropusnih i vodonepropusnih spojeva. Proces spajanja zahtijeva određivanje procesnih parametara kako bi se izbjegli nedostaci poput nedovoljne čvrstoće ili stvaranja prekomjernih istisnutih rubova. U sklopu istraživanja na znanstveno-istraživačkom projektu *Razvoj i toplinska svojstva odjeće IP-2018-10-6363 (ThermIC)*, odobrenom i financiranom od Hrvatske zaklade za znanost te naknadnih istraživanja na temelju rezultata projekta razvijeni su mjerni uređaji i uspostavljene nove mjerne metode za praćenje procesnih parametara spajanja, kao što su određivanje prekidnih sila, mjerenje akustičke impedancije i dielektričkih gubitaka u tekstilnim materijalima. Ove inovacije omogućuju optimizaciju procesnih parametara te se, osim u znanstveno-istraživačke svrhe, koriste i u nastavi.

**Glavne riječi:** odjevno inženjerstvo, procesni parametri, tehnike spajanja, polimerni materijali.

## 1. Uvod

Odjevno inženjerstvo, između ostalog, obuhvaća projektiranje, konstrukciju i proizvodnju odjeće uz primjenu suvremenih tehnoloških rješenja. Tradicionalne metode spajanja, poput šivanja, sve više zamjenjuju visokotehnološke tehnike koje omogućuju postizanje funkcionalnih svojstava odjeće, kao što su zrakonepropusnost, vodonepropusnost i visoka čvrstoća spojeva.

U odjevnom inženjerstvu, među najznačajnijim tehnikama spajanja polimernih materijala, ističu se toplinsko spajanje kondukcijom ili konvekcijom, ultrazvučno spajanje te spajanje u visokofrekventnom elektromagnetskom polju. Sve navedene tehnike temelje se na svojstvima termoplastičnih polimernih materijala, čija se struktura mijenja djelovanjem toplinske energije ili mehaničkih vibracija.

Za postizanje optimalne kvalitete spojeva nastalih visokotehnološkim tehnikama spajanja, nužno je dobro poznavanje i precizno određivanje procesnih parametara. Nepravilno podešeni procesni parametri mogu dovesti do nedostataka poput nedovoljne čvrstoće spoja ili stvaranja prekomjernih istisnutih rubova koji negativno utječu na funkcionalnost i estetsku komponentu odjeće.

Upravo iz tog razloga, u Laboratoriju za procesne parametre u Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta razvijene su inovativne metode i uređaji za praćenje i analizu procesnih parametara, među kojima se ističu mjerne metode i mjerni uređaji za mjerenje prekidnih sila, akustičke impedancije i dielektričkih gubitaka u polimernim materijalima.

Razvoj novih metoda i uređaja rezultat je znanstveno-istraživačkih projekata, a njihova primjena nije ograničena samo na znanstveno-istraživački rad, već je primijenjena u nastavnom procesu diplomskog studija Tekstilna tehnologija i inženjerstvo, smjer Odjevno inženjerstvo. Uvođenje uspostavljenih mjernih metoda i osmišljenih i realiziranih uređaja u nastavu omogućuje studentima stjecanje praktičnih znanja, razumijevanje teorijskih principa te analizu utjecaja procesnih parametara na kvalitetu spojeva. Time se ostvaruje sinergija između znanosti, tehnologije i obrazovanja, što predstavlja temelj za daljnji razvoj odjevnog inženjerstva [1].

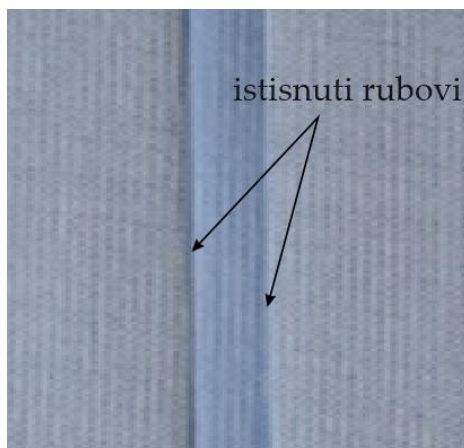
## 2. Inovativne mjerne metode i mjerni uređaji korišteni u nastavom procesu

Spomenute nove tehnike spajanja pojavile su se prije razmjerno kratkog razdoblja, te još uvijek nisu razvijene metode određivanja procesnih parametara kao što je izračun potrebnog vremena spajanja i aplicirane energije, već se ti parametri određuju iskustvenim metodama što je, s obzirom na visoku tehničku razinu suvremenih metoda spajanja, potpuno neprimjereno.

Tijekom primjene visokotehnoloških tehnika spajanja u termoplastični materijal dovodi se toplinska energija konvekcijskim zagrijavanjem preko posrednika (struja vrućeg zraka) ili kondukcijom preko površinskog dodira s tzv. vrućim klinom, djelovanjem mehaničkih vibracija preko ultrazvučne sonotrode u materijal pri čemu se razvija toplina u materijalu ili se u promjenjivom elektromagnetskom polju djeluje na polarizirane molekule polimera čime također nastaje toplina u materijalu i njegova temperatura postupno raste. Zagrijavanje termoplastičnih polimera odvija se u dvije slijedne faze. Dovođenjem vanjske energije (kondukcijom, konvekcijom, ultrazvučnim vibracijama ili visokofrekventnim elektromagnetskim poljem) raste temperatura materijala od npr. sobne temperature do točke tališta polimera (tzv. specifična toplina), a potom se energija troši na taljenje materijala (tzv. latentna toplina). Stoga je za ispravno odvijanje procesa spajanja izuzetno važno odrediti vrijeme spajanja odnosno apliciranu energiju (kroz temperaturu vrućeg zraka ili vrućeg klina, namještenu snagu ultrazvučnog ili visokofrekventnog generatora). Ako je vrijeme spajanja prekratko neće se rastaliti dovoljna količina polimera u spoju i takav spoj neće imati potrebnu čvrstoću, a ako je vrijeme spajanja predugo onda će se rastopiti prevelika količina polimera, spoj će se stanjiti i pojaviti će se povećani istisnuti rubovi na spoju, sl. 1, koji imaju sve nepovoljne karakteristike: povećavaju krutost spoja, neugodan osjet dodira pri nošenju odjeće, smanjuju debljinu spoja i čvrstoću spoja i imaju nepovoljan vizualan efekt [2].

Provedenim laboratorijskim istraživanjima utvrđeno je da oblik i veličina istisnutih rubova jasno ukazuje na količinu aplicirane energije, odnosno na optimalnu, preveliku ili premalu količinu energije ili nedovoljno točno određeno vrijeme spajanja. Stoga je bilo potrebno osmisliti i konstruirati mjerni uređaj i uspostaviti primjerenu metodu za ispitivanje karakteristika spojeva nastalih visokotehnološkim tehnikama spajanja polimernih materijala kako bi se izbjegla subjektivna procjena parametra spajanja i zamijenila egzaktnom mjernom metodom. Pri tome valja uzeti u obzir vrlo male debljine polimernih materijala koji se spajaju, njihovu elastičnost, malu krutost, osjetljivost na mehanička oštećenja i prozirnost.

Mjerna metoda i mjerni uređaj za ispitivanje karakteristika spojeva nastalih visokotehnološkim tehnikama spajanja polimernih materijala, sl. 2, namijenjeni su mjerenju istisnutih rubova i drugih karakteristika spojeva, osobito ako su debljine spajanih materijala vrlo male a materijal osjetljiv i elastičan pa se deformira i pri vrlo malim silama koje djeluju na njega.



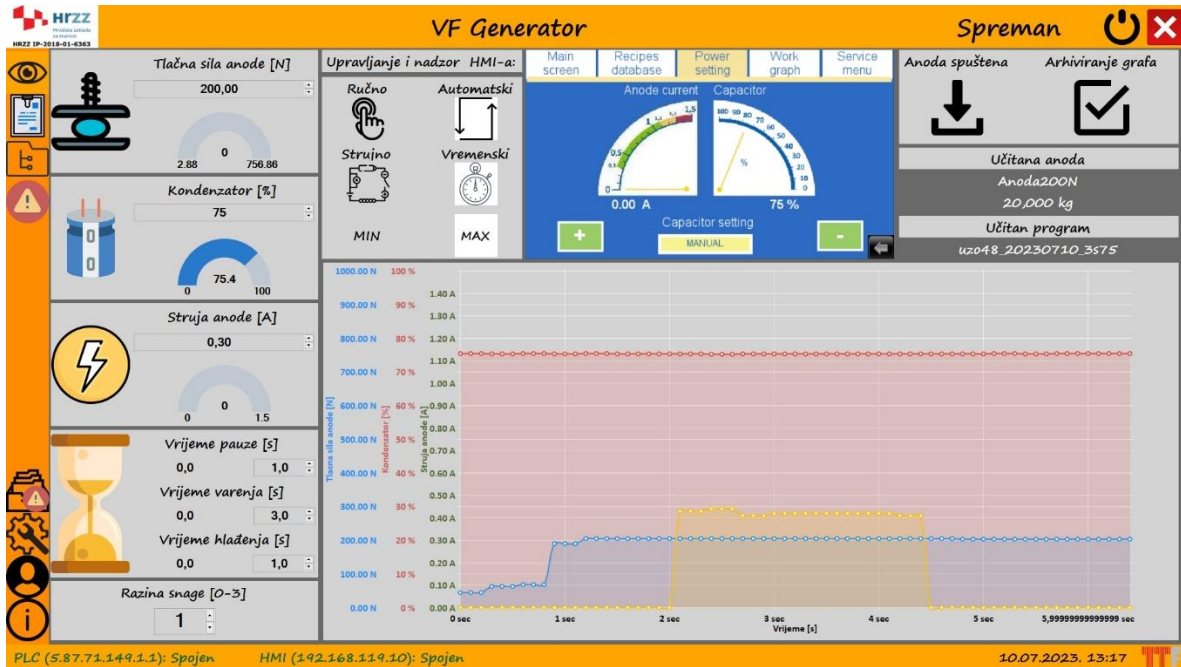
**Slika 1.** Istisnuti rubovi na spoju nastali ultrazvučnim spajanjem polimernih materijala [1]



**Slika 2.** Mjerni uređaj za ispitivanje karakteristika spojeva nastalih ultrazvučnim i visokofrekventnim spajanjem polimernih materijala korišten u nastavi

Profil spoja određuje se okomito na liniju samog spoja tako da ticalo ugrađeno u uređaj klizi po materijalu (kod debljih i krućih materijala) ili se pomiče iznad njega pa se spušta u određenim točkama (kod vrlo tankih, savitljivih i elastičnih materijala) za potrebe mjerenja debljine, čime se izbjegavaju deformacije materijala i greške pri mjerenju. Deformacije materijala i greške pri mjerenju izbjegavaju se i pri unificiranom postavljanju materijala u mjerni uređaj tako da su početni uvjeti uvijek isti, bez obzira na karakteristike materijala.

Istraživanja procesnih parametra visokofrekventnog spajanja izvode se na stroju ZD-N-4 Depta tvrtke Zemat Technology Group, kupljenog sa sredstava HRZZ projekta IP-2018-10-6363. Stroj ima ugrađeno industrijsko računalo te se na monitoru određuju i prate procesni parametri spajanja. Najveći dio zaslona monitora namijenjen je iscrtavanju dijagrama promjena najvažnijih procesnih parametara spajanja o vremenu, sl. 3. Grafički se bilježi pritiska sila gornje elektrode, vrijednost kondenzatora i vrijednost anodne struje. Osim iscrtavanja grafa, izmjerene vrijednosti se pohranjuju u matrice koje je moguće iščitati u numeričkom obliku te ih prebaciti u neki od računalnih programa za statističku obradu. Istraživanja procesnih parametara visokofrekventnog spajanja izvode se i u sklopu nastave, sl. 4.



Slika 3. Zaslona monitora na stroju ZD-N-4 Depta tvrtke Zemat Technology Group [1]

U sklopu spomenutog projekta realizirana je mjerna aparatura te uspostavljena mjerna metoda za određivanje prekidnih sila primjenom „T“ ispitne metode kidanja spojeva nastalih visokotehnološkim tehnikama spajanja [3, 4], sl. 5. Ispitivanja se provode u dvije faze, a dolazi do dvije karakteristične vrste prekida VF spojeva od početnog izgleda spoja, nakon učvršćenja u stezaljke dinamometra i prije istezanja, tijekom istezanja i po prekidu spoja i to zasebno za slučaj postupnog ljuštenja te trganja na istisnutom rubu [5].

U prvoj fazi ispitivanja uzorci nisu u čeljusti mjernog uređaja za ispitivanje te nije primijenjena sila ispitivanja. U drugoj fazi uzorci su pričvršćeni u čeljusti te također nema promjena u segmentu spoja. Kod treće faze primjenjuje se sila ispitivanja te dolazi do istezanja materijala. Tijekom kratkog vremena djelovanja sile u trećoj fazi ne dolazi do odvajanja spoja već se materijal izvan spoja isteže, a nakon određenog vremena dolazi do odvajanja spoja. S povećanjem sile, kod nekih uzoraka, primijećeno je i veliko istezanje materijala, prije ili tijekom razdvajanja slojeva. U četvrtoj fazi dolazi do prekida u spoju [1]. Postoje dva načina odvajanja spoja, jedan je ljuštenjem, a drugi prekidom spoja trganjem u području jedne strane na kojoj se nalazi istisnuti rub. Kod ljuštenja dolazi do odvajanja spoja razdvajanjem dvaju pojedinih slojeva spajanih materijala, dok kod prekida u području jedne strane gdje je istisnuti rub dolazi do trganja materijala. Ova neobična pojava dvije vrste načina prekida VF spojeva (postupnim ljuštenjem uz cijeli spoj i trganjem uz istisnuti rub) može se pripisati upravo količini dovedene VF energije u spoj. Naime, energija dovedena u spoj sastoji se od specifične topline zagrijavanja materijala od sobne temperature do temperature taljenja i od latentne topline taljenja materijala. U procesu tvorbe spoja VF energija se prvo troši na stvaranje specifične topline i temperature materijala vrlo brzo rastu do temperature taljenja, a onda se od tog trenutka pretvara u latentnu toplinu zbog čega temperatura materijala više ne raste već se materijal rastapa po svom volumenu ispod gornje elektrode.

Pri spajanju polimernih materijala ultrazvučnom tehnikom potrebno je uzeti u obzir vrijednosti 43 različita parametra svrstanih u tri skupine, a vezanih uz vrstu polimernog materijala koji se ultrazvučno spaja, opći fizikalni parametri vezani uz fiziku titranja čestica, akustiku i kaloriku, tehnički parametri vezani uz karakteristike stroja za ultrazvučno spajanje i parametri vezani uz tehnološki proces ultrazvučnog spajanja [6]. Jedan od parametara je brzina širenja zvuka u polimernom materijalu koja određuje njegovu akustičku

impedanciju. Ona je poznata za pojedine, kemijski čiste, polimere, ali nije poznata za tekstilne plošne proizvode (tkanine, pletiva, netkani tekstil) ili naslojene materijale.

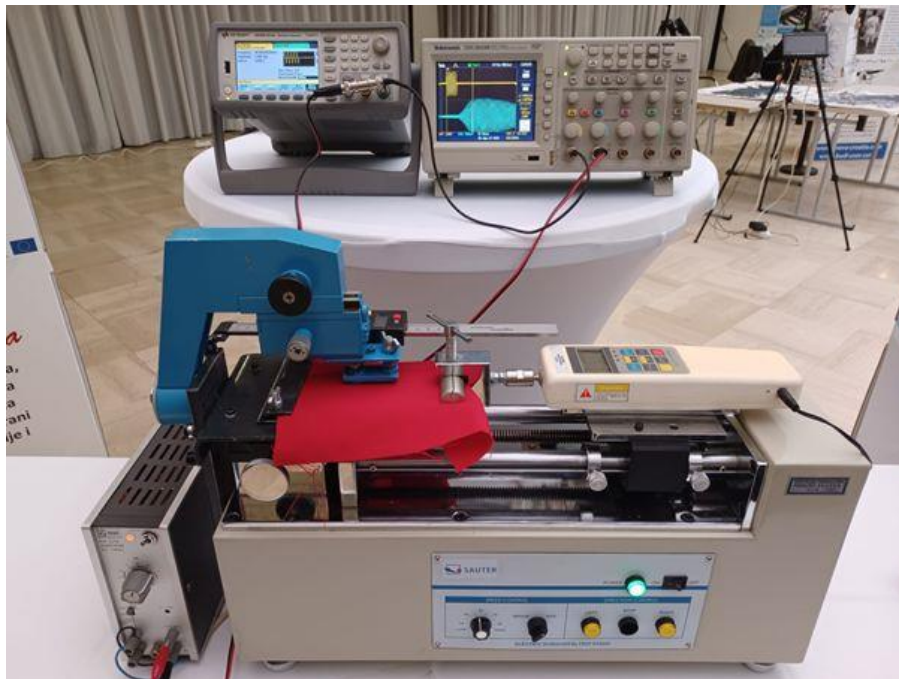


**Slika 4.** Izrada mjernih uzoraka na stroju ZD-N-4 Depta tvrtke Zemat Technology Group



**Slika 5.** Određivanje prekidnih sila primjenom „T“ ispitne metode kidanja spojeva nastalih visokotehnoškim tehnikama spajanja

Stoga je uspostavljena mjerna metoda i mjerna aparatura za mjerenje akustičke impedancije polimera pri ultrazvučnom spajanju, sl. 6.



**Slika 6.** Mjerni sustav za mjerenje akustičke impedancije polimera pri ultrazvučnom spajanju [1]

Uspostavljenom mjernom metodom i mjernom aparaturom određuje se brzina širenja ultrazvuka u polimernim materijalima, na način da se koristi ultrazvučni predajnik i prijemnik na određenoj udaljenosti, pri čemu se mjeri kašnjenje mjernog signala od predajnika do prijemnika. Proračunata brzina širenja zvuka na temelju izmjerene udaljenosti između prijemnika i predajnika i kašnjenja signala na prijemniku, uz poznatu gustoću materijala, služi za izračun akustičke impedancije i ukupnog vremena potrebnog za ultrazvučno spajanje materijala [7].

Mjerni postav i mjerna metoda za mjerenja dielektričkih gubitaka u tekstilnim materijalima namijenjeni su za mjerenje dielektričkih gubitaka tekstilnih polimernih materijala kao izrazito nehomogenih materijala, omogućava unaprijedno izračunavanje potrebnog vremena spajanja i energije, sl. 7 [8].



Slika 7. Mjerni postav i mjerna metoda za mjerenja dielektričkih gubitaka u tekstilnim materijalima [1]

Dijelovi zaštitne odjeće od umjetnih polimernih materijala spajaju se korištenjem visokotehnoške metode visokofrekventnog elektromagnetskog polja kojim se osigurava zrakonepropusnost i vodonepropusnost spojeva. Potrebna energija i vrijeme spajanja ovisi o brojnim parametrima, a od važnijih je faktor dielektričnih gubitaka u materijalu. Dielektrični gubici su poznati za čiste i homogene materijale (poliuretan, poliamid, poliester i dr.), ali problem određivanja dielektričnih gubitaka nastaje kad su npr. tekstilni materijali naslojeni jednom vrstom materijala (npr. poliuretan), a oni se sastoje od druge vrste materijala (npr. poliester), pri čemu se tkanina ili pletivo sastoji od promjenjivih geometrijskih struktura sa zračnim rasporeima uz nazočnost bojila i drugih sredstava oplemenjivanja tekstila. Tada se dielektrički gubici mogu izmjeriti prikazanom mjernom metodom koja se sastoji od generatora promjenjivih frekvencija, mjernog mosta, indikatora uravnoteženosti mosta, mjernog kondenzatora s ispitivanim materijalom i računala za izračun dielektričkih gubitaka spram izmjerenih parametara (reaktancija i omski otpor) uzorka u mjernom kondenzatoru.

### 3. Zaključak

Visokotehnoške metode spajanja predstavljaju značajan napredak u odjevnom inženjerstvu jer omogućuju izradu funkcionalnih i estetski prihvatljivih spojeva s poboljšanim svojstvima. Ključni čimbenici uspješnog spajanja su pravilno određivanje procesnih parametara, što se postiže primjenom suvremenih mjernih sustava i metoda. Istraživanja pokazuju da kontrola parametara poput akustičke impedancije i dielektričkih gubitaka omogućuje predviđanje optimalnih uvjeta spajanja, čime se osigurava kvaliteta i dugotrajnost spojeva. Daljnji razvoj ovih tehnologija otvara mogućnosti za širu primjenu u proizvodnji odjeće, posebno u segmentu inteligentne i zaštitne odjeće te tehničkog tekstila.

Rezultati istraživanja, nove inovativne metode i uređaji koriste se i u industriji u sklopu realizacije projekta IP.1.1.03.0143 *Multifunkcionalna povezanost osobne zaštitne opreme u svrhu zaštite zdravlja i povećane funkcionalnosti* [9].

**Zahvala:** Dio inovacija prikazanih u radu te financiranje njihove realizacije i kupnje spomenutog stroja za VF spajanje financirano je od Hrvatske zaklade za znanost u sklopu projekta HRZZ IP2018-01-6363 Razvoj i toplinska svojstva inteligentne odjeće (ThermIC).

