

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

University of Zagreb Faculty of Textile Technology



ZBORNIK RADOVA

**15. znanstveno-stručnog savjetovanja
TEKSTILNA ZNANOST I GOSPODARSTVO**

BOOK OF PROCEEDINGS

**15th Scientific–Professional Symposium
TEXTILE SCIENCE & ECONOMY**

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

TEKSTILNA ZNANOST I GOSPODARSTVO

TEXTILE SCIENCE AND ECONOMY

ZBORNİK RADOVA BOOK OF PROCEEDINGS

15. znanstveno–stručnog savjetovanja
15th Scientific–Professional Symposium

ODRŽIVA MODA, TEKSTIL I ZELENE TEHNOLOGIJE U KONTEKSTU KRUŽNOG GOSPODARSTVA

Sustainable Fashion, Textiles and Green Technologies in the Context
of Circular Economy



26. siječnja 2023., Zagreb, Hrvatska
26th January 2023, Zagreb, Croatia

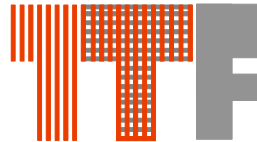


ISSN 2975-5956
(USB)



Organizacija/Organized by:

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET



UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF TEXTILE TECHNOLOGY

Pokrovitelji/Patrons:



Ministarstvo
znanosti i
obrazovanja

Ministarstvo znanosti i obrazovanja
Ministry of Science and Education



REPUBLIKA HRVATSKA
Ministarstvo gospodarstva
i održivog razvoja

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja
Ministry of Economy and Sustainable Development



Sveučilište u Zagrebu
University of Zagreb



Hrvatska akademija tehničkih znanosti
Croatian Academy of Engineering



Hrvatski inženjerski savez tekstilaca
Croatian Association of Textile Engineers



Hrvatsko društvo kožara i obućara
Croatian Leather and Footwear Association



Izdavač/Publisher:

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

Urednici/Editors:

Prof. dr. sc. Edita Vujasinović
Izv. prof. dr. sc. Tihana Dekanić

Tehnički urednici/Technical editors:

Izv. prof. dr. sc. Sandra Flinčec Grgac
dr. sc. Zorana Kovačević

TZG Logo/TZG Logo:

Prof. dr. sc. Martinia Ira Glogar

Kontakt adresa/Contact address:

Sveučilište u Zagrebu
Tekstilno-tehnološki fakultet
Prilaz baruna Filipovića 28a
HR-10000 Zagreb
☎: +(385) (1) 3712500
✉: tzg@tff.hr
<http://tzg.tff.unizg.hr>

University of Zagreb
Faculty of Textile Technology
Prilaz baruna Filipovića 28a
HR-10000 Zagreb
☎: +(385) (1) 3712500
✉: tzg@tff.hr
<http://tzg.tff.unizg.hr>

Opaska/Note:

Svi radovi u ovom zborniku su recenzirani. Bez obzira na to, urednici i organizator ne odgovaraju za sadržaj prikazan u ovoj publikaciji. Sva prava pripadaju autorima, što znači da će daljnji uvjeti objave rada biti dogovoreni sa samim autorima. Nakon objave Zbornika TZG 2023, autori kao i druge osobe ili institucije koji žele objaviti reference ili na neki način koristiti rad iz ove publikacije, mole se navesti prethodnu objavu rada u Zborniku TZG 2023.

All papers presented in this publication have been peer-reviewed. However, the editors and organizers are not responsible for the content of the papers. All rights are held by the authors, i.e. further publication conditions should be agreed with the authors. When publishing the proceedings, authors and other persons or institutions who wish to refer to or otherwise use the contributions in this publication are requested to explicitly acknowledge prior publication in the TZG2023 book of proceedings.



Znanstveni odbor/Scientific Programme Committee:

Predsjednik/President:

Prof. dr. sc. **Edita Vujasinović**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

Članovi/Members:

Prof. dr. sc. **Anica Hursa Šajatović**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
Prof. dr. sc. **Branka Vojnović**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
Prof. dr. sc. **Sandra Bischof**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
Izv. prof. dr. sc. **Sanja Ercegović Ražić**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
Izv. prof. dr. sc. **Anita Tarbuk**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
Izv. prof. art. dr. sc. **Jasminka Končić**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
Izv. prof. dr. sc. **Nina Katarina Simončić**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
Izv. prof. dr. sc. **Irena Šabarić**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
Prof. dr. sc. **Tajana Krička**, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet
Prof. dr. sc. **Aleksandra Anić Vučinić**, Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet
Prof. dr. sc. **Andrej Demšar**, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta
Prof. dr. sc. **Dragan Đorđević**, Univerzitet u Nišu, Tehnološki fakultet u Leskovcu
Izv. prof. dr. sc. **Julija Volmajer Valh**, Sveučilište u Mariboru, Fakulteta za strojništvo

Organizacijski odbor/Organizing Committee:

Predsjednik/President:

Izv. prof. dr. sc. **Tihana Dekanić**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

Članovi/Members:

Izv. prof. dr. sc. **Sandra Flinčec Grgac**
Doc. dr. sc. **Snježana Brnada**
Dr. sc. **Zorana Kovačević**
Ana Palčić, mag. ing. techn. text.
Ana Šaravanja, mag. ing. techn. text.
Anja Ludaš, mag. ing. techn. text.
Luka Savić, mag. ing. techn. text.
Marijana Tkalec, dipl. inž.
Srđan Cvetanović

Recenzenti/Reviewers:

Sandra Bischof, Slavica Bogović, Lea Botteri, Blaženka Brlobašić Šajatović, Snježana Brnada, Tihana Dekanić, Dragan Đorđević, Siniša Fajt, Snježana Firšt Rogale, Sandra Flinčec Grgac, Renata Hrženjak, Anica Hursa Šajatović, Jasminka Končić, Zorana Kovačević, Tanja Pušić, Ana Sutlović, Bosiljka Šaravanja, Sonja Šterman, Anita Tarbuk, Branka Vojnović, Julija Volmajer Valh, Edit Vujasinović, Emilija Zdraveva

Riječ urednica

Tekstilna znanost i gospodarstvo (TZG) je znanstveno-stručno savjetovanje s jedinstvenim ciljem okupljanja znanstvenika i vodećih stručnjaka iz različitih područja gospodarstva koji su dijelom svog djelovanja vezani za tekstil, odjeću, kožu, obuću, galanteriju i modu, a s namjerom razmjene znanja i iskustva, uspostavljanja suradnje i integracije. Ovogodišnja tema savjetovanja **Održiva moda, tekstil i zelene tehnologije u kontekstu kružnog gospodarstva** je proizašla iz razmatranja i analiza brojnih inicijativa na državnoj i globalnoj razini, koje su usmjerene ka održivom razvoju tekstilija, kompozita, kože, obuće i odjeće primjenom naprednih tehnologija, te ekoloških, ekonomskih i etičkih načela u proizvodnji. Osim navedenoga kružno gospodarstvo kao model proizvodnje i potrošnje uključuje dijeljenje, posudbu, ponovno korištenje, popravljavanje, obnavljanje i reciklažu postojećih proizvoda i materijala kako bi se produljio životni vijek proizvoda te istovremeno smanjila količina otpada, a svaki taj segment zahtijeva kreativnost i održivi modni izričaj. Iz svega navedenoga jasno je kako je izabrana tema neiscrpno vrelo konstruktivne rasprave s ciljem djelovanja znanstvene i gospodarske zajednice u procesu stvaranja i upotrebe proizvoda po načelima kružnog gospodarstva.

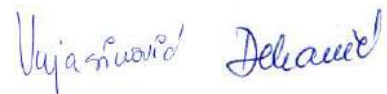
Tema savjetovanja prezentirana je kroz šest pozvanih predavanja koja su sudionicima savjetovanja produbila spoznajne razine vezane uz pomake i restrukturiranje u znanosti, kreativnosti i industriji s ciljem provođenja kružnog gospodarstva. Prva skupina pozvanih predavanja bila je rezervirana za gospodarstvenike. Prvo predavanje pod naslovom „ARE SUSTAINABLE TEXTILES THE FUTURE OF LUXURY IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY?“ održala je gospođa Swati Rai Dhanda iz Bugatti Rimac d.o.o.. Uslijedilo je predavanje pod naslovom „TEKSTIL U KRUŽNOM GOSPODARSTVU“ direktora RGNC grupe gospodina Anđelka Švaljeka te predavanje pod naslovom „NOVO LICE ODRŽIVOSTI: MALA LOKALNA POSLOVANJA KAO SREDIŠTE PROMJENE“ gospođe Ivane Biočine iz Instituta održive mode. U drugom dijelu savjetovanja slijedio je niz od tri predavanja renomiranih znanstvenika. Predavanje pod naslovom „TIME OF CHANGES“ održao je prof. dr. sc. Andrej Demšar sa Univerza v Ljubljani Naravoslovnotehniška fakulteta, nakon njega prof. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić sa Sveučilišta u Zagrebu Geotehničkog fakulteta koja je održala predavanje pod naslovom „KRUŽNO GOSPODARSTVO U PRAKSI“ i posljednje predavanje pod naslovom „KONOPLJA ?!“ održao je prof. dr. sc. Goran Hudec umirovljeni profesor Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta, a trenutno voditelj razvoja u ZADružnoj KONopljari. Nadalje, tema savjetovanja obrađivana je iz različitih aspekata kroz 36 znanstvenih i stručnih radova prezentiranih kroz posterska izlaganja. U Zborniku je objavljeno šest sažetaka tema izloženih kao pozvana predavanja te 24 izvorna znanstvena, dva pregledna znanstvena i 10 stručnih radova koji su prošli recenziju i objavljeni su u cijelosti. Skup je popraćen i brojnim drugim aktivnostima, od izložbe radova studenata Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta, do predstavljanja opreme i uređaja.

Posebno treba naglasiti prepoznatljivu aktivnost TZG-a, organizaciju Okruglog stola. Ove godine, u okviru Okruglog stola pod nazivom „Sinergija znanosti, kreativnosti i industrije kao pokretač kružnog gospodarstva“ sugovornici su bili prof. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić čiji je znanstveni interes upravo većim dijelom vezan uz kružno gospodarstvo u gospodarenju otpadom, naročito u sustavu gospodarenja posebnim kategorijama otpada, a uz to je i predsjednica Hrvatske udruge za gospodarenje otpadom (HUGO), gosp. Anđelko Švaljek, direktor RGNC grupe koja u svom poslovnom procesu, u modelu kružne ekonomije objedinjava prikupljanje i recikliranje tekstilnog otpada, prof. dr. sc. Sandra Bischof sa Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta čije je područje interesa funkcionalizacija, modifikacija karakterizacija tekstila te kružno gospodarstvo, a ujedno je i voditeljica Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil – TSRC, izv. prof. dr. sc. Nina Katarina Simončić sa Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakultet čije je područje interesa povijest tekstila i odjeće, povijest mode i modnog dizajna i antropologija mode, prof. dr. sc. Goran Hudec, čije je područje interesa u novije doba industrijska konoplja i mnoge druge razvojne i životne teme te gđa. Jagoda Divić samostalna savjetnica u Sektoru za industriju i održivi razvoj i tajnica Udruženja tekstilne, odjevne i kožarsko-prerađivačke industrije pri Hrvatskoj gospodarskoj komori.

Na kraju ovog obraćanja urednice zahvaljuju svima koji su svojim radom, promišljanjima i znanjem pridonijeli kvalitetnom održavanju skupa. Pozivamo sve gospodarstvenike, male i srednje poduzetnike da se uključe u razvojne projekte u suradnji sa Sveučilištem u Zagrebu Tekstilno-tehnološkim fakultetom, jer samo suradnjom i zajedničkim projektima možemo doprinijeti uspješnoj provedbi kružnog gospodarstva koje je ključni čimbenik za razvoj i rast tekstilnog gospodarstva Hrvatske i šire regije. Posebnu zahvalu upućujemo pokroviteljima savjetovanja koji su prepoznali naš rad i nastojanja te donatorima bez čije bi materijalne podrške bilo teško realizirati ovaj skup.

Zagreb, 26. siječnja 2023.

Urednice Zbornika:



Editors' word

Textile Science and Economy (TZG) is a scientific and professional conference with the unique goal of gathering scientists and leading experts from different areas of the economy whose activities are mainly related to textiles, clothing, leather, footwear and fashion, with the intention of sharing knowledge and experience, strengthen already establish and start new connections between academic institution and economy. This year's topic is Sustainable Fashion, Textiles and Green Technologies in the Context of the Circular Economy emerged from the analysis of numerous initiatives at national and global levels, which are aimed at the sustainable development of textiles, composites, leather, footwear and clothing using advanced technologies, environmental, economic and ethical principles in production. In addition to the aforementioned, the circular economy as a model of production and consumption includes sharing, borrowing, reusing, repairing, restoring and recycling existing products and materials in order to extend the life of the product and at the same time reduce the amount of waste, and each of these segments requires creativity and sustainable fashion expression. From all of the above, it is clear that the chosen topic is an inexhaustible source of constructive discussions aimed at making the scientific and economic community act according to the principles of the circular economy in the manufacture and use of products.

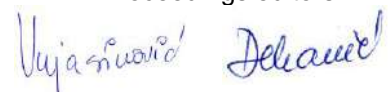
The topic of the symposium was presented in six invited lectures that deepened the participants' insights into developments and restructurings in science, creativity and industry with the aim of implementing a circular economy. The first group of invited lectures was reserved for entrepreneurs. The first lecture entitled "ARE SUSTAINABLE TEXTILES THE FUTURE OF LUXURY IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY?" was given by Mrs. Swati Rai Dhanda from Bugatti Rimac d.o.o.. It was followed by a lecture entitled "TEXTILES IN THE CIRCULAR ECONOMY" by the director of RGNC group Mr. Anđelko Švaljek and the lecture entitled "THE NEW FACE OF SUSTAINABILITY: SMALL LOCAL BUSINESSES AS A CENTER OF CHANGE" by Mrs. Ivana Biočina from the Institute of Sustainable Fashion. The second part of the conference was followed by a series of three lectures by renowned scientists. The lecture entitled "TIME OF CHANGES" was held by prof. Andrej Demšar from the University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, followed by lecture entitles "CIRCULAR ECONOMY IN PRACTICE" held by prof. Aleksandra Anić Vučinić from the University of Zagreb Faculty of Geotechnical Engineering, while the last lecture entitled "HEMP?!!" was given by prof. Goran Hudec who is a retired professor at the University of Zagreb Faculty of Textile Technology, and currently an active head of research at ZAdružna KONopljara. In addition, the symposium topic was addressed from various aspects in 36 scientific and professional papers presented in the form of poster presentations. Six abstracts of the topics presented in invited lectures, as well as 24 original scientific papers, 2 scientific reviews and 10 peer-reviewed technical papers have been published in the conference proceedings. The conference was accompanied by numerous other activities ranging from the exhibition of creative achievements by students to the presentation of equipment and devices.

One of the recognizable activities of the TZG, the so-called round table, was held this time under the name of "The synergy of science, creativity and industry as the driving force of the circular economy", and in which the panellists were prof. Aleksandra Anić Vučinić, whose scientific interest is mainly related to the circular economy in waste management, especially in the system of managing special categories of waste, and in addition, she is the president of the Croatian Association for Waste Management (HUGO); Mr. Anđelko Švaljek, director of RGNC group which in its business process already applies circular economy model, combines the collection and recycling of textile waste; prof. Sandra Bischof from the University of Zagreb Faculty of Textile Technology, whose area of interest is functionalization, modification and characterization of textiles as well as circular economy, and she is also the head of the Textile Science and Research Centre – TSRC; assoc. prof. Nina Katarina Simončič from the University of Zagreb Faculty of Textiles and Technology, whose area of interest is the history of textiles and clothing, the history of fashion and fashion design, and the anthropology of fashion; prof. Goran Hudec, whose area of interest in recent times is industrial hemp and many other development and life topics, and Mrs. Jagoda Divić, independent advisor in the Industry and Sustainable Development Sector and secretary of the Association of the Textile, Clothing and Leather-Processing Industry at the Croatian Chamber of Economy.

At the end of this editorial, the editors would like to thank all those who contributed to the quality of the conference with their work, thoughts and knowledge. We invite all entrepreneurs from small and medium enterprises to participate in joint development projects with the University of Zagreb Faculty of Textile Technology, because only through cooperation and joint projects we can contribute to the successful implementation of the circular economy, which is a key factor for the development and growth of the textile industry in Croatia and beyond. Our special thanks go to the patrons of the TZG 2023 conference, who recognized our work and efforts, as well as to the sponsors, without whose financial support it would have been difficult to hold this event.

Zagreb, 26th January 2023

Proceedings editors:





SADRŽAJ

CONTENTS



POZVANA PREDAVANJA / INVITED LECTURES:

Swati Rai DHANDA Are sustainable textiles the future of luxury in the automotive industry.....	2
Anđelko ŠVALJEK Tekstil u kružnom gospodarstvu Textiles in the circular economy.....	3
Ivana BIOČINA Novo lice održivosti: mala lokalna poslovanja kao središte promjene The new face of sustainability: small local businesses as the center of change.....	4
Aleksandra ANIĆ VUČINIĆ Kružno gospodarstvo u praksi Circular economy in practice.....	5
Andrej DEMŠAR Time of changes.....	6
Goran HUDEC Konoplja?!! Hemp?!!.....	7

IZVORNI ZNANSTVENI RADOVI / ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS:

Alen ERJAVEC & Julija VOLMAJER VALH Textile materials represented in disposable surgical masks pose a serious threat to the environment.....	9
Slavenka PETRAK; Blaženka BRLOBAŠIĆ ŠAJATOVIĆ & Ivan MIHALJEVIĆ Digitalne tehnologije u kontekstu održivog modnog dizajna i razvoja odjeće Digital technologies in the context of sustainable fashion design and clothing development.....	15
Sanja ERCEGOVIĆ RAŽIĆ; Anja LUDAŠ & Karlo GOLUBIĆ Mechanical properties and biodegradability of composite material from cellulose as waste raw materials .	21
Marijana PAVUNC SAMARŽIJA & Edita VUJASINOVIĆ Svijest hrvatskih građana o otpadnom tektilu u kontekstu gospodarenja otpadom Croatian citizens' awareness of waste textiles in the context of waste management.....	27
Snježana KIRIN & Anica HURSA ŠAJATOVIĆ Analiza statodinamičkog opterećenja radnika u tehnološkom procesu krojenja Analysis of the statodynamic load on workers in the technological cutting process.....	33
Suzana ĐORĐEVIĆ; Miodrag ŠMELCEROVIĆ; Marija KODRIĆ & Dragan ĐORĐEVIĆ Specificity of making a winter jacket for extreme sports.....	39

Željko KNEZIĆ; Robert MATAŠIĆ; Dubravko ROGALE; Željko PENAVAL & Snježana FIRŠT ROGALE Elektro indukcijski izvori električne energije u tkaninama za inteligentnu odjeću Electric induction power sources in fabrics for intelligent clothing.....	45
Valentina LADAN; Dubravko ROGALE; Nikolina JUKL & Snježana FIRŠT ROGALE Utjecaj procesnih parametara glačanja na završni izgled konvencionalne i inteligentne odjeće Influence of process parameters of pressing on the final appearance of conventional and intelligent clothing.....	50
Lucija MIŠETIĆ & Maja SOMOGYI ŠKOC Ispitivanje utjecaja pH i temperature na hidromehanička svojstva geotekstila Testing the influence of pH and temperature on the hydromechanical properties of geotextiles.....	56
Marijana TKALEC; Martinia GLOGAR & Željko PENAVAL Utjecaj teksture tkanina na karakteristike obojenja Fabric texture influence on color appearance.....	62
Tea JOVANOVIĆ; Željko PENAVAL & Diana ŠIMIĆ PENAVAL Type of weave influence on poisson's ratio of the woven fabric.....	68
Suzana ĐORĐEVIĆ; Emilija ĐIKIĆ-JOVANOVIĆ; Miodrag ŠMELCEROVIĆ & Dragan ĐORĐEVIĆ Comfort and functionality of work clothes from the point of view of medical staff and patients.....	74
Ana PALČIĆ; Snježana BRNADA; Sandra FLINČEC GRGAC & Tihana DEKANIĆ Procjena udobnosti tkanine u atlas vezu s ciljem primjene u bolničkom okruženju Assessment of satin weave fabric comfort for the application in hospital environment	80
Anja LUDAŠ; Iva DIVJAK; Ana SUTLOVIĆ; Sanja ERCEGOVIĆ RAŽIĆ & Martinia Ira GLOGAR The influence of argon plasma pretreatment and natural dyeing to uv protection of woolen fabrics	86
Pavao PRAHIN; Lea BOTTERI* & Martinia Ira GLOGAR Međusobni utjecaj obrade protiv gorenja i digitalnog tiska na pamučnoj tkanini The mutual influence of flame retardant treatment and digital printing on cotton fabric.....	91
Ivana ČORAK; Anita TARBUK; Valentina KUDUZOVIĆ; Ivana MEHEŠ & Ksenija VIŠIĆ Utjecaj procesnih parametara na hidrolizu poliestera amanolipazama The influence of process parameters on the polyester hydrolysis by amanolipases.....	97
Ana ŠARAVANJA; Tihana DEKANIĆ; Tanja PUŠIĆ & Tea KAURIN Primarni osjetni indeksi starene poliesterske tkanine Primary sensory indices of polyester fabric exposed to aging.....	103
Petra MIHOVILOVIĆ; Branka VOJNOVIĆ & Livio RACANÉ Utjecaj oksidacijskih svojstva otopine na mogućnost uporabe kitozana u obradi tekstilnog materijala The influence of the oxidative properties of the solution on the possibility of using chitosan in the processing of textile materials	108



Ana PALČIĆ; Sandra FLINČEC GRGAC & Franka ŽUVELA BOŠNJAK Mogućnost vezivanja kitozana na pamučnu tkaninu primjenom uv zračenja The possibility of bonding chitosan to cotton fabric using uv radiation.....	114
Tihana DEKANIĆ; Mirjana BASIĆ; Ana PALČIĆ; Sandra FLINČEC GRGAC; Anita TARBUK & Katia GRGIĆ Utjecaj optimiranog procesa pranja na antimikrobno obrađene tekstilije Influence of optimized washing process on antimicrobial treated textiles.....	120
Tea KAURIN & Ana ŠARAVANJA Protokoli za analizu otpuštenih čestica u procesu kućanskog pranja Protocols for analysis of released particles in process of home laundering.....	126
Petra MIHOVILOVIĆ; Kristina ŠIMIĆ; Tanja PUŠIĆ & Branka VOJNOVIĆ Otpuštanje čestica mikroplastike s tkanine od mješavine pamuka s poliesterom u procesu pranja Release of microplastic particles from cotton and polyester blend fabric during the washing process.....	131
Franka ŽUVELA BOŠNJAK & Sandra FLINČEC GRGAC Toplinska stabilnost kože štavljene vegetabilno uz dodatak zeolita Thermal stability of vegetable-tanned leather with the addition of zeolite.....	137
Martinia GLOGAR; Tanja PUŠIĆ; Veronika LOVREŠKOV; Tea KAURIN; Nino KERMAN & Lidija SRŠAN Some aspect of dyes application on inherently flame retardant fabrics.....	143

PREGLEDNI RADOVI / REVIEW PAPERS:

Alenka ŠALEJ LAH & Tatjana RIJAVEC Recycled cotton on the market.....	150
Tamara GEORGIEVSKA; Katerina ATKOVSKA; Stefan KUVENDZIEV, Mirko MARINKOVSKI, Erhan MUSTAFA, Predrag MIŠIĆ, Kiril LISICHKOV Design of aromatherapy and medical functional textile by microcapsules with green repellents and essential oils.....	156

STRUČNI RADOVI / PROFESSIONAL PAPERS:

Tanja PODBEVŠEK; Tatjana RIJAVEC & Matejka BIZJAK Sustainable approaches to garment production.....	163
Tara TOLIĆ; Irena ŠABARIĆ; Renata HRŽENJAK & Franka KARIN Kolekcija dječje odjeće u skladu s održivošću A collection of children's clothing in accordance with sustainability.....	168
Marina MARIĆ; Tena RISEK; Ivana STIPIĆ & Renata HRŽENJAK Održiva moda kao poticaj u oblikovanju kolekcije dječje odjeće Sustainable fashion as an incentive in children's clothing collection design.....	173



Lukrecija MESEK & Slavenka PETRAK Digitalne tehnologije u kreativnom sektoru - dizajn i razvoj odjeće za industriju video igara Digital technologies in the creative sector - design and development of clothing for the gaming industry.	177
Mihaela JURAKOVIĆ; Tihana DEKANIĆ; Tanja PUŠIĆ & Koraljka KOVAČ DUGANDŽIĆ Oporaba džinsa sa svrhom održivosti Reuse of denim for the purpose of sustainability	183
Anita TARBUK; Sandra FLINČEC GRGAC; Tihana DEKANIĆ & Ana SUTLOVIĆ Erasmus+ projekt "Sustainable design and process in textiles for higher education" - GreenTEX Erasmus+ project "Sustainable design and process in textiles for higher education" - GreenTEX.....	189
Tena ŠUMSKI & Josip PETRIC Izrada odjeće po mjeri u tvornici Varteks d.d. Custom-made clothing at Varteks d.d.....	193
Mislav MAJDAK; Slavica BOGOVIĆ & Iva REZIĆ Taložno očvršćivanje biorazgradivih polimera za antimikrobne materijale metodom 3D tiska Fused deposited of biodegradable polymers for antimicrobial materials by 3D printing.....	198
Mia MAKŠAN; Sanja PRAHIĆ & Suzana KUTNJAK-MRAVLINČIĆ Oblikovanje i razvoj mini kolekcije obuće i modnih dodataka Design and development of a mini collection of footwear and fashion accessories.....	204
Sara VLADIĆ; Danijela JEMO; Sanja SERHATLIĆ & Mateo Miguel KODRIĆ KESOVIA Od restauracije etnografskog predmeta do izrade kopije From the restoration of an ethnographic artifact to reproduction.....	210
POPIS AUTORA/AUTHOR INDEX.....	217
POPIS DONATORA/LIST OF DONORS.....	219



POZVANA PREDAVANJA

INVITED LECTURES

ARE SUSTAINABLE TEXTILES THE FUTURE OF LUXURY IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY?

Swati RAI DHANDA

Bugatti Rimac d.o.o., Sveta Nedelja, Hrvatska, e-mail: swati.dhanda@bugatti-rimac.com

Abstract: *In the automotive industry, especially in the performance luxury segment or the hyper car world where I currently work, the customers are quite used to materials such as leather, carbon fibre and metal – mostly aluminium and its many types but also steel, titanium and many more such high – tech materials. These have been the go-to materials to balance the aesthetic and functional requirements of these very fast cars that need to be lightweight and agile. Our customers are used to appreciating the tactile appeal of these materials and are even ‘expecting’ them for a sense of familiarity as they interact with these materials also in other products/fashion/lifestyle accessories from the luxury world. There is a very high focus placed on fine craftsmanship, details and finesse. On the other hand, consciousness towards sustainable manufacturing is rapidly rising where many brands are bringing focus towards this through their various products and offerings. Customers, including luxury buyers are also becoming increasingly green and eco conscious with their lifestyle and material choices in reaction to this need/trend for a positive self-brand communication. The automotive industry has been no exception of course. As a manufacturer, it becomes our responsibility as well to contribute positively in the production chain and make our contributions through sustainable manufacturing. As materials’ designers, we are faced with a very interesting crossroads in our discipline – How do we enhance craftsmanship and luxury offerings to our customers while making more sustainable choices. Is the answer to add more leather/ more carbon/ more metal or is there perhaps a way to mimic these materials and replace them with more sustainable alternatives. Would these mimics live up to the authentic feel of the originals and would they prove to be in fact greener / more lightweight and more luxurious. Likewise, if these traditional materials have been existing and surrounding automotive audience for so long, has perhaps a limit been reached or is there still a way to enhance and exhibit their qualities further. Would it be perhaps better to serve up new materials, with a fresh appeal and avoid mimics altogether and instead introduce new luxury interactions as the next step...? With this background, and to begin to answer any of the above questions it would be essential to dive a bit deeper and examine the circular nature of materials currently being used in high end luxury automobiles and if, there is room for improvement and how. This lecture would fall short for such an enquiry, but I will attempt to brush the surface by taking leather as an example.*

Keywords: *sustainable textiles, sustainable manufacturing, automotive industry, luxury automobiles, design*

TEKSTIL U KRUŽNOM GOSPODARSTVU

TEXTILES IN THE CIRCULAR ECONOMY

Andelko ŠVALJEK

Regeneracija non wovens d.o.o., Zabok, Hrvatska, e-mail: direktor@regeneracija.hr

Sažetak: Na samom početku tekstilna i odjevna industrija bazirale su se isključivo na preradi i upotrebi prirodnih vlakana. Porast stanovništva, rast životnog standarda, podizanje modnih zahtjeva te posljedično ograničena dostupnost količine prirodnih vlakana i njihova visoka cijena, rezultirali su otkrićem i rastom primjene sintetičkih vlakana. Ta vrsta vlakana i njihova upotreba znatno su pridonijeli povećanju ukupne potrošnje vlakana te omogućili razvoj mode i širenje područja primjene tekstila. Globalizacijski procesi rezultirali su masovnom dislokacijom tekstilne industrije u zemlje s nižim troškovima rada i nerazvijenim standardima zaštite okoliša (prvenstveno Azija) što je omogućilo razvoj „brze mode“. Stalna proizvodnja novih odjevnih predmeta po vrlo niskim cijenama dovela je do ogromnog povećanja količine odjeće koja se proizvodi i baca. Kupovina odjeće u Europi se u 20-tak godina povećala za 40%. Svega 1% godišnje proizvedenih tekstilnih proizvoda se reciklira. Opći porast cijena svih sirovina, nedostatak prirodnih i proizvodnih resursa u Europi, nedostatak izvora energije te problem utjecaja na okoliš, doveli su do shvaćanja da je nužno ubrzati prelazak na kružno gospodarstvo. Tekstilni otpad zauzima značajno mjesto Europskom zelenom planu, čime se otvaraju brojne prilike za revitalizaciju tekstilne industrije. Naša generacija „tekstilaca“ ima jedinstvenu priliku da svoja znanja, vještine i iskustva (koja su često smatrana nepotrebnima i suvišnima) stavi u funkciju rješavanja problema koje je naša industrija stvorila. To možemo postići na način da svi zajedno u lancu vrijednosti, od obrazovanja, istraživanja, razvoja, dizajna i proizvodnje pa do potrošača, prihvatimo i primijenimo načela kružnosti. Mi u Regeneraciji-nonwovens smo, prihvaćajući te principe, uspjeli postići to da u svojoj proizvodnji koristimo 94% regeneriranog tekstilnog otpada i pri tome proizvodimo 100% reciklabilne proizvode. Naša ambicija je kontinuirano povećavati volumen svog biznisa i svojim primjerom motivirati ostale da u svoje poslovne modele ugrade načela kružnog gospodarstva i time promoviraju društveno odgovorno i održivo poslovanje.

„Ako možeš, moraš. A ako moraš onda i možeš.“

Abstract: At the beginning, the textile and clothing industry was based exclusively on the processing and use of natural fibers. The increase in the population, the growth in the standard of living, the rise in fashion demands and consequently the limited availability of natural fibers and their high price, led to the discovery and growth of the use of synthetic fibers. This type of fiber and its use contributed significantly to the increase in the total consumption of fibers and allowed the development of fashion and the expansion of the scope of textiles. The processes of globalization led to a massive relocation of the textile industry to countries with lower labor costs and underdeveloped environmental protection standards (especially Asia), which allowed the development of "fast fashion". The constant production of new garments at very low prices has led to a huge increase in the number of garments produced and discarded. The purchase of clothing in Europe has increased by 40% in about 20 years. Only 1% of the textile products produced each year are recycled. The general increase in the price of all raw materials, the lack of natural and productive resources in Europe, the lack of energy sources and the problem of environmental impact have led to the realization that the transition to a circular economy must be accelerated. Textile waste occupies an important place in the European Green Plan, which opens up numerous opportunities for the revitalization of the textile industry. Our generation of "textile workers" has a unique opportunity to apply their knowledge, skills and experience (often considered unnecessary and redundant) to solving problems that our industry has created. We can do this in a way that everyone in the value chain, from education, research, development, design and production to the consumer, accepts and applies the principles of the circular economy. At Regeneracija, by adopting these principles, we have achieved using 94% regenerated textile waste in our production, while producing 100% recyclable products. Our goal is to continuously increase our business volume and, through our example, motivate others to integrate the principles of the circular economy into their business models, thus promoting socially responsible and sustainable business practises.

"If you can, you must. And if you must, you can."

Ključne riječi: kružno gospodarstvo; recikliranje; tekstilni otpad; reciklabilni proizvodi

Keywords: circular economy; recycling; textile waste; recyclable products

NOVO LICE ODRŽIVOSTI: MALA LOKALNA POSLOVANJA KAO SREDIŠTE PROMJENE

THE NEW FACE OF SUSTAINABILITY: SMALL LOCAL BUSINESSES AS THE CENTER OF CHANGE

Ivana BIOČINA

Institut održive mode, Koprivnica, Hrvatska, e-mail: ivanabiocina@gmail.com

Sažetak: U vrijeme kada je održivost na vrhuncu popularnosti, ali i gubi svoju snagu zbog bujanja zelene ekološke manipulacije te prevlasti ultra brze mode, prava snaga nalazi se u malim, lokalnim poslovanjima, obrtima i zanatlijama koji diljem Europe oblikuju novi, nezavisni pokret uz jasno odstupanje od starog. Kroz primjer pristupa radu, poslovanju i proizvodnji u Institutu održive mode (IOM), prikazat će se da se održivost gradi malim, lokalnim, inovativnim. Institut održive mode otvoren je u Koprivnici 2020. godine s ciljem proizvodnje, edukacije i širenja ideje održive mode. Proizvodnja u IOM-u je održiva, odgovorna, lokalna, bez toksina i plastike, s biorazgradivim materijalima, uz prirodno bojadisanje sezonskim biljkama te sprovođenje zero textile waste prakse i prenamijene (upcycling). Također, razvija se tekstil od koprive i istražuje potencijal lokalnih biljaka za izradu vlakana i tekstila. Svrha i namjera IOM-a je, osim održive proizvodne prakse, osnažiti potrošače i male proizvođače, da zajedno budemo dio promjene koju želimo vidjeti u tekstilnoj industriji i djelovanjem dokažemo da održivost nije samo prolazna misao, već početak i temelj novog života industrije koji se upravo rađa.

Abstract: At a time when sustainability is at the peak of popularity, but also losing strength due to the rise of green environmental manipulation and the dominance of ultra-fast fashion, the real strength lies in small, local businesses, crafts and craftpersons who are shaping a new, independent movement across Europe with a clear departure from old. Using the example of the approach to work, business and production at the Institute of Sustainable Fashion (IOM), it will be shown that sustainability is built small, local and innovative. The Institute of Sustainable Fashion opened in Koprivnica in 2020 with the aim of producing, educating and spreading the idea of sustainable fashion. Production at IOM is sustainable, responsible, local, without toxins and plastics, with biodegradable materials, natural dyeing with seasonal plants, and implementation of zero textile waste practices and upcycling. It also develops nettle textiles and explores the potential of local plants to produce fibers and textiles. The goal and intent of the IOM, in addition to sustainable production practices, is to empower consumers and small producers, so that together we can be part of the change we want to see in the textile industry and prove through action that sustainability is not just a passing thought, but the beginning and foundation for the new life of the industry that is just beginning.

Ključne riječi: Institut za održivu modu, održiva moda, lokalno, malo, nula tekstilnog otpada, odgovorna proizvodnja, prirodna bojila, biorazgradivi materijali, organsko, regionalna zajednica, obrazovanje

Keywords: Institute for Sustainable Fashion, sustainable fashion, local, small, zero textile waste, responsible manufacturing, natural dyes, biodegradable materials, organic, regional community, education

TIME OF CHANGES

Andrej DEMŠAR

University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Textiles, Graphic Arts and Design, Ljubljana, Slovenia, e-mail: andrej.demsar@ntf.uni-lj.si

Abstract: *We live in an unbalanced world. Unbalance always leads to critical situations which must, sooner or later, be resolved. The unbalance can be clearly seen in our natural environment, our society and in economy (these are three fields which are addressed also by sustainability). Major cause for unbalance lies in the economy which is driven mostly by wrong set of values. According to N. Chomsky, "A basic principle of modern state capitalism is that costs and risks are socialized to the extent possible, while profit is privatized". Capitalism produces not to meet human needs first and foremost, but to make a profit. The humanity has found itself in such unbalanced situation in which there is no other exit except to find new, more sustainable, approaches. To rephrase A. Einstein: "We cannot solve sustainability problems, which we created with technology, using just technology". Additionally, infinite expansion of the economy is fundamentally contradictory to finite planetary boundaries. Hence, reducing environmental degradation requires a downscaling of consumption and production. Multiple transdisciplinary and holistic approaches should be developed, which introduces new view and approach, with a new basic values and mindset. New approaches should have a focus, vision and strategy to create a balanced world. World where technology development and growth would be balanced with growth of awareness of humanity. Balanced world is a world with healthy environment, healthy people, healthy society and balanced GDP. In such a way the progress of the humanity will be driven by changes in our attitude towards nature, society and economy. The aim of current contribution is to discuss causes of the current sustainability crisis, to define stakeholders who are responsible for current situation and to propose possible solutions. Four groups of stakeholders who can make a change in current sustainability crisis are defined: Consumers, Economy, Politicians (legislators) and Educators. Education is found to be the strongest tool to make a long-term and long-lasting change. Therefore, we educators, have a great mission and responsibility towards humanity. We, educators in the textile field, are educating engineers of the future. Engineers who will have, beside their professional knowledge, also high awareness and will be able to build a better world using sustainable and holistic approach. The aim of this contribution is also to invite you, people from economy, science and education, to think about your possible contribution in creating a more sustainable world.*

Keywords: *changes; textile; education; sustainability; degrowth*

KRUŽNO GOSPODARSTVO U PRAKSI CIRCULAR ECONOMY IN PRACTICE

Aleksandra ANIĆ VUČINIĆ

Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet, Varaždin, Hrvatska, e-mail: aav@gfv.unizg.hr

Sažetak: *Prije osam godina Europska unija donijela je dokument Zatvaranje kruga – akcijski plan EU za kružno gospodarstvo temeljem kojeg su revidirani postojeći ciljevi i postavljeni novi ciljevi u sektora gospodarenja otpadom za različite kategorije. Do danas zemlje članice aktivno rade na poboljšanju postojećih sustava i uspostavi novih kako bi se ispunili postavljeni ciljevi. Jedan od najvažnijih ciljeva je da se što više otpada kroz postupke recikliranja pretvori u novu tvar, sirovinu ili proizvod, te da se izbjegne gubitak potencijalnih sirovina odlaganjem. Međutim, u praksi za realizaciju kružnog gospodarstva nailazi se na niz prepreka. Jedna od ključnih prepreka je svakako instrument ukidanja statusa otpada koji je nužan preduvjet za ostvarenje cilja. Gospodarenje otpadom do sada je bila kategorija koja nije ovisila o kretanjima na globalnom tržištu, međutim, primjenom kružnog gospodarstva u praksi ovaj sektor postaje usko povezan sa globalnim tržištem koje reagira i mijenja se ovisno o drugim globalnim kretanjima što predstavlja drugu prepreku. Isplativost postupaka recikliranja direktno ovisi o globalnim trendovima, što može značiti povećanje troškova gospodarenja otpadom. Infrastruktura za gospodarenje otpadom nužna je kako bi se ostvarili ciljevi kružnog gospodarstva, a njena izgradnja traje od pet do deset godina. Republika Hrvatska u 2021. godini ostvarila je stopu od 43% odvojenog prikupljanja komunalnog otpada, ali još uvijek nije ostvarila cilj koji je postavljen kroz paket kružnog gospodarstva. Na primjeru Republike Hrvatske prikazat će se primjeri iz prakse koji ilustriraju problematiku implementacije kružnog gospodarstva u praksi.*

Abstract: *Eight years ago, the European Union adopted the document Closing the Circle - an EU action plan for a circular economy based on which the existing goals were revised and new goals were set in the waste management sector for different categories. To date, member countries are actively working to improve existing systems and introduce new ones to achieve the goals set. One of the most important goals is to turn as much waste as possible into a new substance, raw material or product through recycling processes, and to avoid the loss of potential raw materials through disposal. In practice, however, one encounters a number of obstacles to achieving a circular economy. One of the main obstacles is certainly the instrument to abolish the status of waste, which is a necessary condition to achieve the goal. Until now, waste management was a category that was not dependent on movements in the world market. However, by applying the circular economy in practice, this sector becomes closely linked to the world market, which reacts and changes depending on other global movements, which is another obstacle. The profitability of recycling processes is directly dependent on global trends, which can mean an increase in the cost of waste management. Waste management infrastructure is necessary to achieve the goals of the circular economy, and its development takes five to ten years. In 2021, the Republic of Croatia achieved a 43% rate of separate collection municipal waste, but did not yet achieve the goal set in the circular economy package. Using the Republic of Croatia as an example, practical examples will be presented to illustrate the problems of implementing the circular economy in practice.*

Ključne riječi: *gospodarenje otpadom, kružno gospodarstvo, ukidanje statusa otpada*

Keywords: *waste management, circular economy, end-of-waste status*

KONOPLJA?!!

HEMP?!!

Goran HUDEC

Zadružna konopljara, Pisarovina, Hrvatska, e-mail: goran.hudec@gmail.com; goran@zadrzna-konopljara.hr

Sažetak: Kudjeljara u Črnkvcima (pored Osijeka) je u svojim najboljim godinama (50-te godine prošlog stoljeća) zapošljavala oko 400 radnika i bila je jedna od najvećih u Europi. Sredinom 90-tih uzgoj konoplje u Hrvatskoj je potpuno nestao a sada se polako obnavlja. Prema važećim propisima uzgajivači se upisuju u Evidenciju proizvođača industrijske konoplje a dozvoljeno je sijanje sorti sa zajedničke sortnoj listi Europske unije. Proizvođač konoplje je dužan dostaviti Agenciji za plaćanja kopiju računa o plaćenom certificiranom sjemenu koje koristi te godine, kao i originale službenih oznaka certificiranog sjemena. Uzgajanje konoplje je regulirano Zakonom o suzbijanju zloupotreba droga u kojem je izmjenama iz 2019. uveden pojam industrijske konoplje (*Cannabis sativa L.* s ukupnim sadržajem THC-a do 0,2 posto) čime je omogućeno korištenje cijele biljke a ne samo sjemena. Pravni aspekti korištenja industrijske konoplje u Hrvatskoj ipak nisu sasvim definirani i praktičnu primjenu sputava to što na primjer nema tehničkih specifikacija koje moraju zadovoljiti biokompoziti ili izolacijski materijali od konoplje. Kroz rad se ukratko prezentiraju saznanja koja su stečena u ZADružnoj KONopljari tijekom prve tri godine ekološkog uzgoja industrijske konoplje, prerade cvijeta te stabljike. Daju se i prva iskustva u pripremi materijala od konoplje za primjenu u graditeljstvu.

Abstract: Hemp processing plant in Črnkovci (near Osijek) has in their best years (middle of 20th Century) 400 employees and was one of largest in Europe. Sadly, some 40 years later hemp plantation in Croatia almost vanished but nowadays slowly come back. According to present days legal regulation hemp growers are obligated to register in Records of Producers of Industrial Hemp and seeds listed in the European Union Hemp Plant Variety Database should be used. The hemp growers are obliged to submit to the Payments Agency a copy of the invoice for the paid certified seed that he uses that year, as well as the originals of the official marks of the certified seed. Hemp cultivation in Croatia is regulated by the Law on Suppression of Drug Abuse, in which the amendments in 2019 introduced the term industrial hemp (*Cannabis sativa L.* with a total THC content of up to 0.2 percent), which enables the use of the whole plant and not just the hemp seeds. The legal aspects of the use of industrial hemp in Croatia are still not fully defined and practical application is hindered by the fact that, for example, there are no technical specifications that must be met by hemp made biocomposites or insulation materials. The paper briefly presents the knowledge gained in the Hemp Cooperative during the first three years of ecological cultivation of industrial hemp, processing of flowers and stalks. The first experiences in the preparation of hemp material for use in construction are also given.

Ključne riječi: konoplja u Hrvatskoj – pravno stanje; ekološki uzgoj konoplje; prerada cvijeta i stabljike; primjene u graditeljstvu

Keywords: hemp in Croatia - legal status; ecological cultivation of hemp; flower and stem processing; applications in construction



IZVORNI ZNANSTVENI RADOVI

ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

TEXTILE MATERIALS REPRESENTED IN DISPOSABLE SURGICAL MASKS POSE A SERIOUS THREAT TO THE ENVIRONMENT

Alen ERJAVEC* & Julija VOLMAJER VALH

Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor, Maribor, Slovenia; alen.erjavec@um.si; julija.volmajer@um.si

* Corresponding author: alen.erjavec@um.si

Abstract: *Surgical face masks were introduced more than a century ago. They were originally developed to contain and filter droplets expelled from the mouth and nasopharynx during surgery to protect patients from the risk of surgical wound infections. With frequent outbreaks of epidemics, surgical masks have been switched to use by the general population. The pandemic of COVID-19 disease was the biggest pandemic in modern times which brought many challenges in the field of personal protective equipment (PPE). The amount of all PPE consumed increased dramatically, especially of disposable surgical masks (DSMs) which were widely used by the general population. DSM was by far the most used type of face mask in Slovenia during the pandemic survey showed. Much of them were improperly disposed of, i.e., they entered the environment. As it was found out in a survey in Slovenia 10% of all used masks are disposed of improperly. For this reason, it is crucial to accurately analyse the waste and identify all the hazards it poses. Therefore, in the present work, a DSM was disassembled, and an in-depth analysis of the waste has been performed. Firstly, a gravimetric analysis of representative DSM parts has been performed, along with detailed infrared spectroscopy of the individual parts. Due to the materials used in the DSM assembly concerns have been raised about potential contamination of the environment by micro/nanoplastics and by other harmful components of DSMs generated during the leaching and photodegradation process. The artificial weathering test and toxicity characteristic leaching procedure were used to analyse and evaluate the fragmentation of micro/nanoplastics. Micro/nanoplastic particles were leached from all five components of the mask in an aqueous medium. Exposed to natural conditions, a DSM loses up to 30% of its mass in just 1 month, while micro/nanoplastic particles are formed by the process of photodegradation. Improperly treated DSMs pose a potentially hazardous risk to the environment due to the release of micro/nanoparticles.*

Keywords: *DSM; micro/nanoplastics; leaching; artificial weathering; environmental pollution*

1. Introduction

With the outbreak of COVID-19 and the announcement of a pandemic on 11. 3. 2020, according to the World Health Organisation (WHO), the global demand for medical PPE has increased significantly [1]. As Czigany and Ronkay note in their article, surgical masks provide protection and an effective way to keep the virus from circulating. They significantly reduce the number of droplets an infected person spreads in their environment. Therefore and consequently, protective masks were one of the most sought-after products last year [2]. SARS-CoV-2 has led to the worldwide consumption of disposable surgical masks (DSM) to prevent human-to-human transmission of the virus. The WHO estimated that 89 million medical masks are needed each month to deal with COVID-19 [1].

At the height of the pandemic, Wuhan alone generated 240 tons of medical waste in a single month [3]. A survey in Slovenia found that in the first year of the pandemic, approximately 344 million protective masks were used, on which Slovenians spent €92.5 million of their personal money. In addition, companies and the government spent much more money to provide sufficient masks in schools, hospitals, industry, etc. [4].

As it was found [2-4] amount of disposable surgical masks (DSMs) consumed increased dramatically, and much of it was improperly disposed of, i.e., it entered the environment. For example, in Slovenia, 10% of all used DSMs were disposed of improperly, which means 34.4 million protective masks in one year [4]. For this reason, it is crucial to accurately analyse the waste and identify its hazards. Face masks are made of polymeric materials that degrade over time. Macro plastics break down into smaller fragments, first into micro and later into nanoplastics. Both micro and nanoplastics were the most problematic environmental pollutants even before the pandemic [5-10] As it was found in our previous study, all five parts of DSM are made of plastic materials: outer, filter and inner layers are made of nonwoven and melt-blown polypropylene or polyethylene. Nose wires are made of polypropylene plastic or steel wire coated by polypropylene. Ear loops are made from polyamide, polyurethane or polyester materials [6].

In this study, DSM was analysed, as it is the most common piece of PPE used widely by the general population. A representative amount of sample (more than 5000 DSMs) was collected containing different colours and produced by different manufacturers. Gravimetric analysis of sample composed of 100 masks. Particular attention was paid to the potential water pollution from micro/nanoplastics generated by these masks' degradation and other harmful components of DSM generated during the leaching and photodegradation process, highlighting their adverse effects if not disposed of properly.

2. Method used

2.1 Gravimetric analysis

More than 5000 used DSMs of all colours and different manufacturers were collected. That amount had been quartered down to 100 DSMs. A single surgical mask had been divided into five essential components - nose wire, ear loops, outer nonwoven layer, melt blown filter layer and inner nonwoven layer and was dried to constant mass. On a sample of 100 disassembled masks, we performed a gravimetric analysis of the proportion of each component in our sample. The masks were disassembled manually. Each element had been weighted on balance Kern ALT 220-4NM with an accuracy of ± 0.001 g.

2.2 Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) and analysis of TCLP products

Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) - SW-846 Test Method 1311 [11], was performed to determine the leaching of microplastic particles from the sample. A representative sample of DSM was prepared in the following way: all five parts (nose wire, ear loops and outer, filter and inner layer) had been cut on parts with a surface under 1 cm^2 . Then the dry matter of the sample was determined according to the standard [12]. The first pristine analysis was done for the whole mask according to this procedure and also for the modified procedure in which distilled water was switched with artificial seawater (ASW) prepared, as written by Kester et al. [13]. Method was modified by switching distilled water with ASW to analyse potential higher leaching of particles when DSM is exposed to sea waters. Then unmodified TCLP was performed for all five parts of DSM separately. 6 different samples were analysed. Each was prepared in three parallels – outer layer, filter layer, inner layer, ear loops, and nose wire. This value was used in equation 1 to determine the amount of distilled water needed to perform TCLP of 50 g of our sample. 50 g of the sample has been put in a glass jar with the correct amount of distilled water. Then the jars were put on a shaker HS-501 made by IKA Werk that rotated at 30 ± 2 rpm for 18 ± 2 hours.

$$m_{\text{fluid}} = \frac{20 \cdot w_{\text{dry matter}} \cdot m_{\text{sample}}}{100} \quad (1)$$

Products were first filtered through a colander with a mesh diameter of 5 mm to remove larger parts. Then obtained filtrate was filtered again through polyether sulfone (PESU) filters with an effective pore size of $0.2 \mu\text{m}$ and diameter of 50 mm, from Sartorius Stedim Biotech GmbH. Microplastics retained on the filter were examined under ZEISS Axiotech 25HD (+ pole) optical microscope, with an AxioCam MRC (D) high-resolution digital camera, where different parts were observed and measured. Dried microplastics on the filter were also weighed. Filters have been dried to constant mass at $100 \text{ }^\circ\text{C}$ in a dryer VS50-SC produced by Kambič d.o.o. and weighed before the filtration. After filtration, they were dried again and weighed to determine the mass of microplastics on the filter. Filters have been weighted on balance Kern ALT 220-4NM with an accuracy of ± 0.001 g. Obtained microplastic particles were also analysed and measured under the optical microscope.

Water obtained in TCLP before and after the filtration process had been tested for simple qualitative properties. With a turbidimeter, Velp Scientifica TB1 turbidity of samples has been measured, and with a conductometer, Metler-Toledo SevenCompact S230 conductivity of samples has been measured. Chemical oxygen demand (COD) has also been determined using tube tests by Macherey-Nagel, heating unit Macherey-Nagel Nanocolor Vario 4 and UV/VIS spectrophotometer Macherey-Nagel Nanocolor UV/VIS.

Water after filtration has also been analysed for particle size distribution (PSD) using Zetasizer Nano ZS® (Malvern Instruments, Ltd., UK) equipped with dynamic light scattering (DLS) technology. Triplicate measurements were carried out using a He-Ne laser at a wavelength of 633 nm and scattering angle of 173° at $25 \text{ }^\circ\text{C}$ and lasted 70 s.

2.3 Photodegradation caused by artificial weathering

Photodegradation of the mask was performed by artificial weathering using a climate chamber - Xenotest alpha LM high energy (Atlas). It was essentially the same as the standard ISO 4892 - 2 2013, with minor modifications in cycle composition. The DSM were manually prepared to fit into the Xenotest holders. The

samples were then dried at 90 °C for 1 hour to maintain a constant mass. The samples were then weighed and placed in the Xenotest. One cycle consisted of a 1 min rain period and a 29-min dry period at a relative humidity of 50% and a constant temperature of 38 °C. Irradiance was set to 60 W/m², and was provided with a daylight filter. These laboratory conditions are a rapid simulation of the actual natural conditions to which DSM are exposed in nature, thus mimicking natural conditions. A cycle was repeated 25 times, 50 times, 75 times, 100 times, 125 times, 150 times, 175 times and 200 times. Samples were then dried again at 90 °C for 1 h and weighed. Distilled water was used for the simulated rainwater, which was collected and analysed after the simulation. A few drops of the simulated rainwater were examined under an optical microscope ZEISS Axiotech 25HD (+ pole). It was also filtered through a PESU filter with < 0.2 µm mesh size. The filtrate was analysed by DLS to detect any nanoscale particles released from the samples.

3. Results

3.1 Gravimetric analysis

After manually decomposing 100 different DSMs into five components (shown in Fig. 1 a), we used the basic statistical tools in Microsoft Excel to obtain the results shown in Fig. 1 b). The average mass of a single mask was 3.1205 g. The maximum mass fraction of the mask represents a 3-layered part, resulting in 79.7%. This percentage is evenly distributed among all 3-layers and most likely contributes significantly to micro/nanoplastic fragmentation. 12.4% of the mass of the DSM represents ear loops, and the lowest percentage of the DSM mass represents nose wire, i.e., 7.9%.

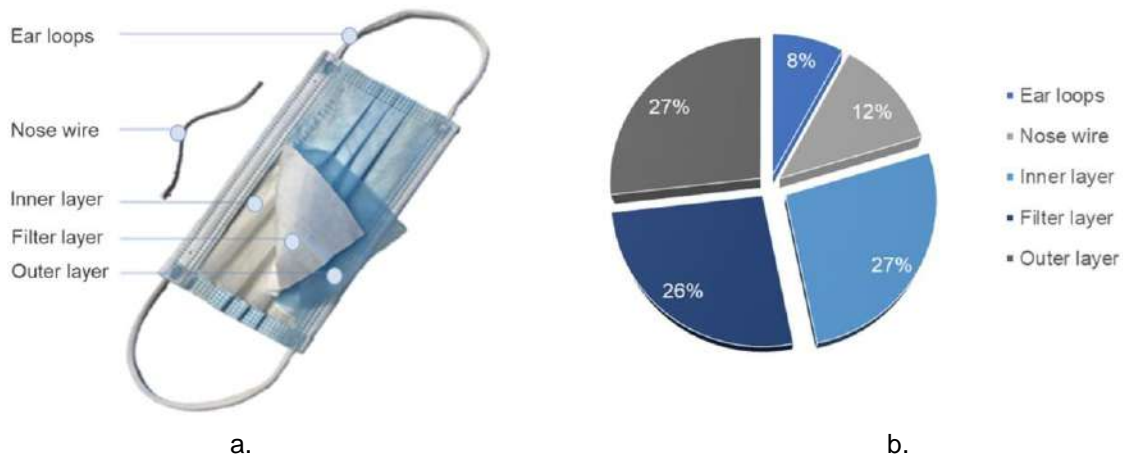


Figure 1: a. Composition of typical DSM, b. Gravimetric analysis of various DSM compositions shown in percentage

3.2 TCLP results analysis

As can be seen from table 1, qualitative properties of water obtained after TCLP procedures showed the same trend. Particles and chemicals released from DSMs have caused an increase in turbidity, conductivity and COD of distilled water. The values increase for both TCLP procedures is comparable except for conductivity, where ASW ions influence results significantly. A little hire mass of microplastic particles (size between 5 mm and 0.2 µm) was released after the TCLP procedure with distilled water used. This was also the reason why that procedure was used - to evaluate the leaching of microplastic particles by each part of DSM.

Table 1: Simple qualitative properties of the water obtained in TCLP and modified TCLP with ASW before and after filtration

Treatment		Turbidity [NTU]	Conductivity	COD [mg/L O ₂]	microparticles [mg]
TCLP	Before filtration	15.51	60.42 mS/cm	52.3	7.4
	Filtered	1.86	271.1 µS/cm	53.6	
	Blank	0	35.20 µS/cm	18.0	
TCLP with ASW	Before filtration	16.31	45.43 mS/cm	67.3	7.0
	Filtered	2.05	43.50 mS/cm	63.9	
	Blank	0	31.05 mS/cm	35.8	

Microplastics left in the water after the first filtration through a colander with a mesh having a diameter of 5 mm are shown in the Figure 2 a. Microplastics that have been leached during the TCLP procedure and isolated on the filter can be seen in Figure 2 b. Figure 2 c shows microplastics left in filtrate after second filtration through the PESU filter. Scans of both filtrates shown in Figures 2 a and c were made under by optical microscope.

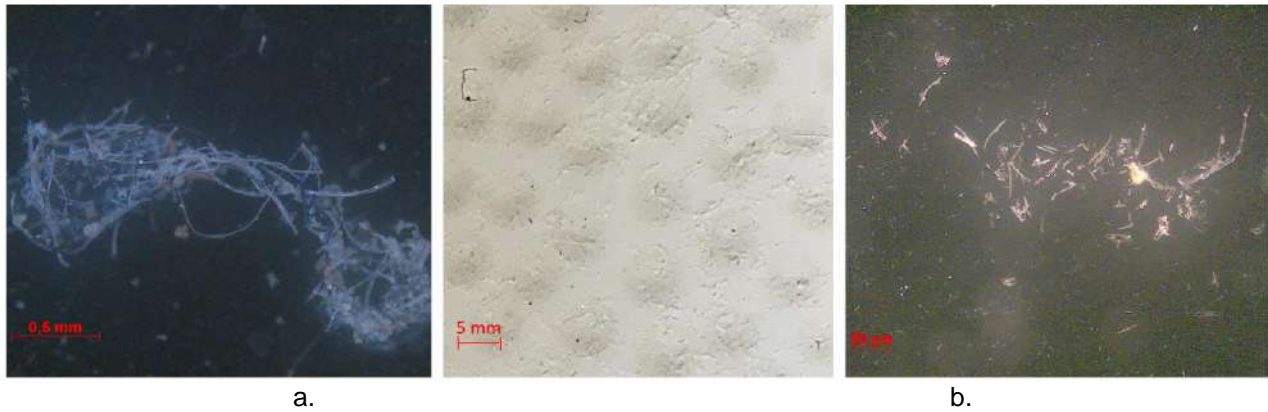


Figure 2: a. Microplastic particles in the first filtrate leached from the whole DSM after the TCLP procedure, b. microplastic particles leached from the whole DSM after TCLP isolated on the PESU filter after the second filtration, c. microplastic particles in second filtrate leached from whole DSM after TCLP procedure

After carrying out TCLP on every part of DSM, it can be seen that most of the microplastic particles are leached from ear loops, followed by the inner, outer and filter layer. The smallest amount of microplastics is caused by nose wires. As a analyze control blank sample has also been done. Results of released microplastics are also shown in the graph in Figure 3 a.

After second filtration, PSD analysis was carried out to prove the leaching of nanoscale particles in the filtrate of the whole DSM leachate, presented in Figure 3 b. With this analysis, the presence of nanoscale particles released by DSM was confirmed. The particles have an average diameter of 305 nm. Most of the particles (87%) have a diameter of 430 nm, with a standard deviation of 196.1 nm.

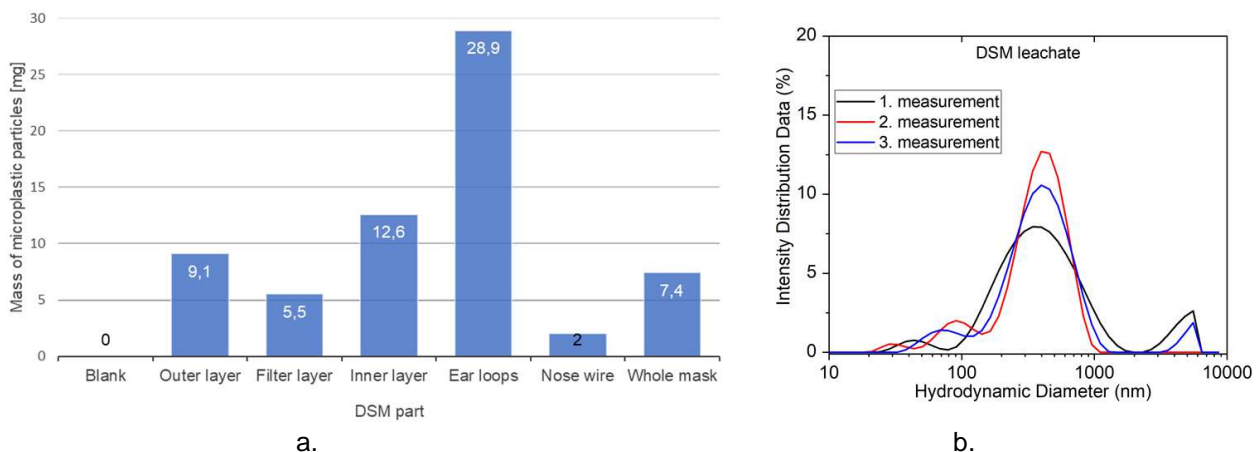


Figure 3: a. Mass of microplastic particles released from each part of DSM after TCLP, b. particle size distribution of second filtrate

3.3 Photodegradation results analysis

Degradation of the DSM 3-layered part after 200 repetitions of 30 minutes cycle of artificial weathering is severe, as is shown in Figure 4 a. The whole material is slowly degrading to mezzo and microplastic particles, which are presented in Figure 4 b. As part of photodegradation research, artificial rainwater was also collected and scanned under the optical microscope, where microplastic particles were also detected. Figure 4 c shows an optical microscope scan of microplastic particles detected in collected artificial rainwater.

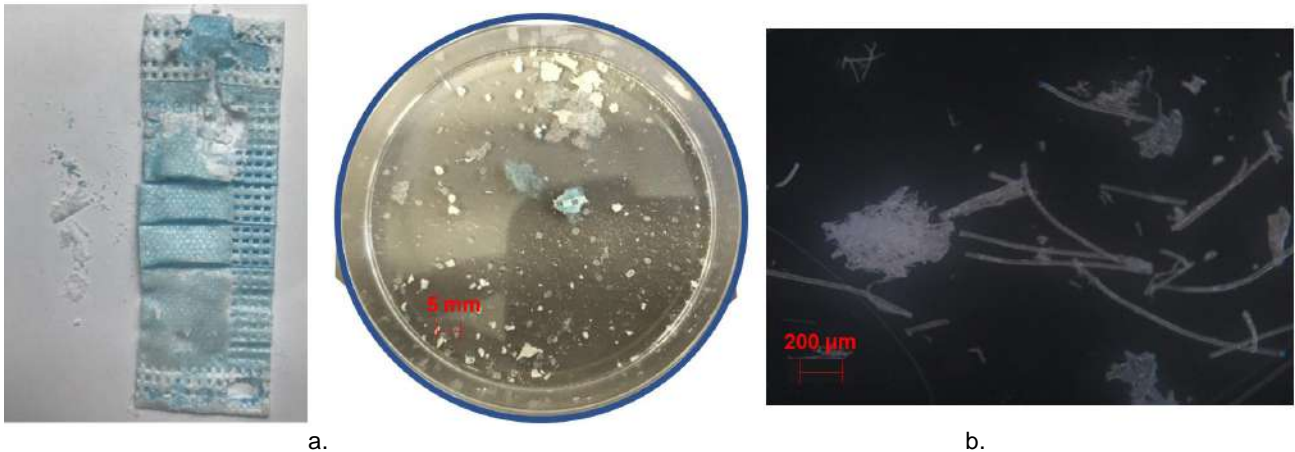


Figure 4: a. Degradation of 3-layered part of DSM, b. isolated mezzo and microplastic particles degrading from 3-layered samples, c. optical microscope scan of microplastic particles isolated from artificial rain water

Photodegradation analysis of each part of the DSM has also been carried out. As expected, the fastest degradation appears on 3-layered part of DSM. The mass loss after 200 cycles, which is roughly equal to 1 month of exposure in nature, is approximately 24% of its original mass. Mass loss of ear loops was about 12% when nose wires are more resistant to photodegradation, as seen in Figure 5 a. To prove the formation of nanoparticles through the process of photodegradation, collected artificial rainwater was analysed by PSD analyses. The obtained results demonstrated the formation of highly inhomogeneous nanoparticles by size. As is also shown in Figure 5 b, the majority of formatted nanoparticles are in the region from 400-600 nm.

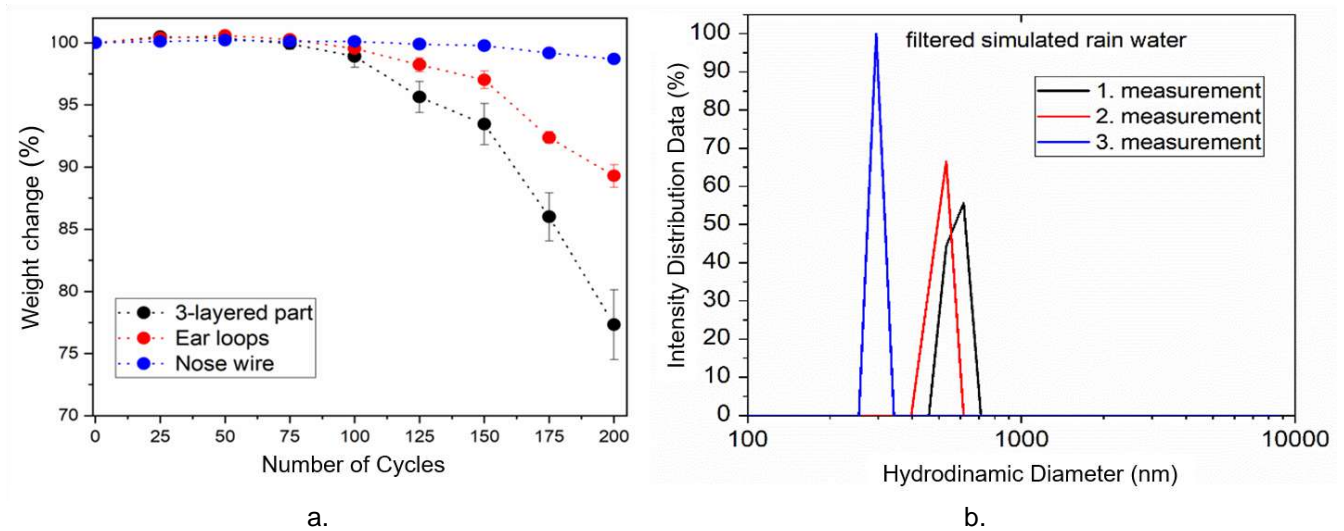


Figure 5: a. Mass loss of DSM parts exposed to artificial weathering from 0 to 200 cycles, b. particle size distribution analysis of filtered simulated rainwater

4. Conclusion

To conclude, disposable surgical masks are present in our everyday life for sometimes now, so it is very important to understand what kind of waste we are producing, after usage. The pandemic of COVID-19 and measures to stem the spread of the disease ordered by the Governments increased the quantities dramatically. Given the volumes that are being generated, it is even more important to understand the wastes that we are dealing with. As we pointed out in the study, it is not very complex type of waste - each mask is made up of only 5 components and is primarily made of polypropylene. However, this should not lead us to forget about the awareness of the hazardous nature of the waste. One of the biggest treats to the environment by this kind of waste is the amount of micro/nanoplastics detected in this study, which are formed in a short time when this waste is exposed to natural conditions such as leaching, moisture, temperature, and UV radiation. So, it is extremely important to aware population about importance of proper disposal of used DSMs and implementing systematic solution in the field of collecting this kind of waste and disposal by waste management companies.

Acknowledgement

This work was partially supported by Slovenian Research Agency under the research programme P2-0118 within COVID Programme and Young Researchers Programme.

References

- [1] World Health Organization: WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19, *Available from* <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---3-march-2020>, *Accessed: 2022-11-05*
- [2] Czigany, T. & Ronkay F.: The coronavirus and plastics, *Express Polym. Lett.*, **14** (2020), pp. 510-511,
- [3] Lee, A. W. L. et al.: Life cycle assessment of single-use surgical and embedded filtration layer (EFL) reusable face mask, *Resour Conserv Recycl*, **170** (2021), pp. 105580
- [4] Remic, K. et al.: Public Handling of Protective Masks from Use to Disposal and Recycling Options to New Products, *Journal of Mechanical Engineering*, **68** (2022), No. 4, pp. 9
- [5] Dharmaraj, S. et al.: The COVID-19 pandemic face mask waste: A blooming threat to the marine environment, *Chemosphere*, **272** (2021), pp. 129601,
- [6] Erjavec, A. et al.: Significant Fragmentation of Disposable Surgical Masks - Enormous Source for Problematic Micro/Nanoplastics Pollution in the Environment, *Sustainability*, **14** (2022), No. 19, pp. 12625.
- [7] Shen M. et al.: Neglected microplastics pollution in global COVID-19: Disposable surgical masks, *Sci Total Environ*, **790** (2021), pp. 148130
- [8] Akber Abbasi, S. et al.: Extensive use of face masks during COVID-19 pandemic: (micro-)plastic pollution and potential health concerns in the Arabian Peninsula, *Saudi J Biol Sci*, **27** (2020), No. 12, pp. 3181-3186,
- [9] Aragaw, T. A.: Surgical face masks as a potential source for microplastic pollution in the COVID-19 scenario, *Marine Pollution Bulletin*, **159** (2020), pp. 111517
- [10] Rathinamoorthy, R. & Balasaraswathi, S. R.: Disposable tri-layer masks and microfiber pollution – An experimental analysis on dry and wet state emission, *Science of The Total Environment*, **816** (2022)
- [11] EPA: *Method 1311 - Toxicity Characteristic Leaching Procedure*, Method 1311, EPA, 1992.
- [12] SIST: *Sludge, treated biowaste, soil and waste - Calculation of dry matter fraction after determination of dry residue or water content*, SIST EN 15934:2012, SIST, SIST, 2012.
- [13] Kester, D. R. et al.: Preparation of artificial seawater¹, *Limnology and Oceanography*, **12** (1967), no. 1, pp. 176-179

DIGITALNE TEHNOLOGIJE U KONTEKSTU ODRŽIVOG MODNOG DIZAJNA I RAZVOJA ODJEĆE

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE FASHION DESIGN AND CLOTHING DEVELOPMENT

Slavenka PETRAK^{1,*}; Blaženka BRLOBAŠIĆ ŠAJATOVIĆ¹ & Ivan MIHALJEVIĆ²

¹ Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; slavenka.petrak@tff.unizg.hr; blazenka.brlobasic@tff.unizg.hr

² Centar za odgoj i obrazovanje Dubrava, Zagreb, Hrvatska; ivan.mihaljevic3@centar-dubrava-zg.skole.hr

* Adresa za korespondenciju: slavenka.petrak@tff.unizg.hr

Sažetak: Modna industrija jedna je od važnih proizvodnih industrija u svijetu, koja generira značajni udio gospodarstva na globalnoj razini, međutim to je i industrija koja se u narednom periodu mora usredotočiti na politike i strategije koje će donijeti pozitivne promjene u kontekstu održive proizvodnje i potrošnje te smanjenja negativnog utjecaja na okoliš. Digitalizacija i održivost dvije su od najutjecajnijih tema u današnjem poslovanju, koje predstavljaju novo istraživačko polje. Održivost stavlja proizvođače pred velike izazove u pronalaženju novih poslovnih modela, poboljšanju procesa, učinkovitijem korištenju resursa i promjeni njihove interakcije s dobavljačima, kupcima i drugim dionicima. Cilj ovog rada je istražiti olakšavajuće mogućnosti koje digitalizacija u području dizajna i razvoja novih proizvoda predstavlja za modnu industriju u kontekstu postizanja ciljeva održivosti. Analizirani su digitalni alati i tehnologije te njihov utjecaj na transformaciju poslovnog modela u razvojnom segmentu modnog poslovanja, kao i zahtjevi koje takav model postavlja pred korisnike, u kontekstu potrebnih novih znanja i digitalnih vještina. U okviru eksperimentalnog dijela, definirani su razvojni koraci u procesu digitalnog razvoja modnih odjevnih predmeta, s posebnim osvrtom na održivost koje digitalne tehnologije omogućuju u procesu dizajna, razvoja probnih uzoraka modela te proizvodnje temeljene na konceptu prodaje putem virtualnih platformi. Prezentirana je autorska mini kolekcija virtualnih modnih proizvoda te je istaknut značaj koje prodaja odjeće na temelju prezentacija kolekcija odjeće u virtualnom okruženju i prema zahtjevima kupaca može imati na održivost modnog poslovanja, u kontekstu značajnog smanjenja proizvodnje odjeće brze mode i smanjenja negativnog utjecaja na okoliš.