**Izjava o korištenju AI alata:** U radu nisu korišteni AI alati.

## Literatura

- [1] Rogale, D.; Firšt Rogale, S.: Procesni parametri odjevnog inženjerstva, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN 978-953-8418-2, Zagreb (2025)
- [2] Rogale, D.; Knezić, Ž.: Uređaj i metoda za ispitivanje karakteristika spojeva nastalih visokotehnološkim tehnikama spajanja polimernih materijala, Državni zavod za intelektualno vlasništvo Republike Hrvatske, P20211094A (2021)
- [3] Yang, Y.; Zeng, P.; Lei, L.: High frequency dielectric heating and the strength of flexible polymer seams, *Journal of Materials Processing Technology*, 215 (2015), 105–113
- [4] Čebular, A.; Stepanova, A.; Šorli, I.; Podržaj, P.: Weld quality evaluation in radio-frequency PVC welding process, *Inf. MIDEM*, 41 (2011), 290–296
- [5] Rogale, D.; Firšt Rogale, S.; Knezić, Ž.; Fajt, S.; Časar Veličan, D.; Jukl, N.: Process Parameters of High Frequency Welding, *Materials*, 17 (2024), 1-17
- [6] Rogale, D.; Fajt, S.; Firšt Rogale, S.; Knezić, Ž.: Interdependence of Technical and Technological Parameters in Polymer Ultrasonic Welding, *Machines*, 10 (2022), 1-19
- [7] Mjerni sustav za mjerenje akustičke impedancije polimera pri ultrazvučnom spajanju, Dostupan na: <https://www.croris.hr/patenti/inovacija/24>, Pristupljeno: 02-01-2026
- [8] Metoda mjerenja dielektričkih gubitaka u tekstilnim materijalima, Dostupan na: <https://www.croris.hr/patenti/inovacija/25>, Pristupljeno: 02-01-2026
- [9] Multifunkcionalna povezanost osobne zaštitne opreme u svrhu zaštite zdravlja i povećane funkcionalnosti, Dostupan na: <https://www.ttf.unizg.hr/multifunkcionalna-povezanost-osobne-zastitne-opreme-u-svrhu-zastite-zdravlja-i-povecane-funkcionalnosti/1169>, Pristupljeno: 02-01-2026

# ODRŽIVE I SPORE TEKSTILNE PRAKSE I NJIHOVA ULOGA U MODNOM DIZAJNU

Petra KRPAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska

\* Adresa za korespondenciju: petra.krpan@ttf.unizg.hr

**Sažetak:** Rad se bavi analizom modela održivog modnog dizajna u kontekstu sporih tekstilnih praksi, kao odgovora na dominantni sustav brze mode obilježen ubrzanom proizvodnjom, kratkim životnim vijekom odjevnih predmeta i značajnim negativnim utjecajima na okoliš i društvo. Polazeći od interdisciplinarnog teorijskog okvira brze i spore mode, rad analizira razvoj modnog sustava, ključne značajke modela brze i spore mode te njihove ekološke, društvene i zdravstvene aspekte, s posebnim naglaskom na primjenu toksičnih kemikalija u tekstilnoj proizvodnji. U tom se kontekstu zdravstvena dimenzija održivosti promatra kao neraskidivo povezana s načinima obrade tekstila i izborom materijala. Brojna istraživanja, kao i publicistički i stručni radovi, upozoravaju da intenzivna uporaba kemikalija u procesima bojadisanja, dorade i zaštite tekstila može imati dugoročne posljedice na ljudsko zdravlje, uključujući poremećaje endokrinog sustava, respiratorne probleme i povećani zdravstveni rizik kod radnika u proizvodnji, ali i krajnjih korisnika odjevnih predmeta. Na te rizike dodatno upućuju izvješća međunarodnih organizacija. Metodološki, rad kombinira analizu raznolike interdisciplinarnе literature, pregled relevantnih međunarodnih smjernica i inicijativa, osobito onih Ujedinjenih naroda i Međunarodne organizacije rada (ILO) te studiju slučaja na primjeru rada hrvatske modne i tekstilne dizajnerice Silvane Morgan, kao kvalitativnu metodu kojom se ispituje primjena sporih i održivih praksi u suvremenom modnom dizajnu, s naglaskom na načine obrade tekstila. Posebna se pozornost posvećuje izboru materijala, tehnologijama obrade, transparentnosti lanca opskrbe i dugovječnosti proizvoda kao ključnim elementima održivih modela proizvodnje. Rezultati rada upućuju na to da spore tekstilne prakse predstavljaju održivu alternativu linearnom modelu brze mode te imaju potencijal doprinijeti ne samo smanjenju ekološkog opterećenja modne industrije i unapređenju radnih uvjeta, već i zaštiti zdravlja proizvođača i potrošača. Zaključno, rad naglašava važnost sustavnog pristupa održivoj modi koji polazi od tekstila i načina njegove obrade, pri čemu se pitanje održivosti sagledava već u fazi odabira materijala i tehnoloških procesa. Takav pristup nadilazi individualnu odgovornost potrošača te upućuje na nužnost promjena na razini dizajna, tekstilne proizvodnje i regulatornih okvira.

**Ključne riječi:** spora moda, održivi modni dizajn, tekstil, spore tekstilne prakse, Silvana Morgan

## 1. Uvod

Moda u suvremenom društvu nadilazi estetsku i kulturnu dimenziju te predstavlja složen sustav koji obuhvaća dizajn, proizvodnju, distribuciju, potrošnju, ali i zbrinjavanje tekstilnih proizvoda. Kao takva, modna industrija ima izravan i višestruk utjecaj na okoliš, društvene odnose, uvjete rada i ljudsko zdravlje. Iako se moda često promatra kroz prizmu prolaznih stilova odijevanja, što nipošto nije definicija mode, vizualne kulture i individualnog izražavanja, iza svake modne kolekcije nalazi se globalni lanac opskrbe obilježen intenzivnim korištenjem prirodnih resursa, raznolikih kemikalija i rada, čije su posljedice nerijetko nevidljive krajnjim potrošačima. U posljednjim desetljećima dominantan poslovni model modne industrije postao je model brze mode (engl. *fast fashion*), obilježen ubrzanom proizvodnim ciklusima, čestim izmjenama kolekcija i niskim cijenama, ali često lošom kvalitetom proizvoda. Takav model potiče kratkotrajan životni vijek odjevnih predmeta, masovnu potrošnju i rastuće količine tekstilnog otpada, uz istodobno značajne negativne učinke na okoliš, društvo i uvjete rada. Brojna istraživanja raznolikih programa Ujedinjenih naroda ukazuju na visoku potrošnju vode i energije, značajan udio modne industrije u globalnim emisijama stakleničkih plinova te intenzivno onečišćenje voda povezano s procesima bojadisanja i obrade tekstila. Brza moda predstavlja jedan od vrlo važnih i značajnih čimbenika koji utječu na ubrzane klimatske promjene, onečišćenje okoliša i iscrpljivanje prirodnih resursa. Prema podacima Ujedinjenih naroda za okoliš, tekstilna industrija sudjeluje s oko 10% u globalnim emisijama ugljikova dioksida i predstavlja drugog najvećeg potrošača vode na svijetu, posebno kada se radi o obradama tekstila [1]. No, to nije jedini problematičan aspekt brze mode, odnosno mode koja nastaje u lancima brze, često i nekontrolirane proizvodnje. Prema analizama i izvještajima Međunarodne organizacije rada (ILO), tekstilna, odjevna, kožna i obućarska industrija zapošljava milijune ljudi diljem svijeta, pod vrlo sumnjivim i nesigurnim uvjetima, uz niske plaće, dugotrajno radno vrijeme i ograničenu zaštitu radničkih prava [2]. ILO nadalje, upozorava da je pritisak na

ubrzavanje proizvodnje, snižavanje troškova rada, jedan od ključnih uzroka kršenja radnih standarda [2]. Tako se pitanje održivosti cjelokupne modne industrije pozicionira kao etičko i društveno, a ne samo ekološko. Odnosno, potrebno je preispitati cjelokupni dominantni sustav brze mode. Kao odgovor na navedene izazove razvija se koncept spore mode (engl. *slow fashion*), koji u ovom radu ne označava poseban estetski pravac, već drugačiji sustav vrijednosti i praksi u modnom i tekstilnom dizajnu. Termin spore mode uvodi britanska autorica i dizajnerica Kate Fletcher, a odnosi se na pristupe koji naglašavaju kvalitetu, dugovječnost, etičnost, transparentnost i odgovornije korištenje resursa, uz poštivanje radnih uvjeta i društvene odgovornosti [3]. U kontekstu ovoga istraživanja i rada preciznije je govoriti o sporim tekstilnim praksama, koje predstavljaju alternativu ubrzanom i linearnom modelu proizvodnje karakterističnom za brzu modu. Spore tekstilne prakse omogućuju promišljeniji vremenski ritam proizvodnje, veću kontrolu nad materijalima i procesima izrade te jasniju povezanost između dizajna, rada i krajnjeg proizvoda. Dobri primjeri na području Republike Hrvatske obuhvaćaju rad na lokalnoj razini, povezivanje s drugim dizajnerima, razmjenu tkanina i materijala, bojadisanje prirodnim bojilima, iskorištavanje lokalnih resursa, npr. vune. Jednostavno, takav pristup otvara prostor za održivije modele modne i tekstilne proizvodnje koji istodobno uključuju ekološke, društvene i zdravstvene aspekte modnog sustava. Cilj ovog rada jest analizirati postojeće modele održivog modnog dizajna u kontekstu sporih tekstilnih praksi te ispitati njihov potencijal kroz teorijski okvir i studiju slučaja lokalne dizajnerske prakse na primjeru hrvatske dizajnerice Silvane Morgan iz Rovinja (Slika 1).



**Slika 1.** *Slow fashion* kolekcija *Mokodonja* hrvatske dizajnerice Silvane Morgan, fotografija Tea Pozar, model: Maja Lukavečki

U svom radu o održivom modnom dizajnu posebno je relevantan primjer navedene dizajnerice, čiji rad ilustrira primjenu sporih tekstilnih praksi kroz tehniku prirodnog bojadisanja i eko printa. Kako ističe i sama dizajnerica, *višak slobodnog vremena tijekom pandemije potaknuo ju je na istraživanje i eksperimentiranje s drevnom tehnikom bojenja tkanina pigmentima iz prirode*, što je rezultiralo stvaranjem unikatnih tekstilnih uzoraka koji su danas u samoj srži brenda. Osim Morgan, dobri primjeri sporih tekstilnih praksi u Republici Hrvatskoj su i radovi modne i tekstilne dizajnerice Ivane Biočine koja je osnovala IOM (Institut održive mode), 2021. godine. Njezin pristup ide korak dalje, jer Biočina sama uzgaja biljke s kojima vrši procese stvaranja tkanina i bojadisanja. Biočina stvara u ciklusima, proljeće, ljeto, jesen i zima. U svom radu strogo poštuje izmjenu godišnjih doba, sporije procese stvaranja zimi jer ima manje resursa. U kontekstu sporih tekstilnih praksi, hrvatska dizajnerica Vedrana Peček također koristi prirodno bojadisanje kao temelj za njezin rad. Peček se pozicionirala kao jedna od vodećih stručnjakinja, eksperimentirajući s pigmentima [4]. Ova metoda bojadisanja, u kojoj se koriste prirodni pigmenti i tehnike eko printa, predstavlja važan element održive i male proizvodnje jer smanjuje upotrebu sintetičkih bojila i štetnih kemikalija opasnih po zdravlje te promiče korištenje lokalno dostupnih materijala poput svile, lana i pamuka. Takav pristup ne samo da doprinosi smanjenju ekološkog učinka, već i omogućuje spor i promišljen način dizajnerske prakse, čime se pokušava suprotstaviti masovnoj i intenzivnoj proizvodnji karakterističnoj za brzu modu. Primjer Silvane Morgan jasno pokazuje kako proces bojadisanja tekstila može postati mjesto primjene održivih principa, od odabira materijala, preko načina obrade pa sve do izrade limitiranih, unikatnih kolekcija koje odražavaju vrijednosti spore mode i promišljene potrošnje. Ovakve prakse omogućuju da tekstil kroz prirodno bojadisanje postane ne samo estetski proizvod već i nositelj novih kulturnih, ekoloških i etičkih značenja, čime se utjelovljuje integralna vizija održivog modnog dizajna u lokalnoj praksi. Rad također pridonosi početnim teorijskim

istraživanjima programskog projekta *Interdisciplinarne metodološke i umjetničke perspektive u suvremenim istraživanjima dizajna tekstila i tekstilne umjetnosti* (IMPUP-TEX), voditeljice izv. prof. art. Josipe Štefanec (Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet), u kojemu tekstil nije samo područje estetskog izraza, već platforma za analizu složenih društvenih odnosa, identiteta, sjećanja, rodne i klasne dinamike, kao i ekologije i održivosti. Uvođenjem lokalnog konteksta rad se pozicionira upravo unutar programskog projekta i istraživanja, ali i tematskog okvira ovogodišnjeg znanstveno-stručnog savjetovanja, istodobno naglašavajući sve veću potrebu za pronalaskom alternativnih modela modnog sustava te ulogu lokalnih kreativnih aktera u razvoju održivih, etičnih i društveno odgovornih modela tekstilne i modne proizvodnje.

## 2. Eksperimentalni dio

### 2.1. Metodologija

Rad se temelji na istraživačkom pristupu, koji kombinira teorijsku analizu, analizu primarnih i sekundarnih izvora i studiju slučaja. Takav metodološki okvir prikladan je za istraživanje složenih fenomena poput održivosti u modnom dizajnu, koji uključuju estetske, društvene, ekonomske i ekološke dimenzije. Istraživanje je interdisciplinarno utemeljeno te se oslanja na spoznaje iz područja modnog dizajna, teorije i sociologije mode, ali i raznolikih studija održivosti. Teorijski dio rada polazi od autora koji su ključni za razumijevanje dinamike suvremene modne industrije i kritike njezina dominantnog modela funkcioniranja. Koncept brze mode sagledava se kroz sociološke interpretacije mode kao sustava stalne promjene, zavidljivosti i potrošnje, kakve razvija francuski sociolog Gilles Lipovetsky. U svojim radovima, posebice u djelima *Carstvo prolaznoga* iz 1987. godine i *Paradoksalna sreća* iz 2008. godine, Lipovetsky modu opisuje kao mehanizam koji istodobno proizvodi osjećaj slobode izbora i neprestanu potrebu za novim, čime se stvaraju preduvjeti za ubrzane potrošačke cikluse karakteristične za brzu modu [5]. Njegov teorijski doprinos omogućuje razumijevanje kulturne i društvene logike koja stoji iza prihvaćanja modela brze mode. Moda se više ne razumije kao pojava ili fenomen, već kao složena društvena i estetska forma [5]. Pojam identiteta nije nipošto nova tema u istraživanjima teorije mode, no proces ubrzavanja ciklusa modne industrije koji je potaknut razvojem novih digitalnih medija, doveli su do pojave novih strategija društvenog razlikovanja [6]. U tom kontekstu, stvaranje i oblikovanje identiteta u modi tradicionalno se povezuje s pojmovima kulture, društvene klase, roda, spola. No, ti isti pojmovi s dolaskom digitalnih novih medija, postaju fluidni, promjenjivi i otvaraju prostor za društvenu distinkciju u ubrzanom modnom sustavu [6]. Britanski teoretičar Malcolm Barnard, u tom kontekstu, brzu modu promatra kao sustav komunikacije (engl. *fashion as communication*), potrošnje u kojemu odjevni predmeti prenose društvena značenja povezana s pojmovima identiteta i statusa [7].

Suprotno takvom modelu, spore tekstilne prakse nastoje ponovno uspostaviti značenje, trajnost i vrijednost odjevnog predmeta, čime se moda vraća iz sfere prolazne robe u područje kulturne i društvene prakse. Nadalje, smatra se da je pojam *spore odjeće* (engl. *slow clothes movement*) skovala modna novinarka Angela Murrills 2004. godine [8]. Princip ovoga pokreta bio je prije svega dati prednost lokalnim tekstilnim resursima i proizvodnji. Spora moda naglašava uporabu lokalno dostupnih tekstilnih sirovina, lokalnu proizvodnju tkanina i odjevnih predmeta te suradnju s lokalnim proizvođačima i obrtnicima. Takav princip rada uključuje i Morgan, u uvjetima kada je moguće ostvariti suradnju s lokalnim proizvođačima i obrtnicima na području Istarske županije. Nadalje, na taj način smanjuje se ovisnost o globaliziranim lancima opskrbe robe, ograničava transport materijala i potiče na odgovorno upravljanje resursima. Tako se izravno utječe na smanjenje negativnih utjecaja brze modne industrije. Pokret spore mode zagovara da procesi proizvodnje tekstila i odjevnih predmeta budu u cijelosti transparentni, od podrijetla vlakna, načina obrade tkanina do završne obrade. Murrills naglašava uporabu dugotrajnih i odgovorno obrađenih materijala jer je to ključno razlikovanje spore naspram brze mode. Održiv i otporan tekstil, uz odgovorno promišljene tehnike obrade, doprinose smanjenju učestalosti zamjene odjevnih predmeta, usporavanju potrošačkog ciklusa i smanjenju negativnog utjecaja na okoliš [8].

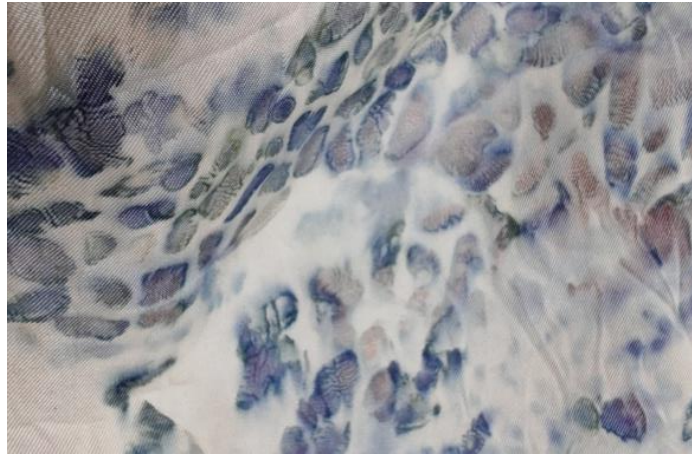
Koncept spore mode u ovome radu temelji se na metodološkom okviru autorice Kate Fletcher. Fletcher u svojim radovima *Sustainable Fashion and Textiles: Design Journeys* iz 2014. godine i *Fashion & Sustainability: Design for Change* iz 2012. godine, nudi definiciju spore mode ne kao estetsku kategoriju, već kao sustav vrijednosti i praksi koji naglašava kvalitetu, dugotrajnost, etičnost i odgovoran odnos prema resursima [3]. Njezina razmišljanja o sporoj modi pružaju temelj za analizu održivog modnog dizajna kao procesa koji se suprotstavlja logici ubrzane proizvodnje i kratkotrajnog korištenja. Nadalje, u svojoj knjizi *Slow Living*, autori Parkins i Craig opisuju ovaj pokret kao *proces u kojem se životu... pristupa s brigom i pažnjom... pokušaj življenja u sadašnjem trenutku na smislen, održiv, promišljen i ugodan način* [9]. Dodatni teorijski okvir rada čine suvremene analize koje problematiziraju utjecaj modne industrije na okoliš i ljudsko zdravlje, s posebnim naglaskom na sigurnost tekstila. U tom kontekstu, važan izvor predstavlja istraživački i publicistički rad istraživačke novinarkinje Alden Wicker, osobito knjiga *To Dye For: How Toxic Fashion Is*

*Making Us Sick*. Wicker kroz interdisciplinarni pristup povezuje znanstvena istraživanja, industrijske prakse i konkretne studije slučaja kako bi ukazala na zdravstvene rizike povezane s upotrebom toksičnih kemikalija u tekstilnoj proizvodnji [10]. Njezini radovi služe kao relevantan izvor za sagledavanje održivosti ne samo kroz ekološku i etičku, već i kroz zdravstvenu dimenziju. Wicker donosi uznemirujući, ali iznimno važan uvid u često zanemarenu tamnu stranu modne i tekstilne industrije. Kroz istraživačko novinarstvo potkrijepljeno konkretnim primjerima, autorica razotkriva na koje načine tekstilne kemikalije i procesi bojadisanja doprinose onečišćenju okoliša, ugrožavaju ljudsko zdravlje te zašto potreba za sustavnom promjenom postaje neizbježna. Kroz detaljnu analizu i brojne primjere iz stvarnog života, autorica Wicker povezuje prisutnost toksičnih tvari u tekstu s porastom ozbiljnih zdravstvenih problema, uključujući karcinome, autoimune bolesti, hormonalne poremećaje i neplodnost [10]. Ovo djelo nudi povijesni, znanstveni, društveni i potrošački okvir problema, istodobno ukazujući na moguće smjerove rješenja. Upravo je mogući smjer na primjeru male, lokalne proizvodnje pokazan u ovom istraživanju. Nadalje, autorice Sara Strgačić i Petra Krpan stoga ističu kako se razvijaju i stvaraju različiti inovativni materijali koji odgovaraju potrebama novog tržišta i novog društva, svjesnog važnosti održive mode [11]. Posebno se ističu materijali biološkog podrijetla, poput onih dobivenih iz micelija gljiva, koji se pozicioniraju na granici živog i neživog te nude alternativu konvencionalnim tekstilima i koži. Zahvaljujući svojstvima poput biorazgradivosti, biokompatibilnosti i mogućnosti održive proizvodnje, ovi materijali imaju potencijal za širu primjenu u modnom i tekstilnom dizajnu budućnosti. Razvoj alternativnih materijala također pridonosi promjeni paradigme u tekstilnom i modnom dizajnu, pri čemu materijal postaje temeljni nositelj dizajnerskog koncepta, a ne samo pasivni medij. Na taj se način otvara prostor za eksperimentalne, sporije i promišljenije pristupe dizajnu koji su u skladu s načelima održive i spore mode [11].

Empirijski dio rada koristi studiju slučaja kao kvalitativnu istraživačku metodu, s ciljem analize konkretne primjene sporih i održivih tekstilnih praksi u lokalnom kontekstu na području Republike Hrvatske. Studija slučaja omogućuje dublje razumijevanje načina na koji se teorijski koncepti održivosti i spore mode manifestiraju u stvarnoj dizajnerskoj praksi. Kao primjer odabrana je dizajnerska praksa hrvatske modne i tekstilne dizajnerice Silvane Morgan, čiji se rad analizira kroz kriterije relevantne za održivi modni dizajn: izbor i podrijetlo materijala, obujam i ritam proizvodnje, način izrade, odnos prema dugovječnosti proizvoda te svjesno pozicioniranje izvan logike brze mode, unutar lokalnog konteksta. Analiza se ne temelji na kvantitativnim pokazateljima, već na istraživačkoj interpretaciji dizajnerskog procesa i vrijednosnog sustava koji stoji iza male i spore proizvodnje. Takav metodološki pristup omogućuje povezivanje teorijskih koncepta s konkretnom lokalnom praksom, pri čemu se lokalni dizajnerski rad promatra kao relevantan dio šireg diskursa o održivoj modi. U tom kontekstu, studija slučaja doprinosi razumijevanju uloge lokalnih kreativnih aktera u razvoju održivih modela modne proizvodnje i kulturno-kreativnih industrija.

### 3. Rezultati

Rezultati istraživanja potvrđuju da modeli održivog modnog dizajna utemeljeni na sporim tekstilnim praksama predstavljaju relevantnu i održivu alternativu dominantnom sustavu brze mode, osobito kada se analiziraju kroz prizmu lokalnih dizajnerskih praksi. Usporedba teorijskog okvira s empirijskim primjerom pokazuje da lokalni dizajnerski rad na primjeru dizajnerice Silvane Morgan omogućuje znatno veću razinu kontrole nad cjelokupnim procesom proizvodnje, od konceptualne faze dizajna do završne izrade proizvoda. Za Morgan, ta kontrola ključna je za implementaciju sporih tekstilnih praksi, jer omogućuje svjesne odluke o materijalima, tehnologijama izrade i obujmu proizvodnje [4]. Raditi sporije i svjesnije, bojadisati prirodnim bojilima, iskoristiti ili prekrojiti materijale, sve to ukazuje da je model održivog modnog dizajna, iako vrlo zahtjevan u lokalnom kontekstu, ipak izvediv (Slika 3.). Analiza studije slučaja ukazuje na jasno odstupanje od logike ubrzanih proizvodnih ciklusa i masovne proizvodnje karakterističnih za brzu modu. Kod Morgan nema mjesta elementima brze mode, jer se odjevnom predmetu pristupa održivo od samoga početka. Umjesto kontinuiranog lansiranja novih kolekcija, lokalna dizajnerska praksa temelji se na ograničenim serijama i promišljenom ritmu proizvodnje. Takav pristup ne samo da smanjuje pritisak na resurse, već redefinira i pojam vrijednosti odjevnog predmeta, koji se ne temelji na prolaznosti, već na svojevrsnoj dugovječnosti, funkcionalnosti i estetskoj trajnosti. Ovakav model potvrđuje temeljne postavke spore mode, prema kojima kvaliteta i trajnost imaju prednost nad kvantitetom i brzinom, ali često nisu za velik broj potrošača.



**Slika 3.** Silvana Morgan, eko print crnim grahom, 2026. godina, fotografija: Silvana Morgan

S ekološkog aspekta, rezultati pokazuju da manji obujam proizvodnje i produljeni životni vijek proizvoda izravno doprinose smanjenju tekstilnog otpada, jer Morgan iskorištava većinu materijala i nema otpada te racionalnije koristi prirodne resurse. U usporedbi s linearnim modelom brze mode, koji potiče brzu potrošnju i odbacivanje, spore tekstilne prakse usmjerene su na smanjenje ukupnog ekološkog učinka kroz dugoročnu upotrebu odjevnih predmeta. Time se potvrđuje da održivi modni dizajn nije isključivo pitanje izbora *ekoloških* materijala, već cjelovitog pristupa dizajnu, proizvodnji i potrošnji. Društveni aspekt analize dodatno naglašava vrijednost lokalnog karaktera proizvodnje. Lokalna dizajnerska praksa omogućuje veću transparentnost proizvodnih procesa i jasniju vidljivost rada, što je u suprotnosti s globalnim lancima brze mode, gdje su radni uvjeti često netransparentni, loši i slabo regulirani. Rezultati ukazuju na to da lokalna proizvodnja može pridonijeti etičkom odnosu prema radu, boljoj kontroli radnih uvjeta i jačanju veze između dizajnera, proizvođača i korisnika proizvoda. Time se modni dizajn pozicionira ne samo kao estetska praksa, već i kao društveno odgovorna djelatnost. Posebno važan rezultat istraživanja odnosi se na pitanje sigurnosti tekstila, koje se u kontekstu održive mode često marginalizira u odnosu na pitanja okoliša i rada. Rezultati istraživanja potvrđuju da usporeni proizvodni procesi i manji obujam proizvodnje stvaraju povoljnije uvjete za promišljeniji izbor materijala i veću kontrolu nad upotrebom kemikalija u tekstilnoj proizvodnji. Time se otvara prostor za smanjenje izloženosti potencijalno štetnim tvarima, što održivom modnom dizajnu daje dodatnu dimenziju povezanu s zdravljem. Ovo istraživanje izravno nadovezuje teorijske okvire koji upozoravaju na zdravstvene posljedice toksičnih kemikalija u brzom modi, potvrđujući da održivost mora obuhvatiti i zdravstveni aspekt proizvodnje i nošenja odjeće. Unatoč brojnim prednostima, rezultati istraživanja ukazuju i na ograničenja sporih i lokalnih modela modnog dizajna. Takvi modeli suočavaju se s velikim izazovima, često višim troškovima proizvodnje i ograničenom tržišnom dostupnošću, osobito u usporedbi s globalnim lancima brze mode. Međutim, upravo to pokazuje da njihova lokalna ukorijenjenost, vrijednosni sustav i usmjerenost na kvalitetu predstavljaju njihovu ključnu snagu. Umjesto težnje za masovnim rastom, ovakav model poslovanja nudi alternativnu viziju razvoja modne industrije, utemeljenu na održivosti, odgovornosti i kulturnoj specifičnosti.

Lokalna dizajnerska praksa može se promatrati kao dobar primjer kako kreativne industrije doprinose održivom modnom i tekstilnom razvoju i oblikovanju kulturnog identiteta. Rezultati istraživanja upućuju na to da održivi modni dizajn, osobito kada je ukorijenjen u lokalnom kontekstu, ima potencijal postati važan element kulturno-kreativnih industrija te alat za promicanje odgovornih i dugoročno održivih modela proizvodnje i potrošnje.

#### 4. Diskusija

Rezultati istraživanja potvrđuju teorijske okvire o potrebi nužne transformacije dominantnog modela modne industrije, ali ih istodobno nadopunjuju konkretnim uvidima iz lokalnog konteksta. Usporedbom brze mode i sporih tekstilnih praksi vidljivo je da razlike među njima nisu isključivo kvantitativne (brzina, količina, cijena), već duboko vrijednosne i strukturne. Ovaj rad potvrđuje sociološke interpretacije mode kao sustava stalne promjene i potrošnje, kakve opisuje i Lipovetsky, ali istodobno pokazuje granice takvog sustava u kontekstu održivosti. U teorijskom okviru spore mode, kako ga definira Fletcher, održivost se ne svodi na pojedinačne *zelene* intervencije, već na promjenu temeljne logike dizajna i proizvodnje [3]. To je upravo ono što čini i modna dizajnerica Morgan. Rezultati ovog rada potvrđuju da se takva promjena najučinkovitije ostvaruje u sporim i lokalnim modelima, gdje je moguće uskladiti dizajnerske odluke s etičkim, ekološkim i društvenim

kriterijima. Lokalna dizajnerska praksa omogućuje provođenje upravo onih principa koje Fletcher ističe kao ključne: promišljen ritam proizvodnje, dugovječnost proizvoda i odgovoran odnos prema resursima [3].

Posebno značajan doprinos raspravi o održivoj modi odnosi se na zdravstveni aspekt tekstilne i modne proizvodnje, koji je u znanstvenim i stručnim raspravama često nedovoljno naglašen. Analiza sporih tekstilnih praksi pokazuje da usporeni proizvodni procesi i manji obujam proizvodnje stvaraju preduvjete za veću kontrolu nad kemijskim sastavom materijala i procesima obrade. Ova istraživanja izravno se nadovezuju na važna upozorenja Wicker o zdravstvenim rizicima povezanim s toksičnim kemikalijama u tekstu, potvrđujući da održivost u modi mora uključivati i dimenziju javnog zdravlja, a ne samo ekološke i etičke aspekte [10]. Rasprava također ukazuje na to da spore i lokalne modne prakse ne treba promatrati kao marginalne, već kao kreativne prostore alternativnih modela proizvodnje. Iako takvi modeli imaju ograničenja u pogledu tržišne konkurentnosti, njihova vrijednost leži u sposobnosti demonstracije drugačijih proizvodnih i potrošačkih logika koje su sve više prisutne. Umjesto masovne dostupnosti, naglasak se stavlja na kvalitetu, transparentnost i dugoročnu vrijednost, čime se dovodi u pitanje dominantni kriterij uspjeha u modnoj industriji. Lokalna dizajnerska praksa može se interpretirati kao važan element kulturno-kreativnih industrija koji doprinosi održivom razvoju i oblikovanju lokalnog identiteta. Umjesto da moda bude isključivo potrošački proizvod, ona se u ovom okviru pozicionira kao nositelj vrijednosti, znanja i odgovornosti. Upravo lokalni dizajneri i obrtnici mogu imati ključnu ulogu u prevođenju apstraktnih koncepata održivosti u konkretne, ali i primjenjive modele.

## 5. Zaključak

Cilj ovog rada bio je analizirati modele održivog modnog dizajna u kontekstu sporih tekstilnih praksi te ispitati njihov potencijal kroz teorijski okvir i studiju slučaja lokalne dizajnerske prakse. Provedeno istraživanje pokazuje da spore tekstilne prakse predstavljaju održivu i konceptualno koherentnu alternativu dominantnom modelu brze mode, koji je obilježen ubrzanom proizvodnjom, kratkim životnim vijekom proizvoda i značajnim negativnim utjecajima na okoliš, društvo i ljudsko zdravlje. Time se potvrđuje da kritika sustava brze mode nije isključivo ideološka ili estetska, već se temelji na mjerljivim ekološkim, društvenim i zdravstvenim posljedicama.

Istraživanje dodatno potvrđuje da održivi modni dizajn nije reduciran na izbor ekoloških ili alternativnih materijala, već zahtijeva cjelovit, spor i sustavan pristup koji uključuje ritam i obujam proizvodnje, etiku rada, transparentnost lanca opskrbe te sigurnost tekstila. U tom smislu, spore tekstilne prakse omogućuju redefiniranje vrijednosti odjevnog predmeta, s prolaznog i potrošnog objekta na dugotrajan, siguran, funkcionalan i estetski relevantan proizvod. Takva redefinicija ima šire implikacije, jer dovodi u pitanje dominantne potrošačke obrasce i potiče promjenu odnosa prema odjeći, praksama odijevanja, radu i resursima. Analiza lokalne dizajnerske prakse Silvine Morgan pokazuje da upravo lokalni kontekst omogućuje primjenu sporih i održivih modela na način koji je teško ostvariv unutar globaliziranih lanaca brze mode. Lokalna proizvodnja pruža veću kontrolu nad proizvodnim procesima, veću razinu transparentnosti te mogućnost usklađivanja dizajnerskih odluka s ekološkim, društvenim i zdravstvenim kriterijima. Time se potvrđuje da lokalni dizajnerski rad ne predstavlja samo alternativu, već relevantan model koji može poslužiti kao primjer održive prakse unutar kulturno-kreativnih industrija.

Ovaj rad doprinosi razumijevanju održive mode kao sastavnog dijela kulturnog identiteta i odgovornog razvoja lokalnih zajednica. Održivi modni dizajn, osobito kada je ukorijenjen u lokalnom kontekstu, može djelovati kao most između kulture, rada, okoliša i društvene odgovornosti te pridonijeti razvoju održivijih i otpornijih lokalnih ekonomija. Zaključno se može istaknuti da spore tekstilne prakse, iako ograničene u pogledu tržišne konkurentnosti, nude vrijedne smjernice za dugoročnu, moguću transformaciju modne i tekstilne industrije. Njihova važnost ne leži u masovnoj primjeni, već u potencijalu da potaknu promjenu paradigme, od mode kao prolazne potrošne robe prema modi kao odgovornoj, dugoročnoj i društveno relevantnoj praksi. Upravo u toj paradigmi moguće je prepoznati prostor za buduća istraživanja, razvoj raznolikih politika i zakonodavnih okvira, osobito u kontekstu Republike Hrvatske, kao i za primjenu održivih modela koji povezuju dizajn, rad i lokalni identitet.

**Zahvala:** Posebna zahvala modnoj i tekstilnoj dizajnerici Silvani Morgan na inspiraciji i poticaju za izradu ovog rada. Također zahvaljujem fotografkinji Tei Pozar na ustupljenim fotografijama. Rad je nastao u okviru institucijskog projekta Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta, IMPUP-TEXT (TTF-IIP-08) te posebnu zahvalu upućujem voditeljici projekta izv. prof. art. Josipi Štefanec, na stručnoj podršci i poticajima tijekom rada na ovom istraživanju.

**Izjava o korištenju AI alata:** U radu nije korišten AI alat za stvaranje tekstualnog i vizualnog sadržaja, osim kod provjere jezičnih i sintaktičkih pogrešaka.

## Literatura

- [1] United Nations Environment Programme (UNEP): Putting the brakes on fast fashion, Dostupno na: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/putting-brakes-fast-fashion>, Pristupljeno: 07-01-2026
- [2] International Labour Organization (ILO): Labour practices in the global fashion supply chain, Dostupno na: <https://www.ilo.org/topics-and-sectors/supply-chains>, Pristupljeno: 05-01-2026
- [3] Fletcher, K.: Sustainable Fashion and Textiles: Design Journeys, Routledge, ISBN 100415644569, London, (2014)
- [4] Lukavečki, M.: Nova modna kolekcija Silvane Morgan odiše nenametljivim luksuzom, Dostupno na: <https://silvanamorgan.com/nova-modna-kolekcija-hrvatske-dizajnerice-silvane-morgan-odise-nenametljivim-luksuzom/>, Pristupljeno: 07-01-2026
- [5] Lipovetsky, G.: L'Empire de l'éphémère: La mode et son destin dans les sociétés modernes, Gallimard, ISBN-10: 2070711404, Paris, (1987)
- [6] Mackinney-Valentin, M.: Fashioning Identity: Status Ambivalence in Contemporary Fashion, Bloomsbury, ISBN 978-1-4742-4912-6, London, (2017)
- [7] Barnard, M.: Fashion as Communication, Routledge, ISBN 0-145-26018-3, London, (2002)
- [8] Clark, H.: SLOW + FASHION - an Oxymoron - or a Promise for the Future...?, Fashion Theory, 12 (2015) 4, 427-446
- [9] Parkins, W.; Craig, G.: Slow living, Berg, ISBN 978-1845201593, London, (2006)
- [10] Wicker, A.: To dye for: How toxic fashion is making us sick - and how we can fight back, Putnam, ISBN 978-0593422618, New York, (2023)
- [11] Strgačić, S.; Krpan, P.: Inovativni održivi modni materijali iz micelija gljiva, Tekstil, 71 (2022) 3, 174–184

# POVIJESNI NARATIV U MODI: TRENUTAK MRAČNOG ROMANTIZMA (DARK ROMANCE) KAO INSPIRACIJA U MODNOM DIZAJNU

Amela MLIVIC<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Tehnički fakultet Univerziteta u Bihaću, Irfana Ljubijankića bb, Bihać, Bosna i Hercegovina

\* Adresa za korespondenciju: amela.mlivic@unbi.ba

**Sažetak:** Povijesni obrasci bili su ključni u oblikovanju mode kroz različita vremenska razdoblja, odražavajući društvene i kulturne promjene svog vremena. U suvremenom modnom dizajnu, povijesni modni obrasci često se reinterpetiraju, pružajući uvid u cikličku prirodu mode. Elementi povijesne baštine u modi transformirani su u suvremeni modni jezik tijekom stoljeća, stvarajući stalnu dinamiku s prošlim vremenima koja su uspostavila suvremeni modni sustav. Kao takav, ovaj rad spaja integraciju misticizma gotičkog razdoblja s osjećajem nostalgije i fantazije romantičnog trenutka, razmatrajući simboličke elemente dvaju razdoblja koji su poslužili kao osnova za razvoj suvremenih vizualnih izraza u modnom dizajnu. Alexander McQueen uključio je takve teme u svoj modni identitet kroz artikulaciju emocija poput melankolije, erosa i smrti. Cilja rada je definirati prirodu gotičkog i romantičnog trenutka, konceptualizirajući i transformirajući povijesne reference kroz odnos između konstrukcije mode i identiteta s osvrtom na djela Alexandra McQueena.

**Ključne riječi:** gotika, romantizam, Alexander McQueen, modni dizajn, identitet

## 1. Uvod

Vizualna kultura po svojoj prirodi nudi kulturni ili umjetnički odgovor kroz proces kontekstualizacije ili kritike na određenom mjestu i vremenu [1]. Kao neizostavna komponenta kulture, moda se može smatrati jednom od najsuptilnijih karakteristika društva. Kao kulturna vrijednost, ona omogućuje ljudima kroz različita iskustva da izraze svoj stav prema kulturnim promjenama i okolnom svijetu, prevladavajući svoju utilitarnu važnost. Postala je jedno od najvećih kulturnih i društvenih postignuća čovječanstva, doprinoseći društvenoj integraciji i sociokulturnoj interakciji [2]. Moda kao snažan kulturni medij, svojom analizom i odgovorom na različite teme, obuhvaća cijeli proces dizajna i izvedbe, što može snažno ukazati na stanje društva, uključujući društvene strahove i brige. Moda je artikulirana kao oblik izražavanja i identifikacije, transformirajući se u sredstvo razmatranja različitih estetskih koncepata, roda i teorije umjetnosti. Upravo teme poput tame, misterije i nadnaravne prirode kroz svoje karakteristične vizualne elemente igraju vitalnu ulogu u konstrukciji gotičkih narativa u modi. Mnoge studije vezane su uz gotičku simboliku u modi, kroz arhitekturu, umjetnost i kinematografiju, istražujući njezin psihoanalitički utjecaj, čime se postiže trenutak mračnog glamura ili mračnog romantizma u modi. Mračne, a istovremeno romantične teme u modi temelje se na društvenom procesu konstruiranja identiteta kroz novi način razmišljanja o umjetničkom stvaralaštvu, koji je sa sobom donio romantizam počevši od 18. stoljeća pa sve do sredine 19. stoljeća. Konceptualno, stilski i eksperimentalno, moda, oslanjajući se na gotički i romantični povijesni trenutak, istražuje teme poput tjelesne tjeskobe, razmatranja tijela i identiteta, odnosa između ženstvenosti i smrti, na rubu ljepote i užasa. Kroz stanje fascinacije prošlim vremenima, upravo se razvio modni narativ Alexandra McQueena, čija su djela duboko analizirala i artikulirala mračne teme poput smrti, samouništenja kroz cijelu izvedbu prikazivanja emocionalne i fizičke katarze. Približavajući se daleko mračnijoj strani romantizma, kroz svoj modni izričaj postigao je neviđen emocionalni utjecaj kroz odjeću i trenutke teatralnosti. Dizajneri poput Alexandra McQueena revolucionirali su interpretaciju grotesknog u gotičkoj modi krajem 20. stoljeća, koristeći viktorijanske teme poput života, smrti i ljudskog stanja kroz modu, kombinirajući povijesne reference s modernom estetikom [1, 3, 4]. Simbolizirajući moć reinterpetacije povijesti kroz modu, „dark romance“ estetika postigla je mainstream trenutak u modi kao kulturni pokret, ukorijenjen u gotičkim i romantičnim povijesnim narativima.

## 2. Gotika i romantizam kao inspiracijski trenuci

U industriji visoke mode, gotika je jedna od ponavljajućih tema na modnoj pisti. Svoju reinterpetaciju doživjela je u kolekcijama mnogih dizajnera poput Alexandra McQueena, Ricka Owensa, Garetha Puga, Johna Galliana i Yohjija Yamamotoa. Izraz „got“ izvorno se koristio za opisivanje germanskog naroda kojeg

su Rimljani smatrali barbarima i nomadima. Gotička odjeća pojavila se tek u srednjem vijeku, otprilike od 13. do 15. stoljeća. Šireći se Europom, gotika kao književni i vizualni trenutak nastavila se razvijati tijekom 18. stoljeća, posebno diljem Britanije. Uspostavljajući interdisciplinarni prostor koji povezuje književnost i umjetnost, gotika je postala način koji se s vremenom nastavio razvijati odražavajući društvene identitete. Prilagodljivost gotičke teme temeljni je potencijal za njezinu kontinuiranu relevantnost do danas. Unutar gotičkih supkultura, ostala je aktivan prostor za izražavanje društvenog identiteta. U izgradnji supkulturnog identiteta, gotička vizualna kultura i moda postali su mjesto gdje se tijelo može artikulirati na različite načine: može definirati osjećajnost, a kroz naglašavanje monstroznog i grotesknog, propitivati dominantne stavove i ponašanja. Gotika kao vizualni kulturni i modni trenutak, manifestirala se u konstrukciji tijela, identiteta, transformaciji i transgresiji [1, 3]. Gotički modni senzibilitet, uglavnom je koristio crnu boju kao sredstvo za pripovijedanje priče o misteriju, pobuni i emocionalnoj dubini, postajući simbol subverzivne elegancije. Pozivajući se na povijest mode, crna boja povezana je s viktorijanskom odjećom za žalovanje, kao odraz stava prema smrti i tuzi [4]. Povijesna gotička kultura također je povezana s romantičarskim pokretom, čiji korijeni sežu u rano 18. stoljeće. Od svojih početaka kroz umjetnost, književnost i masovne medije, uspjela je kombinirati različite elemente mode karakteristične za viktorijansko doba. Misticizam, senzualnost i magija, sve su to teme koje naglašavaju viktorijansko razdoblje, a koje se mogu koristiti za definiranje romantičnog oblika gotičke kulture, koji podsjeća na srednjovjekovnu fantastiku. Kroz otpor suvremenim normama i ponovno prisvajanje nekada restriktivne odjeće, kombinacijom gotičkih i romantičnih tema, može se oživjeti aristokratski duh tog vremena [3]. Povijest, religija i emocije, stvarajući romantični senzibilitet mašte i nepoznatog, bili su ključni elementi u oblikovanju romantizma ranog 19. stoljeća. S naglaskom na mašti i emocijama, ideja romantizma prožimala je povijest, religiju, književnost, vizualne umjetnosti i sve oblike dizajna, uključujući modu. Romantična filozofija i estetika imale su značajan utjecaj na svaku sljedeću generaciju mode, a jedinstveni oblik romantizma artikuliran je kroz goth i steampunk stilove u couture modnim kolekcijama dizajnera poput Alexandra McQueena i Jean-Paula Gaultiera. Romantičnu kulturu karakterizirao je entuzijazam za mitologiziranu prošlost, koji se manifestirao u svim vizualnim umjetnostima, uključujući likovne i dekorativne umjetnosti [5].