Abstract: The fashion industry is an important production industry in the world that generates a significant share of the economy at the global level, however, it is also an industry that in the coming period must focus on policies and strategies that will bring positive changes in the context of sustainable production and consumption and the reduction of negative impacts on the environment. Digitalization and sustainability are two of the most influential topics in today's business that represent a new research field. Sustainability puts manufacturers in front of great challenges in finding new business models, improving processes, using resources more efficiently and changing their interactions with suppliers, customers, and others. The aim of this paper is to investigate the facilitating possibilities that digitalization in the field of design and development of new products represents for the fashion industry in the context of achieving sustainability goals. Digital tools and technologies and their impact on the transformation of the business model in the development segment of the fashion business were analyzed, as well as the demands that such a model places on users, in the context of the necessary new knowledge and digital skills. Within the framework of the experimental part, the development steps in the process of digital development of fashion garments are defined, with special reference to the sustainability that digital technologies enable in the process of design, development of trial sample models and production based on the concept of sales through virtual platforms. An author's mini collection of virtual fashion products was presented, and the significance that the sale of clothing based on the presentation of clothing collections in a virtual environment and according to customer requirements can have on the sustainability of fashion business, in the context of a significant reduction in the production of fast fashion clothing and reducing the negative impact on the environment, was highlighted.

Ključne riječi: modna industrija; digitalne tehnologije; virtualna odjeća; održivost

Keywords: fashion industry; digital technologies; virtual clothes; sustainability

1. Uvod

Primjena digitalnih tehnologija u modnoj industriji još uvijek nije na razini kao u drugim, razvojno orijentiranim i tehnološki naprednim industrijama, a kao razlozi za takvo stanje često se ističu čimbenici i prepreke kao što su financijska ograničenja, nedostatak pristupa dostupnoj tehnologiji, nedostatak digitalnih znanja i vještina, strateški razvojni izazovi, ali i otpor prema usvajanju novih tehnologija i poslovnih modela [1]. Uvođenje i uspostava otporne infrastrukture s inovacijama i integracijom digitalnih tehnologija, proširene i virtualne stvarnosti u procese razvoja modnih proizvoda, kao i u nove koncepte komunikacije s kupcima te prodaje putem virtualnih modnih platformi, samo su neke od smjernica za transformaciju ove izrazito zagađivačke industrije u industriju novog doba, koja ima potencijala za ostvarivanje održivih koncepata ravoja, proizvodnje i prodaje modnih proizvoda [2]. Posljedice pandemije COVID-19 na modnu industriju ogledaju se i u velikim količinama proizvedene odjeće koja je ostala na skladištima, s obzirom na globalno značajno smanjenu potražnju i prodaju odjeće u prethodnom razdoblju, što je posljedično dovelo i do značajnih poremećaja i problema u poslovanju ove industrijske grane [3]. Međutim, cjelokupna nepovoljna situacija potaknula je digitalne promjene u modnoj industriji te modno-opskrbnim lancima prema virtualnoj dimenziji, s obzirom na predviđanja u kontekstu poboljšanja inovativnosti i održivosti te mogućnosti za dematerijalizaciju ove radno intenzivne proizvodne grane. U stručnoj literaturi sektor modne industrije se u okviru analiza o industriji 4.0 i digitalnoj transformaciji ističe kao sektor koji je "pokrenut dizajnom", u kojem dizajneri i menadžeri surađuju u stvaranju brenda i uspješnog poslovnog modela, u lokalnoj ili globalnoj interakciji s okolinom [4]. Uvođenje digitalnih tehnologija potiče razvoj novog načina promišljanja i aktivnosti koje dovode do povećanja inovativnog potencijala modnog dizajna, a time i promjena u tradicionalno orijentiranoj dizajnerskoj praksi. Učinci digitalizacije na održivost modnog sustava predstavljaju novo tematsko područje za aktualna istraživanja, s posebnim fokusom na 3D virtualne tehnologije i sustave u procesima dizajna, razvoja proizvoda te promocije i prodaje. U ovom radu prikazat će se rezultati istraživanja mogućnosti digitalizacije u procesu modnog dizajna i razvoja modela odjeće, s potencijalom daljnje implementacije razvijenih digitalnih odjevnih predmeta unutar platformi za globalnu promociju i prodaju odjeće. Istraživanje je usmjereno na učinke koje digitalizacija može imati na proces dizajna i razvoja modela odjevnih predmeta te na prodaju odjeće u kontekstu digitalnih modnih kolekcija odjeće i održive proizvodnje.

2. Digitalni dizajn i razvoj mini kolekcije digitalne odjeće

U nastavku rada prikazani su razvojni koraci procesa digitalnog razvoja autorske mini kolekcije ženske odjeće, s naglaskom na istraživački pristup u procesu razvoja dematerijalizirane digitalne odjeće.

2.1 3D dizajn odjeće i konstrukcija krojeva

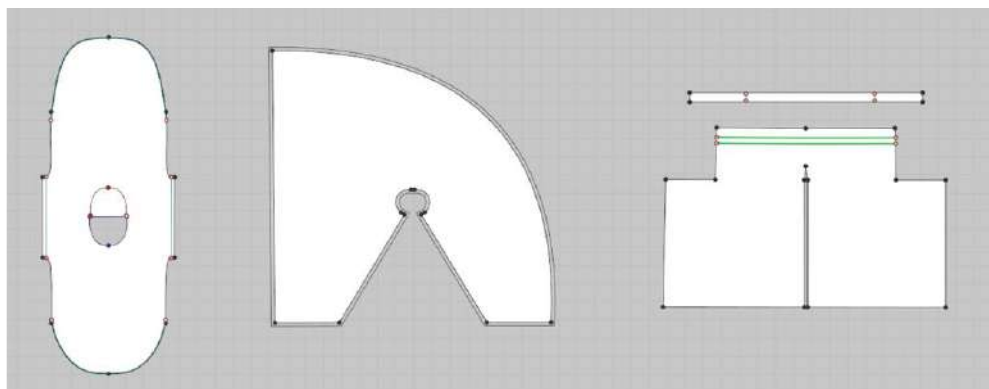
Osnova za početak računalnog razvoja krojeva odjeće je jasan tehnički crtež modela, koji na jednostavan i razumljiv način jednoznačno definira prikazani dizajn modela. Uz tehnički crtež, potrebno je priložiti i njegov detaljan opis. Tradicionalne tehnike crtanja tehničkog crteža modela danas se zamjenjuju CAD programima ili posebnim modulima unutar specijaliziranih CAD sustava. Za potrebe ovog rada, tehnički 3D crteži za tri modela odjevnih predmeta kreirani su primjenom Clo 3D programa i alata za renderiranje, sl. 1. Pri dizajniranju modela, promišljalo se o formi kroja u kontekstu optimalnog utroška materijala, odnosno minimiziranja međukrojnih gubitaka. U tom smislu, dizajnirani su modeli koji se temelje na samo jednom baznom krojnom dijelu, sl. 2.



Slika 1: 3D dizajn modela odjevnih predmeta

Primjena konvencionalnih 2D CAD sustava za računalnu konstrukciju odjeće podrazumijeva rad s 2D krojnim dijelovima u ravnini, pri čemu su oni definirani vektorski i jednostavni za manipulaciju, a sve promjene na

kroju tijekom konstrukcije, modeliranja i gradiranja izvode se temeljem promjena pozicija točaka na konturi kroja. Računalno konstruiranje i cjeloviti razvoj krojeva za modele odjeće sve do faze uklapanja krojnih slika, u današnje vrijeme predstavlja standard u konstrukcijskoj pripremi proizvodnje odjeće.



Slika 2: Računalno konstruirani krojevi modela odjevnih predmeta – tunika, pončo i hlače

2.2 Projektiranje digitalne odjeće u kontekstu održivosti i primijenjene metodologije

Računalno projektiranje odjeće podrazumijeva cjelokupni proces razvoja digitalnih modela odjevnih predmeta, po svim sustavno povezanim segmentima, za što je potrebna visoka razina strukovnih i digitalnih znanja i vještina. Proces se temelji na implementaciji specijaliziranih 3D tehnologija i CAD sustava, uz povezivanje sa dodatnim sustavima, kao što su sustavi za objektivno vrednovanje tekstilnih materijala. Pri izvođenju računalne 3D simulacije modela odjevnog predmeta na virtualnom modelu tijela, na krojne dijelove se apliciraju utvrđene vrijednosti parametara fizikalnih i mehaničkih svojstava tekstilnog materijala te se zadaju svi potrebni parametri simulacije i parametri krojnih dijelova. U tom kontekstu, odjevni predmet se projektira, analizira, a dijelom i ispituje u virtualnom okruženju, što u kontekstu održivosti u značajnoj mjeri može doprinijeti smanjenju negativnog utjecaja na okoliš, jer se za cjelokupni razvojni proces ne troše materijalni i energetske resursi, kao u tradicionalnom procesu razvoja uzoraka u industrijskim uvjetima, a značajno se smanjuju i troškovi koji proizlaze iz realnog procesa proizvodnje probnih uzoraka. Složenost procesa projektiranja u najvećoj mjeri proizlazi iz kompleksnog ponašanja tekstilnih materijala, što zahtijeva inženjerski pristup cjelokupnom razvojnog procesu. Kako bi se u procesu računalnog razvoja odjevnog predmeta 3D simulacijom postigao što realističniji izgled modela, potrebno je krojnim dijelovima „dodijeliti” svojstva odabranog tekstilnog materijala, koja predstavljaju ulazne parametre u sustavu. Objektivno vrednovanje tekstilnih materijala postiže se laboratorijskim mjerenjem vrijednosti određenih fizikalnih i mehaničkih svojstava, primjenom specijaliziranih mjernih sustava. U tab. 1 i tab. 2 prikazani su rezultati utvrđivanja svojstava za tri različite tkanine, od kojih su dvije reciklirani tekstilni materijali. Mjerenje je izvedeno primjenom Fabric Kit mjernog sustava i dodatnog programa unutar Clo 3D CAD sustava koji je korišten za računalni razvoj digitalne odjeće.

Tablica 1: Strukturalna, fizička i mehanička svojstva odabranih tkanina

Oznaka materijala	Sirovinski sastav	Tip materijala	Površinska masa [g/m ²]	Debljina [mm]	Istezanje [%]		Savojna krutost [cNcm ² /cm]		Smična krutost [N/m]
					X (osnova)	Y (potka)	X (osnova)	Y (potka)	
M1 (Tunika)	100% reciklirani pamuk	Tkanina	246,97	0,55	2,84	2,16	62,1	41,3	43
M2 (Hlače)	100% reciklirani poliester	Tkanina	135,86	0,20	13,10	9,75	11,8	6,9	35
M3 (Pončo)	100% pamuk	Tkanina	382,32	1,05	0,74	1,38	73,2	34,6	73

Kako bi se što realističnije simulirale karakteristike različitih tekstilnih materijala, u programima specijaliziranih CAD sustava implementirani su algoritmi koji izračunavaju poziciju i oblik tekstilnog materijala na virtualnom prototipu modela odjevnog predmeta. U suvremenim 3D računalnim aplikacijama za modeliranje i animaciju, tekstilni materijali se smatraju dinamičkim objektima, koji uzajamno djeluju s različitim vanjskim silama. Različite konfiguracije računala, kao i različiti programi koji omogućuju 3D

modeliranje, simulaciju i/ili animaciju modela, koriste različite načine modeliranja i simulacije tkanina. Kada se određeni 3D model koji predstavlja virtualnu tkaninu ili odjevni predmet podijeli na veliki broj malih područja (segmenata ili poligona), on postaje fleksibilan i deformabilan u virtualnom 3D prostoru. Posljedično, na simuliranom odjevnom predmetu realistično se vizualizira prostorna deformacija tekstilnog materijala, kada je izložen različitim utjecajima dinamičkih sila. Mrežna, poligonalna struktura površina krojnih dijelova pokazala se kao najbolji odabir za simulaciju složenih oblika odjeće, poglavito kada je potrebno simulirati nabore na odjevnom predmetu. Primjenom algoritma koji se temelji na triangulaciji, definira se razina podjela na poligone unutar mreže, ovisno o potrebi za intenzitetom deformacije površine. Tijekom simulacije i spajanja 2D krojnih dijelova u 3D formu modela odjavnog predmeta, vrhovi poligona pomiču se u 3D prostoru ponderiranom količinom pomaka, u ovisnosti od primijenjenog pristupa modeliranju tkanine, ali i u ovisnosti od apliciranih fizikalnih i mehaničkih svojstava tkanine.



Slika 3: Vizualizacija prve i druge odjevne kombinacije nakon izvedene 3D simulacije – analiza elemenata kroja i postignute forme modela



Slika 4: Vizualizacija treće odjevne kombinacije nakon izvedene 3D simulacije – analiza elemenata kroja i postignute forme modela

Za uspješnu simulaciju 3D modela odjavnog predmeta potreban je 3D model tijela, prilagođen za određenu odjevnu veličinu ili prema individualnim mjerama tijela, koji predstavlja tzv. kolizioni objekt s kojim će modelirani krojni dijelovi biti u interakciji. Dodatno, tijekom simulacije odjeće primjenjuje se i sila gravitacije, kako bi se postiglo nalijeganje i padanje krojnih dijelova oko i duž tijela. Nakon pozicioniranja krojnih dijelova oko tijela i definiranja svih potrebnih parametara, krojni dijelovi se tijekom simulacije povezuju u 3D model odjavnog predmeta i deformiraju oko tijela, a da se pritom ne dogodi probijanje tijela kroz simuliranu tkaninu, odnosno krojne dijelove. To se postiže detekcijom kolizije, odnosno pomoću virtualnih senzora iz vrhova poligona unutar mreže koja definira površinu svakog krojnog dijela. Ukoliko se pomoću virtualnih senzora detektira kolizioni objekt, kao što je model tijela ili drugi sloj materijala, dijelovi će se deformirati i odbijati od tijela, odnosno kolizionog objekta. Na sl. 3 i sl. 4 su prikazani 3D modeli dizajnirane mini kolekcije odjeće, koja je dodatno nadopunjena s jednim užim modelom hlača i užim modelom majice, sa svrhom kompletiranja

odjevnih kombinacija. Vizualizacija simuliranih 3D modela odjevnih predmeta na parametarskom modelu tijela odgovarajućih dimenzija odnosno odjevne veličine, omogućuje provedbu analize i verifikacije modela s aspekta dizajna i konstrukcije kroja. Eventualno uočeni nedostaci u konstrukciji na simuliranom 3D modelu odjevnog predmeta mogu se korigirati na 2D krojnim djelovima te se postupkom ponovne simulacije može u potpunosti verificirati kroj.

2.3 Analiza pristalosti digitane odjeće

Pod utjecajem djelovanja vanjskih sila dolazi do naprezanja tekstilnog materijala na odjeći. Zbog toga svaki odjevni predmet treba imati primjerenu komociju koja omogućuje nesmetano kretanje i ugodnost tijekom nošenja, a u tradicionalnom načinu razvoja modela odjeće komocija se provjerava na realno izrađenim probnim uzorcima modela. Računalna analiza pristalosti pojedinog digitalnog modela odjevnog predmeta izvodi se uz primjenu digitalnih mapa naprezanja i istežanja simuliranog tekstilnog materijala po zonama na odjevnom predmetu. Postoji mogućnost analize i primjenom dodatnih mapa koje omogućuju mjerenje pritiska u pojedinim točkama ili analizu kontaktnih točaka između tijela i modela. Na sl. 5 prikazani su digitalni modeli odjeće tijekom analize naprezanja apliciranih svojstava odabranih tekstilnih materijala.



Slika 5: Analiza naprezanja materijala na simuliranim odjevnim predmetima

Mapa naprezanja pokazuje silu po jedinici površine u jedinici kPa koja djeluje kao vanjska sila na odjevni predmet, a prikazuje se u rasponu od osam boja, pri čemu plava zona na odjevnom predmetu prikazuje područje na kojem nema naprezanja, dok crvena boja prikazuje zonu na kojoj je došlo do najvećeg naprezanja. Pri provedbi analize naprezanja na modelu potrebno je sagledati cjelokupni model, s posebnim naglaskom na dijelove odjevnog predmeta koji imaju funkciju fiksirati model na određenom dijelu tijela, kao što je npr. pojasnica, kako bi interpretacija bila valjana.

3. Rezultati i rasprava

Nakon uspješne verifikacije pristalosti projektiranih modela ženske mini kolekcije odjeće, u završnom dijelu se modeli digitalne odjeće mogu razraditi u varijacijama različitih boja, uzoraka materijala, detalja na odjeći te modnih dodataka, kako bi se postigla realističnost izgleda modela, sl. 6. Aplikacija boja i tekstura na virtualne prototipove odjevnih predmeta otvara mogućnosti provjere izgleda odjevnog predmeta u estetskom smislu, dok se kod stvarnih prototipova takva provjera odvija tek u kreativnom umu dizajnera i potrebno je izraditi realni prototip sa svrhom provjere dizajna, konstrukcije i modeliranja kroja, kao i odabira materijala. U tom smislu, primjena suvremenog 2D/3D CAD sustava za računalno projektiranje odjeće omogućuje dizajneru i konstruktoru provjeru svih važnih parametara na računalnom prototipu modela odjevnog predmeta, vizualizaciju velikog broja varijacija modela u različitim bojama i uzorcima materijala, čime se u značajnoj mjeri olakšava i ubrzava dizajn i razvoj kolekcije odjeće. Istovremeno se značajnije mogu smanjiti troškovi koji proizlaze iz izrade probnih uzoraka, što predstavlja i ekološki značajno povoljniji način razvoja kolekcija odjeće. Vizualizacija dizajnirane mini kolekcije digitalne ženske odjeće u virtualnom orkuženju, dobivene renderiranjem unutar CAD sustava prikazana je na sl. 7.



Slika 6: Vizualizacija dizajnirane mini kolekcije ženske odjeće u varijacijama boja



Slika 7: Digitalna mini kolekcije ženske odjeće u virtualnom okruženju

4. Zaključak

Prikazani proces računalnog projektiranja odjeće s aspekta održivosti značajno može unaprijediti razvojni proces dizajna i razvoja probnih uzoraka, s obzirom da se cjeloviti proces može transformirati u digitalno okruženje i tako smanjiti negativne učinke na okoliš, koji kod tradicionalnog pristupa proizlaze iz realnog procesa proizvodnje velikog broja probnih uzorka u kolekcijama odjeće. Usvajanje digitalnih tehnologija i infrastruktura otvara mogućnosti dematerijalizacije tradicionalne mode, usporevanja proizvodnje velikih količina odjeće niže kvalitete te transformaciju kanala promocije i prodaje odjeće u virtualna okruženja, putem različitih platformi kreativnih industrija za prodaju digitalne i stvarne odjeće. Na taj način, krajnjim korisnicima bi se omogućilo sudjelovanje u digitalnom razvojnog procesu dizajna i oblikovanja odjeće prema osobnim preferencijama i potrebama, a proizvodni proces bi se odvijao prema stvarnim potrebama za proizvodnju odjeće.

Literatura

- [1] Rudrajeet, P. & Jayarathne, A.: Digitalisation in the Textile and Clothing Industry, u *The Digital Supply Chain*, Elsevier, ISBN: 9780323916141, (2022), 255-271
- [2] Arribas, V.; Alfaro, J. A.: 3D technology in fashion: from concept to consumer, *Journal of Fashion Marketing and Management*, **22** (2018) 2, 240-251, ISSN: 1361-2026
- [3] Arania, F. et al.: The Impact of Covid-19 on Textile and Fashion Industries: *The Economic Perspective*, *Journal of Marketing Innovation*, **1** (2022) 2, 01-14, e-ISSN 2807-8365
- [4] Bertola, P.; Teunissen, J.: Fashion 4.0. Innovating fashion industry through digital transformation, *Research Journal of Textile and Apparel*, **22** (2018) 4, 352-369, ISSN: 1560-6074

MECHANICAL PROPERTIES AND BIODEGRADABILITY OF COMPOSITE MATERIAL FROM CELLULOSE AS WASTE RAW MATERIALS

Sanja ERCEGOVIĆ RAŽIĆ; Anja LUDAŠ* & Karlo GOLUBIĆ

University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Zagreb, Croatia; sanja.ercegovic@tff.unizg.hr; anja.ludas@tff.unizg.hr; karlo.golubic@tff.unizg.hr

* Corresponding author: anja.ludas@tff.unizg.hr

Abstract: *In order to improve and strengthen the importance of environmental protection and waste management in practice, it is necessary to use waste as a raw material for the production of new materials in a circular economy. With the development of textile technology and materials, it is now possible to produce biodegradable materials, which are an important step in the implementation of waste management and thus environmental protection. In this aspect, the idea of developing materials from textile industrial waste as a raw material for personal use was initiated. The aim of this work is to study the mechanical properties and biodegradability of composites made from shredded modal fibers mixed with thickeners, with and without chitosan as an additional additive, in order to obtain better biodegradable properties in use. Also, a rheological analysis of three types of thickeners with different raw material compositions was carried out, of which carboxymethylcellulose was found to be the most suitable for testing the dry matter content and blending with modal as man-made cellulose fibers. The following tests of the structure of the composites formed, such as surface analysis with a scanning electron microscope, tensile strength with a universal strength tester, while the biodegradability of the samples were carried out by burying them in the soil. The obtained results show that the mechanical properties of the composite structure were improved and the components of the tested composite were almost completely degraded within a degradation period of 50 days, which proves the biodegradability.*

Keywords: *cellulose fibers; thickener; chitosan; mechanical properties; biodegradation*

1. Introduction

In recent years, there has been a growing collective awareness and interest in the protection of nature and natural resources. In order to improve and strengthen the importance of environmental protection and waste management in practice, it is necessary, within the concept of circular economy, to obtain materials from waste that can be reused as raw materials for the production of new materials with the desired properties. With the development of textile technology and materials, it is possible to produce biodegradable materials, which represent an important step forward in the implementation of waste management and thus environmental protection. With this in mind, the idea of developing materials with improved mechanical properties and biodegradability from textile waste for personal use was born. The use of natural polymers for non-food purposes has been known since the beginning of human existence on planet Earth. The remains of various animals (skin, bones), plant fibers, starch, and silk are just a few examples of natural polymers that have been used in various eras of human history. However, biodegradable polymers became the subject of extensive research in the 1970s, and to date they have undergone very important developmental steps and positive environmental impacts through various academic studies and industrial initiatives [1-3]. In this study, carboxymethylcellulose (Na-CMC L-3p) was used as a thickener to obtain a compact composite structure blended with shredded modal fibers, which also had satisfactory mechanical properties. Moreover, chitosan was used as a common biopolymer due to its properties such as non-toxicity, biodegradability and biocompatibility with other polymers/materials to obtain good mechanical properties, which were investigated in this work [4].

2. Biodegradable polymeric materials

In the 19th century, polymers became part of a worldwide application. The reason for their wide application on a global scale is not only their low price and ease of production, but also their low density and resistance to corrosion and the action of microorganisms. These properties make polymers a very popular material and are therefore used in large quantities for a variety of purposes. However, the aforementioned properties pose an extraordinary environmental problem, mainly due to the uncontrolled disposal of their waste and the lack of environmental awareness [5, 6]. For environmental reasons, people have begun to develop new polymers

that are biodegradable and thus safer for the environment. Biodegradable polymer is defined as one in which decomposition occurs through the action of microorganisms (bacteria, fungi, and algae) to form nontoxic compounds and biomass. Its discovery represents a major advance in the development of biodegradable polymers [7]. The requirements for biodegradable polymer materials are:

- availability and acceptability from an economic point of view,
- production from renewable sources,
- equal or better functional properties of biodegradable materials compared to the existing conventional materials they replace,
- minimal ecological footprint in all processes involved (production, use and disposal) and
- use of raw materials and agents that are acceptable from both an environmental and human health perspective [8].

Biodegradable polymers are generally classified according to their chemical composition, origin and extraction method, processing methods, application, economic importance, etc. According to their origin, biodegradable polymers are classified into four groups, which are shown in Figure 1 [9].

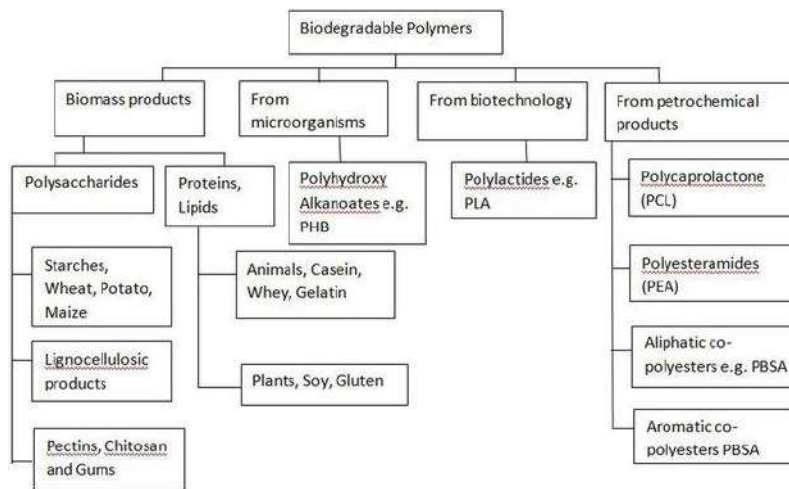


Figure 1: Classification of biodegradable polymers [9]

2.1 Thickeners

Thickeners can be natural or synthetic polymers. If possible, given the methods of textile printing, natural thickeners should be preferred for environmental reasons, as they are more environmentally friendly. Natural thickeners are widely available throughout the plant kingdom and are readily available. The ingredients of natural thickeners are hypoallergenic, non-toxic to humans and not hazardous to health. The most important property of thickeners is that they must be water soluble or absorb water to form a viscous mixture. Natural thickeners fully meet this requirement [10, 11]. Considering the raw material composition, thickeners can be classified as follows in Table 1.

Table 1: Classification of thickeners [10, 11]

Natural	Modified starch	Synthetic	Emulsion
Cereals starch Plant exudates Roots and seeds Sea weeds	Starch derivatives Cellulose derivatives Gum derivatives	Acrylic, polyacrylic acid and amide, Vinyl, poly vinyl alcohol etc.	Oil in water Water in oil

3. Copposite materials

Composites exist in nature. A piece of wood is a composite, with long cellulose fibres held together by a substance called lignin. Composite materials are formed by combining two or more materials that have quite different properties, and they do not dissolve or blend into each other. The different materials in the composite work together to give the composite unique properties. When combined, they produce a material with characteristics different from their original properties. The two main components within a composite are the matrix (base of the material) and fiber (reinforcement). On top of the fiber reinforcements and matrix, composites can also include core materials, fillers, additives and surface finishes to provide unique performance attributes, Figure 2 [12].



Figure 2: Example of a composite [12]

Nowadays, the composite industry is still evolving, with much of the growth now focused around renewable energy. The engineers can also select properties such as resistance to heat, chemicals, and weathering by choosing an appropriate matrix material. In recent years, an increasing environmental consciousness and awareness of the need for sustainable development have raised interest in using natural fibres as reinforcements in composites to replace synthetic fibres [12].

4. Experimental part

4.1 Preparation and analysis of thickeners

Table 2: Selection of thickeners and their properties

Name	Producer	Raw material composition	Declared dry matter content
Na-CMC	MB Lucel	L-3p, carboxymethylcellulose	/
Dialgin NMV	Diamalt AG	sodium alginate	12%
Alkagum NS	Diamalt AG	ether of carob flour	4%

The above thickeners were prepared by mixing 10 g of thickener with 190 mL of distilled water in a stirrer (RZR 2020 Heidolph), Figure 3. After mixing, the solutions were allowed to stand at room temperature for 24 h and then their rheological properties were tested: fluidity (in a time of 10 s), elongation (filament length to break) and viscosity, at a dry matter content of 5% and pH. Viscosity was measured using a DV II Brookfield viscometer with an LV4 spindle, Figure 4.



Figure 3: Stirrer RZR 2020 Heidolph



Figure 4: Viscometer DV II Brookfield

4.2 Preparation of the samples

The process is divided into three stages of preparation shown in Table 3. The two main components within a composite are the matrix (thickener, Na-CMC L-3p, carboxymethylcellulose) and fiber (modal).

Table 3: Preparation of the samples

1. Mixture (Th)	2. Mixture (Th+MF)	3. Mixture (Th+MF+Ch)
<ul style="list-style-type: none"> 200 ml of distilled water 25 g of thickener Na-CMC L-3p, carboxymethylcellulose 	<ul style="list-style-type: none"> 100 ml distilled water 2.5 g of shredded modal fibers 10 g of thickener Na-CMC L-3p, carboxymethylcellulose 	<ul style="list-style-type: none"> 100 ml distilled water 2.5 g of shredded modal fibers 10 g thickener Na-CMC L-3p, carboxymethylcellulose 2.5 g antimicrobial agent: chitosan

The above mixtures were applied under load to a metal sieve to obtain the correct shape. They were placed in a dryer for predrying at a temperature of 100°C for 60 minutes. After drying, the mixtures were additionally dried on the air for 10 days. Surface analysis with a scanning electron microscope (FE-SEM), tensile strength with a universal dynamometer (TensoLab 3000) and biodegradability of the samples by burying in the ground as an environmental type were tested.

5. Results and discussion

5.1 Results of the thickeners analysis

The following diagrams show the results of the analysis of the rheological properties of the thickener: fluidity, elongation and viscosity, at a dry matter content of 5% (Figure 5.).

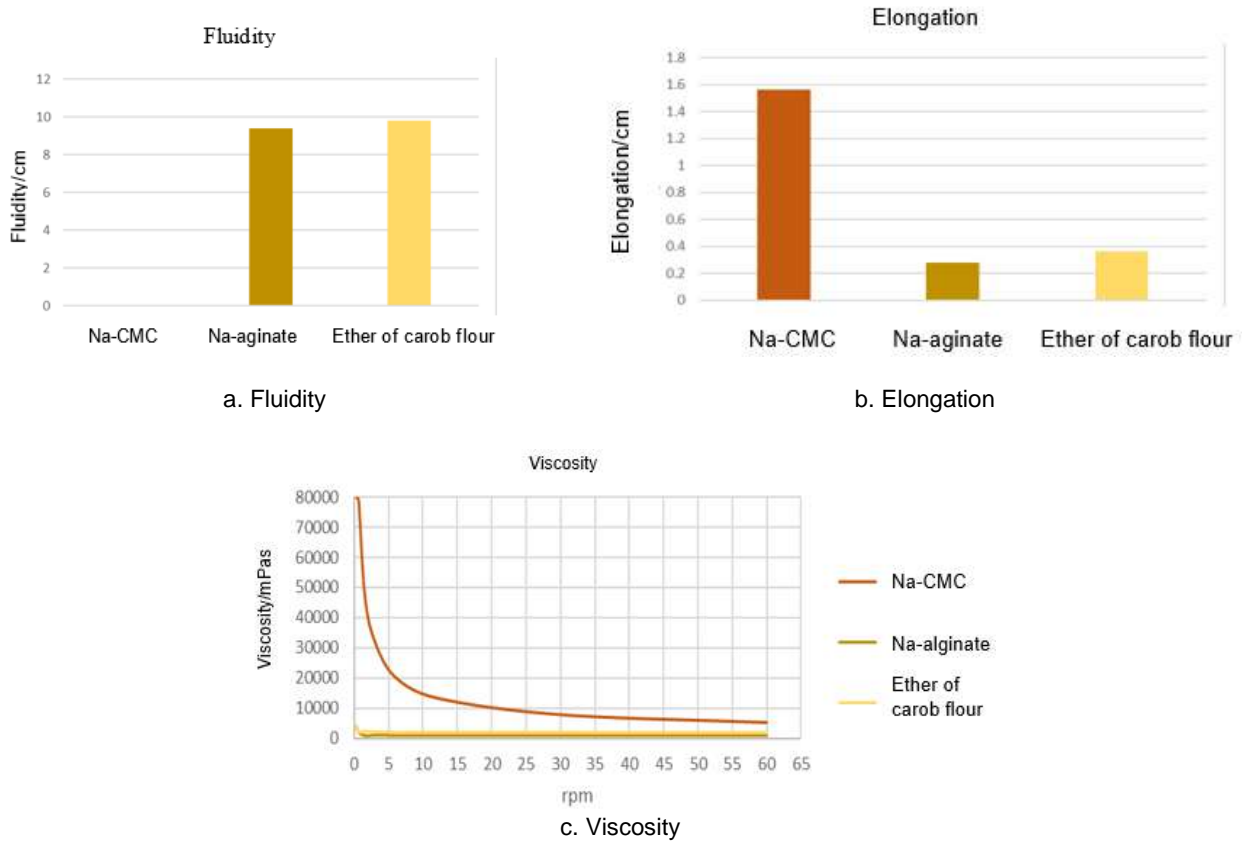


Figure 5: Diagrams of the thickener rheological properties

It can be seen that the Na-CMC thickener (pH 7) is not flowable, the Na-alginate thickener (pH 8.5) has a 10s fluidity of 9.4 cm, while the carob ether (pH 12) has a 10s fluidity of 9.9 cm. The Na-CMC thickener has the highest elongation of 1.56 cm, in comparison with the other two thickeners that have a very low elongation of about 0.3 cm. By increasing the number of revolutions per minute (rpm), the viscosity decrease for all three thickeners, while the highest change is observed for Na-CMC L-3p (Fig.5c)). The obtained results confirm the thesis that the thickener of raw material composition L-3p, carboxymethylcellulose, is the most suitable for tests where the dry matter content varies. Thickener is not flowable and has the highest elongation, which is good for producing the compact and enough strong composite material, of satisfied mechanical properties.

5.2 Results of surface morphology analysis using FE-SEM microscope

Surface analysis was performed on all tested samples at different magnifications of 100x and 200x, presented at Figure 6.

The results of the analysis of the surface morphology of the 1st sample (Th), which consists of a thickening agent, show a smooth surface with local elevations that depend on the overlap of the thickening layer. The 2nd sample (Th+MF) consist of thickener and modal fibers shows different orientation of visible fibers within the thickener resulted in forming a compact structure of the composite, while at the 3rd sample, modal fibers are of different orientation within layer prepared of thickener and chitosan. The protrusion in square shape was caused by the mold, i.e. the metal screen on which the mixture was dried. Regardless, the fibers inside the sample are finally distributed with the thickener and form the structure of the composite sample.

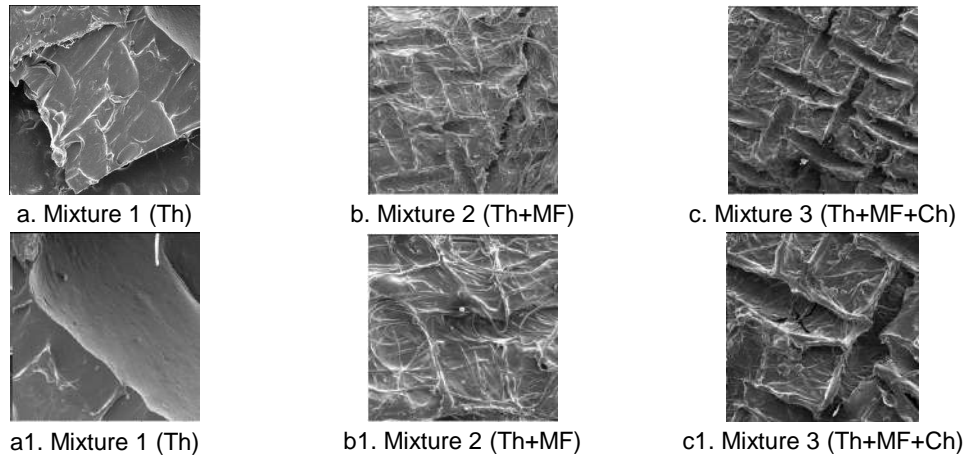


Figure 6: FE-SEM images of samples surface analysis, magnifications of 100x (a.,b.,c.) and 200x (a1., b1., c1.)

5.3 The results of testing the tensile strength of the samples

The tensile strength of the samples was tested using a universal strength tester (TensoLab 3000). The testing on three strip samples of each mixture was performed, and the average values of tested properties as results are presented in Table 4.

Table 4: Test results of the breaking force and elongation of the composite specimens

Samples	Breaking force/ F [N]	Breaking elongation/ ϵ [%]	Testing sample
1. Mixture 1 (Th)	283.0	2.20	
2. Mixture 2 (Th+MF)	369.1	3.60	
3. Mixture 3 (Th+MF+Ch)	522.2	2.20	

According to results, the third mixture has the highest breaking force due to the chitosan which contributes to the improved composite tensile strength, in comparison with two other composite samples. The first sample, consist of a thickener has the lowest average breaking force and elongation, while the second one has the highest average elongation at the break due to modal fibers content, while in the third mixture by addition of chitosan the strength was increased, the composite material becomes stiffer what influence on lower elongation value.

5.4 Results of the test of biodegradability of samples under real conditions

The biodegradation process of the studied composite materials was obtained in accordance with the instruction of the EN ISO 11721-2:2003 standard [13, 14]. The samples were buried in a container with ground as an environmental type and exposed to real conditions. The incubation time was 50 days. After the excavated of the samples changed of the structure (form) was achieved, as can be seen in Figure 7.



Figure 7: Samples before and after burial in the ground

The samples do not have a regular shape, the remaining part of the samples is almost decomposed and it is impossible to determine mechanical and other properties after the exposure time. With the proof of biodegradability, it was made an important step in the implementation of waste management and thus environmental protection.

6. Conclusion

Based on the analyses carried out and the examination of the cellulose properties composites, the following conclusions can be proposed:

- carboxymethylcellulose was the most suitable thickener with the most appropriate rheological properties with respect to the purposes;
- three sample mixtures were prepared and tensile properties were tested, clearly showing that the breaking strength increases with the addition of fibers and chitosan;
- it should be noted that the first experimental tests for the production of composites have been carried out, which should be continued with a view to optimizing the properties;
- the biodegradability of the samples is given, the biodegradation time of 50 days has almost completely degraded the components of the cellulose composite material.

Acknowledgments

This work was fully financed by the bilateral project CRO-SLO (2020.-2022.): Development of biodegradable and antimicrobial cellulose composites from waste material (project leader assoc. prof. S. Ercegović Ražić).

References

- [1] Thiagamani, S.M.K.; Krishnasamy, S.; Siengchin, S.: Challenges of Biodegradable Polymers: An Environmental Perspective, *Applied Science and Engineering Progress*, **12** (2019.) 3, pp. 149, DOI:10.14416/j.asep.2019.03.002
- [2] Singh, R. et al.: Chapter 10 - Biodegradable polymers as packaging materials, *In Biopolymers and their Industrial Applications, From Plant, Animal, and Marine Sources, to Functional Products*, Elsevier, ISBN: 978-0-12-819240-5, (2021), pp. 245-259
- [3] Yin, G.Z. & Yang, X.M.: Biodegradable polymers: a cure for the planet, but a long way to go, *Journal of Polymer Research*, **27** (2020) 38, pp. 1-14, DOI: 10.1007/s10965-020-2004-1
- [4] Jocić, D. & Topalović, T.: Biopolimer hitozan: Svojstva, interakcije i primena u obradi tekstilnog materijala, *Hemijska industrija*, **58** (2004) 10, pp. 457-469, DOI:10.2298/HEMIND0410457J
- [5] Janović, Z.: *Polymerization and Polymers*, Croatica Chemica Acta, ISBN: 953-96041-5-x, Zagreb (1997)
- [6] Tosin, M. et al.: Laboratory test methods to determine the degradation of plastics in marine environmental conditions, *Frontiers in Microbiology*, **3** (2012) 225, pp. 1-9, DOI: 10.3389/fmicb.2012.00225
- [7] Jiang, L. & Zhang, J.: 7 - Biodegradable and Biobased Polymers, *Applied Plastics Engineering Handbook (Second Edition) Processing, Materials, and Applications*, William Andrew Publishing, DOI: 10.1016/B978-0-323-39040-8.00007-9, New York (2017), pp. 127-143.
- [8] Blackburn, R. S.: *Biodegradable and Sustainable Fibres 1st Edition*, Elsevier, ISBN: 9781845690991, (2005)
- [9] Chamy, R.: *Biodegradation - Life of Science*, IntechOpen, ISBN: 978-953-51-1154-2, Chile (2013)
- [10] Harlapur, S. F.; Airani, N. R. & Gobbi, S. S.: Natural Gums as Thickeners in the Process of Cotton Fabric Printing, *Journal of Fashion Technology & Textile Engineering*, **8** (2020) 3, pp. 1-3, DOI: 10.37532/jfte.2020.8(3).188
- [11] Define textile: Available from <http://www.definetextile.com/2013/06/thickener.html>, Accessed: 2022-12-01
- [12] Ngo, T.: *Composite and Nanocomposite Materials - From Knowledge to Industrial Applications*, Intech Open, ISBN978-1-78985-461-9, (2020)
- [13] ISO 11721-2:2003(en) Textiles: Determination of the resistance of cellulose-containing textiles to micro-organisms - Soil burial test - Part 2: Identification of long-term resistance of a rot retardant finish
- [14] Primc, G. et al.: Biodegradability of oxygen-plasma treated cellulose textile functionalized with ZnO nanoparticles as antibacterial treatment, *Journal of physics. D, Applied physics*, **49** (2016), pp. 1-10, DOI: 10.1088/0022-3727/49/32/324002

SVIJEST HRVATSKIH GRAĐANA O OTPADNOM TEKSTILU U KONTEKSTU GOSPODARENJA OTPADOM

CROATIAN CITIZENS' AWARENESS OF WASTE TEXTILES IN THE CONTEXT OF WASTE MANAGEMENT

Marijana PAVUNC SAMARŽIJA* & Edita VUJASINOVIĆ

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; marijana.pavunc@tff.unizg.hr
edita.vujasinovic@tff.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: marijana.pavunc@tff.unizg.hr

Sažetak: Svaki pojedinac svojim aktivnostima utječe na stanje okoliša. Nije nepoznanica da su zagađenje okoliša, klimatske promjene i smanjenje prirodnih resursa izravna posljedica djelovanja ljudi, odnosno rezultat povećanja broja stanovnika što je dovelo i do povećane potražnje za raznim proizvodima i materijalima. Stoga se danas velika pozornost usmjeruje prema djelotvornijem gospodarenju prirodnim resursima kao i smanjenju bilo koje vrste otpada. Učinkovito gospodarenje otpadom predstavlja problematiku koja je prisutna već duži niz godina u mnogim zemljama diljem svijeta. Iako su mnogim zakonskim aktima propisane mjere u svrhu smanjenja otpada i njegovog prikladnog zbrinjavanja postavlja se pitanje koliko su pojedinci upoznati s tim mjerama, osobito ukoliko se radi o posebnim kategorijama otpada, a za koje je propisana obveza odvojenog sakupljanja, poput tekstila. Premda je Zakonom o gospodarenju otpadom, NN 84/2021, propisana opća obveza odvojenog sakupljanja tekstila, u Republici Hrvatskoj procjenjuje se da sakupljen otpadni tekstil čini svega 1/5 godišnje generiranog otpadnog tekstila. Kako bi se dobio realniji uvid zašto je količina sakupljenog otpadnog tekstila ispod razine prosjeka Europske unije, provedeno je anketno ispitivanje hrvatskih građana na tu temu.

Abstract: Every individual with his activities affects the state of the environment. It is well known that environmental pollution, climate change, and the reduction of natural resources are direct consequences of the human factor, respectively the result of the increase in the number of the population, which has led to an increased demand for various products and materials. Therefore, today, great attention is focussed towards more effective natural resources management as well as the reduction of all types of waste. Effective waste management is an issue that has been present for many years in many countries around the world. While many legal acts prescribe measures for waste reduction and its proper disposal, the question is how familiar individuals with these measures are, especially if it concerns special categories of waste, for which separate collection is required, such as, for example, textiles. Although the Waste Management Act, NN 84/2021, prescribes a general obligation regarding the separate collection of textiles, in the Republic of Croatia it is estimated that the collected waste textiles make up only 1/5 of the annually generated textile waste. In order to see why it is like this and why the rate of textile waste separation in Croatia is below average rate for countries within Europe, citizen survey about waste textile was conducted.

Ključne riječi: otpadni tekstil; gospodarenje otpadom; sakupljanje otpadnog tekstila; anketa građana

Keywords: textile waste; waste management; textile waste collection; citizen survey

1. Uvod

Nije nepoznanica da su zagađenje okoliša i sve učestalije ekstremne klimatske pojave izravno posljedica djelovanja ljudi što je dovelo do potrebe za žurnim djelovanjem u području zaštite okoliša kako bi se spriječili daljnji negativni učinci koji više neće biti ispravljivi. Nadalje, povećanje broja stanovništva dovelo je i do povećane potražnje za raznim materijalima i proizvodima čime se povećava i potrošnja prirodnih resursa ali i gomilanje raznih vrsta otpada. Stoga se danas velika pozornost posvećuje djelotvornijem gospodarenju prirodnim resursima kao i smanjenju otpada.

Učinkovito gospodarenje otpadom predstavlja problematiku prisutnu već duži niz godina u mnogim zemljama diljem svijeta te su brojnim zakonskim aktima propisane mjere u svrhu smanjenja nastanka otpada te njegovog prikladnog zbrinjavanja i recikliranja. Jedna od vrsta otpada koja je značajniji izvor ekoloških

problema osobito u urbanim sredinama je komunalni otpad odnosno otpad iz kućanstava i drugih izvora ako je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstava [1]. U sastavu komunalnog otpada razlikuje se onaj otpad kojeg je moguće reciklirati i ponovno iskoristiv te onaj koji nije iskoristiv, a naziva se miješani komunalni otpad. Ukoliko bi se iskoristivi dijelovi komunalnog otpada adekvatno odvojili, miješani komunalni otpad činio bi svega 15 do 30% ukupne količine komunalnog otpada [2]. Bez obzira na navedeno i dalje velike količine iskoristivih frakcija komunalnog otpada završe na odlagalištima miješanog komunalnog otpada čime se onemogućuje njihovo adekvatno iskorištavanje. Međutim, posljednjih se godina ta količina postepeno smanjuje prvenstveno radi sve strožih zakonskih regulativa. Tako se na području Europske Unije (EU) u razdoblju od 2010. godine do 2020. godine količina komunalnog otpada odloženog na odlagališta smanjila za 34%, dok je u istom vremenskom razdoblju porasla stopa recikliranja komunalnog otpada za 18% kao i kompostiranja za 28% [3]. U Republici Hrvatskoj (RH) također se primjećuje trend smanjenja količine odloženog komunalnog otpada na odlagališta miješanog komunalnog otpada i povećanje stope odvojeno sakupljenog komunalnog otpada. U 2020. godini količina odvojeno sakupljenog otpada u RH iznosila je 694 160 tona što čini 41% ukupne količine proizvedenog komunalnog otpada, što je za 67% više nego 2010. godine. Najviše se odvajao papir i karton (29%), zatim glomazni otpad (19%), biootpad (17%) te plastika (10%) [4]. Međutim, situacija s otpadnim tekstilom koji je jedan od sastavnih dijelova komunalnog otpada (ustanovljeno je da čak 85% otpadnog tekstila potječe iz privatnih kućanstava) je znatno drugačija kako u EU tako i u RH. Na području EU procjene su da se odvojeno sakuplja tek 30% do 35% ukupne količine proizvedenog otpadnog tekstila [5], dok je u RH taj udio znatno manji pa tako je u 2020. godini odvojeno sakupljeni otpadni tekstil iznosio tek 1% ukupne količine odvojeno sakupljenog komunalnog otpada [4], odnosno 8% ukupne količine proizvedenog otpadnog tekstila [6]. S obzirom da je proizvodnja i potrošnja tekstila u konstantnom porastu jasno je da će i količine odbačenog tekstila rasti, čime će, ukoliko se ne poveća stopa njegovog odvojenog sakupljanja, rasti i njegov negativan utjecaj na okoliš, ali i onemogućiti njegovo adekvatno zbrinjavanje odnosno recikliranje kao i ponovna upotreba iskoristivog dijela otpadnog tekstila s obzirom da većina odbačenog tekstila je pogodna za ponovnu upotrebu.

2. Metodologija

Iako se posljednjih godina u RH bilježi trend postepenog povećanja odvojenog sakupljanja određenih frakcija komunalnog otpada, isto nije slučaj i s otpadnim tekstilom. S obzirom da otpadni tekstil spada u posebnu kategoriju otpada kojeg je potrebno odvojeno odložiti postavlja se pitanje zašto su količine tekstila koje završe u miješanom komunalnom otpadu i dalje izrazito velike iako je gospodarenje ovim otpadom u RH regulirano posebnim zakonskim aktom [7]. Stoga, u cilju dobivanja saznanja zašto su količine odvajanja otpadnog tekstila izrazito male pristupilo se prikupljanju informacija od građana RH na tu temu pri čemu je korištena metoda anketiranja [8], a rezultati će se grupirati po regijama Hrvatske prema nacionalnoj klasifikaciji statističkih regija [9].

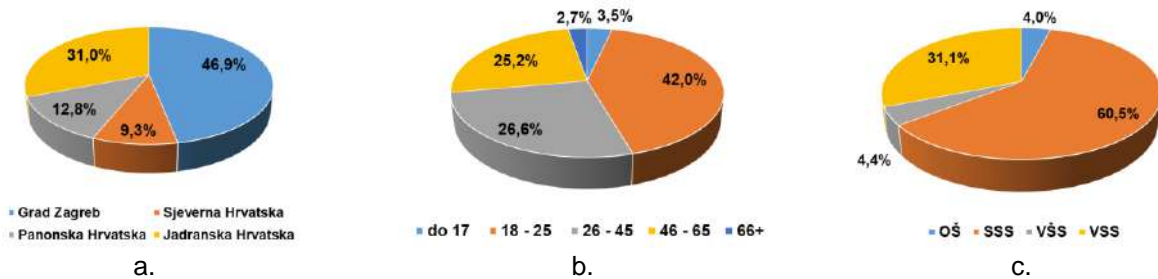
Anketni upitnik bio je u papirnatom obliku, ispunjavao se anonimno i sastojao se od tri dijela. Prvi dio obuhvaćao je opće podatke o ispitaniku tj. informacije o mjestu stanovanja, spolu, dobi i obrazovanju. Drugi dio anketnog upitnika bio je vezan uz općenite navike ispitanika o recikliranju/odvajanju komunalnog otpada dok je treći dio anketnog upitnika sadržavao pitanja o otpadnom tekstilu, informiranosti ispitanika o mogućnostima recikliranja tekstila kao i razmišljanjima na koji način povećati udio njegovog odvajanja.

Anketni upitnik sadržavao je dvije vrste pitanja i to tzv. otvorena pitanja na koja ispitanici daju odgovore svojim riječima te tzv. zatvorena pitanja odnosno pitanja pored kojih su ponuđeni odgovori [8] pri čemu u ovom slučaju je bilo potrebno odabrati samo jedan od ponuđenih odgovora. Anketa se sastojala od ukupno 17 pitanja od kojih je pet bilo zatvorenog tipa, a 12 otvorenog tipa, s time da se na određena pitanja otvorenog tipa odgovaralo ovisno o odgovoru na prethodno pitanje zatvorenog tipa pa tako je jedan ispitanik trebao ukupno odgovoriti na 15 pitanja.

3. Rezultati i rasprava

Anketiranjem je obuhvaćen teritorij čitave Republike Hrvatske s time da najveći udio ispitanika potječe iz Grada Zagreba (sl. 1.a). S obzirom na spol, anketu je ispunilo 54,9% osoba ženskog spola i 45,1% osoba muškog spola.

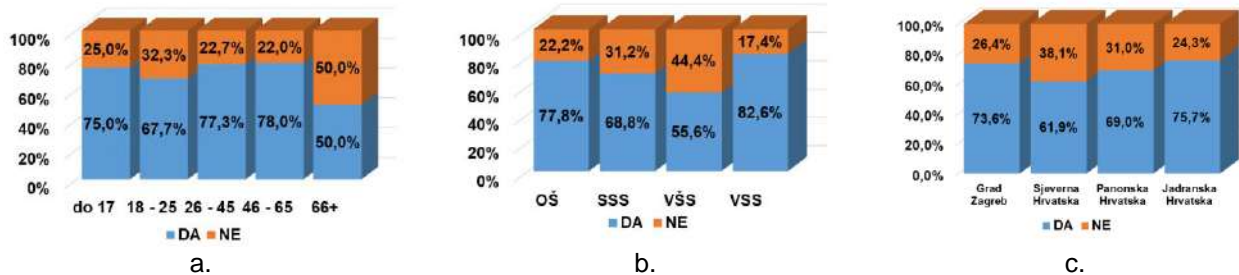
Kako prilikom provođenja anketiranja nije bilo ciljane skupine, ovim anketiranjem obuhvaćen je širok raspon ispitanika s obzirom na dob (sl. 1.b) i obrazovanje (sl. 1.c). Pa tako su anketirane osobe u dobi od 15 do 76 godina, gdje je najveći udio ispitanika pripadao dobnoj skupini od 18 do 25 godina. S obzirom na to, najveći udio ispitanika ima srednju stručnu spremu s time da je dio ispitanika te dobne skupine naveo (usmeno anketaru ili pismeno u anketnom upitniku) da trenutno studira.



Slika 1: Struktura anketiranih osoba obzirom na: a. mjesto stanovanja, b. dob i c. obrazovanje

U drugom dijelu anketnog upitnika od ispitanika se tražilo da odgovore na pitanje „Reciklirate/odvajate li otpad?“ te dodatno, ukoliko je odgovor bio pozitivan da navedu što, a ako je bio negativan da navedu razloge zbog kojih to ne rade. Većina ispitanika (72,6%) je odgovorila da razvrstava otpad s time da su za 34,2% više to osobe ženskog spola. Najviše se odvaja plastika, što je navelo 34,7% ispitanika, zatim papir koji odvaja 28,8% ispitanika, staklo odvaja 9,9% ispitanika, a na četvrtom mjestu nalazi se tekstil i odjeća koje reciklira/odvaja 9,6% osoba. Od ostalih vrsta otpada ispitanici su još naveli da razvrstavaju baterije (5,1%), zatim biootpad (2,3%), metal (1,7%) te lijekove i drvo (1,4%). Nadalje, 4,2% ispitanika je navelo da reciklira sve čime se ne može zaključiti na što se navedeno točno odnosi dok 2,3% ispitanika nije odgovorilo na pitanje. Od ukupnog broja ispitanika njih 27,4% je navelo da ne razdvaja otpad, s time da su za 32,3% više to osobe muškog spola što se može povezati s činjenicom da je 4,8% ispitanika muškog spola kao razlog ne razvrstavanja navelo da drugi to rade umjesto njih (supruge, majke). Od ostalih razloga za ne razvrstavanje otpada, najučestaliji je bio da nemaju naviku (29,0%), zatim njih 12,9% ne zna zašto, 9,7% ne želi, 8,1% nema vremena za to dok 4,8% misli da nema smisla razvrstavati otpad. Također, 9,7% ispitanika navelo je da ne postoje mjesta za recikliranje, a većina osoba (83,3%) koja su dali navedeni razlog kao mjesto stanovanja navela su Grad Zagreb što iznenađuje s obzirom da u Zagrebu sveukupno ima 10 reciklažnih dvorišta i 10 mobilnih reciklažnih dvorišta smještenih na različitim lokacijama diljem grada [10] ali i veliki broj spremnika za odvajanje pojedinih frakcija komunalnog otpada u sklopu kućanstava što upućuje na to da su te osobe slabo upućene u mogućnosti odvojenog odlaganja komunalnog otpada ili su pak nezainteresirane da isto čine. Veliki udio ispitanika, njih 21,0%, nije odgovorilo na postavljeno pitanje.

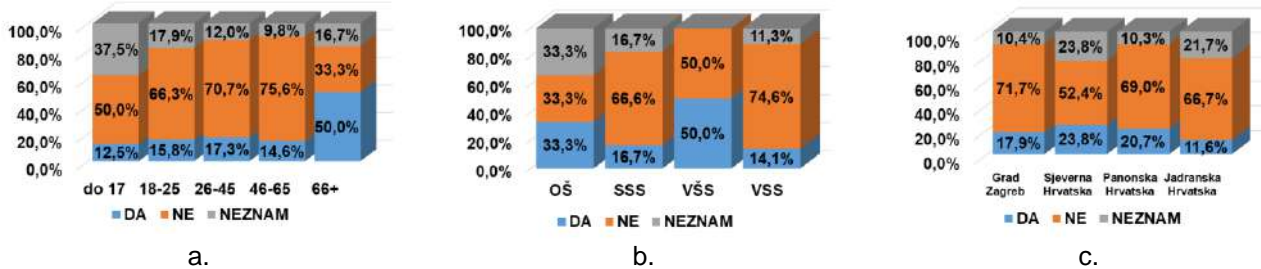
Unutar pojedine dobne skupine (sl. 2.a) primjećuje se da najviše odvajaju otpad osobe u dobnim skupinama od 26 do 45 godina i od 46 do 65 godina. Također, primjetno je da veliki udio osoba u dobi do 17 godina odvaja otpad što se može povezati s pretpostavkom da žive u istom kućanstvu s osobama (roditeljima, skrbnicima) koji razvrstavaju otpad čime i oni sami stječu istu naviku. Osobe starije životne dobi (66+) najmanje odvajaju otpad, a razlog tome leži u činjenici da u njihovoj mladosti odvojeno sakupljanje određenih frakcija komunalnog otpada i posebnih kategorija otpada nije bilo zastupljeno kao danas te samim time nemaju naviku odvajanja. S obzirom na obrazovanje (sl. 2.b) najviše odvajaju otpad ispitanici s visokom stručnom spremom, a s obzirom na mjesto stanovanja to najviše čine osobe iz Jadranske Hrvatske (sl. 2.c).



Slika 2: Udio ispitanika koji odvajaju odnosno ne odvajaju otpad unutar pojedinih grupacija obzirom na: a. dob, b. obrazovanje, c. mjesto stanovanja

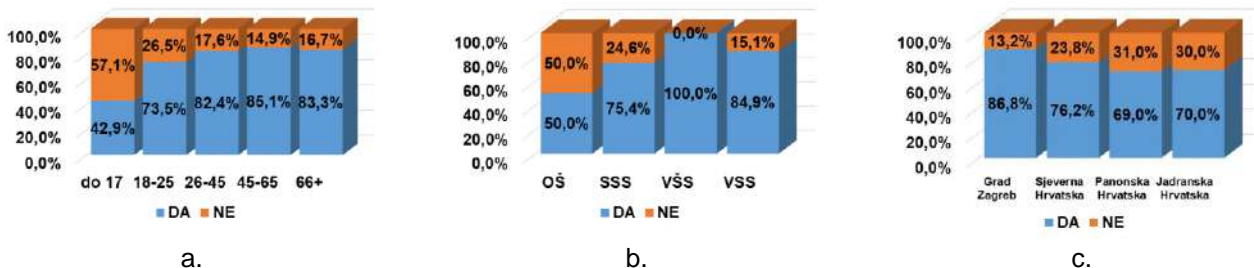
U trećem dijelu anketnog upitnika koji se odnosio na recikliranje tekstila, prva dva pitanja su glasila „Je li otpadni tekstil isto što i smeće?“ i „Jeste li čuli za recikliranje tekstila?“, gdje su ispitanici mogli izabrati jedan od ponuđenih odgovora. Na temelju analize ankete može se uočiti da ispitanici skoro svih dobnih skupina smatraju da otpadni tekstil nije isto što i smeće osim u dobnjoj skupini 66+ gdje je veći udio onih koji smatraju da je smeće (sl. 3.a). Također, može se primijetiti da osobe mlađe od 18 godina u prilično velikom udjelu ne znaju odgovor na postavljeno pitanje. Iako ih većina smatra da otpadni tekstil nije isto što i smeće, na pitanje u drugom dijelu anketnog upitnika izrazito mali broj je onih koji su naveli da odvajaju tekstil/odjeću (9,6%). S obzirom na to upitno je da li su ispitanici iskreno odgovorili na pitanje ili su, potaknuti spoznajom da se radi o anketi o otpadnom tekstilu, pretpostavili da otpadni tekstil nije isto što i smeće. S obzirom na obrazovanje (sl. 3.b), najveći udio onih koji smatraju da otpadni tekstil nije smeće je unutar skupine ispitanika koji imaju

visoku stručnu spremu, dok s obzirom na mjesto stanovanja (sl. 3.c) značajnija razlika u odgovorima na postavljeno pitanje uočena je kod ispitanika koji stanuju u Sjevernoj Hrvatskoj. Kod njih je najveći udio onih koji smatraju da je otpadni tekstil isto što i smeće kao i najveći udio onih koji ne znaju odgovor na pitanje za razliku od ispitanika iz ostalih regija Republike Hrvatske.



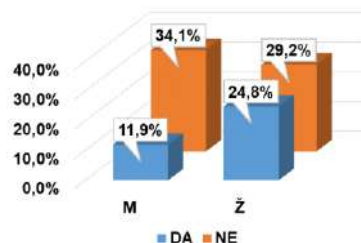
Slika 3: Udio ispitanika koji smatraju kako tekstil je odnosno nije isto što i smeće unutar pojedinih grupacija obzirom na: a. dob, b. obrazovanje i c. mjesto stanovanja

Prema dijagramima prikazanim na sl. 4 može se zaključiti kako je većina ispitanika bez obzira na dob, obrazovanje i mjesto stanovanja čula za recikliranje tekstila. Jedino osobe mlađe životne dobi kao i osobe sa srednjom stručnom spremom su manje upoznate s recikliranjem tekstila. Na prethodno pitanje nadovezuje se pitanje „Koji se sve tekstil može reciklirati?“ gdje su ispitanici svojevolumno mogli dati odgovor. Najveći udio ispitanika (42,5%) odgovorio je da se sav ili skoro sav tekstil može reciklirati, s time da je taj odgovor bio najučestaliji kod ispitanika sa srednjom, višom i visokom stručnom spremom. Sljedeći najučestaliji odgovor je bio ne znam (24,3%) što su prvenstveno naveli ispitanici sa osnovnoškolskim obrazovanjem. Nadalje, 14,2% ispitanika smatra da se reciklirati može samo odjeća, dok njih 5,8% je uz odjeću navelo i kućanski tekstil, zatim 8,8% smatra da se reciklirati može samo tekstil od prirodnih vlakana, 4,0% onaj od umjetnih vlakana, a 0,4% je navelo tekstil od jedne vrste vlakana (npr. pamuk). Na pitanje nije odgovorilo 9,3% ispitanika. Na temelju dobivenih odgovora može se zaključiti kako su ispitanici slabo upoznati s mogućnostima recikliranja tekstila ali i činjenicom što sve pojam tekstil obuhvaća.



Slika 4: Učestalost pojedinih odgovora na pitanje „Jeste li čuli za recikliranje tekstila?“ unutar pojedinih grupacija obzirom na: a. dob, b. obrazovanje i c. mjesto stanovanja

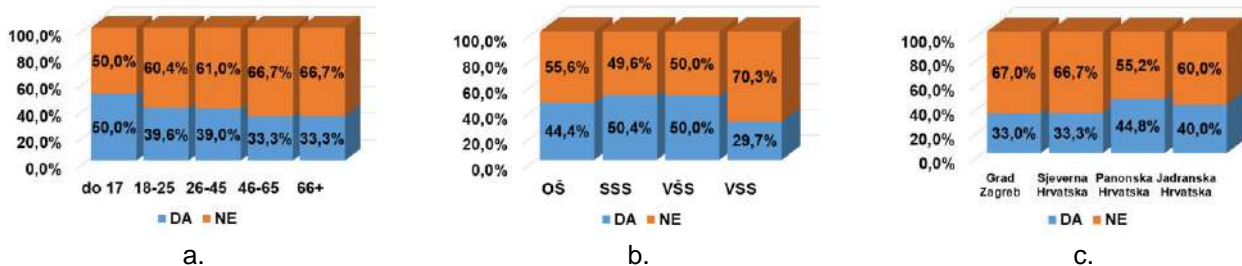
Anketni upitnik sadržavao je i pitanja vezana uz navike građana o korištenju rabljene odjeće te se na temelju dobivenih odgovora može primijetiti da građani Republike Hrvatske u većini ne koriste rabljenu odjeću (sl. 5), a prvenstveno su to osobe muškog spola.



Slika 5: Navike ispitanika vezane za korištenje rabljene odjeće obzirom na spol

Prema dijagramima na sl. 6 može se primijetiti kako dob i mjesto stanovanja nemaju veliki utjecaj na naviku korištenja rabljene odjeće za razliku od obrazovanja. Ono što se primjećuje je da kod osoba mlađe životne dobi (do 17 godina) jednaki je udio onih koji koriste i ne koriste rabljenu odjeću, dok s obzirom na mjesto stanovanja stanovnici Panonske Hrvatske u nešto većem udjelu od stanovnika ostalih dijelova Republike Hrvatske koriste rabljenu odjeću. Međutim, s obzirom na obrazovanje može se primijetiti da osobe s visokom

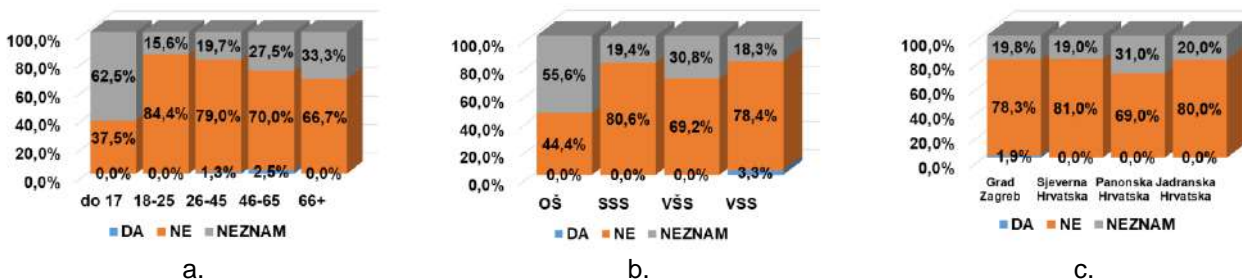
stručnom spremom najvećim udjelom ne rabe rabljenu odjeću, a razlog tome je pretpostavka da te osobe imaju u većini slučajeva bolju platežnu moć od osoba s nižim stupnjem obrazovanja.



Slika 6: Navike ispitanika vezane za korištenje rabljene odjeće unutar pojedine grupacije obzirom na: a. dob, b. obrazovanje i c. mjesto stanovanja

Kao glavni razlog ne korištenja rabljene odjeće većina ispitanika (41,7%) navodi da ne želi koristiti takvu odjeću jer više preferiraju novu. Njih 17,3% je navelo da nemaju naviku ili jednostavno nisu imali priliku. Zatim, 6,4% ispitanika kao razlog navodi manjak trgovina s rabljenom odjećom tzv. „second hand“ u njihovom kraju, dok isti udio nema potrebu za korištenjem rabljene odjeće jer smatra da ima dovoljno. Njih 4,5% smatra da u trgovinama rabljene odjeće nema modne niti markirane odjeće, ali i da je rabljena odjeća lošije kvalitete za razliku od nove. Manji dio ispitanika (2,6%) smatra da rabljena odjeća nije higijenska, a njih 1,9% (većinom osobe starije životne dobi tj. 66+) navelo je da ne zna što je rabljena odjeća. Veliki udio ispitanika, čak 19,2%, nije željelo odgovoriti na pitanje. S obzirom na spomenuto može se zaključiti kako građani nisu dovoljno motivirani niti informirani da u trgovinama rabljene odjeće se mogu pronaći markirani odjevni predmeti te da je odjeća rangirana po klasama od one u odličnom stanju do solidnih odjevnih predmeta i dosta često takva odjeća može biti čak i bolje kvalitete od nove odjeće dostupne u trgovinama velikih trgovačkih lanaca. Dodatno, sva odjeća u trgovinama rabljene odjeće bi prije stavljanja u prodaju trebala biti prikladno očišćena i dezinficirana. Najučestaliji razlog korištenja rabljene odjeće prvenstveno je pristupačna cijena takve odjeće što navodi 54,7% ispitanika. Zatim, 14,0% navodi kako se u trgovinama rabljene odjeće mogu pronaći zanimljivi odjevni predmeti kakve nije moguće pronaći u ostalim trgovinama, dok 10,5% ispitanika rabljenu odjeću koristi isključivo kao radnu odjeću jer im nije žao uništi je ili zaprljati. Manji udio ispitanika (7,0%) koristi rabljenu odjeću isključivo od osoba koje poznaju. Ostali ispitanici (njih 13,8%) nisu odgovorili na postavljeno pitanje.

Koliko su građani slabo upoznati sa recikliranjem tekstila u Hrvatskoj pokazali su odgovori na pitanje „Što znate o recikliranju tekstila u Hrvatskoj?“ gdje je najučestaliji odgovor, koji je dalo 69,0% ispitanika, bio ništa ili malo. Njima se mogu priključiti i 5,7% ispitanika koji nisu dali odgovor na postavljeno pitanje jer samim time može se smatrati kako nisu upoznati s recikliranjem tekstila u Hrvatskoj. Tek 17,3% navodi da zna da postoje spremnici za odvojeno sakupljanje tekstila ili da se isti može odložiti u reciklažna dvorišta, a još manji udio tj. 8,0% svjesno je da se otpadna odjeća i tekstil mogu u određenim trgovinama zamijeniti za popust ili da postoje udruge koje će prihvatiti odbačene tekstilne predmete. U prilog navedenom idu i odgovori na sljedeće pitanje u anketnom upitniku koje je glasilo „Je li javnost dovoljno i adekvatno obaviještena o tekstilnom otpadu i njegovom recikliranju?“ gdje su ispitanici mogli izabrati jedan od ponuđenih odgovora. Najveći udio ispitanika bez obzira na dob, obrazovanje i mjesto stanovanja (sl. 7) smatra da javnost nije dovoljno osviještena niti adekvatno educirana o tekstilu i njegovom recikliranju. Jedino unutar maloljetnih osoba i osoba koje imaju završeno osnovnoškolsko obrazovanje poprilično je veći udio onih koji su odgovorili da neznaju, a zanimljivo je da izrazito mali udio ispitanika koji smatraju da je javnost dovoljno informirana su osobe s visokom stručnom spremom.



Slika 7: Učestalost pojedinih odgovora na pitanje „Je li javnost dovoljno i adekvatno obaviještena o tekstilnom otpadu i njegovom recikliranju?“ unutar pojedinih grupacija obzirom na: a. dob, b. obrazovanje i c. mjesto stanovanja

Na pitanje o tome što bi trebalo poduzeti kako bi se odvajala veća stopa otpadnog tekstila 51,6% ispitanik smatra da je potrebno educirati javnost putem različitih medija, plakata, letaka i društvenih mreža. 14,7% smatra da treba postaviti više spremnika za odlaganje otpadnog tekstila dok njih 6,2% smatra da bi edukaciju o tome trebalo uvesti kao posebna predavanja u školama. O mogućim ostalim mjerama 5,5% smatra da bi novčana simulacija ili naknada (poput one za pojedinu plastičnu i/ili staklenu ambalažu) mogla potaknuti građanstvo na odvajanje otpadnog tekstila dok je jednak udio onih koji smatraju da bi trebalo uvesti novčane kazne. Dosta veliki udio ispitanika nije odgovorilo na pitanje ili ne zna što bi trebalo poduzeti (13,6%), dok ostatak (2,9%) navodi da bi bilo dobro da postoji više trgovina gdje se odjeća može zamijeniti za popust ili čak da je potrebno postrožiti zakon vezan uz odlaganje otpadnog tekstila.

Kao posljednje pitanje u anketnom upitniku od ispitanika se tražilo da navedu hoće li ubuduće razmisliti prije nego odbacite neki tekstilni predmet kao komunalni otpad, pri čemu je većina (75,7%) odgovorila da hoće što ukazuje da su nakon ispunjavanja ove ankete ipak dobili neka saznanja o tekstilu i njegovom recikliranju te o tome da otpadni tekstil ne bi trebali odložiti u miješani komunalni otpad.