### **3. Dark romance trenutak u djelima Alexandra McQueena**

#### **3.1. Moda i identitet**

„Moda bi trebala biti oblik bijega od stvarnosti, a ne oblik zatočeništva“ [6], rekao je Alexander McQueen. U svojoj vizualnoj naraciji, Alexander McQueen pronalazi inspiraciju u gotičkim, romantičnim i dekadentnim povijesnim izvorima umjetnosti i književnosti, vrlo često odgovarajući na pitanja koja su u svakome od nas poput pitanja smrti i propadanja. U svojoj subverzivnoj modi, McQueen propituje pitanja rodnih normi oblikujući snažnu i agresivnu, ali ranjivu ženu koja svoj status stvara kroz traumu. Ženska odjeća simbolizirala je novu snagu, umjesto osjećaja žrtve. Uspio je prevesti estetiku povijesti umjetnosti i književnosti u vlastiti prepoznatljivi medij, toliko snažan da je značio redefiniranje tjelesnih normi i standarda ljepote u neočekivanim razmjerima. Kroz svoj pristup modi, najveću inspiraciju pronašao je upravo u gotičkim i romantičnim pokretima, s fokusom na posebnu emociju, stvarajući nedefiniran i istovremeno uzvišen osjećaj, nadilazeći općepoznato ljudsko iskustvo kroz modu. Oslanjajući se na umjetnost 19. stoljeća, uspio je kombinirati neobičan pristup u modnom dizajnu kroz sinergiju tamnog i romantičnog, često koristeći crnu boju, dramatične krojeve i siluete, čipku i prozirne materijale. Poznat po svojim mračnim motivima i modnim performansima, McQueenovi dizajni često su odražavali gotički senzibilitet, koristeći crnu boju kako bi pojačao emocionalnu naraciju svojih kolekcija [3-4]. Simbolizirajući jezik ljudskog stanja, kroz duboko emocionalne i provokativne trenutke, stvorio je slojevite narative koji definiraju odnos između života i smrti, ljubavi i gubitka, te ljepote i propadanja. Stvarajući modne komade kao artefakte iz drugog nepoznatog svijeta, njegov narativ odražavao je opsesiju mračnim romantizmom i nadrealnim vizijama, koristeći prošlost kako bi propitao sadašnji trenutak. Redefinirajući standarde ljepote, analizirajući koncept individualnosti i esencijalno postojanje čovjeka, njegovi su radovi obuhvaćali utjecaj na um i tijelo, a njegova moda je postala jezik za duboko istraživanje ljudskog stanja [6].

#### **3.2. Osvrt kroz kolekcije Alexandra McQueena**

U mnogim kolekcijama, Alexander McQueen je kombinirao definiciju romantične, gotičke i dekadentne osjetljivosti kroz mnogo složeniji pristup povijesnim temama. Prema mnogim kritičarima, kroz svoje kolekcije želio je postići „uzvišeni“ trenutak u smislu umjetničke estetike kroz povezivanje s emocijama. Imao je poseban pristup kroz inspiraciju romantizma, naglašavajući strahopoštovanje i čuđenje, strah i teror kroz koncept uzvišenog.



**Slika 1.** Haywain Triptych, Hieronymus Bosch oko 1515., primarna inspiracija za istraživanje ljepote i kaosa Alexandra McQueena [7]

Koristio je inspiraciju i trenutke prirode, najčešće kroz teme romantičarskih umjetnika koji su težili upravo postizanju uzvišenog trenutka, gdje je estetizacija ženskog tijela više podsjećala na nadnaravna bića nego na njihov stvarni oblik. U mnogim kolekcijama McQueen koristi povijesne reference 19. stoljeća, posebno viktorijanske gotike, kombinirajući elemente romantike i užasa kroz život i smrt. Religijske slike iz srednjeg vijeka i novijih razdoblja bile su prisutne u cijelom njegovom radu, jer su upravo srednjovjekovni prikazi utjecali na mnoge romantične umjetnike čijim se radom McQueen inspirirao [3,8]. Rani primjer kolekcije Alexandra McQueena s gotičkim i romantičnim senzibilitetom je kolekcija „The Dance of the Twisted Bull“ za proljeće/ljeto 2002. Kolekcija se smatra jednom od najuspješnijih kada su u pitanju mračne i romantične teme. Prsvajanjem mnogo mračnije strane romantičarskog pokreta, McQueen je uspješno dekonstruirao romantičarski inherentni historicizam kroz tradicionalne volane i printeve, sprječavajući banalnu interpretaciju povijesnog kostima. Paradigmatski primjer je kolekcija „The Widows of Culloden“ za jesen/zimu 2006. Smatra se najboljim primjerom romantične osjetljivosti Alexandra McQueena kroz gotičke i dekadentne teme.



**Slika 2.** Steven Meisel za časopis Vogue, svibanj 2011. [9]

Referirajući se na povijesni poraz Škotske i podvrgavanje Škotske engleskoj vlasti, odjevne kombinacije ove kolekcije postigle su vrlo snažnu romantičnu nostalgiju za prošlim vremenima kombinirajući viktorijanske siluete. Ukupni učinak kolekcije pojačan je kontrastnim odjevnim kombinacijama od laganog šifona koje modelu pružaju lagan i krhak izgled u kombinaciji s tradicionalnim škotskim tartanom i teškim tvidom. Jedna od kasnijih kolekcija Alexandra McQueena, koja u svom najvećem obliku predstavlja definiciju romantičnog u modi, jeste kolekcija „The Girl Who Lived on the Tree” jesen/zima 2008. Kolekcija predstavlja izravnu romantičnu paradigmu između modnog privravanja povijesnih elemenata odjeće i slobode reinterpretacije različitih razdoblja na temelju figurativnog utjecaja. Na temelju trivijalne upotrebe narativa koji podsjeća na modni pristup Johna Galliana, kolekcija prisvaja povijesne elemente kostima, kombinirajući različite povijesne siluete i detalje. U kolekciji „Horn of Plenty“ za jesen/zimu 2009., povijesne reference bile su predstavljene u izobilju. Cijeli modni nastup i ambijent odjeknuli su dekadentnim, inherentnim i romantičnim prezirom prema tehnološkom napretku [4]. Kroz svoj ekstravagantni tematski i avangardni pristup modi, McQueen se smatra jednim od najprovokativnijih dizajnera ikad. Dramatične naracije koje su se oslanjale na kulturne strahove i društvene tjeskobe bile su vidljive u njegovim kolekcijama i modnom nastupu. U suvremenom modnom diskursu, teme u kolekcijama Alexandra McQueena ostaju relevantne kao sredstvo narativa i kritike kroz propitivanje odnosa mode prema tijelu i identitetu.



Slika 3. „Dark Angel“ Tima Walkera za časopis Vogue, ožujak 2015. [10]

#### 4. Zaključak

Analizirajući povijesne narative u modi, s naglaskom na gotički i romantičarski trenutak, ovaj rad ukazuje na snažnu i bezvremensku vezu između povijesnih referenci i njihove reinterpretacije u modnom dizajnu. Gotika i romantizam nisu ostali samo interdisciplinarni kulturni pokreti ograničeni na književnost i likovnu umjetnost, već su se transformirali u snažne vizualne narative uključujući i modu. U djelima dizajnera poput Alexandra McQueena, kombinacijom povijesnih referenci kroz dijalog između prošlosti i sadašnjosti te propitivanjem tema poput ljudskog stanja, tijela i identiteta, moda prestaje biti estetska i funkcionalna kategorija društva i postaje snažan kulturni medij. McQueen je uspio oblikovati svoj jedinstveni modni izričaj kombinirajući povijesne teme gotičkog i romantičnog pokreta, redefinirajući tako ulogu mode kao aktivnog prostora za umjetničko i psihološko istraživanje. Trenutak „dark romance“ kao suvremeni odraz prošlih vremena, jasno potvrđuje cikličku i transformativnu prirodu mode, a istovremeno održava simboličku relevantnost povijesti.

#### Literatura

- [1] Richards, J.: Manifesting the Gothic: Reflections on Fashion and Visual Culture, Manchester Metropolitan University, Manchester, (2025)
- [2] Abdullayeva, Sh.F.: Fashion as a Cultural-Spiritual Component of Human Existence, Al-Farabi Kazakh National University Journal of Philosophy, Cultural Studies and Political Science, 82 (2022) 4, 137-142

- [3] Riskey, E.K.: *Dark Glamour and Desire: An Exploratory Look at Psychoanalysis and the Work of Alexander McQueen*, Ryerson University, Toronto, (2014)
- [4] Aus, S.: Romantic, Gothic and Decadent themes in the work of Alexander McQueen, *Gothic to Goth: Romantic Era Fashion & Its Legacy*, Dostupan na: <https://artsandculture.google.com/story/gothic-to-goth-romantic-era-fashion-its-legacy/6QUBuwD5mm2UKQ>, Pristupljeno: 06-01-2026
- [5] RIOT: Alexander McQueen: The Visionary of Dark Romanticism, Dostupan na: <https://riot.nyc/alexander-mcqueen-dark-romanticism-fashion-icon/>, Pristupljeno: 06-01-2026
- [6] Kirpalov, A.: Alexander McQueen: 5 Fashion Collections Inspired by Art, Dostupan na: <https://www.thecollector.com/alexander-mcqueen-fashion-collections-art/>, Pristupljeno: 06-01-2026
- [7] Savané, M.D.: The Fantasy of Ugliness in Alexander McQueen Collections (1992-2009), *2i: Revista de Estudos de Identidade e Intermedialidade*, 3 (2021) 5, 203-221
- [8] Mower, S.: Alexander McQueen's "Savage Beauty" to Open at the Victoria & Albert Museum in March, Dostupan na: <https://www.vogue.com/article/alexander-mcqueen-savage-beauty-retrospective-victoria-albert>, Pristupljeno: 06-01-2026  
'Dark Angel' by Tim Walker for Vogue UK, March 2015, Dostupan na: <https://fashioncow.com/2015/02/dark-angel-tim-walker-vogue-uk-march-2015/>, Pristupljeno: 06-01-2026

# ULOGA 3D PROJEKTIRANJA ODJEĆE U OBRAZOVANJU INŽENJERA ZA POTREBE SUVREMENE TEKSTILNE INDUSTRIJE

Marija PEŠIĆ<sup>1\*</sup>, Ineta NEMEŠA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Novi Sad, Technical Faculty „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin, Serbia

\* Adresa za korespondenciju: marija.stankovic.986@gmail.com

**Sažetak:** Digitalne tehnologije, a naročito 3D projektiranje i simulacija odjeće, imaju sve značajniju ulogu u suvremenoj tekstilnoj industriji, te samim tim i u visokom obrazovanju. Programi za 3D projektiranje odjeće omogućavaju brži razvoj proizvoda, smanjuju potrebu za izradom fizičkih prototipova i doprinose boljem razumijevanju odnosa između konstrukcije kroja, svojstava materijala i pristajanja odjeće. U ovom radu prikazana je primjena softvera Browzwear V-Stitcher u nastavnom procesu na studijskom programu Odevno inženjerstvo na Tehničkom fakultetu „Mihajlo Pupin“ u Zrenjaninu. Eksperimentalni dio obuhvaća 3D modeliranje i simulaciju jednostavnog modela odjeće, kroz koje su studenti razvijali digitalne, analitičke i inženjerske vještine. Rezultati ukazuju da 3D simulacija odjeće predstavlja efikasan obrazovni alat koji doprinosi razvoju inženjerskih kompetencija i priprema studente za zahtjeve suvremene odjevne industrije, posebno u kontekstu digitalne transformacije i održivog razvoja. U radu su dodatno analizirane prednosti i ograničenja primjene ovog softvera u nastavnom procesu.

**Cljučne riječi:** 3D projektiranje odjeće, 3D simulacija odjeće, digitalne tehnologije, odjevno inženjerstvo, visoko obrazovanje, Browzwear V-Stitcher

## 1. Uvod

Tekstilna industrija se nalazi u stalnoj transformaciji u skladu sa tehnološkim napretkom i četvrtom industrijskom revolucijom (tzv. Industrija 4.0) dok se istovremeno suočava i sa nestabilnim globalnim tržišnim uvjetima, promjenama u potrošačkom ponašanju. Primjena naprednih, digitalnih tehnologija u tvrtkama postaje jedan od važnih čimbenika za konkurentnost poduzeća u suvremenom poslovnom okruženju. Od umjetne inteligencije i 3D tehnologija do robotike, pa čak i društvenih medija, digitalna integracija je promijenila način na koji svijet funkcionira. Za postizanje bolje konkurentnosti brzina plasiranja proizvoda na tržište, smanjenje otpada i optimizacija resursa od ključne su važnosti, primjena suvremenih 3D tehnologija i UI alata može doprinijeti boljem planiranju proizvodnje, vizualizaciju i testiranje odjeće u ranim fazama razvoja bez izrade fizičkih uzoraka modela [1-4]. Primjena digitalnih tehnologija u visokom obrazovanju, naročito u području projektiranja odjeće, omogućava studentima da steknu praktična znanja koja se mogu direktno primjenjivati u industrijskim uvjetima proizvodnje. Suvremeni 3D sistemi za simulaciju odjeće omogućavaju virtualnu izradu prototipova modela, analizu pristajanja i vizualizaciju ponašanja materijala, čime se smanjuje potreba za fizičkim uzorcima. Stjecanjem znanja iz područja 3D projektiranja, studenti dodatno razvijaju sposobnost kritičkog analiziranja digitalnih rezultata, a sa stjecanjem dodatnog iskustva imaju mogućnost da razumiju i prepoznaju ograničenja u simulaciji modela, što je od posebnog značaja u inženjerskom obrazovanju. Integracija 3D projektiranja u obrazovni proces ne predstavlja samo alat za učenje, kroz koji studenti mogu istraživati i razvijati svoje ideje, već osigurava stjecanje ključne digitalne kompetencije neophodne za suvremeno zapošljavanje u odjevnoj industriji [1-2].

Tekstilna industrija u Srbiji ima značajnu ulogu u domaćoj ekonomiji i trenutno se suočava sa izazovima koji uključuju dodatni pritisak na budžet tvrtki koji se ogleda kroz povećane troškove proizvodnje, potrebu za povećanjem produktivnosti, nedostatak kvalificirane radne snage i ograničen stupanj korištenja naprednih digitalnih alata. U tom kontekstu, obrazovne institucije imaju posebno važnu ulogu u pripremi budućih inženjera za suvremene zahtjeve tržišta rada, kroz razvoj digitalnih i interdisciplinarnih vještina [2].

Integracija 3D projektiranja odjeće u nastavni proces, doprinosi boljem povezivanju obrazovanja, i industrije. Cilj ovog rada je prikazati primjenu programa Vstitcher za 3D projektiranje i simulaciju odjeće u nastavi na

fakultetskoj razini, sa posebnim osvrtom na doprinos obrazovanju, razvoj kompetencija studenata i na kraju značaj ovakvih tehnologija za budući razvoj tekstilnog sektora u Srbiji.

## 2. Značaj kompetencija u 3D projektiranju na obrazovanje u području odjevnog inženjerstva

Uvođenje i primjena digitalnih tehnologija u nastavni proces na studijskim programima u području tekstilne i odjevne tehnologije, u velikoj mjeri mijenja način na koji se projektiranje odjeće tradicionalno poučavalo i primjenjivalo u visokom obrazovanju. Dosadašnji pristupi su se zasnivali prvenstveno na ručnoj izradi krojeva, na izradi fizičkih prototipova i dvodimenzionalnoj vizualizaciji, pa ih je neophodno unaprijediti kroz primjenu suvremenih programa za 3D projektiranje i simulaciju odjeće. Ovi programi omogućavaju [5]:

- korištenje unaprijed digitaliziranih krojeva odjevnih predmeta,
- crtanje novih krojeva u samom programu,
- virtualnu simulaciju pristalosti odjevnog predmeta,
- vizualizaciju istezanja, deformacije i kontakta materijala sa tijelom odnosno avатарom,
- brze izmjene krojeva modela,
- simulaciju ponašanja različitih vrsta tekstilnih materijala,
- smanjenje vremena razvoja proizvoda,
- smanjenje potrošnje energije i materijala.

Stjecanjem znanja i vještina za rad u ovim programima studentima se pruža realističan uvid u suvremene procese razvoja odjeće, a sa druge strane se obrazovni proces približava realnim industrijskim uvjetima, u kojima se sve veći dio razvoja proizvoda odvija digitalno [1]. Poseban značaj 3D projektiranja ogleda se u razvoju kritičkog razumijevanja tehnologije projektiranja odjeće. Iako 3D simulacije nude brojne prednosti u pogledu brzine, efikasnosti i vizualne prezentacije, njihova pravilna primjena zahtjeva adekvatno tumačenje rezultata i razumijevanje ograničenja simulacije, naročito u pogledu ponašanja materijala i interakcije odjeće s ljudskim telom [6]. Virtualno prototipiranje doprinosi i unapređenju održive proizvodnje, jer omogućava smanjenje potrošnje materijala, energije i vremena. Na ovaj način studenti razvijaju svijest o racionalnom korištenju resursa i značaju održivog pristupa u razvoju odjevnih proizvoda [7–10]. Tablica 1 prikazuje prednosti i ograničenja primjene 3D simulacije odjeće u obrazovne svrhe. Istovremeno, rezultati naglašavaju da digitalni alati ne mogu u potpunosti zamijeniti tradicionalne metode i realna ispitivanja, već predstavljaju njihovu dopunu [6,11-12].

Tabela 1: Prednosti i ograničenja primjene programa za 3D projektiranje odjeće u obrazovanju

Prednosti u obrazovanju	Nedostaci / ograničenja
Omogućava jasnu 3D vizualizaciju konstrukcije, antropometrije i drapiranja, što olakšava razumijevanje odnosa između kroja, materijala i tijela.	3D simulacija ne može u potpunosti reproducirati realno ponašanje materijala, naročito kod složenih tekstura, višeslojnih konstrukcija, mekih tkiva ljudskog tijela.
Studentima se omogućava da kroz ponovljene izmjene i trenutnu vizualnu povratnu informaciju aktivno sudjeluju u procesu učenja.	Zahtjeva dodatno vrijeme za upoznavanje studenata sa računalnim programom, posebno u početnoj fazi.
Doprinosi razvoju digitalnih i inženjerskih vještina koje su u skladu sa suvremenim zahtjevima industrije.	Neujednačena razina usvajanja vještina među studentima i zahtjevni resursi za instalaciju ovakvih programa.
Smanjuje potrebu za fizičkim prototipovima, dovodi do uštede materijala i energije	U početnim fazama primjene programa neophodna je provjera digitalnih modela u vidu fizičkih uzoraka.
Približava nastavu realnim industrijskim procesima i suvremenim procesima razvoja proizvoda.	Ograničena primjena 3D alata u domaćoj industriji može smanjiti neposrednu primjenljivost stečenih znanja.
Omogućava brzu izradu i izmjenu modela bez dodatnih troškova i logističkih zahteva.	Tehnički zahtjevi (hardver, licence) mogu predstavljati prepreku za širu primjenu u obrazovnim institucijama.
Omogućava studentima da uoče razlike između digitalnih simulacija i realnog ponašanja odjeće.	Bez adekvatnog vođenja, studenti mogu nekritički prihvaćati digitalne rezultate.

## 2.1. Kontekst primjene 3D tehnologija u domaćoj odjevnoj industriji

Ukoliko se sagleda tekstilna industrija u Srbiji, gdje ona ima dugu tradiciju, i gdje se suočava sa izazovima modernizacije i digitalizacije, transformacija obrazovanja ima dodatni strateški značaj. Integracija 3D projektiranja i simulacije u akademski kurikulum ne predstavlja samo alat za učenje, kroz koji studenti mogu istraživati i razvijati svoje ideje [2], već i osigurava stjecanje ključnih digitalnih kompetencija neophodnih za suvremeno zapošljavanje u odjevnoj industriji. Usprkos sve većoj dostupnosti i razvoju naprednih digitalnih alata, praksa projektiranja odjeće u većini modnih i odjevnih tvrtki u Srbiji i dalje se dominantno oslanja na tradicionalne CAD sisteme, dok se njihovi potencijali u području 3D simulacije i virtualne izrade prototipova modela rijetko koriste u punom obimu [2].

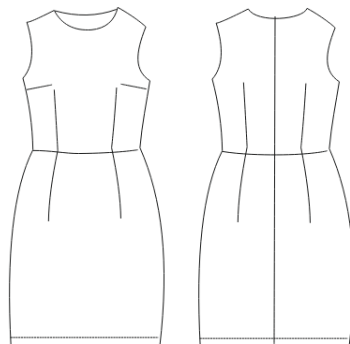
Na osnovu praktičnih uvida i suradnje sa domaćom industrijom, može se zaključiti da relativno mali broj domaćih brendova poseduje licence za suvremene 3D softvere, kao što su V-Stitcher i Optitex 3D. Međutim, čak i u slučajevima kada su ovi alati dostupni, oni se najčešće ne koriste aktivno u svakodnevnoj praksi. Kao ključni razlozi za ograničenu primjenu 3D dizajna u domaćem kontekstu izdvajaju se nedostatak kvalificiranog kadra, navika na tradicionalne metode rada, kao i početna ulaganja potrebna za obuku zaposlenih i integraciju novih tehnologija u postojeće proizvodne procese [2].

## 3. Eksperimentalni dio

### 3.1. Uvođenje Browzwear VStitcher programa u nastavni proces na studijskom programu Odevno inženjerstvo

Eksperimentalni dio rada realiziran je u okviru nastave projektiranja odjeće na fakultetskoj razini, s ciljem da se ispita primjenljivost 3D projektiranja i simulacije odjeće kao edukativnog alata u procesu obrazovanja inženjera. Na Tehničkom fakultetu „Mihajlo Pupin“, studijskom programu Odevno inženjerstvo, podučava se 3D projektiranje odjeće, na trećoj i četvrtoj godini osnovnih akademskih studija. U ovoj fazi studija, studenti su već upoznati sa tradicionalnim metodama konstruiranja odjeće i upoznati s tekstilnim materijalima i njihovim mehaničkim svojstvima koja mogu dodatno unaprijediti 3D projektiranje i simulacije odjeće u programu Browzwear VStitcher [13].

Za realizaciju eksperimentalnog rada korišten je 3D program za simulaciju odjeće Browzwear VStitcher, koji omogućava integraciju konstrukcije, materijala i digitalnog avatara u jedinstveno virtualno okruženje, dok je kao studija slučaja odabran jednostavan model haljine pogodan za demonstraciju osnovnih principa 3D simulacije (slika 1).

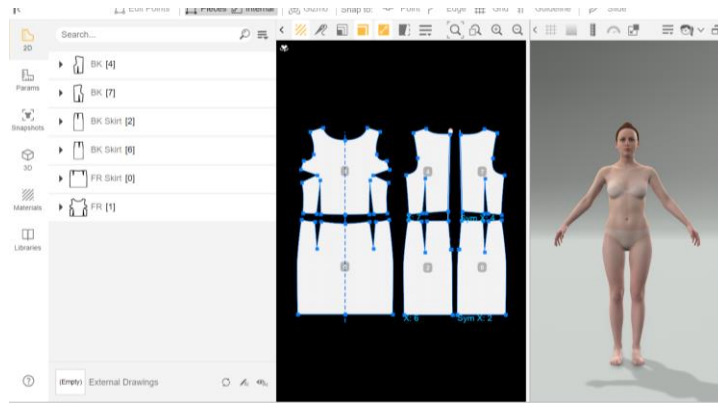


Slika 1: Tehnička skica modela haljine (izvor: autor)

### 3.2. Postupak modeliranja i vizualizacije haljine kao odabranog odjevnog predmeta

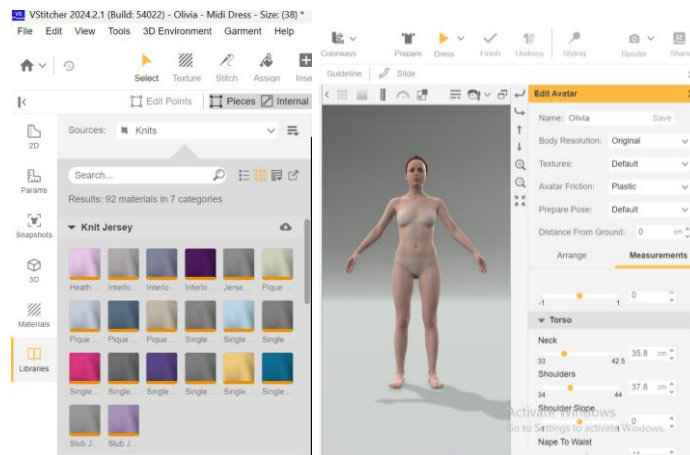
Proces rada sa studentima obuhvatio je sljedeće faze:

1. Upoznavanje sa digitalnim blizancima i digitalnim okruženjem,
2. Razvoj i modeliranje osnovne konstrukcije kroja u digitalnom okruženju (slika 2),



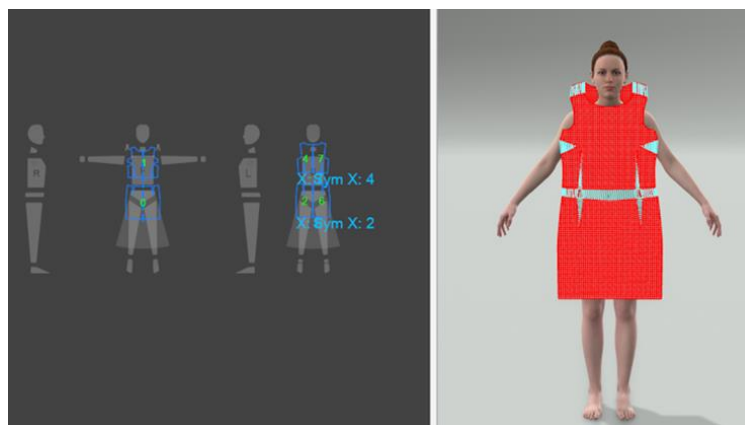
Slika 2: Definisanje krojeva odevnog predmeta u 2D prozoru (izvor: autor)

3. Odabir avatara i definiranje prethodno zadanih mjera. Odabran je najčešće korišćen avatar Olivia u *solid* varijanti (slika 3b).
4. Izbor materijala iz biblioteke i definiranje osnovnih parametara simulacije (slika 3a),



Slika 3: Biblioteka tekstilnih materijala a) i podešavanje avatara b) (izvor: autor)

5. Pozicioniranje modela na avataru (slika 4),
6. Sastavljanje modela (šivanje)
- 7.



Slika 4: Pozicioniranje modela na avataru (izvor: autor)

8. Modeliranje krojeva i simulacija, podešavanje simuliranog modela (slika 5),



**Slika 5:** Modeliranje haljine (izvor: autor)

9. Vizualnu analizu utvrđenih rezultata, sa posebnim osvrtom na drapiranje, zategnutost i opći dojam pristajanja (slika 6).



**Slika 6:** Analiza modela i prikaz mesta koja trpe najveće istezanje materijala (izvor: autor)

Tijekom realizacije zadatka studenti su bili potaknuti da uspoređuju različite digitalne postavke i da raspravljaju o uočenim razlikama između simuliranog i očekivanog ponašanja odjeće u realnim uvjetima.

### 3.3. Način evaluacije

Evaluacija rada sa studentima u programu Browzwear Vstitcher zasnivala se na kvalitativnoj analizi dobivenih simulacija sa osnovnim ciljem da se razviju sposobnosti studenata da tumače dobivene rezultate 3D simulacije i da na osnovu njih procjene pristajanje odjevnog predmeta. Problematične zone identificirane su na osnovu vizualne analize simulacije uključujući prikaz deformacije materijala (*strain map*), kao i općeg vizualnog dojma drapiranja, pristajanja. Ovakav način evaluacije omogućio je procjenu obrazovnih efekata primjene 3D simulacije, sa fokusom na razvoj digitalnih kompetencija, analitičkog razmišljanja i inženjerskog pristupa projektiranju odjeće. Cilj ove evaluacije nije bio usmjeren prema kvantitativnom određivanju mehaničkih parametara ili validacija simulacije, već prema analizi obrazovnog procesa koji se ogleda u razvoju sposobnosti studenata da razumiju mogućnosti i ograničenja digitalnih alata i da interpretiraju rezultate simulacije u kontekstu procesa projektiranja odjeće.

Studenti su kroz raspravu analizirali potencijalna odstupanja između digitalnog modela i očekivanog ponašanja materijala u realnim uvjetima, uzimajući u obzir njihova prethodno stečena znanja o tekstilnim materijalima i konstrukciji odeće. Cilj ovog segmenta nije bio eksperimentalna evaluacija simulacije usporedbom s fizičkim prototipom, već razvoj kritičkog pristupa interpretaciji rezultata digitalne simulacije u obrazovnom kontekstu.

Iako 3D simulacija predstavlja snažan edukativni alat u obrazovanju inženjera za potrebe odjevne industrije. Digitalni rezultati mogu u većini slučajeva zamijeniti fizičko prototipiranje, ali uz veliko iskustvo inženjera.

#### 4. Zaključak

Primjena 3D simulacije odjeće u nastavnom procesu pokazala se kao efikasan alat za unapređenje razumjevanja procesa projektiranja odjeće i razvoja inženjerskih kompetencija kod studenata. Analizom rada sa studentima može se zaključiti da digitalna simulacija omogućava jasniju vizualizaciju odnosa između konstrukcije kroja, izbora materijala i pristajanja odjeće, u usporedbi s tradicionalnim nastavnim pristupima zasnovanim isključivo na 2D krojevima i fizičkim prototipovima.

Studenti su kroz rad u 3D okruženju lakše uočavali problematične zone na odjevnom predmetu, kao što su područja povećane zategnutosti, neadekvatnog drapiranja materijala, konstrukcije kroja ili odstupanja u silueti. Ovakav pristup omogućio je bržu iteraciju dizajnerskih rješenja i potakao analitičko razmišljanje, jer su studenti mogli u kontinuitetu povezati promjene u konstrukciji ili parametrima materijala sa vizualnim ishodima simulacije.

#### Zahvala:

Ovaj rad je realiziran u okviru projekta „**Inovativni pristupi digitalnom projektovanju odeće: 3D tehnologije u funkciji održive proizvodnje bez otpada**“, koji je financiran od strane Autonomne Pokrajine Vojvodine, Pokrajinskog sekretarijata za visoko obrazovanje i naučnoistraživačku delatnost.

**Izjava o korištenju AI alata:** Alati umjetne inteligencije nisu korišteni za generiranje istraživačkih podataka, znanstvenih rezultata, analiza niti zaključaka. Autori snose odgovornost za sadržaj rada, njegovu točnost i originalnost.

#### Literatura

- [1] Papachristou, E.; Zolota Tatsi, N.: A review of 3D design knowledge and its impact on creativity in fashion design education, *Communications in Development and Assembling of Textile Products*, 5 (2024) 2, 266–277
- [2] Pešić M.; Nemeša I.; et al.: Application of 3D skirt desig in the context efficiency and sustainability, *Proceeding of VIII International conference „Contemporary trends and innovations in the textile industry“*, 69-83, doi:10.5937/CT\_ITI25008K, Belgrade, Serbia, (2025)
- [3] The 10th annual State of Fashion report by McKinsey & Company and BoF Insights, Dostupan na: <https://www.businessoffashion.com/reports/the-state-of-fashion-industry/>, Pristupljeno: 05-01-2026
- [4] Jankoska, M.: Application CAD methods in 3D clothing design, *Tekstilna industrija*, 4 (2020), doi: 10.5937/tekstind2004031J.
- [5] Jevšnik, S.; Stjepanović, Z.; et al: 3D Virtual Prototyping of Garments: Approaches, Developments and Challenges, *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 10 (2017) 1, 51–63
- [6] Yoon, K.I.; Lim, S.C.: Real-to-sim high-resolution cloth modeling: Physical parameter optimization using particle-based simulation with robot manipulation data, *Journal of Computational Design and Engineering*, 12 (2025) 8, 29–44
- [7] Lin, X.; Ingaramo, M.O.: Embracing digital 3D technology in sustainable fashion design education, *INTED 2023 Proceedings – 17th International Technology, Education and Development Conference*, IATED Academy, ISBN 978-84-09-49026-0, Valencia, Spain, (2023)
- [8] Habib, M.A.; Ullah, A. et al.: Advancing sustainable fashion through 3D virtual design for reduced environmental impact, *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 11 (2025) 3
- [9] Pešić M.; Nemeša I.; et al.: Reducing textile waste through digital technologies: case study of CLO 3D and Audaces in fashion design, *Proceedings of VIII International conference „Contemporary trends and innovations in the textile industry“*, 425-433, doi: 10.5937/CT\_ITI25008K, Belgrade, Serbia, (2025)
- [10] McQuillan, H.: Digital 3D design as a tool for augmenting zero-waste fashion design practice, *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, (2020), doi: 10.1080/17543266.2020.1737248
- [11] Brake, E.A.; Kyosev, Y.; et al.: 3D garment fit on solid and soft digital avatars – preliminary results, *Communications in Development and Assembling of Textile Products*, 3 (2022) 2, 97–103
- [12] Spahiu, T.; Shehi, E.; et al.: Personalized avatars for virtual garment design and simulation, *International Journal of Education, Science, Technology, Innovation, Health and Environment*, 1 (2015) 3
- [13] Browzwear V-stitcher: Dostupan na: <https://browzwear.com/products/v-stitcher>

## IDENTIFIKACIJA VLAKANA ARHEOLOŠKOG TEKSTILA

Kristina ŠIMIĆ<sup>1\*</sup>, Ozana MARTINČIĆ<sup>2</sup>, Sandra FLINČEC GRGAC<sup>1</sup> i Ana PALČIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup> Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Frankopanska 26, Zagreb, Hrvatska;

\* Adresa za korespondenciju: kristina.simic@tff.unizg.hr

**Sažetak:** Vrijedan arheološki tekstil brzo propada pa je dostupnih uzoraka jako malo, a i njihove dimenzije su iznimno male. Analiza takvih uzoraka vrlo je zahtjevna dok loše stanje uzoraka dodatno otežava sam postupak. Međutim važnost takvih rezultata raste, informacije o vrsti vlakana pomažu kod svrstavanja arheoloških nalazišta u određena vremenska razdoblja, a prema tome je ponekad moguće i odrediti podrijetlo samih uzoraka. Metode analiza izabrane su upravo zbog svoje različitosti ali i međusobnog nadopunjavanja, također obje metode ne zahtijevaju veliku količinu uzorka što je iznimno važno kad ove vrste uzoraka. Optička mikroskopija omogućuje uvid u morfologiju vlakana, dok FTIR metoda pruža informacije o njihovom kemijskom sastavu, a njihovom kombinacijom postiže se preciznija identifikacija tekstilnih vlakana. U ovom radu analiza je provedena na dva arheološka uzorka, u jednom je identificirano laneno vlakno dok je u drugom svileni vlakno.

**Ključne riječi:** arheološki tekstil, tekstilna vlakna, optička mikroskopija, FTIR metoda

### 1. Uvod

Arheološki tekstil uglavnom predstavlja različite strukture izrađene od prirodnih vlakana životinjskoga i biljnog podrijetla kao što su vuna, svila, dlaka, pamuk, lan, juta, konoplja, različite vrste trava i dr. Glavni razlog zbog kojega se o njemu malo zna je taj što se lako oštećuje i vrlo brzo propada, zbog čega se rijetko nalazi u arheološkom kontekstu, s izuzetkom posebnih klimatskih i okolišnih uvjeta poput suhih i pješčanih područja sjeverne Afrike ili Bliskoga istoka, ili pak hladnih i vlažnih regija sjeverne Europe. Suprotno tome, u područjima mediteranske Europe, tako i kod nas, gdje dominira umjereno topla i vlažna klima, tekstil propada iznimno brzo, pa je pronalazak u cijelosti sačuvanog u svojoj izvornoj funkciji prava rijetkost [1]. Tekstilni nalazi osim što su znatno oštećeni u samom trenutku iskapanja, u opasnosti su i od daljnje razaranja, zbog čega novi standardi iziskuju uporabu suvremenih metoda ako se tekstil namjerava sačuvati za sljedeće generacije. Bez obzira na krhkost i slabu ušćuvanost mali ulomci (najčešće dimenzija od svega nekoliko centimetara pa i manje) koji čine većinu otkrivenih nalaza, najčešće iz grobova mogu pružiti važne podatke o vrsti tekstila i njegovoj teksturi, katkad i konstrukcijskim detaljima uz pomoć kojih se može rekonstruirati oblik, funkcija te tehnologija korištena pri izradbi [2]. Upravo stoga što su zbog nepotpunosti podataka saznanja o arheološkom tekstilu vrlo štura, njegovo istraživanje zahtijeva suradnju istraživača različitih područja znanosti poput arheologije, tekstilne tehnologije, kemije, povijesti, etnologije, povijesti umjetnosti i dr. Prema rezultatima tekstilnih nalaza, te prema kulturnom i povijesnom kontekstu, osim o sirovinskom sastavu, tehnologiji izradbe i funkciji samoga predmeta, zahvaljujući upravo interdisciplinarnom pristupu istraživanja, moguće je također izvoditi detaljnije zaključke i o regionalnoj ili kronološkoj distribuciji, kao i o promjenama koje su se zbivale u tekstilnoj proizvodnji tijekom različitih razdoblja [1].

Identifikacija tekstilnih vlakana, o kojoj se raspravlja u ovome radu, važna je komponenta u proučavanju arheološkoga tekstila, jer omogućava bolje razumijevanje širega društvenog, tehnološkog i ekonomskog konteksta nekadašnjih društvenih zajednica. Vrsta vlakna upućuje koje su sirovine u određenom razdoblju mogle biti dostupne i korištene, što može omogućiti rekonstrukciju tehnoloških postupaka. To primjerice dokazuju pršljeni za vretena, koji se također nalaze na različitim arheološkim nalazištima. Eksperimentalnom arheologijom utvrđeno je da se lakši pršljeni vrte brže od teških i pogodni su za pređenje finije, mekše pređe (npr. vuna), dok su teži pršljeni prikladniji za jaču, grublju pređu (npr. lan) [3]. Vlakna koja nisu lokalnoga podrijetla ukazuju na trgovačke veze, odnosno uvoz ili razmjenu dobara. Primjerice luksuzni nalazi svile iz ranoga srednjeg vijeka otkriveni na području Europe uglavnom su bili uvezena roba, jer su se svilarstvom Europljani znatnije počeli baviti tek u 12. st. Izuzetak su bile Španjolska i Sicilija gdje su umijeće uzgoja svile prenijeli Arapi nakon zauzeća Perzije u 7. st. Otprilike u isto vrijeme kao i svila, odnosno na prijelazu iz 12. u 13. st., u Europu je uvezena još jedna sirovina orijentalnog podrijetla – pamuk, koji se počeo koristiti za proizvodnju novih vrsta tkanina kao alternativa grubljim tkaninama. U Italiju je s Levanta, preko Sicilije i Apulije, stigao na sjever preko luka Genove i Venecije [4]. Odabir tekstila često je odražavao društveni

status, profesiju ili pripadnost određenoj skupini. Fina i kvalitetna vlakna poput svile svjedoče o bogatstvu ili posebnoj ulozi pokojnika, dok grublja vlakna ukazuju na svakodnevnu upotrebu. Sirovinski sastav tekstilijatakođer može upućivati na funkciju samoga tekstila, odnosno određenje da li se predmet koristio kao odjeća, ukras na odjeći, obuća, torbica ili vrećica za čuvanje različitih predmeta, mrtvački pokrov ili pak nešto drugo. Određene vrste vlakana ili načini njihove obrade karakteristični su za određena razdoblja, pa se mogu koristiti kao dodatni element u datiranju kao i u razumijevanju razvoja tekstilnih tehnologija.

U radu se na osnovu analiza optičkom mikroskopijom i Fourierovom transformacijskom infracrvenom spektrometriom (FTIR, PerkinElmer, Shelton, CT, SAD) u tehnici prigušene ukupne refleksije (ATR) komparativno analizira sastav vlakana dva tekstilna uzorka pronađena na dva srednjovjekovna groblja na prostoru istočne jadranske obale. Prvi uzorak odnosi se na ulomak tkanine pronađen na ranosrednjovjekovnom starohrvatskom groblju na položaju Gorica u Strančama kraj Crikvenice (istraživano1974.-1997. u organizaciji Pomorskoga i povijesnog muzeja Hrvatskog primorja Rijeka). Analizirani nalaz iz Gorice, inv. broja AO-SZ 40, pronađen je van grobnoga konteksta, pa se, kao i cijeli lokalitet, datira od sredine 8. do kraja 11. st., a dimenzija je 20 x 4 mm [5]. Drugi uzorak nešto je mlađe provenijencije, a potječe iz jednoga od kasnosrednjovjekovnih grobova uz crkvu Porođenja Marijina u naselju Gradac nedaleko od Drniša (istraživanja su provedena 1961., te 1996. i 1997. u okrilju Muzeja hrvatskih arheoloških spomenika u Splitu). Gradački nalaz pronađen je u jednome od dva groba uz pozlaćene srebrne i brončane aplikke koje su moguće pripadale dijademama (s obzirom da materijal nije sustavno objavljen, ne može se sa sigurnošću utvrditi kojoj od dvije navedene grobne cjeline tekstilni nalaz pripada). Prema nalazima aplika, tkanina sačuvana u pet fragmenata (dimenzije: 78 x 18 mm; 23 x 18 mm; 20 x 18 mm; 19 x 18 mm; 23 x 16 mm), inv. broja 5697, datira se u 14. st. [6].

## 2. Eksperimentalni dio

### 2.1. Materijali i metodologija

Proučavana su dva arheološka tekstilna uzorka, oba u obliku malih dijelova tkanina sa područja istočne jadranske obale. Prvi uzorak iz Stranča kraj Crikvenice i drugi iz Gradca kod Drniša.