4. Zaključak

Na temelju analize provedene ankete jasno je kako su građani usvojili navike odvajanja pojedinih frakcija komunalnog otpada gdje se to prvenstveno odnosi na papir, karton i plastiku što se može povezati s postojanjem većeg broja spremnika za njihovo odlaganje na pristupačnim mjestima već duži niz godina kao i novčane naknade za povrat određene plastične i staklene ambalaže. Međutim, manjak motivacije odvojenog odlaganja otpadnog tekstila prvenstveno se može povezati sa nedostatnom informiranosti građana o mogućnostima recikliranja tekstila i štetnosti njegovog neadekvatnog zbrinjavanja, neznanjem što sve pojam tekstil obuhvaća, ali i s nejasno definiranim odredbama zakona o gospodarenju otpadnim tekstilom. Jasno je stoga da je edukacija građana ključna te da relevantne državne institucije moraju poduzeti odgovarajuće mjere kako bi se povećano odvajanje tekstila iz komunalnog otpada jer Hrvatska, kao članica EU, a prema Direktivi 2008/98/EZ o otpadu [11], mora najkasnije do 1. siječnja 2025. godine imati uspostavljeni učinkovit sustav odvojenog sakupljanja tekstila.

Zahvala

Istraživanje je napravljeno u sklopu K.K.01.1.1.04.0091 projekta "Dizajn naprednih biokompozita iz energetski održivih izvora – BIOKOMPOZITI" financiranog od Europskog fonda za regionalni razvoj.

Literatura

- [1] Zakon o gospodarenju otpadom, NN 84/2021, *Dostupno na* https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_07_84_1554.html, *Pristupljeno:* 2022-12-05
- [2] ...: Što je miješani komunalni otpad?, *Dostupno na* <https://zgvrecice.cistoca.hr/sto-je-mijesani-komunalni-otpad/174>, *Pristupljeno:* 2022-12-05
- [3] Statistics Explained: Municipal waste statistics, *Dostupno na* Municipal waste statistics - Statistics Explained (europa.eu), *Pristupljeno:* 2022-12-05
- [4] Puntarić, E. I sur.: Izvešće o komunalnom otpadu za 2020. godinu, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb, 2021., *Dostupno na* https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/inline-files/OTP_Izvje%C5%A1%C4%87e%20o%20komunalnom%20otpadu%20za%202020.%20godinu_7_10_2021.pdf, *Pristupljeno:* 2022-12-05
- [5] ...: Circulation textile waste into value, *Dostupno na* <https://www.textiletechnology.net/technology/news/euratex-circulation-textile-waste-into-value-32439>, *Pristupljeno:* 2022-12-05
- [6] ...: Izvešće o gospodarenju otpadnim tekstilom i otpadnom obućom u 2020. godini, *Dostupno na* [https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjesca/ostalo/OTP_Izvje%C5%A1%C4%87e_tekstil_2020%20\(final%20za%20web\).pdf](https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjesca/ostalo/OTP_Izvje%C5%A1%C4%87e_tekstil_2020%20(final%20za%20web).pdf), *Pristupljeno:* 2022-12-05
- [7] Pravilnik o gospodarenju otpadnim tekstilom i otpadnom obućom, NN 99/2015, *Dostupno na* Pravilnik o gospodarenju otpadnim tekstilom i otpadnom obućom (nn.hr), *Pristupljeno:* 2022-12-05
- [8] Zelenika, R.: *Metodologija i tehnologija izrade znanstvenog i stručnog djela*, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci, ISBN 953-614-810-2, Rijeka, (1998.)
- [9] Nacionalna klasifikacija statističkih regija 2021. (HR_NUTS 2021.), NN 125/2019, *Dostupno na* https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_12_125_2507.html, *Pristupljeno:* 2022-12-10
- [10] ...: Reciklažna dvorišta, *Dostupno na* <https://www.cistoca.hr/usluge/odvojeno-skupljanje-otpada/reciklazna-dvorista-1380/1380>, *Pristupljeno:* 2022-12-05
- [11] Direktiva 2008/98/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 19. studenoga 2008. o otpadu i stavljanju izvan snage određenih direktiva, *Dostupno na* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02008L0098-20180705>, *Pristupljeno:* 2022-12-05

ANALIZA STATODINAMIČKOG OPTEREĆENJA RADNIKA U TEHNOLOŠKOM PROCESU KROJENJA

ANALYSIS OF THE STATODYNAMIC LOAD ON WORKERS IN THE TECHNOLOGICAL CUTTING PROCESS

Snježana KIRIN^{1,*} & Anica HURSA ŠAJATOVIĆ²

¹ Veleučilište u Karlovcu, Odjel sigurnost i zaštita, Karlovac, Hrvatska; snjezana.kirin@vuka.hr

² Sveučilište u Zagrebu Tekstilno tehnološki fakultet, Zavod za odjevnu tehnologiju, Zagreb, Hrvatska; anica.hursa@ttf.hr

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

Sažetak: Rad u tehnološkom procesu krojenja izvodi se u stojećem položaju uz znatno opterećenje nogu, ruku i šaka te slabinskog i vratnog dijela kralješnice, pri čemu je potreban visoki stupanj usredotočenosti vida. Primjenom RULA metode analizirano je opterećenje radnika u tehnološkom procesu krojenja za dva karakteristična radna mjesta. RULA metodom utvrđeno je opterećenje tijela uzrokovano radnim položajem s obzirom na zahtjevnost radnog zadatka. Rezultati dobiveni analizom ukazuju na opterećenje nogu, prisutnost pojačane fleksije kralješnice i glave te visok udio rada ruku i prstiju što dovodi do zamora radnika. Dan je prijedlog za preoblikovanje postojećih radnih mjesta čime bi se smanjili nepovoljni radni položaji i povećala produktivnost rada.

Abstract: Work in the technological cutting process requires a high degree of visual acuity and is performed in a standing posture, resulting in significant stress on the lumbar and cervical spine, as well as the legs, arms, and hands. The workload of workers in the technological cutting process was investigated using the RULA approach at two typical workplaces. The RULA method was used to determine the body load resulting from the work posture in relation to the requirements of the work task. The results of the analysis show a load on the legs, the presence of increased flexion of the spine and head, and a high proportion of hand and finger work, leading to worker fatigue. A proposal was made to redesign the current workplaces in order to reduce awkward working postures and increase work productivity.

Ključne riječi: tehnološki proces krojenja, RULA metoda, radno opterećenje

Keywords: technological cutting process, RULA method, workload

1. Uvod

U suvremenim procesima proizvodnje odjeće organizaciji rada poklanja se velika pažnja radi smanjenja vremena izvođenja tehnološke operacije, održavanja potrebne kvalitete, višeg stupnja korištenja opreme i strojeva, brzog protoka materijala izradaka u proizvodnji te smanjenju opterećenja i zamora radnika [1]. Za svaku tehnološku operaciju potrebno je pravilno oblikovati radno mjesto uz određivanje optimalne metode rada čime se u znatnoj mjeri smanjuje psihofizičko opterećenje radnika.

Tehnološki proces krojenja je prva faza u procesu proizvodnje odjeće koja je zastupljena s oko 20 % od ukupnog vremena proizvodnje odjavnog predmeta. Tehnološke operacije krojenja karakterizira međudjelovanje radnika, stroja i okoline čineći složen sustav djelovanja koji ovisi o ljudskoj sposobnosti, vrsti tehnološke operacije, vrsti i tehničkoj opremljenosti stroja te o položaju tijela koji radnik zauzima tijekom izvođenja rada [2]. Rad se izvodi u stojećem položaju, a radnik tijekom izvođenja tehnološke operacije krojenja koristi trup i ruke za rukovanje materijalom i/ili strojem.

U tehnološkom procesu krojenja izvodi se iskrojavanje krojnih naslaga ručno vođenim strojevima i to strojevima s udarnim nožem (grubo iskrojavanje) i strojevima s tračnim nožem (fino iskrojavanje). Kod iskrojavanja s udarnim nožem krojna naslaga miruje, a radnik vodi stroj po konturama krojnih dijelova, dok strojevi s tračnim nožem miruju, a radnik ručno vodi naslagu po konturama krojnih dijelova.

Iskrojavanje krojnih naslaga strojevima s udarnim i tračnim nožem radnik izvodi u stojećem položaju uz često prisilni položaj kralješnice i glave zbog potrebne motoričke aktivnosti ruku i vidne koncentracije uslijed

vođenja krojne naslage ili stroja po konturama krojnih dijelova. Rukovanje dijelom krojne naslage je olakšano kod strojeva s tračnim nožem ako je radna površina stroja opremljena sustavom mlaznica za stvaranje zračnog jastuka pri čemu je smanjeno trenje između radne površine i krojne naslage, a povećana točnost iskrojavanja [3].

Dosadašnja istraživanja opterećenja radnika u tehnološkom procesu krojenja kod tehnoloških operacija iskrojavanja krojnih naslaga pokazala su da radnici rade u nepovoljnom stojećem položaju uz povećanu fleksiju leđa veću od 15° i fleksiju glave s kutom zakrivljenja većim od 30°[4, 5]. Vrijednosti kuta zakrivljenja vratnog i slabinskog dijela kralješnice ovise o vrsti i metodi izvođenja tehnološke operacije i tjelesnoj visini radnika. Nepovoljan radni položaj očituje se kroz povećani zamor, smanjenje kvalitete izvođenja te dulje vrijeme izvođenja tehnološke operacije. Opterećenje radnika posljedica je neusklađenosti fizičkih, psihičkih i zdravstvenih mogućnosti radnika sa zahtjevima radnog mjesta, nižeg stupnja organizacije rada, nepovoljnih mikroklimatskih uvjeta odnosno zbog nepridržavanja ergonomskih načela kod oblikovanja radnih mjesta.

Stoga je u procesu krojenja potrebno postići dimenzijski sklad čovjek-stroj-okolina uz povoljan položaj stajanja koji omogućava visok stupanj koordinacije pokreta uz ispravan položaj kralješnice i dobar položaj glave. S obzirom na zahtjeve radnog procesa povoljan radni položaj je lagano pognuti gornji dio leđa do 15° i prednjom fleksijom glave do 30°. Prema statičkom i dinamičkom razmjeru radnika u postupku oblikovanja radnog mjesta potrebno je prilagoditi visinu radne površine koja će omogućiti povoljan raspored radnih zona te osigurati prikladnu dinamičnost i ritmičnost rada [6].

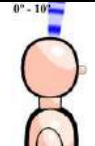













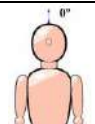



2. RULA (Rapid Upper Limb Assessment) metoda

RULA (Rapid Upper Limb Assessment) metoda razvijena je od *McAtamney L. i Corlett E.N.*, (1993. godine) s ciljem da se odredi stupanj izloženosti radnika nepovoljnim radnim položajima koji mogu dovesti do mišićno-koštanih poremećaja. Metoda RULA koristi se za opažanje i ocjenjivanje biomehaničkih položaja cijelog tijela pri čemu su obuhvaćene ruke (nadlaktica, podlaktica, šaka), vrat, trup i noge te djelovanje mišića dijelova tijela. Temelji se na subjektivnom anketiranju promatrača na pojedinom radnom mjestu [7-9].

Za potrebe provođenja ocjenjivanja radnih položaja tijela prilikom izvođenja radnih zadataka dani su slikovni prikazi za položaj ruku (sl.1) te za položaj tijela (vrat, trup, noge) (sl.2).

Ruka – nadlaktica						- ramena podignuta [+1] - nadlaktica ispružena i odmaknuta od tijela [+1] - ruka naslonjena [-1]
	+1	+2	+2	+3	+4	dodatni položaji
Ruka – podlaktica						
	+1	+2	+2	+1/dodatni položaj		
Ruka- šaka						
	+1	+2	+3	+3	+1/ dodatni položaj	
Rotacija šake			Opterećenje ruke: - nema opterećenja (opterećenje manje od 20 N [0]) - malo opterećenje (20 N-100 N) [+1] - statičko opterećenje (20-100 N)/ponavljajući intervali (20-100 N) /isprekidano opterećenje (>100 N) [+2] - statičko opterećenje (1001 N)/ ponavljajući intervali (100 N) / veliko opterećenje (>100 N) [+3]			
	+1	+2				
Rad mišića ruke: - položaj ruke je većinom statičan (trajanje duže od 1 min) [+1] - rad ruku je ponavljajući [+1]						

Slika 1: Prikaz radnih položaja ruke prema RULA metodi [9]

Vrat	 +1	 +2	 +3	 +4
	 0	 +1	dodatni položaji I	
Bočni preklon vrata	 0	 +1	dodatni položaji II	
	 +1	 +2	 +3	 +4
Rotacija trupa	 0	 +1	dodatni položaji I	
	 0	 +1	dodatni položaji II	
Noge	 +1	 +2		
	Rad mišića tijela: - položaj tijela statičan više od 1 min [+1] - repetitivni rad [+1]		Opterećenje tijela: - bez opterećenja tijelo [0] - opterećenje tijela (20 N-100 N) [+1] - statičko opterećenje(20-100 N/ponavljajući intervali (20-100 N)/isprekidana sila (>100 N) [+2] - statičko opterećenje (100 N)/ponavljajući intervali (100 N)/veliko opterećenje (> 100 N) [+3]	

Slika 2: Prikaz radnih položaja ruke prema RULA metodi [9]

S obzirom na dobivenu ocjenu pomoću Tablice 1 utvrđuje se stupanj opterećenja radnika u tehnološkom procesu i potreba preoblikovanja radnog mjesta s ciljem smanjenja stupnja radnog opterećenja i zamora radnika.

Tablica 1.: Prikaz ocjene opterećenja tijela RULA metodom [9]

Ocjena	Rizik	Opis opterećenja
1-2	1	Zanemariv rizik; položaj tijela prihvatljiv; preoblikovanje radnog mjesta nije potrebno
3-4	2	Niski rizik; opterećenje položaja tijela; istražiti detaljnije; preoblikovanje radnog mjesta u doglednom vremenu
5-6	3	Srednji rizik; srednje opterećenje položaja tijela; istražiti detaljnije; preoblikovanje radnog mjesta potrebno uskoro
7+	4	Visoki rizik; visoko opterećenje položaja tijela; istražiti detaljnije; preoblikovanje radnog mjesta potrebno odmah

Analizom radnih mjesta RULA metodom dobivaju se podaci o dijelovima tijela s povećanim opterećenjem koje je uzrokovano nepovoljnim oblikovanjem radnih mjesta uz korištenje neadekvatne metode rada. Uočavanje nepovoljnih radnih položaja ili pokreta prilikom izvođenja tehnoloških operacija značajan je podatak za pravilno ergonomsko oblikovanje radnog mjesta i povoljne metode rada. Razvojem računalnih sustava razvijen je računalni program RULA koji olakšava analizu ergonomski nepovoljnih radnih položaja u realnim proizvodnim procesima.

3. Eksperimentalni dio

Za istraživanje opterećenja radnika u tehnološkom procesu krojenja odabrana su dva radna mjesta iz realnog proizvodnog procesa.:

- Iskrojavanje krojne naslage udarnim nožem AYANG CZD 108 s duljinom noža od 12 cm i mogućnošću iskrojavanje krojne naslage do 10 cm (RM1). Visina stola za iskrojavanje iznosila je 95 cm. Radnik tjelesne visine 190 cm je prilikom iskrojavanja krojne naslage tzv. mehaničkim učvršćivanjem – spajalicama učvršćivao krojnu naslagu s krojnom slikom. Po završetku iskrojenog dijela rotacijom trupa za 180° odlaže krojni dio uz hodanje cca 2-3 koraka na pomoćni stol.
- Iskrojavanje krojne naslage tračnim nožem tt KURIS RBS 300, s visinom stola od 95 cm, duljinom noža od 4,92 m i mogućnošću rezanja krojne naslage do 20 cm, ali s radnom površinom bez sustava mlaznica za stvaranje zračnog jastuka. Radnik s pomoćnog stola uzima dijelove krojne naslage hoda do tračnog noža cca 4-5 koraka, izvodi fino iskrojavanje te iskrojene dijelove vraća na isti stol. Tehnološku operaciju izvodi radnik tjelesne visine od 190 cm. (RM2).

Snimanje je provedeno pomoću fotoaparata EOS 750D s ugrađenim objektivom EFS 18-135 mm koji ima mogućnost video zapisa. Snimane je provedeno za izvođenje tehnološke operacije iskrojavanja udarnim nožem 17 min, a iskrojavanje tračnim nožem 11 min. Veličina snimke je određena prema koeficijentu stabilizacije radnog mjesta (Ks), za 95% vjerojatnost (t=2) i relativnu pogrešku od 5%. Radnik je sniman u sagitalnoj ravnini s desne strane.

4. Rezultati i rasprava

Analiza radnog opterećenja radnika nalazi se u Tablici 2 pri čemu je dan pregled tri karakteristična radna položaja kod iskrojavanja udarnim nožem i tri karakteristična radna položaja za iskrojavanje tračnim nožem pri čemu su dani kutovi zakrivljenja leđnog i vratnog dijela kralješnice, potrebna rotacija glave i oka te kutovi pokreta nadlaktice i podlaktice za desnu i lijevu ruku.

Tablica 2: Kutovi zakrivljenja leđnog (T), vratnog (C) dijela kralješnice, potrebna rotacija glave i oka (E) i kutovi pokreta nadlaktice (F) i podlaktice (W)

Tehnološki zahvat	Kutovi zakrivljenja leđa (T), vrata (C), rotacija glave i oka (E) [°]	Kutovi pokreta nadlaktice [°]		Kutovi pokreta podlaktice [°]	
		Desna ruka	Lijeva ruka	Desna ruka	Lijeva ruka
RM1 –iskrojavanje udarnim nožem					
Položaj 1	31/54/50	50	30	50	45
Položaj 2	57/40/45	45	45	100	100
Položaj 3	30/50/0	20	20	30	45
RM2 – iskrojavanje tračnim nožem					
Položaj 1	22/28/30	20	45	35	45
Položaj 2	36/24/0	25	45	45	45
Položaj 3	31/30/0	45	20	45	45

Tablica 3: Prikaz dobivenih ocjena po karakterističnim položajima za RM1 i RM2

Tehnološki zahvat / opterećenje	RM1 – iskrojavanje s udarnim nožem						RM2-iskrojavanje s tračnim nožem					
	Položaj 1		Položaj 1		Položaj 3		Položaj 1		Položaj 2		Položaj 3	
Ruka (desna / lijeva)	D	L	D	L	D	L	D	L	D	L	D	L
Ruka	7	6	6	5	6	5	4	6	4	6	6	4
Tijelo		10		10		9		9		7		7
Ukupno	7		7		7		7		7		7	

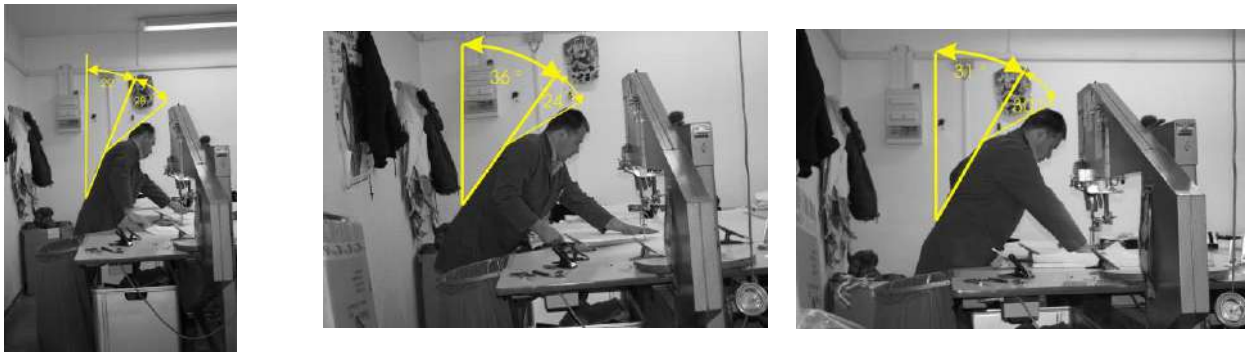
U Tablici 3 dan je prikaz dobivenih ocjena za karakteristične radne položaje na RM1 i RM2.

Na slici 3 dan je prikaz karakterističnih položaja radnika kod iskrojavanja krojne naslage strojem s udarnim nožem (RM1) dok je na slici 4 dan prikaz karakterističnih položaja radnika kod iskrojavanja strojem s tračnim nožem (RM2)



Slika 3: Prikaz karakterističnih radnih položaja kod iskrojavanja strojem s udarnim nožem (RM1)

Iz analize karakterističnih radnih položaja RULA metodom za tehnološku operaciju iskrojavanja s udarnim nožem utvrđeno je da radnik stoji za vrijeme izvođenja tehnološke operacije pri čemu radi s prednjom fleksijom i torzijom kralješnice većim od 20°. Glava radnika je u položaju prednje fleksije s kutom većim od 30° uz često bočni naklon i rotaciju trupa. Tijekom iskrojavanja krojnih slojeva radnik radi često s nepovoljnim položajem ruku (nadlaktica-podlaktica-šaka). Za sva tri karakteristična radna položaja opterećenje prema RULA metodi ocjenjeno je ocjenom 7 što zahtjeva analizu radnog mjesta i potrebno je odmah preoblikovati radno mjesto. Da bi se postigli povoljniji radni položaji potrebno je tjelesnoj visini radnika prilagoditi visinu radne površine sa 95 cm na 106 cm. Nadalje se predlaže nabava konzolne izvedbe stroja s udarnim nožem koji omogućava točnije i lakše iskrojavanje, a doprinosi manjem stupnju opterećenja radnika jer konzola preuzima dio mase stroja i olakšava upravljanje strojem s udarnim nožem i rad radnika.



Slika 4: Prikaz karakterističnih radnih položaja kod iskrojavanja strojem s tračnim nožem (RM2)

Rezultati analize dobiveni RULA metodom za tehnološku operaciju iskrojavanja s tračnim nožem ukazuju da radnik stoji pri čemu radi s prednjom fleksijom kralješnice većim od 15°. Glava radnika je u položaju prednje fleksije, a ruke radnika (nadlaktica-podlaktica-šaka) nalaze se u nepovoljnom položaju. Ukupno opterećenje za karakteristične radne položaje ocjenjeno je ocjenom 7 što zahtjeva preoblikovanje radnog mjesta odmah. Za preoblikovanje radnog mjesta kod tehnološke operacije iskrojavanja s tračnim nožem potrebno je radnu površinu sa 95 cm povisiti na 106 cm u skladu s tjelesnom visinom radnika. U cilju smanjenja opterećenja tijela radnika (kralješnica-glava-ruke) predlaže se nabava stroja s tračnim nožem koji ima mogućnost podešavanja visine radne površine i ugrađen sustav mlaznica za stvaranje zračnog jastuka koji omogućava lakše rukovanje krojnom naslagom te veću točnost iskrojavanja.

5. Zaključak

Tehnološki proces krojenja čini složen sustav koji zahtjeva dobre motoričke taktilne i vidne sposobnosti radnika što obuhvaća visoku pokretljivost i koordinaciju pokreta tijela i sustava nadlaktica-podlaktica-šaka. Analizom radnih mjesta kod izvođenja tehnološke operacije iskrojavanja udarnim i tračnim nožem u tehnološkom procesu krojenja RULA metodom utvrđeno je opterećenje radnika i da radna mjesta nisu oblikovana u skladu s ergonomskim načelima. Na oba radna mjesta postoji nesklad u odnosu na tjelesnu visinu radnika što dovodi do statičkih i dinamičkih opterećenja zbog nepovoljnih radnih položaja. Stoga se predlaže usklađivanje visine radne površine tjelesnoj visini radnika. Preoblikovanjem radnog mjesta postiglo bi se manje opterećenje sustava nadlaktica-podlaktica-šaka te manji kutovi prednje fleksije leđnog i vratnog

dijela kralješnice. Povoljni kutovi svih kinematičkih lanaca omogućit će dobre motoričke kretnje i njihovo točno i ispravno izvođenje, viši stupanj koordinacije pokreta i povećanje stupnja slobode što će smanjiti opterećenje radnika te omogućit povećanje satne proizvodnje i dnevnog učinka.

Literatura

- [1] Šaravanja, B., Hursa Šajatović, A., Dragčević, Z.: Istraživanje uvjeta radne okoline u tehnološkim procesima proizvodnje odjeće, *Tekstil*, **67** (2018) 5-6, pp.146-154, ISSN 0492-5882
- [2] Kirin, S.; Dragčević, Z.: Investigation of Workload in the Technological Sewing Process Using the RULA Method, *Proceedings of the 9th International Textile, Clothing&Desing Conference - Magic World of Textiles*, Dragčević Z.(ed.), pp.197-202, ISSN 1847-7275, Dubrovnik, Croatia, October 7th-10th, 2018, University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Zagreb
- [3] Rogale D. et al.: *Procesi proizvodnje odjeće*, Udžbenik Sveučilišta u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN 978-953-7105-32-7, Zagreb, (2011)
- [4] Žunić Lojen, D., Polajnar, A., Camlek, N.: Ergonomsko oblikovanje delovnih mest pri krojenju usnja, *Tekstilec*, **45** (2002.) 11-12, pp.341-354, ISSN 0351 3386
- [5] Verhovnik, V., Polajnar, A.: *Oblikovanje dela in delovnih mest*, II izdanje, Univerza v Maribor Fakulteta za strojništvo, ISBN 86-435-0341-X, Maribor, (2007)
- [6] Žunić D., Geršak J.: Oblikovanje delovnih mest v konfekcijski industriji, *Tekstilec*, **34** (1991) 2-3, pp.79-84, ISSN 0351-3386
- [7] Balantič, Z.; Polajnar, A. & Jevšnik, S.: *Ergonomija v teoriji in praksi*, Nacionalni inštitut za javno zdravje, ISBN 978-961-6911-91-7, Ljubljana, (2016)
- [8] Stanton, N., et al: *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, CRC Press, ISBN 0-415-28700-6, New York, (2005), [https:// www.cpe.kn.ac.th](https://www.cpe.kn.ac.th), accessed:2022-10-20
- [9] McAtamney, L., Corlett, E.N.: RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, **24** (1993) 2, pp. 91-99, ISSN 0003-6870

SPECIFICITY OF MAKING A WINTER JACKET FOR EXTREME SPORTS

Suzana ĐORĐEVIĆ^{1,*}; Miodrag ŠMELCEROVIĆ²; Marija KODRIĆ³ & Dragan ĐORĐEVIĆ⁴

¹Academy of Vocational Studies Southern Serbia, Department of Technological Art Studies, Leskovac, Serbia; szn971@yahoo.com

²Academy of Vocational Studies Southern Serbia, Department of Technological Art Studies, Leskovac, Serbia; msmelcerovic@yahoo.com

³Innovation center University of Nis, Nis, Serbia; izida50@gmail.com

⁴University of Nis, Faculty of Technology in Leskovac, Leskovac, Serbia; drdrag64@yahoo.com

*Corresponding author: Suzana Djordjevic, szn971@yahoo.com

Abstract: *Researching the specifics of making a winter jacket for extreme sports from modern Soft Shell fabrics is the topic of this paper. A three-layer fabric with a polyurethane membrane was used, the so-called Soft Shell fabric. Checking the influence of the type of seam and sewing thread, as well as the method of joining the cut parts on the production of a jacket for extreme sports in winter conditions is the aim of the work. The basic structural and constructive properties of Soft Shell fabric and sewing threads are presented. Special attention is paid to the joining of cut parts when making a jacket, i.e. the influence of the direction of the warp threads of certain cut parts of the jacket on the joining and strength of the seams, as well as in relation to the radius of rounding of some cut part (in case of sleeve neckline and sleeves and neck neckline and collar). Two types of seams are followed, which are most often used in the production of garments. The following combinations of cut parts were realized when making a Soft Shell jacket: the direction of the warp threads in the seam are at right angles to each other, the direction of the warp threads in the seam follows each other and the direction of the warp threads changes in relation to the radius of the cut part. It has been observed that the strength of the thread is very important for the strength of the seam, so a thread that is 85% stronger than another thread gives a 125% stronger seam. The highest value of seam strength is when the direction of the warp threads of the cut parts is at an angle of 90 or 45°, while the lowest strength is at the cut parts where the direction of the warp threads is at an angle of 30 and 60°. Also, it was observed that the seam marked 7.12.01 is 90% stronger than the seam marked 1.01.01, according to the corresponding standard.*

Keywords: *Soft Shell fabric; winter jacket; clothing making; warp threads; seam*

1. Introduction

Thermal-physiological comfort during sports activities is crucial for an individual's well-being. It depends on various factors, from the type and properties of the material incorporated in the clothing and footwear, to the type and complexity of the sports activity and the physical and mental state of the individual [1,2].

For example, special fabrics with a Ripstop structure are known for their particularly high tearing and propagation of tearing. Ripstop is made with the technology of inserting additional threads during weaving, which stop propagation of tearing of the material when it starts to wear. At the same time, the fabric is coated with a special material that does not allow water to pass through, even under pressure or under water [3,4].

Extreme sports differ from classic sports in that their main goal is not to defeat the opponent, but to defeat oneself and nature. For today's incredible popularity, extreme sports should thank the simultaneous development of managerial and marketing moves, as well as the Internet. Extreme sports are not harmless, they push the limits of human capabilities. Jumping in flying suits, mountain biking, surfing, skateboarding, motocross, skiing and snowboarding, hiking are just some of the extreme sports [5].

In addition to physical and mental readiness for playing these sports, adequate - "extreme" equipment is also necessary, and an inevitable part of that equipment is clothing made of the right materials, such as, for example, Hard Shell or Soft Shell materials of the new generation. The composition of the Soft Shell material depends on its purpose, in modern models natural wool can also be present. The basic characteristics of quality Soft Shell materials are wind protection, water resistance, water repellency, breathability, etc. Soft Shell, translated as "soft outer skin", consists of materials of impeccable quality [6,7].

By combining different materials for the layers, the hybrid concept of the Soft Shell is convincing when it comes to windproof clothing with unhindered skin breathing and water vapor and air permeability, figure 1. This ensures that, even during physical exertion, moisture can evaporate from a jacket made of Soft Shell fabric with at the same time sufficient protection from wind and rain [8].

The industry has recognized the potential of functional clothing, adapting to contemporary fashion trends. Today's outdoor clothing must not only protect against cold, wind and rain, but also be comfortable to wear and visually appealing [9,10].

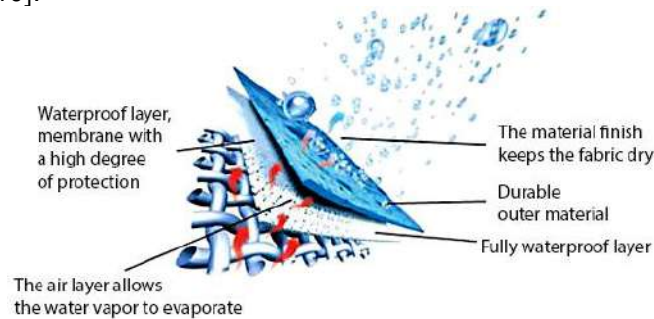


Figure 1: Example of three-layer Soft Shell fabric

The properties of modern materials, as important factors in the production of clothing for extreme sports, are reviewed in this manuscript. Special emphasis is placed on the influence of the type of material and the behavior during the making of clothes, as well as the influence of the type of seam and the type of sewing thread on the quality of the product [11].

A comparative analysis of the used seams leads to recommendations as to which seams should be used more often in the production of clothing for extreme sports from Soft Shell material, as well as the type of thread that will be used in order to improve the strength of the seam.

The influence of the direction of the warp threads of the Soft Shell material of different cut parts, which are joined on the strength of the seam, was also analyzed. Looking for answers to questions, does changing the direction of the warp threads of the joined tailoring parts have an effect on the strength of the seam, does changing the type of seam or the type of sewing thread affect the quality of the joining and then the quality of the final product.

2. Experimental

In the research, a fabric with membranes was used - a three-layer material with a polyurethane membrane (Soft Shell fabric), from which a sports jacket for extreme sports was made.

To make the jacket, a sewing machine with grain stitch - type 301 was used, with a sewing needle manufactured by Groz-Beckert, thickness Nm 100/16, needle type 134 with needle tip R. The tension of the upper and lower thread is the same (there were no additional adjustments on the tensioners during work) as well as the identical stitch length when sewing, 3 stitches per 1 cm.

All tests were performed on the Uster Tensorapid 4 and Zwick/Roell Z010 dynamometer, with the support of a computer and the appropriate software package for determining the mechanical characteristics of yarn, fabric and seams (Uster Quality Report and TestXpert). At the same time, these devices process and analyze the measurement data.

The following standard procedures were used:

- Breaking strength and elongation of Soft Shell fabric, SRPS EN ISO 13934-1.
- Maximum tear force of the seam using the tape method, ISO 13935-1.
- Breaking strength and elongation of the thread, EN ISO 2062.
- Characteristic types and markings of seams, SRPS ISO 4916.

The basic structural characteristics of the Soft Shell fabric, from which the jacket for extreme sports was produced, are shown in Table 1, while the results for the more important mechanical properties of the three-layer fabric are given in Table 2.

Two types of sewing thread were used in the work, the fineness of the thread marked I is 14.3×3 tex, while the fineness of the thread marked II is 20×2 tex, therefore, it is about different fineness and number of threads in the thread (two-wire and three-wire). The results for breaking strength and elongation of threads I and II are given in Table 3.

The standard deviation (SD) and coefficient of variation (CV) from Tables 2 and 3 define the variability around the mean value, the warp direction having better results in both breaking strength and elongation at break of the fabric. Yarn II has slightly more valid results of these strength properties compared to yarn I.

Table 1: Characteristics of Soft Shell fabric

Fabric characteristics	Value	Comment
Warp settings (dm ⁻¹)	400	
Weft settings (dm ⁻¹)	370	
Mass per unit area (g·m ⁻²)	305	
Raw material composition (%)	100, polyester	
Shrinkage (%)	0	
Type of material	Three-layer material with PU membrane	Polyester is the first and third layer
Water tightness (mmH ₂ O)	2637	Pressure, 2.6 bar

Table 2: Strength properties of three-layer Soft Shell fabric

Measurements	Breaking strength (N)		Elongation at break (%)	
	Warp	Weft	Warp	Weft
Mean value	849	491	39.5	24.9
SD (N)	17.3	53.4	3.4	2.63
CV (%)	2.0	10.9	8.6	10.6

Table 3: Strength properties of threads I and II

Samples	Measurements	Breaking strength (N)	Elongation at break (%)
Thread I	Mean value	39.97	16.83
	SD (N)	4.1	2.0
	CV (%)	10.2	11.9
Thread II	Mean value	11.54	18.31
	SD (N)	0.8	1.7
	CV (%)	6.9	9.3

3. Results and discussion

Figure 2 shows the appearance of a jacket made of Soft Shell material, the arrows show the direction of the warp threads in the garment.

If you look at the contours of the cut parts on the example of this garment made of Soft Shell fabric from picture 2, you can see that the direction of the warp threads changes in relation to the radius of rounding of each cut part. This is especially pronounced with the sleeve neckline and sleeves and with the neckline and collar.

In Figure 2 under c. the markings on the jacket, A, B and C, represent the three most common situations that occur when changing the direction of the warp threads in seams:

- A – The direction of the warp threads of the cut pieces in the seam are at right angles to each other.
- B – The direction of the warp threads of the cutting parts in the seam follow each other.
- C – The direction of the warp threads of the cut parts changes in relation to the radius of the cut part.

In Figure 3, the direction of the warp threads is shown, which are set to:

- 32.31° in the part of the seam that joins the front part and the sleeve part, marked with a yellow rectangle (under a.),
- 66.86° in the part of the seam, marked with a yellow rectangle, (under b.),
- 144.71° in the part of the seam, marked with a yellow rectangle (under c.).

From these measurements, it is concluded that the direction of the warp threads of one cut part in relation to the direction of the warp threads of another cut part are at an angle in the interval from 32° to 145°. Based on this measurement, samples 3, 4 and sample 5 were formed, while samples 1; 2; 6 and 7 formed on the basis of Figure 2, where the direction of the warp threads of the cut parts on the finished product can be clearly observed.



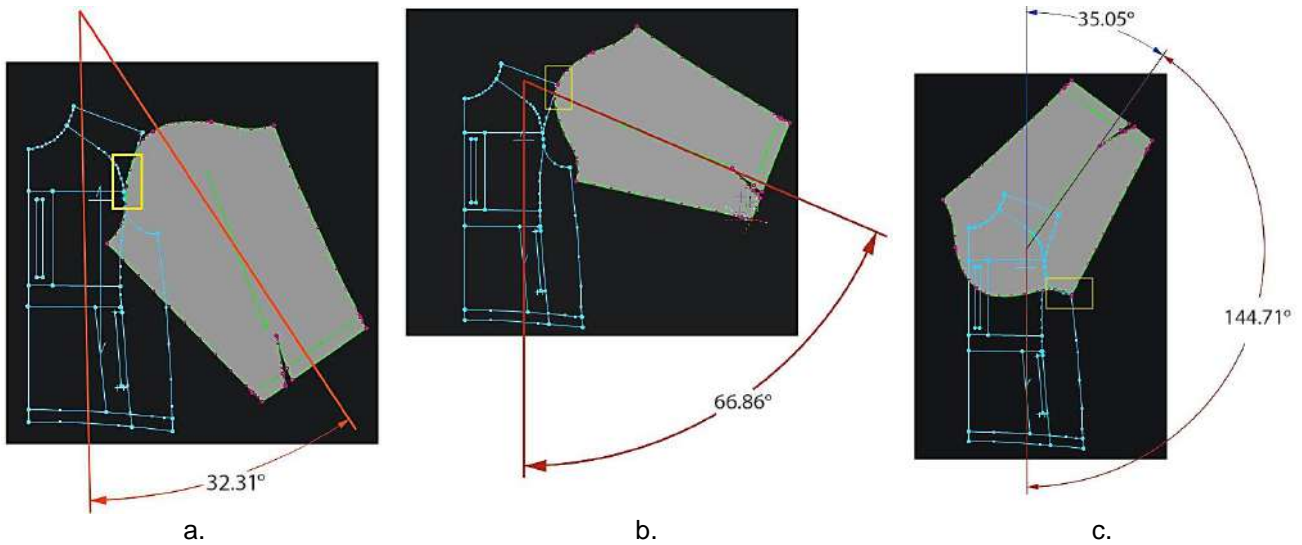
a.

b.

c.

Figure 2: The appearance of a sports jacket for extreme sports

a. direction of basic threads – front part; b. the direction of the basic threads – the back part; c. the most common stitches



a.

b.

c.

Figure 3: Direction and ratio of warp threads

a. direction up the sleeve; b. warp threads in the part of the seam; c. warp threads in the part of the seam;

In the sampling process, 7 samples were formed, where two different threads were used. The 1 and 6 samples have the same direction of the warp threads in the sample, i.e. the direction of the seam follows the direction of the warp threads. The difference between these two samples is that the first sample used thread I and the second sample used thread II. By comparing these two samples, it is determined where the stitch is stronger and what difference there is if two different threads are used. It should be added that there was the same type of seam here.

Samples with marks 1 to 6 were made with the same seam, marks 1.01.01 according to the SRPS ISO 4916 standard, while the sample with mark 7 was made with a seam mark 7.12.01, according to the same standard. When comparing these samples, it was determined to what extent the change of seam affects the strength of the seam.

Table 4 shows the results of the seam strength research of the first and sixth samples. The statistical parameters SD and CV are very similar for the seam strength of samples 1 and 6.

In the samples with marks 2, 3, 4 and 5, thread II was used when making the seams. The difference between these patterns is that the direction of the warp threads in the cut parts itself is different. By comparing the results of these samples, it was determined whether and to what extent there are differences in the strength of the seam if the direction of the warp threads in the seam is changed.

Table 4: Seam strength of samples 1 and 6 (seam direction follows the direction of the warp threads, seam mark 1.01.01)

Measurements	Sample 1 Thread I	Sample 6 Thread II
Mean value (N)	525.0	232.8
SD (N)	33.0	19.2
CV (%)	6.3	8.2

Analyzing the seam strength results, according to Table 4, it can be seen that the breaking strength for sample 1 is 525 N, while it is 232.8 N for sample 6, therefore, the first sample has more than 2× higher seam strength than sample 6. At the same time, bearing in mind that the strength of thread I is almost 3.5× higher than the strength of thread II, it is concluded that the strength of the thread is very important for the strength of the seam of the particular Soft Shell fabric.

SD and CV of samples 3, 4 and 5 are very similar, while sample 2 has a slightly weaker result, which means a less valid seam strength result due to a slightly larger measurement variation around the mean value.

Table 5: Seam strength of different samples (seam mark 1.01.01, Thread II)

Measurements	Sample 2 (warp threads are at right angles)	Sample 3 (warp threads are at an angle of 30°)	Sample 4 (warp threads are at an angle of 45°)	Sample 5 (warp threads are at an angle of 60°)
Mean value (N)	225.9	127.7	246.9	200.9
SD (N)	32.4	17.5	15.9	18.9
CV (%)	14.3	13.7	6.4	9.4

By comparing the results for samples 2 to 5 from Table 5, it should be determined whether and to what extent there are differences in seam strength when changing the direction of the warp threads in the seam. During the seam test, there was no tearing of the fabric in any of the samples. All the interruptions were due to thread tearing in the seam.

Based on the numerous values in table 5, it can be concluded that the highest average strength value is for sample 4, where the direction of the warp threads is at an angle of 45°. The smallest average value is for sample 3, where the direction of the warp threads is at an angle of 30° in relation to the direction of the middle of the seam. By comparing the results of samples 5 and 2, it comes to the conclusion that the strength of the seam is greater in sample 2 where the direction of the warp threads is at a right angle than in sample 5 where the warp threads are at an angle of 60°. When making garments from Soft Shell material, all seams, where the direction of the warp threads in two different parts is 90° or 45°, have good strength. The seams are significantly weaker in the case when both cutting parts with the warp threads are at an angle of 30° or 60°.

Table 6: Seam strength of samples 6 and 7 (thread II, the direction of the seam follows the direction of the warp threads)

Measurements	Sample 6 (seam mark 1.01.01)	Sample 7 (seam mark 7.12.01)
Mean value (N)	232.8	442.6
SD (N)	19.2	60.7
CV (%)	8.2	13.7

In Table 6, the multiple values for samples 6 and 7 show that the difference is a result of the formation of different types of seams. Table 6 clearly shows that the seam of sample 7 is more than 90% stronger than the seam of sample 6.

Considering this, it can be concluded that for Soft Shell material, the seam of mark 7.12.01 is more applicable than the seam of mark 1.01.01, according to the standard SRPS ISO 4916. However, a stronger

seam has weaker statistical data, i.e. greater measurement variation and thus more unreliable data for seam strength.

4. Conclusions

Soft Shell materials offer comfort when wearing manufactured clothing due to the flexibility they possess. In the specific case, the best three-layer combination was selected for use during sports activities, for passive or worse weather in the winter season, for outdoor activities, where Soft Shell is the surface layer that protects human skin.

Particular attention should be paid to the seams, as in waterproof breathable clothing, they must be carefully selected and crafted to ensure that water (rain, etc.) does not enter from the outside, either through seams or openings in the garment, while allowing the body to breathe.

Seams and edges are particularly sensitive to water penetration, so special attention must be paid to their construction and location when designing clothes.

Needles and thread, manufactured by Groz-Beckert, are a good choice for this type of fabric and clothing.

According to the results, it is concluded that the direction of the warp threads of one cut part in relation to the direction of the warp threads of another cut part are at an angle in the interval from 32° to 145°. Seams that connect the cut parts to the warp threads at different angles affect the strength of the seam and the quality of the jacket for extreme sports.

All seams, where the direction of the warp threads of the cut parts is 90° or 45°, have good strength, while the seams of the cut parts with the warp threads at an angle of 30° or 60° have poor strength.

Also, it was shown that the strength of the seam depends on the type of sewing thread, finer, coarser, two-wire or three-wire, in this particular case, preference is given to the thread I. It should be added that the type of seam selected according to certain markings has its influence, the seam marking 7.12.01 is preferred.

References

- [1] Ahn, H.W., Park, C.H., Chung, S.E.: Waterproof and breathable properties of nanoweb applied clothing, *Textile Research Journal*, **81**(2010) 14, 1438–1447, ISSN 0040-5175.
- [2] Fantozzi, F., Lamberti, G.: Determination of Thermal Comfort in Indoor Sport Facilities Located in Moderate Environments: An Overview, *Atmosphere*, **10** (2019) 12, 769, ISSN 2073-4433.
- [3] Atalie, D. *et al.*: Thermo-Physiological Comfort Properties of Sportswear with Different Combination of Inner and Outer Layers, *Materials*, **14** (2021) 22, 6863, ISSN 1996-1944.
- [4] Pantoja, J.J., *et al.*: Model for the Estimation of Partial Burst of Ripstop Electro-Conductive Fabrics, *Proceedings of 2020 XXXIIIrd General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science*, pp. 1192-1195, ISBN 978-1-7281-5690-3, Italy, 29 August - 5 September 2020, IEEE, Rome (2020).
- [5] Domenico, I.D., Hoffmann, S.M., Collins, P.K.: The Role of Sports Clothing in Thermoregulation, Comfort, and Performance During Exercise in the Heat: A Narrative Review, *Sports Medicine Open*, **8** (2022) 1, 58 ISSN 2198-9761.
- [6] Cui, Y., *et al.*: Soft robotic fabric design, fabrication, and thermoregulation evaluation, *Textile Research Journal*, **91** (2021) 15–16, 1763–1785, ISSN 0040-5175.
- [7] Ruckman, J.E.: The application of a layered system to the marketing of outdoor clothing, *Journal of Fashion Marketing and Management*, **9** (2005) 1, 122-129, ISSN 1361-2026.
- [8] Sholl, N., *et al.*: Controlling the deformation space of soft membranes using fiber reinforcement, *The International Journal of Robotics Research*, **40** (2021) 1, 178–196, ISSN 0278-3649.
- [9] Yuksel, Y.E., Korkmaz, Y.: Investigation of sewing and water repellent performance of outdoor clothing, *International Journal of Clothing Science and Technology*, **31** (2019) 5, 693-704, ISSN 09556222.
- [10] Shi, H., Zhang, L., Wang, J.: Influence of seam types on seam quality of outdoor clothing, *International Journal of Clothing Science and Technology*, **29** (2017) 4, 553-565, ISSN 09556222.
- [11] Kim, S., Kim, E., Park, Y.: Thermal insulation and morphology of natural and synthetic filled outdoor sportswear by repeated water washing and dry cleaning, *International Journal of Clothing Science and Technology*, **30** (2018) 3, 428-443, ISSN 09556222

ELEKTRO INDUKCIJSKI IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE U TKANINAMA ZA INTELIGENTNU ODJEĆU

ELECTRIC INDUCTION POWER SOURCES IN FABRICS FOR INTELLIGENT CLOTHING

Željko KNEZIC^{1,*}; Robert MATAŠIĆ²; Dubravko ROGALE¹; Željko PENAVA¹ & Snježana FIRŠT ROGALE¹

¹ University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Zagreb, Croatia; dubravko.rogale@tff.unizg.hr; zeljko.knezic@tff.hr; sfrogale@tff.unizg.hr; zeljko.penava@tff.unizg.hr

² Robert Matašić, D.E.A.M., Odra, Zagreb, Croatia; robert.matasic@gmail.com

* Corresponding author: zeljko.knezic@tff.hr

Sažetak: U ovom radu prikazano je istraživanje različito oblikovanih komponenti uzoraka elektro indukcijskih izvora električne energije u tkaninama za inteligentnu, pametnu i e-odjeću. Za izradu uzoraka elektroindukcijskih izvora električne energije korištena je lakirana bakrena žica i filamentne elektrovodljive niti ukupnog električnog otpora manjeg od 300 oma. Uzorci su izrađeni i provedena mjerenja na mjernom sustavu razvijenom u Laboratoriju za procesne parametre Zavoda za odjevnju tehnologiju Sveučilišta u Zagrebu, Tekstilno-tehnološkog fakulteta. Eksperimentalno su dobivene vrijednosti koje ukazuju na povezanost vršnih vrijednosti inducirano napona s oblikom elektrovodljivih niti u području djelovanja stalnog magneta.

Abstract: This paper presents the research of differently shaped components of samples of electro-induction sources of electricity in fabrics for intelligent, smart and e-clothing. Lacquered copper wire and filament electrically conductive threads with a total electrical resistance of less than 300 ohms was used to create samples of electroinduction sources of electricity. Samples were made and measurements were carried out on the measuring system developed in the Laboratory for Process Parameters of the Department of Clothing Technology, University of Zagreb, Faculty of Textile Technology. The experimentally obtained values indicate the connection between the peak values of the induced voltage and the shape of the electrically conductive threads in the area of action of the permanent magnet.

Ključne riječi: induktivitet, elektrovodljive niti, e-tekstil, inteligentna odjeća

Keywords: inductance, electrically conductive threads, e-textile, intelligent clothing

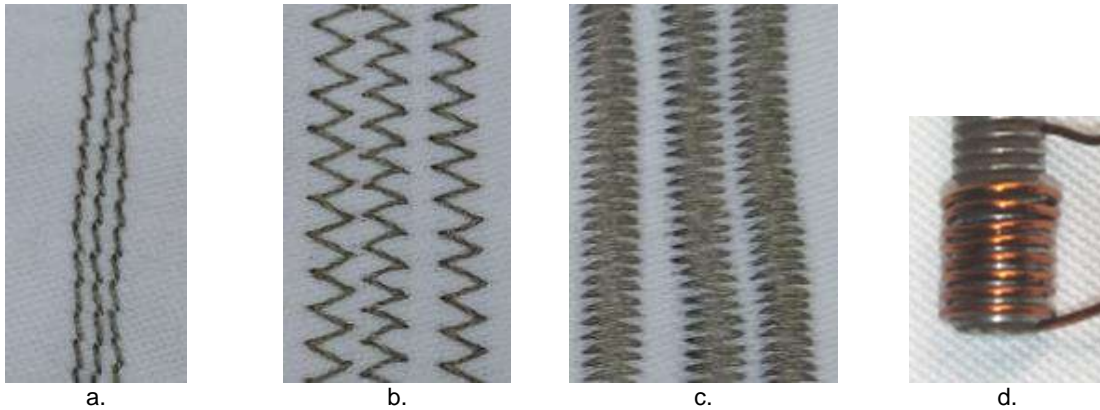
1. Uvod

Smanjivanjem elektroničkih komponenti elektronički uređaji postaju sve lakši, manji i praktičniji te troše manje električne energije pa ih čovjek sve češće može nositi sa sobom tijekom obavljanja raznih poslova i rekreacije. Najčešći uređaji koji čovjek nosi su komunikacijski uređaji, računala (laptop, dlanovnik, tablet), kalkulatori, elektronički rokovnici, mjerni uređaji, GPS uređaji, ručni pametni satovi, mobilni telefon, reproduktori zvuka, potom uređaje za praćenje zdravstvenog stanja, uređaje za praćenje fizičkih aktivnosti (brojanje koraka, utrošene energije, razine stresa i slično). Izuzetan napredak karakterističan za smanjivanje elektroničkih komponenata nije pratio napredak u smanjivanju dimenzija i mase električnih baterija kojim se napajaju uređaji koje čovjek često nosi sa sobom. Stoga baterije koje napajaju spomenute uređaje treba ili često mijenjati ili ih nadopunjavati priključkom na električnu mrežu, što iziskuje mirovanje uređaja. Ovaj problem je posebice izražen kada čovjek obavlja profesionalne dužnosti van urbanih područja gdje ne postoje priključci električne energije, pa nikakav način punjenja nije moguć. S tim nedostatkom susreću se mnogi korisnici prijenosnih uređaja (vojnici, policajci, šumari, lovci, pripadnici gorske službe spašavanja i komunalnih službi, planinari, izletnici i drugi). Iz tog razloga se u posljednje vrijeme intenzivno razmišlja kako puniti elektroničke uređaje koje čovjek nosi uza se, a da se pri tome koristi energija njegovog kretanja ili postojeća energija u okolišu, čije prikupljanje neće utjecati na pokretljivost čovjeka. Kao najprimjerenije mogućnosti korištenja energije u okolišu koja ne otežava mobilnost čovjeka su sunčeva energija, toplinska energija ljudskog tijela i energija ostvarena kretanjem čovjeka [1]. Uređaji za prikupljanje električne energije moraju se stoga također nalaziti uz ili na čovjeku pa kao takvi dolaze u obzir razne torbice ili ruksaci, odjeća,

ali i sve više obuča na kojima se koriste efekti različitih fizikalnih pojava i izumi koji pretvaraju energiju u okolišu čovjeka u električnu energiju dostatnu za rad elektroničkih uređaja koje čovjek sa sobom nosi ili za nadopunjavanje punjivih baterija koje se nalaze u spomenutim uređajima [2].

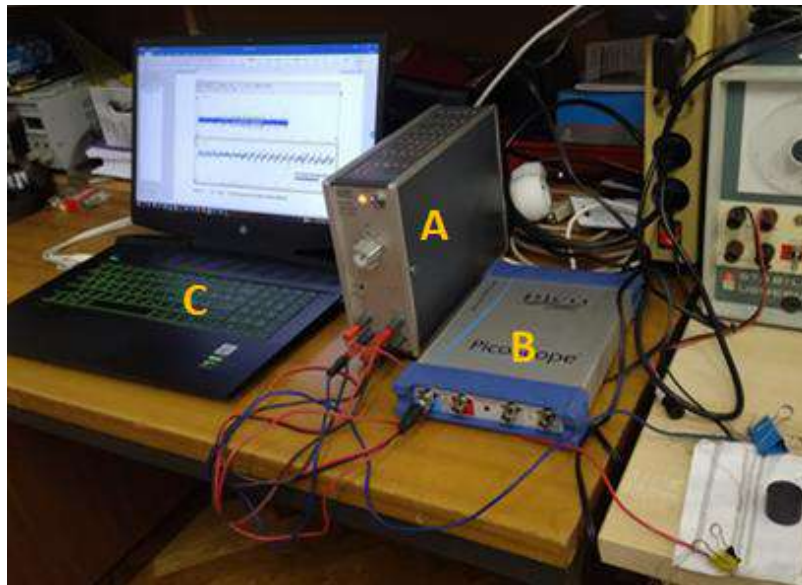
2. Materijali i metode

S ciljem utvrđivanja vršnih vrijednosti amplituda induciranog napona izrađena su tri uzorka od elektrovodljivih niti jednakih karakteristika (235/36x2, materijal: Poliamid.6.6. filament, nanos srebra:99%, čvrstoća: >55 cN/tex, broj uvoja: S600 Z 550, električni otpor: < 300 Ω /m), ali s različitim tipovima strojnih šivaćih uboda (slike 1a, b i c), te jedna zavojnica s 10 zavoja bakrene žice izolirane lakom (slika 1d) s kojom je urađena proba elektroindukcije pomakom stalnog magneta okomito na vodič.



Slika 1: Uzorci korišteni pri mjerenju: a. Ravni strojni šivaći bod, b. Dvostrani trostruki cik-cak strojni šivaći bod, c. Gusti dvostrani trostruki strojni šivaći bod, d. Bakrena zavojnica

Istraživanje je provedeno u sklopu HRZZ projekta IP-2018-01-6363 preciznom profesionalnom mjernom opremom u Laboratoriju za procesne parametre u Zavodu za odjevnu tehnologiju Sveučilišta u Zagrebu, Tekstilno-tehnološkog fakulteta (slika 2).

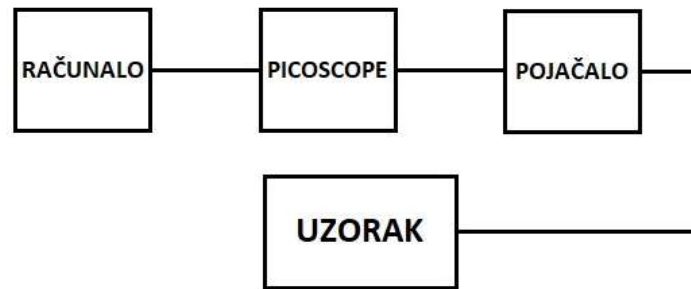


Slika 2: Mjerni sustav: A - Pojačalo PM 5170 AMPLIFIER DC – 1MHz, B - PicoScope® 5204, C - Računalo

Za potrebe mjerenja korišteni su sljedeći uređaji:

- Mjerno pojačalo Philips PM 5170 AMPLIFIER DC – 1MHz (sl.2 - A)
- PicoScope® PC Oscilloscope tt. Pico technologies (sl.2 - B)
- Prijenosno osobno računalo za pohranu i obradu izmjerenih podataka te računalni program koji je podrška PC osciloskopu PicoScope® (sl.2 - C)

Prije početka mjerenja provjeren je mjerni sustav, međusobno spojen (sl.3) odgovarajućim vodičima, podešeni mjerni instrumenti da bi se sva mjerenja provela na istom mjernom području zbog mogućnosti usporedbe dobivenih rezultata u grafičkom obliku dobivenog na zaslonu računala uz pomoć PicoScopa®.

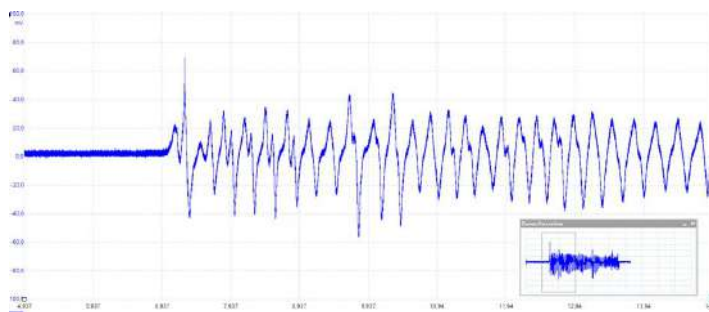


Slika 3: Shematski prikaz mjernog sustava

3. Rezultati mjerenja

Spomenutom preciznom i profesionalnom mjernom opremom utvrđene su vršne vrijednosti amplituda induciranog napona na svakom pojedinom uzorku, a postupak je proveden tako da se permanentni magnet ciklički kretao na minimalnoj udaljenosti iznad elektrovodljivih niti simulirajući hod s oko dva koraka u sekundi (uz duljinu koraka 70 cm to je cca 5 km na sat).

Za probno mjerenje izrađena je zavojnica (sl.4b) unutarnjeg promjera 6 mm sa 10 zavoja bakrene žice promjera 0,65 mm. Bakrena žica je električki izolirana lakom. Iz grafičkog prikaza (sl.4a) vidljivo je da se u vrijeme gibanja stalnog magneta amplituda induciranog napona većinom nalazi u području od -40mV do +30mV.



a.

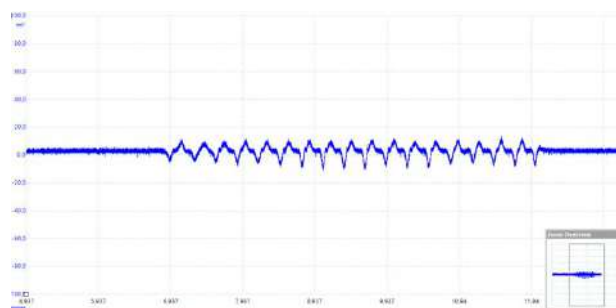


b.

Slika 4: a. Grafički prikaz vrijednosti amplituda induciranog napona u zavojnici s 10 zavoja bakrene žice i željeznom jezgrom promjera 6mm, b. Zavojnica sa željeznom jezgrom

Od čvrste pamučne tkanine (damast od češljane pamučne mercerizirane pređe) izrađen je prvi uzorak s tri (međusobno razmaknuta 3 mm) ravna strojna šivača uboda od elektrovodljivih niti s obje strane (gornji i donji konci su od elektrovodljivih niti istih karakteristika) (sl.5b).

Iz grafičkog prikaza (sl.5a) vidljivo je da u vrijeme gibanja stalnog magneta amplituda induciranog napona u elektrovodljivim nitima je u području od -10mV do +10mV.



a.

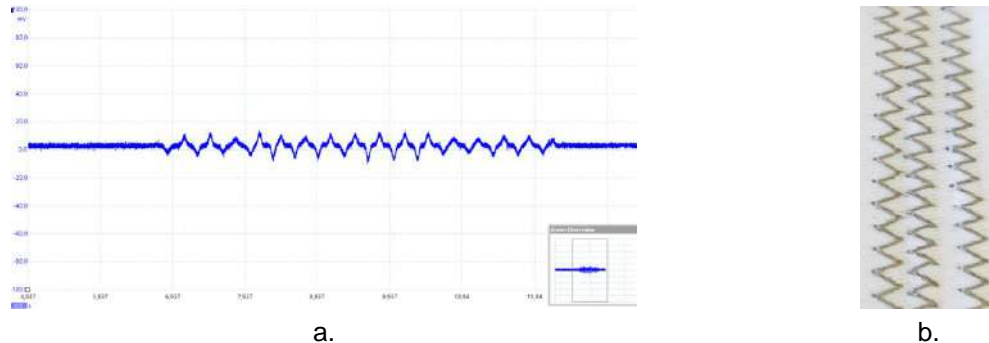


b.

Slika 5: a. Grafički prikaz vrijednosti amplituda induciranog napona u elektrovodljivim nitima u trostrukom ravnom strojnom ubodu, b. Trostruki ravni strojni ubod s elektrovodljivim nitima

Na čvrstoj pamučnoj tkanini (damast od češljane pamučne mercerizirane pređe) izrađen je drugi uzorak s tri (međusobno razmaknuta cca 3mm) cik-cak strojna šivaća uboda (svaki širine 4mm) od elektrovodljivih niti s obje strane (gornji i donji konci su od elektrovodljivih niti istih karakteristika) (sl.6b).

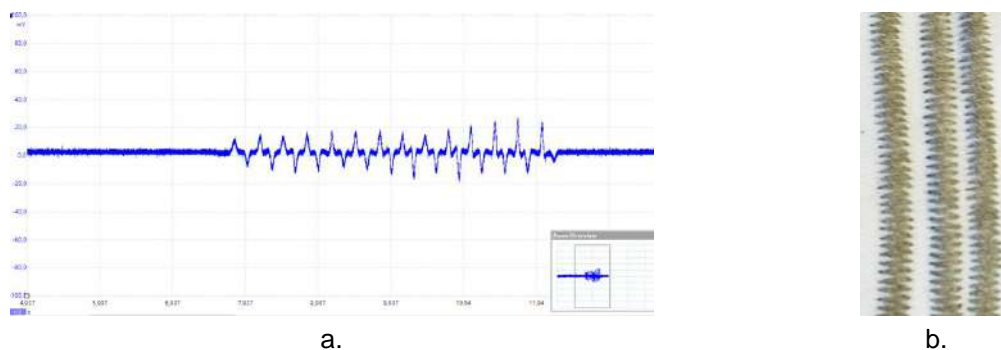
Iz grafičkog prikaza (sl.6a) vidljivo je da u vrijeme gibanja stalnog magneta amplituda induciranog napona u elektrovodljivim nitima je u području od -10mV do +10mV.



Slika 6: a. Grafički prikaz vrijednosti amplituda induciranog napona u elektrovodljivim nitima u trostrukom cik-cak strojnom ubodu, b. Trostruki cik-cak strojni ubod s elektrovodljivim nitima

Na čvrstoj pamučnoj tkanini (damast od češljane pamučne mercerizirane pređe) izrađen je treći uzorak s tri (međusobno razmaknuta 2 do 3mm) gusta cik-cak strojna šivaća uboda (svaki širine 4mm) s elektrovodljivim nitima s obje strane (gornji i donji konci su od elektrovodljivih niti istih karakteristika) (sl.7b).

Iz grafičkog prikaza (sl.7a) vidljivo je da je u vrijeme gibanja stalnog magneta amplituda induciranog napona u elektrovodljivim nitima u području od -15mV do +20mV.



Slika 7: a. Grafički prikaz vrijednosti amplituda induciranog napona u elektrovodljivim nitima u trostrukom gustom cik-cak strojnom ubodu, b. Trostruki gusti cik-cak šivaći strojni ubod s elektrovodljivim nitima na licu i naličju

4. Zaključak

Tijekom proteklog razdoblja neprekidno je prisutno smanjenje veličine, ali i povećanje funkcionalnosti elektroničkih komponenti i sklopova što je potaknulo ideju izrade e-tekstila, pametne odjeće i inteligentne odjeće u čemu je krajnji cilj postići izgled, osjećaj i ponašanje poput klasične tkanine i odjeće uz pružanje pune elektroničke funkcije. Jedna od osnovnih ideja je izrada odjeće s ugrađenim vodljivim sustavima i priključcima za spajanje raznih elektroničkih uređaja koji se jednostavno nose i koriste u sklopu odjeće. Takva elektronika je slobodno pričvršćena i lako se skida čime je funkcija zaštite pri pranju i manipulaciji odjevnog predmeta u potpunost ispunjena. No pojavio se problem kako pouzdano, bez ograničenja osigurati potrebnu količinu električne energije.

Sunčeve ćelije dozvoljavaju veće prikupljene energetske učinke ali su neupotrebljive tijekom noći i u uvjetima smanjenog intenziteta sunčevog svjetla, a izložene udarcima tijekom nošenja mogu rezultirati prestankom funkcionalnosti [5, 6, 7].

Jedna od ideja je primijeniti efekt indukcije električne struje u vodičima koji se kreću u magnetskom polju tijekom gibanja ekstremiteta ljudskog tijela. Ovaj rad je inicijalni doprinos za nastavak istraživanja, jer

prikazani rezultati upućuju na opravdanost uloženog truda i daju smjernice kako se može iskoristiti samo koračanje ljudskog bića (a može biti i neka životinja).

Zahvala



Ovo istraživanje je financirala Hrvatska zaklada za znanost u sklopu projekta IP-2018-01-6363 Razvoj i toplinska svojstva inteligentne odjeće (ThermIC).

Literatura

- [1] Firšt Rogale, S.; Rogale, D.; Nikolić, G. & Dragčević, Z.: *Inteligentna odjeća*, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN 978-953-7105-52-5, Zagreb (2014)
- [2] Knezić, Ž.; Penava, Ž.; Penava Šimić, D. & Rogale, D.: The Impact of Elongation on Change in Electrical Resistance of Electrically Conductive Yarns Woven into Fabric, *Materials*, **14** (2021) 3390, 1-18, ISSN 1996-1944
- [3] Rogale, D.; Firšt Rogale, S.: Visokotehnološki izvori električne energije ugrađeni u obuću i odjeću, *Koža i obuća*, **66** (2017) 4, 8-14, ISSN 1849-9767
- [4] Firšt Rogale, S.; Rogale, D. & Nikolić G.: Intelligent clothing: first and second generation clothing with adaptive thermal insulation properties, *Textile research journal*, **88** (2018) 19, 2214-2233, ISSN 0040-5175
- [5] Penava, Ž.; Milenković, M. & Knezić Ž.: Povezivanje i spajanje elektronike u e-tekstilu, *Zbornik radova 5. međunarodnog znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo*, Ujević, D.; Penava, Ž. (ur.), 301-308, ISSN 1847-2877, Zagreb, siječanj 2012., Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb (2012)
- [6] Penava, Ž.; Knezić, Ž. & Kujundžić, M.: Promjene električne vodljivosti u području elastičnosti elektrovodljive pređe, *Tekstil*, **62** (2013) 5-6, 207-214, ISSN 0492-5882
- [7] Chawla, S.; Naraghi, M. & Davoudi A.: Effect of twist and porosity on the electrical conductivity of carbon nanofiber yarns, *Nanotechnology*, **24** (2013) 25, 1-9, ISSN 0957-4484

UTJECAJ PROCESNIH PARAMETARA GLAČANJA NA ZAVRŠNI IZGLED KONVENCIONALNE I INTELIGENTNE ODJEĆE

INFLUENCE OF PROCESS PARAMETERS OF PRESSING ON THE FINAL APPEARANCE OF CONVENTIONAL AND INTELLIGENT CLOTHING

Valentina LADAN; Dubravko ROGALE; Nikolina JUKL* & Snježana FIRŠT ROGALE

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska: valentina.ladan23@gmail.com;
dubravko.rogale@tff.unizg.hr; nikolina.jukl@tff.unizg.hr; sfrogale@tff.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: nikolina.jukl@tff.unizg.hr

Sažetak: *Proces završnog glačanja gotovih odjevnih predmeta iznimno je bitan za završni izgled, kvalitetu i funkcionalnost odjevnih predmeta, a u slučaju pogrešnog definiranja parametara završnog glačanja moguće je i potpuno uništenje gotovog odjevnog predmeta. Proces završnog glačanja iznimno je bitan i za uporabna svojstva inteligentne odjeće s obzirom na elektroničke komponente koje se u njima nalazi ili posebne vrste materijala iz kojih je izrađena. Iz tog razloga, pravovremena priprema strojeva i opreme za glačanje bitna je radi optimizacije tehnološkog procesa dorade, a odnosi se na definiranje i odabir procesnih parametara ovisno o vrsti stroja za glačanje, vrsti odjevnog predmeta, te sirovinskom sastavu materijala od kojih su izrađeni odjevni predmeti. Eksperimentalni dio rada izveden je u realnom sektoru. Provedeno je istraživanje utjecaja izrađenih programa glačanja na završno glačanje konvencionalne i inteligentne odjeće.*

Abstract: *The process of final ironing or pressing of ready-made garments is extremely important for the final look, quality and functionality of the garments. In case of incorrect setting of the pressing parameters a complete destruction of the finished garment is possible. The pressing process is also extremely important for the performance properties of smart clothing, e-clothing and intelligent clothing with regard to the electronic equipment contained in them or the special types of materials from which they are made. For this reason, the preparation of pressing machines and equipment on time is essential to optimize the technological finishing process, and it refers to the definition and selection of process parameters depending on the type of pressing machine, the type of garment, and the raw material composition of the materials from which the garments are made. The experimental part of the paper was carried out in the factory Zlatna igla - SISCIA d.o.o. in Sisak. A study of the influence of the created pressing programs on the machine for ironing the front parts of the jackets of the company Indupress was carried out. The aim of the research is to show the variations of the process parameters on the same machine. Pressing programs were created for three models of clothing, two men's vests and one men's jacket. All three models are made of materials with different raw material composition.*

Ključne riječi: *tehnološki proces dorade odjeće; završno glačanje; procesni parametri glačanja; utjecaj procesnih parametara na kvalitetu glačanja*

Keywords: *technological process of clothing finishing; final ironing; process parameters of ironing; influence of process parameters on the quality of ironing*

1. Uvod

Završno glačanje, kao jedna od aktivnosti u tehnološkom procesu dorade odjeće, često je posljednja prilika za poboljšanje oblika i izgleda odjevnog predmeta. Svrha završnog glačanja je postići konačan izgled odjevnog predmeta, odnosno izravnati nabore ili pregibe koji su se stvorili na odjevnom predmetu u prethodnim tehnološkim procesima proizvodnje, najvećim dijelom radi manipulacije i rukovanja odjevnim predmetom, ali i greškama tijekom procesa šivanja, a u nekim rijetkim slučajevima i u tehnološkom procesu krojenja. Adekvatnim glačanjem odjevnih predmeta postiže se i visoka kvaliteta proizvoda, što se odražava na interes i privlačenje kupaca, kao i na cijenu proizvoda. Bitno je istaknuti da za proces završnog glačanja, a time i za izgled gotovog odjevnog predmeta, značajnu ulogu ima i međufazno glačanje tokom tehnološkog procesa šivanja [1-3].

Procesni parametri na strojevima za završno glačanje su temperatura i tlak glačanja, količina vlage tijekom glačanja, vakuumiranje izglaćane površine te vremensko trajanje glačanja, napanjanja, propuhivanja i vakuumiranja. Svaki od navedenih procesnih parametara ima zaseban i jedinstven učinak na rezultate glačanja. Njihov međusobni utjecaj kao i zajednički utjecaj parametara dodatno daju značaj odabira i primjene optimalnih procesnih parametara koji će zadovoljiti uvjete kvalitete i izgleda gotovog odjevnog predmeta [4-6].

Odabir optimalnih parametara glačanja posebno je važan pri završnom glačanju inteligentne odjeće. Izrada takve vrste odjeće najčešće uključuje upotrebu specijalnih materijala s raznim završnim obradama i karakteristikama, a sama proizvodnja takvih predmeta uključuje i upotrebu konvencionalne metode spajanja šivanjem, a zatim i visokotehnološke metode spajanja (toplotna, ultrazvučna i visokofrekventna metoda), što dodatno otežava njihovo završno glačanje. Isto tako, takva odjeća najčešće sadrži i razne elektroničke komponente poput senzora mjernih uređaja i naprava, upravljačkih sustava, pneumatskih sustava i sl., što također predstavlja problem [7].