Vlakna su analizirana primjenom stereo i optičkog mikroskopa te FTIR spektrometra. Uzorci arheološkog tekstila snimljeni su stereo mikroskopom (EMZ-5TR, MEIJI TECHNO, Japan). Laboratorijskim optičkim mikroskopom Kern OBE 134, KERN & SOHN GmbH, Balingen, Njemačka, slika 1. a) dobivena je slika vlakna iz arheoloških uzoraka. Za identifikaciju nepoznatih arheoloških uzoraka korištena je i infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom spektra primjenom tehnike oslabljene totalne refleksije (FTIR-ATR, Perkin Elmer Spectrum 100), (slika 1. b)). Analize su provedene na sobnoj temperaturi na način da su čvrsti uzorci u izvornom obliku postavljeni na ATR kristal uz mjerenje kvalitete kontakta uzorka s ATR kristalom pomoću softverskog indikatora u programu PerkinElmer Spectrum 100. Svi spektri su registrirani od  $4000\text{ cm}^{-1}$  do  $380\text{ cm}^{-1}$ , uz rezoluciju od  $4\text{ cm}^{-1}$ , a svaki spektar je prikupljen iz prosjeka 4 skeniranja.



a)



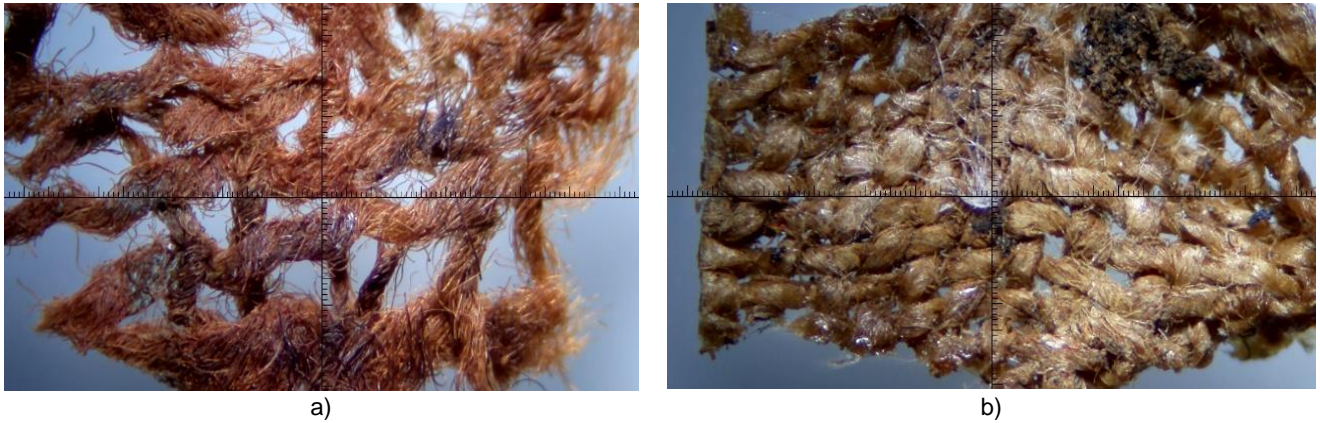
b)

Slika 1. a) optički mikroskop, b) FTIR - spektrofotometar

### 3. Rezultati i diskusija

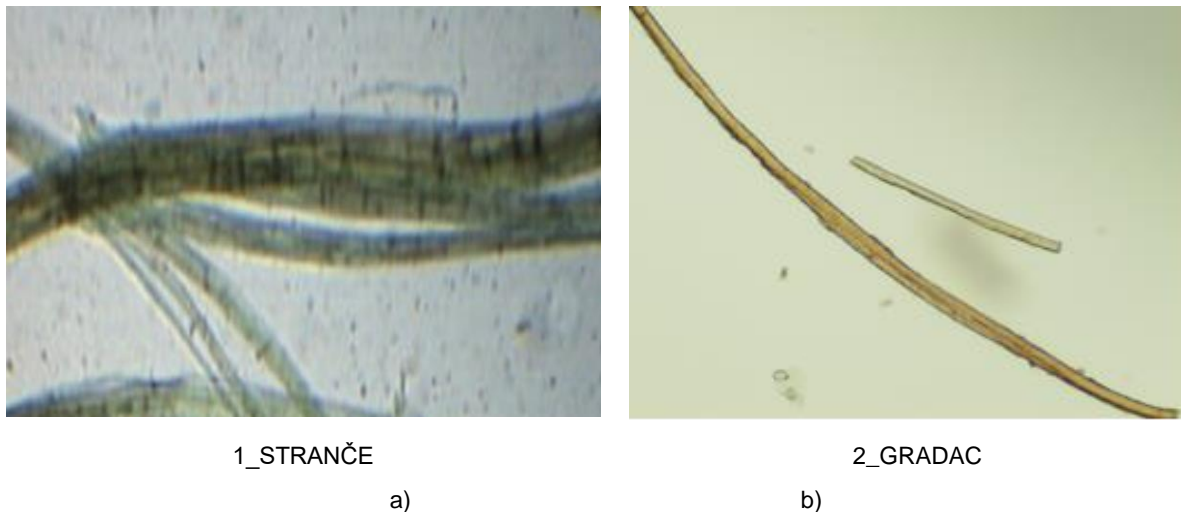
Prvo su arheološki uzorci tekstila snimljeni stereo mikroskopom, slika 2.

Iz mikroskopskih slika arheoloških uzoraka prikazanih na slici 2 vidljiva je prisutnost kontaminacije na oba uzorka. Na uzorku 1\_STRANCE vidljiva je razvlaknjena pređa, dok kod uzorka 2\_GRADAC uočava se kompaktna morfologija površine, također je tijekom rukovanja opažena povećana tvrdoća i krtost, upućuju na moguće dijagenetske promjene materijala.



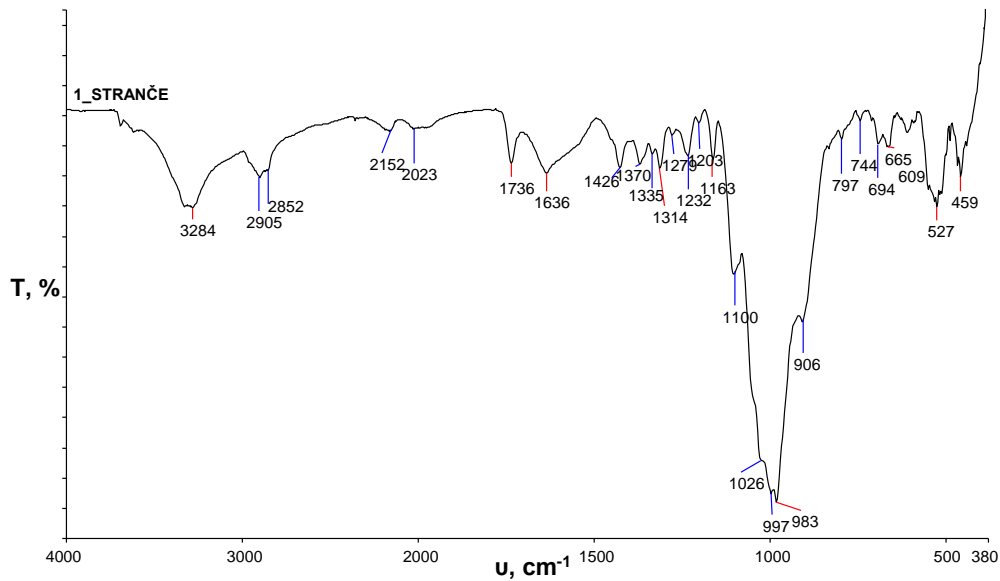
**Slika 2.** Uzorci arheološkog tekstila snimljeni transmisijskim svjetlosnim stereo mikroskopom: a) 1\_STRANČE, b) 2\_GRADAC

Laboratorijskim transmisijskim svjetlosnim mikroskopom Kern snimile su se slike vlakana arheoloških uzoraka, uzorak 1 slika 3. a) i uzorak 2 slika 3. b). Slike su mutne zbog brojnih nečistoća na arheološkim uzorcima tekstila koje nije bilo moguće ukloniti zbog male količine uzorka. Unatoč tome prepoznaju se karakteristične slike vlakana, lan slika 3. a) uzorak 1\_STRANČE, dok sa slika 3. b) pretpostavljamo kako se radi o svilenom vlaknu na uzorku 2\_GRADAC.



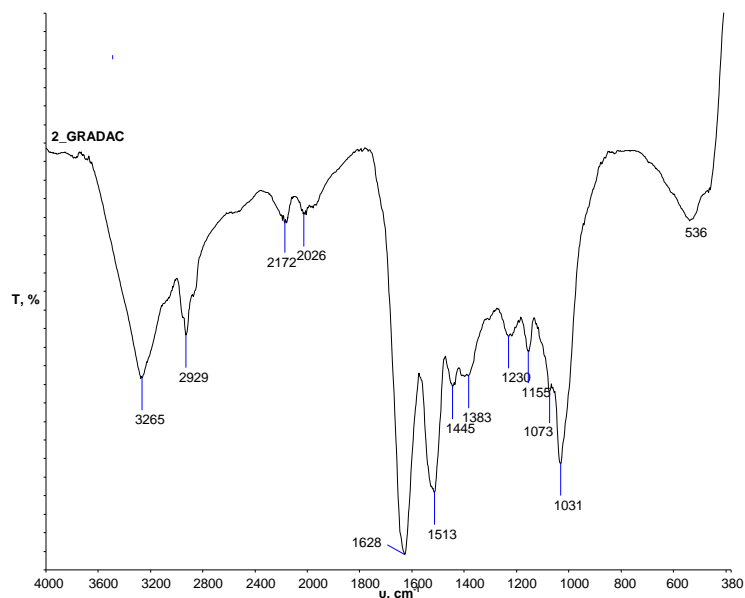
**Slika 3.** a) mikroskopska slika uzorka 1 Stranče, povećanje 100x b) mikroskopska slika uzorka 2 Gradac, povećanje 100x

FTIR – spektrofotometrom su snimljene spektralne krivulje za dva arheološka uzorka. Iz spektralne krivulje dobivene snimanjem uzorka 1\_STRANCE prikazanoj na slici 4 vidljivo je da se radi o celuloznom materijalu. Vrh u području valnog broja  $3284\text{ cm}^{-1}$  ukazuje na istezanje unutar O-H skupine, vrh pri  $2852\text{ cm}^{-1}$  nastaje uslijed istezanja unutar C–H. Vrhovi u području  $2159\text{ cm}^{-1}$  i  $2023\text{ cm}^{-1}$  ukazuju na moguću prisutnost nečistoća koje mogu biti anorganskog i organskog porijekla. Apsorpcijski vrh pri  $2905\text{ cm}^{-1}$  pripisuje se istezanju C–H veza, dok vrh pri  $1736\text{ cm}^{-1}$  odgovara vibracijama C=O veza, što upućuje na prisutnost lignina i voskova, te pretpostavlja se da je uzorak izrađen od stabličnog vlakna. Na spektru su također vidljivi vrhovi pri valnim brojevima  $797\text{ cm}^{-1}$  i  $527\text{ cm}^{-1}$  koji nastaju uslijed istezanja željezovih oksida što ukazuje na prisutnost mineralnih kontaminanta iz tla.[7,8].



Slika 4. Spektralna krivulja uzorka oznake 1\_STRANČE

Na slici 5 prikazana je spektralna krivulja uzorka 2\_GRADAC. Oštar vrh je zabilježen pri valnom broju 3265  $\text{cm}^{-1}$  koji nastaje uslijed istezanja unutar N-H veze, te na 1628  $\text{cm}^{-1}$  koji nastaje uslijed istezanja u C=O amida I, 1513  $\text{cm}^{-1}$  nastao uslijed savijanja N-H u amidu II te 1445  $\text{cm}^{-1}$  i 1230  $\text{cm}^{-1}$  koji nastaju uslijed C-N istezanju unutar amida III. Vrh pri valnom broju 1073  $\text{cm}^{-1}$ , koji nastaje uslijed vibracija C–O veza, kao i vrh pri 1031  $\text{cm}^{-1}$ , nastao uslijed istezanja unutar C–O–C skupine, upućuju na prisutnost sericina. Dodatno, pojava izraženih i oštih vrhova u području od 1000 do 1150  $\text{cm}^{-1}$  karakteristična je za prisutnost sericina u sirovoj svili. Na temelju navedenih rezultata može se pretpostaviti da je analizirani uzorak izrađen od sirove svile. [7,8].



Slika 5. Spektralna krivulja uzorka oznake 2\_GRADAC

#### 4. Zaključak

U cilju očuvanja uzorka primjenjuju se ponajprije ne destruktivne metode, koje se zbog ograničenih informacija kombiniraju s metodama koje zahtijevaju minimalne količine materijala. Analiza arheoloških uzoraka zahtjevan je proces zbog malih količina materijala, loše očuvanosti te česte kontaminacije organskim i anorganskim nečistoćama. Analiza spektralnih krivulja uzoraka snimljenih primjenom FTIR-ATR-a ukazuje da oba uzorka sadrže prirodna vlakna. Uzorak 1-STRANČE, tkanina u platno vezu, identificirana

je kao stabiljično vlakno, zbog prisutnosti vrhova pri  $2905\text{ cm}^{-1}$  (C–H istežanje) i  $1736\text{ cm}^{-1}$  (C=O vibracije) koji ukazuju na prisutnost lignina i voskova. Mikroskopska slika ukazuje također da se radi o stabiljičnom vlaknu, a obzirom na dataciju od 8. do 11. stoljeća pretpostavlja se da je riječ o lanu. Vrhovi pri  $797\text{ cm}^{-1}$  i  $527\text{ cm}^{-1}$ , povezani s vibracijama željezovih oksida, ukazuju na mineralne kontaminante iz tla. Uzorak 2-GRADAC je pronađen u bogato opremljenoj grobnici uz pozlaćeni metal, a njegov arheološki kontekst datira u 14. stoljeće. Na spektralnoj vrpici uzorka osim prisutnosti vrhova karakterističnih za proteinska vlakna uočen je vrh pri valnom broju  $1073\text{ cm}^{-1}$ , koji se pripisuje vibracijama C–O veza, kao i vrh pri  $1031\text{ cm}^{-1}$ , nastao uslijed istežanja unutar C–O–C skupine, što upućuje na prisutnost sericina. Dodatno, pojava izraženih i oštih vrhova u području od  $1000$  do  $1150\text{ cm}^{-1}$  karakteristična je za prisutnost sericina u sirovoj svili. Na temelju navedenih rezultata i mikroskopske slike može se pretpostaviti da je analizirani uzorak izrađen od sirove svile. Kako bi se sa sigurnošću odredio kemijski sastav uzoraka u budućim istraživanjima primijenit će se dodatne analize.

**Zahvala:**

Zahvaljujemo HRZZ projektu: „Radionička proizvodnja i uvoz u 8. i 9. stoljeću na području sjeverne Dalmacije“ (IP-2024-05-4611 Medievalworkshops) iz kojeg su financirana istraživanja.

**Izjava o korištenju AI alata:** U radu nije korišten AI alat

**Literatura**

- [1] Cybulska, M.; Maik, J.: *Archaeological Textiles – A Need for New Methods of Analysis and Reconstruction*, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 15 (2007) 5–6 (64–65), 185–189
- [2] Březinová, H.; Bravermanová, M.; Bureš Víchová, J.: *The structure of archaeological textiles from the Early and High Middle Ages in finds from the Czech Republic (part 1)*, *Fibres and Textiles*, 26 (2019) 1, 14–23
- [3] Gleba, M.: (2008) *Textile Production in Pre-Roman Italy*, *Ancient Textiles Series 4*, Oxbow Books, ISBN 9798888570593, Oxford, (2008), 106
- [4] Bordone, R.: *L'attività tessile nel medioevo*, u *Tessere la vita: telai e arte della tessitura a 360o: per un percorso interattivo interdisciplinare*, Stamperia artistica nazionale, Moncalieri, (2009), 27–30
- [5] Cetinić, Ž.: *Stranče Vinodol: starohrvatsko groblje na Gorici*, Pomorski i povijesni muzej Hrvatskog primorja, ISBN 978-953-7196-14-1, Rijeka, (2011)
- [6] Zekan, M.: *Kratki prikaz rezultata arheološkog istraživanja crkve Porođenja Marijina u Gradcu kod Drniša i groblja uza nju*, *Starohrvatska prosvjeta*, 3 (2000) 27, 273–283
- [7] Geminiani, L., et al.: *Non-invasive identification of historical textiles and leather by means of external reflection FTIR spectroscopy*, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 326 (2025), 125184
- [8] Zhuang J.; Li M.; Pu Y.: *Ragauskas AJ, Yoo CG. Observation of Potential Contaminants in Processed Biomass Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy*, *Applied Sciences*, 10 (2020) 12, 4345 <https://doi.org/10.3390/app10124345>

# ELEMENTI CIRKUSKIH KOSTIMA KAO INSPIRACIJA ZA KOLEKCIJU ODJEĆE

Stefani VITLOV<sup>1</sup>, Blaženka BRLOBAŠIĆ ŠAJATOVIĆ<sup>1\*</sup>, Franka KARIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipović 28 a, Zagreb, Hrvatska;

\* Adresa za korespondenciju: blazenka.brlobasic@ttf.unizg.hr

**Sažetak:** U radu se istražuje povijest cirkusa od njegova nastanka do danas. Analizira se što je cirkus u svojim počecima predstavljao i kako su se s vremenom razvijali kostimi u kontekstu kroja i dizajna. Nadalje, rad se bavi percepcijom cirkusa u suvremenom društvu te njegovim utjecajem na različita područja umjetnosti i kulture. Poseban naglasak stavljen je na dizajn kostima jer su se brojni dizajneri inspirirali cirkuskom estetikom, osobito kroz krojeve odjeće. Na temelju dosadašnjih istraživanja o povijesti cirkusa osmišljena je i digitalno prikazana dizajnerska kolekcija koja se sastoji od 10 modela na temelju koje se može zaključiti kako je cirkuska kultura dobra inspiracija za dizajn odjeće.

**Cljučne riječi:** cirkus, dizajn, kostim, elementi cirkusa

## 1. Uvod

Cirkus predstavlja spoj zabave, umjetnosti i pokreta. Moderni cirkus kakav danas poznajemo razvio se krajem 18. stoljeća u Engleskoj, zahvaljujući Philipu Astleyju koji je uveo kružnu arenu i strukturirane cirkuske predstave što je dovelo do širenja cirkusa diljem Europe. Tijekom 19. i 20. stoljeća cirkus se razvio u globalni fenomen, dok se kasnije transformirao u umjetničku formu koja naglasak stavlja na estetiku, i interdisciplinarnost. Primjer takvog pristupa je „Cirque du Soleil“ koji je redefinirao cirkus kao sofisticirani oblik scenske umjetnosti te mu osigurao važno mjesto u kulturi 21. stoljeća. Osim kulturnog značaja, cirkus je snažno utjecao na različite umjetničke grane, osobito na modni dizajn. Njegova prepoznatljiva estetika, obilježena bojama, voluminoznim siluetama i teatralnošću, poslužila je kao inspiracija brojnim modnim dizajnerima [1,2]. Od početaka modernog cirkusa u 18. stoljeću kostimi imaju ključnu ulogu u oblikovanju cirkuskih likova i vizualnog identiteta predstava. Kostimi su bili funkcionalni, simbolični i omogućavali su slobodu kretanja. Tijekom 19. stoljeća, s razvojem putujućih cirkusa, kostimi postaju raznovrsniji i dekorativniji, a posebno se ističu kostimi za klaunove i pripijeni kostimi akrobata koji naglašavaju pokret tijela. U 20. stoljeću kostimi dobivaju snažniju umjetničku i estetsku funkciju, uz jasno definirane boje, oblike i materijale povezane s pojedinim točkama. U suvremenom cirkusu oni se izrađuju interdisciplinarno, spajajući dizajn, kostimografiju i tehnologiju, kako bi zadovoljili izvedbene zahtjeve uz visoku estetsku vrijednost [3]. Cilj rada je na temelju razvoja cirkuskih kostima kroz povijest, prikazati kolekciju odjeće inspiriranu cirkuskim elementima. U eksperimentalnom dijelu rada prikazano je dizajnersko rješenje kolekcije odjeće koja je inspirirana cirkuskim elementima. Kolekcija je suvremena i primjenjiva za svakodnevno nošenje.

## 2. Karakteristike cirkuskih kostima i njihov utjecaj na modu

Cirkuski kostimi predstavljaju složenu vizualnu cjelinu koja zadovoljava estetsku, simboličku i funkcionalnu ulogu. Materijali su prozirani i rastezljivi često upotpunjeni sjajnim elementima koji pojačavaju vizualni dojam pod scenskim svjetlom. Boje i uzorci simboliziraju karakterizaciju izvođača, naglašavajući emocije, dinamiku i tip izvedbe. Kroj i dizajn kostima prilagođeni su vrsti točke. Za akrobate to su anatomske pripijeni odjevni predmeti dok je za ulogu klauna silueta kostima voluminozna i komična. U suvremenoj cirkuskoj kostimografiji kostim je sredstvo komunikacije jer oblikuje identitet izvođača i služi kao sredstvo vizualne komunikacije s publikom. U suvremenom cirkusu kostimi često odražavaju društvene, kulturne i političke teme. Cirkuska estetika ostvarila je snažan utjecaj na modni dizajn, osobito od 20. stoljeća, kada su brojni dizajneri reinterpretirali cirkuske motive kroz avangardne i „haute couture“ kolekcije. Danas se elementi cirkuskih kostima pojavljuju i u suvremenoj modi, potvrđujući cirkus kao trajni simbol kreativnosti, slobode izražavanja i pomicanja granica [2,3].

### 3. Elementi cirkuskih kostima kao inspiracija za modne dizajnere

Moda inspirirana elementima cirkuskih kostima karakterizirana je jarkim bojama, neobičnim siluetama, raskošnim materijalima i dekorativnim detaljima. U dizajnu odjeće cirkuska estetika naglašava dramaturgiju i poruku, a ne funkcionalnost. Suvremeni dizajneri koriste eksperimentalne pristupe kako bi reinterpretirali cirkus u futurističkom kontekstu za stvaranje kulturno relevantnih kolekcija.

#### 3.1. Elsa Schiaparelli

Elsa Schiaparelli, jedna od najavangardnijih modnih dizajnerica prve polovice 20. stoljeća, istaknula se inovativnim pristupom u modi i bliskom suradnjom s nadrealističkim umjetnicima. Njezina „Circus Collection“ iz 1938. godine, predstavljena u Parizu kao iznimno teatralan i provokativan modni događaj. Kolekcija je inspirirana cirkuskom estetikom, s bogato ukrašenim odjevnim predmetima koji su sadržavali motive akrobata, klaunova i cirkuskih životinja, dok su pojedini komadi, poput „The Tears Dress“ i „The Skeleton Dress“, ostali trajno upamćeni u povijesti mode, slika 1. Kolekcija tako predstavlja spoj mode, umjetnosti i simbolike te potvrđuje Schiaparelli kao pionirku konceptualnog i narativnog modnog dizajna[4].



Slika 1: Circus Parade at Schiaparelli's 'Vogue 91, no.7, (April 1938)- Fashion History Timeline [5].

#### 3.2. Alexander McQueen

Kolekcija Alexander McQueen za jesen/zimu 2009., „The Horn of Plenty“, jedna je od njegovih najdramatičnijih i najteatralnijih revija inspirirana cirkuskom estetikom, slika 2. McQueen je cirkus interpretirao kao prostor paradoksa, istovremeno magičan i zabavan, ali i mračan. Slojevite suknje, voluminozni rukavi i neobični krojevi evocirali su klaunske kostime, dok su šareni detalji i pruge aludirali na cirkuske šatore, ali u tamnijim, gotičkim i viktorijanskim tonovima. McQueenova revija nije bila samo modna prezentacija, već performans koji propituje granice ljepote, identiteta i društvenih normi. Cirkuski elementi kao što su široki rukavi, naglašeni korzeti, jarke boje i uzorci poput pruga i rombova, mogu se prepoznati u mnogim modnim kolekcijama što pokazuje trajnu inspiraciju cirkusom u modi [6].



Slika 2: Alexander McQueen, Fall 2009 RTW, Vogue Runway [6].

#### 4. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu prvo se izradio *moodboard* na temelju analize razvoja cirkuske kulture i elemenata cirkuskih kostima kao polazište za dizajnerski proces, slika 3a). Analizirale su se cirkuske predstave, uloge i pripadajući kostimi putem dostupnih videozapisa i članaka. Najzanimljiviji kostimi, elementi kostima i detalji poslužili su kao inspiracija za *moodboard* iz kojeg je slijedio razvoj dizajnerske kolekcije odjeće koja je digitalno izrađena u računalnom programu Procreate, slika 3b). Kolekcija se sastoji od 10 modela koji su povezani elementima preuzetim iz cirkuskih kostima. Iz kolekcije je odabran jedan model, posljednji model prikazan na slici 3b) za koji se izradio temeljni kroy i modeliranje temeljnog kroja [7].

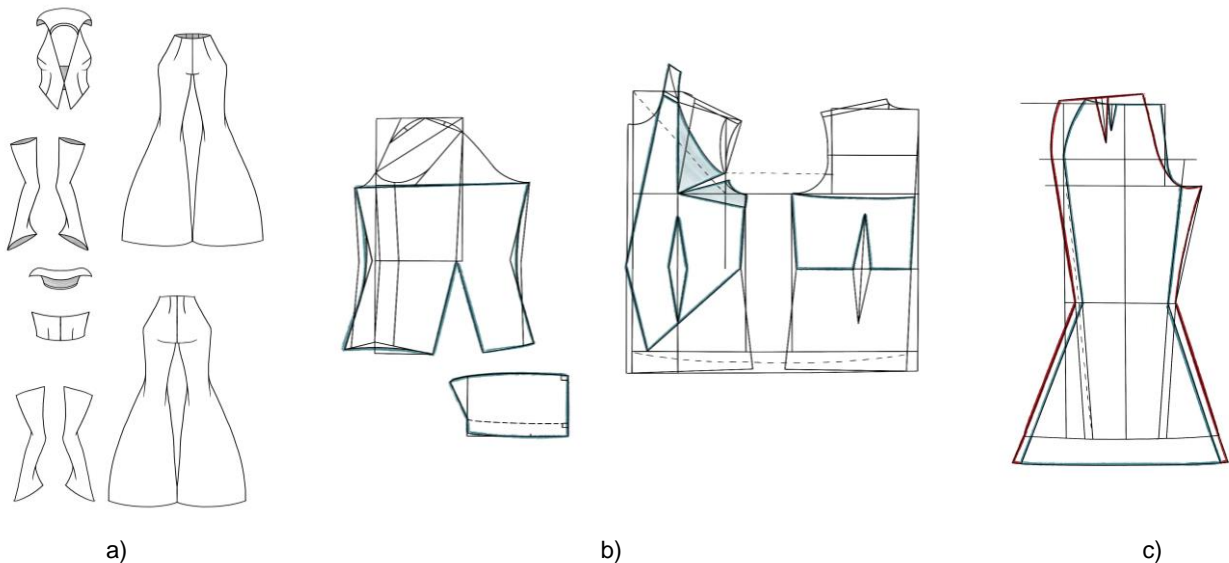


Slika 3: a) *Moodboard*, b) Kolekcija odjeće inspirirana elementima cikuskih kostima [7].

Cirkuski elementi koji su bili inspiracija za ovu kolekciju odjeće su: jarke boje koje prevladavaju kod svih 10 modela iz kolekcije, neuobičajene siluete odjeće koje su osobito naglašene na modelu 5, 6 i 9, raskošni materijal koji naglašavaju dramatičnost vidljivi su na modelu 2 i 7 i dekorativni detalji koji prevladavaju cijelom dizajnerskom kolekcijom, prikazano na slici 3b).

## 5. Rezultati rada

Za odabrani model iz kolekcije odjeće izrađen je tehnički crtež prednjeg i stražnjeg dijela (slika 4a). Model se sastoji od strukiranog prsluka i dugih trapez hlača. Prsluk je konstruiran prema temeljnom kroju ženske bluze u odjevnoj veličini 40. Na prednjem dijelu sadrži duboki „V“ vratni izrez i duge rukave. Ušitak na području ramena u temeljnom kroju prebačen je u područje grudi. Na stražnjem dijelu prsluka, leđa su otvorena do linije dubine orukavlja. Rukav ne sadrži rukavnu okruglinu kako bi se dobila otvorena ramena, rukav seže od linije dubine orukavlja do duljine odjavnog predmeta. Od područja lakta do duljine kroja, rukav je proširen u „A“ siluetu. Ovratnik je povišen prema temeljnom kroju klasičnog ovratnika za košulju, slika 4b). Trapez hlače modelirane su prema temeljnom kroju ženskih hlača u odjevnoj veličini 40. Proširene su od područja koljena do duljine kroja, slika 4c) [7].



**Slika 4:** a) Tehnički crtež prednjeg i stražnjeg dijela odabranog modela iz kolekcije odjeće, b) Modeliranje prednjeg i stražnjeg dijela prsluka i rukava, c) modeliranje prednjeg i stražnjeg dijela hlača [7].

## 6. Zaključak

Istraživanje cirkusa i cirkuskih kostima pokazuje da se cirkus razvio od putujućih predstava do kulturne institucije koja pomiče granice kreativnosti i propituje društvene norme. Cirkuski kostimi, bogati bojama, teksturama i simbolikom, kroz stoljeća su služili ne samo kao scenski elementi, već i kao izrazi identiteta, statusa i društvene uloge izvođača. Estetika cirkusa duboko je utjecala na modu: dizajneri poput Schiaparellija i McQueen-a i mnogi drugi inspirirali su se klaunovskim detaljima, akrobatskim siluetama i teatralnim elementima kako bi stvorili odjeću koja spaja dramu, humor i fantaziju. Prikazana dizajnerska kolekcija nastala je na temelju analiziranih cirkuskih elemenata, kombinacijom klaunskih ovratnika, širokih hlača, volana i uzoraka. Time se postigla dramatičnost i jedinstven dizajn koji odražava specifičan umjetnički izričaj.

**Zahvala:** Rad je izrađen u okviru aktivnosti na Institucijskom istraživačkom projektu RoDv (TTF-IIP-05) financiran je sredstvima Europske unije - NextGenerationEU

**Izjava o korištenju AI alata:** AI alati korišteni su u svrhu provjere informacija.

## Literatura

- [1] Encyclopaedia Britannica: Definition, History, Acts and Facts, Dostupan na: <https://www.britannica.com/art/circus-theatrical-entertainment/Philip-Astley-and-the-first-circuses>, Pristupljeno: 10-01-2026
- [2] Stoddart, D.: American Experience: The Circus, Dostupan na: <https://www.amazon.com/The-Circus-Season-1/dp/B0D4BZ3B1G>, Pristupljeno: 10-01-2026

- [3] Pascal, J.: The Circus costume, Dostupan na: <https://cirque-cnac.bnf.fr/en/aesthetics/circus-costume#:~:text=by%20Pascal%20Jacob,abandonment%20of%20a%20military%20uniform>,  
Pristupljeno: 10-01-2026
- [4] Roberts, T.: Schiaparelli's twisted „Circus Collection“, Dostupan na: <https://oldtrickssite.wordpress.com/2017/12/11/schiaparellis-twisted-circus-collection/>,  
Pristupljeno: 10-01-2026
- [5] Frederick, N.: 1938 – Elsa Schiaparelli, The Tears Dress, Dostupan na: <https://fashionhistory.fitnyc.edu/1938-schiaparelli-tears-dress/>,  
Pristupljeno: 10-01-2026
- [6] Mower, S.: McQueen Fall 2009 Ready-to-Wear By Lee McQueen, Dostupan na: <https://www.vogue.com/fashion-shows/fall-2009-ready-to-wear/alexander-mcqueen>,  
Pristupljeno: 10-01-2026
- [7] Vitlov, S.; Cirkuski kostimi kao inspiracija u razvoju autorske kolekcije ženske odjeće, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, (2025)



# **INSTITUCIONALNI PROJEKTI**

---



18. znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo



Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 27. siječnja 2026.



## Održivi razvoj odjeće dodane vrijednosti: Digitalno prototipiranje, primjena umjetne inteligencije i biomaterijala - AI3D-BioWear

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

Institucionalni projekt financiran iz Mehanizma za oporavak i otpornost, kroz Nacionalni plan oporavka i otpornosti



**Voditeljica projekta:**  
Prof. dr. sc. Slavenka Petrak

**Članovi istraživačkog tima:**

Prof. dr. sc. Tomislav Rolich,  
Prof. dr. dr. sc. Iva Rezić Meštrović,  
Prof. dr. sc. Antoneta Tomljenović,  
Prof. dr. sc. Maja Somogyi Škoc,  
Izv. prof. art. Helena Schultheis Edgeler,  
Dr. sc. Maja Mahnić Naglič, viši asistent,  
Dr. sc. Juro Živičnjak, viši asistent,  
Marko Vojnić, mag. educ. art., predavač

**Tim okuplja stručnjake iz područja:**

- Tehničke znanosti, polje Tekstilna tehnologija (odjevna tehnologija, kvaliteta i ispitivanje materijala), Računarstvo,
  - Prirodne znanosti (kemija) te
  - Umjetničko područje,
- s ciljem osiguravanja interdisciplinarnosti i potpune pokrivenosti ključnih područja istraživanja u okviru aktivnosti projekta: digitalno prototipiranje, održivi materijali, umjetna inteligencija, dizajn i funkcionalizacija tekstila.



Institucionalni projekt AI3D-BioWear (TTF-IP-02) Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta, u trajanju od 2025. do 2029., financira se sredstvima Europske unije - NextGenerationEU.

**Sažetak:**

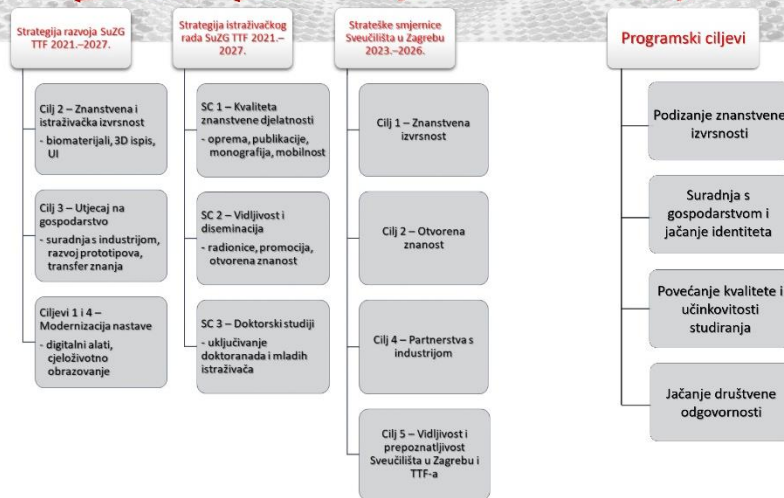
Projekt je usmjeren na znanstveno-istraživački doprinos održivoj, digitalnoj i zelenoj transformaciji tekstilne i modne industrije, kroz razvoj inovativnih rješenja u dizajnu, razvoju i proizvodnji odjeće visoke dodane vrijednosti. Projekt uključuje istraživanje i razvoj metodologije digitalnog prototipiranja na primjeru promotivne odjeće SuZG TTF-a. Pri tom uključuje istraživanje umjetnički vođenih procesa dizajniranja uz primjenu algoritama UI, funkcionalizaciju biomaterijala prirodnim bioaktivnim tvarima te primjenu naprednih metoda vrednovanja svojstava materijala. Poseban naglasak stavlja se na integraciju aditivnih tehnologija (3D ispisa) na biomaterijale radi isticanja estetskih i promotivnih obilježja. Kroz razvoj i evaluaciju eksperimentalnih prototipova, projekt doprinosi umrežavanju umjetnika i znanstvenika iz različitih znanstvenih područja i jača suradnju s gospodarstvom. Dodatni ciljevi uključuju jačanje znanstvene publicistike, međunarodnu vidljivost Fakulteta, modernizaciju studijskih programa, razvoj programa cjeloživotnog obrazovanja te unaprjeđenje znanstveno-nastavnih kompetencija članova istraživačkog tima. Projekt pridonosi ostvarivanju većeg broja ciljeva Nacionalnog plana oporavka i otpornosti u dijelu otpornog, zelenog i digitalnog gospodarstva.



**Glavni cilj projekta:**

Razviti i eksperimentalno potvrditi znanstveno utemeljenu, održivu metodologiju za dizajn i proizvodnju odjeće visoke dodane vrijednosti, koja integrira digitalno 3D prototipiranje, algoritme umjetne inteligencije i inovativne biomaterijale, kao doprinos održivoj, digitalnoj i zelenoj transformaciji tekstilne i modne industrije.

**Očekivani doprinos rezultata projekta AI3D-BioWear:**



# GRANICE MODE: Interdisciplinarne artikulacije odjeće i tekstila

## FASHION BORDERS (FABO)

GRANICE MODE (FABO) interdisciplinarno istražuje vizualnu, jezičnu i društveno-ekonomsku artikulaciju mode, s naglaskom na **hrvatsku modu 20. i 21. stoljeća**. Projekt **dokida tradicionalne barijere** i premošćuje podjele između teorije i prakse, povijesti i suvremenosti, visoke i ulične mode te nosivog i konceptualnog dizajna u analognom i digitalnom okruženju. U središtu istraživanja granica nije ograničenje, već **dinamična točka pregovaranja** između:

- **Identiteta i tijela** (odjevenog/razodjevenog)
- **Materijala i tehnologije**
- **Jezička i društvenih struktura**

### INTERDISCIPLINARNI TIM

- 01 – Humanističko područje
- 02 – Umjetničko područje
- 03 – Društveno područje
- 04 – Tehničko područje
- 05 – Muzealizacija

- 02**
- Prof. art. dr. sc. Jasminka Končić**  
Umjetnička istraživanja konotativnog značenja odjeće
  - Doc. art. Barbara Bourek**  
Kostimografija u kazalištu i na filmu

- 04**
- Dr. sc. Marijana Tkalec**  
Topografija tekstila, interakcija boje i materijala
  - Dr. sc. Duje Kodžoman**  
Spoj modnog dizajna i psihofizike



**Prof. dr. sc. Katarina Nina Simončić (voditeljica projekta)**  
Povijest odjevanja i vizualna reprezentacija mode

**Doc. dr. sc. Karla Lebhaft**  
Povijest i teorija umjetnosti, ideološki i kustoski konteksti

**01** **Dr. sc. Ivana Lukića**  
Pragmalingvistika i engleski jezik struke (teorija mode)

**Jozefina Čurković**  
Povijest tekstila, kultura svakodnevice i antropologija

**03** **Doc. dr. sc. Maja Stracenski Kalauz**  
Modna industrija, ekonomski aspekti i poduzetništvo

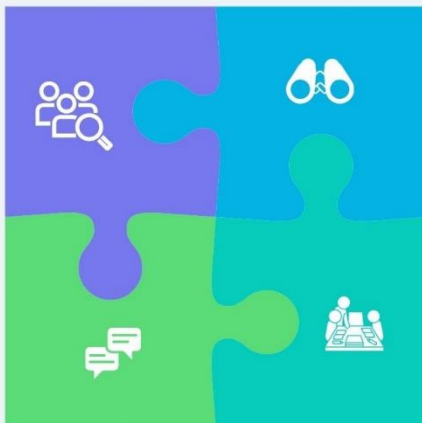
**Doc. dr. sc. Tonči Valentić**  
Sociološke teorije, semiotika i moda kao komunikacijski sustav

**05** **Maja Arčabić (MGZ) (vanjska suradnica)**  
Povijest mode i odjevanja u Zagrebu

### METODOLOGIJA

Projekt koristi kombinaciju znanstvenih i umjetničkih metoda kako bi obuhvatio složenost fenomena mode:

- **Povijesno-analiitičke metode:** Analiza razvoja tekstilne i modne industrije te implementacija zapadnih modnih fenomena.
- **Kvalitativna i kvantitativna istraživanja:** Analiza arhivske građe, vizualna i diskurzivna analiza, intervjui i studije slučajeva, istraživanje tržišnih transformacija, modnog poduzetništva i digitalnih tehnologija.
- **Sociološka i lingvistička analiza:** Proučavanje odnosa mode prema identitetu i rodu te pragmalingvistička analiza modnog diskursa.
- **Umjetničko-istraživačke metode:** Eksperimentalni pristup dizajnu kroz radionice, izložbe i vizualne prakse.
- **Digitalna dokumentacija:** Arhiviranje i diseminacija rezultata putem suvremenih digitalnih kanala.



### CILJEVI PROJEKTA

Glavni cilj projekta je pozicionirati modu kao ključni element nacionalnog identiteta kroz:

- 01 Znanstvenu valorizaciju**  
Temeljito istraživanje i dokumentiranje hrvatske mode 20. i 21. stoljeća.
- 02 Jačanje vidljivosti**  
Pozicioniranje mode u središte znanstvenog i kulturnog diskursa.
- 03 Interdisciplinarni dijalog**  
Povezivanje teorije i prakse u jedinstvenu istraživačku platformu.
- 04 Društveni doprinos**  
Poticanje dijaloga o modi kao segmentu kulturnog, društvenog i gospodarskog identiteta.

# FUNK-TEX

ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ ODRŽIVIH, FUNKCIONALNIH  
TEKSTILNIH KOMPONENTI ZA KOMPOZITE NOVE GENERACIJE



ODRŽIVE  
SIROVINE

EKO DIZAJN  
TEKSTILIJA

PROCJENA ŽIVOTNOG  
CIKLUSA

RAZVOJ  
KOMPONENTI

PROJEKTIRANJE  
STRUKTURA

FUNKCIONALNA  
SVOJSTVA

DIGITALNO  
PROGRAMIRANJE

ROBOTSKA MANIPULACIJA  
TEKSTILNIH  
KOMPONENTATA

RAZVOJ VAKUUMSKIH  
PRIHVATNICA



Financira  
Europska unija  
NextGenerationEU





## IMPUP-TEX: Interdisciplinarnе metodološke i umjetničke perspektive u suvremenim istraživanjima dizajna tekstila i tekstilne umjetnosti

Voditeljica: izv. prof. art. Josipa Štefanec

Članice i članovi radne skupine:

prof. art. Andrea Pavetić, prof. art. Koraljka Kovač Dugandžić, prof. art. Paulina Jazvić, izv. prof. art. Josipa Štefanec, izv. prof. art. Lea Popinjač, doc. art. Ivana Mrčela, doc. art. Marin Sovar, doc. dr. sc. Petra Krpan i mag. ing. tech. text. Đurđica Kocijančić



Međunarodna umjetnička radionica **Vezeno mapiranje**, voditeljice: prof. art. Paulina Jazvić i doc. art. Ivana Mrčela



Međunarodna umjetnička radionica **Identitet u plavom**, voditeljice: prof. art. Koraljka Kovač Dugandžić, izv. prof. art. Lea Popinjač i izv. prof. art. Josipa Štefanec

Ovaj projekt istražuje tekstilnu umjetnost i dizajn tekstila kroz interdisciplinarni okvir koji povezuje metodološke pristupe humanističkih znanosti s praksama umjetnosti, suvremene umjetnosti i dizajna. Polazišna pretpostavka jest da je tekstil višeslojni fenomen koji nadilazi isključivo estetske i funkcionalne dimenzije te zahtijeva integrirani pristup koji obuhvaća teorijsko i umjetničko istraživanje, materijalnu analizu i kreativnu praksu. Projekt je do sada realiziran kroz dvije međunarodne umjetničke radionice: **Vezeno mapiranje**, voditeljica prof. art. Pauline Jazvić i doc. art. Ivane Mrčele. Radionica je povezala tekstilnu umjetnost i osobnu naraciju: dok se crveni konac provlačio kroz tkaninu, isrtavali su se putovi, sjećanja i veze koje smo nosili sa sobom, a papuče su simbolizirale udobnost i sigurnost doma. Druga međunarodna umjetnička radionica **Identitet u plavome**, voditeljica prof. art. Koraljke Kovač Dugandžić, izv. prof. art. Lea Popinjač i izv. prof. art. Josipe Štefanec, temeljila se na interdisciplinarnom pristupu koji je povezivao tekstilnu umjetnost, analogne fotografske procese i osobno pisanje u promišljanju tema identiteta, migracije i traume. U okviru istraživanja održano je pozvano predavanje doc. dr. sc. Petre Krpan, **Materijalna kultura traume: Očjeća kao epistemologija preživljavanja**. Predavanje je razmatralo odjeću i tekstil kao ključne materijalne i semiotičke prostore u kojima su se konstituirali identitet i iskustvo traume u uvjetima radikalne dehumanizacije koncentracijskih logora. Također, u okviru istraživanja projekta, napisan je jedan znanstveno-istraživački rad doc. dr. sc. Petre Krpan, **Održive i spore tekstilne prakse i njihova uloga u modnom dizajnu**, uz pripadajući poster te je ostvarena **jedna međunarodna skupna umjetnička izložba**, na kojoj sudjeluju članice projekta prof. art. Koraljka Kovač Dugandžić, prof. art. Paulina Jazvić, izv. prof. art. Lea Popinjač, izv. prof. art. Josipa Štefanec i doc. art. Ivana Mrčela, čime je dodatno potvrđen njegov istraživački i produkcijski potencijal u međunarodnom kontekstu. Poseban naglasak stavlja se na uspostavljanje produktivnog dijaloga između znanstvenih i umjetničkih istraživačkih paradigmi, osobito onih koje proizlaze iz kulturalnih studija, antropologije, vizualnih studija i suvremene umjetničke prakse. Primjenom kvalitativnih metoda, analize diskursa i vizualnih analiza, u kombinaciji s eksperimentalnim i participativnim pristupima u tekstilnom dizajnu, projekt istražuje složene odnose između materijalnosti, identiteta, društvenih normi i kulturalnih značenja.