Općenito, proces završnog glačanja sastoji se od nekoliko faza: pozicioniranje odjevnog predmeta na kalup stroja za glačanje, primjena pare, topline i pritiska, te uklanjanje suvišne vlage pomoću vakuuma. Optimalni procesni parametri završnog glačanja razlikuju se ovisno o vrsti tkanine i vrsti stroja za glačanje [6, 8].

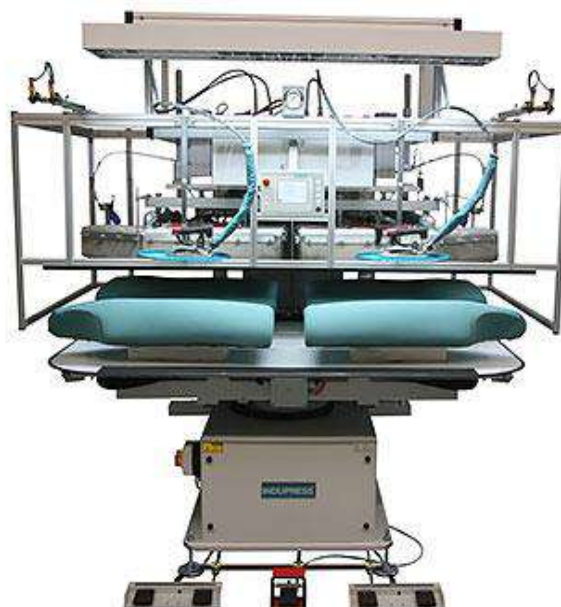
Za potrebe ovog rada istražen je utjecaj procesnih parametara glačanja na završni izgled konvencionalne i inteligentne odjeće.

2. Materijali i metoda

Ispitivanje utjecaja procesnih parametara glačanja na završni izgled konvencionalne i inteligentne odjeće je provedeno u realnom sektoru.

Završno glačanje provedeno je na prednjim dijelovima dva modela muškog prsluka, oznake M1 i M2, te na jednom modelu muškog sakoa, oznake M3. Modeli oznake M1 i M2 su muški svečani prsluci s jednoređnim kopčanjem, dva donja paspulirana džepa i podstavom. Model M2 ima i gornji paspulirani džep. Model oznake M3 je muški sako s dva donja paspulirana džepa s poklopcima i jednim gornjim džepom s letvicom. Model prsluka oznake M1 je izrađen od osnovnog materijala sirovinskog sastava 100% viskoza. Model oznake M2 izrađen je od materijala sirovinskog sastava 40% vuna, 40% lan, 12% poliamid i 3% elasthan. Model oznake M3 izrađen je od osnovnog materijala sirovinskog sastava 100% runska vuna. Sva tri modela izrađena su i od podstavnog materijala sirovinskog sastava 96% pamuk i 4% elasthan [9].

Završno glačanje sva tri modela je provedeno na stroju za glačanje prednjih dijelova sakoa s rotacijom za 180° tvrtke Indupress, model IPN-K84-23-09A/10A, sl. 1.



Slika 1: Stroj za glačanje prednjih dijelova sakoa tvrtke Indupress, model IPN-K84-23-09A/10A [10]

Navedeni stroj sastoji se od dva gornja i četiri donja kalupa za glačanje koji omogućavaju istovremeno glačanje lijevog i desnog prednjeg dijela prsluka i sakoa te je moguće individualno upravljanje lijevim i desnim kalupima. Rotacija donjih kalupa omogućava pozicioniranje prednjih dijelova dok se na prethodno namještenim dijelovima istovremeno provodi proces glačanja. Time se smanjuje ukupno vrijeme tehnološkog procesa dorade, te vrijeme cjelokupnog procesa proizvodnje određene količine odjevnih predmeta [9, 10]. Prosječni kapacitet stroja je 100 – 140 kom/h. Potrošnja suhozasićene tehnološke pare tlaka 5, 5 bar je 55 kg/h, 120 l/s vakuumske zraka te 180 l/min stlačene zraka tlaka 6 bar. Laserska zraka omogućava precizno pozicioniranje krojnih dijelova na kalupe. Na programatoru opisanog stroja za glačanje se određuju procesni parametri glačanja kako bi se dobio završni izgled konvencionalne i inteligentne odjeće visoke kvalitete.

3. Rezultati i rasprava

Pomoću programatora definirali su se procesni parametri završnog glačanja, a to su vrijeme trajanja napanjanja, propuhivanja i vakuumiranja, te djelovanja pritiska, te se mogu trajno pohraniti. Uz navedene parametre bilo je potrebno definirati i tzv. takt programa koji definira brzinu kojom programator očitava parametre glačanja može se podešavati, a u pravilu traju 1 s. Osim navedenog, definirane su i operativne karakteristike stroja za glačanje kao npr. spuštanje ili podizanje kalupa ili razmak između gornjeg i donjeg kalupa. Na programatoru stroja na kojem je proveden eksperimentalni dio rada, sl. 2, prvih sedam redaka predstavlja područje unosa parametara za gornji kalup, a ispod toga se nalaze tri retka za unos podataka parametara za donji kalup [9, 10].

Nakon niza eksperimenata, na programatoru stroja za glačanje izrađena su dva programa glačanja s optimalnim procesnim parametrima završnog glačanja. Prvi program izrađen je za modele prsluka oznake M1 i M2, sl. 2a. S obzirom da se modeli oznake M1 i M2 razlikuju po svom sirovinskom sastavu nije ispravno koristiti isti program glačanja za oba modela. U radu je korišten isti program kako bi se uočile i potvrdile razlike rezultata glačanja između navedenih modela, a koje se očituju kroz pojavu nepoželjnih rezultata glačanja kod modela oznake M2, opisanih u nastavku radu. Program traje 35 s pri čemu je određena vrijednost takta u iznosu 0,8 s. Gornji kalup djeluje pritiskom u trajanju od 30 s, a s obzirom da se toplina dovodi preko kalupa koji se zagrijevaju s tehnološkom parom temperature 160 °C i tlaka 5,5 bara, pritisak gornjeg kalupa treba djelovati minimalno 30 s da bi kalup stigao zagrijati odjevni predmet. U slučaju da pritisak gornjeg kalupa djeluje manje, odjevni predmet ne bi bio izglačan. Vakuum djeluje svih 35 s kako bi odjevni predmet tijekom djelovanja pritiska i topline zadržao svoju poziciju, a zadnjih 5 s djelovanja vakuuma provodi se sa svrhom hlađenja i stabiliziranja odjevnog predmeta.

Drugi program izrađen je za model sakoa oznake M3, sl. 2b. Temperatura tehnološke pare ne može se regulirati i ovisi o tlaku, pa temperatura glačanja na ovom stroju iznosi 160 °C, što je u odgovarajućem rasponu jer se vuna glača na temperaturi od 140-165 °C. Program traje 28 s, a takt programa iznosi 0,5 s. Na gornjem kalupu istovremeno djeluju pritisak, propuhivanje, napanjanje i rubno vakuumiranje, a nakon djelovanja pare i propuhivanja, uključuje se vakuum te pritisak još djeluje. Kada se uključi vakuum na gornjem kalupu, u isto vrijeme se uključuje i napanjanje na donjem kalupu, te po završetku djelovanja pritiska i pare, donji kalup vakuumira odjevni predmet do kraja programa.

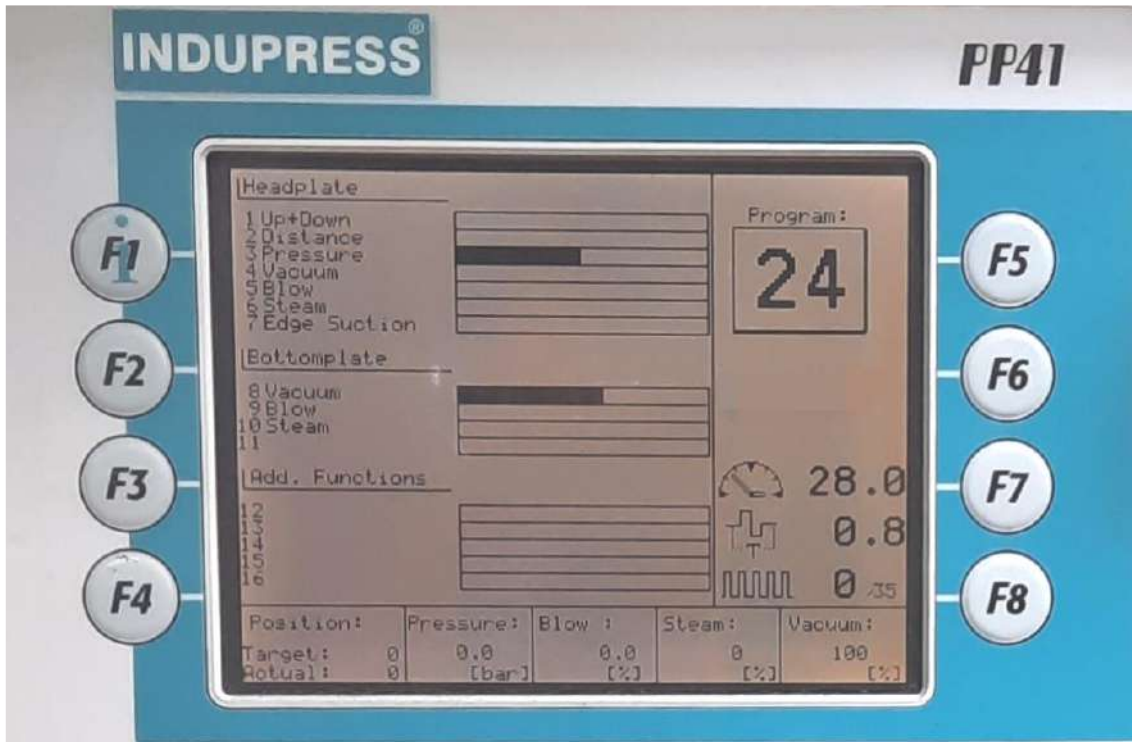
Uloga rubnog vakuumiranja je da usisava višak pare i spriječi njen prolazak pored ruba kalupa kako ne bi utjecala na dio odjevnog predmeta koji nije zatvoren i nije pod parametrima glačanja. Da bi se izbjegli otisci na tekstilnom materijalu uslijed djelovanja parametara glačanja, ispod džepnih poklopaca i letvica se postavlja teflonsko pomagalo. Uloga propuhivanja je da ukloni nastale nepravilnosti na odjevnom predmetu kao npr. otisak ili sjaj [6, 9].

Na sl. 3. prikazani su svi modeli prsluka i sakoa nakon postupka pozicioniranja na donji kalup, a prije pokretanja procesa glačanja, te rezultati procesa glačanja.

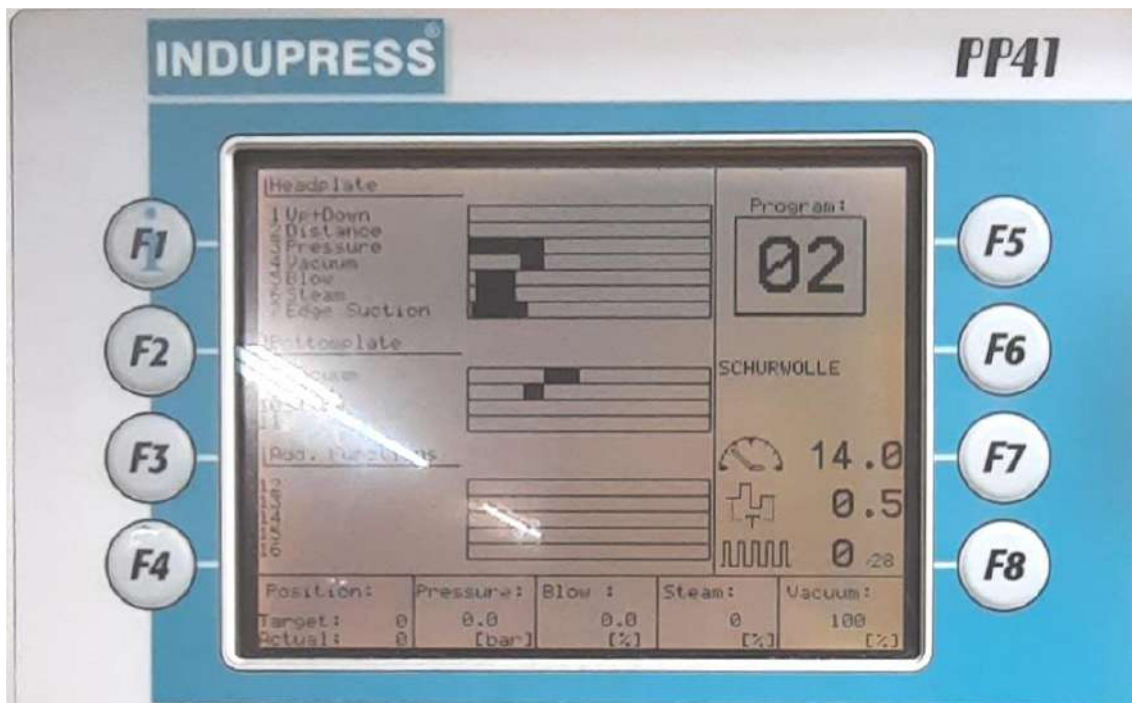
Također, zbog previsoke temperature došlo je do nepoželjnog termofiksiranja vlakana u slučaju glačanja modela oznake M2 koji je izrađen od mješavine prirodnih i umjetnih vlakana. Pretjerano visoke vrijednosti parametara izazvale su negativan utjecaj i na ljepive međupodstave, na način da je došlo do proboja termoplastičnih vezivnih čestica na lice osnovnog materijala, a kod niskih vrijednosti procesnih parametara došlo je do odvajanja ljepive međupodstave.

Uspješnost provedenog završnog glačanja, ovisno o postavljenim parametrima, procijenjena je vizualnim pregledom izgleda površine osnovne tkanine, te vizualnim pregledom ključnih elemenata ispitanih odjevnih predmeta koji uključuju orukavlje, područje prsnog džepa i područja bočnih džepova i poklopaca bočnih džepova kod sakoa i prsluka te rever i ovratnik kod sakoa.

Temeljem vizualne procjene, odnosno vizualnog pregleda izglaćanih konvencionalnih odjevnih predmeta procjena uspješnosti glačanja je zadovoljavajuća. Odjevni predmeti uspješno su podvrgnuti procesu glačanja, a rezultati glačanja, odnosno završni izgled odjevnih predmeta te njihova kvaliteta, su zadovoljavajući.



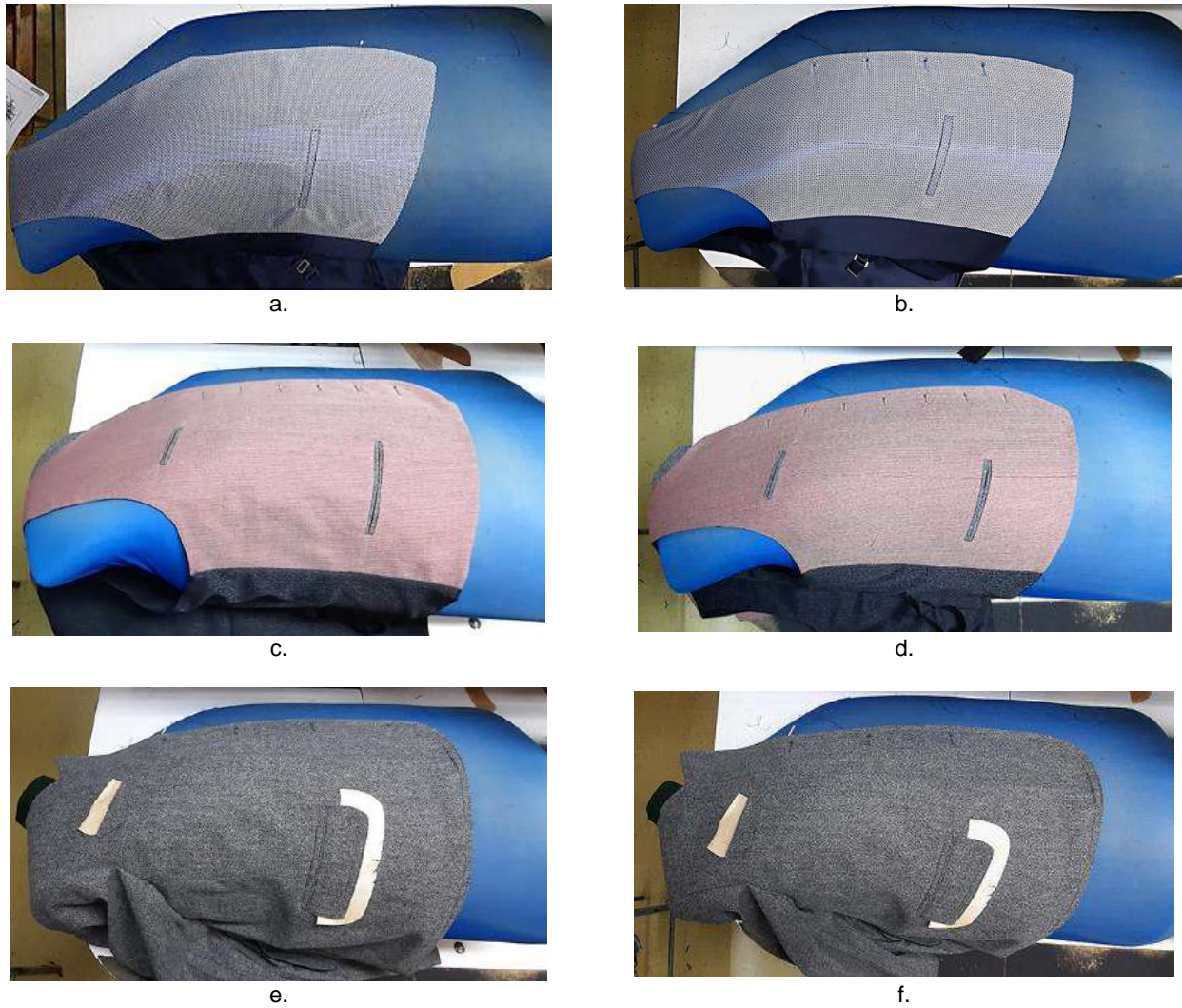
a.



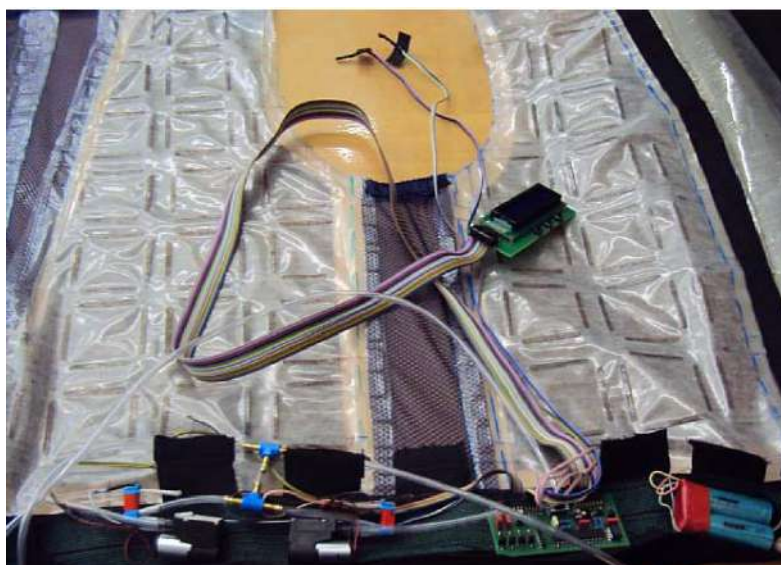
b.

Slika 2: Prikaz definiranih procesnih parametara na zaslonu programatora stroja za završno glačanje: a. za prsluke; b. za sako [9]

Prilikom glačanja inteligentne odjeće, u koju su integrirane elektroničke komponente, sl. 4, te su povezane elektrovodljivim nitima, došlo je do oštećenja tih komponenti.



Slika 3: Prikaz modela odjevnih predmeta prije i poslije završnog glačanja: a. model prsluka M1 prije i b. poslije završnog glačanja; c. model prsluka M2 prije i d. poslije završnog glačanja; e. model sakoa M3 prije i f. poslije završnog glačanja [9]



Slika 4: Inteligentna odjeća s integriranim elektroničkim komponentama

Stoga se inteligentna odjeća ne može glačati korištenim i opisanim strojem, već se završno glačala strojevima za glačanje propuhivanjem pare, tzv. napuhaljka. Takvi strojevi rade na principu napuhavanja i propuhivanja vrućim zrakom i vodenom parom te ne pritišću elektroničke komponente te ih ne može oštetiti.

Na sličan način rade i strojevi za tunelno glačanje koji su se također pokazali vrlo dobrim. Procesni parametri završnog glačanja, određeni ovisno o korištenim tekstilnim materijalima, nisu oštetili elektroničke komponente niti elektrovodljive niti.

4. Zaključak

U radu je istražen utjecaj procesnih parametara glačanja na završni izgled konvencionalne i inteligentne odjeće. Programi glačanja, odnosno odabir procesnih parametara završnog glačanja za konvencionalne modele oznaka M1, M2 i M3 pokazali su se zadovoljavajućima. Modeli su uspješno izglačani, a kvaliteta i njihov izgled su potvrđeni vizualnim pregledom. Postavljanje procesnih parametara glačanja u ovome radu provedeno je velikim dijelom na temelju prethodnog iskustva i znanja radnika sa dugogodišnjim iskustvom u procesu glačanja, pri čemu su svoj rad provodili na odjevnim predmetima približno jednakih ili sličnih karakteristika i sirovinskog sastava. Njihovo iskustvo zapravo je temelj postavljanja procesnih parametara glačanja uzimajući u obzir i eventualne upute proizvođača materijala od kojih se izrađuje odjevni predmet ili proizvođača strojeva za glačanje. Kompleksnost parametara glačanja, njihov pojedinačni i kombinirani utjecaj, kao i utjecaj okoliša (mikroklima) u kojem se provodi proces glačanja (relativna vlažnost zraka, temperature, strujanje zraka i dr.) dodatno naglašavaju važnost iskustvenog faktora na krajnje rezultate. Upravo postupak odabira procesnih parametara glačanja predstavlja tehnološki izazov pri kojem je potrebno teorijsko poznavanje strukture, karakteristika i svojstva materijala od kojih će odjevni predmet biti izrađen, ali se u praksi velikim dijelom oslanja na iskustveni faktor radnika ili tehnologa koji upravlja procesom završnog glačanja, a često se temelji i na prilagodbi već postojećih programa glačanja. Zapravo se u praksi programi glačanja rijetko mogu unaprijed izraditi jer je potrebno prethodno ispitivanje i definiranje procesnih parametara, i to najčešće tek na prvim gotovim odjevnim predmetima koji ulaze u tehnološki proces dorade. S obzirom na utvrđenu složenost određivanja optimalnih procesnih parametara završnog glačanja inteligentne odjeće utvrđeno je da se takva vrsta odjeće može glačati strojevima za glačanje propuhivanjem pare i strojevi za tunelno glačanje.

Zahvala



Istraživanja su izvedena u sklopu projekta HRZZ IP-2018-01-6363 Razvoj i toplinska svojstva inteligentne odjeće (ThermIC), financiranog od Hrvatske zaklade za znanost.

Literatura

- [1] Karthik, T.; Ganesan P.; Gopalakrishnan, D.: *Apparel manufacturing technology*, CRC Press, e-ISBN: 9781315367507, Boca Raton, (2016)
- [2] Brown, P.; Rice, J.: *Ready-To-Wear Apparel Analysis*, Pearson Education, ISBN: 9780133109894, United States, (2013)
- [3] Thilagavathi, G.; Viju, S.: Process control in apparel manufacturing, in *Process Control in Textile Manufacturing*, Woodhead Publishing, ISBN 978-0-85709-027-0, Cambridge, (2013), str. 428-473
- [4] Liang S. et al: Effects of pressure-free steam ironing on cotton fabric surfaces and wrinkle recovery, *Textile Research Journal*, **88** (2018) 22, str. 2532-2543, ISSN 0040-5175
- [5] McLaren, I. F.; Ranganat, S. R.; Elder, H. M.: Effect of moisture and temperature on crease-recovery of cotton fabrics containing cotton, 1. role of moisture in crease recovery of resin-treated cotton at 20 degrees, *Journal of the textile institute*, **62** (1971) 7, str. 382, ISSN 0040-5000
- [6] Rogale, D. i sur.: Procesi proizvodnje odjeće, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN: 978-953-7105-32-7, Zagreb, (2011)
- [7] Firšt Rogale, S. i sur.: Inteligentna odjeća, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN: 978-953-7105-52-5, Zagreb, (2014)
- [8] Fan J.; Hunter, L.: *Engineering apparel fabrics and garments*, Elsevier, ISBN 1845696441, (2009)
- [9] Ladan, V.: Određivanje procesnih parametara glačanja odjeće, 2022., diplomski rad, diplomski, Tekstilno- tehnološki fakultet, Zagreb
- [10] Industrial pressing machine for finishing of front parts of men's jackets - IPN-K84-23-09A/10A, <https://www.indupress.de/en/Buegelmaschinen/Herrensakko-Damenblazer/Zwischenbuegelei-SakkoBlazer-1/IPN-K84-23-09A10A>; *Pristupljeno* 2022-12-10

ISPITIVANJE UTJECAJA pH I TEMPERATURE NA HIDROMEHAČKA SVOJSTVA GEOTEKSTILA

TESTING THE INFLUENCE OF pH AND TEMPERATURE ON THE HYDROMECHANICAL PROPERTIES OF GEOTEXTILES

Lucija MIŠETIĆ¹ & Maja SOMOGYI ŠKOC^{2,*}

¹ AdMedes, Pforzheim, Njemačka; misetic.lucija@gmail.com

² Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; maja.somogyi@ttf.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: maja.somogyi@ttf.unizg.hr

Sažetak: U okviru ovog rada, provelo se ispitivanje trajnosti geosintetika, tj. geotekstila. Projektirana trajnost konstrukcija uz uporabu geotekstila, kreće se od nekoliko desetaka do stotinu godina gdje klimatski utjecaji, kemijsko i mikrobiološko djelovanje, izloženost dugotrajnom opterećenju kao i pojava mehaničkog oštećenja prilikom ugradnje geotekstila u konstrukciju, osnovni su čimbenici koji utječu na degradaciju. Prema HRS ISO/TS 13434:2020 trajnost geosintetika ili "životni vijek" je vrijeme nakon kojeg se gube početna svojstva geotekstila u odnosu na zahtijevana. Specifičnim metodama i postupcima ispitivanja potrebno je utvrditi pri kojoj točki i uvjetima geotekstil značajno gubi svoja početna svojstva. Cilj ovog rada bio je u laboratorijskim uvjetima ispitati trajnost geotekstila kroz utjecaj različitih pH vrijednosti zemlje uz modifikaciju norme HRN EN 12225:2020, temperature zraka prema HRN EN ISO 13438:2019, djelovanja kiselina i lužina prema HRN EN ISO 12960:2020 i hidrolize prema HRN EN 12447:2002. Provelo se ispitivanje sirovinskog sastava, konstrukcijskih karakteristika, fizikalno-mehaničkih i hidromehaničkih svojstava primjenom normiranih metoda i postupaka.

Abstract: As part of this work, a test of the durability of geosynthetics, i.e. geotextiles, was carried out. The projected durability of structures using geotextiles ranges from a few tens to hundreds of years, with climatic influences, chemical and microbiological influences, long-term loads, and the occurrence of mechanical damage during the installation of the geotextiles in the structure being the main factors affecting degradation. According to HRS ISO /TS 13434:2020, the durability of geosynthetics or "lifetime" is the time after which the original properties of the geotextile deteriorate, compared to the required properties. Specific methods and test procedures must be used to determine at what point and under what conditions the geotextile significantly loses its original properties. The aim of this work was to test the durability of geotextiles under laboratory conditions through the influence of different soil pH values with the modification of HRN EN 12225:2020, air temperature according to HRN EN ISO 13438:2019, exposure to acids and alkalis according to HRN EN ISO 12960:2020 and hydrolysis according to HRN EN 12447:2002. The composition of the raw material, the structural characteristics and the physical-mechanical and hydro-mechanical properties were tested using standardized methods and procedures.

Ključne riječi: tehnički tekstil; geotekstil; hidromehanička svojstva; trajnost; otpornost geotekstila

Keywords: technical textiles; geotextiles; hydromechanical properties; durability; resistance of geotextiles

1. Uvod

Urbanizacija, rast broja stanovnika, sve veća ulaganja u infrastrukturu, pojava elementarnih nepogoda i dr. dovodi do sve šire primjene geotekstila u građevinarstvu i okolišnom inženjeringu. Potražnja za geotekstilom i proizvodima srodnih geotekstilu te njihova ugradnja porasla je u cijelome svijetu i ključno je poznavati ponašanje geotekstila u uvjetima uporabe.

Razne građevinske izvedbe koje sadrže geotekstil moraju zadržati stabilnost tijekom svoje dugotrajne uporabe (mnoge i duže od 100 godina), gdje je otpornost prema utjecaju okoliša i odabir odgovarajuće vrste geotekstila od izuzetne važnosti. Hidromehanička otpornost geotekstila ovisi o svojstvima polimera koji se koriste pri njegovoj izradi, kvaliteti izrade proizvodnog procesa, na koji način polimer reagira s aditivima, čistoći neobrađenog materijala, tj. postotku dodanih primjesa, uvjetima u kojima se gotov proizvod skladišti,

načinu apliciranja materijala. Na degradaciju polimera mogu utjecati razni čimbenici poput izloženost pari, oksidacija, pH zemlje koja može uzrokovati kemijsku degradaciju, izloženost UV zrakama koje uzrokuju fotodegradaciju, visoke temperature, izloženost gljivicama i plijesni koje uzrokuju mikrobiološku degradaciju [1]. Kada je riječ o izlaganju geotekstila niskim i visokim *temperaturama*, tada se pojavljuje pitanje gubitka prvotnog oblika materijala. Naime, ukoliko je materijal izložen duže vrijeme niskim temperaturama, tada postoji opasnost od gubitka elastičnosti materijala te je moguća pojava krtog loma. Ukoliko je materijal izložen visokim temperaturama tada postoji mogućnost taljenja materijala i samim time promjene svojstava [2]. *Kemikalije* mogu utjecati na reverzibilne fizikalne pojave poput bubrenja i mekšanja, ireverzibilne fizikalne pojave poput otapanja, kemijski inducirane relaksacije i ekstrakcije aditiva te na kemijske reakcije poput redukcije i oksidacije, hidrolize, i drugih. Kako bi se bolje shvatio utjecaj kemikalija na geotekstil potrebno je razlikovati kratkoročne od dugoročnih promjena izazvanih utjecajem kemikalija. Problem koji se pojavljuje pri ocjenjivanju geotekstila je taj što se uglavnom provode ispitivanja koja su kratkoročna te ne moraju nužno obuhvaćati i promjene koje se događaju kada se uzme u obzir duže vrijeme promatranja [3].

Svojstva geotekstila se općenito dijele u četiri veće skupine, kao što su: fizikalna, mehanička, hidraulička i kemijska svojstva te ih je potrebno poznavati kako bi se iskoristio sav potencijal koji geotekstil pruža. Potrebno je poznavati vrstu polimera koji se koriste, njihovu konstrukciju te kemijski sastav kako bi se pravovremeno uvidjele mane i prednosti geotekstila. Kemijske reakcije u polimernim materijalima poput geotekstila, treba koliko je moguće predvidjeti jer uzrokuju promjene na molekularnoj razini, ali dovode i do kidanja lanaca, umrežavanja i ciklizacije. Navedene promjene mogu se svrstati u tri skupine: promjene u molekularnoj strukturi, stvaranje funkcionalnih skupina i kidanje niskomolekulskih produkata. Takve promjene u strukturi mogu utjecati na mehanička svojstva poput rastezne i savojne čvrstoće kao i na prekidnu čvrstoću, udarni rad loma te na indeks protoka taline [4]. Fizikalni procesi uključuju promjene u strukturi, uređenost molekulske strukture, omjer koncentracija pojedinih komponenata (u višekomponentnim sustavima materijala), vanjski oblik i strukturu ili fizikalna svojstva koja su mjerljiva isključivo do trenutka u kojem dolazi do kemijske razgradnje [4]. Fizikalni procesi se ubrzavaju s povećanjem temperature gdje su promjene u strukturi uzrokovane fizikalnim procesima starenja i često su popraćene promjenom dimenzija koja stvara mehanička naprezanja u materijalu uslijed sprečavanja produživanja ili skupljanja. Rezultat takvih naprezanja su pukotine ili lomovi. Također, fizikalni procesi mijenjaju svojstva poput apsorpcije i difuzije vode te difuzije kisika. Sve to ostavlja posljedice na mehanička svojstva te napredovanje kemijske razgradnje [4]. Također, posebno je važno obratiti pozornost na raspon pH vrijednosti ukoliko se geotekstil polaže na tlo iz razloga što ukoliko dođe do pojave velikih raspona pH vrijednosti, dolazi do pojave oksidacije i hidrolize i samim time ugroze kvalitete geotekstila te se povećava brzina kemijske razgradnje geotekstila zakopanog uz tlo [5].

Mehanička svojstva je nužno ispitati kako bi se uvidjelo može li geotekstil izdržati mjestimična naprezanja i instalacijska oštećenja. Kada se govori o cjelovitosti geotekstila koji se ugrađuje u svrhu ojačanja tla, tada se prvenstveno obraća pažnja na rezultate vlačne čvrstoće koja je preostala nakon postupka ugradnje u tlo. S napretkom tehnologije pojavljuje se sve više metoda ispitivanja mehaničkih svojstava geotekstila. Najčešće korištene metode su: ispitivanje otpornosti na djelovanje vlačne sile (na uskim i širokim trakama), trapezoidna metoda, grab test i ispitivanje statičke sile probijanja (CBR test) [6]. Ispitivanje hidrauličkih svojstava je od iznimne važnosti ukoliko se geotekstil koristi za odvodnju ili filtriranje [7].

Cilj ovog rada bio je istražiti na koji način oksidacija, kiseline i alkalije te mikrobiološko izlaganje utječu na mehanička i hidraulička svojstva netkanog geotekstila. Važno je znati vijek trajanja geotekstila budući se koristi pri filtraciji, separaciji, drenaži, ojačanju i zaštiti. Ovisno o namjeni ili strukturi, može se zahtijevati od geotekstila potpuna funkcionalnost tijekom cijelog njegovog životnog vijeka.

2. Eksperimentalni dio

2.1 Karakterizacija ispitivanih uzoraka

U radu je korišten komercijalno dobavljeni uzorak geotekstila stranog proizvođača. Karakterizacija neobrađenog uzorka provedena je u skladu s uobičajenom tekstilnom karakterizacijom, pri čemu su određene osnovne karakteristike: sirovinski sastav (PA, PES, PET), površinska masa (280 g/m²), debljina geotekstila (1,41 mm).

2.2 Ispitivanje otpornosti geotekstila prema kiselim i lužnatim tekućinama

Ispitivanje otpornosti geotekstila i proizvoda srodnih geotekstilu za određivanje otpornosti prema kiselim i lužnatim tekućinama provodi se selektivnom metodom ispitivanja prema normi HRN EN 14030:2004.

Otopina za ispitivanje otpornosti geotekstila na utjecaj kiselina pripremljena se iz sljedećih kemikalija 0,025 M H₂SO₄, 1 mMol Fe(SO₄)₃ i 1 mMol FeSO₄ x H₂O. Za pripremu lužnate otopine koristila se zasićena otopina Ca(OH)₂, pH ~ 12.

Uzorci koji su se ispitivali na djelovanje kiselina i lužina uronili su se u pripremljene otopine na 60 °C u trajanju od 3 dana, nakon čega su se isprali u vodi i osušili. Također, pripremili su se i kontrolni uzorci u destiliranoj H₂O obrađeni na 60 °C u trajanju od 60 min. Obradeni i kontrolni uzorci podvrgnuti su određivanju otpornosti na probijanje pomoću klipa i sposobnosti upijanja netkanog tekstila, metoda određivanja ukupnog kapaciteta.

2.3 Selektivna ispitna metoda za određivanje otpornosti na oksidaciju

Selektivnom ispitnom metodom za određivanje otpornosti na oksidaciju provelo se ispitivanje geotekstila prema normi HRN EN ISO 13438:2005. Jedan dio pripremljenih uzoraka za metodu ispitivanja otpornosti na probijanje pomoću klipa i metodu određivanja ukupnog kapaciteta izloženi su temperaturi od 110 °C prema navedenoj normi u trajanju od 14 dana, dok je drugi dio uzoraka izložen 56 dana.

2.4 Ispitivanje mikrobiološke otpornosti postupkom zakapanja u tlo

Ispitivanje mikrobiološke otpornosti geotekstila pri različitim vrijednostima pH provedeno je prema: HRN EN 12225:2002; Geotekstili i proizvodi srodni s geotekstilom – Metoda za određivanje mikrobiološke otpornosti postupkom zakapanja u tlo. Uvjeti ispitivanja nalažu da se uzorci za ispitivanje (metoda ispitivanja otpornosti na probijanje pomoću klipa i metoda određivanja ukupnog kapaciteta) ukopaju u zemlju relativne vlažnosti (95 ± 5) % i temperature (26 ± 1) °C, u tamnoj okolini sa pristupom svježeg zraka i ventilacijom zraka. Standard propisuje izlaganje geotekstila i njemu sličnih proizvoda minimalno 16 tjedana. Navedena metoda je bila modificirana na način da je pripremljena zemlja pH jednakog 7, pH manjeg od 7 i pH većeg od 7.

2.5 Ispitivanje otpornosti na probijanje pomoću klipa

Ispitivanje otpornosti na probijanje pomoću klipa, poznato kao CBR test provodi se prema normi HRN EN ISO 12236:2008 Geosintetici – Ispitivanje statičkim probijanjem (CBR ispitivanje). Ispitivanje se provelo kako bi se simuliralo potencijalno oštećenje geotekstila oštrim kamenjem, strojevima prilikom rada, grubim nasipnim materijalom i slično. Pri ispitivanju se koristila kidalica Tensolab 3000, Mesdan pri standardnim uvjetima za ispitivanje.

Uz pomoć šablone pripremljeni su uzorci za ispitivanje 200 mm x 200 mm. Razmak između stezaljki iznosi 0,1 mm, a brzina pomicanja klipa 60 mm/min. Za svaku obradu pripremljeno je po 5 uzoraka.

2.6 Određivanje sposobnosti upijanja netkanog tekstila

Određivanje sposobnosti upijanja netkanog tekstila u ovom slučaju geotekstila, provedeno je prema normi HRN EN ISO 9073-6:2003 Tekstil – Metode ispitivanja netkanog tekstila – 6. dio: Apsorpcija, a prema drugoj metodi, tj. određivanjem liquid absorptive capacity (LAC), tj. kapaciteta upijanja tekućine. Ispitivanje se provodilo na posebno konstruiranoj aparaturi vlastite proizvodnje prema navedenom standardu.

Određivanje kapaciteta upijanja tekućine (LAC) provodi se na 5 uzoraka dimenzija (100 ± 1) mm x (100 ± 1) mm, tako da je težina svakog uzorka minimalno 1 g. Postupak ispitivanja provodi se prema navedenoj normi, a kapacitet upijanja tekućine se računa prema izrazu:

$$LAC = \frac{m_n - m_k}{m_k} \times 100 [\%] \quad (1)$$

Gdje je: m_k (g) – masa suhog uzorka; m_n (g) – masa mokrog uzorka

3. Rezultati

3.1 Rezultati ispitivanja otpornosti na probijanje pomoću klipa

Rezultati ispitivanja otpornosti na probijanje pomoću klipa prikazani su od tablice 1 do tablice 3.

Tablica 1: Rezultati ispitivanja otpornosti na probijanje neobrađenog uzorka i uzoraka obrađenih kiselinom, lužinom te kontrolnih uzoraka obrađenih u vodi

Broj mjerenja / ispitivano svojstvo	Neobrađeni		Otpornost prema kiselini		Otpornost prema lužini		Kontrolni	
	F _p [N]	ε [%]	F _p [N]	ε [%]	F _p [N]	ε [%]	F _p [N]	ε [%]
1	534	57,2	335	56,8	331	40,6	326	56,5
2	474	49,3	309	41,7	406	40,3	527	70,4
3	510	57,8	342	50,5	391	38,9	606	63,4
4	414	44,3	460	47,2	437	39,5	645	64,6
5	522	51,6	530	59,9	421	43,7	518	56,2
\bar{x}	491	52,1	395	51,2	397	40,6	524	62,3
σ	49	5,63	95	7,32	41	1,87	123	5,9
V [%]	9,9	10,8	24,1	14,30	10,2	4,6	23,5	9,6

Analizirajući tablicu 1 primjećuje se kako je srednja vrijednost sile probijanja neobrađenog uzorka 491 N i istezanja 52,1 %. Uzorci koji su obrađeni kiselinom (395 N) i lužinom (397 N) pokazuju niže vrijednosti sile probijanja od neobrađenog uzorka (491 N) te niže vrijednosti istezanja (51,2 % i 40,6 %) što ukazuje na degradaciju stabilnosti materijala uslijed promjene pH područja u kojem se uzorak geotekstila nalazi.

Kontrolni uzorci obrađeni u vodi ne slijede istu analogiju. Srednja vrijednost sile probijanja i istezanja kontrolnog uzorka pokazuju veće vrijednosti od neobrađenog uzorka (524 N i 62,3 %), a samim time i od uzoraka obrađenih kiselinom i lužinom što ukazuje na jačanje veza u materijalu ukoliko se obradi vodom.

Tablica 2: Rezultati ispitivanja otpornosti na probijanje uzoraka podvrgnutih oksidaciji u trajanju od 14 dana i 56 dana na probijanje pomoću klipa

Broj mjerenja / ispitivano svojstvo	Neobrađeni		14 dana		56 dana	
	F _p [N]	ε [%]	F _p [N]	ε [%]	F _p [N]	ε [%]
1	534	57,1	529	49,3	317	48,0
2	474	49,3	671	51,6	669	56,4
3	510	57,8	351	38,9	570	57,2
4	414	44,3	542	49,9	325	52,6
5	522	51,6	340	39,2	348	51,6
\bar{x}	491	52,0	487	45,8	446	53,2
σ	49	5,63	140	6,20	146	3,7
V [%]	9,9	10,8	28,8	13,6	32,8	7,1

Uspoređujući rezultate srednjih vrijednosti sile probijanja neobrađenog uzorka i rezultata uzoraka podvrgnutih oksidaciji, primjećuje se lagani pad u vrijednostima prekidnih sila obrađenih uzoraka u odnosu na neobrađeni uzorak gdje su vrijednosti neobrađeni > 14 dana > 56 dana.

Tablica 3: Rezultati ispitivanja otpornosti uzoraka na probijanje pomoću klipa izloženih zemlji pri pH = 7, pH < 7 i pH > 7

Broj mjerenja / ispitivano svojstvo	pH < 7		pH = 7		pH > 7	
	F _p [N]	ε [%]	F _p [N]	ε [%]	F _p [N]	ε [%]
1	474	51,2	496	40,4	763	56,0
2	276	41,2	629	47,4	558	47,4
3	527	54,0	744	46,8	388	38,0
4	541	53,2	497	49,2	522	49,2
5	569	51,0	626	48,0	646	53,0
\bar{x}	477	50,1	598	46,4	575	48,7
σ	118	5,1	104	3,4	140	6,9
V [%]	24,1	10,3	17,5	7,5	24,3	14,1

Analizirajući rezultate srednjih vrijednosti sile probijanja i istezanja neobrađenog uzorka (tablica 1) i uzoraka iz zemlje pri različitim vrijednostima pH iz tablice 3 evidentno je kako uzorci iz zemlje pri vrijednosti pH 7 imaju najveću otpornost. Također, ta srednja vrijednost sile probijanja je najveća od svih ispitivanih uzoraka. Za primijetiti je kako uzorci iz zemlje pri pH < 7 imaju nižu vrijednost sile probijanja od neobrađenog uzorka i

od uzoraka iz zemlje pri pH > 7. Istezanje ne slijedi tu analogiju, najveća srednja vrijednost istežanja se pojavljuje kod uzoraka iz zemlje pri pH < 7 (50,1%).

3.2 Rezultati određivanja sposobnosti upijanja netkanog tekstila

Tablica 4: Rezultati kapaciteta upijanja tekućine (LAC) neobrađenog i kontrolnog uzorka

Br. mjerenja	Neobrađeni			Kontrolni		
	m _k [g]	m _n [g]	LAC [%]	m _k [g]	m _n [g]	LAC [%]
1	2,42	10,90	77,73	2,78	5,01	44,62
2	3,02	4,74	36,34	3,39	4,72	28,21
3	3,18	10,66	70,15	2,96	6,23	54,12
4	3,06	12,92	76,28	2,44	5,89	58,64
5	2,68	4,36	38,55	2,49	7,09	64,91
\bar{x}	2,87	8,71	59,81	2,79	5,79	50,10
σ	0,28	3,49	18,45	0,34	0,86	12,79
V [%]	9,7	40,1	30,9	12,2	14,8	25,5

Tablica 5: Rezultati kapaciteta upijanja tekućine (LAC) uzoraka ispitanih na otpornost prema kiselini i lužini

Br. mjerenja	Otpornost prema kiselini			Otpornost prema lužini		
	m _k [g]	m _n [g]	LAC [%]	m _k [g]	m _n [g]	LAC [%]
1	2,32	4,80	51,57	2,13	10,76	80,24
2	2,68	11,68	77,04	2,63	13,70	80,84
3	2,84	10,25	72,26	2,03	12,18	83,38
4	2,43	6,28	61,38	2,44	14,06	82,66
5	3,31	9,24	64,19	2,39	12,62	81,07
\bar{x}	2,72	8,45	65,29	2,32	12,66	81,64
σ	0,65	2,54	8,85	0,22	1,17	1,18
V [%]	12,8	30,1	13,6	9,4	9,3	1,5

Tablica 6: Rezultati kapaciteta upijanja tekućine (LAC) uzoraka podvrgnutih oksidaciji u trajanju od 14 i 56 dana

Br. mjerenja	14 dana			56 dana		
	m _k [g]	m _n [g]	LAC [%]	m _k [g]	m _n [g]	LAC [%]
1	2,94	6,49	54,76	2,57	4,82	46,63
2	3,18	4,73	32,87	2,91	4,878	40,28
3	2,38	7,78	69,37	3,13	4,79	34,70
4	2,59	6,77	61,71	3,23	5,03	35,81
5	2,36	7,24	67,38	3,06	4,68	34,55
\bar{x}	2,69	6,60	57,22	2,98	4,84	38,39
σ	0,32	1,04	13,19	0,23	0,11	4,62
V [%]	11,8	15,7	23,1	7,7	2,4	12,1

Tablica 7: Rezultati kapaciteta upijanja tekućine (LAC) uzoraka iz zemlje različitog pH

Br. mjerenja	pH < 7			pH 7			pH > 7		
	m _k [g]	m _n [g]	LAC [%]	m _k [g]	m _n [g]	LAC [%]	m _k [g]	m _n [g]	LAC [%]
1	2,4	10,5	77,14	2,6	9,2	71,74	2,9	6,6	56,06
2	2,6	7,4	64,87	2,6	12,0	78,33	2,7	6,9	60,87
3	2,9	11,3	74,34	2,8	11,8	76,27	2,6	6,1	57,38
4	2,6	10,6	75,47	3,2	8,6	62,79	2,5	5,8	56,90
5	2,5	11,8	78,81	3,1	9,2	66,3	3,1	6,1	49,18
\bar{x}	2,6	10,32	74,13	2,86	10,16	71,09	2,76	6,3	56,08
σ	0,17	1,54	4,86	0,25	1,448	5,86	0,22	0,39	3,82
V [%]	6,4	14,8	6,6	8,7	14,2	8,2	7,8	6,3	6,8

Rezultati mjerenja kapaciteta upijanja tekućine (LAC) prikazani su od tablice 4 do tablice 7 i kod neobrađenih uzoraka su nejednolični te im srednja vrijednost iznosi 59,81%. Kod uzoraka obrađenih lužinom rezultati kapaciteta upijanja su jednolični te je srednja vrijednost kapaciteta veća od one neobrađenog uzorka i iznosi 81,64 %. Uspoređujući rezultate upijanja neobrađenih uzoraka i uzoraka obrađenih kiselinom srednja vrijednost kapaciteta upijanja tekućine (LAC) je veća od one neobrađenog uzorka i iznosi 65,29 %. Srednja vrijednost kapaciteta upijanja tekućine (LAC) kontrolnih uzoraka je manja nego kod uzoraka obrađenih kiselinom i iznosi 50,1 % te je to ujedno i jedna od najmanjih vrijednosti od uspoređivanih. Uspoređujući rezultate upijanja neobrađenih uzoraka s onima koji su podvrgnuti oksidaciji u trajanju od 14 dana primjećuje se kako je srednja vrijednost kapaciteta upijanja tekućine manja od one neobrađenog uzorka i iznosi 57,22 %. Rezultati kapaciteta upijanja uzoraka pokazuju kako se pri pH 7 poboljšava apsorptivnost materijala, uspoređujući ga s neobrađenim uzorcima i kontrolnim uzorcima. Srednja vrijednost kapaciteta upijanja tekućine (LAC) iznosi 71,09 %. Srednja vrijednost kapaciteta upijanja tekućine (LAC) za pH>7 iznosi 74,13 % što je veće u odnosu na srednju vrijednost uzoraka pH<7 (56,08 %) i neobrađenih uzoraka (59,81 %).

4. Zaključak

Na temelju smjernica koje je objavio CEN i utvrđenih istraživanja trajnosti geotekstila moguće je projektirati geotekstil da ispunjava svoju funkciju tijekom projektiranog vijeka trajanja. Prilikom odabira geotekstila dizajner mora uzeti u obzir ne samo mehanička i hidraulička svojstva geotekstila u trenutku proizvodnje, već i dokazanu dugotrajnost svojstava u okruženju gradilišta, kako prije postavljanja tako i tijekom trajanja dizajna. Također je važno pravilno uskladištiti materijale prije instalacije slijedeći specifikacije koje pružaju proizvođači i dizajneri. Konzistentnost dostavljenog materijala je imperativ ako se vjeruje ispitivanjima izvedenim u laboratoriju. Na tragu takvih razmišljanja proveden je ovaj rad, gdje se obzirom da je uzorak komercijalno dobavljan, postavlja pitanje što se sve može naći na tržištu. Kako bi bio prikladan za najzahtjevniju primjenu u niskogradnji proizvod bi trebao imati gotovo nepromijenjena svojstva nakon provedenih metoda u ovom radu.

Ispitivanjem mehaničkih svojstava (CBR test) zaključuje se:

- obrada lužinom pogoduje rastu vrijednosti sile probijanja
- nakon obrade oksidacijom u trajanju od 14 ne dolazi do značajnijeg odstupanja od neobrađenog uzorka pri ispitivanju sile probijanja; dolazi do smanjenja nakon 56 dana te se sugerira ponovno ispitivanje mehaničkih karakteristika nakon dužeg perioda
- nakon izlaganja mikrobiološkom djelovanju pri različitim vrijednostima pH jedino uzorku izloženom pH<7 smanjuje se vrijednost sile probijanja
- ispitivanjem otpornosti na probijanje pomoću klipa nakon obrade lužinom i kiselinom dolazi do smanjenja vrijednosti sile probijanja i istezanja, što upućuje na promjenu strukture materijala

Ispitivanjem hidrauličkih svojstava (LAC) zaključuje se:

- ispitivanjem kapaciteta upijanja tekućine evidentno je kako obrada lužinom poboljšava apsorptivna svojstva materijala te ujednačenost rezultata.
- obrada kiselinom i vodom (kontrolni uzorci) te oksidacija (14 i 56 dana) čine materijal hidrofobnim, tome u prilog ide i najmanji rezultat kapaciteta upijanja tekućine pri oksidaciji od 56 dana (38 %).

Literatura

- [1] Jeon, H. J.: *Durable geotextiles*, Understanding and improving the durability of textiles, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, ISBN 978-0-85709-087-4 (2012)
- [2] Somogyi Škoc, M.: Predavanja iz kolegija Tehnički tekstil, materijali za studente, akad. god. 2020./2021
- [3] Horrocks, A. R.; Anand, S. C.: *Handbook of Technical Textiles*, 2nd Edition ur., Woodhead Publishing, Cambridge, England, ISBN 0-8493-1047-4 (2016)
- [4] Ehrenstein, G. W.; Pongratz, S.: *Resistance and Stability of Polymers*, Hanser Publishers, ISBN 978-3-446-43709-8, München (2013)
- [5] Wu, H.: Review of Application and Innovation of Geotextiles in Geotechnical Engineering, *Materials*, **13** (2020) 1774, pp. 1-21, ISSN 19961944
- [6] Torosian, G.; Mac Millan, A.: *Geotextiles*, Physical properties, behavior, and testing of geotextiles, Elsevier Ltd., ISBN 9780081002346, pp. 105-113, (2016)
- [7] Das, S. C.; Paul, D.; Fahad, M. M.; Islam, T.: Geotextiles A Potential Technical Textile Product, *Journal of Scientific and Engineering Research*, **4** (2017) 10, pp. 337-350, ISSN 2394-2630

UTJECAJ TEKSTURE TKANINA NA KARAKTERISTIKE OBOJENJA FABRIC TEXTURE INFLUENCE ON COLOR APPEARANCE

Marijana TKALEC^{*}; Martinia GLOGAR & Željko PENAVAL

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; marijana.tkalec@tff.unizg.hr;
martinia.glogar@tff.unizg.hr; zpenava@tff.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: marijana.tkalec@tff.unizg.hr

Sažetak: U vremenu prekomjerne i često nepotrebne proizvodnje i potrošnje resursa, trend upotrebe ekološki prihvatljivih proizvoda postaje nužnost; u području tekstilnog tiska, ink-jet digitalni tisak smatra se ekonomičnom, ekološki najprihvatljivijom tehnikom s obzirom na smanjeni negativni utjecaj na okoliš zahvaljujući maloj potrošnji vode, energije i kemikalija. U ovom radu istražena je ovisnost karakteristika obojenja dobivenog tehnikom digitalnog ink-jet tiska o konstrukcijskim i fizikalno-mehaničkim karakteristikama tekstilne podloge. Korišteni su tkani uzorci (tri vrste) istog sirovinskog sastava 50% PA i 50% pamuk za osnovu i potku; identični po parametrima pređe, ali različiti po konstrukcijskim parametrima tkanine (različitih vezova): 1. P 1/1 (platno), 2. K 1/2 Z (3-vezni keper), 3. A 1/5 (6-vezni nepravilni atlas), čime su dobiveni uzorci različitih površinskih tekstura i različite poroznosti. Uzorci su digitalno otisnuti na uređaju za ink-jet digitalni tisak. U obradi rezultata, provedeno je snimanje površine neotisnutih i otisnutih uzoraka mikroskopom DinoLite i analiza karakteristika obojenja temeljena na spektrofotometrijskom mjerenju uzoraka. Rezultati su prikazani kroz smještaj uzoraka u a*/b* prostor boje, analizu parametara svjetline, zasićenosti i tona, analizu K/S vrijednosti (dubina obojenja) te analizu razlika u boji.

Abstract: In times of excessive, but often unnecessary and irrational production and consumption of resources, trend of eco-friendly products and environmental protection has become a necessity. In the textile printing industry, ink-jet digital printing is considered one of the most environmentally friendly techniques due to low consumption of water, energy and chemicals. In this paper, the dependence of the coloration characteristics, obtained by the digital ink-jet printing technique, on the structural and physical-mechanical characteristics of the textile substrate is investigated. Woven fabric samples of the same composition - 50% PA and 50% cotton, were used for the warp and weft; identical in terms of yarn parameters, but different in fabric construction parameters (different types of weaving): 1. P 1/1 (plain weave), 2. K 1/2 Z (twill weave), 3. A 1/5 (atlas weave), which results in fabrics with different surface textures and different porosity. The samples are digitally printed on a digital printing device. For the results processing, printed and unprinted fabric surfaces are analysed using the Dino-Lite Premier AM-7013MZT digital microscope and the color characteristics based on the spectrophotometric measurement of the samples are carried out. The results are presented in the a*/b* color space, through the analysis of lightness, saturation (chroma) and hue parameters, the analysis of K/S values (color depth) and the analysis of color differences.

Ključne riječi: Ink-jet digitalni tisak; tekstura tkanine; slikovna analiza; razlika u boji

Keywords: Ink-jet digital printing; fabric texture; image analysis; color difference

1. Uvod

Primarni konstrukcijski parametri tkanine kao što su finoća pređe, vrsta veza, gustoća osnovinih i potkinih niti međusobno su ovisne varijable pri čemu izbor jednog parametra utječe na ostale parametre i na konstrukciju tkanine. Prema tome, finoća pređe utječe na gustoću tkanine kroz vrstu veza, a struktura tkanine utječe na njezinu površinsku teksturu. Posljedično, navedeni parametri neminovno utječu na percepciju i izgled boje na površini tekstilnog materijala. Složenost tekstilnih proizvoda, raznolikost tekstura i materijala daju promjenjivu boju koja ovisi o parametrima poput osvjetljenja, spektralne raspodjele boje, kao i o površinskim karakteristikama tekstilije [1]. Iako je dobro poznato da tekstura može vizualno i instrumentalno utjecati na boju uzorka, kvantiteta i kvaliteta tog učinka još nije dobro shvaćena. Nepravilnosti površine tekstilije, nejednoličnost, hrapavost, utječu na nanos tiskarske boje u (digitalnom) tekstilnom tisku. S obzirom na heterogenost tekstilnih uzoraka, istraživanje promjene boje kao rezultata varijacija u teksturi uzoraka tkanine je poželjno [2, 3]. U tekstilnom tisku nužno je razumijevanje interakcije pojedine kapi tiskarske boje i različitih

tekstilnih površina; interakcija pigmentnih bojila i tekstilnog supstrata u tehnologiji digitalnog tiska ključna je u proizvodnji visokokvalitetnih, dobro definiranih slika za određenu namjenu. Digitalni tisak smatra se ekološki prihvatljivom metodom tekstilnog tiska s obzirom na jedinstvene prednosti kao što su niska cijena, visoka preciznost i brzina u usporedbi s tradicionalnim metodama [4-7].

1.1. Površinska tekstura i izgled boje

Utjecaj teksture na vizualnu razliku u boji, obično simuliranim teksturama koje su generirane na CRT zaslonima istraživali su Huertas i sur. [8], te Xin i sur. [9]. Njihova istraživanja pokazuje da na procjenu vizualne razlike u boji utječe tekstura uzoraka te potvrđuju da je tekstura važan parametarski čimbenik. Međutim, ovaj utjecaj se razlikuje za svaku teksturu i prema tome, ne može se dobiti jednostavan skup parametarskih čimbenika za sve potencijalne teksture u industrijskoj primjeni. Umjesto toga, svaka tekstura ili vrsta teksture trebala bi se proučavati zasebno [8]. Sijie i sur. u svojim istraživanjima provode vizualno i instrumentalno vrednovanje utjecaja teksture tekstilnih (pletjenih) uzoraka na boju te su otkrili značajna odstupanja između vrsta vrednovanja. Gorji Kandi i sur. [2] također provode vizualno i instrumentalno vrednovanje utjecaja teksture tekstilnih (pletjenih) uzoraka na boju; rezultati pokazuju da površinska tekstura utječe na boju uzorka i instrumentalno i vizualno i da taj efekt ovisi i o prirodi same boje. Međutim, ne postoji korelacija između instrumentalne i vizualne promjene boje uzrokovane razlikom u teksturi. Dakle, kolorimetrijska mjerenja ne mogu predvidjeti percipiranu promjenu boje kao rezultat varijacije u teksturi. Osim toga, utjecaj teksture na boju / intenzitet efekta teksture više ovisi o vrsti strukturalne teksture nego o hrapavosti teksture [2]. Znanstvenici Lee i Sato u istraživanju vizualne percepcije tekstilne teksture, proučavali su odnos između reflektirane svjetlosti, geometrijske karakteristike povezane s tekstilnom površinom i mehanička svojstva tekstila te psihološku percepciju njihove teksture, odnosno mehanizam vizualne percepcije teksture i proveli statističku obradu podataka dobivenih vizualnom procjenom [10]. U istraživanju koriste dvije vrste uzoraka: stvarne tekstilne uzorke i pripadajuće slike uzoraka koje su prikazane na fotografskom papiru. U radu razmatraju odnos između fizičkih svojstava tekstilije i svjetlosti koja se reflektira od tekstilije te odnos između reflektirane svjetlosti koja stimulira oči ispitanika i psihološke percepcije teksture. Njihov cilj je istražiti mehanizme percepcije teksture, dobivanje psiholoških čimbenika iz vizualne percepcije te utjecaj svjetlosnih podražaja iz uzoraka na percepciju. Razmatrane su sličnosti između subjektivne percepcije i objektivnih fizičkih podataka mjerenih instrumentima. Prema rezultatima, fizikalne karakteristike i mehanička svojstva mogu utjecati na psihološke faktore poput „voluminoznosti i osjećaja topline“ na „sjaj“ i na „dobar osjećaj“ (eng. *fine feeling*). Rezultati ukratko pokazuju da karakteristike površine i karakteristike reflektirane svjetlosti s tekstilne strukture mogu imati složene utjecaje na svaki psihološki čimbenik. Posebno, uspomene povezane s tekstilnim materijalom mogu utjecati na vizualnu percepciju teksture. Bae i sur. istraživali su utjecaj teksture tkanina na varijaciju otisnute boje dobivene tehnikom ink-jet digitalnog tiska; cilj istraživanja je shvatiti utjecaj teksture na izgled boje tkanine otisnute tehnikom ink-jet digitalnog tiska [3]. U ink-jet sustavima hrapavost teksture utječe na formiranje slike kod tiska, kao i na izgled boje. Na gustoću tiskanja i boju mogu utjecati hrapavost tekstilije kroz varijacije u distribuciji i debljini nanosa tiskarske boje. Ovo istraživanje usredotočeno je na odnos između teksture i otisnute boje na tkanini tiskanoj ink-jet tehnologijom, pomoću perceptivnih i instrumentalnih mjerenja površinske teksture i boje. Rezultati usporedbe vizualne teksture i svjetline s njihovim objektivnim mjerenjima daju sljedeće podatke: što je jača percepcija teksture, to je niža percepcija svjetline; tj. što je tekstura vizualno naglašenija, to se boja percipira kao tamnija. Jedno od ključnih otkrića u ovom istraživanju je spoznaja da je tekstura imala dovoljan utjecaj na varijacije u boji kako bi utjecala na *pass/fail* procjenu u industrijskom okruženju. Rezultati koji se odnose na razlike u boji i teksturi pokazuju složenost interakcije boje i površine. Varijacija u boji bila je funkcija teksture, a karakteristike površine, kao što su visoko orijentirane pređe koje utječu na refleksiju svjetlosti, mogu doprinijeti ovom efektu. Istraživanje pokazuje da je procjena vizualno percipirane teksture tkanine bila u visokoj korelaciji s instrumentalnim izmjerenim vrijednostima teksture površine. U ink-jet digitalnom tisku, osim različitih softvera i uređaja za digitalni tisak koji utječu na izgled boje, izbor tekstilnog materijala i sekundarni procesi poput oplemenjivanja tekstila i fiksiranja doprinose varijacijama u boji [3]. Autori Tkalec, Glogar i Marić u svom radu analiziraju izgled boje na tkaninama različitog temeljnog kolorita, različitog sastava, različite strukture, odnosno različite površinske teksture. Rezultati rada potvrđuju da u tekstilnom tisku različite površine tekstilija tiskane pod istim uvjetima i sa istim bojilima mogu rezultirati drugačijim konačnim izgledom tekstilije. Osim temeljnog kolorita tekstilnog materijala, hrapavost tekstilije radi određenih konstrukcijskih karakteristika, naglašena površinska struktura i strukturalna gustoća, točke prepleta osnove i potke (vezne točke i vezni razmaci) utječu na konačni izgled tekstilije [11].

U ovom radu istražen je utjecaj teksture tkanine na karakteristiku obojenja. Korišteni su tkani uzorci istog sirovinskog sastava: 50% PA i 50% pamuk za osnovu i potku; identični po parametrima pređe, ali različiti po konstrukcijskim parametrima tkanine (različitih vezova): 1. P 1/1 (platno), 2. K 1/2 Z (3-vezni keper), 3. A 1/5 (6-vezni nepravilni atlas), čime su dobiveni uzorci različitih površinskih tekstura i različite poroznosti. Uzorci

su digitalno otisnuti na uređaju za ink-jet digitalni tisak. Prikazani rezultati dobiveni su temeljem spektrofotometrijske analize te analize mikroskopskih slika dobivenih digitalnim mikroskopom DinoLite.

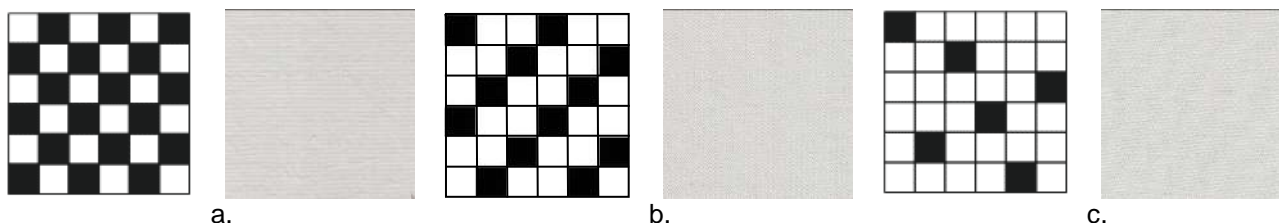
2. Eksperimentalni dio

2.1. Materijali i metode

U eksperimentalnom dijelu rada korišteni su tkani uzorci (tri vrste) istog sirovinskog sastava 50% PA i 50% pamuk za osnovu i potku; identični po parametrima pređe, ali različiti po konstrukcijskim parametrima tkanine (različitih vezova): Uzorak 1: P 1/1 (platno), uzorak 2: K 1/2 Z (3-vezni keper), uzorak 3: A 1/5 (6-vezni nepravilni atlas), čime su dobiveni uzorci različitih površinskih tekstura i različite poroznosti. Parametri izabranih tkanina prikazani su u tab.1. Konstrukcija vezova sa skeniranim površinama tkanina, prikazane su na sl. 1.

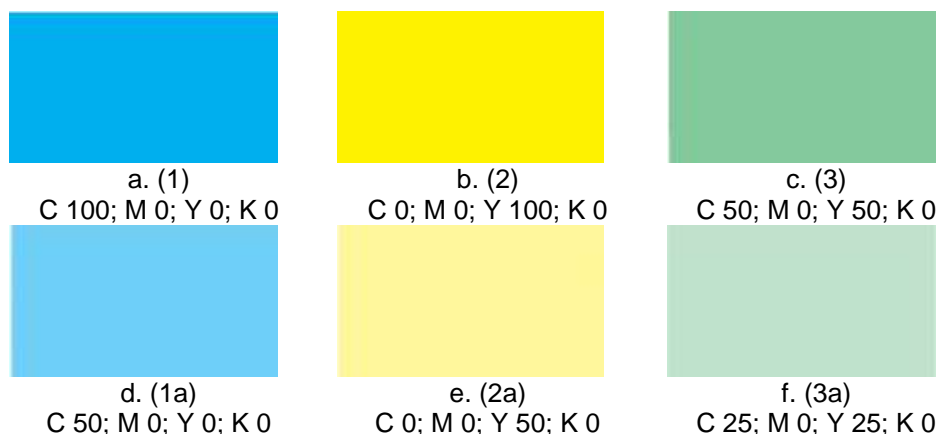
Tablica 1: Strukturno-mehanički parametri izabranih tkanina

Uzorci	Finoća potke [tex]	Finoća osnove [tex]	Gustoća osnove [niti/cm]	Gustoća potke [niti/cm]	Plošna masa [g/m ²]
1.	20	20x2	48	30	200,1
2.					198,6
3.					199,3



Slika 1: Vezovi i skenirane slike tkanina u različitim vezovima: a. **Uzorak 1** Platno P 1/1; b. **Uzorak 2** Keper K 1/2 Z; c. **Uzorak 3** Atlas A 1/5 (turski)

U programu Adobe Photoshop pripremljeni su uzorci za tisak (sl. 2) u određenim udjelima primarnih procesnih boja: cijana (C), magente (M), žute (Y) i crne (K).



Slika 2: Priprema uzorka za tisak u programu Adobe Photoshop

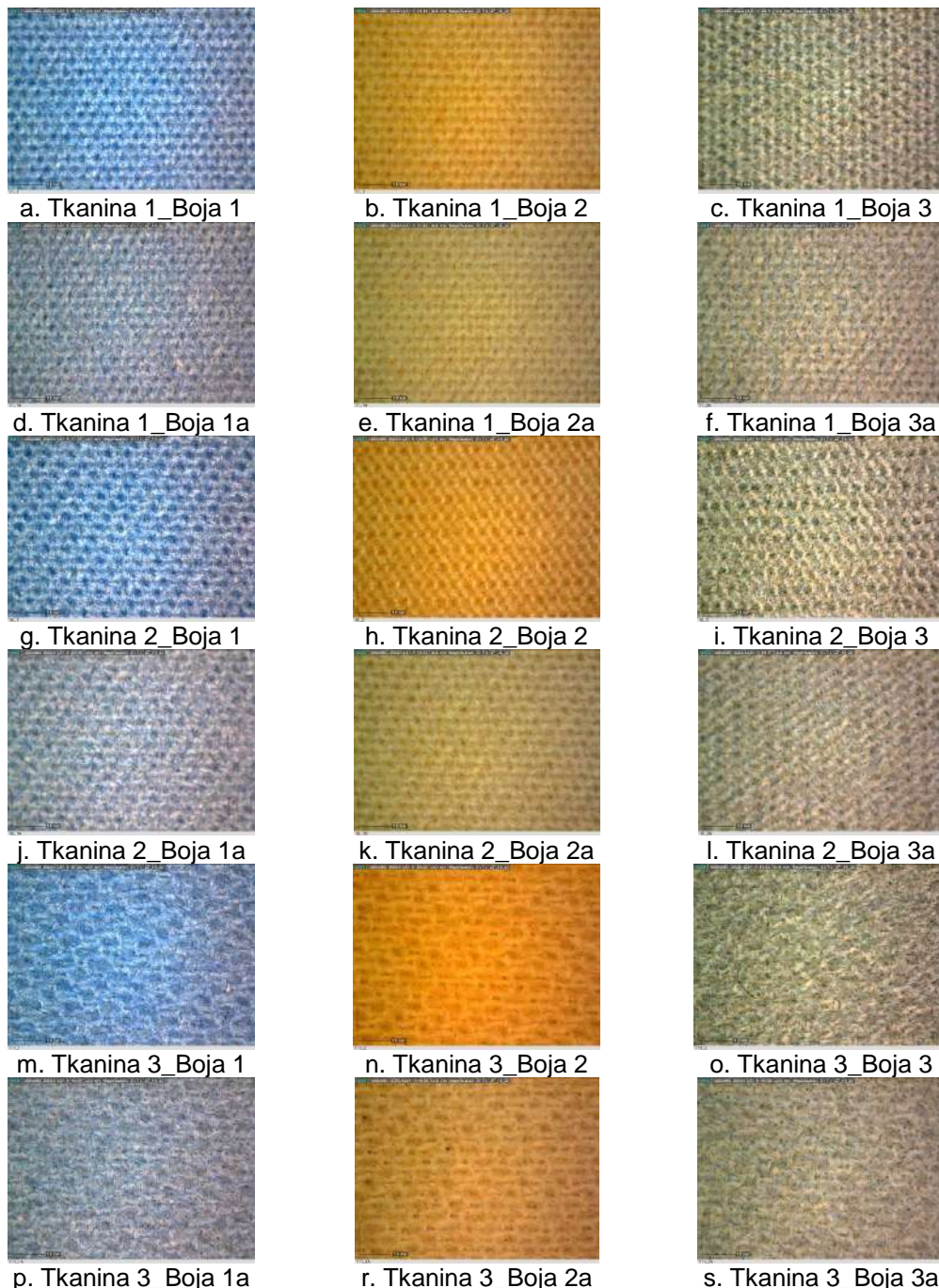
Pripremljena slika je potom otisnuta na izabrane tkanine tehnikom digitalnog ink-jet tiska, na uređaju za ink-jet tisak Brother GTX pro. Nakon tiska, provedeno je fiksiranje vrućim zrakom na 155°C, u trajanju od 3 minute. Nakon tiska i fiksiranja uzorci su mikroskopski snimljeni digitalnim mikroskopom DinoLite AM7013. Karakterizacija boje otisaka provedena je spektrofotometrijskim mjerenjem remisijskim spektrofotometrom DataColor 850, s veličinom mjernog otvora 2,5 cm i geometrijom mjerenja d/8°. Rezultati su prikazani smještajem boja uzoraka u a*/b* prostoru boje (sl. 4), grafičkim prikazom odnosa svjetline L* i zasićenosti C* (sl. 5) te vrijednošću dubine obojenja izražene Kubelka-Munkovim K/S koeficijentom (sl. 6a). Utjecaj teksture tekstilne podloge na karakteristike boja analiziran je i kroz izračun ukupne razlike u boji, dE, prema CIE76 matematičkoj formuli. Prilikom izračuna ukupne razlike u boji uspoređivane su međusobno podloge za isti ton boje i isti intenzitet obojenja. Kao referentni uzorak za provedene usporedbe je u svakoj grupi izabrana

Tkanina 1, te su Tkanina 2 i 3 uspoređivane s Tkaninom 1. Rezultati ukupne razlike u boji dE_{CIE76} prikazani su grafički na sl. 6b. Kubelka-Munkov koeficijent dubine obojenja, K/S , izračunat je prema formuli (1):

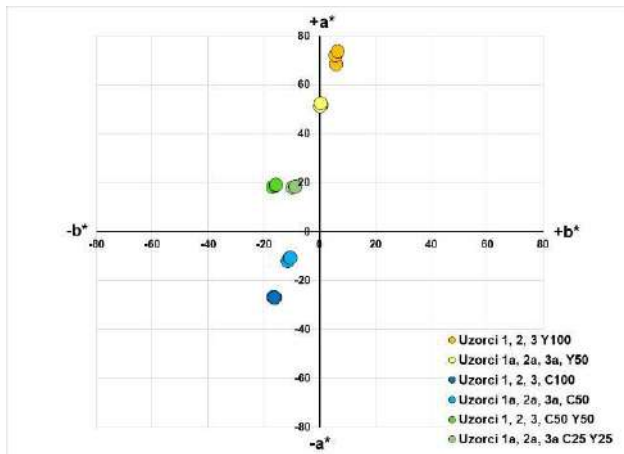
$$K/S = (1-R)^2 / 2R \quad (1)$$

3. Rezultati i rasprava

Mikroskopske snimke površine otisnutih tkanina pokazuju međudjelovanje pigmenata i strukture, te se uočavaju razlike u pokrivenosti površine i vizualnom izgledu boje u ovisnosti o strukturi tkanine. Ističu se uzorci 3 i 3a, dobiveni miješanjem primarnih boja cijana i žute te je vidljiv utjecaj strukture na pozicioniranje žute i cijan tiskarske boje, o čemu ovisi i vizualni doživljaj krajnjeg obojenja. Naime, zbog različitosti u strukturi, primarne boje žuta i cijan različito se pozicioniraju prilikom miješanja, dolazi do razlike u prodoru tiskarske boje u strukturu materijala, te do razlike u zadržavanju pravilnog oblika kapljice pri dodiru s površinom tekstilnog materijala.