Glavni cilj projekta je potaknuti **nova razumijevanja tekstilne umjetnosti i dizajna tekstila** kao dinamičnih prostora u kojima se isprepliću umjetničke, društvene, simboličke i estetske vrijednosti, te afirmirati kreativne i umjetničke prakse kao relevantne i legitime oblike stvaranja znanja. Razvojem teorijsko-praktičnog modela istraživanja koji nadilazi disciplinarnе granice, projekt doprinosi suvremenim znanstveno-umjetničkim raspravama i potiče kritičku refleksiju o ulozi tekstilne umjetnosti i dizajna tekstila u kulturi i društvu danas.

INSTITUCIJSKI ISTRAŽIVAČKI PROJEKT:

## RAZVOJ ODRŽIVE ODJEĆE S DODANOM VRIJEDNOŠĆU



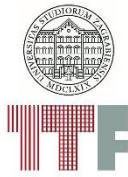
**Funded by**  
**the European Union**  
NextGenerationEU



NextGenerationEU







18. znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo



## Transformacija i recikliranje otpadnog asortimana u sekundarni hit (TRASH)

### Sažetak projekta:

Akcijski plan EU vezan uz uspostavu kružnog gospodarstva s ciljem dostizanja klimatske neutralnosti do 2050. teško se primjenjuje u sektoru tekstila, odjeće, kože i obuće. Strategija održive proizvodnje potiče smanjenje mješovitog tekstilnog otpada te potrebu uporabe/prenamjene. Osnovna ideja projekta teži smanjenju negativnog okolišnog utjecaja i ugljikovog otiska tijekom životnog ciklusa proizvoda u vrijednosnom lancu uz smanjenje otpada, ovisnosti o primarnim sirovinama i prekomjerne potrošnje prirodnih resursa uz stvaranje sekundarnih sirovina za nove proizvode. U 2020. godini 27 članica EU prikupilo je 6.95 milijuna tona miješanog tekstilnog/kožnog otpada (16 kg/osobi). Prva kategorija ciljeva ima zadatac osigurati primjenu zahtjeva za ekološki dizajn čime će se osigurati poboljšana trajnost i duži vijek proizvoda. Posredno će se osigurati mogućnost lakšeg održavanja, popravaka s mogućnošću ponovne uporabe ili ekološki prihvatljive uporabe. Druga kategorija ciljeva je edukacija javnosti o: a) problemu prisutnosti štetnih kemikalija u proizvodima, povećanju energetske učinkovitosti i optimalnoj uporabi proizvodnih resursa (sirovina i energenata), b) potrebi smanjenja proizvodnog otpada i povećanja udjela recikliranih sirovina i c) potrebi smanjenja sekundarnog mješovitog otpada nastalog korištenjem gotovih proizvoda. Treća kategorija ciljeva ima za rezultat provesti preventivne mjere kroz: a) optimizaciju proizvodnje, b) izgradnju mreže prikupljanja mješovitog tekstilnog otpada i c) pokretanje programa razvrstavanja, obrade i uporabe.

### Projektni tim:

1. Voditelj projekta: Ivana Špelić
2. Istraživači na projektu: Bosiljka Šaravanja, Anica Hursa Šajatović, Sanja Ercogović Račić, Miljenko Krhen, Ksenija Smoljak Kalamir, Kristina Krulić Himmelreich, Josip Petric, Kristina Maršić, Suzana Kutnjak Mravlinčić
3. Konzultanti: Aika Mihelić-Bogdanic
4. Suradnici na projektu: Selma Imamagić, Anja Ludaš Dujmić, Luka Savić
5. Administrator: Maja Matušin

### Cilj projekta:

Ciljevi projekta uključuju primjenu inovativnih rješenja za gospodarenje tekstilnim otpadom, uporabu i dizajn prototipa novog proizvoda iz oporabljenih sirovina kroz sljedeće projektne ciljeve. Projektni ciljevi:

GRUPA 1 – Razvoj dizajna za održivo gospodarstvo

(usklađeno sa strateškim ciljem „2. Jačanje suradnje s gospodarstvom te razvoj nacionalnog i regionalnog identiteta i kulture“ Nacionalnog strateškog okvira):

- 1.1. primjena zahtjeva ekološkog dizajna i održive proizvodnje kroz strateška namjenska partnerstva s gospodarskim subjektima s ciljem razvoja prototipa proizvoda povećane trajnosti
- 1.2. jačanje kompetencija znanstvenika, posebice u suradničkim zvanjima, kroz omogućavanje usavršavanja u znanstvenom području obrade i uporabe sirovina i proizvoda u sektoru tekstila, kože, obuće i gume

GRUPA 2 – Edukacija za društveno odgovornu budućnost

(usklađeno sa strateškim ciljem „4. Jačanje društvene odgovornosti“ Nacionalnog strateškog okvira):

- 2.1. edukacija javnosti, proizvođača i krajnjih potrošača o potrebi smanjenja proizvodnog otpada i povećanja udjela recikliranih sirovina
- 2.2. podizanje svijesti javnosti o odgovornoj uporabi mješovitog tekstilno/kožnog otpada
- 2.3. poticanje odgovornog gospodarenja tekstilnim i mješovitim otpadom kroz povećanje kružnosti tekstilnih proizvoda i povećanje kapaciteta za prikupljanje, razvrstavanje i uporabu mješovitog tekstilnog/kožnog otpada
- 2.4. usavršavanje projektnog tima kroz istraživačke posjete seminarima, studentske posjete centrima izvrsnosti, tematskim sajmovima i pogonima za obradu tekstilnog otpada / istraživački boravci na domaćim/inozemnim znanstveno-istraživačkim institucijama / istraživačke posjete gospodarskim subjektima i suradnim institucijama

GRUPA 3 – Razvoj održivog poslovanja kroz suradnju

(usklađeno sa strateškim ciljem „2. Jačanje suradnje s gospodarstvom te razvoj nacionalnog i regionalnog identiteta i kulture“ Nacionalnog strateškog okvira):

- 3.1. optimizacija proizvodnih kapaciteta u sektoru s ciljem zaštite okoliša i prijedlog rješavanja problema onečišćenja iz industrijskih postrojenja
- 3.2. poticanje proizvodnje iz oporabljenih tekstilnih/kožnih sirovina
- 3.3. smanjenje uporabe neobnovljivih energetskih resursa i otpadnih voda u proizvodnom procesu
- 3.4. smanjenje uvoza i poticanje lokalne proizvodnje te prerade recikliranih tekstilnih/kožnih sirovina
- 3.5. ostvarivanje međunarodne suradnje s inozemnim znanstveno-istraživačkim institucijama u području smanjenja štetnih elemenata u proizvodnji i obradi sirovina i proizvoda u sektoru tekstila, kože, obuće i gume te uporaba iskoristivih proizvoda s ciljem ponovne uporabe u nove proizvode

### Zahvala:

Ovaj rad je financiran u okviru Institucionalnog istraživačkog projekta „Transformacija i recikliranje otpadnog asortimana u sekundarni hit (TRASH)“ (šifra projekta: TTF-IIP-03) sredstvima Europske unije NextGenerationEU.



### Radni paketi:

RADNI PAKET 1: UPRAVLJANJE PROVEDBOM PROJEKTA

1.1. Pravno, administrativno i finansijsko upravljanje projektom kroz prihvaćanje strategije uporabe i prenamjene kako bi se smanjio udio tekstilnog otpada.

RADNI PAKET 2: USPOSTAVA SURADNJE S VANJSKIM INSTITUCIJAMA

2.1. Uspostava suradnje s suradnje s domaćim i međunarodnim istraživačkim te javnim institucijama i gospodarskim subjektima s ciljem primjene modela kružnog gospodarstva u cilju održivog gospodarenja tekstilnim otpadom.

2.2. Uspostava suradnje s domaćim i međunarodnim istraživačkim te javnim institucijama i gospodarskim subjektima s ciljem poticanja uporabe inovativnih materijala koji su (bio)razgradivi ili se lakše recikliraju kako bi se smanjio udio tekstilnog otpada.

RADNI PAKET 3: EDUKACIJA, PROMOCIJA I DISEMINACIJA PROJEKTNIH AKTIVNOSTI I REZULTATA

3.1. Promicanje održivih potrošačkih praksi i promjena navika šire javnosti kroz edukaciju o utjecaju tekstilnog otpada na okoliš (kupnja kvalitetnije i trajnije odjeće za više sezona; popravak odjevnih predmeta, dodataka i obuće u suradnji s obrtnicima; promicanje stvaranja proizvoda u duhu održivosti i smanjenja tekstilnog otpada u suradnji s gospodarskim subjektima).

3.2. Promocija projekta i podizanje svijesti šire javnosti o problemu izvršenja zakonskih regulativa kojima se promiče uporaba tekstilnog otpada, razvijanje sustava prikupljanja tekstilnog otpada i sabirnih centara s mogućnošću razvrstavanja s ciljem ponovne uporabe dijela prikupljenih proizvoda u primarnoj namjeni i stvaranja sirovine za sekundarnu uporabu u vidu sirovine za proizvodnju vlakana ili energije.

3.3. Izrada digitalne platforme za pristup informacijama, digitalni marketing i pristup repozitoriju.

RADNI PAKET 4: OPTIMIZACIJA PRIMARNE PROIZVODNJE I STVARANJE NOVIH TEHNOLOGIJA S CILJEM PRODULJENJA CJELOŽIVOTNOG CIKLUSA TEKSTILNIH I SRODNIH PROIZVODA

4.1. Razvoj programa proširene odgovornosti proizvođača kroz inicijative prikupljanja otpada od strane potrošača nakon korištenja i odlaganje otpada na odgovoran način od strane proizvođača.

4.2. Razvoj novih materijala/proizvoda s mogućnošću lakšeg recikliranja ili biorazgradnje načelima ekološkog dizajna.

4.3. Optimizacija proizvodnih postupaka kroz smanjenje vode i energenata potrebnih za proizvodnju/obradu tekstilnih i srodnih materijala, gotovih odjevnih predmeta i srodnih proizvoda (oparaba otpadnih voda u proizvodnom procesu, primjena ekološki prihvatljivijih bojila te kemikalija za obradu materijala/odjeće, povećanje uporabe recikliranih sirovina i smanjenje primarnih sirovina).

4.4. Optimizacija proizvodnih postupaka kroz smanjenje proizvodnog otpada (bolje razvrstavanje otpada u proizvodnom procesu, smanjenje otpadnih sirovina u proizvodnom procesu, primjena krojnih slikanja i polaganja materijala u procesu proizvodnje odjeće i obuće s ciljem smanjenja tekstilnog otpada).

RADNI PAKET 5: ISPITIVANJA I KONTROLA KVALITETE TEKSTILNIH MATERIJALA I PROIZVODA TE IZRADA PROTOTIPA PROIZVODA U SKLADU S EKOLOŠKIM DIZAJNOM

5.1. Izrada pilot projekta s ciljem projektiranja i dizajna prototipa proizvoda primjenom zahtjeva ekološkog dizajna i održive proizvodnje kroz strateško namjensko partnerstvo s gospodarskim subjektom.

5.2. Razvoj proizvodnje predmeta iz recikliranih ili ponovno uporabljenih sirovina sa studentima, obrtnicima i gospodarskim subjektima području sjeverne Hrvatske.

5.3. Dizajn i apliciranje zaštićenog znaka (žig) s ciljem jedinstvene identifikacije produkata u sektoru tekstila, obuće, kože i gume proizvedenih zahtjevima za ekološki dizajn i primjenom ciljeva kružnog gospodarstva.

5.4. Razvoj postupaka ekološki prihvatljive obrade sirovina u svrhu postizanja poboljšanje zaštite.

5.5. Ispitivanje ekoloških postupaka metoda i obrada tekstilnih materijala

5.6. Kontrola kvalitete tekstilnih materijala i proizvoda



18. znanstveno-stručno savjetovanje i tekstilna znanost i gospodarstvo



Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 27. siječnja 2026.



## ZELENE TEHNOLOGIJE U EKOLOŠKOM DIZAJNU I RAZVOJU ODRŽIVIH MATERIJALA

Ana Sutlović, Sandra Bischof, Martina Glogar, Anita Tarbuk, Sandra Finleč Grgac, Tihana Dekanić, Lea Botteri, Iva Brlek  
Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, 10000 Zagreb, HRVATSKA



„Istraživanje je dio institucionalnog istraživačkog projekta Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta „Zelene tehnologije u ekološkom dizajnu i razvoju održivih materijala – ZORA“ financirano od Europske unije – NextGenerationEU.



**RP2 – ODRŽIVE I ZELENE PREDOBRADE I MODIFIKACIJE** – voditelj: prof. dr. sc. Anita Tarbuk; članovi: izv. prof. dr. sc. Lea Botteri, Stefana Begović, mag. ing. techn. text., asistent  
Istražuje se primjena enzima i enzimskih kompleksa u iskuhavanju i bijeljenju pamuka (amilaza, pektinaza, glukooksidaza), vune (lipaza, proteaza) te hidrolizi poliestera (esteraza, lipaza), te njihova kombinacija za materijale iz mješavina. Pepeo pseudostablike banane, nusprodukt ekstrakcije vlakana, istražuje se kao alternativno sredstvo za iskuhavanje i hidrolizu PES-a. Ekološki prihvatljivo bijeljenje natrijevim perkarbonatom uspoređuje se s konvencionalnim bijeljenjem H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Ispituje se i primjena nižih koncentracija kationskih spojeva uz skraćeno vrijeme kationiziranja tijekom mercerizacije. Također se analizira učinak suhog ekstrakta pseudostablike banane kao biomiocila u predobradi za bojadisanje prirodnim bojilima.



**RP3 – EKO TISAK** – voditelj: doc. dr. sc. Iva Brlek; članovi: prof. dr. sc. Ana Sutlović, Branka Brkić, dipl. ing. viši stručni suradnik; vanjski suradnik: dr. sc. Dubravka Sandev  
Eko tisk uključuje prijenos biljnih pigmenta na tekstil pod utjecajem pritiska i/lili temperature. Fokus je na antocijaninima i betalainima iz otpadnih, obnovljivih ili inavazivnih biljnih izvora. Razvijat će se optimirana eko tehnika tiska uz skraćivanje procesnog vremena i primjenu ekološki prihvatljivih predobrada. Cilj je dobivanje unikativnih uzoraka i razvoj materijala s održivim bojama. Analizirat će se primjenjivost na različitim vlaknima i koži, s naglaskom na fazu fiksiranja u kojoj dolazi do kemijskog vezanja biljnih boja (antocijanini, betalaini, flavonoidi, karotenoidi) s funkcionalnim skupinama vlakna. Ovisno o sastavu, reakcija između imidnih, karbonilnih i hidroksilnih skupina vlakna, močila (metalnih soli ili biomiocila) i boja rezultira stvaranjem kompleksa vlakno-močilo-bojilo, koji određuje svojstva obojenja.

**RP4 – EKOLOŠKA I ODRŽIVA FUNKCIONALIZACIJA TEKSTILIA I KOŽE** – voditelj: prof. dr. sc. Sandra Finleč Grgac; članovi: Franka Žuvela Bošnjak, dipl. ing., predavač, Ana Pačić, mag. ing. techn. text., asistent  
Razvijat će se višefunkcionalni materijali uz primjenu ekološki prihvatljivijih sredstava za postizanje smanjene gorivosti, otpornosti na gužvanje, vodo-talje odbojnosti te antimikrobne učinkovitosti. Primjenjivat će se bezhloredni organskofereni spojevi, β-ciklodekstrini, kitosan, zeoliti, prirodne masne i polikarboksilne kiseline te prirodna boja. Optimizirat će se termokondenzacija primjenom grijane jedinice ATR do 300 °C na FTIR spektrometru s ciljem postizanja postojanih svojstava te zadržavanja primarnih svojstava obrađivanih materijala. Zeoliti i β-ciklodekstrin istražiti će se i kao alternativna funkcijadima u obradi kože. Svi uzorci bit će podvrgnuti strukturnoj, fizikalno-kemijskoj i termičkoj karakterizaciji, uz praćenje utjecaja na okoliš proizvoda i procesa.



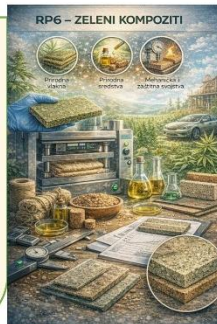
Projekt ZORA usmjeren je na dizajn i razvoj održivih tekstilnih materijala, kože i biokompozita, funkcionaliziranih ekološki prihvatljivim sredstvima i postupcima. Cilj je razvoj nove generacije materijala koji podržavaju kružno gospodarstvo, smanjuju ekološki otisak i omogućuju produženi vijek trajanja kroz održive procese njege. Istražuju se prirodne sirovine, zelena sredstva i inovativne tehnologije kako bi se unaprijedila funkcionalnost uz očuvanje biorazgradivosti i sigurnosti za okoliš. Očekivani rezultati uključuju prijedloge za primjenu razvijenih materijala u industrijama poput modne, tekstilne, obućarske, automobilske i građevinske, te smjernice za budući razvoj. Projekt doprinosi nacionalnim i europskim ciljevima održivog razvoja, a diseminacijom i digitalnom podrškom širi svijest o ekološkom dizajnu i upotrebi prirodnih izvora i zelenih tehnologija u znanstvenoj, stručnoj i široj zajednici.

U okviru projekta „Zelene tehnologije u ekološkom dizajnu i razvoju održivih materijala – ZORA“ projektni tim je na temelju kvalifikacija i komplementarnih kompetencija, raspoređen u 8 radnih paketa, a čime će se osigurati ostvarenje postavljenih ciljeva: RP1 – Menadžment; RP2 – Održive i zelene predobrade i modifikacije; RP3 – Eko tisk; RP4 – Ekološka i održiva funkcionalizacija tekstilija i kože; RP5 – Razvoj procesa njege tekstilija usmjeren na trajnost i održivost; RP6 – Zelene kompoziti; RP7 – Napredne digitalne analize održivih boja u ekološkom dizajnu; RP8 – Informiranje i vidljivost.

**RP5 – RAZVOJ PROCESA NJEGE TEKSTILIA USMJEREN NA TRAJNOST I ODRŽIVOST** – voditelj: izv. prof. dr. sc. Tihana Dekanić; članovi: prof. dr. sc. Tanja Pušić, doc. dr. sc. Kristina Šimić; vanjski suradnik: izv. prof. dr. sc. Julija Volmajer Valh, dr. sc. Nino Dimitrov  
Istraživat će se ekološki prihvatljiviji postupci njege optimiranjem procesnih parametara s ciljem očuvanja primarnih svojstava, postizanja trajnosti funkcionalnosti tekstilija i smanjenja opterećenja otpadnih voda. Primjenjivat će se površinski aktivne tvari niskog okolišnog opterećenja i multienzimski kompleksi, uz optimiranje doziranja, temperature i pH. Tekstilije će se funkcionalizirati specijalnim polimerima tijekom pranja radi očuvanja boje, UV otpornosti, smanjenja trenja i otpuštanja fragmenata vlakana. Fokus je na optimiranju termalnih i mehaničkih parametara pranja (niže temperature, kraći ciklusi, omjer kupelji) te utjecaju sušenja na funkcionalnost i trajnost. Učinkovitost postupaka ocjenjivat će se analizom morfoloških, spektrofotometrijskih i mehaničkih svojstava tekstila te karakteristikama otpadnih voda.



**RP6 – ZELENI KOMPOZITI** – voditelj: prof. dr. sc. Sandra Bischof; članovi: doc. dr. sc. Zorana Kovačević, Agata Vinčić, dipl. ing., viši predavač, dr. sc. Eva Magovac, viši stručni suradnik; vanjski suradnik: izv. prof. dr. sc. Ana Filipović  
U RP6 istražuje se razvoj zelenih kompozita s biorazgradivom polimerom matricom ojačanom prirodnim vlaknima poput brniste, konoplje i vune. Oplemenjivanjem vlakana prirodnim sredstvima (npr. laneno ulje, pluto) cilj je poboljšati mehanička i zaštitna svojstva te dodati vrijednost zelenim kompozitima. Materijali će se izradivati kompresijskim presanjem, uz optimizaciju parametara za postizanje ciljanih svojstava. Učinkovitost će se procjenjivati standardnim i prilagođenim metodama, analizom mehaničkih i morfoloških karakteristika, s naglaskom na primjenjivost u industriji, posebno automobilskoj i građevinskoj. U sklopu RP6, nadovezujući se na postojeću patentnu prijavu, istražiti će se i novi prirodni materijali poput konoplje i vune oplemenjeni prirodnim sredstvima radi dodatnog poboljšanja funkcionalnosti i smanjenja gorivosti.



**RP7 – NAPREDNE DIGITALNE ANALIZE ODRŽIVIH BOJA U EKOLOŠKOM DIZAJNU** – voditelj: prof. dr. sc. Martina Glogar; član: dr. sc. Ivana Čorak, viši asistent  
Radni paket 7 pruža ključnu podršku ostalim radnim paketima, znanstveno utemeljenim metodologijama vrednovanja boje u svim fazama procesa – od predobrade, bojadisanja i tiska, do uporabe i njege. Provodit će se spektrofotometrijska mjerenja uzoraka iz svih faza procesa primjenom uređaja nove generacije s proširenim brojem mjernih točaka. Analizirat će se spektralne karakteristike boja, razlike u boji (CMC1C2, CIEDE2000), apsorpcijski koeficijent (Kubelka-Munk), kolimetrijski parametri (L, C, h\*) te izradivati spektralni profil. Razvit će se metodologija za vizualnu evaluaciju kompleksnih obojenja. RP7 doprinosi učinkovitosti procesa, digitalnoj analizi, kontroli kvalitete i prijenosu znanja, podržavajući razvoj znanstveno utemeljenog ekološkog dizajna temeljenog na mjerljivom i višedimenzionalnom vrednovanju boje.