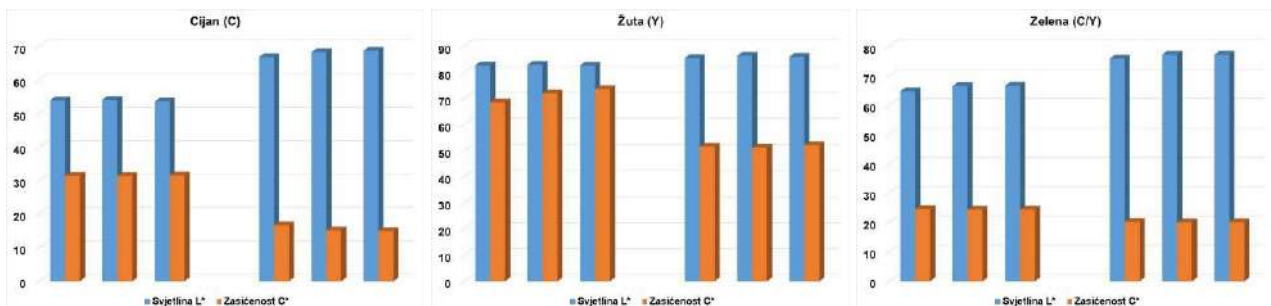
Slika 3: Slike tkanina snimljene digitalnim mikroskopom DinoLite



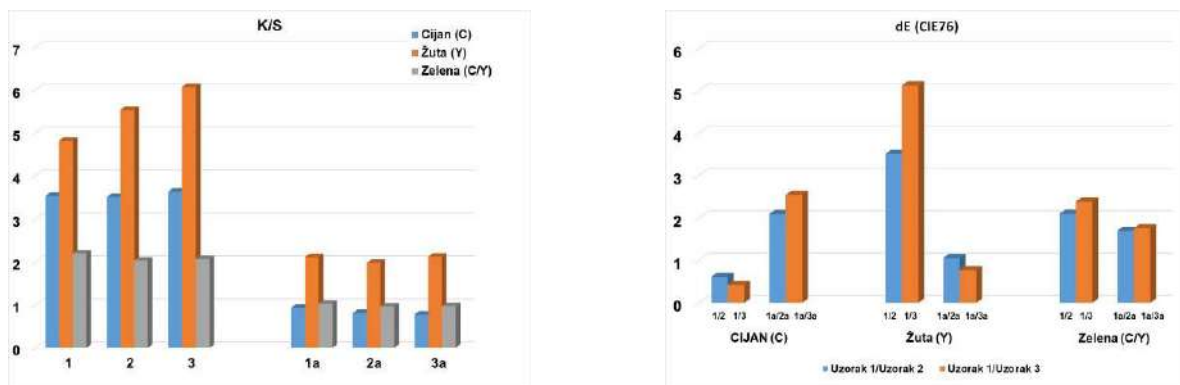
Slika 4: Smještaj boja u a*/b* prostoru boja

Na sl. 4 prikazan je položaj boja u a*/b* prostoru boja. Pomak koji se uočava između grupa uzoraka označenih s 1, 2, 3 i 1a, 2a i 3a, neovisno o tonu boje, proizlazi iz niže zasićenosti boje. Pomak obzirom na strukturu podloge, a za isti ton boje, minimalan je te se ovim vrijednostima, iako one precizno prostorno smještaju boju, ne dobiva uvid u značaj utjecaja strukture podloge.

Odnosom svjetline L^* i zasićenosti C^* definira se intenzitet boje, koji je, očekivano, najveći za žuti ton boje, a proizlazi iz odnosa visoke svjetline L^* i visoke zasićenosti C^* , u usporedbi s cijan i zelenim tonom boje (sl. 5). Dobiveni intenziteti proizlaze iz prirode same boje koja definira žutu kao najsvjetliju i najbriljantniju boju spektra, dok su cijan i zelena, u usporedbi sa žutom boje nižeg intenziteta. Prema prikazanom odnosu uočava se minimalni utjecaj strukture podloge na ton boje Cijan (C), naglašeno za otiske u nižoj koncentraciji pigmenta (uzorci označeni s „a“, tiskani u koncentraciji pigmenta 50%). Kod žute i zelene, razlike vrijednosti svjetline L^* i zasićenosti C^* u ovisnosti o strukturi podloge su nešto naglašenije.



Slika 5: Odnos svjetline L^* i zasićenosti C^* u ovisnosti o tonu boje i strukturi podloge



a. Slika 6: Vrijednosti K/S (a.) i ukupne razlike u boji dE_{CIE76} (b.)

Daljnja analiza provedena je objektivnim vrednovanjem dubine obojenja (K/S) koja je ovisna o koncentraciji, ali i raspodjeli pigmenta na površini te indirektno ukazuje na pokrivenost površine. Najveće razlike u K/S vrijednosti dobivene su za žuti ton boje u većoj koncentraciji pigmenta. Za zeleni ton boje, razlike su također naglašenije u odnosu na cijan ton boje. To potvrđuju i dobivene vrijednosti ukupne razlike u boji (dE_{CIE76}), koje ukazuju na značajniji utjecaj strukture podloge, nego li je to vidljivo iz analize pojedinačnih parametara boje. Općenito, vrijednosti ukupne razlike u boji dobivene su većinom izvan dozvoljenih raspona tolerancije, osim kod cijan tona boje u 100% koncentraciji pigmenta i žutog tona boje u 50% koncentraciji pigmenta.

4. Zaključak

Digitalna ink-jet tehnologija grafička je tehnologija reprodukcije višebojne slike, izvorno razvijena za homogenu, ujednačene površinske strukture kao što je papir. Međutim, tekstil kao jedinstvena, heterogena, trodimenzionalna forma ima vlastite površinske zakonitosti, u potpunosti drugačije u odnosu na homogenu strukturu papira ili plastike. Dosadašnja istraživanja potvrdila su da upravo fundamentalni mehanizmi koji definiraju kvalitetu otiska nisu do kraja razjašnjeni te je uloga površinske strukture tekstilnog materijala tek nedavno prepoznata kao jedan od temeljnih čimbenika kvalitete otiska. Stoga svako istraživanje utjecaja površinsko strukturnih karakteristika tekstilnog materijala na formirani oblik, stupanj deformacije i razlijevanje kapljice na površini tekstilnog materijala te prodor kapljice tiskarske boje u strukturu tekstila, doprinosi razumijevanju navedenih fundamentalnih mehanizama. Istraživanje prikazano u ovom radu mali je dio opsežnog istraživanja koje se provodi upravo na području međudjelovanja boje i strukture podloge, a u ovisnosti o ponašanju pigmenta na danoj podlozi. Rezultati potvrđuju utjecaj strukture podloge na karakteristiku boje kod žutog tona boje za koncentraciju pigmenta 100%. Potvrđen je utjecaj specifične strukture podloge na mehanizam miješanja procesnih boja te dolazi do nepravilnog pozicioniranja kapljica tiskarske boje, nekontroliranog prodora tiskarske boje dublje u strukturu podloge te tzv. gubitka informacija slike zbog karakteristike poroznosti tekstila. U procesu digitalnog tiska, potrebno je dublje razumijevanje ovakvih specifičnosti, kako bi se omogućilo optimiranje procesnih parametara te predviđanje mogućih pogrešaka i pomaka u karakteristikama boje otiska.

Literatura

- [1] Moussa, A. i sur.: Colour change as a result of textile transformations, *Coloration Technology*, **124** (2008), 234-242
- [2] Gorji Kandi, S.; Tehrana, M. A.; Rahmatib, M.: Colour dependency of textile samples on the surface texture, *Coloration Technology*, **124** (2008), pp. 348-354
- [3] Bae, J. H.; Hong, K. H.; Lamar, T. M.: Effect of Texture on Color Variation in Inkjet-Printed Woven Textiles, *Color Research and Application*, **40** (2014), pp. 297-303
- [4] Shi, F. I sur.: Eco-Friendly Pretreatment to the Coloration Enhancement of Reactive Dye Digital Inkjet Printing on Wool Fabrics, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **9** (2021), pp. 10361-10369
- [5] Polston, K.; Parrillo-Chapman, L.; Moore, M.: Print-on-demand inkjet digital textile printing technology: An initial understanding of user types and skill levels, *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, **8** (2014), pp. 1-10.
- [6] Kan, C.; Yuen, C.W.M.: Digital Ink-jet Printing on Textiles, *Research Journal of Textile and Apparel*, **16** (2012), pp. 1-24
- [7] Hayat, M. A. i sur.: Eco-Friendly Preparation, Characterization and Application of Nano Tech Pigmented Inkjet Inks and Comparison of Particle Size Effect and Printing Processes, *American Scientific Research Journal for Engineering Technology and Sciences*, **72** (2020), pp. 197-213
- [8] Ben Salem Y.; Nasri, S.: Automatic recognition of woven fabrics based on texture and using, *Signal, Image and Video Processing*, **4** (2010), pp. 429-434
- [9] Work, R. A.: Pigment Printing's Role in Ink Jet Textile Printing, u *Recent Progress in Ink Jet Technologies II*, Society For Imaging Science, ISBN 10: 0892082208 / ISBN 13: 9780892082209, USA (1999), pp. 559-560
- [10] Chilkuri, S. i sur.: Fabric Texture Analysis Using Image Processing Techniques, *Journal of emerging technologies and innovative research*, **7** (2020), pp. 392-297.
- [11] Anila, S.; Rani, K. S. S.; Saranya, B.: Fabric Texture Analysis and Weave Pattern Recognition by Intelligent Processing, *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, **10** (2018), pp. 121-127

TYPE OF WEAVE INFLUENCE ON POISSON'S RATIO OF THE WOVEN FABRIC

Tea JOVANOVIĆ¹; Željko PENAVAL^{1,*} & Diana ŠIMIĆ PENAVAL²

¹ University in Zagreb Faculty of Textile Technology, Zagreb, Croatia; zpenava@ttf.hr

² University in Zagreb Faculty of Civil Engineering, Zagreb, Croatia; dianas@grad.hr

* Corresponding author: zpenava@ttf.hr

Abstract: *The physical and mechanical properties of fabrics determine the extent of their end use in various applications. Due to the anisotropy of woven fabrics Poisson's ratio changes over the fabric sample stretching. This paper examines the impact of different fabric constructions (different types of weaves) on the value of the Poisson's ratio when uniaxial tensile force acts on the woven fabric. Measurements of breaking force and breaking elongation were carried out on cotton woven fabric samples with constant warp yarn count of 48 threads/cm and constant weft yarn count of 30 threads/cm. For the purposes of this paper, fabrics were woven in three different weaves: plain, twill and satin. Samples are stretched with tensile force in the weft and warp direction, and based on different measured values of fabric stretching, warp and weft Poisson's ratio is calculated. The research presented in this paper has shown that the relative contraction of the woven fabric has a significant influence on the Poisson's ratio. The behavior and shape of the curve of Poisson's ratio of a fabric exposed to tensile action, i.e. elongation, mainly depends on the behavior of the fabric in the direction perpendicular to the elongation. The change in the value of Poisson's ratio is shown by a diagram that first increases non-linearly and after reaching the highest value decreases. The type of connections affects the values of Poisson's ratio.*

Keywords: warp; weft; woven fabric; type of weave; Poisson's ratio

1. Introduction

The mechanical properties of woven fabrics under tensile load have been studied since 1937. [1]. Kilby [2] starts from the classical theory of elasticity with the assumption that woven fabric is an anisotropic material with two planes of symmetry. He was among the first to start studying and measuring fabric tensile properties under the action of tensile load in an arbitrary direction and analyzed the relationship between stress and deformation in the plane. He defined Poisson's ratio and measured the tensile properties of woven fabrics in an arbitrary direction of tensile force. Also, he noticed there was a connection between the Poisson's ratio, shear modulus and modulus of elasticity. The influence of the Poisson effect on certain mechanical properties of fabrics, such as draping and shearing [3-5]. The researchers determined the Poisson's ratio in the warp and weft direction based on geometric fabric model, and in that process excluded the influence of the yarn's Poisson's ratio. This led to the conclusion that the Poisson's ratio in fabrics comes out of the interaction between the warp and weft and can be expressed in terms of structural and mechanical system parameters [6]. Due to the anisotropy of fabric, analysis of the influence of physical parameters of fabric on Poisson's ratio values is useful and provides a better explanation for certain woven fabric behaviors [7, 8]. Due to the inherent nature of textiles, accurate and reliable measurement of Poisson's ratio is a difficult task [9]. Bao *et al.* [10] investigated why measurement errors occur when measuring Poisson's ratio, when a uniaxial tensile load is applied to the fabric. Previously measured experimental data were compared with theoretical results. The influence of yarn and fabric structural parameters on Poisson's ratio was also studied. Penava and colleagues investigated the influence of anisotropy on the mechanical properties of textiles (strength, deformation, modulus of elasticity, Poisson's coefficient) [11-13].

The aim of this paper is to investigate the influence of weave type on the value of the Poisson's ratio when the woven fabric is stretched to break under the action of a uniaxial tensile load. Experiments will be carried out on the stretching of the fabric sample under static load in the warp and weft direction. Such testing provides the most information on the mechanical properties of woven fabrics.

2. Poisson's ratio of woven fabrics

Poisson's ratio is one of the fundamental properties of any structural material including fabric. To determine the Poisson's ratio of fabrics, devices for measuring tensile strength are used. During testing the fabric to

stretch, the initial length of the tested sample l_0 increases by Δl , and the final fabric sample length is l . The initial width of the fabric sample b_0 decreases by Δb and the final sample width is b .

- absolute longitudinal strain (absolute extension): $\Delta l = l - l_0$ (1)

- absolute transverse strain (absolute contraction): $\Delta b = b - b_0$ (2)

During stretching, the transverse strain is negative (the woven fabric narrows), i.e., longitudinal Δl and transverse Δb strains have always an opposite sign. Relative longitudinal strain (relative extension) is defined as:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\% = \left(\frac{l}{l_0} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (3)$$

and transverse strain (relative contraction) is defined as:

$$s = \frac{\Delta b}{b_0} \cdot 100\% = \left(\frac{b}{b_0} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (4)$$

Experiments have shown that in the case of a uniaxial state of stress, there is a relationship between the relative transverse strain (perpendicular to the direction of the force) and the relative longitudinal strain (in the axial direction), the absolute value of which is called Poisson's coefficient ν . Its physical meaning is shown in expression (5).

$$\nu = \left| \frac{s}{\varepsilon} \right| = \left| \frac{l_0}{b_0} \cdot \frac{b - b_0}{l - l_0} \right| \quad s = -\nu \cdot \varepsilon \quad (5)$$

Due to woven fabric anisotropy Poisson's ratio changes in the process of fabric sample extension. A diagram of the characteristic curve of woven fabric Poisson's ratio is shown in Figure 1.

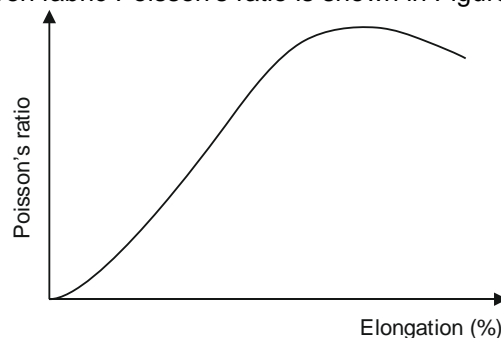


Figure 1: Poisson's ratio diagram of woven fabric

The shape of the curve is the result of internal interactions in the fabric and the displayed curve consists of two zones. Each zone is the result of two separate physical processes that take place in the fabric structure. The first zone includes the area from the beginning to the highest peak (maximum value) of the curve. The second zone is from the top to the end of the curve.

3. Experimental part

In the experimental part of the paper, experiments were carried out on the stretching of woven fabric samples under static load till rupture. The experiment was carried out by measuring the elongation and corresponding lateral contraction of the fabric. Tests were performed on three cotton woven fabrics samples with constant warp densities and constant weft densities, with different structural weaves: plain, twill and satin. Their structural properties are shown in Table 1.

Table 1: Description of fabrics

Fabric label	Fabric structure	Yarn count (tex)		Density (cm ⁻¹)		Initial thickness d_0 (mm)	Weight (g/m ²)
		warp direction	weft direction	warp direction	weft direction		
U1	Plain	30	30	24	24	0.48	149.94
U2	Twill	30	30	24	24	0.54	147.75
U3	Satin	30	30	24	24	0.71	144.68

Yarn linear density was determined by the gravimetric method according to standard ISO 2060:1994. Number of threads per unit length was determined according to standard ISO 7211-2:1984. Standard ISO 5084:1996 describes a method for the determination of the thickness of fabric. To obtain the breaking force and breaking elongation values, five measurements were performed on a tensile tester for each fabric sample. The tensile properties of all specimens were tested according to ISO 13934-1 2013 using the test strip method on a tensile strength tester. A tensile tester Statimat M German manufacturer "Textechno" was used for testing which registers data in the form of a diagram. This tensile tester is an automatic, microprocessor-controlled instrument operating on the principle of constant deformation speed. Before testing all specimens were conditioned under the conditions of standard atmosphere (relative air humidity $65 \pm 2\%$, at a temperature of $20 \pm 2^\circ\text{C}$). For the purposes of this testing standard specimens with dimensions $350 \times 50 \text{ mm}$ were cut and clamped in clamps of the tensile tester at a distance of $l_0=200 \text{ mm}$ and pulling speed $v=100 \text{ mm/min}$ and subjected to uniaxial tensile load till rupture. The specimens were cut in warp direction and weft direction. For accurate recording and measurement of spatial deformation of fabric a 1×1 grid pattern was mounted on the tensile tester immediately behind the test specimen; the whole process of drawing the specimen till rupture was recorded by the Panasonic NV-GS500 Digital Video Camera placed on the tripod in front of the device as shown in Figure 2.

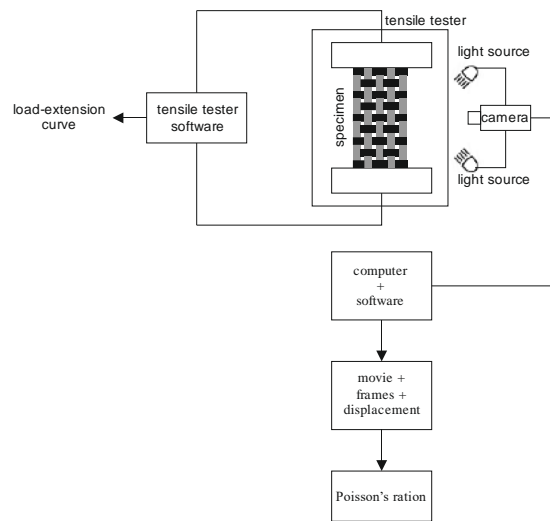


Figure 2: Schematic view of the experiment

A digital video camera with a resolution of 720×576 pixels, and with a recording speed of $N_{sl}=25$ frames /s was used and is connected to the computer via an IEEE 1394 (FireWire) interface. The horizontal distance between the camera and the sample is such that 1 mm on the grid amounted to 10 pixels on the picture. Two sources of white light which mutually close an angle of 90° were used for measuring. The number of images N at a certain extension is shown in expression (6):

$$N = \frac{\varepsilon \cdot l_0}{100} \cdot \frac{60}{v} \cdot N_{sl} \quad (6)$$

All the footage was stored on the computer's hard disk in MPEG-2 format. The width of each sample was measured in three spots ($1/4$, $2/4$ and $3/4$ of the length and width of the sample) in order to ensure a higher accuracy of the measured transverse and longitudinal strains. The tensile tester and the camera are connected to a special assembly with simultaneous on/off which fully ensures the exactness of video recording of the entire process of stretching the fabric to rupture. The transverse strain is obtained after all samples were recorded by camera, and the mentioned grid pattern enables fast and accurate editing of the footage processed by the software package Adobe Premiere. Raster individual images were processed in Adobe Photoshop program, Figure 2. Woven fabric dimensions were measured in pixels, and dimension changes were calculated using Excel software.

4. Test results and discussion

Diagrams ($F-\varepsilon$) of mean values of the test results of tensile force F and corresponding elongation ε on woven fabric samples when the force acts in the weft direction are shown in Figure 3a, and when the force acts in the warp direction are shown in Figure 3b. The related mean values of breaking force F (N), elongation at break ε (%) and work at rupture are given in Table 2.

Table 2: Mean experimental values of breaking force, elongation at break work at rupture for woven fabric samples

Fabric label	Fabric structure	Weft direction			Warp direction		
		ϵ (%)	F (N)	W (cN*cm)	ϵ (%)	F (N)	W (cN*cm)
U1	Plain	14.70	495.1	344.9	17.47	437.0	320.5
U2	Twill	14.53	426.3	271.8	14.87	474.6	297.0
U3	Satin	13.00	371.7	216.8	8.80	481.1	211.5

For woven fabric samples which are cut in the weft direction, the breaking force values are highest for fabrics in satin weave, and lowest for fabrics twill weave. Fabrics in plain weave have the highest elongation at break. For fabric samples that are cut in the warp direction, the breaking force values are highest for fabrics satin weave, and lowest for fabrics plain weave. Fabrics in a satin weave have the highest elongation at break.

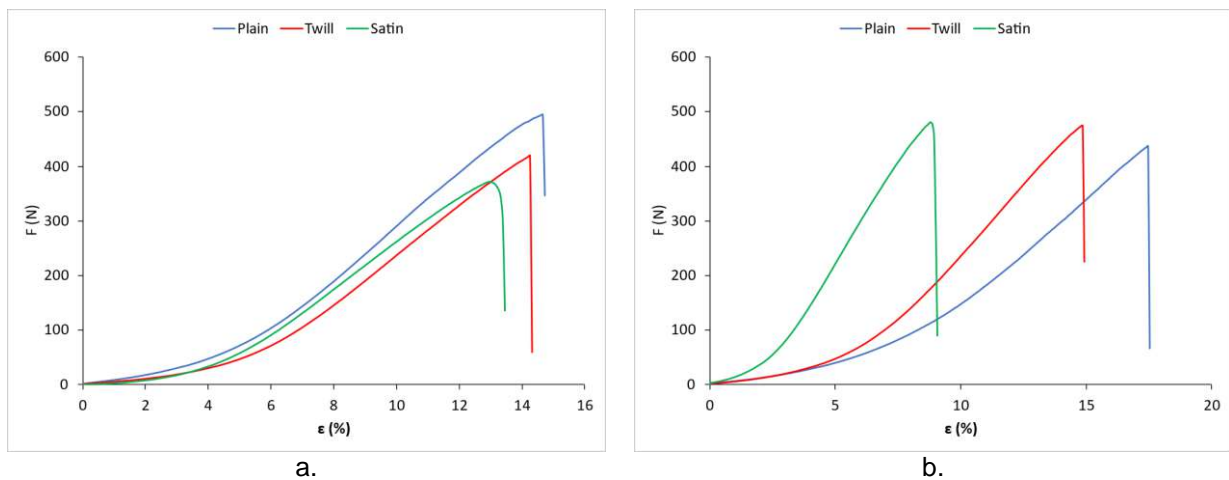


Figure 3: Diagram force – elongation (F- ϵ): a. force acts in the weft direction, b. force acts in the warp direction

The fabric sample width is $b_0=500$ pixels, which is equivalent to $b_0=50$ mm. Upon reading the value of the fabric width, b , after the action of force, relative transverse strain (relative contraction) is calculated using the expression (4). The action of tensile force on woven fabric samples that were cut in warp or weft direction causes the internal interaction between weft and warp yarns. Because of that fabric contraction in the transverse direction, i.e. in the direction which is perpendicular to the direction stretching occurs. Due to this phenomenon, it comes to the loss of the rectangular shape of the sample, i.e., there is a contraction of the fabric sample.

The relation between the continuous change of relative contraction s (%) of the sample and its relative extension ϵ (%) when a force acts on samples that are cut in the weft direction is shown in Figure 4a with a characteristic curve. Figure 4b shows a characteristic curve of relative contraction of the sample in relation to its relative extension when the force acts on samples that are cut in the warp direction.

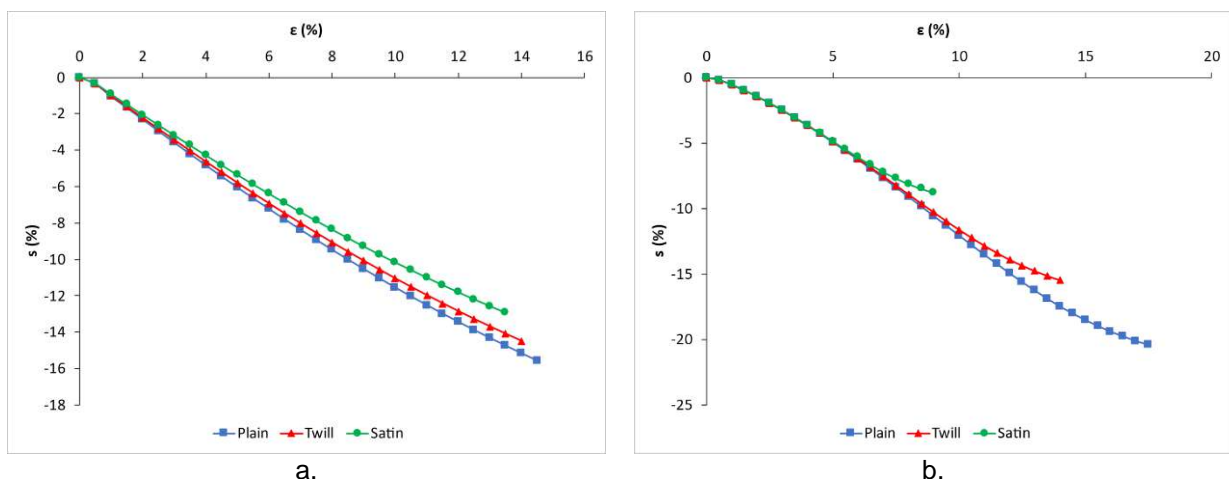


Figure 4: Diagram of relative contraction of fabric s (%) when force acts: a. in weft direction, b. in warp direction

When a force acts on samples that are cut in the weft direction, at the same relative elongation ϵ , the woven fabric in satin weave has the lowest relative contraction, and fabric in plain weave has the highest relative contraction s , Figure 4a. When a force acts on samples that are cut in the warp direction, to relative elongation ϵ of about 7%, the woven fabrics in plain, twill and satin weave have almost the same values of relative contraction s . With increasing relative elongation, the fabric in satin weave has the lowest relative contraction, and the fabric in plain weave has the highest relative contraction s , Figure 4b. From diagrams in Figures 4a and 4b it is evident that fabric contractions are small at the beginning of stretching. After that, with an increase in stretching, the values of fabric contraction also increase.

According to equation (5) and based on the experimental values of relative contraction s and relative elongation ϵ from Figure 4a, the values of Poisson's ratio ν are calculated when the force acts on samples that are cut in the weft direction. Figure 5a shows a curve of the values of the Poisson's ratio ν in relation to its relative elongation when the force acts on samples that are cut in the weft direction. According to equation (5) and based on the experimental values of relative contraction s and relative elongation ϵ from Figure 4b, the values of Poisson's ratio ν are calculated when the force acts on the samples that are cut in the warp direction. Figure 5b shows a curve of the values of the Poisson's ratio ν in relation to its relative elongation when the force acts on the samples that are cut in the warp direction.

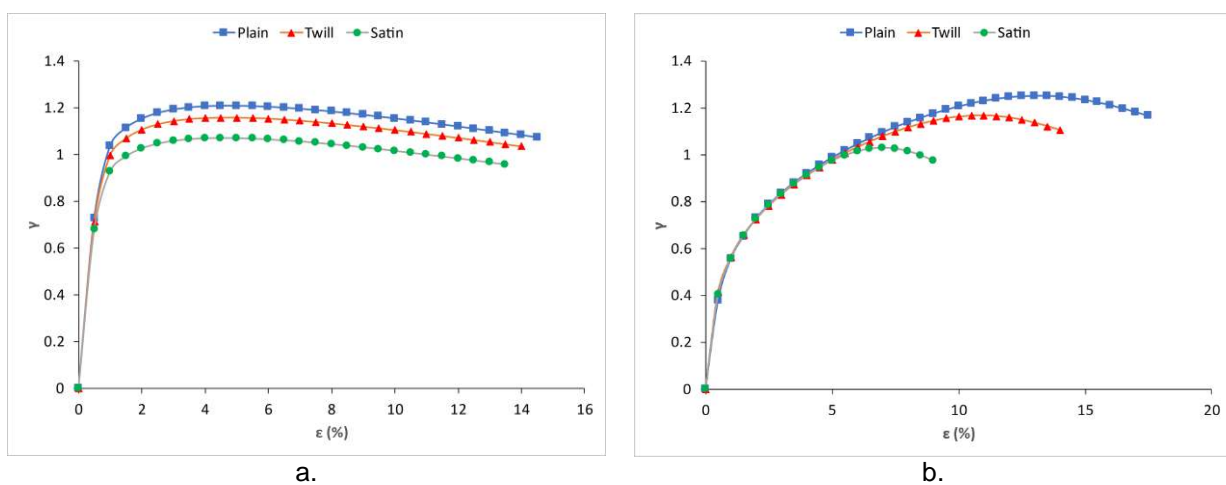


Figure 5: Poisson's ratio of the fabric ν when the force acts: a. in weft direction, b. in warp direction

The shape of the Poisson's ratio curve for woven fabrics is a result of internal interactions in the fabrics. The shape of the Poisson's ratio curve, Figure 5a and 5b, is affected by the change in the value of the relative contraction of the fabric, which is shown in Figure 4a and 4b. The Poisson ratio curve consists of two zones. The first zone covers the area from the beginning to the highest peak of the curve. When the force acts on samples that are cut in the weft direction, Poisson's ratio assumes maximum value at relative elongation of woven fabrics between 3 and 4%, Figure 5a. When the force acts on samples that are cut in the warp direction, Poisson's ratio assumes maximum value at relative elongation of woven fabrics around 7 % for satin weave, around 11% for twill weave and around 14% for plain weave, Figure 5b. The second zone is from the highest peak of the curve to the end of the stretching limit, i.e. to the break. In this zone, the Poisson's ratio curve decreases, and this represents the end of the lateral contraction of the fabric despite the elongation of the sample. Changing the type of weave in the woven fabric causes a change in the value of Poisson's ratio.

Taking into account the meaning of the Poisson's coefficient, which represents the relationship between the transverse and longitudinal deformation of the material, if the transverse deformation does not take place in this ratio, the Poisson's coefficient has no practical meaning. The cessation of lateral tapering of the fabric can occur for two reasons. Firstly, due to the cessation of straightening of yarn weaving in the direction of fabric elongation and secondly due to the structure of the fabric.

5. Conclusion

In this paper, the influence of anisotropy and the type of weave on the Poisson's ratio of the fabric was observed. Due to the anisotropy of woven fabrics, Poisson's ratio is not constant, but varies with each fabric elongation. Behavior and shape of Poisson's ratio curve of woven fabric that is subjected to tensile force, mostly depends on its behavior in a direction perpendicular to elongation. Poisson's ratio first increases non-linearly and after reaching the highest value it decreases. These two separate zones represent two different

processes in fabric deformation. The first zone represents a way of transverse narrowing of the fabric due to longitudinal elongation. The second zone shows the cessation of lateral contraction of the fabric and the fabric elongates without further contraction. Poisson's ratio values depend on the type of fabric weave and the direction of the force (whether the sample is cut in the warp direction or in the weft direction).

Literature

- [1] Peirce, F. T.: The geometry of cloth structure, *Journal of the Textile Institute*, **28** (1937) 3, pp. T45-T96, ISSN 0040-5000
- [2] Kilby, W.F.: Planar Stress-strain Relationship in Woven Fabrics, *Journal of the Textile Institute*, **54** (1963) 1, pp. T9-T27, ISSN 0040-5000
- [3] Chen, B.; Govindaraj, M.: A Physically Base Model of Fabric Drape Using Flexible Shell Theory, *Textile Research Journal*, **65** (1995) 6, pp. 324-330, ISSN 0040-5175
- [4] Chen, B.; Govindaraj, M.: A Parametric Study of Fabric Drape, *Textile Research Journal*, **66** (1996) 1, pp. 17-24, ISSN 0040-5175
- [5] Leaf, G.A.V.: Analytical Plain Weave Fabric Mechanics and the Estimation of Initial Shear Modulus, *Journal of the Textile Institute*, **92** (2001) 3, pp. 70-79, ISSN 0040-5000
- [6] Lloyd D. W. et al.: An Examination of a "Widejaw" Test for the Determination of Fabric Poisson Ratio, *Journal of the Textile Institute*, **68** (1977) 3, pp. 299-302, ISSN 0040-5000
- [7] Nazanin E. S.; Siamak S.; Mohammad H. V.: Effect of Fabric Structure and Weft Density on the Poisson's Ratio of Worsted Fabric, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, **8** (2013) 2, pp. 63-71, ISSN 1558-9250
- [8] Kovar R.; Gupta B. S.: Study of the Anisotropic Nature of the Rupture Properties of a Plain Woven Fabric, *Textile Research Journal*, **79** (2009) 6, pp. 506-516, ISSN 0040-5175
- [9] Bassett R. J. et al.: Experiment Methods for Measuring Fabric Mechanical Properties: a Review and Analysis, *Textile Research Journal*, **69** (1999) 11, pp. 866-875, ISSN 0040-5175
- [10] Bao L. et al.: Error Evaluation in Measuring the Apparent Poisson's Ratios of Textile Fabrics by Uniaxial Tensile Test, *Sen'i Gakkaishi*, **53** (1997) 1, pp. 20-26, ISSN 0037-9875
- [11] Penava, Ž.; Šimić Penava, D.; Knezić, Ž.: Predviđanje granične čvrstoće i prekidnih istežanja za tkanine pri djelovanju vlačne sile u proizvoljnim smjerovima, *Tekstil: časopis za tekstilnu tehnologiju i konfekciju*, **67** (2018) 7-8, pp. 167-175, ISSN 0492-5882
- [12] Penava, Ž.; Šimić Penava, D.; Knezić, Ž.: Kriterij predviđanja vlačne čvrstoće tkanina u proizvoljnim smjerovima, *Tekstil : časopis za tekstilnu tehnologiju i konfekciju*, **63** (2014) 11-12, pp. 337-346, ISSN 0492-5882
- [13] Penava, Ž.; Šimić Penava, D.; Nakić, M.: Istraživanje utjecaja utkanja osnove i potke na Poissonov koeficijent tkanine, *Tekstil : časopis za tekstilnu tehnologiju i konfekciju*, **63** (2014) 7-8, pp. 217-227, ISSN 0492-5882

COMFORT AND FUNCTIONALITY OF WORK CLOTHES FROM THE POINT OF VIEW OF MEDICAL STAFF AND PATIENTS

Suzana ĐORĐEVIĆ^{1,*}; Emilija ĐIKIĆ-JOVANOVIĆ¹; Miodrag ŠMELCEROVIĆ¹ & Dragan ĐORĐEVIĆ²

¹Academy of Vocational Studies Southern Serbia, Department of Technological Art Studies, Leskovac, Serbia; szn971@yahoo.com·emilija.djicic1960@gmail.com, msmelcerovic@yahoo.com

²University of Nis, Faculty of Technology in Leskovac, Leskovac, Serbia; drdrag64@yahoo.com

*Corresponding author: Suzana Djordjevic, szn971@yahoo.com

Abstract: *The article deals with the selection of fibers and fabrics for the production of medical workwear, as well as a survey of its comfort and functionality, from the point of view of medical staff and patients. A survey was conducted with users of medical work clothing and patients, and based on it, an analysis of the condition of clothing in medical institutions was made. The basic properties of three articles (fabrics) made of 100% cotton of different fiber origin are presented: Israeli, Egyptian and Greek cotton. Medical work clothes (men's and women's uniforms, surgical coats) are made from these fabrics. The survey included 100 respondents, namely 50 healthcare workers and 50 patients, divided into two groups, equally represented by women and men, of different ages and education. The following should be highlighted from the results: there is a connection between the external appearance of health workers at work and the perception of patients about their professional skills (63.64%), while 83.33% of the examined health workers fully agree with the statement that clothing largely creates an image of their professional skills; 45.45% of the surveyed patients believe that the thermo-physiological comfort of the clothes is related to the quality of the services provided, the medical staff also agrees with this statement, 44.44% of the respondents; uncomfortable clothes can reduce the working ability of healthcare workers (100% of respondents), 81.82% of the surveyed patients believe that clean cotton is the most suitable for the work clothes of healthcare workers, while the opinions of the medical staff were divided, 55.56% of the respondents declared that pure cotton is the most suitable for work clothes, while 44.44% of respondents opted for a mixture of fibers; 100% of respondents answered affirmatively that the choice of fabric has an impact on the thermo-physiological comfort of work clothes.*

Keywords: *cotton fabrics; medical clothing; a survey; medical staff; patients*

1. Introduction

Textile materials are increasingly used in all fields of medicine. In addition to being used for the production of protective clothing, textile materials in the form of fibers, fabrics, knits, and recently also non-woven textiles, can be used for the production of implants, blood filters and surgical bandages [1,2]. Medical textiles or Medtech is one of the more important fields of technical textiles, representing structures designed and manufactured for medical applications. The number of applications is diverse, from thread for suturing wounds to complex composite structures such as bone replacement structures or artificial organs, e.g. skin, lungs, etc. [3,4]. Medical textiles are among the fastest growing areas of textiles in the world, no other consumer goods are as widely distributed and widely used in hospitals as textiles [5,6]. Medical protective clothing is adapted to the work environment and the environment in which the wearer moves. Usually such garments are comfortably tailored, with many pockets, flexible sleeves and a different way of dressing. People in work clothes are perceived differently than people in civilian clothes, which causes positive or negative emotions in the population [7-9].

The aim of the study presented in the manuscript is to select and propose a suitable fabric for the new protective workwear of the medical staff, which meets the requirements of the intended standard and is based, mainly, on the survey data and important properties of fibers and fabrics. The focus is on the selection of the most suitable fabrics and the analysis of models for medical staff clothing (uniforms), where, in addition to the fabric (raw material composition), the color and cut of the uniform are also important, all of which together contribute to the credibility of the health worker, and ultimately affect the opinion of patients about the professional skills of healthcare workers. A survey of medical protective clothing users and patients was conducted, and based on this, an analysis of the condition of the clothing used by medical personnel was performed.

2. Experimental

The research was organized in the textile factory Yumco in Vranje, Serbia, using the resources that this factory offers: fibers, yarns, fabrics, finishing, up to the final product – medical clothing. It started from 3 types of cotton fiber, Israeli, Egyptian and Greek origin. The fiber characterization was performed according to the next standards: SRPS F.S2.211:1963 - *Testing of textiles - Determination of length of textile fibres by measuring single fibres*; SRPS F.S2.212:1963 - *Testing of textiles - Determination the linear density of textile fibres*; SRPS F.A0.013:1977 *Fibres and yarns - Terms and definitions*; and SRPS F.S2.242:1984 - *Cotton fibres - Test method for breaking strength - Pressley apparatus*.

From these cotton fibers, single and double yarns are made, and from them woven fabrics were made in panama, plain and atlas weaves. Fabric I was made from Israeli, fabric II from Egyptian and fabric III from Greek cotton. The fabric characterization was performed according to EN 12127:1997 *Textiles - Fabrics - Determination of mass per unit area using small samples*, ISO 7211-5:2020 *Textiles — Methods for analysis of woven fabrics construction — Part 5: Determination of linear density of yarn removed from fabric*; and EN ISO 2060:1995 *Textiles - Yarn from packages - Determination of linear density (mass per unit length) by the skein method*.

The basic construction of the cuts was made by hand in basic sizes, according to the standard [10], the cut parts were modeled and completed according to the data from the standard. The basic cuts were recorded on the digitizing board and entered into the computer. Digitized cutting parts are modeled, completed and graded using the computational system of construction preparation of the Gerber software package.

In order to obtain data on the extent to which the current work uniform of healthcare workers satisfies functionality, protection, comfort, design and produces a positive opinion of patients, a survey was conducted, which made it possible to make the correct choice of the most suitable fabric, the most favorable color, the cut of the uniform, etc., based on the results obtained. The survey included 100 respondents, namely 50 healthcare workers and 50 patients, divided into two groups, both groups were equally represented by women and men, of different ages and educations.

3. Results and discussion

The fiber measurement results performed according to the relevant standards are given in Table 1.

Table 1: Characteristics of cotton fibers

A type of cotton	Trading staple length (mm)	Middle staple length (mm)	Mass% of fibers below 10 mm	Fiber thickness (Micronaire number)	Pressley index
Israeli	32.24	17.50	11.40	5.12	89000
Egyptian	33.31	17.62	11.80	5.00	90000
Greek	27.77	15.32	15.05	5.41	70000

From the results, the quality of cotton fibers can be recognized. Egyptian cotton has the longest fiber length (trading staple length), good Micronaire number (fineness) and the highest Pressley index (strength), compared to the other two tested cotton fiber samples.

The examined fibers meet the conditions that, with respect to the production process, good quality yarn can be obtained from them, and can be used for the production of medical clothing.

The results of fabric measurement performed according to the relevant standards are shown in Table 2.

Table 2: Characteristics of cotton woven fabrics

Fabric label	Weave	Mass per unit area (g·m ⁻²)	Yarn setting (cm ⁻¹)		Yarn count (tex)	
			Warp	Weft	Warp	Weft
I	panama	210	38	25	16.7x 2	16.9x 2
II	atlas	189	45	28	9.7x2	16.9x2
III	plain	148	40	25	20.4	25.9

From the results of the woven fabric characteristics shown in Table 2 can be seen that only fabric III made of single yarn is the lightest. Fabrics I and II are much heavier, more robust, made of double yarns, mostly with a higher setting in the direction of the warp and weft (fabric II). As the function of medical staff clothing depends on fabric properties, the analysis of the most important properties of these three cotton woven fabrics was performed. Results are presented in Table 3.

Table 3: The important properties of fabrics

Fabrics	Shrinkage (%)		Tear resistance (N)		Elongation at break (%)		Air permeability (m ³ ·m ⁻² ·min)
	Warp	Weft	Warp	Weft	Warp	Weft	
I	-3.0	-0.8	1309	793	6.6	16.7	9.0
II	-3.0	-2.0	1050	1063	7.3	15.5	9.6
III	-2.9	-2.9	657	512	9.6	16.7	10.3

From the results in Table 3 can be seen that fabrics made from double yarns (I and II) have the highest numerical values for strength, and slightly lower elongation compared to fabric III made from single yarns. Fabrics I and II shrink the most in the direction of the warp and the least in the direction of the weft. Fabric III is the most air-permeable and therefore the most porous.

To determine the comfort and functionality of such woven fabrics aimed for medical clothing, a survey was performed. It was conducted with 100 users of medical work clothing and patients, and based on it, an analysis of the condition of clothing in medical institutions was made. In order to facilitate the interpretation of the obtained results and the drawing of appropriate conclusions, the participants were grouped into two groups; one consisting of health workers, doctors (44%) and nurses (56%) and patients aged 18 to 65+ (the highest percentage of patients is aged 25-54 years old, secondary education).

The respondents' answers about the impact of healthcare workers' work clothes on the patients' opinion of their professional skills are given in Table 4; and the answers about the choice of fabric and criteria important for the work uniform for medical staff in Table 5.

Table 4: Respondents' answers about the impact of healthcare workers' work clothes on the patients' opinion of their professional skills

Work clothes in the service of adequate health protection	Surveyed groups	
	Medical staff	Patients
Question/Answer	(%)	
<i>1. In your opinion, can the clothing of healthcare workers influence patients' perceptions of reliability, accessibility and care?</i>		
a) I do not agree	/	18
b) I have no opinion about it	16	18
c) I completely agree	84	64
<i>2. Do you think that the thermal comfort of the clothing of healthcare workers has anything to do with the quality of the services provided?</i>		
a) I do not agree	12	23
b) I have no opinion about it	44	32
c) I completely agree	44	45
<i>3. Do you think that uncomfortable work clothes can reduce the working ability of healthcare workers?</i>		
a) Yes	100	100
b) No	/	/

From the results of the respondents' survey shown in Table 4, the appropriate conclusions can be drawn based on the representation of the responses. The dress code in a healthcare institution can represent an important element of the image policy of both the healthcare institution itself and the group of medical workers. One of the many determinants that creates a professional image of medical workers is the so-called dress code, and therefore the style of professional clothing. The external appearance is directly related to the concept of comfort, health and safety at work, as well as the issue of identifying the medical staff of a given medical institution. External appearance also shapes a positive or negative image of the representatives of a given profession, thus influencing the professional prestige of the respective group of professionals. The existence of a connection between the external appearance of healthcare workers at work and the perception of patients about their professional skills is confirmed by the results in which 64% of surveyed patients believe that the clothing of healthcare workers affects their opinion, and even 84% of surveyed

healthcare workers fully agree with the statement that clothing it largely creates an image of their professional skills.

According to the results from Table 4, it can be seen that 45% of the examined patients believe that the thermal comfort of the clothing has a connection with the quality of the services provided. Medical staff also agree with this statement with 44% of respondents. 100% of respondents agree that uncomfortable clothing can reduce the working ability of healthcare workers.

Table 5: Respondents' answers about the choice of fabric and criteria important for the work uniform for medical staff

Choice of fabric	Surveyed groups	
	Medical staff	Patients
1. Choose the fabric that, in your opinion, is most suitable for work clothes for medical personnel?	(%)	
a) Fabric I	34	/
b) Fabric II	26	/
c) Fabric III	40	/
2. What criteria do you consider important for the fabric intended for the production of work clothes for medical personnel		
a) To be easy to maintain	38	29
b) To be vapor permeable (absorbs sweat)	42	54
c) Not to crowd	20	17
d) To dry quickly	/	/

When it comes to choosing the fabric as well as the criteria that should be met by the clothing of healthcare workers (tab. 5), the opinions of the medical staff were divided, 40% of the respondents declared that fabric III is the most suitable for their work clothes, 34% of the respondents opted for the fabric I, while 26% of respondents declared for fabric II. All of respondents (100%) answered affirmatively that the choice of fabric has an impact on the comfort of work clothes. These percentages are related to the lightness of the fabric, air permeability, etc. (fabric III), i.e. with some of its comfort properties. 42% of the surveyed health workers consider the ability to absorb sweat as an important criterion for their clothing, which is directly related to the comfort of wearing it, 54% of the surveyed patients consider this criterion the most important.

Comfort must be ensured for both the static and active status of the garment. It is important that clothing for medical workers follows trends and broadly understands fashion, and above all, that it be practical, that it does not hinder movement, and that it ensures the safety of both patients and medical workers themselves.

When asked to order the offered criteria for work clothes according to their priorities, the healthcare workers answered in the manner shown in Table 6.

Table 6: Presentation of answers to the question of criteria related to work clothes by priorities

Workwear criteria according to importance (Grade 1 is the most important)	1	2	3	4	5
Thermal comfort	/	17	83	/	/
Adequate protection	61	27	11	/	/
Flexibility (freedom of movement)	39	56	6	/	/
The color	/	/	/	6	94
Aesthetic appearance	/	/	/	94	6

Adequate protection is considered to be the most important criterion, with 61%, bearing in mind that health workers are exposed to a high risk of infection during their work, followed by flexibility with 56%, which supports the fact that clothing should not restrict movement, that it must be, above all, practical. Color and aesthetic appearance are in fifth and fourth place when it comes to priorities, but that does not mean that they are less important. Work clothes, which can simultaneously fulfill all the mentioned criteria, including color and aesthetic appearance, are necessary for healthcare workers because they spend 6-8 hours a day in them.

Today, fashion trends have affected every aspect of business, including medicine, where the work clothes of healthcare workers should contribute to credibility, and good style certainly affects the self-confidence that is necessary for better performance in this sector. The results from Table 7 show that the largest percentage of respondents opted for grade 3 when it comes to durability, comfort and functionality of work clothes. The

largest percentage of respondents rated their work uniform as 2, i.e. 33%, when it comes to aesthetic appearance.

Table 7: Presentation of the responses of healthcare workers regarding the aesthetics, comfort and functionality of work clothes

Assessment of work uniform (Grade 1 is the most important)	1	2	3	4	5
Durability	6	/	67	16	11
Aesthetic appearance	/	33	28	22	17
Functionality	/	11	39	28	22
Comfort	/	/	56	22	22

How much the work clothes of health workers can influence the image of a health institution is shown by the data where 100% of the surveyed health workers and patients gave an affirmative answer, tab. 8. White is the most traditional color when it comes to the clothing of healthcare workers, it is also the most common choice because it emphasizes cleanliness and as such represents an important element in assessing the professionalism of healthcare workers. That white color does not have to be and is not the only choice when it comes to the clothing of healthcare workers, is shown by the fact that 100% of the surveyed healthcare workers declared that they would like their employer to provide them with a choice of color.

Medical staff and patients agree that the choice of color would contribute to easier recognition of individual health care sectors. The largest percentage of respondents in this study preferred the color white when it comes to the general medicine sector, the green color went to surgery, while the dark color is the most acceptable for pediatrics.

Work clothes, which can simultaneously fulfill all the mentioned criteria, including color and aesthetic appearance, are necessary for healthcare workers because they spend 6-8 hours a day in them. White is the most traditional color when it comes to the clothing of healthcare workers, it is also the most common choice because it emphasizes cleanliness and as such represents an important element in the assessment of the professionalism of healthcare workers, but it has also been shown that there is a connection between white uniforms and ease of identification. The largest percentage of respondents preferred the color white when it comes to general medicine, the color green went to surgery, and the largest percentage of respondents declared that dark color is the most acceptable for pediatrics.

Table 8: Display the answer to the color question

Choice of color	Surveyed groups					
	Medical staff			Patients		
1. Do you think that every service in a health care facility should have its own color for easy identification?	(%)					
a) Yes	100			100		
b) No	/			/		
2. If you could choose which work clothes you would choose for the following health care sectors?	White	Green	Navy blue	White	Green	Navy blue
a) Pediatrics	27	/	72	36	/	63
b) General medicine	67	17	17	59	18	23
c) Surgery	6	83	11	5	82	14

Based on the conducted surveys, it can be concluded that medical clothing and the choice of fabrics for it must meet high standards not only in terms of protection, comfort and functionality, but also aesthetic appearance and color as an important element of the recognizable style of a healthcare institution. Correctly selected fabric and model of medical clothing provides an effective way of protection for medical staff and patients, and at the same time creates pleasant working conditions and positive influence, both on staff and on patients.

4. Conclusion

For the production of medical work clothes, cotton fibers of different origin, but of satisfactory quality, were used as the initial raw material. All tested fibers meet the requirements for obtaining yarns and fabrics of good quality. The resulting woven fabrics have different properties which directly influence the quality of work clothes, functionality and comfort. These findings were confirmed by survey as well.

There is a connection between the external appearance of medical workers and their professional image, as well as the perception of patients about professional competence and the level of professionalism of medical professionals. The external appearance of healthcare workers at work and their perception of professionalism is very important to patients. When it comes to the choice of fabric as well as the criteria that should be met by the clothing of healthcare workers made of certain fabrics, 40% of the surveyed patients believe that a fabric made of 100% cotton in a plain weave is the most suitable for the workwear of healthcare workers, 34% in panama and 26% in atlas weave. Color and aesthetic appearance are in fifth and fourth place when it comes to priorities, but that does not mean that they are less important. Correctly selected fabric and model of medical clothing provides an effective way of protection for medical staff and patients, and at the same time creates pleasant working conditions and a positive impact on both staff and patients.

Based on the conducted surveys, it can be concluded that medical clothing, as well as the choice of fabrics for the same, must meet high standards not only in terms of protection, comfort and functionality, but also aesthetic appearance and color as an important elements of the image of a healthcare institution.

References

- [1] Kam, S., Yoo, Y.: Patient Clothing as a Healing Environment: A Qualitative Interview Study, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18** (2021) 10, pp. 5357, ISSN 1660-4601
- [2] Zhang, X., Ma, P.: Application of Knitting Structure Textiles In Medical Areas, *AUTEX Research Journal*, **18** (2018) 2, pp. 181-191, ISSN 2300-0929
- [3] Parvin, F., et al.: A Study on the Textile Materials Applied In Human Medical Treatment, *European Journal of Physiotherapy and Rehabilitation Studies*, **1** (2020) 1, pp. 56-80, ISSN 2668-9928
- [4] Jamal, Z., et al.: Medical Textiles: State of Art, *International Journal of Home Science*, **4** (2018) 2, pp. 275-280, ISSN 2395-7476
- [5] Yoshikawa, Y., et al.: A survey of Japanese physician preference for attire: what to wear and why, *Nagoya journal of medical science*, **82** (2020) 4, pp. 735–745, ISSN 2186-3326
- [6] Uddin, F., Chaudhary, N.A.: Survey Results of Medical Textiles in Hospitals, *Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering*, **4** (2018) 4, pp. 555641, ISSN 2577-2929
- [7] Mitchell, A. et al.: Role of healthcare apparel and other healthcare textiles in the transmission of pathogens: a review of the literature, *Journal of Hospital Infection*, **90** (2015) 4, pp. 285–292. ISSN 0195-6701
- [8] Alajaji, T.N., Alaql, W.A.: Study of surgical uniform trends in medical colleges in Saudi Arabia, *Revista Latinoamericana de Hipertensión*, **15** (2020) 4, pp. 1-7, ISSN 1856-4550
- [9] Vaskooi-Eshkevari, K., et al.: Customized patient clothing and patient satisfaction, *International Journal of Health Care Quality Assurance*, **32** (2019) 3, pp. 635-644, ISSN 0952-6862
- [10] Serbian military standard, SORS SNO 7017 from 1989 (protected by military secrecy)

PROCJENA UDOBNOСТИ TKANINE U ATLAS VEZU S CILJEM PRIMJENE U BOLNIČKOM OKRUŽJU

ASSESSMENT OF SATIN WEAVE FABRIC COMFORT FOR THE APPLICATION IN HOSPITAL ENVIRONMENT

Ana PALČIĆ; Snježana BRNADA; Sandra FLINČEC GRGAC & Tihana DEKANIĆ

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; ana.palcic@tff.unizg.hr; snjezana.brnada@tff.unizg.hr; sflincec@tff.unizg.hr; tihana.dekanic@tff.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: ana.palcic@tff.unizg.hr

Sažetak: S obzirom na široku primjenu tekstilija u bolničkom okruženju za različite namjene kao što su posteljno rublje, zaštitna odjeća, gaze i zavoji, osim strukturalnih, mehaničkih, fizikalno-kemijskih i antimikrobnih svojstva nužno je zadovoljiti i svojstvo udobnosti pri dodiru s kožom. Na osjet udobnosti imaju utjecaj različite karakteristike tkanine kao što su savojna i tlačna svojstva, toplinska vodljivost te frikcijska svojstva površine. Za detaljnu karakterizaciju morfoloških karakteristika površine tkanog materijala potrebno je profil hrapavosti sagledati na nekoliko razina: razini površine niti (uvojitost pređe, dlakavost), razini niti (gustoća osnove i potke i utkanje) te razini jedinice veza. Na svim tim razinama uočavaju se topografske specifičnosti površine tkanine koje se opisuju parametrima hrapavosti i valovitosti površine te morfologijom profila. Tipična topografija se izražava periodičnim ponavljanjem valova u okomitom i horizontalnom smjeru koji proizlazi iz strukture tkanine. U radu je provedeno ispitivanje udobnosti na razini površine niti pamuk/poliesterske (50:50) tkanine u atlas vezu s ciljem karakterizacije morfologije njene površine prije i nakon provedenih 3 i 10 ciklusa pranja primjenom uređaja za mjerenje opipa tkanine, Fabric Touch Tester (FTT) SDL Atlas, FTT M293. Obzirom da FTT daje samo bročane vrijednosti ocjene i srednje vrijednosti amplituda i valnih duljina unutar profila hrapavosti, za analizu izmjerenih vrijednosti metoda obrade podataka je dodatno modificirana radi dubljeg uvida u hrapavost tkanine koja se ispituje s ciljem definiranja udobnosti. Iz rezultata filtriranih profila vidljivo je kako se povećavanjem broja pranja na razini površine niti hrapavost smanjuje, dok se na razini jedinica veza hrapavost povećava. Također, dobiveni rezultati ukazuju da promjene morfološkog parametra zaobljenosti profila ovisi o broju ciklusa pranja, a na razini jedinice veza o ponašanju sustava osnove i potke tijekom procesa pranja.

Abstract: Considering the various purposes of textiles in the hospital environment, such as bed linen, protective clothing, gauze and bandages, it is necessary that the textiles have satisfactory comfort in contact with the skin, in addition to suitable structural, mechanical, physicochemical and antimicrobial properties. The feeling of comfort is influenced by various properties of the woven fabric, such as flexural and compressive properties, thermal conductivity, and surface friction properties. For a detailed characterization of the morphological properties of the fabric surface, the roughness profile must be analysed at several levels: at the thread surface level (twist number, hairiness), the yarn level (warp and weft density and crimp), and the level of the weave unit. At all these levels, the topographic specificities of the fabric surface are observed, which are described by the roughness and waviness parameters of the surface and the morphology of the profile. A typical topography is expressed by the periodic repetition of waves in the vertical and horizontal directions arising from the structure of the woven fabric. In this paper, a fabric comfort assessment at the surface level of cotton/polyester (50:50) satin woven fabric was conducted. The aim of the research is to characterize the morphology of the surface of the fabric before and after 3 and 10 washing cycles using the Fabric Touch Tester (FTT). SDL Atlas, FTT M293. Considering that the FTT gives only numerical grades and mean values of the amplitudes and wavelengths of the measured roughness profile, for the analysis of the measured values, the data processing method was additionally modified for a deeper insight into the roughness of the fabric being tested in order to define comfort. From the results of the filtered profiles, it can be concluded that increasing of washing cycle at the level of the thread surface reduces the roughness, while at the level of the weave unit the roughness increases. The obtained results also show that changes in the morphological parameter of the roundness of the profile depends on the number of washing cycles and, at the weave unit level, on the behaviour of the warp and weft system during the washing process.

Ključne riječi: udobnost; pamuk/poliesterska tkanina u atlas vezu; ciklusi pranja; uređaj za mjerenje opipa tkanine

Keywords: *comfort; satin cotton/polyester woven fabric; washing cycles; Fabric Touch Tester (FTT)*

1. Uvod

Udobnost se može definirati kao skup fizikalnih, psiholoških i osjetilnih karakteristika čije poimanje ovisi o subjektivnom osjetu osobe na koju utječu svojstva tekstilnog materijala [1-3]. Za tekstilne materijale koji dolaze u kontakt s ljudskom kožom vrlo je važna taktilna udobnost koju karakteriziraju: otpornost materijala na savijanje i kompresiju, hrapavost površine, trenje, rastezna i toplinska svojstva materijala. Na svojstvo udobnosti koju pruža određeni tekstilni materijal utječu vrsta vlakana, karakteristike pređe od kojih je izrađen materijal te struktura i vez tkanine. Stoga se svojstva površine tkanine mogu sagledati s više aspekata, a to su razina vlakna, razina pređe i razine tkanine. Morfološke karakteristike vlakana (orijentacija, fibrilacija) utječu na krajnja svojstva površine tkanine, a uvojitost i duljina vlakana utječu na svojstva pređe. Fizičke promjene (trenje i koeficijent trenja, amplituda površinskog profila) koje dovode do smanjenja ili povećanja razmaka između vlakana u strukturi pređe i između pređe u strukturi tkanine određuju karakteristike hrapavosti površine tkanine [4-6]. Također, finoća i broj uvoja pređe uvelike utječu na karakteristike hrapavosti. Dok osnovni strukturni elementi, koji utječu na svojstva tkanine, obuhvaćaju gustoću niti osnove i potke, vez tkanine, debljinu i ostale elemente [1-3]. Za tkanine u atlas vezu karakterističan je mali broj provezivanja niti te velik broj flotiranja (sl. 1.) što dovodi do specifične topografije površine koja se odlikuje glatkoćom i sjajem. Iz istog razloga, tkanine u atlas vezu vrlo su savojno podatne [7,8].



Slika 1: Poprečni presjek tkanine u atlas vezu

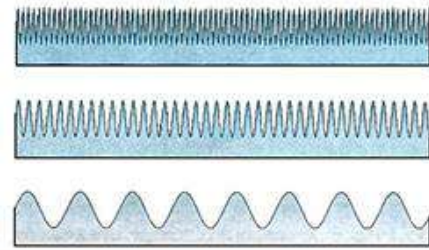
Površinu tekstilnih materijala ne možemo smatrati potpuno ravnom i glatkom stoga se može opisati s dvije komponente površinske teksture, a to su hrapavost koja je rezultat relativno kratkih valnih duljina i valovitost koja je rezultat relativno duljih valnih duljina u promatranom profilu hrapavosti [9-11]. Hrapavost površine vrlo je važno svojstvo za taktilna svojstva tkanine koja se koristi za proizvodnju tekstilija za primjenu u bolničkom okruženju, higijenskih i zdravstvenih tekstilnih proizvoda, postelnog rublja i zaštitne odjeće za koje se postavljaju posebni uvjeti koji se moraju zadovoljiti kada dolaze u kontakt s korisnikom. Hrapavost je vertikalno odstupanje površine tkanine od njenog idealnog oblika i koristi se za procjenu teksture površine tkanine [1, 12]. Površina je hrapava ako su ta odstupanja velika, a glatka ako su odstupanja mala. Ako se hrapavost tkanine promatra zasebno, može se reći da je to jedan od glavnih razloga taktilnih osjeta kao što su bockanje, oština, grebanje, toplina i hladnoća. Glatkoća površine tkanine ovisi o obliku profila hrapavosti pri čemu će gladu površinu imati ona s nižim vrijednostima amplituda visina.

Za procjenu površinske hrapavosti tkanina koriste se subjektivne i objektivne metode [3]. Svrha objektivnih metoda je procjena hrapavosti površine pomoću mjernog uređaja dok kod subjektivne metode ocjenu hrapavosti određuje pojedinac na temelju taktilnog osjeta. Objektivne metode dijelimo na kontaktne ili mehaničke metode i beskontaktne ili optičke metode. Kontaktna metoda smatra se pogodnijom za određivanje karakteristika hrapavosti površine kao mjera udobnosti nošenja. U ovom radu za procjenu hrapavosti površine tkanine u atlas vezu primijenjena je kontaktna metoda te je korišten FTT uređaj uz modifikaciju metode u vidu obrade podataka.

Rezultat mjerenja hrapavosti površine tkanine jest profil hrapavosti (sl. 2.). Odstupanje aritmetičke sredine profila hrapavosti (R_a) od srednje linije na referentnoj duljini smatra se korisnim parametrom za karakterizaciju hrapavosti površine tkanine [5]. Dobivena vrijednost parametra R_a ne opisuje površinu dosljedno i učinkovito, a razlike između visina i dolova nisu vidljive te se ne dobiva informacija o oblicima nepravilnosti na površini. Parametar kvadratnog srednjeg odstupanja profila (R_q) ima veću osjetljivost na odstupanja visina u profilu od srednje linije pa time i adekvatnije opisuje hrapavost površine. Razlika između R_q u odnosu na R_a je da se vrši kvadriranje odstupanja prije određivanja prosječne vrijednosti. Iz navedenog je jasno da se velika odstupanja od srednje vrijednosti mogu bolje detektirati primjenom R_q nego R_a , ali iz istog razloga manja odstupanja manje će utjecati na R_q nego na R_a . Različite površine u pogledu razmaka između visina i dolova mogu imati isti parametar R_a i sličan oblik profila, ali će hrapavost površine biti različita (sl. 3.).

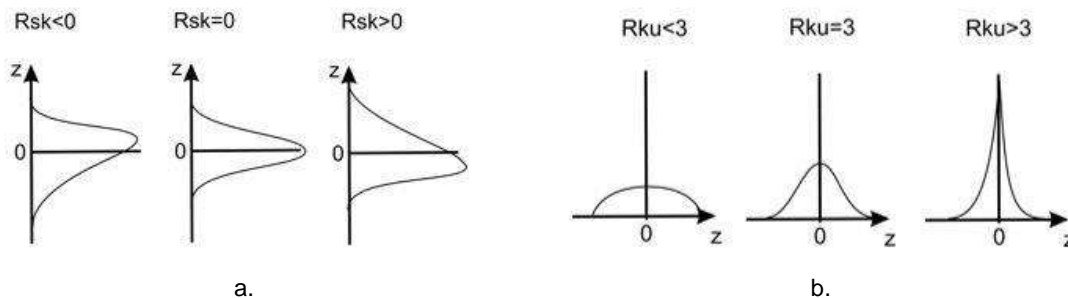


Slika 2: Profil hrapavosti i parametri hrapavosti



Slika 3: Tri različite površine s istim R_a i sličnim oblikom profila [13]

Kako bi se uz hrapavost okarakterizirali i oblici površinskih elemenata tkanine potrebno je uvesti nove parametre koji opisuju morfologiju profila, a to su zaobljenost i asimetričnost profila [14]. Kako bi se dobio uvid u simetričnost profila u odnosu na srednju liniju na referentnoj duljini potrebno je definirati parametar asimetričnosti profila (R_{sk}) [3, 12, 15, 16]. Ovaj parametar neće dobro opisati morfologiju površine vrlo nejednoličnih profila hrapavosti (s pojedinačnim ekstremnim vrijednostima visina ili dolova). Površina koja u profilu ima jednaku visinu vrhova i dolove s jednolikim amplitudnim distribucijama imat će vrijednost asimetričnosti jednaku nuli. Profil kojemu su pojedini vrhovi otklonjeni ili su dolovi duboki pokazuje negativnu asimetriju, a profil s popunjenim vrhovima i dolovima ima pozitivnu asimetriju (sl. 4a.). Parametar zaobljenosti profila (R_{ku}) opisuju zaobljenost profila na referentnoj duljini. Ako je njegova vrijednost manja od 3, profil ima relativno oblike vrhove i dolove odnosno možemo reći da funkcija distribucije ima „spljošteni” oblik. Za vrijednost parametra koji je veći od 3, profil ima relativno oštre vrhove i dolove odnosno funkcija distribucije je „šiljastog” oblika (sl. 4b.).



Slika 4: Prikaz asimetrije profila a. i zaobljenosti profila b. ovisno o R_{sk} i R_{ku} vrijednosti

2. Metodologija analize hrapavosti tkanine

2.1 Uzorci za ispitivanje

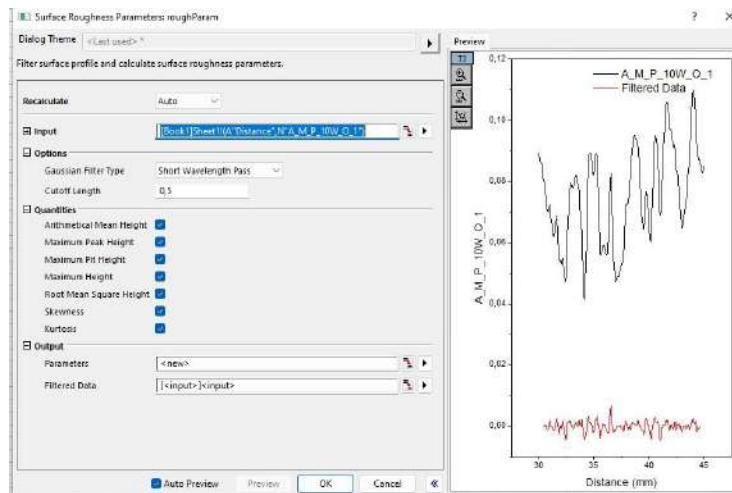
U radu je provedeno ispitivanje udobnosti na razini površine niti tkanine u atlas vezu A1/4 (3), sirovinskog sastava 50 % pamučno vlakno / 50 % poliestersko vlakno s ciljem karakterizacije morfologije njene površine prije i nakon provedenih 3 i 10 ciklusa pranja. Uzorci su podvrgnuti postupku pranja prema standardu EN ISO 15797:2017 uz primjenu standardnog deterdženta s optičkim bjelilima bez fosfata (WFK 88060) i ϵ -(ftalimido) peroksi heksanske kiseline (PAP). Gustoća tkanine određena je primjenom DinoLite uređaja brojanjem niti osnove i potke na duljini tkanine od 1 cm te za početni uzorak u smjeru osnove iznosi 29,2 niti/cm, a potke 26,8 niti/cm.

2.2 Ispitivanje na Fabric Touch Tester SDL, Atlas, FTT M293

Fabric Touch Tester (FTT) uređaj koristi se za mjerenje uzorka tkanine pri čemu istodobno mjeri svojstva hrapavosti i trenja površine, toplinska svojstva, savijanje i kompresiju [17]. Mjerenje se provodi i u smjeru osnove i u smjeru potke te s obje strane ispitivanog uzorka (lice i naličje tkanine). Na temelju dobivenih vrijednosti 13 indeksa tkanine, FTT softver naknadno izračunava tri primarna indeksa udobnosti, tj. glatkoću, mekoću i toplinu. Uzorak se priprema u obliku slova „L” uz jasno označavanje smjera tkanine (osnova/potka) kao i strane (lice/naličje). Prije mjerenja uzorke je potrebno kondicionirati pri uvjetima standardne atmosfere $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ i $65\% \pm 4\%$ relativne vlage. Uzorci su ispitani u smjeru osnove, odnosno, osjetni element FTT uređaja opipavao je suprotan sustav niti, dakle sustav potke.

2.3 Analiza profila hrapavosti tkanine

Profil hrapavosti nastaje uklanjanjem dugovalne komponente iz primarnog profila [18]. Filtriranje površinskih profila uključuje provođenje filtra kroz primarne podatke u svrhu njihovog „izgladivanja“. Procjena linije razgraničenja (cut-off), odnosno granične valne duljine služi za eliminaciju svih nepoželjnih veličina valnih duljina iz primarnog profila kako bi se dobio filtrirani profil koji sadrži samo valne duljine za promatranu razinu hrapavosti (razina površine niti). Promjena granične vrijednosti filtera može imati veliki utjecaj na mjerenje hrapavosti. Odabir manje granične vrijednosti rezultira i manjim vrijednostima hrapavosti površine. Iako bi stvarna površina mogla biti veoma hrapava, filtriranje profila eliminiranjem dugovalnih komponenti pruža mogućnost definiranja onoga što pojedinac smatra hrapavošću. Analiza filtriranog profila odnosno parametara R_a , R_q , R_{sk} i R_{ku} provedena je u softveru OriginPro, modul Surface Roughness Parameters čiji je primjer prikazan na sl. 5.



Slika 5: Primjer filtriranja podataka za uzorak u atlas vezu (duljina odsječka je 0,5 mm)

3. Rezultati i rasprava analize hrapavosti tkanine

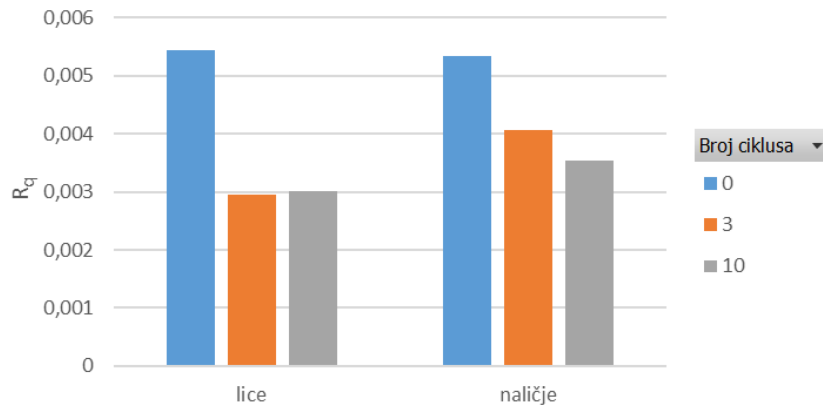
Procjena linije razgraničenja (cut-off) izračunata je prema gustoći potke čije su vrijednosti dobivene primjenom DinoLite uređaja te su prikazane u tab. 1.

Tablica 1: Gustoća niti osnove i potke pamuk/poliesterske tkanine u atlas vezu

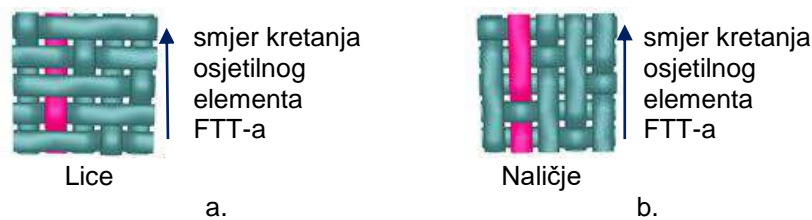
Parametar	0 ciklusa pranja	3 ciklusa pranja	10 ciklusa pranja
Gustoća osnove, niti/cm	29,2	30	29,6
Gustoća potke, niti/cm	26,8	27	27,6

Najveća gustoća niti potke bila je nakon 10 ciklusa pranja (27,6 niti/cm), što na 2 niti iznosi 0,7 mm. Zbog sigurnosti uslijed varijeteta same tkanine uzima se vrijednost duljine odsječka od 0,5 mm. Kratkovalna duljina odsječka (cut-off) od 0,5 mm znači da će se filtrirati profil s FTT-a i zadržati sve neravnine manje od 0,5 mm. U oba smjera (smjer osnove i potke), 0,5 mm je manji od dvije debljine niti, tako da u ovaj profil ne ulaze udaljenosti niti osnove i potke odnosno vez tkanine. Filtrirani profil rezultat je hrapavosti strukture niti (razina površine niti).

Na sl. 6. prikazani su rezultati kvadratnog srednjeg odstupanja profila, odnosno kvadratna hrapavost profila i to iste tkanine, s lica i naličja, prije i nakon 3 i 10 ciklusa pranja. Razlike rezultata kvadratnih odstupanja profila od bazne linije (hrapavost) su statistički značajne (vrijednosti koeficijenta varijacije kreću se od 3,6 do 8,7 %). Iz rezultata je vidljivo kako su vrijednosti hrapavosti površine tkanine najviše na početku odnosno prije procesa pranja. Prilikom ispitivanja tkanine na licu (prednja strana), osjetni element FTT-a dominantno opipava flotirajuće niti potke u smjeru njihove debljine, što je vidljivo na ilustraciji na sl. 7. Iz rezultata je vidljivo kako povećanje ciklusa pranja ne utječe bitno na promjenu hrapavosti na licu tkanine. Nasuprot tome, osjetni element FTT-a na naličju tkanine dominantno opipava nit osnove po njenoj uzdužnoj osi te je iz rezultata vidljivo kako se hrapavost mijenja s ciklusima pranja u uzdužnom smjeru površine niti. Razlog tome može biti promjena utkanja osnovnih niti uslijed skupljanja tkanine tijekom pranja.

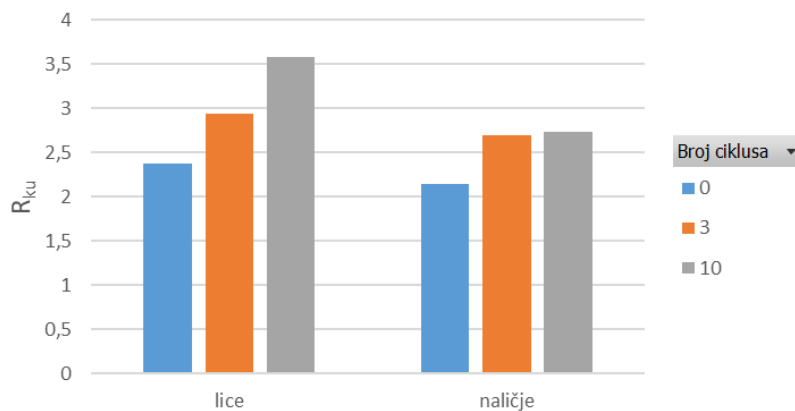


Slika 6: Kvadratna hrapavost profila pamuk/poliesterske tkanine u atlas vezu prije i nakon provedenih ciklusa pranja



Slika 7: Prikaz a. lica i b. naličja pamuk/poliesterske tkanine u atlas vezu

U svrhu karakterizacije morfologije površine, analiziran je filtrirani profil te su izračunate vrijednosti asimetričnosti i zaobljenosti profila. Prema statističkim parametrima, vidljivo je kako su rasipanja rezultata asimetričnosti visoke te ova metoda nije adekvatna za analizu (radi pojave većeg broja ekstrema u profilu). Rezultati zaobljenosti profila (R_{ku}) statistički su validni i vidljivi iz prikaza na sl. 8.



Slika 8: Vrijednosti zaobljenosti profila pamuk/poliesterske tkanine u atlas vezu prije i nakon provedenih ciklusa pranja

Na sl. 8 grafički su prikazane vrijednosti zaobljenosti profila pri čemu manji R_{ku} znači zaobljeniji profil (zaobljene neravnine znače i glađa struktura na opip). Na razini niti (neovisno o gustoći niti) povećanjem broja pranja smanjuje se zaobljenost profila, odnosno profil sadrži više oštih vrhova. Može se primijetiti, kod provedenih ispitivanja na naličju tkanina, kako je brzina promjene zaoštavanja profila manja u uzdužnom smjeru niti u usporedbi s poprečnim smjerom niti na licu tkanine. Proces pranja, koji su uvjetovani Sinnerovim krugom, utječu na svojstva svih elemenata koji čine tkaninu. Posljedica toga su deformacije pređe u svim smjerovima no manju deformaciju pređa pokazuje u svojoj uzdužnoj osi u odnosu na poprečnu. Koeficijent varijacije za dobivene vrijednosti R_{sk} je vrlo visok te se kreće između 45,7 i 93,4 %, zbog navedenog iste nisu adekvatne za daljnju analizu.

4. Zaključak

Ciklusi pranja imaju utjecaj na hrapavost tkanine te na njene morfološke karakteristike. Povećanjem ciklusa pranja, hrapavost tkanine na razini površine niti se povećava te se zaoštrava oblik vrhova što doprinosi osjećaju hrapavije površine. Na razini površine niti, promjena hrapavosti profila povećanjem broja pranja bit će izraženija u uzdužnom smjeru pređe, dok se u poprečnom smjeru (debljina pređe) ona bitno ne mijenja. Poznato je da procesi pranja, koji su uvjetovani Sinner-ovim krugom, utječu na svojstva svih elemenata koji čine tkaninu. Posljedica toga su deformacije pređe u svim smjerovima no manju deformaciju pređa pokazuje u svojoj uzdužnoj osi u odnosu na poprečnu.

Zahvala



Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP-2017-05-8780 Bolničke zaštitne tekstilije.

Zahvala projektu KK.01.1.1.02.0024 Modernizacija infrastrukture Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil (MI-TSRC) za financiranje obnove objekta i opremanja 4 laboratorija Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil.

Literatura

- [1] Begum, M. S.; Milašius, R.: Factors of Weave Estimation and the Effect of Weave Structure on Fabric Properties: A Review, *Fibers*, **10** (2022) 74, 1-22, ISSN 20796439
- [2] Tahvildar, A.; Ezazshahabi, N.; Mousazadegan, F.: Appearance and Comfort Properties Considering Yarn-Spinning System and Weave Structure in Worsted Woven Fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, **14** (2019), 1–8, ISSN 15589250
- [3] Mooneghi, S. A.; Saharkhiz, S.; Varkiani, S. M. H.: Surface Roughness Evaluation of Textile Fabrics: A Literature Review, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, **9** (2014) 2, 1-18, ISSN 15589250
- [4] Becerir, B.; Akgun, M.; Alpay, H. F.: Effect of some yarn properties on surface roughness and friction behavior of woven structures, *Textile Research Journal*, **86** (2016) 9, 975–989, ISSN 17467748
- [5] Akgun, M.; Becerir, B.; Alpay, H. R.: The effect of fabric constructional parameters on percentage reflectance and surface roughness of polyester fabrics, *Textile Research Journal*, **82** (2012) 7, 700-707, ISSN 17467748
- [6] Penava, Ž.; Kovačević, S.: Analiza otpornosti na vlačne sile pamučnih tkanina otkanih u različitim vezovima, *Tekstil*, **58** (2009) 11, 546-553, ISSN 27182274
- [7] Kovačević, S.; Dimitrovski, K.; Hadjina, J.: *Procesi tkanja*, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN 978-953-7105-21-1, Zagreb, (2008)
- [8] Kovačević, S.; Schwarz, I.; Brnada, S.: *Tehničke tkanine*, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN 978-953-7105-78-52020, Zagreb, (2020)
- [9] Akgun, M.: The Effect of Fabric Balance and Fabric Cover on Surface Roughness of Polyester Fabrics, *Fibers and Polymers*, **14** (2013) 8, 1372-1377, ISSN 12299197
- [10] Ajayi, J. O.: An Attachment to the Constant Rate of Elongation Tester for Estimating Surface Irregularity of Fabric, *Textile Research Journal*, **64** (1994) 8, 475-479, ISSN 17467748
- [11] Beyene, K. A.; Kumelachew, D. M.: An investigation of the effects of weave types on surface roughness of woven fabric, *Textile Research Journal*, **92** (2022) 13-14, 2276 – 2284, ISSN 17467748
- [12] Sülara, V.; Öner, E.; Okur, A.: Textile Roughness and frictional properties of cotton and polyester woven fabrics, *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, **38** (2013) 4, 349-356, ISSN 09710426
- [13] Maher, I.: Surface Roughness Prediction in End-Milling Process–Doktorski rad, *Dostupan na* https://www.researchgate.net/publication/280599191_Surface_Roughness_Prediction_in_End-Milling_Process, *Pristupljeno*: 2022-12-11
- [14] Mao, N.; Wang, Y. & Qu, J.: Smoothness and roughness: characteristics of fabric-to-fabric self-friction properties, *The Proceedings of 90th Textile Institute World Conference*, 125-134, ISBN 978-1-5108-4079-9, Poznan, 25.-28. travanj 2016, The Textile Institute, Poland (2017)
- [15] Gademawla, E. S. i sur.: Roughness parameters, *Journal of Materials Processing Technology*, **123** (2002), 133-145, ISSN 09240136
- [16] Akgun, M.: Assessment of the surface roughness of cotton fabrics through different yarn and fabric structural properties, *Fibers and Polymers*, **15** (2014) 2, 405-413, ISSN 12299197
- [17] Musa, A. et al.: Analysis and Comparison of Thickness and Bending Measurements from Fabric Touch Tester (FTT) and Standard Methods, *Autex Research Journal*, **18** (2017) 1, 51-60, ISSN 23000929
- [18] Digital metrology: 3 Steps to Understanding Surface Texture, *Dostupan na* <https://digitalmetrology.com/tutorials/3-steps-to-understanding-surface-texture/>, *Pristupljeno*: 2022-12-09

THE INFLUENCE OF ARGON PLASMA PRETREATMENT AND NATURAL DYEING TO UV PROTECTION OF WOOLEN FABRICS

Anja LUDAŠ*; Iva DIVJAK; Ana SUTLOVIĆ; Sanja ERCEGOVIĆ RAŽIĆ & Martinia Ira GLOGAR

University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Croatia;
anja.ludas@tff.unizg.hr; iva.divjak@tff.unizg.hr; ana.sutlovic@tff.unizg.hr; sanja.ercegovic@tff.unizg.hr;
martinia.glogar@tff.unizg.hr

* Corresponding author: anja.ludas@tff.unizg.hr

Abstract: *The advantages of using natural dyes are reflected in the quality of textiles. Characteristic of natural dyes is that they help protect against ultraviolet radiation (increased UPF value), inhibit the growth of pathogenic bacteria, generally have a beneficial effect, are environmentally friendly and have special aesthetic properties. By argon plasma pretreatment of textile material it is possible to obtain the desired properties since the modifications are made only on the surface of the fiber/material without changing its basic properties. In this study, the synergistic effect of the ecological pretreatment of textiles with argon plasma and natural dyes is investigated. Their effectiveness is tested by evaluating the protective properties against ultraviolet radiation of treated and untreated woolen fabrics according to the standard AS/NZS 4399:1996 using a UV/VIS spectrophotometer. The woolen fabrics tested are treated with a natural dye derived from pomegranate bark after being pretreated with a low-pressure argon plasma under defined conditions. To determine the effect of pretreatment on the degree of degradation of the natural dye, the woolen fabrics were dyed without plasma pretreatment and without salt, which plays the role of mordant in the dyeing process. The test results show that the woolen fabrics pretreated with argon plasma and dyed with a natural dye from pomegranate bark without the addition of salts as mordant has the highest UPF.*

Keywords: *natural dyes; argon plasma pretreatment; UV protection factor; woolen fabrics*

1. Introduction

Ultraviolet radiation or light is an invisible electromagnetic wavelength shorter than that of visible light but longer than that of X-rays, range between 100 and 400 nm (UVA (400–315 nm), UVB (315–280 nm) and UVC (280–100 nm)) [1]. When UV rays fall on the fabric, some of them may be reflected from the surface of the fabric, some are absorbed, and some are transmitted through the fabric. The transmitted UVB rays are harmful to humans because they penetrate the fabric and reach the skin, causing erythema, blisters, heat pain and swelling, etc., and UVC is deadly. But without UVA there is no good bone structure, it is necessary for vitamin D synthesis. Any textile fabric should absorb or reflect UVB and UVC rays to protect us. Such protection can be achieved by using dyes, UV absorbers, optical brighteners, etc. [2].

Since ancient times, man has been looking for colors to decorate his body, clothes and houses. Using natural dyes obtained from mineral, plant and animal sources, he achieved colorful effects on textiles. Despite the rapid development of synthetic dyes and a wide range of color shades, they have not completely replaced natural dyes from use due to the presence of carcinogenic compounds. Ecological awareness is changing the situation in the market and there is a new interest in natural raw materials, eco-products and also in natural dyes. The shades of natural dyes achieve an extraordinary harmony, which gives textile materials a new dimension, warmth and quality with their harmonious effect [3-5].

Due to the increasing environmental requirements, a special interest in the application of environmentally friendly plasma technology in the field of textiles has been observed in the last two decades. It is well known that plasma treatment is primarily used for the surface treatment of materials and plays an important role in modifying only the upper surface of the textile material up to a layer thickness of tens of nanometers, leaving the basic properties almost unchanged. Plasma is the fourth state of matter. It can be distinguished according to the way it is formed, the type of gas, pressure and temperature that play a role in the formation of the plasma state. The effect of plasma on the surface of woolen fabrics has a positive effect on dyeing. Treatment of woolen fabrics with low temperature plasma at low pressure changes the parameters of the

dyeing process, temperature and time, while maintaining the positive properties of the dyed fabric. The treatment of woolen fabrics with low pressure plasma proves that it is possible to use it in the dyeing process from the economic and ecological point of view [6-8].

In this work, the pretreatment of woolen fabrics was carried out using the environmentally friendly technology of cold low-pressure argon plasma under defined conditions to improve the adsorption and binding of natural dyes in/on the structure of the textile material to achieve better UV protection.

2. Materials and methodology

The woolen fabrics of surface mass 140 g/m² supplied by Tekstilpromet, d.d. (Zagreb, Croatia) were used for this research.

The extraction of natural dye from pomegranate peels (*Punica Granatum L.*) was carried out in soft water at a bath ratio of 1:40 (based on the mass of pomegranate peels) for 60 min at a temperature of 100°C. The bath was then allowed to air cool and stand for 12 h, which facilitated decanting as the sediment remained at the bottom of the bath.

One group of woolen fabrics are pretreated using a NanoLF-40 kHz low pressure plasma system from Diener Electronic GmbH, Figure 1. The processing time is adjustable and depends on the desired effects and the type of sample being processed [9]. Table 1. shows the conditions for pretreatment of wool samples with low-pressure argon plasma. The wool samples were pre-dried at 60°C for 24 hours.



Figure 1: Low-pressure plasma system [9]



Figure 2: Dyeing machine Polycolor, Mathis

Table 1: Pre-treatment conditions of wool samples with cold low-pressure argon plasma

Gas	Gas flow rate, q	Power, P	Treatment time, t	Initial pressure, p _{in}	Working pressure, p _r
Argon	200 cm ³ /min	300 W	5 min	0.22 mbar	0.32 mbar

Woolen fabrics pretreated with low-pressure argon plasma, and those not pretreated, were dyed with mordants simultaneously (in the same bath with dye and mordant). One group of the samples was dyed directly with dye without mordant addition. Dyeing was done in a Polycolor laboratory machine, Mathis (Figure 2.), with a bath ratio of 1:40, at 95°C, for 60 min. The dye bath contained 5% owf (over weight of fabric) metal salts, i.e., the mordant potassium aluminum sulfate dodecahydrate (KAl(SO₄)₂·12H₂O), Kemika, Zagreb. After dyeing, the woolen fabrics were washed, soaped and washed again.

UVA and UVB transmission were measured using a Cary Solascreen 50 UV/VIS spectrophotometer according to AS/NZS 4399:1996 Sun protective clothing - evaluation and classification. Transmittance values were measured for untreated and treated samples, which were then used to calculate the UPF value and determine the final UV protection class. UPF is calculated based on the average percentage of transmission in the UV-A range (320 - 400 nm) and the average percentage of transmission in the UV-B range (280 - 320 nm). In accordance with the specified standard, the ratings are presented in Table 2. If the UPF value is greater than 40, fabric provides excellent protection [10-12]. The standard specifies the requirements for determining the UPF of UV protective textiles (unstretched and dry), garments and other personal clothing (hats) worn in close proximity to the skin and the corresponding detailed labelling. The standard does not

apply to sunscreens, fabrics for architectural or horticultural purposes (shading fabrics), and products that provide protection at a specified distance (5 cm) from the skin [13].

Table 2: Table with classifications according to AS/NZS 4399:1996 [10]

UPF value range	Class	Protection category	Blocking UV radiation [%]
<14	0, 5, 10	Non-rateable	< 93.3
15 – 24	15, 20	Good	93.3 – 95.8
25 – 39	25, 30, 35	Very good	95.9 – 97.4
>40	40, 45, 50, 50+	Excellent	> 97.5

3. Results and discussions

Woollen fabrics were dyed in the same bath with dye and mordant. First group of woollen fabrics was just dyed, second dyed with mordant, and third was pretreated with argon plasma and dyed and in the last group woollen fabrics was pretreated with plasma and dyed with the mordant. Woollen fabrics without the addition of dye is treated in the same way in a polycolor laboratory machine.

Table 3. shows the identification of the samples. The woollen fabric is hydrophobic. After plasma treatment under defined conditions (Table 1.), it was found in the drop test that the drop absorption time was less than 1 s and the hydrophilicity of the fabric is achieved.

Table 3: List of the samples and labels

Samples	Labelling
0. Untreated wool	0
1. Woolen fabric	W
2. Woolen fabric and mordant	W-Al
3. Woolen fabric pretreated with argon plasma	W-Ar
4. Woolen fabric pretreated with argon plasma and mordant	W-Ar-Al
5. Woolen fabric and dye	W-D
6. Woolen fabric, mordant and dye	W-Al-D
7. Woolen fabric pretreated with argon plasma and dye	W-Ar-D
8. Woolen fabric pretreated with argon plasma, mordant and dye	W-Ar-Al-D

The transmission measurement was performed in the wavelength range 400 - 280 nm (UVA and UVB) and the values are shown in Figure 3.

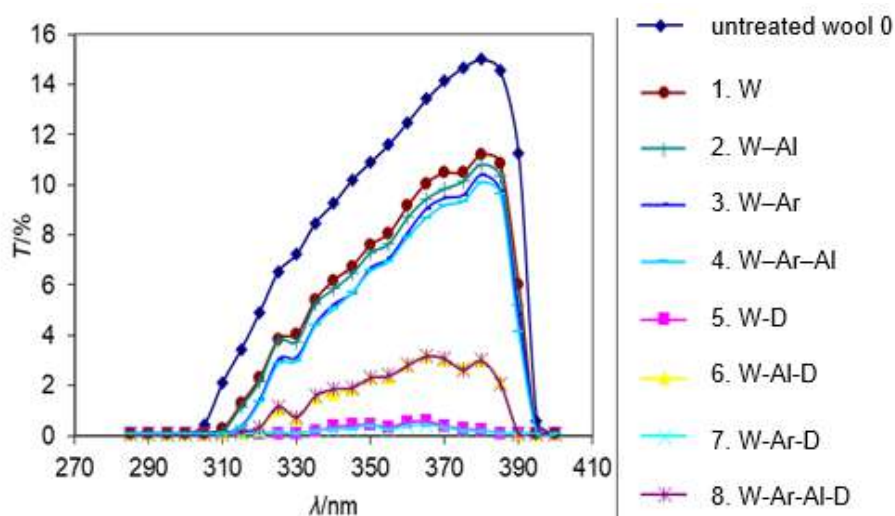











Figure 3: Transmission values of the tested samples

From the UVA and UVB transmissions, UPF values was calculated. The UPF values of untreated wool sample and on wool samples treated with dye and aluminium and/or plasma (argon) are shown in Table 4.

Table 4: UPF values and UV protection ratings of the tested samples

Samples		Mean UPF	UV-A	UV-B	UV protection
0. Untreated wool		27.764	1.858	9.198	25
1. W		60.874	0.697	6.268	45
2. W-Al		64.042	0.637	5.946	50+
3. W-Ar		84.874	0.373	5.451	50+
4. W-Ar-Al		88.190	0.349	5.290	50+
5. W-D		824.750	0.100	0.253	50+
6. W-Al-D		277.028	0.127	1.611	50+
7. W-Ar-D		882.838	0.100	0.202	50+
8. W-Ar-Al-D		276.492	0.136	1.547	50+

The results in Table 4. show that the untreated wool sample provides very good protection (25). Other samples treated with aluminium and/or plasma provide excellent protection (45, 50+). The untreated sample has an average UPF value of 27.764, treated samples that are not dyed have values (60.874 - 88.190), while dyed samples have the highest values (277.028 - 882.838). A benefit for the environment is that the woolen fabric pretreated with argon plasma and dyed with a natural dye from pomegranate bark without the addition of salts as mordants has the highest UPF.

The lower the radiation transmitted through the fabric, the higher the protection factor. It can be seen from Table 4 and Figure 3 that the UV protection increases as the transmission is reduced. There was a significant difference between the treated and untreated fabrics. Although wool fabrics are the only ones that absorb radiation in the entire UV spectrum due to their chemical composition, even though they are completely untreated, they transmit 1.8% of UVA and 9.2% UVB radiation, resulting in very good UV protection (UPF=27.764). Undyed fabrics without plasma pretreatment transmit about 0.6% UVA and about 6% UVB radiation and have excellent UV protection (UPF 60-64). Undyed fabrics pretreated with plasma transmit approximately 0.3% UVA and 5.3% UVB radiation and also have excellent UV protection (UPF 84-88). Plasma pretreatment and dyeing reduced transmission by increasing absorption (UVA about 0.1% and UVB about 0.2-1.6%) and therefore the UV protection was better (UPF 270-882). Therefore, the dyed wool samples treated with cold low-pressure argon plasma provide the best protection (UPF=882.838).

4. Conclusion

Comparison of untreated and dyed samples treated with low-pressure argon plasma suggests that the treated and dyed samples reduced the transmission and the absorption was increase, resulting in excellent UV protection.

As mentioned above, the addition of the natural dye itself increases the UV protection of the woolen fabric, while the addition of mordants to the bath has the opposite effect in terms of more intense colors (which has a positive effect on the ecological aspect) and the UV protection is not increased.

The test results show that the woolen fabric pretreated with argon plasma and dyed with a natural dye from pomegranate bark without the addition of salts as mordants has the highest UPF=882.838.

Acknowledgments

This work was fully financed by the bilateral project CRO-SLO (2020.-2022.): Development of biodegradable and antimicrobial cellulose composites from waste material (project leader assoc. prof. S. Ercegović Ražić).

References

- [1] Ray, A. et al.: Chapter 11: Advanced ultraviolet protection for protective textiles and clothing, *In Advances in Functional and Protective Textiles*, Woodhead Publishing, ISBN: 9780128202579, (2020), pp. 1-20
- [2] Lu, T. J.; Ilyas, E.: An Overview of Ultraviolet-Protective Clothing, *Cureus*, **14** (2022) 7, pp. 1-4, DOI: 10.7759/cureus.27333
- [3] Rehman, F.: Extraction and dyeing behaviour of pomegranate dye on Tencel fabric, *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, **6** (2016) 4, pp. 152-159, eISSN 2249 0256
- [4] Sutlović, A. et al.: Natural dyes for textiles - a contribution to creativity and sustainability, *Tekstil*, **69** (2020) 1-3, pp. 1-10, ISSN: 0492 - 5882
- [5] Singh, B.H.; Bharati, K.A.: *Handbook of natural dyes and pigments*, Woodhead Publishing, ISBN: 978-93-80308-54-8, India (2014)
- [6] Ercegović Ražić, S.; Čunko, R.: Modification of textile properties using plasma, *Tekstil*, **58** (2009) 3, pp. 55-74, ISSN: 0492 - 5882
- [7] Shishoo, R.: *Plasma technologies for textiles*, Published by Woodhead Publishing, ISBN: 9781845692575, England (2007)
- [8] Peran, J. et al.: Oxygen Plasma Pre-Treatment Improves Dyeing and Antimicrobial Properties of Wool Fabric Dyed with Natural Extract from Pomegranate Peel, *Coloration technology*, **136** (2020) 2, pp. 177-187, DOI: 10.1111/cote.12464
- [9] Plasma: Available from <https://www.ttf.unizg.hr/niskotlacni-plazma-sustav/315>, Accessed: 2022-11-22
- [10] Tarbuk, A.: UV protection of surface modified polyester fabric, *Tekstil*, **55** (2006) 8, pp. 383–394, ISSN: 0492 - 5882
- [11] Tarbuk, A.; Grancarić, A. M.; Šitum, M.: Skin cancer and UV protection, *AUTEX Research Journal*, **16** (2016) 1, pp. 19-28, DOI: 10.1515/aut-2015-0050
- [12] Australia/New Zealand standard AS/NZS 4399:1996 - Sun protective clothing-evaluation and classification, Sydney, New South Wales: Standards Australia Internat. Ltd.
- [13] Sutlović, A.; Tarbuk, A.; Grancarić, A. M.; Parac-Osterman, Đ.: UV Protection by Woolen Fabric Dyed with Natural Dyestuff, in *Sunscreens: Properties, Role in Skin Cancer Prevention and Health Effects* (Ed. S. H. Sharp), Nova Science Publishers, ISBN 978-1-63482-160-5, New York (2015), pp. 113-142

MEĐUSOBNI UTJECAJ OBRADJE PROTIV GORENJA I DIGITALNOG TISKA NA PAMUČNOJ TKANINI

THE MUTUAL INFLUENCE OF FLAME RETARDANT TREATMENT AND DIGITAL PRINTING ON COTTON FABRIC

Pavao PRAHIN; Lea BOTTERI* & Martinia Ira GLOGAR

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; pavao.prahin@gmail.com; lea.botteri@ttf.unizg.hr; martinia.glogar@ttf.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: lea.botteri@ttf.unizg.hr

Sažetak: Požari se pojavljuju i razvijaju pod različitim okolnostima i ukoliko se ne spriječe, ugrožavaju ljudske živote i uzrokuju velike materijalne štete. U svakodnevnom životu okruženi smo tekstilnim proizvodima koji su često uzročnici i širitelji požara ukoliko nisu zaštićeni od gorenja. Iz tog razloga razvoj usporivača gorenja za tekstil predstavlja veliki izazov. Jedan od najčešće primjenjivanih i vodećih usporivača gorenja temelji se na derivatu N-metilolnihdimetilfosfino propionamida. S druge strane primjena digitalne tehnologije na tekstilu sve se više primjenjuje. Digitalni tisak na tekstilu, za razliku od analognog tiska, omogućava veću kreativnost u izboru oblika i boja željenog otiska te jednostavnost primjene uz značajne uštede vode i energije što ga čini ekološki prihvatljivijim. Međusoban utjecaj obrade protiv gorenja i digitalnog tiska na pamučnoj tkanini prikazan je u ovom radu. Na tkaninama je proveden proces digitalnog tiska prije i nakon obrade protiv gorenja derivatom N-metiloldimetilfosfono propionamida. Ispitana je otpornost na gorenje vertikalnom metodom prema EN ISO 15025:2016 Zaštitna odjeća - Zaštita od plamena - Metoda ispitivanja ograničenog širenja plamena, granični indeks kisika (LOI) prema EN ISO 4589-2:2017 Plastika – Ponašanje pri gorenju određivanjem indeksa kisika – 2. dio: Ispitivanje pri sobnoj temperaturi te spektralne karakteristike digitalnog tiska prema EN ISO 105-J02:1997-Tekstil – Ispitivanje postojanosti obojenja – Dio J01: Opća načela mjerenja obojene površine. Uzorci obrađeni protiv gorenja, a zatim digitalno otisnuti imaju neznatno veće LOI vrijednosti od uzoraka koji su prvo digitalno otisnuti pa obrađeni protiv gorenja. S druge strane veću zasićenost boje digitalnog otiska imaju uzorci digitalno otisnuti prije obrade protiv gorenja. To pokazuje da je redoslijed obrada i digitalnog tiska bitan ovisno o funkcionalnosti ili estetskom dojmu.

Abstract: Fires appear and develops under different circumstances and if not prevented, endangers human life and causes great material damage. In everyday life, we are surrounded by textile products that are often the cause and spread of fire if they are not protected from burning. For this reason, the development of flame retardants for textiles is a major challenge. One of the most commonly used and leading flame retardants is based on the N-methylol dimethylphosphino propionamide derivative. On the other hand, the application of digital technology on textiles is increasingly being applied. Digital printing on textiles, unlike analog printing, allows greater creativity in choosing the shape and color of the desired print and ease of use with significant savings in water and energy, which makes it more environmentally friendly. The mutual influence of flame retardant treatment and digital printing on cotton fabric is presented in this paper. Digital printing process was performed on fabrics before and after flame retardant with N-methylol dimethylphosphino propionamide derivative. The vertical burning behavior according EN ISO 15025:2016 Protective clothing - Protection against flame - Method of test for limited flame spread, limit oxygen index (LOI) according EN ISO 4589-2:2017 Plastics — Determination of burning behaviour by oxygen index — Part 2: Ambient-temperature test and the spectral characteristics of digital printing according ISO 105-J01:1997 Textiles – Tests for colour fastness – Part J01: General principles for measurement of surface colour were investigated. Samples treated with flame retardant firstly and then digitally printed have slightly higher LOI values than samples that were first digitally printed and then treated with flame retardant. On the other hand, samples of digitally printed before flame retardant treatment have a higher color saturation of the digital print. It is evident that the order of treatment and digital printing is important depending on the functionality or aesthetic impression.

Ključne riječi: pamuk, usporivači gorenja, LOI, digitalni tisak

Keywords: cotton, flame retardant, LOI, digital printing

1. Uvod

Otpornost na gorenje danas je jedan od ključnih zahtjeva u proizvodnji funkcionalnih i zaštitnih tekstila. Tekstil je zasigurno najprisutniji materijal u osobnom i profesionalnom čovjekovom životu. S obzirom na današnje zahtjeve za funkcionalnošću i zaštitnim svojstvima tekstila, kao i tehnologije koje omogućuju odgovor na visoke zahtjeve, očekivanja u području otpornosti na gorenje su u stalnom porastu. Otpornost na gorenje tekstila predmet je intenzivnih istraživanja od 1940-ih, iako postoje i studije objavljene još 1735. i 1821. godine o doradi celuloznih tekstila pomoću stipse, željeznog sulfata i boraksa, čime su postavljeni temelji modernog pristupa istraživanju i razvoju vatro-otpornih tekstila [1-3]. Najčešća formulacija usporivača gorenja razvijena u drugom dijelu 20. stoljeća temeljila se na derivatima fosfora, dušika ili halogena. Za pamuk su korištene formulacije na bazi organofosfornih spojeva, kao što je tetrakis (hidroksimetil) fosfonijev klorid (THPC) [4, 5]. U svom istraživanju, temeljenom na ovom konceptu, Young i sur., koristili su kombinaciju hidroksi-funkcionalnog organofosfornog oligomera (HFPO) i dimetiloldihidroksiletilenuree (DMDHEU) kao završnu doradu. Lecoeur i sur. eksperimentirali su primjenom različitih formulacija temeljenih na monoguanidin dihidrogenfosfatu (MGHP) i 3-aminopropiltoksilana (APS), u nekim kombinacijama s fosforom kiselinom [6, 7]. Također, određeni istraživački rad uložen je u razvoj usporivača gorenja na bazi fosfora i dušika bez halogena kako bi se pospješilo stvaranje ugljeniziranog materijala tijekom gorenja celuloznog supstrata [8]. Također, danas su u porastu i zahtjevi na estetsku komponentu zaštitnog i funkcionalnog tekstila, što, između ostalog podrazumijeva primjenu bojila u procesima bojadisanja i tiska u svrhu postizanja određenog estetskog efekta [9].

U ovom radu prikazat će se dio provedenog istraživanja međudjelovanja obrade protiv gorenja pamučnog tekstilnog materijala i otiska dobivenog digitalnom InkJet tehnologijom tekstilnog tiska. Obrada protiv gorenja provedena je N-metiloldimetilfosfonom propionamidom, a ispitane su otpornosti na gorenje vertikalnom metodom i graničnim indeksom kisika (LOI), te spektralne karakteristike digitalnog tiska.

2. Materijal i metode

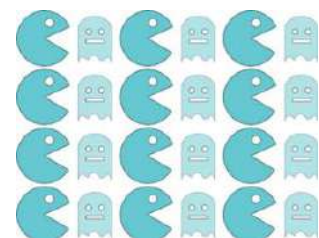
Pamučna tkanina (Čateks, Čakovec) u atlas vezu plošne mase 223 g/m², gustoće 24 niti/cm po osnovi i potki digitalno je otisnuta i obrađena protiv gorenja. Redoslijed digitalnog tiska i obrade protiv gorenja mijenjao se s obzirom na uzorke. Legenda i obrade prikazane su u Tablici 1.

Tablica 1: Legenda uzoraka

Uzorak	Obrade
A_N	Neobrađena tkanina
A_N_D	Neobrađena, digitalno otisnuta tkanina
A_Ap	Tkanina obrađena protiv gorenja
A_Ap_D	Tkanina obrađena protiv gorenja te digitalno otisnuta
A_D_Ap	Tkanina digitalno otisnuta te obrađena protiv gorenja
....O	Uzorci nakon pranja
...D ₁₀₀ ...	Zasićenost boje u digitalnom tisku 100 %
...D ₅₀ ...	Zasićenost boje u digitalnom tisku 50 %

2.1 Digitalni tisak

Ideja slike uzorka otisnute na tkanini došla je iz kompjuterske igrice Packman. Uzorak je tiskan na tkaninu dimenzija 50 cm x 33 cm. Simbol Packmana ima zasićenost boje (C*) 100 % dok je kod Ghosta zasićenost boje (C*) 50 %. Dio uzoraka prvo je tiskan zatim obrađen apreturom protiv gorenja, dok je preostali dio prvo obrađen apreturom te potom tiskan (Tablica 1). Tkanina je tiskana na digitalnom printeru Epson SC F2100.



Slika 1: Otisnuti uzorak na tkanini

2.2 Obrada protiv gorenja

Pamučna tkanina obrađena je protiv gorenja kontinuiranim postupkom impregnacije, sušenja i kondenzacije na fularu-rasteznom sušioniku tt. Benzu derivatom N-metiloldimetilfosfonom propionamida sa slijedećim sastavom kupelji: Apyrol CEP ECO (Bezema), 400 ml/l, Knittex 7636 (Ciba), 20g/l, H₃PO₄ (Kemika) 10g/l, Kmeonecer NI (Kemo), 1g/l. Nakon impregnacije tkanina je sušena na T=100 °C u vremenu 2 min, te podvrgnuta kondenzaciji na T= 155 °C u vremenu 4,5 min.

Otpornost na gorenje ispitana je vertikalnom metodom prema EN ISO 15025:2016 *Zaštitna odjeća – Zaštita od plamena – Metoda ispitivanja ograničenog širenja plamena*, graničnim indeksom kisika (LOI) prema EN ISO 4589-2:2017 *Plastika – Ponašanje pri gorenju određivanjem indeksa kisika – 2. dio: Ispitivanje pri sobnoj temperaturi*.

2.3 Spektralne karakteristike

Mjerenje spektralnih karakteristika (L^* , a^* , b^* , C^* , h° , DE) provedeno je na remisijskom spektrofotometru Spectraflash Datacolor 850 prema ISO 105-J02:1997 *Textiles – Tests for colour fastness – Part J02: Instrumental assessment of relative whiteness*. Instrument ima mjerno područje od 360 nm – 700 nm. Opremljen je intergracijskom kuglom promjera 152 mm koja osigurava geometriju osvjetljavanja mjernog uzorka $d/8^\circ$. Izvor svjetla je ksenonska žarulja opremljena dodatnim filterima za simulaciju standardnog dnevnog svjetla D65.

2.4 Postojanost obrade na pranje

Postojanost obrade i otiska na pranje ispitana je prema normi HRN EN ISO 6330:2012 *Tekstil – Postupci pranja i sušenja u kućanstvu za ispitivanje tekstila* uz uporabu normiranog deterdženta ECE deterdženta bez fosfata i optičkog bjelila. Pranje je provedeno u aparatu Polycolor Mathis na 40 °C, u vremenu od 30 minuta. Omjer kupelji je 1:30. Polycolor Mathis je uređaj koji se koristi za procese bojadisanja i mokrog oplemenjivanja. Uređaj ima mogućnost računalnog podešavanja procesnih parametara. Rad uređaja se temelji na principu pokreta kupelji i materijala.

3. Rezultati

U ovom radu prikazan je međusoban utjecaj obrade protiv gorenja i digitalnog tiska na pamučnoj tkanini. Na tkaninama je proveden proces digitalnog tiska prije i nakon obrade protiv gorenja derivatom N-metilolnihdimetilfosfino propionamida. U tablici 2. dani su rezultati vertikalnog testa na gorenje. Neobrađeni uzorak (A_N) i digitalno otisnuti, neobrađeni uzorak (A_N_D) gore na zraku te se vrijeme naknadnog gorenja tih uzoraka nakon uklanjanja plamenika, kreće od 28,11 – 31,21 sekundu. Neobrađeni uzorci nakon prestanka gorenja tinjaju u vremenu od 56,45 – 57,69 sekunde, te im je duljina pougljenjena 300 mm. Uzorci obrađeni organofosfornom apreturom protiv gorenja, neovisno da li je digitalni tisak proveden prije obrade protiv gorenja ili nakon, ne gore niti ne tinjaju prilikom provedbe vertikalnog testa na gorenje što je i bilo za očekivati. Duljine pougljenjena tih uzorak kreću se od 7,2 – 9,1 mm. Promatrajući duljine pougljenjenja obrađenih uzoraka uočena je najveća duljina pougljenjena kod uzorak koji su prvotno digitalno otisnuti (I (A_D_Ap) = 9,1 mm. To se može objasniti činjenicom da je prilikom digitalnog tiska došlo do vezivanja bojila na funkcionalne skupine celuloze, te se za ta mjesta nije moglo vezati organofosforno sredstvo za obradu protiv gorenja. Međutim ta razlika je u rezultatima zanemariva, jer svi uzorci obrađeni protiv gorenja ne gore na zraku. Nakon što su uzorci podvrgnuti pranju standardnim deterdžentom došlo je do skidanja dijelova sredstava protiv gorenja koji nije bio vezan na celulozu. Samim time dolazi do zapaljenja uzoraka na zraku. Međutim vrijeme naknadnog gorenja upola je manje nego kod neobrađenih uzoraka, te nema naknadnog tinjanja. Duljine pougljenjena svih uzoraka nakon pranja iznose 300 mm.

Tablica 2: Vertikalni test na gorenje pamučnih tkanina obrađenih protiv gorenja, te digitalno otisnutih

Uzorak	t naknadnog gorenja (s)		t tinjanja (s)		I pougljenjenja (mm)	
	obrađeni	Nakon 1. pranja	obrađeni	Nakon 1. pranja	obrađeni	Nakon 1. pranja
A_N	31,21	29,12	56,45	53,57	300	300
A_N_D	28,11	25,07	57,69	54,16	300	300
A_Ap	/	12,96	/	/	7,2	300
A_Ap_D	/	14,22	/	/	6,5	300
A_D_Ap	/	11,68	/	/	9,1	300

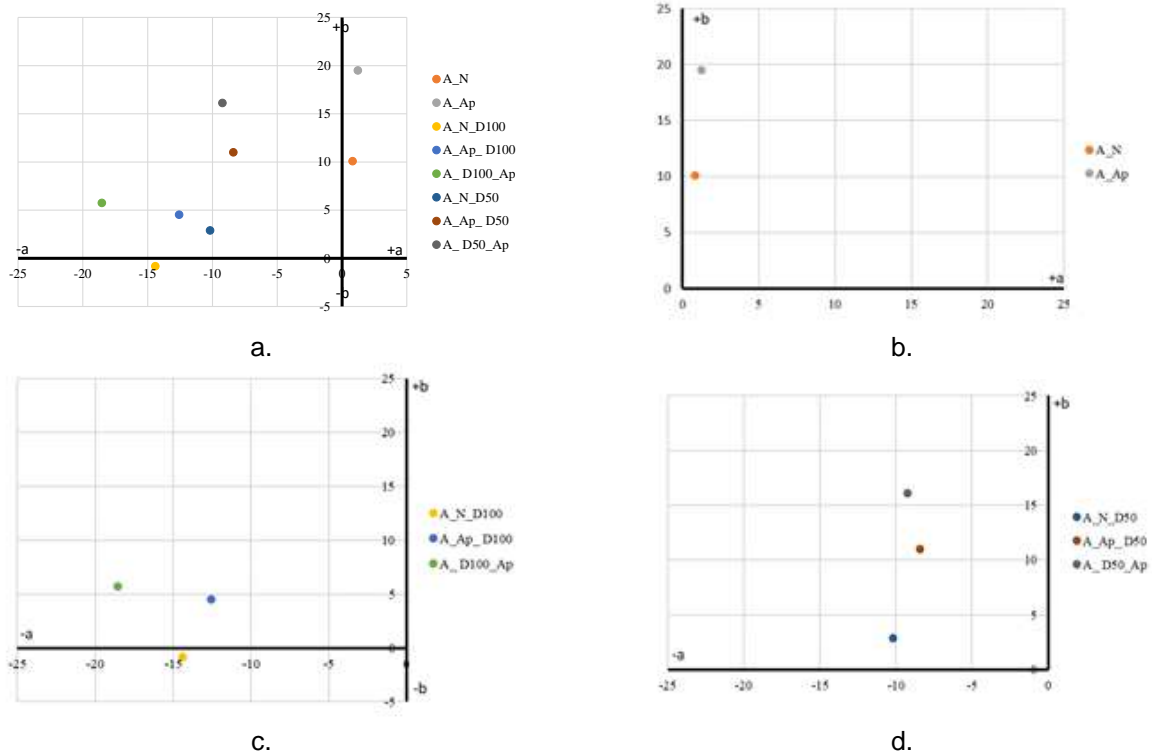
Rezultati graničnog indeksa kisika (LOI) prikazani su u Tablici 3. LOI vrijednosti kreću se su u rasponu od LOI 18,3 – 18,7 za neobrađene i digitalno otisnute neobrađene tkanine u dok se LOI vrijednosti za uzorke obrađene organofosfornim spojem, te digitalno otisnute kreću od LOI 39,2 – 43,8. Uzorci obrađeni prethodno protiv gorenja, a zatim digitalno otisnuti imaju veće LOI vrijednosti od uzoraka koji su prvo digitalno otisnuti, a tek onda obrađeni protiv gorenja. Slična situacija se pokazala i kod ispitivanja uzoraka primjenom vertikalne metode protiv gorenja, te se i ovdje taj rezultat može opravdati vezivanjem bojila na

funkcionalne grupe celuloze, što ostavlja manje slobodnih funkcionalnih skupina na koje bi se vezalo sredstvo za obradu protiv gorenja.

Tablica 3: Granični indeks kisika pamučnih tkanina obrađenih protiv gorenja, te digitalno otisnutih

Uzorak	Nakon obrade		Nakon pranja	
	ISO 4589:1996		ISO 4589:1996	
	LOI	t ₈₀ [s]	LOI	t ₈₀ [s]
A_N	18,7	107	18,6	110
A_N_D100	18,3	109	18,4	106
A_N_D50	18,4	112	18,4	104
A_Ap	43,8	110	23,6	95
A_Ap_D100	43,6	78	24,2	98
A_Ap_D50	43,4	82	24,0	92
A_D100_Ap	39,0	63	24,0	95
A_D50_Ap	39,2	57	24,2	84

Koncentracija pigmenta (50 % i 100 %) na digitalno otisnutom uzorku nema velikog utjecaja na LOI vrijednosti. Nakon pranja LOI vrijednosti svih obrađenih uzoraka se smanjuju i kreću se u rasponu od LOI 23,6 – 24,2, što govori o graničnoj postojanosti obrade protiv gorenja.



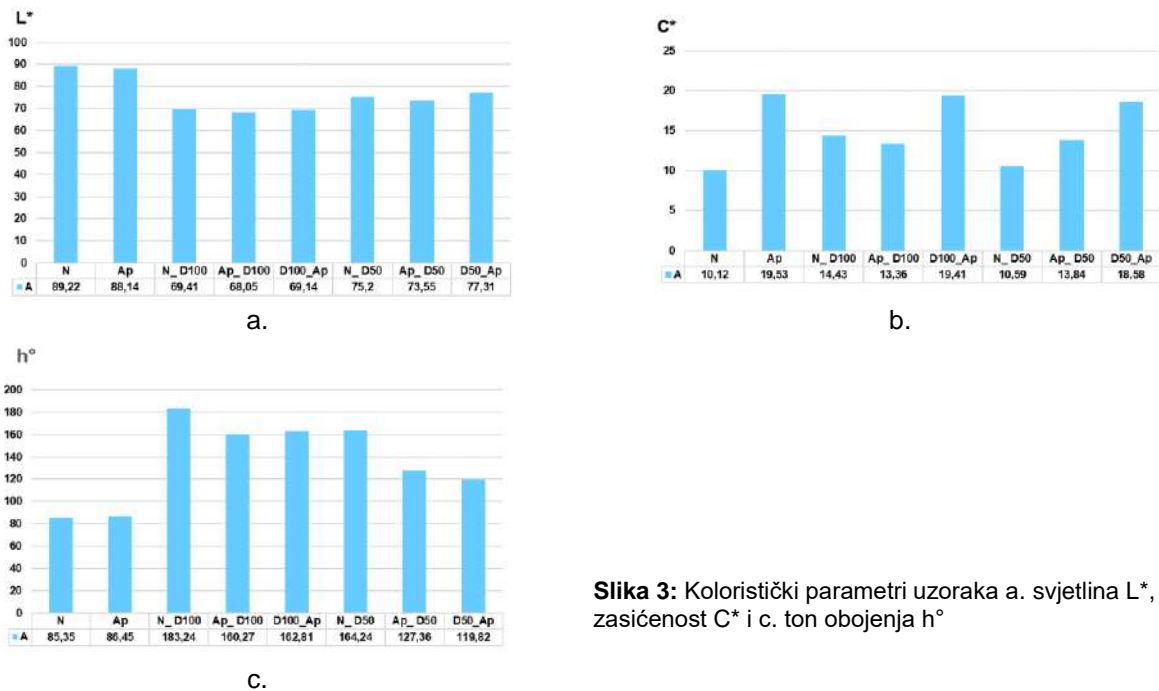
Slika 2: Prikaz uzoraka obrađenih protiv gorenja i digitalno otisnutih u a*/b* prostoru boja a. svih uzoraka u atlas vezu, b. A_N i A_Ap uzoraka, c. A_N_D100, A_Ap_D100 i A_D100_Ap uzoraka i d. A_N_D50, A_Ap_D50 i A_D50_Ap uzoraka

Na slici 2 dan je prikaz uzoraka obrađenih protiv gorenja i digitalno otisnutih u a*/b* prostoru boja dok su na slici 3 prikazani koloristički parametri uzoraka a) svjetlina L*, b) zasićenost C* i c) ton obojenja h°. Neobrađeni i neotisnuti uzorak (A_N) nalazi se u prvom kvadrantu prostora boja u žutom području h°= 85,35. Obradom uzoraka organofosforom spojem (A_Ap) ton boje ostaje isti (h°= 86,45), ali dolazi do povećanja zasićenosti (C*= 19,53) i požućenja materijala nastalog tijekom kondenzacije uzoraka. Neobrađeni uzorci digitalno otisnuti tirkiznom bojom pri koncentraciji pigmenta od 100% (A_N_D100) nalaze se u trećem kvadrantu prostora boja i kolorističkim parametrima odgovaraju tirkiznom tonu. Uzorci digitalno otisnuti prije obrade organofosforom spojem (A_D100_Ap) imaju veću zasićenost (C*=13,36) od uzoraka koji su prvo obrađeni organofosforom spojem, pa tek onda digitalno otisnuti (A_Ap_D100), što se tumači time da je digitalni otisak otisnut na bazu neobrađenog uzorka nakon čega je podvrgnut obradi protiv gorenja koja je zbog svojeg požućenja prilikom kondenzacije uzorku promijenila ton u žuto-zelenom području h°(A_D100_Ap) = 162,81. Razlog manje zasićenosti digitalnog otiska otisnutog na uzorak prvotno obrađen

organofosforim spojem (A_Ap_D100) je taj što je otisak tiskan na žuću bazu koja je nastala prilikom kondenzacije uzorka pri obradi protiv gorenja.

Slični trend se ponavlja i prilikom digitalnog otiska tirkiznog bojila pri koncentraciji pigmenta od 50% pri čemu ne dolazi do velike promijene u zasićenost bojila na tekstilnom materijalu u odnosu na otisak tirkiznim bojilom pri koncentraciji pigmenta od 100%, ali dolazi do značajnije promjene u tonu obojenja.

Visoku svjetlinu (L^*) imaju neobrađeni uzorci i neotisnuti uzorci obrađeni apreturom protiv gorenja, što je i bilo za očekivati. Otisnutim uzorcima svjetlina pada. Usporedbom uzoraka otisnutim koncentracijom pigmenta 50 % i 100 % uočeno je da uzorci otisnuti koncentracijom pigmenta 50 % imaju veću svjetlinu od uzoraka otisnutih koncentracijom pigmenta 100 %. Razlike u svjetlini u grupama uzoraka otisnutih koncentracijom pigmenta 100 % (A_N_D100, A_Ap_D100 i A_D100_Ap) i koncentracijom pigmenta 50 % (A_N_D50, A_Ap_D50 i A_D100_Ap) su zanemarive.



Slika 3: Koloristički parametri uzoraka a. svjetlina L^* , b. zasićenost C^* i c. ton obojenja h°

Razlike u obojenju (DE) nakon obrade organofosforim spojem te digitalno otisnutim uzorcima u odnosu na neobrađene i neobrađene digitalno otisnute uzorke prikazane su u tablici 4. Iz tablice je vidljivo da su razlike u obojenju u odnosu na neobrađene i neobrađene digitalno otisnute uzorke prilično velike. Uzorci obrađeni samo apreturom protiv gorenja (A_Ap) u odnosu na neobrađene uzorke (A_N) iznose DE = 9,48. Kada se razlika u obojenju odnosi na neobrađene digitalno otisnute uzorke vidljivo je da uzorci koji su prvotno obrađeni protiv gorenja, a nakon toga digitalno otisnuti imaju manju razliku u obojenju, nego uzorci koji su digitalno otisnuti, a tek onda obrađeni protiv gorenja. To je moguće objasniti činjenicom, jer digitalni otisak tiskan na obrađeni uzorak nema povrh sebe nikakav nanos koji bi mu promijenio parametre vezane za razliku u boji. Činjenica je da je otisnut na drugačiju bazu uzorka pri čemu je nakon obrade organofosforim spojem došlo do promjene zasićenosti tona koja je utjecala na razliku u obojenju (DE). Kod uzoraka koji su prvotno digitalno otisnuti te nakon toga obrađeni protiv gorenja, razlika u obojenju (DE) u odnosu na neobrađene digitalno otisnute uzorke je veća iz razloga što se uzorak nakon digitalnog tiska obrađuje sredstvom za obradu protiv gorenja koje pokriva otisak i na taj način mu još više mijenja parametre koji utječu na razliku u obojenju.

Tablica 4: Razlike u obojenju (DE) nakon obrade organofosforim spojem te digitalno otisnutim uzorcima u odnosu na neobrađene i neobrađene digitalno otisnute uzorke

Uzorak	DE		
	A_N	A_N_D100	A_N_D50
A_Ap	9,48		
A_Ap_D100		5,79	
A_D100_Ap		7,75	
A_Ap_D50			8,49
A_D50_Ap			13,44

Postojanost na pranje i razlika u obojenju (DE) nakon provedenog pranja prikazani su u tablici 16. Najbolju postojanost na pranje, odnosno najmanju razliku u obojenju imaju neobrađeni uzorci (A_N_O) i uzorci

otisnuti na neobrađenu tkaninu neovisno o koncentraciji pigmenta (A_N_D100_O, A_N_D50_O). Na ostalim uzorcima ocijene postojanosti na pranje kreću se između 2 i 3, što pokazuje lošiju postojanost na pranje. To se može objasniti činjenicom da je došlo do uklanjanja nevezanih dijelova organofosforog spoja sa materijala. Kod uzoraka pri kojim je digitalni tisak proveden prije obrade protiv gorenja uočena je manja razlika u obojenju nego kada je uzorak otisnut nakon obrade protiv gorenja. Takvi rezultati su očekivani jer su se pigmenti vezali za funkcionalne skupine prije nanosa sredstva za obradu protiv gorenja (Tablica 5).

Tablica 5: Postojanost na pranje digitalno otisnutih uzoraka i razlika u obojenju (DE) nakon provedenog pranja

DE		Uzorak	Postojanost na pranje
		A_N_O	4-5
		A_Ap_O	2
		A_N_D100_O	5
		A_Ap_D100_O	2
		A_D100_Ap_O	2
		A_N_D50_O	4-5
		A_Ap_D50_O	3
		A_D50_Ap_O	2

Uzorak	DE
N_O	0,80
Ap_O	6,26
N_D100_O	0,24
Ap_D100_O	5,75
D100_Ap_O	4,05
N_D50_O	0,59
Ap_D50_O	6,39
D50_Ap_O	8,15

4. Zaključak

U ovom radu istražen je utjecaj obrade protiv gorenja u procesima digitalnog tiska na pamučnim tkaninama u atlas vezu. Uzorci obrađeni protiv gorenja, a zatim digitalno otisnuti imaju neznatno veće LOI vrijednosti od uzoraka koji su prvo digitalno otisnuti pa obrađeni protiv gorenja. S druge strane veću zasićenost boje digitalnog otiska imaju uzorci digitalno otisnuti prije obrade protiv gorenja. Razlike u obojenju u odnosu na neobrađene i neobrađene digitalno otisnute uzorke su prilično velike. Kada se razlika u obojenju odnosi na neobrađene digitalno otisnute uzorke vidljivo je da uzorci koji su prvotno obrađeni protiv gorenja, a nakon toga digitalno otisnuti imaju manju razliku u obojenju, nego uzorci koji su digitalno otisnuti, a tek onda obrađeni protiv gorenja. Najbolju postojanost na pranje, odnosno najmanju razliku u obojenju imaju neobrađeni uzorci i uzorci otisnuti na neobrađenu tkaninu neovisno o koncentraciji pigmenta. Na ostalim uzorcima ocijene postojanosti na pranje kreću se između 2 i 3, što pokazuje lošiju postojanost na pranje. Redoslijed obrada i digitalnog tiska ne ukazuje na veću razliku u rezultatima bilo da se prvo tkanina obrađivala protiv gorenja ili digitalno tiskala, ali je bitan i ovisi da li će se prednost dati funkcionalnosti ili estetskom dojamu.

Literatura

- [1] Alongi, J.et.al.: *Update on Flame Retardant Textiles: State of the Art Environmental Issues and Innovative Solutions*, A Smithers Group Company, ISBN: 978-1909030176 UK, (2013), 1-14
- [2] Horrocks, A. R.: *Flame Retardant Finishes and Finishing*, In *Textile Finishing*, Society of Dyers and Colourists, ISBN: 0 901956 81 3, Bradford, UK, (2003), 214-250
- [3] Weil E.; Levchik, S.V.: Flame retardants in commercial use or development for textiles, *Journal of Fire Sciences*, **26** (2008) 243–281, ISSN 0734-9041
- [4] Uddin, F.: Recent Flame Retardant Consumption: Textiles, *International Journal of Scientific & Engineering Research* .**10** (2019), 3, 805-819,ISSN: 2229-5518
- [5] Horrocks, A. R.: Flame retardant challenges for textiles and fibers: New chemistry versus innovatory solutions, *Polymer Degradation and Stability*, **96** (2011) 27 377–392, ISSN 0141-3910
- [6] Yang, C. Q.; Qiu, X.: Flame-retardant finishing of cotton fleece fabric: part I. The use of a hydroxy-functional organophosphorus oligomer and dimethyloldihydroxyethyleneurea, *Fire and Materials*,**31** (2007) 1,, 67-81 ISSN: 1099-1018
- [7] Wu, W.; Yang, C. Q.: Comparison of different reactive organophosphorus flame-retardant agents for cotton. Part II. Fabric flame resistant performance and physical properties,*Polymer Degradation and Stability*, **92** (2007), , 363-369, ISSN: 0141-3910
- [8] Schindler, W.D. and Hauser, P.J.: Flame retardant finishes. In *Chemical Finishing of Textiles*, Woodhead Publishing Limited, ISBN: 9781855739055, Boca Raton, FL, (2004), 98-116.
- [9] Malik S. K.; Kadian S.; Kumar S.: Advances in ink-jet printing technologyof textiles, *Indian Journal of Fibre & Textile Reserach*, **30** (2005), 99-113, ISSN:0975-1025

UTJECAJ PROCESNIH PARAMETARA NA HIDROLIZU POLIESTERA AMANOLIPAZAMA

THE INFLUENCE OF PROCESS PARAMETERS ON THE POLYESTER HYDROLYSIS BY AMANOLIPASES

Ivana ČORAK*; Anita TARBUK; Valentina KUDUZOVIĆ; Ivana MEHEŠ & Ksenija VIŠIĆ

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Republika Hrvatska; ivana.corak@tff.unizg.hr, anita.tarbuk@tff.unizg.hr, ksenija.visic@tff.unizg.hr, valentina.kuduzovic@gmail.com

* Adresa za korespondenciju: ivana.corak@tff.unizg.hr

Sažetak: Poliester je najšire rasprostranjeno umjetno vlakno iz sintetskih polimera. Zbog visokog udjela kristaličnosti ima izvrsna mehanička svojstva ali i nisku hidrofilnost koja uzrokuje poteškoće u oplemenjivanju i pranju te dolazi do nakupljanja statičkog elektriciteta i pilinga. Stoga se površina vlakana najčešće modificira alkalnom hidrolizom pri čemu dolazi do nepovratnih oštećenja materijala, a proces opterećuje okoliš. Zadnjih godina se istražuju ekološki prihvatljiviji enzimatski procesi hidrolize. U ovom radu istražena je mogućnost hidrolize poli(etilentereftalata), PET, amanolipazama u svrhu postizanja ekološki prihvatljivijeg, odnosno ekonomski i energetski učinkovitijeg procesa. U tu svrhu poliesterska tkanina iz 100 % PET modificirana je amanolipazama Amano Lipase A iz *Aspergillus niger* (ALA) i Amano Lipase iz *Pseudomonas fluorescens* (ALAK) koncentracije 0,1 g/l uz varijaciju temperature (60 i 100 °C), pH (3,5, 7 i 9) i vremena obrade (60 i 120 min). Učinci su istraženi kroz gubitak mase (HRN ISO 3801:2003), pad prekidne sile izmjerene na dinamometru Tensolab (HRN EN ISO 13934-1:2013) i zeta potencijal određen na elektrokinetičkom analizatoru SurPASS, Anton Paar. Morfološka analiza odabranih tkanina provedena je skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM). Za enzim Amano Lipase A iz *Aspergillus niger* potvrđeno je da je učinkovit u lužnatom mediju, a obradu je moguće provesti i pri nižoj temperaturi od 60 °C iako je obrada na 100 °C učinkovitija. Enzim Amano Lipase iz *Pseudomonas fluorescens* je učinkovit i u kiselom i u lužnatom mediju, no u lužnatom je moguće postići zadovoljavajuće rezultate pri nižoj temperaturi i u kraćem vremenu obrade. S obzirom na dobivene rezultate može se zaključiti da se pravilnim odabirom procesnih parametara mogu postići i energetske i ekonomske uštede za provedbu hidrolize površine PET tkanine.

Abstract: Polyester is the most common synthetic fiber. Due to the high crystallinity, it has excellent mechanical properties, but low hydrophilicity which causes difficulties in finishing and washing, accumulation of static electricity and peeling. Therefore, the surface of the polyester fibers is usually modified by alkaline hydrolysis which causes irreversible material damage and environmental burden. More environmentally friendly enzymatic hydrolysis has been recently researched. In this paper the possibility of PET hydrolysis by amanolipases was researched to achieve more environmentally friendly, economically and energetically efficient process. For that purpose polyester fabric of 100% poly(ethylene terephthalate) fibers, was modified using 0.1 g/l of amanolipases Amano Lipase A from *Aspergillus niger* (ALA) and Amano Lipase from *Pseudomonas fluorescens* (ALAK) with variation of temperature (60 and 100 °C), pH (3.5, 7 and 9) and process time (60 and 120 min). The effects were studied through the fabric weight loss (ISO 3801:1977), the loss in strength determined from breaking force measured on the Tensolab dynamometer (ISO 13934-1:2013) and the zeta potential on the electrokinetic analyzer SurPASS, Anton Paar. The morphological analysis of the selected fabrics was performed using a scanning electron microscope (SEM). The enzyme Amano Lipase A from *Aspergillus niger* has been confirmed to be efficient in an alkaline medium. The treatment can be carried out at lower temperature of 60 °C, although the treatment at 100 °C is more efficient. The Amano Lipase enzyme from *Pseudomonas fluorescens* is efficient in both acidic and alkaline media. In alkaline, it is possible to achieve satisfactory results at a lower temperature and in a shorter processing time. Considering obtained results, it can be concluded that with the right selection of process parameters both energy and economic savings can be achieved for the surface hydrolysis of the PET fabric.

Ključne riječi: poli(etilen-tereftalat); amanolipaze; enzimatska hidroliza; zeta potencijal; SEM; održivost procesa.

Keywords: polyethylene terephthalate; Amano Lipase; enzymatic hydrolysis; zeta potential; SEM; sustainability.

1. Uvod

Poli(etilen-tereftalat) (PET) je poliestersko vlakno koje je ujedno i najzastupljenije vlakno iz sintetskih polimera. Zbog velikog udjela kristaličnosti odlikuje se izvrsnim mehaničkim svojstvima, ali ima mali broj slobodnih aktivnih skupina iz čega proizlazi niska hidrofilitnost, poteškoće u oplemenjivanju i pranju te dolazi do nakupljanja statičkog elektriciteta i stvaranja pilinga [1-6]. Radi poboljšanja ovih svojstava tradicionalno se površina modificira hidrolizom i aminolizom. Alkalna hidroliza najčešće se provodi natrijevom lužinom koncentracije 4-20 % pri temperaturi od 100 °C u vremenu 60 min ili uz dodatak određenih kationskih spojeva koji služe kao akceleratori. Reakcijom na površini vlakna smanjuje se promjer vlakna što rezultira gubitkom mase i pojavom jamica na površini vlakna uslijed djelovanja alkalije [3-8]. Obradom se postiže i veća hidrofilitnost, bolja apsorpcijska i bojadisarska svojstva te se smanjuje nabijanje statičkim elektricitetom i stvaranje pilinga, tkanina ima bolji estetski izgled i pad, ugodan opip, udobna je te ju je po tome vrlo teško razlikovati od prirodne svile [3]. Gubitak mase nakon alkalne hidrolize iznosi između 20 i 30 %, međutim vidljivi rezultati vezani uz opip i pad materijala primjećuju se već pri gubitku mase između 5 i 10 %. Jačim djelovanjem lužine dolazi do pukotina, a često i rupica što znači da je lužina na tim mjestima reagirala s vlaknom u poprečnom smjeru vlakna. Takav rezultat je nepoželjan jer dolazi do smanjenja mehaničkih svojstava što znatno umanjuje vrijednost tekstilnog materijala. Dodatno, upotreba jakih lužina te visoke temperature dovode do nepovratnih oštećenja na materijalu, ali i opterećenja za okoliš. Nedostaci alkalne hidrolize su upotreba jakih alkalija koje mogu uzrokovati nepovratna oštećenja na materijalu te visoke temperature za vrijeme postupka što zajedno čini visok stupanj opterećenja za okoliš [3-8].

Kao alternativa kemijskoj obradi alkalijama i aminima zadnjih godina značajno se istražuju ekološki prihvatljiviji enzimi [3]. Enzimi su biološki katalizatori koji ubrzavaju kemijske reakcije. Razlog sve veće upotrebe enzima je njihova biorazgradivost, rad u blagim uvjetima i očuvanje energije [6-11]. Enzimatska modifikacija rezultira povećanjem hidrofilitnosti materijala, a da pritom nema smanjenja čvrstoće PET-a [6]. Za enzimatsku hidrolizu PET-a koriste se enzimi iz skupine hidrolaza, posebice esteraze, lipaze i kutinaze [6-9]. Posljednjih desetak godina intenzivno se provode istraživanja lipaza, a posebno amanolipaza, za biorazgradnju, odnosno hidrolizu poliestera [12-16]. Zbog karakteristične veličine enzimi djeluju samo na površini čime se povećava broj hidroksilnih i karboksilnih skupina dok glavne karakteristike vlakna ostaju nepromijenjene. Kao što je već navedeno, obrada s NaOH vrlo je agresivna, stoga se koriste enzimi kojima se dobivena hidrofilitnost može postići u znatno blažim uvjetima i kraćem vremenu bez potrebe korištenja kemikalija [5]. U ovom radu istražena je mogućnost hidrolize poli(etilen-tereftalnog) vlakna u tkanini na ekološki prihvatljiv način – amanolipazama.

2. Materijali i metode

Korištena je komercijalna tkanina proizvedena od 100 % poli(etilen-tereftalata), PET, (Belira AD), površinske mase 60 g/m². Tkanina je izrađena u platno vezu od teksturirane multifilamentne pređe (16 filamenata, finoće 50 dtex) i u osnovi i u potki, gustoće niti 52/36 (osnova/potka po cm). Tkanina je stabilizirana vrućim zrakom. Enzimatska hidroliza je provedena amanolipazama - Amano lipaza iz *Pseudomonas fluorescens* (ALAK) i Amano lipaza A iz *Aspergillus niger* (ALA), SIGMA-ALDRICH Co., i uspoređena s alkalnom hidrolizom provedenom s 1,5 mol/l NaOH pri 100 °C i 60 min. Hidroliza primjenom 0,1 g/l amanolipaza provedena je metodom iscrpljenja iz kupelji u aparatu Linitest, Original-Hanau uz OK 1:50, varijaciju pH (3,5, 7 i 9), temperature (60 i 100 °C) i vremena obrade (60 i 120 min). Hidrolizirani uzorci su isprani u vrućoj destiliranoj i hladnoj vodi, neutralizirani ukoliko je potrebno, isprani do neutralnog pH te osušeni na zraku.

Površinska masa (m) [g/m²] određena je vaganjem na KERN digitalnoj vagi, model ALJ 220-5DNM, s točnošću mjerenja od 0,0001 g prema HRN ISO 3801:2003 te je izračunat gubitak mase (Δm) [%] u odnosu na apsolutno suhi uzorak. Prekidna sila (F) [N] izmjerena je prema HRN EN ISO 13934-1:2013 na dinamometru Tensolab, MESDAN-LAB uz duljinu epruvete 20 cm i predopterećenje 0,5 N te je izračunat pad prekidne sile (ΔF) [%]. Potencijal strujanja izmjeren je na elektrokinetičkom analizatoru (SurPASS, Anton Paar) kao funkcija pH od 1 mmol/l KCl. Elektrokinetički potencijal (zeta, ζ , ZP) izračunat je prema Helmholtz-Smoluchowsky jednadžbi [17] i određena je izoelektrična točka (IEP). Morfologija površine PET tkanina karakterizirana je na skenirajućem elektronskom mikroskopu (SEM) FE-SEM, Mira II, LMU, Tescan s povećanjem od 3000x. Prije skeniranja tkanine su naparene tankim slojem kroma u trajanju od 120 s.

3. Rezultati i rasprava

U ovom radu istražen je utjecaj enzima amanolipaza na hidrolizu poliestera. Provedena je površinska modifikacija PET tkanine enzimatskom hidrolizom amanolipazama uz varijaciju temperature (60 °C i 100 °C), vremena (60 min i 120 min) i pH (3,5, 7 i 9) te su učinci uspoređeni s alkalnom hidrolizom.

U tablici 1 prikazan je gubitak mase i pad prekidne sile u odnosu na neobrađeni uzorak nakon obrade s Amano Lipazom A iz *Aspergillus niger* (ALA) i Amano Lipazom iz *Pseudomonas fluorescens* (ALAK) te za alkalnu hidrolizu. Vidljivo je kako alkalnom hidrolizom dolazi do gubitka mase od 21,3 % i pad prekidne sile od 41,02 %. Enzimatskom hidrolizom gubitci na masi su značajno manji. Kod oba enzima dolazi do najvećeg gubitka mase u lužnatom mediju i to 5,52 % na 100 °C i 120 min kod enzima ALA i 4,83 % u istim uvjetima kod enzima ALAK. U kiselom i neutralnom mediju ne dolazi do značajnijeg gubitka mase. ALAK je ipak nešto djelotvorniji u odnosu na ALA u neutralnom mediju što vodi do gubitka mase od 2,21 % pri 100 °C i 120 min. Ostali gubitci mase su oko 1 % kod oba enzima. Enzimatskom hidrolizom ne dolazi do znatnog pada prekidne sile što je u korelaciji s gubitkom mase. Pad prekidne sile događa se poglavito u kiselom mediju kod oba enzima i iznosi 7,39 % na 100 °C i 120 min kod ALA te 8,79 % na 60 °C i 60 min kod enzima ALAK.

Tablica 1: Gubitak mase i pad prekidne sile hidrolizirane poliesterske tkanine u odnosu na neobrađeni uzorak nakon obrade s Amano Lipazom A iz *Aspergillus niger* (ALA) i Amano Lipazom iz *Pseudomonas fluorescens* (ALAK).

Oznaka obrade	ALA		ALAK	
	Δm [%]	ΔF [%]	Δm [%]	ΔF [%]
E-pH 3,5-0,1-60°C-60'	1,36	3,15	1,54	8,79
E-pH 3,5-0,1-60°C-120'	1,24	2,49	1,61	4,98
E-pH 3,5-0,1-100°C-60'	1,21	4,47	1,85	4,47
E-pH 3,5-0,1-100°C-120'	1,29	7,39	1,61	5,86
E-pH 7-0,1-60°C-60'	1,10	2,51	1,27	1,72
E-pH 7-0,1-60°C-120'	0,92	1,33	1,09	1,52
E-pH 7-0,1-100°C-60'	1,44	2,04	2,11	3,47
E-pH 7-0,1-100°C-120'	1,11	2,32	2,21	3,15
E-pH 9-0,1-60°C-60'	4,57	4,98	3,56	2,71
E-pH 9-0,1-60°C-120'	2,81	5,05	4,64	4,39
E-pH 9-0,1-100°C-60'	5,23	3,81	4,33	2,64
E-pH 9-0,1-100°C-120'	5,52	2,42	4,83	3,29
Alkalna hidroliza	Δm [%]	ΔF [%]	-	-
NaOH-100°C-60'	21,3	41,02	-	-

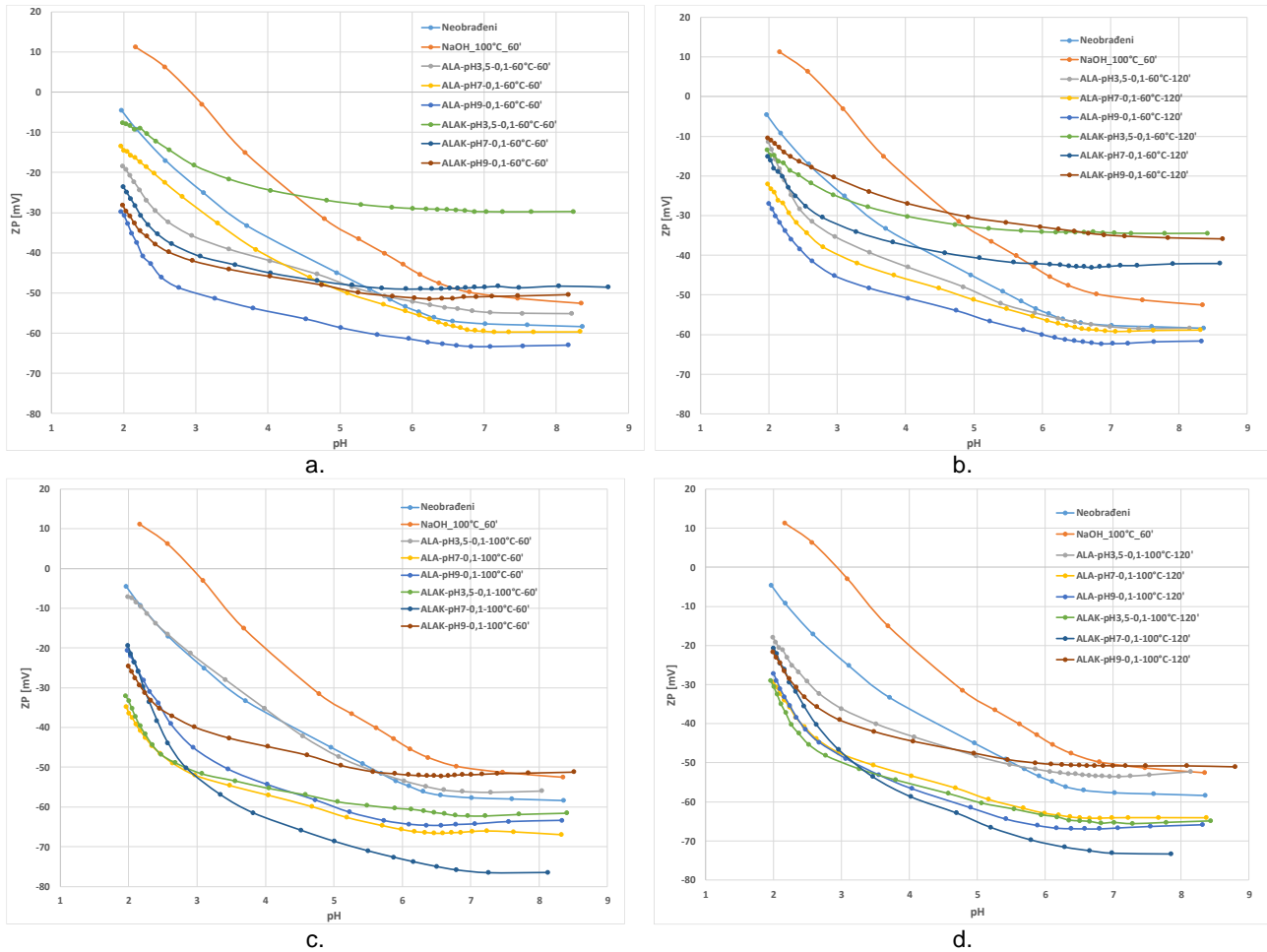
Oznake: E – enzim; 0,1 – koncentracija enzima 0,1 g/l

Karakterizacija tkanina provedena je elektrokinetičkom analizom mjerenjem zeta potencijala (ZP) na SurPASS-u. Rezultati su prikazani na slici 1. Neobrađena PET tkanina pri pH 8,4 ima ZP -58,37 mV dok kod pH 1,96 ima ZP -4,60 mV. ZP neobrađene tkanine u lužnatom mediju rezultat je njegove hidrofobne površine. Iako posjeduje karboksilne skupine, njihov broj je vrlo mali radi visoke kristalčnosti vlakna te je površina hidrofobna. Dodatno, nemogućnost adsorpcije molekula vode doprinosi još nižem zeta potencijalu. Poznato je da hidrofobne površine pokazuju niži zeta potencijal dok hidrofilne površine pokazuju viši zeta potencijal jer imaju sposobnost adsorpcije vode [17].

Hidrolizom poliestera dolazi do povećanja broja površinski aktivnih skupina. Upravo zbog toga, alkalno hidrolizirani uzorak pri pH 8,34 ima ZP -52,53 mV, a pri pH 2,16 ZP 11,21 mV. Njegova izoelektrična točka se nalazi na pH 2,9.

Iz rezultata zeta potencijala poliesterskih tkanina prije i nakon hidrolize amanolipazama ALA i ALAK na 60 °C u trajanju od 60 min i 120 min vidljivo je da enzimatskom hidrolizom i dalje nema izoelektrične točke (IEP) bez obzira na varijaciju temperature, pH i vremena. Uzorak ALAK-pH 3,5-0,1-60°C-60' se razlikuje u odnosu na druge enzimatski hidrolizirane uzorke prikazane na slici 1. U alkalnom mediju kod pH 8,23 njegov ZP iznosi -29,77 mV dok se kod pH 1,98 ZP povećava na -7,67 mV što ukazuje na veći broj aktivnih skupina koje mogu biti uzrokovane jačim aktivitetom enzima u kiselom mediju ili oštećenje na što je ukazao i pad prekidne sile. Enzimatski uzorci u lužnatom imaju viši ZP što ukazuje na veći broj aktivnih skupina. U kiselom su elektronegativniji u odnosu na neobrađeni uzorak, kao i u odnosu na alkalno hidrolizirani uzorak.

Zeta potencijal poliesterskih tkanina prije i nakon hidrolize amanolipazama ALA i ALAK na 60°C pri 120 min prikazan je na slici 1b. Uzorci obrađeni enzimom ALAK u lužnatom mediju pokazuju viši zeta potencijal u odnosu na uzorke obrađene enzimom ALA. Zeta potencijal navedenih uzoraka također je viši i u kiselom mediju, ali razlika nije toliko izražena kao u lužnatom, dok je u usporedbi s neobrađenim uzorkom ZP svih navedenih uzoraka niži. Uzorci hidrolizirani enzimom ALA su u lužnatom mediju elektronegativniji u odnosu na neobrađeni uzorak. Treba istaknuti obradu ALAK-pH 3,5-0,1-60°C-120' koja ukazuje na gotovo jednaku površinu tkanine kao one postignute alkalnom hidrolizom.



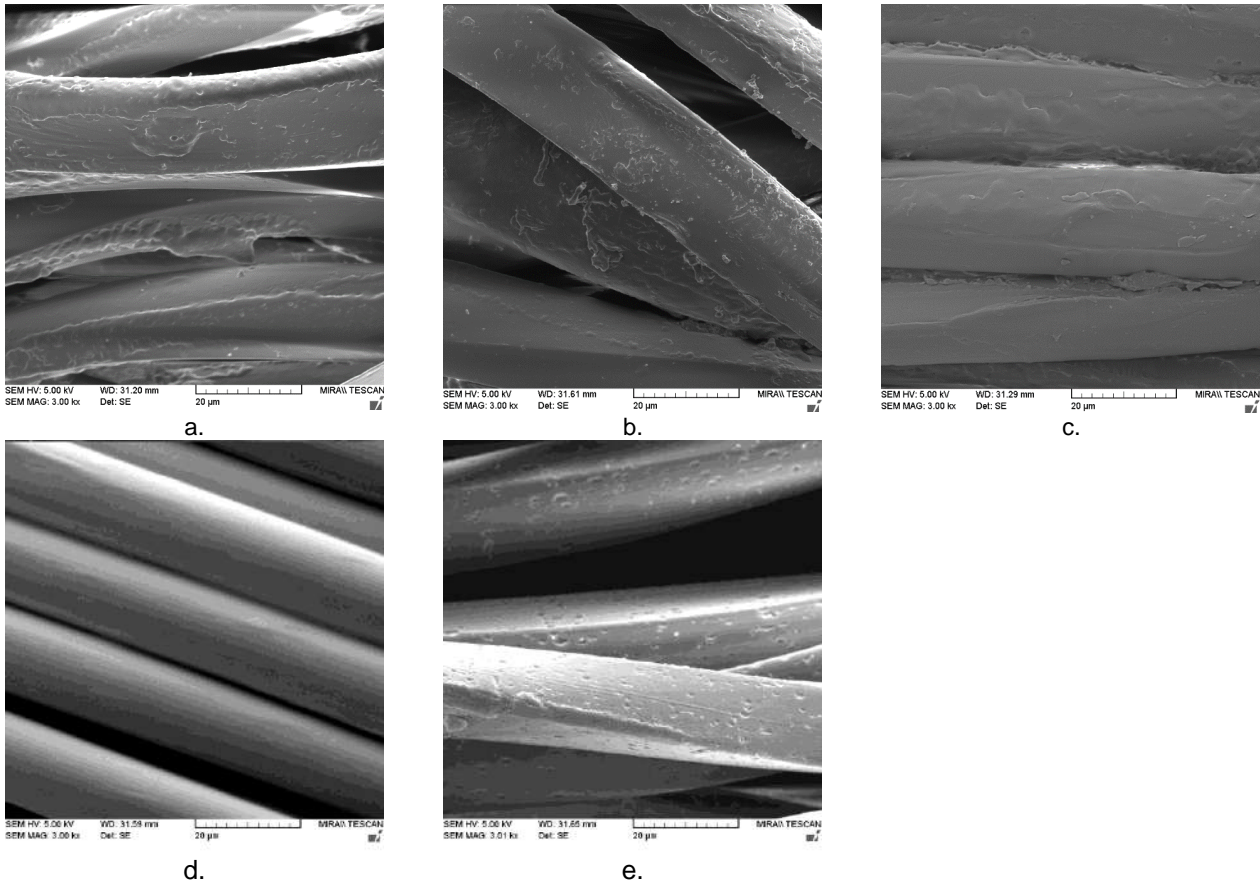
Slika 1: Zeta potencijal poliesterskih tkanina prije i nakon hidrolize amanolipazama ALA i ALAK, a. 60°C-60', b. 60°C-120', c. 100°C-60', d. 100°C-120'

Iz rezultata zeta potencijala poliesterskih tkanina prije i nakon hidrolize amanolipazama ALA i ALAK na 100°C pri 60 min i 120 min vidljivo je da uzorak ALAK-pH 9,0,1-100°C-60' ima ZP -51,18 mV kod pH 8,5. Njegov ZP je najviši u lužnatom mediju u odnosu na druge enzimatski hidrolizirane uzorke. Uzorak ALAK-pH 7-0,1-100°C-60' ima najniži zeta potencijal u lužnatom mediju i iznosi -76,51 mV kod pH 8,13. Uzorak ALA-pH 3,5-0,1-100°C-60' ima gotovo istu krivulju kao i neobrađeni uzorak. Na slici 1d vidljivo je da se povećanjem vremena obrade dodatno smanjuje zeta potencijal enzimatskih uzoraka.

Uzimajući u obzir sve rezultate zeta potencijala, može se zaključiti da je amanolipaza ALAK aktivnija od amanolipaze ALA. Amanolipaza ALAK na 60°C podjednako je učinkovita i u kiselom (pH 3,5) i u lužnatom mediju (pH 9). Uzorak ALAK-pH 3,5-0,1-60°C-60' ima najviši zeta potencijal u lužnatom mediju u odnosu na sve ispitane uzorke. Povećanjem temperature, ali i vremena obrade, enzimatski hidrolizirani uzorci imaju niži zeta potencijal što ukazuje da pri višim temperaturama enzimi postaju neaktivni te ne dolazi do hidrolize.

Na slici 2 prikazane su SEM mikrografije PET vlakana u tkaninama obrađenim amanolipazama pri povećanju od 3000x. Vlakna u neobrađenoj PET tkanini (sl. 2d) imaju glatku površinu. Na SEM slici konvencionalne alkalne hidrolize (sl. 2e) vidljivo je djelovanje lužine na površinu vlakna pri 100 °C. Vidljiva je pojava malih jamica i pukotina na vlaknu što ukazuje na značajno oštećenje vlakna (pad prekidne sile 40 %). Takvo oštećenje nije vidljivo djelovanjem enzima (sl. 2 a-c).

S obzirom na najveći gubitak mase u lužnatom mediju, prikazane su odabrane SEM mikrografije oba enzima pri pH 9. Na sve tri slike vidljivo je ljuštenje koje je posljedica djelovanja enzima na površinu vlakna. Blago ljuštenje površine korelira s malim gubitkom mase. S obzirom da je ljuštenje podjednako zastupljeno na sve tri površine, može se zaključiti da povećanjem temperature sa 60 °C na 100 °C ne dolazi do pojačanog ljuštenja što ukazuje na to da je enzimatsku hidrolizu moguće provesti i pri sniženoj temperaturi, odnosno na 60 °C u trajanju od 60 min. Ukoliko uspoređujemo enzimatsku hidrolizu s neobrađenim uzorkom ili konvencionalnom alkalnom hidrolizom (sl. 2 d, e) razlike su ipak značajne i jasno vidljive.



Slika 2: SEM mikrografije PET tkanina obrađenih amanolipazama pri povećanju od 3000x: a. ALA-pH 9-0,1-100°C-60, b. ALAK-pH 9-0,1-100°C-60, c. ALAK-pH 9-0,1-60°C-60, d. neobrađeni, e. alkalno hidroliziran NaOH-100°C-60'

4. Zaključak

Provedena je površinska modifikacija PET tkanine enzimatskom hidrolizom s Amano lipazom A iz *Aspergillus niger* (ALA) i Amano lipazom iz *Pseudomonas fluorescens* (ALAK) uz varijaciju pH, temperature i vremena obrade. Učinci su uspoređeni s alkalnom hidrolizom određivanjem promjena mase, prekidne sile i zeta potencijala te SEM analizom. Pokazalo se kako je enzim Amano Lipase A iz *Aspergillus niger* učinkovit u lužnatom mediju, a obradu je moguće provesti i pri nižoj temperaturi od 60 °C iako je obrada na 100 °C učinkovitija. Enzim Amano Lipase iz *Pseudomonas fluorescens* je učinkovit i u kiselom i u lužnatom mediju, no u lužnatom je moguće postići zadovoljavajuće rezultate pri nižoj temperaturi i u kraćem vremenu obrade. S obzirom na dobivene rezultate može se zaključiti da se pravilnim odabirom procesnih parametara mogu postići i energetske i ekonomske uštede za provedbu hidrolize površine PET tkanine.

Zahvala



Rad doktorandice Ivane Čorak sufinanciran je iz „Projekta razvoja karijera mladih istraživača – izobrazba novih doktora znanosti“ Hrvatske zaklade za znanost (HRZZ-DOK-2018-09-4254). Mišljenja, nalazi i zaključci ili preporuke navedene u ovom materijalu isključiva su odgovornost autora i ne odražavaju nužno stajališta Hrvatske zaklade za znanost. Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP-2017-05-8780 Bolničke zaštitne tekstilije. Autori zahvaljuju projektu MI-TSRC za provedenu SEM analizu.

Literatura

- [1] Čunko, R. & Andrassy, M.: *Vlakna*, Zrinski d.d., ISBN 953-155-089-1, Zagreb, (2005)
- [2] Awaja, F. & Pavel, D.: Recycling of PET, *Eur. Polym. J.*, **41** (2005), str. 1453 – 1477., ISSN 0014-3057

- [3] Grancarić, A. M. *i sur.*: Utjecaj obrade na efekte alkalne hidrolize poliestera, *Tekstil* **37** (1988) 12, str. 689-694, ISSN 0492-5882
- [4] Grancarić, A. M. *i sur.*: Modifikacija poliesterskog vlakna, *Polimeri* **12** (1991) 9-12, str. 141-146, ISSN 0351-1871
- [5] Čorak, I. & Tarbuk, A.: The process sustainability for polyester fabric hydrolysis, *Book of Proceedings of the 10th International textile, clothing & design conference - Magic world of textiles / Dragčević, Z.; Hursa Šajatović, A.; Vujasinović, E. (ur.)*, str. 355-360, ISSN 1847-7275, Zagreb, University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, 2022
- [6] Čorak, I.; Pušić, T. & Tarbuk, A.: Enzimi za hidrolizu poliestera, *Tekstil* **68** (2019) 7-9, str. 142-151, ISSN 0492-5882
- [7] Tarbuk, A. *et al.*: The influence of lipase surface modification to polyester crystallinity and absorbability, *Book of Proceedings of the 13th International Scientific-professional Symposium Textile Science and Economy*, Petrak, S.; Zdraveva, E.; Mijović, B. (ur.), str. 33-38, ISSN 2584 – 6450, Zagreb, University of Zagreb Faculty of Textile Technology, September 2020., Zagreb, Croatia
- [8] Tarbuk, A., Grancarić, A.M. & Čorak, I.: Cutinase Hydrolysis of Poly(ethylene-terephthalate) Fabric, *Book of Proceedings of the 8th Central European Conference on Fiber-grade Polymers, Chemical Fibers and Special Textiles*, Dekanić, T.; Tarbuk, A. (ur.), str. 97-102, ISBN 978-953- 7105-63-1, Zagreb, University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, (2015)
- [9] Doshi, R. & Shelke, V.: Enzymes in textile industry - An environment-friendly approach, *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, **26** (2001) March-June, str. 202-205, ISSN 0975-1025
- [10] Preša, P. & Forte Tavčer, P.: Pektinaze kot sredstvo za bioizkuhanje, *Tekstilec* **50** (2007) 1-3, str. 16-34, ISSN 2350-3696
- [11] Wu, J. *i sur.*: Eco-friendly surface modification on polyester fabrics by esterase treatment, *Applied Surface Science*, **295** (2014), str. 150–157, ISSN 0169-4332
- [12] Hasan, F.; Ali Shah, A. & Hameed, A.: Industrial applications of microbial lipases, *Enzyme and Microbial Technology*, **39** (2006), str. 235-251, ISSN 0141-0229
- [13] Tarbuk, A. *i sur.*: Eco Surface Modifications of PET Fabric, *Book of Proceedings of the 7th International Textile, Clothing & Design Conference*, Dragčević, Z.; Hursa Šajatović, A.; Vujasinović, E. (ur.), str. 250-255, ISSN 1847-7275, Zagreb, University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, 2014
- [14] El-Shemy, N.S.; El-Hawary, N.S. & El-Sayed, H.: Basic and Reactive-Dyeable Polyester Fabrics Using Lipase Enzymes, *J Chem Eng Process Technol* **7** (2016) 1, 1000271, 5, ISSN: 2157-7048
- [15] Đorđević, D. *i sur.*: Primjena komercijalnog i laboratorijskog enzimskog preparata lipaze u obradi poliesterske tkanine radi poboljšanja sorpcijskih i bojadiarskih svojstava, *Tekstil* **55** (2006) 8, str. 410-418, ISSN 0492-5882
- [16] Ferreira, I. M. *i sur.*: Immobilization of Amano lipase from *Pseudomonas fluorescens* on silk fibroin spheres: an alternative protocol for the enantioselective synthesis of halohydrins, *RSC Advances* (2017), 7, 12650–12658, ISSN 2046-2069
- [17] Grancarić, A. M.; Tarbuk, A. & Pušić, T.: Electrokinetic Potential of Some of the Most Important Textile Fabrics; *Coloration Technology* **121** (2005) 4, 221-227, ISSN 1472-3581

PRIMARNI OSJETNI INDEKSI STARENE POLIESTERSKE TKANINE

PRIMARY SENSORY INDICES OF POLYESTER FABRIC EXPOSED TO AGING

Ana ŠARAVANJA^{*}; Tihana DEKANIĆ; Tanja PUŠIĆ & Tea KAURIN

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska;
ana.saravanja@ttf.unizg.hr, tihana.dekanic@ttf.unizg.hr, tanja.pusic@ttf.unizg.hr, tea.kaurin@ttf.unizg.hr
^{*} Adresa za korespondenciju: ana.saravanja@ttf.unizg.hr

Sažetak: Općepoznato je da je čovjek nekontroliranim i nepažljivim ponašanjem utjecao na ravnotežu u životnom ciklusu Zemlje. Uvidom u problematiku otpuštanja mikroplastike iz poliesterske tkanine, postalo je važno istraživati njenu površinsku strukturu. Utjecaj atmosferilija, kao što je sunčeva energija, vlaga ili oborine dodatno oslabljuju poliestersku tkaninu čime povećavaju otpuštanje mikroplastike. Zbog dugotrajnog ispitivanja u realnim vanjskim uvjetima te u svrhu njihove ubrzane simulacije, standardna poliesterska tkanina je podvrgnuta procesu umjetnog starenja. Umjetno stara poliesterska tkanina karakterizirana je na uređaju za mjerenje opipa tkanine Fabric Touch Testeru (FTT). Na standardnoj te starenoj standardnoj poliesterskoj tkanini mjereni su moduli i fizikalna svojstva povezana s opipom. Za svaku stranu tkanine upotrijebljeni su indeksi koji se koriste za predviđanje subjektivnog primarnog osjeta. Analiza tkanine starene u okviru ovog rada u odnosu na standardnu poliestersku tkaninu nije dala neke značajnije promjene kojima bi se ušlo u dubinu karakterizacije parametara koje nudi FTT. Iako nisu postignuti očekivani rezultati, ova analiza je dala smjernice za daljnja istraživanja. Jedna od ideja je produžiti vrijeme izlaganja procesu umjetnog starenja, te obuhvatiti različite parametre poput načina izlaganja i utjecaj atmosferilija.

Abstract: It is known that human uncontrolled and careless behavior, has disrupted the balance of the life cycle of the Earth. With regard to the issue of evaluating the release of microplastics from polyester fabrics, it became important to study the surface structure of the fabric itself. The influence of weather conditions such as solar energy, moisture or precipitation further weakens the polyester fabric and increases the release of microplastics. Based on the long-term tests under real outdoor conditions and for the purpose of their accelerated simulation, the standard polyester fabric is subjected to an artificial ageing process. The artificially aged polyester fabric was characterized using Fabric Touch Tester (FTT). The modulus and physical properties related to touch were measured on standard and aged standard polyester fabric. The indices were used for each side of the fabric to predict the subjective primary sensory indices. Analysis of the aged fabric compared with the standard polyester fabric did not reveal significant changes that would go into depth in characterizing the parameters of the FTT. Although the expected results were not achieved, this analysis provided guidelines for further research. One of the idea is to extend the duration of artificial ageing and include different parameters such as the type of exposure and the influence of weathering.

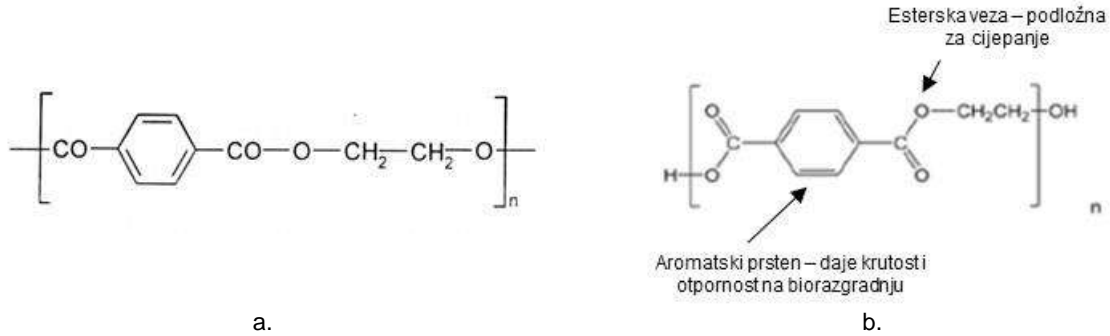
Ključne riječi: Poliester; umjetno starenje; površinska struktura poliester; opip

Keywords: Polyester; artificial ageing; surface structure of polyester; touch

1. Uvod

Odjevni predmet jedan je od najintimnijih tekstilnih proizvoda koji je povezan sa svakodnevnicom ljudskog života te je u interakciji s dijelovima ljudskog tijela. Najveći organ ljudskog tijela je koža, koja sadrži različite receptore koji služe za doživljavanje okoline – osjetila dodira, boli, pritiska, temperature. Stoga, ispitivanje primarnog osjetnog indeksa i udobnosti tekstilnih proizvoda ima temeljno značenje za poboljšanje svojstava, pogotovo ako je riječ o sintetskim materijalima [1].

Poliesterska vlakna, kratica po Međunarodnoj kratici BISFA (*International Bureau for the Standardisation of Man-made Fibres*) je PES, čini linearna poliesterska makromolekula gdje je maseni udio 85% dialkohola i estera tereftalne kiseline. Na slici 1 prikazana je strukturna formula poli(etilen tereftalata) gdje se uočava karakteristična esterska veza (-CO-O-) [2] i njegove strukturalne značajke.



Slika 1: a. Strukturna formula poli(etilen-tereftalata); b. Strukturnalne značajke PET-a

Odlučujući čimbenici u primjeni vlakana su površinska svojstva. Neke osnovne karakteristike poliesterskih vlakana su prikazane u tablici 1.

Tablica 1: Svojstva nemodificiranih PES vlakna [3]

Duljina	Ovisno o namjeni; proizvode se kao filament ili vlasak (32-150 mm)
Finoća	Za vlasasta vlakna se kreće između 1,3-22,0 dtex, a za filamente 22,0 do iznad 80,0 dtex
Čvrstoća	Za standardna vlakna 30-70 cN/tex, a 60-90 cN/tex za vlakna velike čvrstoće
Prekidno istezanje	Standardni tip 20-30% te za vlakna velike čvrstoće 8-20%
Gustoća	1,38-1,51 g/cm ³
Repriza	0,4%
Temperatura staklišta, T _g	220-240 °C
Kemijska svojstva	Vlakna osjetljiva na lužine, otporna na kiseline, organska otapala i oksidativna sredstva

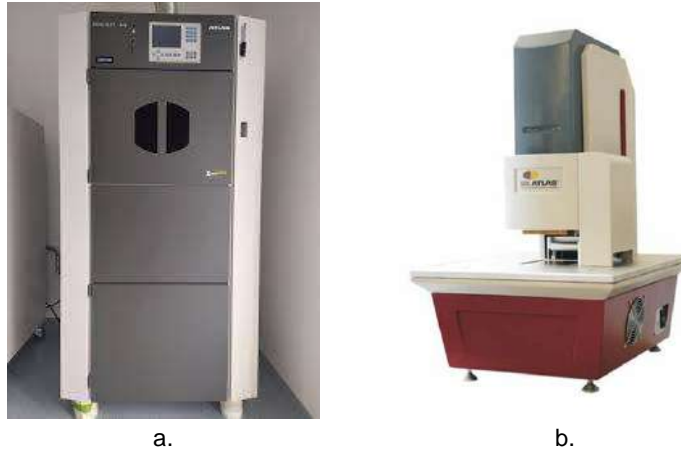
Osim karakteristika koje su prikazane u tablici 1, hidrofobnost je negativno svojstvo koje rezultira smanjenom apsorpcijom vode i pokazuje tendenciju stvaranja pilinga [4]. Poliester je lagan i nije biorazgradiv, čemu je uzrok manjak polarnih skupina na konfiguracijskim lancima [5].

U posljednje vrijeme se sve veći interes istraživača usmjerava na svojstva tekstilnih materijala u aspektu prirodnog starenja [6]. Zbog dugotrajnosti izlaganja u realnim uvjetima, interes istraživača je usmjeren na proces umjetnog starenja. Kombinacijom parametara izlaganja prilikom umjetnog starenja, vremena, temperature ili intenziteta može se pratiti tijek razgradnje tekstilnih materijala. Nađeno je da proces umjetnog starenja uzrokuje razgradnju samog poliestera na molekularnoj razini [7].

Ovo istraživanje usmjereno je na efekt umjetnog starenja standardne poliesterske tkanine u laboratorijskim uvjetima kroz djelovanje imitacije Sunčevog zračenja kako bi se dobio uvid u fizikalne karakteristike umjetno starenog poliestera i njegovog primarnog osjetnog indeksa u odnosu na početnu standardnu poliestersku tkaninu.

2. Eksperimentalni dio

Standardna poliesterska tkanina (PES), PN-01, CFT, Nizozemska, podvrgnuta je simulaciji umjetnog starenja u uređaju Xenotest 440, SDL Atlas (slika 2a) u vremenskom periodu od 85 h (85H) prema normi ISO 4892-2+A1:2013 [8]. 1 sat osunčavanja u uređaju Xenotest 440 pri zadanim uvjetima odgovara 10 sati izlaganja u realnim uvjetima.



Slika 2: Prikaz uređaja: a. Xenotest 440, *SDL Atlas*; b. Fabric Touch Tester, FTT M293, *SDL Atlas*

Standardna poliesterska tkanina (N) i umjetno starena poliesterska tkanina (85H) ispitana je na uređaju za ocjenu opipa, *Fabric Touch Tester*, FTT M293, *SDL Atlas* (slika 2b), koji istovremeno mjeri 13 fizikalnih svojstava tkanine povezanih s četiri modula: kompresija, toplina, savijanje i površinski modul. Pomoću računalnog sustava izračunavaju se primarna svojstva dodira – glatkoća, mekoća, toplina te ukupni osjećaj dodira [9-11].

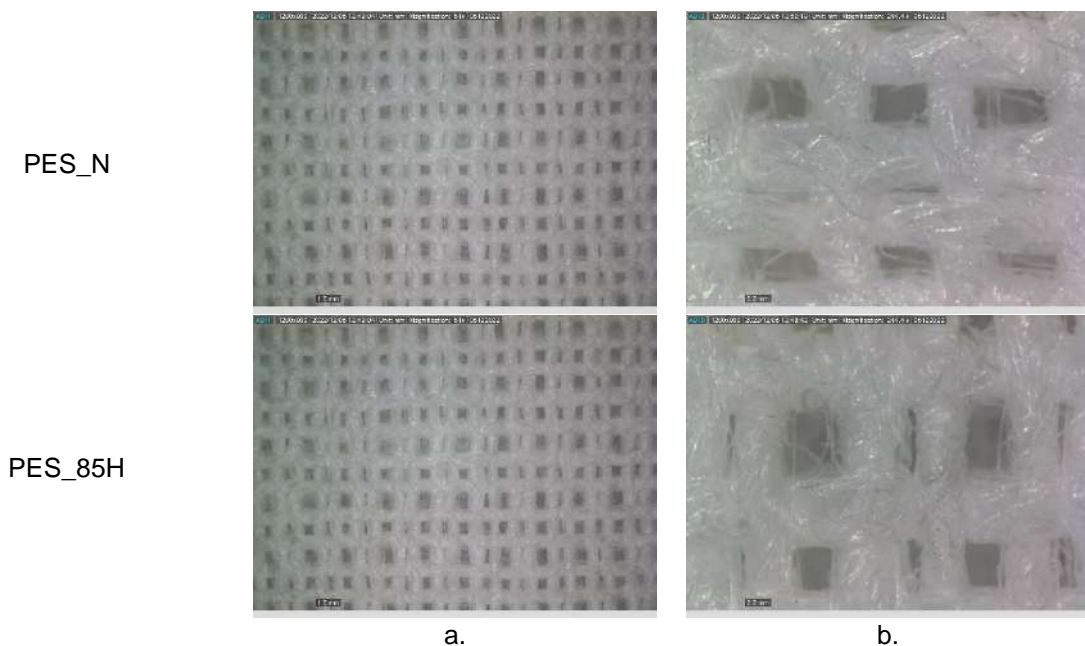
3. Rezultati i rasprava

Radi lakšega praćenja dobivenih rezultata, u tablici 2 prikazane su oznake i opis uzoraka.

Tablica 2: Oznake i opis uzoraka

Uzorak	Opis uzorka
PES_N	Standardna poliesterska tkanina
PES_85H	Umjetno starena poliesterska standardna tkanina u vremenu od 85 sati

Mikroskopsko promatranje uzoraka standardne poliesterske tkanine i umjetno starene poliesterske tkanine provedeno je digitalnim mikroskopom Dino-Lite AM7013, tip Premier, s povećanjima 50x i 250x, slika 3.



Slika 3: Mikroskopske slike standardne poliesterske i umjetno starene tkanine uz povećanje: a. 50x; b. 250x

Iz mikroskopskih slika može se uočiti da nema vidljive promjene u porama poliesterske tkanine prije i nakon procesa umjetnog starenja.

Ocjene fizikalnih svojstva standardne i umjetno starene poliesterske tkanine prikazani su u tablici 3. Viša ocjena znači višu razinu udobnosti po određenoj karakteristici / svojstvu.

Tablica 3: Ocjene fizikalnih svojstva tkanina

Uzorak	Savijanje		Kompresija					Površinsko trenje	
	BARa	BARe	T	CW	CRR	CAR	RAR	SFCa	SFCe
PES_N	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	5,0	2,0	1,0	2,0
PES_85H	3,0	2,0	1,0	1,0	3,0	2,0	1,0	2,0	2,0

a-smjer osnove; e-smjer potke

Ocjena savojnih karakteristika uzorka standardne poliesterske tkanine u smjeru osnove i u smjeru potke iznosi 1,0. Kod umjetno starene poliesterske tkanine dolazi do promjene savojnih svojstava, u odnosu na standardnu poliestersku tkaninu; u smjeru osnove savojna krutost iznosi 3,0, a u smjeru potke 2,0. Tijekom procesa starenja savojna svojstva tkanine poboljšavaju se u smjeru osnove. Tkanina postaje savojno podatnija. Kompresijska svojstva prate se parametrima: *CRR* – brzina oporavka nakon kompresije; *CW* – rad pri kompresiji; *T* – debljina; *RAR* – Prosječna krutost tlačnog oporavka i *CAR* – prosječna tlačna krutost.

Ocjena debljine (*T*) standardne poliesterske tkanine i umjetno starene tkanine nije se mijenjala. Ocjena *CRR* se smanjuje kod umjetno starene poliesterske tkanine. Kao i *CRR*, ocjena *CAR* se smanjuje starenjem poliesterske tkanine. Parametar koeficijenta trenja površine ocjenjuje se veličinom *SFC*, preko koeficijenta trenja površine. Ocjena površinskog trenja standardne poliesterske tkanine u smjeru osnove iznosi 1,0 dok u smjeru potke iznosi 2,0. Kod umjetno starene poliesterske tkanine ocjena koeficijenta trenja površine u oba smjera iznosi 2,0, a mogući uzrok su preparacije na površini poliesterske tkanine [12].

Ocjene ukupnog opipa primarnog osjeta standardne poliesterske tkanine i umjetno starene poliesterske tkanine prikazane su u tablici 4.

Tablica 4: Prikaz ocjena primarnog osjetnog indeksa

Uzorak	Glatkoća	Mekoća	Toplina	Potpuni aktivni osjećaj dodira
PES_N	5,0	5,0	1,0	5,0
PES_85H	2,0	1,0	3,0	2,0

Na temelju dobivenih rezultata u tablici 4, svojstva standardne i umjetno starene poliesterske tkanine se razlikuju. Ocjena glatkoće umjetno starene poliesterske tkanine opada na 2,0 u odnosu na standardnu poliestersku tkaninu, 5,0. Ocjena mekoće umjetno starene poliesterske tkanine smanjuje se i iznosi 1,0. Ocjena ukupnog aktivnog dodira umjetno starene tkanine iznosi 2,0, a kod standardne poliesterske tkanine ocjena iznosi 5,0. Iz svega navedenog može se reći da tkanina nakon procesa umjetnog starenja gubi svoju glatkoću, mekoću i opipna svojstva.

4. Zaključak

U ovom istraživanju su analizirana svojstva i umjetno starene standardne poliesterske tkanine. Učinak procesa umjetnog starenja na svojstva standardne poliesterske tkanine praćen je preko parametara karakterizacije na uređaju FTT kako bi se dobila ocjena primarnog osjetnog indeksa. Ocjene fizikalnih svojstava te primarnog osjetnog indeksa ukazuju da tkanina nakon izlaganja umjetnom starenju postaje mekša u odnosu na standardnu poliestersku tkaninu, a gubi svoju glatkoću, mekoću i opip. Primijenjena metoda, FTT, omogućava usporedbu uzoraka nakon različitih djelovanja/utjecaja, završnih obrada, pranja, omekšavanja, ili izlaganja umjetnom starenju. Ovi rezultati su osnova za buduća istraživanja kako bi se sustavnije definirali odnosi između svih parametara i indeksa. Isto tako predstavljaju pomak u smjeru izrade standarda ispitivanja tekstilnog materijala.

Zahvala



Rad doktorandice Ane Šaravanja sufinanciran je dijelom iz „Projekta razvoja karijera mladih istraživača – izobrazba novih doktora znanosti“ Hrvatske zaklade za znanost (HRZZ- DOK-2021-02-6750).

Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom IP-2020-02-7575, Procjena otpuštanja čestica mikroplastike iz poliesterskih tekstilija u procesu pranja, InWaShed MP.

Zahvala potpori znanstveno-istraživačkom radu SuZ,TP5/22, Utjecaj umjetnog starenja na svojstva poliesterske tkanine.

Zahvala projektu KK.01.1.1.02.2024 Modernizacija infrastrukture Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil (MI-TSRC) za financiranje obnove objekta i opremanja 4 laboratorija Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil.

Literatura

- [1] Hu, J. Y. *i sur.*: Fabric Touch Tester: Integrated evaluation of thermal–mechanical sensory properties of polymeric materials, *Polymer testing*, **25** (2006) 8, 1081-1090, ISSN 0142-9418
- [2] Čunko, R., Andrassy, M.: *Vlakna*, Zrinski d.d., ISBN 953-155-089-1, Čakovec, (2005)
- [3] Levinson M. I.: Rinse-Added Fabric Softener Technology at the Close of the twentieth century, *Journal of Surfactants and Detergents* **2** (1999), 223-235, ISSN 15589293
- [4] Billig, S.: Abbau von Polyethyleneterephthalat mit PET-Hydrolasen aus Thermobifida fusca KW3, Von der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Chemnitz, den 06.09.2011.
- [5] Zimmermann, W. *i sur.*: Biokatalytische Modifikation von Polyesterfaser-Oberflächen zur Herstellung innovativer Textilien, Projektentblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Leipzig 2015
- [6] Frigione, M., Rodríguez-Prieto, A.: Can Accelerated Aging Procedures Predict the Long Term Behavior of Polymers Exposed to Different Environments? *Polymers*, **13** (2021) 16, 2688, ISSN 2073-4360
- [7] Lemmi, T. S. *i sur.*: Effect of thermal aging on the mechanical properties of high tenacity polyester yarn, *Materials*, **14** (2021) 7,1666, ISSN 1996-1944
- [8] ISO 4892-2:2013 — Plastika — Metode izlaganja laboratorijskim izvorima svjetlosti — 2. dio: Ksenonske lučne svjetiljke
- [9] Liao, X. *i sur.*: A simultaneous measurement method to characterize touch properties of textile materials, *Fibers and Polymers*, **15** (2014) 7, 1548-1559., ISSN 12299197
- [10] Haji Musa, A. *i sur.*: Practical considerations of the FTT device for fabric comfort evaluation. *Journal Fashion Technology & Textile Engineering*, (2018), 1-4, ISSN 2574-8114
- [11] Vasile, S. *i sur.*: FTT comfort indices of ring-spun and air-jet knitted fabrics with post-treatments. In: IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, **254** (2017) 18, 182016
- [12] Kaurin, T., Pušić, T., Čurlin, M.: Biopolymer Textile Structure of Chitosan with Polyester. *Polymers*, **14** (2022) 15, 3088, ISSN 2073-4360

UTJECAJ OKSIDACIJSKIH SVOJSTVA OTOPINE NA MOGUĆNOST UPORABE KITOZANA U OBRADI TEKSTILNOG MATERIJALA

THE INFLUENCE OF THE OXIDATIVE PROPERTIES OF THE SOLUTION ON THE POSSIBILITY OF USING CHITOSAN IN THE PROCESSING OF TEXTILE MATERIALS

Petra MIHOVILOVIĆ*; Branka VOJNOVIĆ & Livio RACANÉ

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; petra.mihovilovic@tff.unizg.hr;
branka.vojnovic@tff.unizg.hr; livio.racane@tff.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: petra.mihovilovic@tff.unizg.hr

Sažetak: Posljednjih godina primjena kitozana doživjela je ekspanziju u raznim industrijskim granama, uključujući biomedicinu, inženjerstvo, farmaceutsku i prehrambenu industriju, ponajprije zbog jedinstvene kombinacije fizikalno-kemijskih svojstava (biorazgradivost, biokompatibilnost, ne toksičnost, reaktivnost i antimikrobno djelovanje). U novije vrijeme se pokazalo da kitozan ima i široku primjenu u tekstilnoj industriji gdje se koristi u modifikaciji površine poliesterskih tkanina u svrhu smanjenja fibrilacije, pri antimikrobnoj obradi i sl. Međutim nije u potpunosti poznato na koji način oksidacijska svojstva otopine utječu na ponašanje kitozana u otopini, a time i na mogućnost njegove primjene na tekstilne materijale. Stoga je cilj ovoga rada bio ispitati utjecaj oksidacijskih svojstava otopine na mogućnost detekcije otpuštenog kitozana u otpadnim vodama iz procesa pranja tekstilnog materijala. U tu svrhu provedena je optimizacija spektrofotometrijske metode temeljene na jednostupanjskoj reakciji depolimerizacije kitozana u otopini natrijeva nitrita, pri čemu nastaje međuprodukt 2,5-anhidro-D-manoza. Nastali međuprodukt podložan je reakciji kondenzacije s tiobarbiturnom kiselinom dajući ljubičasto obojeni produkt s maksimumom apsorpcije pri $\lambda = 565$ nm. Optimizacija metode uključuje ispitivanje uvjeta hidrolize, određivanje optimalne koncentracije reagensa, temperature i pH vrijednosti reakcijske smjese. Nažalost, utvrđeno je da se uslijed brojnih kompetitivnih reakcijskih puteva formirane alkildiazonijeve soli raspadaju dajući kompleksnu smjesu produkata. Upravo iz ovog razloga bilo je nemoguće provesti specifičnu kondenzaciju 2,5-anhidro-D-manoze s tiobarbiturnom kiselinom, pri čemu kao glavni produkt reakcije prevladava N-nitrozamin, nastao u reakciji nitrozil kationa s tiobarbiturnom kiselinom. Stoga, ekstremni reakcijski uvjeti, poput visoke ili niske pH vrijednosti otopine te prisutnost jakih oksidansa/reducensa, značajno utječu na stabilnost same molekule kitozana, a time i na mogućnost njegove primjene na tekstilne materijale.

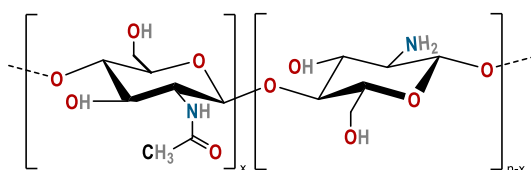
Abstract: In recent years, the application of chitosan has expanded in various industries, including biomedical, engineering, pharmaceutical and food industries, mainly due to its unique combination of physicochemical properties (biodegradability, biocompatibility, non-toxicity, reactivity and antimicrobial activity). Recently, chitosan has been shown to have wide application in the textile industry, where it is used for modifying the surface of polyester fabrics to reduce fibrillation, for antimicrobial treatment, and so on. However, it is not fully known how the oxidation properties of the solution affect the behaviour of chitosan in solution, and thus the possibility of its application in textile materials. The aim of this work was therefore to investigate the influence of the oxidising properties of the solution on the possibility of detecting released chitosan in wastewater from the textile washing process. For this purpose, an optimisation of the spectrophotometric method was carried out based on the one-step reaction of depolymerisation of chitosan in sodium nitrite solution, forming the intermediate 2,5-anhydro-D-mannose. The resulting intermediate undergoes a condensation reaction with thiobarbituric acid, yielding a purple coloured product with an absorption maximum at $\lambda = 565$ nm. Optimisation of the method involves testing the hydrolysis conditions, determining the optimum reagent concentration, temperature and pH of the reaction mixture. Unfortunately, it was found that the alkyl diazonium salts formed decompose due to numerous competing reaction pathways, resulting in a complex mixture of products. For this very reason, it was impossible to carry out the specific condensation of 2,5-anhydro-D-mannose with thiobarbituric acid, where the main product of the reaction is N-nitrosamine, which is formed when nitrosyl cations react with thiobarbituric acid. Therefore, extreme reaction conditions, such as high or low pH values of the solution and the presence of strong oxidising/reducing agents, significantly affect the stability of the chitosan molecule itself and thus the possibility of its use in textile materials.

Ključne riječi: čestice mikrolastike, kitozan, otpadne vode, tekstil, natrijev nitrit, tiobarbiturna kiselina

Keywords: microplastic particles, chitosan, wastewater, textiles, sodium nitrite, thiobarbituric acid

1. Uvod

Kitozan, kao deacetilirani oblik hitina, pripada skupini linearnih polisaharida u kojem su *N*-acetil-2-amino-2-deoksi-D-glukopiranoza (*N*-acetil-glukozamin, GlcNAc) i 2-amino-2-deoksi-D-glukopiranoza (glukozamin, GlcN) povezani $\beta(1\rightarrow4)$ glikozidnom vezom (Slika 1) [1]. Stoga pojam kitozan obuhvaća skupinu potpuno i djelomično deacetiliranog hitina, pa tako nije jednoznačno definirana nomenklatura u pogledu strukturnih razlika hitina i kitozana [2].

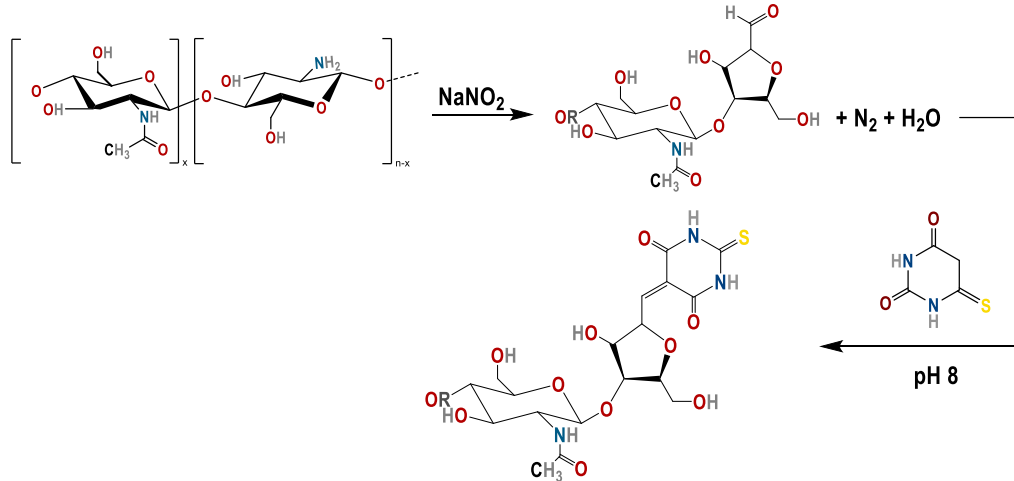


Slika 1: Struktura kitozana. Oznaka x predstavlja broj GlcNAc, dok oznaka $(n-x)$ predstavlja broj GlcN jedinica

Sve veći interes za kitozan utemeljen je na mnogobrojnim prikladnim biološkim i tehnološkim svojstvima, poput biorazgradivosti, biokompatibilnosti, netoksičnosti, dobre propusnosti vlage, visokoj sposobnosti adsorpcije te antimikrobnog djelovanja. Nadalje, kao drugi najzastupljeniji prirodni materijal, hitin predstavlja gotovo neograničenu količinu sirovine za proizvodnju kitozana [1, 2, 3]. Važno je za naglasiti da su ta svojstva usko povezana s fizikalno-kemijskim svojstvima polimera (molekulska masa, stupanj deacetilacije, polidisperznost, kristaliničnost), koja pak ovise o izvoru hitina i uvjetima njegovog pročišćavanja. Primjerice mogućnost uporabe kitozana u obradi tekstilnih materijala ponajviše ovisi o stupnju deacetilacije, što je rezultat visokog udjela primarnih amino skupina. Pri niskim pH vrijednostima, kitozan ($pK_a = 6,5$) poprima oblik kationskog polielektrolita, što ga čini topljivim u vodenom mediju, a ujedno i omogućava njegovu interakciju s negativno nabijenom površinom materijala [2, 3].

Kitozan se već uveliko koristi u tekstilnoj industriji, od predobrade tekstila preko bojadisanja, tiska pa do funkcionalne završne obrade tkanina, ali i kao flokulant u svrhu uklanjanja bojila iz otpadnih voda [3, 4]. Povećana uporaba kitozana u obradi tekstilnih materijala ukazala je na potrebu za razvojem brze i osjetljive metode za kvantifikaciju kitozana u vodama nakon obrade i pranja tekstilija. Unatoč dostupnosti više metoda za kvantitativno određivanje kitozana, za sada ne postoji odgovarajuća metoda za spektrofotometrijsko određivanje kitozana. Većina razvijenih spektrofotometrijskih metoda temelji se na derivatizaciji slobodnih amino skupina s kolorimetrijskim reagensom. Jedna od najčešće korištenih metoda je kompleksiranje aminogluoze s ninhidrinom [5]. Problem ovakvih metoda je što direktno ovise o broju slobodnih amino skupina, odnosno stupnju deacetilacije. Pri tome treba uzeti u obzir da kitozan ne sačinjavaju pojedinačni polimeri ujednačene i definirane strukture, već se radi o skupini molekula s razlikama u sastavu, veličini i distribuciji monomera unutar polimerne strukture. Stoga ne iznenađuje loša ponovljivost u eksperimentalnim rezultatima, odnosno nerijetko dolazi do odstupanja od linearnosti pri pojedinim koncentracijama kitozana [1, 6].

Noviji pristup kvantifikaciji kitozana utemeljen je na potpunoj hidrolizi polisaharida na monomerne jedinice, koje se zatim podvrgavaju reakciji sa specifičnim kolorimetrijskim reagensom. Jednu takvu spektrofotometrijsku metodu razvio je Badawy, a temelji se na jednostupanjskoj reakciji depolimerizacije kitozana. Nastali međuprodukt se zatim podvrgava reakciji kondenzacije s tiobarbiturnom kiselinom. Reakcijski put, prikazan na Slici 2, uključuje deaminaciju 2-acetamido-2-deoksi- β -D-glukopiranoze pri čemu novonastali reducirajući kraj sadrži 2,5-anhidro-D-manozu. Formirana 2,5-anhidro-D-manoza u svojoj strukturi sadrži aldehidnu skupinu, koja ulazi u reakciju s tiobarbiturnom kiselinom formirajući ljubičasti kompleks s maksimumom apsorpcije pri $\lambda = 565$ nm. Prema autoru, reakcija depolimerizacije kitozana koristeći otopinu natrijeva nitrita je brza, selektivna i ne dolazi do formiranja neželjenih sporednih produkata. Tako jednoznačno definirana stehiometrija reakcije, odnosno količina kitozana u otopini direktno je proporcionalna količini formiranog kondenzacijskog produkta [7].



Slika 2: Predloženi reakcijski put spektrofotometrijske metode za kvantifikaciju kitozana [7]

Cilj ovoga rada bio je optimizirati reakcijske uvjete za određivanje kitozana u efluentu od pranja kitozanom obrađenih tekstilnih materijala. Pri tome su se nastojali odrediti uvjeti hidrolize kitozana, određivanje optimalne koncentracije reagensa, temperature i pH vrijednosti reakcijske smjese. Naglasak je upravo bio na ispitivanju utjecaja pH ovisnosti reakcijske smjese s obzirom da se radi o uzorku alkalnog karaktera (vodena kupelj zaostala nakon pranja tekstilnog materijala u suspenziji deterdženta), dok sam kitozan pokazuje slabu topljivost pri višim pH vrijednostima. Imajući u vidu da potencijalna spektrofotometrijska metoda koristi reagens jakih oksidacijskih svojstava ujedno se htjelo ispitati kako oksidacijska svojstva otopine utječu na samu stabilnost kitozana, a time i na njegovu primjenu u obradi tekstilnih materijala.

2. Eksperimentalni dio

2.1 Kemikalije

U eksperimentima korištene su kemikalije visoke čistoće: niskomolekularni kitozan (DA > 75%, MW = 50 – 190 kDa), tiobarbiturna kiselina (≥98%) i natrijev nitrit (≥+99%) tvrtke Sigma Aldrich, SAD. Ishodna otopina kitozana pripravljena je otapanjem 100 mg kitozana u 100 cm³ 1% octene kiseline uz zagrijavanje na magnetnoj miješalici. Standardna otopina natrijeva nitrita pripravljena je otapanjem 1,72 g krutine u 50 cm³ destilirane vode. Naposljetku je pripravljena ishodna otopina tiobarbiturne kiseline (TBA) otapanjem 1,14 g u 250 cm³ smjese H₂O:C₂H₅OH (v/v=1:2). Tako pripravljene otopine čuvane su u hladnjaku na temperaturi od 0 do 4 °C.

2.2 Optimizacija reakcijskih uvjeta

U svrhu utvrđivanja reakcijskih uvjeta proveden je sljedeći eksperiment. U reakcijsku čašu pipetirana je ishodna otopina kitozana ($\gamma_0 = 1 \text{ g dm}^{-3}$) tako da konačna koncentracija kitozana u reakcijskoj smjesi iznosi $\gamma = 60 \text{ mg dm}^{-3}$, koja odgovara maksimalnoj očekivanoj vrijednosti kitozana zaostalog u vodenim kupeljima nakon pranja tekstilija. Nadodan je unaprijed određeni volumen vodene otopine natrijeva nitrita ($c_0 = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$) na način da konačna koncentracija NaNO₂ u svakoj reakcijskoj smjesi poprima vrijednosti koncentracija u rasponu $c = 0,005\text{--}0,075 \text{ mol dm}^{-3}$. Tako pripravljena reakcijska smjesa zagrijavana je na temperaturi od 80 °C u vodenoj kupelji u vremenskom periodu od 30 minuta, nakon čega je pH vrijednost reakcijske smjese namještena na 8. Naposljetku je dodana vodena otopina tiobarbiturne kiseline ($c_0 = 0,04 \text{ mol dm}^{-3}$) tako da konačna koncentracija iznosi $c = 0,02 \text{ mol dm}^{-3}$ i smjesa je zagrijavana dodatnih 10 minuta na temperaturi od 80 °C. Nakon hlađenja reakcijska smjesa je razrijeđena 1% octenom kiselinom na volumen $V = 50 \text{ cm}^3$ i snimljen je apsorpcijski spektar svake reakcijske smjese na UV/Vis spektrofotometru (Perkin Elmer, Lambda 20) u rasponu valnih duljina $\lambda = 400\text{--}700 \text{ nm}$, dok je kao slijepa proba korištena reakcijska smjesa bez dodatka kitozana ($c(\text{NaNO}_2) = 0,075 \text{ mol dm}^{-3}$). Dodatno je ispitan utjecaj korištenog medija na spektar kondenzacijskog produkta na način da se umjesto 1% octenom kiselinom reakcijska smjesa razrijedila destiliranom vodom.

2.3 Ispitivanje utjecaja temperature i pH vrijednosti na spektroskopska svojstva kondenzacijskog produkta

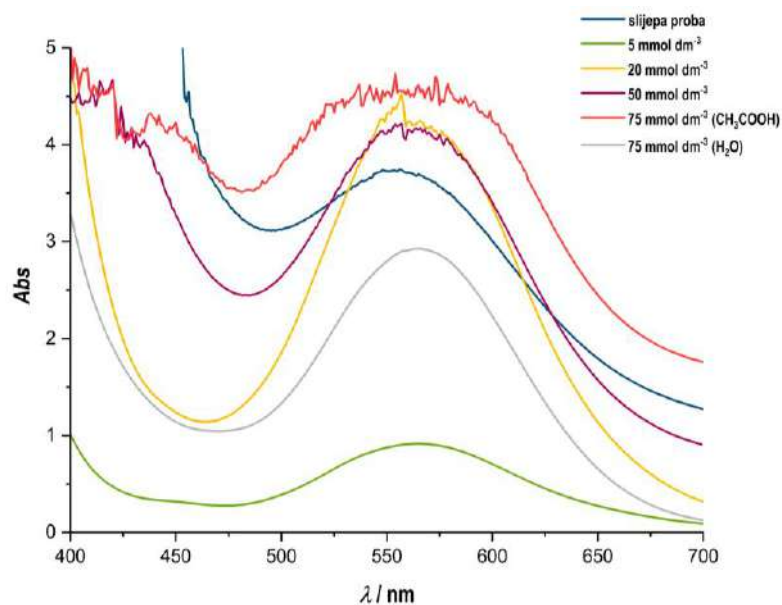
Budući da svojstva kitozana uvelike ovise o pH vrijednosti otopine, provedena je serija eksperimenata kojima se nastojao ispitati utjecaj pH vrijednosti i temperature na spektralne karakteristike svake pojedine

komponente smjese, kao na njihovu međusobnu kombinaciju. Budući da su prethodni eksperimenti pokazali da korištenjem otopine kitozana koncentracije $\gamma = 60 \text{ mg dm}^{-3}$ se dobivaju vrijednosti apsorbancije u blizini gornjih granica mjernog područja instrumenta, u narednim eksperimentima pripravljene su otopine kitozana konačne koncentracije $\gamma = 50 \text{ mg dm}^{-3}$.

Prvo je ispitan utjecaj temperature i pH vrijednosti otopine na svaku pojedinu komponentu smjese. Otopine su pripravljane razrjeđivanjem ishodnih otopina tako da koncentracija odgovara konačnoj koncentraciji svakog pojedinog spoja u reakcijskoj smjesi ($\gamma (\text{CH}) = 50 \text{ mg dm}^{-3}$, $c (\text{NaNO}_2) = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ i $c (\text{TBA}) = 0,02 \text{ mol dm}^{-3}$). pH vrijednost svake otopine namještene su u rasponu vrijednosti od 2–10 korištenjem razrijeđenih otopina HCl i NaOH ($c = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$). Ispitivanje temperaturnog utjecaja proveden je na isti način uz dodatno zagrijavanje uzoraka pri temperaturi od $80 \text{ }^\circ\text{C}$ u periodu od 30 minuta. Isti postupak je korišten za ispitivanje utjecaja pH vrijednosti i temperature na apsorpcijske spektre kondenzacijskog produkta sačinjenih od kombinacije dviju komponenti reakcijske smjese kao i cjelokupnu reakcijsku smjesu pri čemu konačna koncentracija svake komponente odgovara konačnoj koncentraciji svakog pojedinog spoja u reakcijskoj smjesi. Apsorpcijski spektri snimljeni su na UV/Vis spektrofotometru (Perkin Elmer, Lambda 20) u rasponu valnih duljina $\lambda = 400\text{--}700 \text{ nm}$, uz korištenje destilirane vode kao slijepe probe.

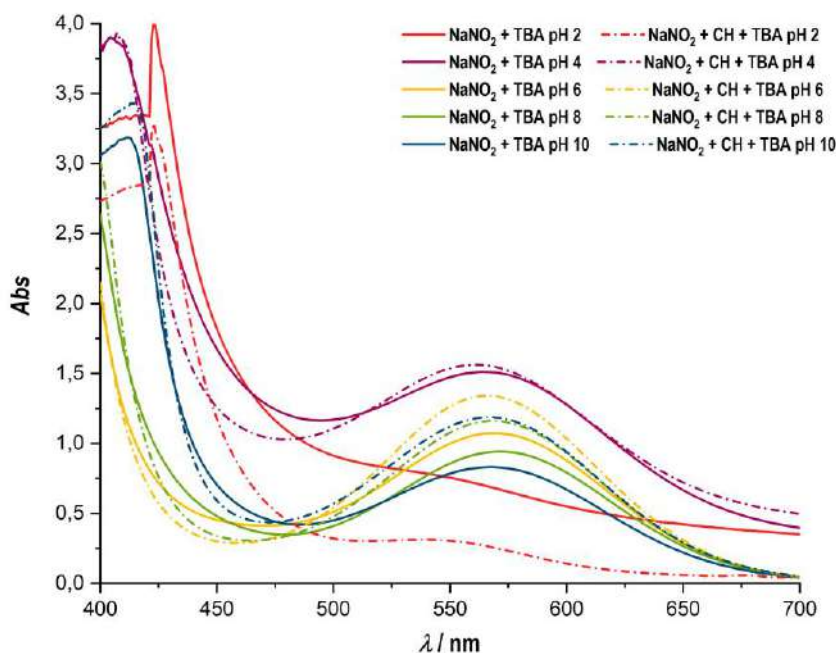
3. Rezultati i rasprava

Najprije su provedena preliminarna ispitivanja reakcijskih uvjeta kako je opisano u Poglavlju 2.2. Temeljem prikazanih UV/Vis spektara na Slici 3 potvrđeno je da dobiveni produkt apsorbira u vidljivom dijelu elektromagnetskog spektra s maksimumom apsorpcije pri $\lambda_{\text{max}} = 565 \text{ nm}$. Nadalje, primjetni su signali visokog intenziteta pri visokim koncentracijama NaNO_2 . Upravo iz ovog razloga u daljnjim ispitivanjima smanjena je koncentracija kitozana u reakcijskoj smjesi na $\gamma = 50 \text{ mg dm}^{-3}$. Također, kao bolji medij za provedbu reakcije pokazala se destilirana voda, s obzirom na to da se dobivaju „glade“ apsorpcijske krivulje.



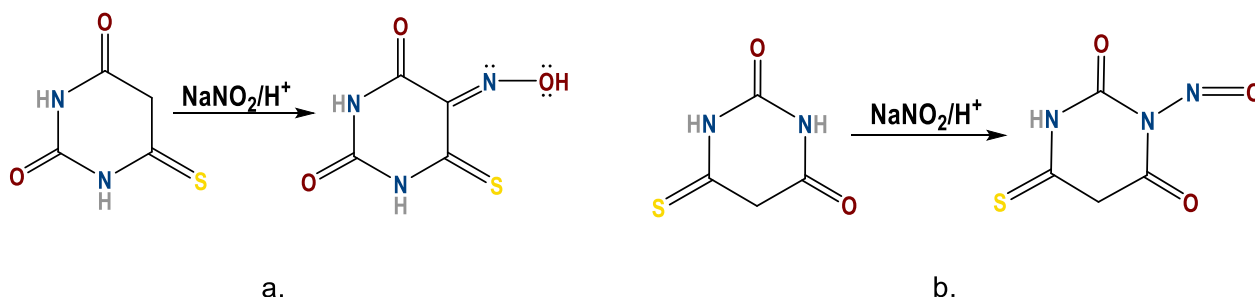
Slika 3: Optimizacija reakcijskih uvjeta: UV/Vis spektri reakcijskih smjesa s koncentracijama $\gamma (\text{CH}) = 60 \text{ mg dm}^{-3}$, $c (\text{NaNO}_2) = 0,005 - 0,75 \text{ mol dm}^{-3}$ i $c (\text{TBA}) = 0,02 \text{ mol dm}^{-3}$

Naposlijetku, signal koji odgovara slijepoj probi poprima neobično visok intenzitet. Budući da slijepa proba sadržava sve komponente reakcijske smjese izuzev kitozana, za pretpostaviti je da u reakciju s tiobarbiturnom kiselinom ulazi i natrijev nitrit. Za potvrdu ove hipoteze proveden je eksperiment u kojem su se paralelno ispitala spektralna svojstva produkta za reakcijsku smjesu koja sadrži kitozan ($\gamma (\text{CH}) = 50 \text{ mg dm}^{-3}$), natrijev nitrit ($c (\text{NaNO}_2) = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$) i tiobarbiturnu kiselinu ($c (\text{TBA}) = 0,02 \text{ mol dm}^{-3}$), kao i za reakcijsku smjesu u odsutnosti kitozana. S obzirom na to da se reakcije diazotizacije obično provode u ledenoj kupelji [8], ispitan je i utjecaj zagrijavanja na stabilnost reakcijske smjese. Dobiveni spektri prikazani su na Slikama 4 i 6.



Slika 4: pH ovisnost UV/Vis spektara reakcijskih smjesa NaNO_2 i TBA te NaNO_2 , CH i TBA

Kao što je vidljivo na Slici 4, uvođenjem kitozana u reakcijsku smjesu dolazi do manje promjene u intenzitetu apsorpcijskih vrpca. To se može objasniti činjenicom da NaNO_2 reagira s tiobarbiturnom kiselinom umjesto s kitozonom. Da dolazi do formiranja istog produkta, potvrđuje i odsustvo pomaka valne duljine maksimuma apsorpcije ($\lambda_{\text{max}} = 565 \text{ nm}$). Prema literaturi [9] barbiturna kiselina u reakciji s natrijevim nitritom formira ljubičasti spoj, violuričnu kiselinu. Reakcijski mehanizam pretpostavlja reakciju nitrozilacije na C5 ugljiku i formiranje violurične kiseline. Stoga je za pretpostaviti da istoj reakciji (Slika 5a.) podliježe i njezin sumporni analog, tiobarbiturna kiselina.

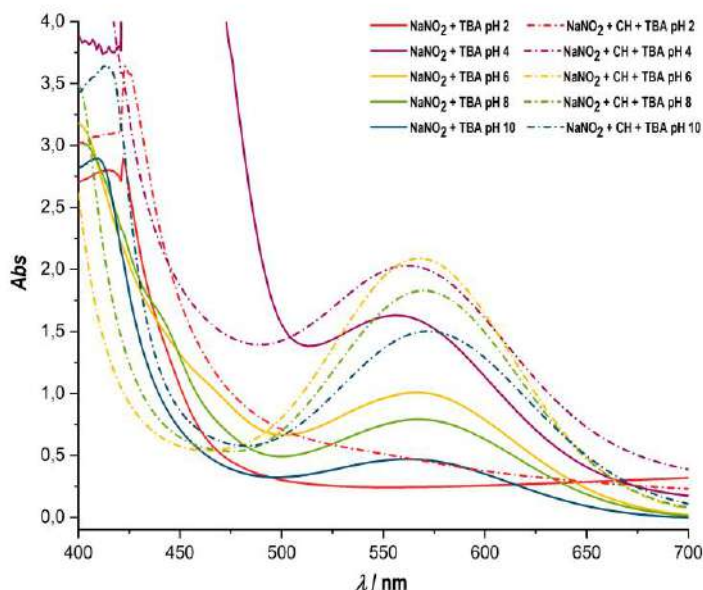


Slika 5: a. Reakcija formiranja sumpornog analoga violurične kiseline b. Reakcija formiranja N-nitrozamina

Važno je zamijetiti i pojavu žutog obojenja reakcijske smjese u izrazito kiselim uvjetima (pH 2,00). Ovo opažanje vidljivo je na samom apsorpcijskom spektru, u kojemu prevladava apsorpcijski maksimum pri $\lambda_{\text{max}} = 430 \text{ nm}$. Tiobarbiturna kiselina u svojoj strukturi sadrži sekundarni amin, koji podliježe reakciji diazotizacije dajući N-nitrozamin (Slika 5b.). N-nitrozamini općenito su žute boje, a ujedno se smatraju i jakim kancerogenima [9].

Promatranjem apsorpcijskih spektara na Slici 6, uviđa se povećanje intenziteta apsorpcije uz dodatak otopine kitozana. Ovakvo opažanje moglo bi dovesti do neispravnog zaključka, da uz zagrijavanje dolazi do potpune reakcije depolimerizacije kitozana uz nastanak kondenzacijskog produkta 2,5-anhidro-D-manoze i tiobarbiturne kiseline. No, imajući u vidu da ne dolazi do pomaka u vrijednosti valne duljine maksimuma apsorpcije može se pretpostaviti da nastaje isti produkt kao i u prethodnim eksperimentima.

U kiselim uvjetima NaNO_2 formira izrazito reaktivni nitrozil kation, koji ulazi u reakciju s aminima formirajući alkildiazonijeve soli. Kao posljedica nestabilnosti, alkildiazonijeve soli se raspadaju dajući smjesu kompleksnih produkata. Primjenom ovako žestokih uvjeta [7] samo se pospješuje degradacija i kompetitivni reakcijski mehanizmi alkildiazonijevih soli, što čini ovu spektrofotometrijsku metodu izrazito neselektivnom.



Slika 6: pH ovisnost UV/Vis spektara reakcijskih smjesa NaNO_2 i TBA te NaNO_2 , CH i TBA uz temperaturno zagrijavanje pri 80°C u periodu od 30 minuta

4. Zaključak

Razvijena spektrofotometrijska metoda, temeljena na reakciji u jednom koraku koja uključuje depolimerizaciju kitozana u otopini natrijeva nitrita i kondenzaciju 2,5-anhidro-D-manoze, pokazala se kao neselektivna. Iako je potvrđeno da nastaje ljubičasti kompleks/spoj s maksimumom apsorpcije pri $\lambda_{\text{max}} = 565$ nm, pretpostavlja se da je nastali produkt rezultat reakcije natrijeva nitrita i tiobarbiturine kiseline. Budući da se koristi izrazito reaktivan reagens u žestokim reakcijskim uvjetima, formira se složena smjesa reakcijskih produkata, čime je onemogućena selektivna reakcija formirane 2,5-anhidro-D-manoze i tiobarbiturine kiseline. Odnosno, pokazano je da nije moguća specifična detekcija zaostalog kitozana u vodama. Također, formiranje *N*-nitrozamin kao glavnog produkta, dokazanog kancerogenog djelovanja, ne odgovara kontekstu zelene tehnologije i kružnog gospodarstva.

Pokazano je da ekstremni reakcijski uvjeti, poput visoke ili niske pH vrijednosti otopine te prisutnost jakih oksidansa, značajno utječu na stabilnost same molekule kitozana. Stoga u svrhu povećanja učinkovitosti obrade tekstilnih materijala kitozanom, potrebno je obratiti pažnju da se obrade provode u blažim uvjetima bez prisutnosti oksidacijskih sredstava.

Literatura

- [1] Aranaz, I. i sur.: Chitosan: An Overview of Its Properties and Applications, *Polymers*, **13** (2021) 19, 3256
- [2] Kumirska, J. i sur.: Application of Spectroscopic Methods for Structural Analysis of Chitin and Chitosan, *Mar. Drugs*, 2010, **8** (2010) 5, str.1567-1636, ISSN 1660-3397
- [3] Zhou, C. i sur.: A Review of Chitosan Textile Applications, *AATCC Journal of Research*, **6** (2019) 1, str. 8-14.
- [4] Hahn, T. i sur.: Current state of chitin purification and chitosan production from insects, *J. Chem. Technol. Biot.*, **95** (2020) 11, str. 2775-2795
- [5] Prochazkova, S.; Várum, K. M. & Østgaard, K.: Quantitative determination of chitosans by ninhydrin, *Carbohydr. Polym.*, **38** (1999) 2, str. 115-112
- [6] Miralles, B. i sur.: Suitability of a colorimetric method for the selective determination of chitosan in dietary supplements, *Food Chem.*, **126** (2011) 4, str. 1836–1839
- [7] Badawy, M. E. I.: A New Rapid and Sensitive Spectrophotometric Method for Determination of a Biopolymer Chitosan, *Int. J. Carbohydrate Chem.*, 2012
- [8] Clayden, J., Warren, S. & Greeves, N.: *Organic Chemistry*, Oxford University Press, ISBN: 9780199270293, London (2012)
- [9] Bartzatt, R. Determination of barbituric acid, utilizing a rapid and simple colorimetric assay, *J. Pharm. Biomed. Anal.*, **29** (2002) 5, str. 909-915

MOGUĆNOST VEZIVANJA KITOZANA NA PAMUČNU TKANINU PRIMJENOM UV ZRAČENJA

THE POSSIBILITY OF BONDING CHITOSAN TO COTTON FABRIC USING UV RADIATION

Ana PALČIĆ; Sandra FLINČEC GRGAC* & Franka ŽUVELA BOŠNJAK

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; ana.palcic@tff.unizg.hr; sflincec@tff.unizg.hr;
franka.zuvela.bosnjak@tff.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: sflincec@tff.unizg.hr

Sažetak: Cilj ovog rada bio je istražiti utjecaj i postojanost obrade pamučnih tkanina otopinom kitozana i ulja čajevca uz prisutnost maleinske kiseline primjenom UV-C zračenja. Kupelj za obradu pripremljena je uz miješanje na magnetskoj miješalici u trajanju od 15 minuta uz 800 o/min. Nakon toga su pamučni uzorci namočeni u kupelj i ocijeđeni na fularu uz efekt cijedeža približno 100 %. Uzorci su stavljeni na odležavanje u autoklav na 80 °C u vremenu od 24 h. Nakon odležavanja uzorci su osušeni konduktivno na temperaturi od 100 °C u vremenu od 4 minute te su kondenzirani primjenom UV zračenja UV komore (Solarscreen Test Chamber STC 01) s UV-C žaruljom snage 11 W, napona 37V i struje 0,33 A u trajanju od 30 minuta. Uzorci su podvrgnuti postupku pranja prema standardu EN ISO 15797:2017 uz primjenu standardnog deterdženta s optičkim bjelilima bez fosfata (WFK 88060) i 6-(ftalimido) peroksi heksanske kiseline (PAP). U okviru istraživanja ispitana je antimikrobna aktivnost tkanine u skladu sa standardom AATCC 147. Fizikalno-kemijske promjene na obrađenim tkaninama prije i nakon ciklusa pranja ispitane su Fourierovom transformacijskom infracrvenom spektroskopijom u tehnici prigušene ukupne refleksije (FTIR-ATR). Gustoća pamučne tkanine u smjeru osnove i potke prije i nakon provedenog ciklusa pranja određena je pomoću Dino-Lite svjetlosnog digitalnog USB mikroskopa. Rezultati ispitivanja antimikrobne učinkovitosti pokazuju da su obrađene tkanine prije i nakon provedenih ciklusa pranja otporne na djelovanje bakterija i gljivica, što ukazuje na pozitivan učinak ulja čajevca te uspješno provedenog procesa umrežavanja.

Abstract: The aim of this work was to study the influence and stability of treating cotton fabrics with a solution of chitosan and tea tree oil in the presence of maleic acid using UV-C radiation. The treatment bath was prepared with stirring on a magnetic stirrer for 15 minutes at 800 rpm. Subsequently, the cotton samples were dipped in the bath, passed through a two-roll laboratory padder and treatment gave a wet pick-up of about 100%. The samples were aged in an autoclave at 80 °C for 24 hours. After aging, the samples were conduction drying at a temperature of 100 °C for 4 minutes and condensed with UV radiation in a UV chamber (Solarscreen Test Chamber STC 01) with a UV-C lamp of power 11W, voltage 37 V and current 0.33 A for a period of 30 minutes. The samples were washed according to EN ISO 15797:2017 with a standard detergent containing phosphate-free optical brighteners (WFK 88060) and 6-(phthalimido) peroxyhexanoic acid (PAP). During the investigation, the antimicrobial activity of the fabric was tested according to the AATCC 147 standard. Physicochemical changes on the treated fabrics before and after the care cycle were studied by Fourier transform infrared spectroscopy using the Attenuated total reflection technique (FTIR-ATR). The warp and weft density of the cotton fabric before and after the care cycle was determined using a Dino-Lite light digital USB microscope. The results of the antimicrobial efficacy test show that the treated fabrics are resistant to the action of bacteria and fungus before and after the care cycles, indicating a beneficial effect of tea tree oil and a successfully performed cross-linking process.

Ključne riječi: kitozan; ulje čajevca; pamučna tkanina; UV-C zračenje; antimikrobna aktivnost; FTIR-ATR analiza

Keywords: chitosan; tea tree oil; cotton fabric; UV-C radiation; antimicrobial activity; FTIR-ATR analysis

1. Uvod

Industrijska mogućnost razvoja vlakna i tekstilnih plošnih proizvoda s antimikrobnim učinkom intenzivno se razmatra od 40-ih godina 20. stoljeća kada je probuđena svijest o primjeni tekstilija u sprečavanju širenja

bakterija i bolesti. Istraživanjima u tom području pridonijeli su mnogi znanstvenici razvojem različitih antimikrobnih tekstilija koje su našle svoju primjenu u bolnicama, hotelima, sportu, farmaciji, medicini, wellness industriji i dr. [1-5].

Unatoč dosadašnjim spoznajama i razvoju, istraživanje mogućnosti antimikrobne obrade, osobito primjenom ekološki i ekonomski prihvatljivih sredstva čije je podrijetlo često iz prirode aktualno je i danas. Mnoga istraživanja usmjerena su upravo u primjenu kitozan linearnog polisaharida prirodnog porijekla koji se dobiva djelomičnom alkalnom N-deacetilacijom hitina (preko 50 %). Sastoji se od acetiliranog dijela (N-acetil-D-glukozamin) i deacetiliranog dijela (beta-(1,4)-D-glukozamin) [6, 7]. Ovaj polimer ima kationski karakter te zbog visoke gustoće naboja pri pH < 6,5 dolazi do njegove adhezije na negativno nabijene površine. Upravo iz njegove polikationske prirode proizlaze njegova antimikrobna svojstva koja ovise o stupnju deacetilacije, molekularnoj težini i pH vrijednosti [1, 6]. Pozitivno nabijene amino skupine kitozana mogu se vezati na negativno nabijene bakterijske površine, što dovodi do razgradnje proteina i uzrokuje poremećaj stanične membrane, povećanja njene propusnosti i u konačnici uzrokuje staničnu smrt. Što je veći stupanj deacetilacije kitozana njegova antimikrobna učinkovitost se povećava. Značajne primjene kitozana, zbog njegove netoksičnosti, biokompatibilnosti i antimikrobne učinkovitosti, su u medicini za antibakterijske zavoje, u sustavima za dostavu lijekova i za jačanje imunoloških aktivnosti [8-12].

Kao antimikrobno sredstvo najčešće se primjenjuje u vodi topivi kvaternizirani N-kitozan i derivati karboksialkiliranih kitozana koji pokazuju antimikrobno djelovanje u širokom rasponu pH vrijednosti. Zbog široke primjene pamučnih materijala i njihovih mješavina sa sintetskim vlaknima u bolničkom okruženju brojna istraživanja su usmjerena upravo na razvoj postojećih obrada s kitozonom. Poznato je da postojanost aktivnog svojstva na višestruke cikluse pranja ovise o kemijskoj prirodi primijenjenog sredstva i mehanizmu vezanja između tekstilnog materijala i aktivne tvari, uz primjenu mikrovalne, ultrazvučne i toplinske energije. Da bi se postigla čvrsta veza kitozana na celulozna vlakna koriste se uglavnom polikarboksilne kiseline i derivati imidazolidinona. U prisutnosti sredstva za umrežavanje, hidroksilne skupine kitozana i celuloze stvaraju kovalentne veze s karboksilnim skupinama polikarboksilne kiseline pri čemu nastaju poprečne veze između kitozana i celuloze te se time poboljšava otpornost tako obrađenih tekstilnih materijala na cikluse pranja. Poznato je da kiseli medij te visoke temperature negativno utječu na primarna svojstva celuloznih materijala te iz tog razloga istražuju se mogućnosti modifikacije same kupelji i operacija oplemenjivanja s ciljem poticanja umrežavanja celuloze s kitozonom [13-16].

U radu je korišten kitozan uz dodatak eteričnog ulja čajevca s ciljem poboljšanja antimikrobne učinkovitosti te maleinske kiseline kao umreživača [13], a sam postupak umrežavanja proveden je primjenom UV-C zračenja. Navedena istraživanja proizašla su iz spoznaje da se UV zračenje uspješno upotrebljava kod umrežavanja premaza, ljepila, adheziva, tiskarskih boja, polimernih filmova, zaštitnih i ukrasnih naslojenih materijala, ortopedskih biomaterijala, materijala za restauraciju dentina te kod razvoja nanokompozitnih materijala. Prednosti primjene UV zračenja u procesu umrežavanja u odnosu na primjenu topline očituje se kroz brzinu reakcije, mogućnost korištenja sustava bez otapala, nisku potrošnju energije te obradu na sobnoj temperaturi [17 - 19]. S ciljem utvrđivanja postojanosti obrade uzoraka proveden je postupak pranja prema standardu EN ISO 15797:2017 uz primjenu standardnog deterdženta s optičkim bjelilima bez fosfata (WFK 88060) i ϵ -(ftalimido) peroksi heksanske kiseline (PAP). Promjene strukturalnih svojstva tkanine nakon obrade i postupka pranja praćene su mjerenjem gustoća osnovinih i potkinih niti pomoću svjetlosnog digitalnog mikroskop, Dino-Lite. Postojanost obrade praćena je kroz fizikalno-kemijske promjene vidljive na spektralnim krivuljama obrađenog i obrađenog opranog uzorka u odnosu na neobrađen uzorak dobivenim snimanjem na Fourierovom transformacijskom infracrvenom spektrometru u tehnici prigušene ukupne refleksije (FTIR-ATR). Antimikrobna aktivnost uzorka tkanine ispitana je u skladu sa standardom AATCC 147. Dobiveni rezultati upućuju na uspješno vezivanje kitozana s eteričnim uljem čajevca na pamučnu tkaninu uz maleinsku kiselinu primjenom UV-C zračenja te otvara put dubljim istraživanjima vezanim uz mehanizme djelovanja UV zračenja na postupak umrežavanja.

2. Materijali i metode

U radu je provedeno istraživanje utjecaja UV-C zračenja na postojanost obrade pamučnih tkanina otopinom kitozana i ulja čajevca uz prisutnost maleinske kiseline. Korištena je pamučna tkanina u atlas vezu (C-A) površinske mase 181,1 g/m².

Uzorci su impregnirani u kupelji s 10 g/l maleinske kiseline, 6 g/l Na-hipofosfit hidrata (SHP), te 50 % kitozana pripremljenog uz dodavanje 40 % eteričnog ulja čajevca na masu kitozana [13]. Kupelj je pripremljena uz miješanje 15 minuta na magnetskoj miješalici uz 800 o/min, čija je pH iznosila 6,09 pri sobnoj temperaturi. Uzorci su nakon impregniranja uz efekt cijeđena približno 100 % zajedno s kupelji koja je prekrila uzorak stavljeni na odležavanje u autoklav na 80 °C u vremenu od 24 sata. Nakon odležavanja

provedeno je konduktivno sušenje na temperaturi od 100 °C u vremenu od 4 minute te kondenzacija u UV komori (Solarscreen Test Chamber STC 01) [20] s UV-C žaruljom snage 11 W, napona 37 V te struje žarulje od 0,33 A u trajanju od 30 minuta.

Nakon obrade i kondenzacije uzoraka proveden je jedan ciklus pranja na 50 °C u uređaju Wasacator FOM71 CLS prema standardu EN ISO 15797:2017 uz dodatak 64 g standardnog deterdženta s optičkim bjelilima bez fosfata WFK 88060 i 32 g ϵ -(ftalimido) peroksi heksanske kiseline (PAP). Potom su uzorci osušeni u sušilici Electrolux T5130-LAB po programu NORMALNO LAB u trajanju od 30 minuta. Promjene svojstva pamučne tkanine u atlas vezu ispitana su prije obrade, nakon obrade i nakon ciklusa pranja. U tab. 1 navedene su oznake i opisi uzoraka.

Tablica 1: Objašnjenje oznaka uzoraka

Oznaka uzoraka	Značenje oznake
C-A	Pamučna tkanina (C) u atlas vezu (A)
C-A-Apl	Pamučna tkanina (C) u atlas vezu (A) obrađena kitozanom, maleinskom kiselinom i eteričnim uljem čajevca (Apl)
C-A-Apl-1W	Pamučna tkanina u atlas vezu (A), obrađena kitozanom, maleinskom kiselinom i eteričnim uljem čajevca (Apl), proveden je jedan ciklus pranja

Gustoća osnove i potke pamučne tkanine prije i nakon provedenog ciklusa pranja određena je pomoću svjetlosnog digitalnog USB mikroskopa, Dino-Lite AM7013MZT, tip Premier uz povećanje 57x. Za svaki uzorak napravljeno je pet mjerenja.

Fizikalno-kemijske promjene na obrađenim pamučnim tkaninama prije i nakon ciklusa pranja ispitane su Fourierovom transformacijskom infracrvenom spektroskopijom u tehnici prigušene ukupne refleksije (FTIR-ATR) (Perkin Elmer, softver Spectrum 100). Napravljena su četiri skena za svaki uzorak s rezolucijom od 4 cm^{-1} između 4000 i 380 cm^{-1} , a sama obrada dobivenih spektra provedena je u programskom paketu Spectrum 100, Perkin Elmer.

Antimikrobna aktivnost određena je u skladu sa standardom ATCC TM 147-2016 (Antibacterial Activity Assessment of Textile Materials: Parallel Strip Method). Aktivnost je određena na Gram-pozitivne bakterije *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), Gram-negativne bakterije *Escherichia coli* (ATCC 8739) i gljivicu *Candida albicans* (ATCC 10231).

3. Rezultati i rasprava

Rezultati gustoće neobrađenih i obrađenih pamučnih uzoraka u atlas vezu prije i nakon provedenog ciklusa pranja prikazani su u tab. 2. Prikazana je i vrijednost standardne devijacije i koeficijenta varijacije izračunatih na temelju dobivenih vrijednosti pri mjerenju.

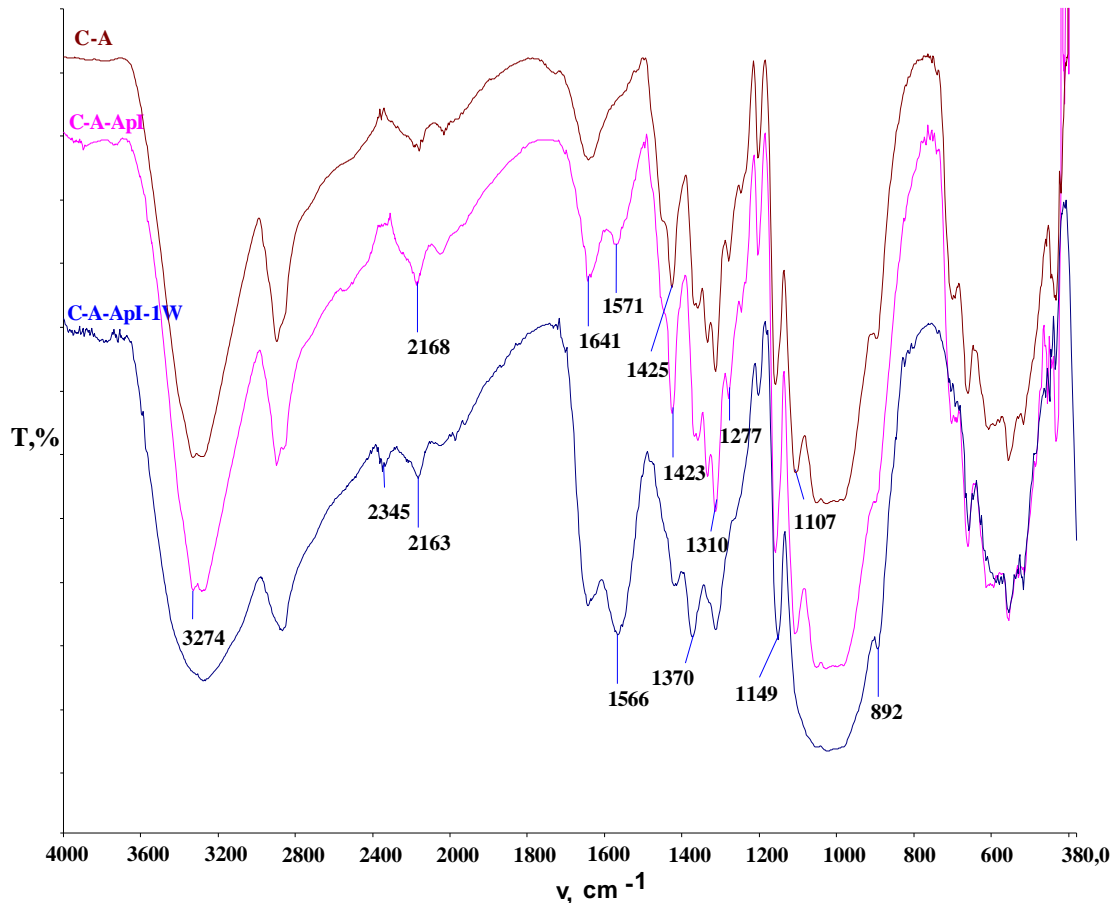
Tablica 2. Rezultati gustoće

Oznake uzoraka		Srednja vrijednost niti/cm	Standardna devijacija niti/cm	Koeficijent varijacije [%]
C-A	osnova	27,4	0,5	1,79
	potka	25,8	0,4	1,55
C-A-ApII	osnova	27,6	0,5	1,77
	potka	26,2	0,4	1,53
C-A-ApII-1W	osnova	27,8	0,4	1,44
	potka	26,8	0,4	1,49

Iz tab. 2 vidljivo je da se gustoća tkanine nakon obrade i jednog ciklusa pranja u smjeru osnove neznatno mijenja u odnosu na neobrađeni uzorak. Kod neobrađenog uzorka gustoća osnove iznosi 27,4 niti/cm, a potkinih 25,8 niti/cm dok nakon provedene obrade uzorka gustoća u smjeru osnove iznosi 27,6 niti/cm, a nakon ciklusa pranja iznosi 27,8 niti/cm. Broj potkinih niti na 1 centimetru uzorka nakon obrade i provedenog ciklusa pranja raste te kod obrađenog uzorka iznosi 26,2 niti/cm, a nakon ciklusa pranja iznosi 26,8 niti/cm. Standardne devijacije gustoće niti nalaze se u rasponu od 0,4 niti/cm do 0,5 niti/cm, što ukazuje na malo rasipanje, a koeficijenti varijacije u rasponu od 1,44 % do 1,79 %, što ukazuje na to da je proveden dovoljan broj mjerenja. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da tijekom provedbe procesa obrade i umrežavanja

nije došlo do skupljanja tkanine, što upućuje na blago djelovanje kupelji s obzirom na pH i operacija oplemenjivanja na uzorak.

Fizikalno-kemijske promjene na neobrađenim i obrađenim tkaninama prije i nakon ciklusa pranja ispitane Fourierovom transformacijskom infracrvenom spektroskopijom u tehnici prigušene ukupne refleksije (FTIR-ATR) prikazane su na sl. 1.



Slika 1: Spektralne krivulje pamučnih tkanina u atlas vezu: neobrađene (C-A), obrađene u kupelji kitozana, ulja čajevca i maleinske kiseline (C-A-Apl) te obrađene i jednom oprane (C-A-Apl-1W)

Sl. 1 prikazuje spektralne krivulje neobrađene pamučne tkanine u atlas vezu (C-A) i obrađenog uzorka prije (C-A-Apl) i nakon jednog ciklusa pranja (C-A-Apl-1W). Pik na 3274 cm^{-1} ukazuje na istezanja unutar -OH skupine, a pik na 2163 cm^{-1} ukazuje na istezanje unutar C-H skupine primarnih amina. Na valnom broju 1641 cm^{-1} kod obrađenih uzoraka i nakon ciklusa pranja vidljive su promjene u intenzitetu u odnosu neobrađeni uzorak. U tom području celulozni materijali imaju pik zbog adsorbiranih molekula vode, dok se u kitozanu čiji je FTIR spektar prikazan u radu Flinčec Grgac i sur. [13] pik javlja zbog rastezanja C=O unutar amina I. Pik u području valnog broja 1425 cm^{-1} posljedica je savijanja CH veze, a njegov intenzitet se smanjuje nakon obrade i ciklusa pranja. Nakon obrade uzorka područje valnih brojeva 1566 i 1571 cm^{-1} upućuje na prisutnost esterskih veza koje nastaju zbog istezanja karbonilnih skupina, a ukazuju na umrežavanje kitozana s celulozom pomoću maleinske kiseline. Pik na valnom broju 1370 cm^{-1} čiji se intenzitet nakon obrade i ciklusa pranja pojačava ukazuje na C-H savijanje [13, 14]. Nakon provedenog ciklusa pranja dolazi do smanjenja intenziteta pojedinih pikova i pomaka, ali ne i nestanka pojedinih pikova, što ukazuje na stabilnost kitozana vezanog na celulozu.


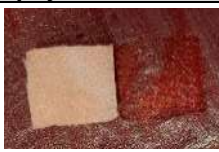







Tab. 3 i 4 prikazuju rezultate antimikrobne učinkovitosti neobrađenih i obrađenih pamučnih uzoraka prije i nakon provedenog ciklusa pranja testiranih na mikrogljivicu *Candida albicans* (Ca), gram-negativne bakterije *Escherichia coli* (Ec) i gram-pozitivne bakterije *Staphylococcus aureus* (Sa).

Tablica 3. Antimikrobna učinkovitost neobrađenih i obrađenih pamučnih uzoraka prije i nakon provedenog ciklusa pranja

Oznaka uzorka	Ca	Sa	Ec
C-A	-	-	-
C-A-Apl	+/-	+/-	+/-
C-A-Apl-1W	+/-	+/-	+/-

+ ima zonu, nema gljivica niti na tkanini niti ispod nje; - nema zonu, ima gljivice;
 +/- nema zonu; nema gljivica na površini tkanine niti ispod nje

Tablica 4. Rezultati antimikrobne učinkovitosti ispitivanih neobrađenih i obrađenih pamučnih uzoraka prije i nakon provedenog ciklusa pranja

Oznaka uzorka	<i>Candida albicans</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>
C-A			
C-A-Apl			
C-A-Apl-1W			

Procjena antibakterijskog djelovanja temelji se na promatranju postojanja zone inhibicije i rasta mikroorganizama ispod uzorka. Ako zona inhibicije postoji ili nema bakterijskih kolonija ispod uzorka u području kontakta, uzorci tkanina pokazuju antibakterijsko djelovanje. Rezultati ispitivanja antimikrobne učinkovitosti u tab. 3 i tab. 4 pokazuju da je obrađena tkanina prije i nakon provedenog ciklusa pranja otporna na djelovanje bakterija i gljivica, što ukazuje na pozitivan učinak kitozana i ulja čajevca te uspješno provedenog procesa umrežavanja. Može se zaključiti da su uzorci pokazali bakteriostatsku učinkovitost jer nisu zabilježene kolonije mikroorganizama ispod ili na površini uzoraka.

4. Zaključak

Razvoj i proizvodnja postojećih, ekološki i toksikološki prihvatljivih antimikrobnih celuloznih tkanina bez većih narušavanja primarnih svojstava za primjenu u medicinske i wellness svrhe izazov je za istraživače i proizvođače. Uzorci razvijeni u ovom radu odlikuju se neznatnom promjenom dimenzije prije i nakon provedenog ciklusa pranja u usporedbi s neobrađenim uzorkom što je vidljivo kroz rezultate mjerenja gustoće niti u smjeru osnove i potke. Kupelj za obradu imala je blago kiseli karakter te operacije provedene u razvoju uzorka nisu uključivale visoke temperature koje mogu utjecati na mehanička, strukturalna i estetska svojstva tkanine već je upotrijebljeno UV-C zračenje s ciljem umrežavanja kitozana i celuloze uz prisutnost maleinske kiseline. Na temelju usporedbe spektralnih krivulja snimljenih na FTIR-u u ATR tehnici neobrađenog uzorka s istim nakon provedenih postupka obrade vidljive su razlike koje upućuju na prisutnost kitozana u strukturi celuloznog materijala. Nakon provedenog ciklusa pranja na spektralnoj krivulji uzorka vidljivo je neznatno smanjenje intenziteta karakterističnih pikova uz mali pomak u valnom broju što ukazuje na postojanu fizikalno-kemijsku promjenu unutar primarnog polimera. Iz navedenog može se pretpostaviti da je došlo do uspješnog umrežavanja kitozana s celulozom pomoću maleinske kiseline primjenom UV-C zračenja. Rezultati ispitivanja antimikrobne učinkovitosti pokazuju da je obrađena tkanina prije i nakon provedenog ciklusa pranja otporna na djelovanje mikroorganizama, što ukazuje na pozitivan učinak obrade kitozonom uz dodatak ulja čajevca. S obzirom na dobivene rezultate u daljnjim istraživanjima nastojat će se pripremiti veća količina uzoraka koje će se podvrgnuti višestrukim ciklusima održavanja primjenom standardnog deterdženta uz i bez dodatka PAP te na istima će se istražiti utjecaja obrade na strukturalna, mehanička, fizikalno-kemijska, morfološka, estetska i opipna svojstva.

Zahvala



Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP-2017-05-8780 Bolničke zaštitne tekstilije.

Literatura

- [1] Morais, D.S.; Guedes, R.M.; Lopes, M.A. Antimicrobial Approaches for Textiles: From Research to Market. *Materials*, **9** (2016), pp. 498 - 519, ISSN 1996-1944
- [2] Flinčec Grgac, Sandra; Katović, Drago; Bischof Vukušić, Sandra: Wellness: novi trend i u tekstilnoj industriji, *Tekstil: časopis za tekstilnu tehnologiju i konfekciju*, **54** (2005), 1, str. 12-19, ISSN 0492-5882
- [3] Bano, I. et al.: Chitosan: A potential biopolymer for wound management, *International Journal of Biological Macromolecules*, **102** (2017), pp. 380–383, ISSN 01418130
- [4] Simončić, B.; Tomšić, B.: Structures of Novel Antimicrobial Agents for Textiles—A Review, *Textile Research Journal*, **80** (2010), pp. 1721–1737, ISSN 17467748
- [5] Rejane, C.; Goy Sinara, T. B.; Morais Odilio, B. G.: Evaluation of the antimicrobial activity of chitosan and its quaternized derivative on *E. coli* and *S. aureus* growth, *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, **26** (2016), pp. 122–127, ISSN 1981528
- [6] Struszczyk, M. H.: Chitin and Chitosan Part I. Properties and production, *Polimery*, **47** (2002), pp. 316-325, ISSN 00322725
- [7] Knittel, D.; Schollmeyer, E.: Chitosans for permanent antimicrobial finish on textiles, *Lenzinger Berichte* **85** (2006), pp. 124-130, ISSN 00240907
- [8] Martinac, A.; Filipović-Grčić, J.: Kitozan - biopolimer 21. stoljeća, *Farmaceutski glasnik*, **58** (2002), str. 1 – 10, ISSN 0014-8202
- [9] Strnad, S. et al.: Cellulose Fibres Functionalised by Chitosan: Characterization and Application, *Dostupan na: <https://www.intechopen.com/chapters/12146>*, Pristupljeno: 10.12.2022.
- [10] Lim, S. H.; Hudson, S. M.: Application of a fiber-reactive chitosan derivative to cotton fabric as an antimicrobial textile finish, *Carbohydrate Polymers*, **56** (2004), pp. 227–234, ISSN 01448617
- [11] Ul-Islam, S.; Butola, B. S.: Recent advances in chitosan polysaccharide and its derivatives in antimicrobial modification of textile materials, *International Journal of Biological Macromolecules*, **12**, (2019), pp. 905–912, ISSN 01418130
- [12] Peers, S.; Montembault, A.; Ladavière, C.: Chitosan hydrogels for sustained drug delivery, *Journal of Controlled Release*, **326** (2020), pp. 150–163, ISSN 18734995
- [13] Flinčec Grgac, S. et al.: Hydrothermal Synthesis of Chitosan and Tea Tree Oil on Plain and Satin Weave Cotton Fabrics, *Materials*, **15** (2022), 14, pp. 5034 - 5053, ISSN 1996-1944
- [14] Flinčec Grgac, S. et. al.: The Chitosan Implementation into Cotton and Polyester/Cotton Blend Fabrics, *Materials*, **13** (2020), pp. 1616-1634, ISSN 1996-1944
- [15] Draczyński, Z. et al.: Implementation of Chitosan into Cotton Fabric, *Tekstilec*, **60** (2017), pp. 296-301, ISSN 23503696
- [16] El-Tahawy, K. F. et al.: The antimicrobial activity of cotton fabrics treated with different crosslinking agents and chitosan, *Carbohydrate polymers*, **60** (2005), pp. 421-430, ISSN 01448617
- [17] Shahidi, S.; Wiener, J.: Radiation Effects in Materials, *Dostupno na: <https://www.intechopen.com/chapters/50579>*, Pristupljeno: 11.12.2022.
- [18] Đoàn Minh Ý Nhi: Investigation of the effect of UV-crosslinking on isoporous membrane stability, Master of Science Thesis Stockholm, Sweden 2011
- [19] Emam HE. Antimicrobial cellulosic textiles based on organic compounds. *3 Biotech*, **9** (2019), 29, pp. 28-42, ISSN 2190-5738
- [20] Đurasevic V.; Parac-Osterman Đ.: Fatigue Determination of Photo chromic Dyes in Silica and Polyamide Matrices via Analysis of CIELAB Parameters, *AATCC Journal of Research*, **1** (2014) 4, pp. 22-36, ISSN 24723444

UTJECAJ OPTIMIRANOG PROCESA PRANJA NA ANTIMIKROBNO OBRAĐENE TEKSTILIJE

INFLUENCE OF OPTIMIZED WASHING PROCESS ON ANTIMICROBIAL TREATED TEXTILES

Tihana DEKANIĆ*; Mirjana BASIĆ; Ana PALČIĆ; Sandra FLINČEC GRGAC; Anita
TARBUK & Katia GRGIĆ

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; tihana.dekanic@tff.unizg.hr;
mirjanamaslacmm@gmail.com; ana.palcic@tff.unizg.hr; sflincec@tff.unizg.hr; anita.tarbuk@tff.unizg.hr;
katia.grgic@tff.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: tihana.dekanic@tff.unizg.hr

Sažetak: Nikada kao do sada nije bila toliko jaka svijest o potrebi za ostvarenjem higijene na svim poljima društvenog života. Ono što je godinama bilo na marginama, pojavom koronavirusa promijenilo je shvaćanje i gledište u svakodnevnom životu čovjeka. Higijena, dezinfekcija i antimikrobnost postali su nezamjenjiv parametar. Štetni utjecaji mikroorganizama povećali su potrebu za razvojem antibakterijskih i antimikrobnih materijala u mnogim područjima primjene. Idealni antimikrobno obrađen tekstil trebao bi biti učinkovit protiv širokog spektra bakterijskih i gljivičnih vrsta, ali istodobno pokazivati i nisku toksičnost prema čovjeku i okolišu. Zbog uštede na svim poljima, pa tako i u njezi, danas se tekstilije nastoji prati na što nižoj temperaturi. Upravo radi toga postoji opasnost nedostatne termičke dezinfekcije tekstilija. Kako bi se ovo spriječilo, tekstil se antimikrobno obrađuje različitim postupcima. Vodeći se načelom racionalizacije i uštede, ranijim istraživanjima je modificiran standardni proces pranja bolničkih tekstilija tako da je snižena temperatura pranja i primijenjeno ekološko sredstvo za kemijsko izbjeljivanje i dezinfekciju. Optimirani proces pranja je pokazao povoljne primarne i sekundarne učinke na višestruko opranim pamučnim materijalima. Kako bi se dobila vrijedna saznanja koja će ili potvrditi njegovu svrsishodnost ili pokazati novi smjer istraživanja, optimirani proces pranja je primijenjen i na antimikrobno obrađene tekstilije. U tu svrhu tekstilije su deset puta prane, a rezultati su pokazali da antimikrobna svojstva u potpunosti ostaju očuvana.

Abstract: Awareness of the need for hygiene in all areas of social life has never been as strong as it is today. What for years was only mentioned in passing has, with the advent of the coronavirus, changed the way people understand and view their daily lives. Hygiene, disinfection and antimicrobials have become indispensable parameters. The harmful effects of microorganisms have increased the need for the development of antibacterial and antimicrobial materials in many applications. An ideal antimicrobial-treated textile should be effective against a wide range of bacterial and fungal species while maintaining low toxicity to humans and the environment. Due to savings in all areas, including care, textiles are now washed at the lowest possible temperatures. This is precisely why there is a risk of insufficient thermal disinfection of textiles. To prevent this, textiles are treated antimicrobially using various processes. Following the principle of rationalization and economization, in previous studies the standard procedure for washing hospital textiles was modified by lowering the washing temperature and using an ecological agent for chemical bleaching and disinfection. The optimized washing procedure showed favorable primary and secondary effects on repeatedly washed cotton materials. In order to gain valuable knowledge that would either confirm its usefulness or indicate a new research direction, the optimized washing procedure was also applied to antimicrobial treated textiles. For this purpose, the textile was washed ten times and the results showed that the antimicrobial properties were completely retained.

Ključne riječi: racionalizacija; optimizacija; višestruki ciklusi pranja; antimikrobno obrađene tekstilije

Keywords: rationalization; optimization; multiple wash cycles; hospital environment; antimicrobial treated textiles

1. Uvod

Posljednjih dvadesetak godina došlo je do promjena u tehnologiji pranja, kao i samoj proizvodnji deterdženata. S ciljem održivog razvoja i principom zelene kemije, jačanjem ekološke svijesti, došlo je do

unaprjeđenja postojećih tehnoloških postupaka, kao i razvoja novih. Zbog uštede na svim poljima, pa tako i u njezi, danas se tekstilije nastoji prati na što nižoj temperaturi i sa ekološki povoljnim sredstvima [1].

Međunarodno udruženje proizvođača sapuna, deterdženata i sredstva za čišćenje tzv. A.I.S.E. (*Association Internationale de la Savonnerie, de la Detergence et des Produits d'Entretien*) je prije petnaestak godina izradilo smjernice za pomoć industriji u provedbi odredaba biološke razgradnje tenzida i označavanje deterdženata sukladno Uredbi o deterdžentima. Ovo je rezultiralo razvojem i proizvodnjom koncentriranih i kompaktnih deterdženata za pranje, čime se smanjio udio kemikalija, ambalažnog materijala i energije [2-4].

Kako smjernice održivog razvoja propisuju mjere smanjenja potrošnje i gubitka energije, primjenu manje štetnih kemikalija, učinkovitih i biorazgradivih deterdženata, niže omjere kupelji i smanjenje opterećenja otpadnih voda, postoji opravdana bojazan o nedovoljnom i nedostatnom higijenskom aspektu opranog rublja. Štetni utjecaji mikroorganizama povećali su potrebu za razvojem antibakterijskih materijala u mnogim područjima primjene, poput medicinskih uređaja, zdravstvene zaštite, higijenske primjene, sustava pročišćavanja voda, bolnica, oprema za dentalnu kirurgiju, tekstila, pakiranja i skladištenja hrane. Svrha postizanja antimikrobne aktivnosti očituje se u zaštiti materijala od mikrobnog napada, sprečavanju širenja i prijenosa patogenih mikroorganizama, sprečavanju razvoja neugodnih mirisa i razvoju materijala koji će biti učinkovit protiv širokog spektra bakterijskih i gljivičnih vrsta, uz istovremeno nisku toksičnost prema korisniku i okolišu [5-7]. Antimikrobna obrada ne bi smjela utjecati na prirodne, nepatogene bakterije na koži osobe koja ga nosi, niti narušavati kvalitetu i izgled tekstila, a s druge strane trebala bi biti postojana na pranje [8].

Iz navedenih razloga, istraživanja u ovom radu usmjerena su na istraživanje utjecaja optimiranog procesa pranja na svojstva antimikrobno obrađenih uzoraka.

2. Eksperimentalni dio

Zadatak ovog rada je bio ispitati učinak višestrukih ciklusa pranja na antimikrobno obrađenim uzorcima namijenjenim za primjenu u bolničkom okruženju. U tu svrhu antimikrobno obrađeni uzorci prani su optimiranim procesom pranja za koji je ranijim istraživanjima potvrđen povoljan utjecaj na tekstilni materijal [9]. Učinkovitost i primjenjivost tog procesa pranja na svojstva antimikrobno obrađenih uzoraka vrednovana je kroz analizu antimikrobnih, morfoloških, mehaničkih i spektralnih svojstava.

2.1 Materijali, sredstva i postupak pranja

Za provedbu procesa višestrukih ciklusa pranja korištena je antimikrobno obrađena tkanina pamuk/poliester (50/50) u atlas vezu, plošne mase 163,60 g/m², W_{CIE} 88,58 [10].

Postupak pranja proveden je u perilici Wascator FOM71 CLS, tvrtke Electrolux, u skladu s *HRN EN ISO 15797:2018*, uz omjer kupelji 1:4, u mekoj vodi, kroz 10 ciklusa, uz međusušenje u sušilici T5130LAB, Electrolux. Sukladno navedenoj normi, primijenjen je standardni deterdžent s optičkim bjelilom, točno definiranog i poznatog sastava, u koncentraciji 4 g/l.

Ranijim istraživanjima normirani proces pranja, koji se provodi na temperaturi 75 °C s perocetnom kiselinom, modificiran je vodeći se načelom 3E (ekonomičnosti, efikasnosti i ekološke prihvatljivosti).. Temperatura pranja je snižena na 50 °C i upotrijebljeno je ekološki povoljno sredstvo, ε-ftalimido-peroksi-heksanska kiselina (PAP) u koncentraciji 2 g/l. Uzorci su ispitivani nakon 3. (3W) i 10. (10W) ciklusa pranja.

2.2 Metode

Morfološke karakteristike početne antimikrobno obrađene i opranih tkanina analizirane su mikroskopiranjem površine uzoraka uz pomoć digitalnog mikroskopa Dino-Lite, tip Premier, AM-7013MZT uz povećanje 50x i 250x.

Spektralne karakteristike određene su na remisijskom spektrofotometru Spectraflash SF 300, tvrtke Datacolor kroz praćenje stupnja bjeline (W_{CIE} i W_{GG}), indeksa požućenja (YI) i odstupanja u tonu (TV, TD). Stupanj bjeline automatski je izračunat u skladu s *HRN EN ISO 105-J02:2003 Tekstil - Ispitivanje postojanosti obojenja - Dio J02: Instrumentalno određivanje relativne bjeline*, kao i prema Ganz/Griessneru (1), a indeks požućenja prema *DIN 6167:1980 Description of yellowness of near-white or near-colourless materials*.

$$W = Y + 800 (x_n - x) + 1700 (y_n - y) \quad (1)$$

pri čemu su: x, y i Y – spektralne koordinate za izvor svjetla D_{65}
 x_n i y_n – koordinate kromatičnosti za izvor svjetla D_{65}

Odstupanje tona, odnosno boje od neutralno bijelog standarda iskazano je preko vrijednosti TD i TV (*Tint Deviation* i *Tint Value*) te se automatski izračunava iz spektralnih parametara.

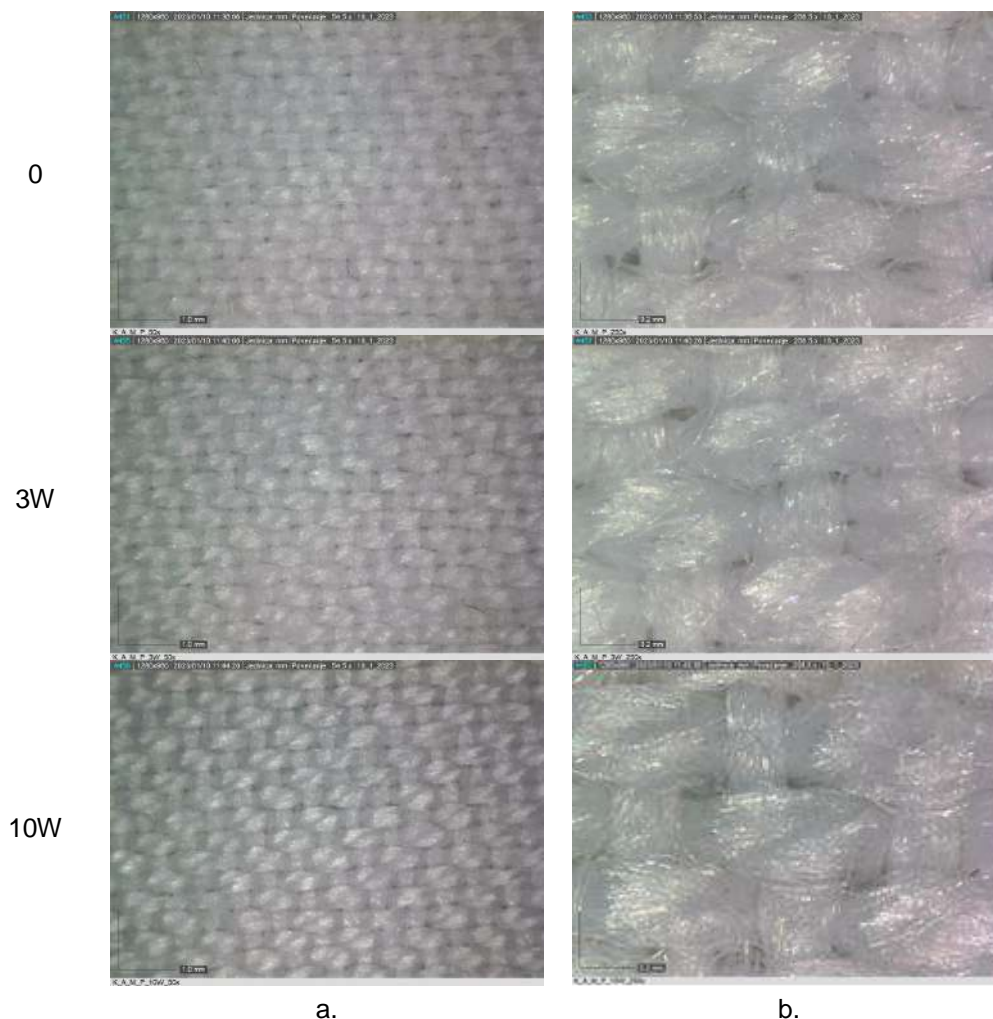
Mehanička svojstva određena su mjerenjem prekidne sile (F_p) i prekidnog istezanja (ε) prema *HRN EN ISO 13934-1:2008: Tekstilije - Vlačna svojstva plošnih tekstilija - 1. dio: Određivanje maksimalne sile i istezanja pri maksimalnoj sili metodom trake* na dinamometru Tensolab, Mesdan, Italija, po osnovi i po potci, na 3 ispitne epruvete duljine 100 mm. Mjerenja su načinjena nakon 3. i 10. ciklusa pranja te analizirana u odnosu na početni antimikrobno obrađeni uzorak.

Antimikrobni učinak uzoraka praćen je standardiziranom metodom prema *AATCC 147* u sterilnim uvjetima. Uzorci su izloženi djelovanju bakterija i gljivica. Za bakterije su uzete *Staphylococcus aureus* (Sa) i *Escherichia coli* (Ec) u koncentracijama 10^8 - 10^6 bakterija/ml hranjivog agara (*Colony Forming Units, cfu/ml*), a za gljivicu *Candida albicans* (Ca).

3. Rezultati i rasprava

U ovom radu istražen je učinak višestrukih ciklusa pranja na antimikrobno obrađene uzorke namijenjene bolničkom okružju. Kako bi se zadovoljili zahtjevi racionalizacije i uštede, uzorci su podvrgnuti prilagođenom, optimiranom procesu pranja, pri čemu je važno zadovoljiti i higijenski aspekt.

Morfološke karakteristike uzoraka promatrane su kroz analizu površine, snimljenih digitalnim mikroskopom uz povećanje 50x i 250x, sl. 1.



Slika 1: Mikroskopski prikaz površine neopranog i opranih uzoraka uz povećanje: a. 50x, b. 250x

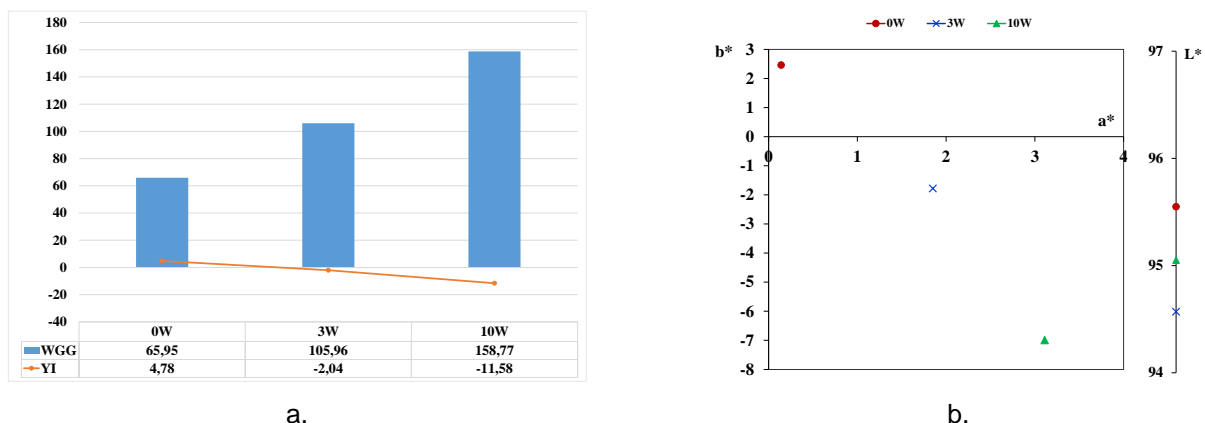
Na sl. 1 može se primijetiti blago povećanje broja stršećih vlaknaca s povećanjem broja ciklusa pranja. Razlog je djelovanje mehanike unutar stroja za pranje, kao i sredstva za pranje. Obzirom da udio poliesterske komponente u mješavini iznosi 50 %, ove promjene su manje izražene u odnosu na pamučne tekstilije [11]. Dimenzijska stabilnost analiziranih tekstilija s udjelom poliesterskih vlakana je dodatno povoljan pokazatelj koji se uočava na opranim tekstilijama (3W i 10W).

U tab. 1 su prikazane srednje vrijednosti stupnjeva bjeline po CIE (W_{CIE}), temeljne bjeline (Y) i odstupanja u tonu (TV, TD), izračunate na temelju 5 pojedinačnih mjerenja po uzorku, a na sl. 2 je prikazana bjelina prema Ganz Griesseru (W_{GG}) i stupanj požućenja i opranih tkanina u odnosu na neoprane.

Tablica 1: Vrijednosti stupnja bjeline po CIE (W_{CIE}), temeljne bjeline (Y) i odstupanja u tonu (TV, TD) tkanina prije i nakon pranja

Uzorak	W_{CIE}	Y	TV	TD
0W	83,20	91,28	-0,4	-
3W	102,88	82,73	-0,7	R1
10W	126,93	88,45	-0,6	R1

U tab. 1 je vidljivo da početni antimikrobno obrađeni uzorak pokazuje vrijednosti stupnja bjeline W_{CIE} 83,20, te da pranjem dolazi do povećanja stupnja bjeline, slijedom $W_{CIE} < 3W < 10W$. Ovo je bilo za očekivati jer se optimirani proces pranja provodi standardnim deterdžentom koji sadrži optičko bjelilo. Bjelina raste sa svakim ciklusom pranja jer optičko bjelilo kumulativno djeluje. Antimikrobno obrađeni uzorci nakon pranja pokazuju blago odstupanje u tonu (R1), odnosno u tragovima su crveniji od bijelog standarda [12].



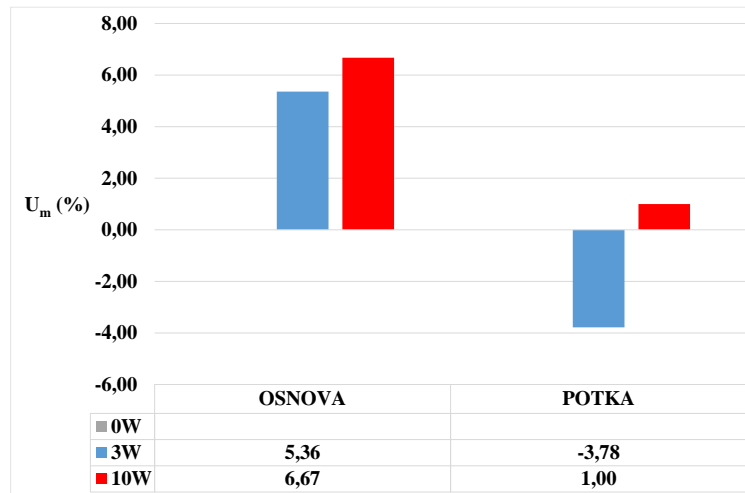
Slika 2: Utjecaj ciklusa pranja na a. stupanj bjeline (WGG) i indeksa požućenja b. CIEL*a*b* koordinate

Na sl. 2a, gdje su grafički prikazane promjene stupnja bjelina po Ganz/Griesseru i indeksi požućenja, može se vidjeti kako trend porasta bjeline slijedi pad indeksa požućenja s povećanjem broja ciklusa pranja, što je logično i za očekivati. Iz grafičkog prikaza na sl. 2b može se primijetiti kako se početni antimikrobno obrađeni uzorak nalazi u prvom kvadrantu ($+a^*, +b^*$) te pokazuje prisutnost žute komponente. Pranjem dolazi do pomaka koordinata a^* i b^* prema ljubičastom tonu (II. kvadrant: $+a^*, -b^*$) uzrokovanih optičkim bjelilom iz deterdženta.

U tab. 2 dani su rezultati pojedinačnih vrijednosti prekidne sile (F_p) uzoraka po osnovi i po potci, Dodatno je na sl. 3 prikazano mehaničko oštećenje (U_m) opranih uzoraka u odnosu na neopran.

Tablica 2: Prekidna sila (F_p) i prekidno istezanje (ϵ_p) uzoraka

Uzorak		Osnova				Potka			
		F_p [N]	F_p sr. [N]	ϵ [%]	ϵ sr. [%]	F_p [N]	F_p sr. [N]	ϵ [%]	ϵ sr. [%]
0W	1.	1170	1168,7	17,65	17,450	694	717,3	19,74	21,237
	2.	1172		17,65		750		22,07	
	3.	1164		17,05		708		21,90	
3W	1.	1110	1106,0	23,56	22,983	703	720,3	23,56	28,450
	2.	1091		22,43		729		22,43	
	3.	1117		22,96		729		22,96	
10W	1.	1043	1090,7	24,98	24,393	746	687,0	28,29	27,407
	2.	1140		24,38		678		26,52	
	3.	1089		23,72		637		27,41	



Slika 3: Grafički prikaz mehaničkog oštećenja U_m osnove i potke

Kod osnove je primjetan pad čvrstoće s brojem ciklusa pranja, 5,36 % za 3W i 6,67 % za 10W. Kod potke se primjećuje drugačiji trend. Nakon trećeg ciklusa pranja došlo je do blagog povećanja čvrstoće, za 3,78 %, što može biti posljedica skupljanja pamučne komponente u procesu pranja. Poznato je da se tekstilije stabiliziraju kroz početne cikluse pranja, što najčešće odgovara 3 ciklusa.

Antimikrobni učinak uzoraka praćen je standardiziranom metodom prema AATCC 147, a rezultati ispitivanja prikazani su tablici 3 i slici 4.

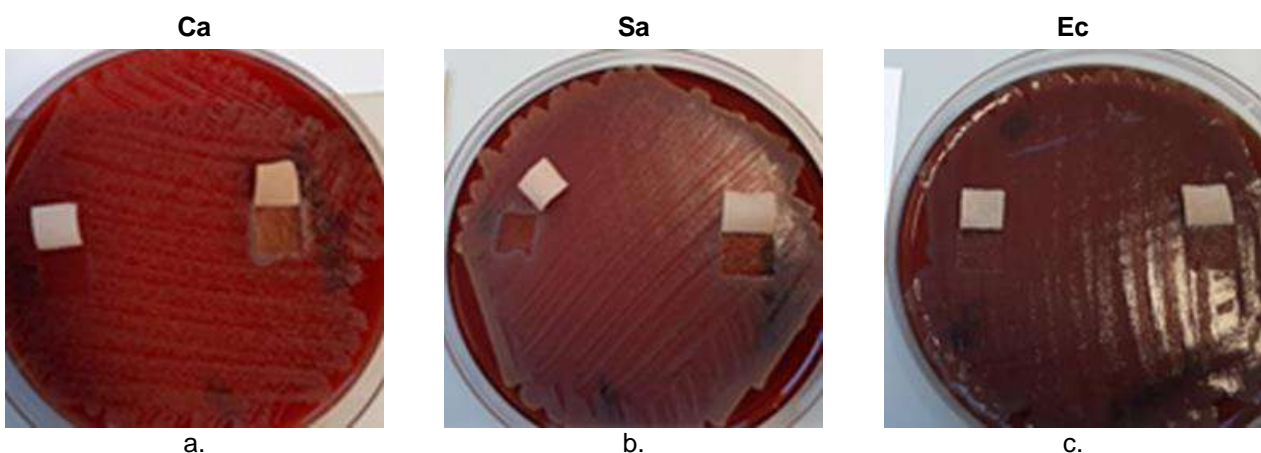
Tablica 3: Antimikrobna učinkovitost neopranih i opranih uzoraka

Uzorak	Ca	Sa	Ec
0W	+/-	+/-	+/-
3W	+/-	+/-	+/-
10W	+/-	+/-	+/-

+ ima zonu, nema gljivica niti na tkanini niti ispod nje

- nema zonu, ima gljivice

+/- nema zonu; nema gljivica na površini tkanine niti ispod nje



a.

b.

c.

Slika 4: Prikaz zone inhibicije nakon 10 ciklusa pranja na: a. *Candida albicans*, b. *Staphylococcus aureus*, c. *Escherichia coli*

Slika 4 pokazuje antimikrobnost svih analiziranih uzoraka, koji nemaju zonu inhibicije, niti gljivice i bakterije na površini ispitivanih uzoraka ili ispod njih. Rezultati antimikrobne učinkovitosti u tab. 4 pokazuju da povećan broj ciklusa pranja ne utječe na promjene ovih svojstava u odnosu na početnu antimikrobno obrađenu (+/-).

4. Zaključak

U ovom radu je analiziran učinak optimiranog procesa pranja na svojstva antimikrobno obrađenih uzoraka. Na osnovu prikazanih i dobivenih rezultata može se zaključiti da deset ciklusa pranja ne utječe na površinu antimikrobno obrađene tkanine. Provedeni ciklusi pranjem utječu na neznatne promjene u čvrstoći, manje od 5 % kroz 10 ciklusa pranja, a istovremeno povoljno utječu na stupanj bjeline, koji se povećava zahvaljujući kumulativnom djelovanju optičkog bjelila. Svi uzorci pokazuju svojstvo antimikrobnosti, nemaju zonu inhibicije ali nemaju niti bakterije ni gljivice na ispitnoj površini i ispod nje.

Zaključno, rezultati su pokazali kako je optimirani postupak pranja u potpunosti udovoljio načelu 3E jer su morfološka, mehanička, spektralna i antimikrobna svojstva antimikrobno obrađenih uzoraka u potpunosti zadržana kroz 10 ciklusa pranja.

Zahvala



Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP-2017-05-8780 Bolničke zaštitne tekstilije.

Literatura

- [1] Pušić, T. i sur.: Tehnološka unapređenja u industrijskim praonicama rublja, *Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske 2016.*, Andročec, V., Terze, Z. (ur.), 279-289, ISBN 978-953-7076-27-6, Zagreb, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, (2017.)
- [2] Tarbuk, A.; Pušić, T. & Dekanić, T.: Postupci proizvodnje, uzorkovanja i analize deterdženata, *Tekstil*, **62** (2013) 7-8, 319-328, ISSN 0492-5882
- [3] Republika Hrvatska, Ministarstvo zdravstva: Deterdženti, *Dostupno na: <https://zdravlje.gov.hr/ominstarstvu/djelokrug-1297/javnozdravstvena-zastita/predmeti-opce-uporabe-1358/deterdzenti-1898/1898>*, *Pristupljeno: 2022-12-5*
- [4] Pušić, T.:]@, *I. međunarodna konferencija "Cjeloviti pristup okolišu"*, Štrkalj, A., Glavaš, Z., Kalambura, S. (ur.), 612-621, ISSN 2623-677X, Sisak: Udruga za promicanje cjelovitog pristupa okolišu (2018)
- [5] Čunko R.: Eko-svojstva tekstila i suvremeni zahtjevi za kvalitetu, *Tekstil* **45** (1996) 1, 1-17, ISSN 0492-5882
- [6] Morais D.S.; Guedes R.M. & Lopes M.A.: Antimicrobial approaches for textiles: from research to market. *Materials* **9** (2016) 498-505, ISSN: 1996-1944
- [7] Boyano, A. et al: Revision of six EU Ecolabel Criteria for detergents and cleaning products, 2016, *Dostupno na: https://ec.europa.eu/environment/ecolabel/documents/JRC104463_detergents_without%20watermark.pdf*, *Pristupljeno: 2022-12-5*
- [8] Gao, Y. & Cranston, R.: Recent advances in antimicrobial treatments of textiles, *Textile Research Journal* **78** (2008) 1, 60-72, ISSN: 0040-5175
- [9] Dekanić, T. et al.: Optimization of the washing process for hospital textiles, 8th International Professional and Scientific Conference „Occupational Safety and Health“, Kirin, S.; Štedul, I.; Bubaš, M. (Eds.), 571-577, ISSN 2623-6435, Karlovac: University of Applied Sciences (2022)
- [10] Flinčec Grgac S., Kopljar, M. & Malinar, R.: Influence of cotton pre-treatment in an alkaline medium on binding with inclusion complex of beta-cyclodextrin- tea tree essential oil, *Proceedings of 13th symposium „Novel Technologies and Economic Development“*, Lazić, M. (ur.), 128-135, ISBN 978-86-89429-36-7, Leskovac: Faculty of Technology (2019)
- [11] Pušić, T., Soljačić, I. & Dekanić, T.: Cumulative effects of washing on properties of cotton fabrics and their blends, *H&PC Today*, **9** (2014) 7/8, 26-33, ISSN 2035-4614
- [12] Griesser, R.: Assessment of whiteness and tint of fluorescent substrates with good interinstrument correlation, *Color Research and Application* **19** (1994) 6, 446-460

PROTOKOLI ZA ANALIZU OTPUŠTENIH ČESTICA U PROCESU KUĆANSKOG PRANJA

PROTOCOLS FOR ANALYSIS OF RELEASED PARTICLES IN PROCESS OF HOME LAUNDERING

Tea KAURIN* & Ana ŠARAVANJA

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; tea.kaurin@ttf.unizg.hr;
ana.saravanja@ttf.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: tea.kaurin@ttf.unizg.hr

Sažetak: Jedan od problema globalnih razmjera u posljednjem desetljeću prisutnost je čestica mikroplastike u okolišu (vodi, tlu, hrani itd.). Američka udruga tekstilnih kemičara i kolorista (AATCC - The American Association of Textile Chemists and Colorists), 2021. godine objavila je prvu metodu za procjenu otpuštanja čestica/fragmenata vlakana tijekom kućanskog pranja (AATCC TM212-2021, Test Method for Fiber Fragment Release During Home Laundering). Unutar predmetne metode definirani su ključni pojmovi: vlakno, fragment vlakna te mikrovlakno koji su često predmet rasprava u znanstvenim i strukovnim krugovima pri definiranju otpuštenih čestica. Objava ove za sada jedine metode donekle rješava nedosljednosti u protokolu provedbe pranja i načina analize otpuštenih čestica, a koje su dvojbene prilikom vrednovanja razmjera zagađenja efluenta od procesa pranja. U ovom radu je načinjena usporedba procesnih parametara i načina analize efluenta od procesa pranja prema TM212 razvijenog u provedbi projekta HRZZ IP-2020-02-7575: Procjena otpuštanja čestica mikroplastike u pranju poliesterskih tekstilija s ciljem dosljednog određivanja otpuštanja čestica/fragmenata vlakana u otpadnoj vodi tijekom kućanskog pranja.

Abstract: One of the problems of global proportions in the last decade is the presence of microplastic particles in the environment (water, soil, food, etc.). In 2021, the American Association of Textile Chemists and Colorists (AATCC - The American Association of Textile Chemists and Colorists), published in 2021 the first method for evaluation of the released particles/fiber fragments during home laundering (AATCC TM212-2021, Test Method for Fiber Fragment Release During Home Laundering). Within the standard, the following terms are defined: fiber, fiber fragment and microfiber, which are often a subject of discussion in scientific and professional community. The publication of this consistent and unique method somewhat resolves the inconsistencies in the implementation of washing protocol and the method of analysis of released particles, which are doubtful when evaluating the scale of effluent pollution from the washing process. In this paper, a comparison of process parameters and methods of effluent analysis from the laundering process is made according to the standardized procedure TM212 and the method developed during the implementation of the project HRZZ-IP-2020-02-7575: Assessment of microplastic shedding from polyester textiles in washing process with the aim of consistently determining the release of particles/fiber fragments in waste water during household washing.

Ključne riječi: Mikroplastika; kućansko pranje; otpuštanje; AATCC; efluent

Keywords: Microplastics; household washing; release; AATCC; effluent

1. Uvod

Prisutnost čestica mikroplastike u okolišu (vodi, tlu, hrani itd.) predstavlja sve veći problem globalnih razmjera u posljednjem desetljeću. Tekstilna industrija, kao jedan od zagađivača okoliša, postaje sve svjesnija ovog problema zbog fragmentacije vlakana u uvjetima uporabe [1]. Unatoč činjenici da se otpadne vode pročišćavaju velike količine čestičnih tvari (pigmenti, vlakanca, mikroplastika) dospijevaju u vode.

Mikroplastikom se smatraju sve čestice plastike čija je dimenzija/promjer manji od 5 mm, a mogu se pojaviti u različitim oblicima [2]. Studije su pokazale da se u procesu pranja otpuštaju čestične tvari, a prema procjeni u jednom ciklusu pranja se otpusti 162±52 vlaknatih čestica/g odjeće [1, 3]. Budući da se čestične tvari najviše otpuštaju u procesu pranja sintetskih tekstilija, potrebno je raditi na standardizaciji protokola i

metoda analize količine otpuštenih čestica u definiranim uvjetima [3]. Standardizaciju protokola i metoda otežavaju globalne navike pranja (*washing habits*) kao i čimbenici koji su uključeni u fenomen otpuštanja čestica iz tekstilija u procesu pranja. Uz temeljne čimbenike Sinnerovog kruga (kemija, mehanika, vrijeme, temperatura) koji opisuje način provedbe procesa pranja važno je istaknuti svojstva tekstilija. U Tablici 1 su opisane neke značajke tekstilija te vanjski utjecaji u procesu pranja i sušenja na otpuštanje čestica tekstilnog podrijetla.

Tablica 1: Parametri koji utječu na otpuštanje čestica tekstilnog podrijetla iz odjeće tijekom uporabnog ciklusa [4]

Tekstilni parametri	Vrsta	Hidrofilne tekstilije otpuštaju više vlakana nego hidrofobne.
	Karakteristike pređe	Pređe s većim brojem uvoja i većom duljinom filameta otpuštaju manje mikrovlakana.
	Način rezanja uzoraka	Termički rezane tkanine otpuštaju manje nego mehanički rezane tkanine.
	Strukturalne značajke	Utjecaj pletene i tkane strukture nije u potpunosti jasan.
	Starost tkanine	Utjecaj nije primjenjiv jer odjeća ne prolazi potpun uporabni ciklus.
Vanjski parametri	Vrsta stroja za pranje	Vertikalni doprinose većem broju otpuštenih čestica nego horizontalni, iako se to dovodi s omjerom kupelji u stroju.
	Volumen vode	Viši omjeri kupelji povećavaju otpuštanje.
	Brzina	Nema utjecaja
	Vrijeme	Nema utjecaja
	Temperatura	Nema utjecaja
	Sušenje	Veći stupanj otpuštanja čestica tijekom strojnog sušenja u nego u pranju. Postoje razlike u količini otpuštenih čestica u stroju i na zraku.

Američka udruga tekstilnih kemičara i kolorista (AATCC) 2021. godine objavila je prvi protokol i prvu metodu za procjenu otpuštenih čestica/fragmenata vlakana tijekom kućanskog pranja – AATCC TM212-2021, *Test Method for Fiber Fragment Release During Home Laundering*. Metoda je izrađena suradnjom AATCC-ovog Odbora za globalnu održivost RA100, Konzorcija mikrovlakana sa sjedištem u Velikoj Britaniji i Međuindustrijskog sporazuma europskih potpisnika [5, 6].

Prije objave protokola i metode AATCC TM212-2021 skupina istraživača koncipirala je provedbu procesa pranja poliesterskih tekstilija kroz istraživački projekt Hrvatske zaklade za znanost (HRZZ), IP-2020-02-7575: Procjena otpuštanja čestica mikroplastike u pranju poliesterskih tekstilija.

U ovom pregledu načinjena je usporedba procesnih parametara u procesu pranja i načina analize efluenta od procesa pranja prema AATCC TM212 i postupka koji se provodi u okviru navedenog projekta s ciljem dosljednog određivanja otpuštanja čestica/fragmenata vlakana u otpadnoj vodi tijekom kućanskog pranja.

2. Protokol analize prema AATCC TM212-2021

Istraživanja su dokazala da gotovo sve tekstilije oslobađaju fragmente vlakana pa je ova metoda primjenjiva za sve tekstilije podvrgnute procesu pranja [6]. Ova metoda propisuje protokol za procjenu sklonosti tekstilnog materijala otpuštanju fragmenata vlakana tijekom procesa pranja. Iako nije utvrđena korelacija između stvarnog kućnog pranja i ovog postupka, on može dati aproksimaciju otpuštanja vlakana i može se koristiti za usporedbu različitih tekstilija. Metoda ispitivanja temelji se na gravimetrijskom određivanju fragmenata vlakana koji se oslobađaju tijekom procesa pranja, gdje se u laboratorijskim uvjetima pojačava udio mehanike kroz dodatak kuglica od nehrđajućeg čelika koje hidrodinamički pospješuju habanje tekstilija tijekom procesa.

Ovako koncipirana metoda pruža ujednačen pristup i koristan alat za bolje razumijevanje problema koji nastaju u procesu pranja. Da bi se izbjegle nejasnoće u terminologiji, definirani su pojmovi, navedene su sigurnosne mjere opreza, ograničenja, aparature, reagensi, materijali, uzorkovanje, uzorci, kondicioniranje, priprema, postupak, izračuni te izvješće.

U uvodnom dijelu metode definirani su pojmovi „vlakno“, „*fragment vlakna*“ i „*mikrovlakno*“ budući da se ti pojmovi koriste u literaturi i govoru kao sinonimi, iako imaju različita značenja [5].

- *Vlakno* – generički pojam za osnovne elemente tekstila, a koje općenito karakteriziraju fleksibilnost, finoća i visok omjer duljina prema debljini.
- *Fragment vlakna* – kratki djelić tekstilnih vlakana (obično $< 5 \times 10^{-3}$ m duljine) odlomljenog (ili odvojenog) od tekstilne konstrukcije, koji se zbog svoje male duljine često naziva i mikrovlaknom.
- *Mikrovlakno* – vlakno s linearnom gustoćom manjom od 1 den ili 1 dtex.

3. Protokol analize prema InWaShed-MP, HRZZ IP-2020-02-7575

Jedan od ciljeva projekta HRZZ-IP-2020-02-7575 je razvoj metodologije za procjenu otpuštenih čestica s poliesterskih tekstilija u procesu pranja [7]. U okviru projektnih aktivnosti provode se dva postupka pranja: standardni i inovativni (modificirani standardni postupak u fazama ispiranja, gdje se primjenjuje *Cool down*).

4. Usporedba čimbenika u procesu pranja i protokolu analize čestične tvari

Usporedba dva protokola i metode analize: AATCC TM212-2021 i standardnog prema HRZZ IP-2020-02-7575 načinjena je kroz četiri elementa: pripremu uzorka (Tablica 2), postupak pranja i ispiranja (Tablica 3), postupak odvajanja čestične tvari iz efluenta i iskazivanje rezultata (Tablica 4).

Tablica 2: Priprema uzorka tekstilija

Zahtjevi	TM212	InWaShed-MP
Osobna zaštitna oprema	Ispitivač mora imati laboratorijsku kutu te nitrilne rukavice	
Četkanje	Četkom koja se ne nabija statičkim elektricitetom uklanjaju se „labava“ vlakna s uzorka	-
Dimenzioniranje	Bez označavanja uzoraka, dimenzije uzorka 200 x 340 mm, porubiti i presaviti da bi se dobile konačne dimenzije (100 x 240 ± 10mm)	Uzorci se režu pomoću ultrazvučnog rezača (<i>Sonowave ultrasonic</i> TTS-400), dimenzije uzorka 30 x 50 mm
Kondicioniranje uzoraka	<p><u>Metoda A</u> T=21 ± 2 °C, RH=65 ± 5%, t=4 h, uzorke pokriti aluminijskom folijom kako ne bi došlo do kontaminacije</p> <p><u>Metoda B</u> Kondicioniranje u sušioniku, bez cirkulacije zraka, T=70 °C, t=4 h; potom u eksikatoru ohladiti uzorke kroz najmanje 30 min</p>	<p><u>Metoda B</u> Kondicioniranje u sušioniku, bez cirkulacije zraka, T=70 °C, t=4 h, zatim u eksikatoru ohladiti uzorke kroz najmanje 30 min</p>

Tablica 3: Postupak pranja i ispiranja

Zahtjev	TM212	InWaShed-MP
Uređaj za proces pranja	Rotirajući uređaj (40 ± 2 o/min) sa zatvorenim kivetama i termostatom	
Kivete	S polugom od nehrđajućeg čelika s poklopcem i brtvom, Tip 2, V=1200 ml	
Kuglice	Od nehrđajućeg čelika, r=6 mm, 50 kom	-
Tip vode	Destilirana ili deionizirana	Tvrda
Deterdžent	AATCC High Efficiency (HE) Standard Reference Liquid Detergent WOB (without optical brightener)	Standardni deterdžent ECE A - nefosfatni deterdžent bez optičkog bjelila – SDC Enterprises Limited
Doziranje deterdženta (g/L)	2,5	1,25
Kupelj za pranje	<p><u>Metoda A</u> Otopina deterdženta</p> <p><u>Metoda B</u> Voda</p>	<u>Metoda A</u> Otopina deterdženta
Temperatura (°C)	40 ± 2	60
Volumen kupelji (mL)	360 ml	OK 1:8
Zagrijavanje	Zagrijati uređaj i kivetu s kupelji cca 10 min prije dodavanja uzorka te dodati uzorak	Uzorak se dodaje u kivetu s kupelji i grije s 20 °C na radnu temperaturu 60°C
Vrijeme (min)	45*	30*
Proces ispiranja		
Volumen (mL)	>1500	1000
Voda	Destilirana ili deionizirana	Tvrda
Način ispiranja uzorka	Zbog kuglica postaviti sito na čašu da ne dođe do prskanja i da se kuglice i uzorak zadrže na situ. Isprati kuglice i čašu. Uzorak ispirati bez stiskanja i pritiskanja, laganim štrcanjem ispiru se s obje strane	Uzorak prenijeti u staklenu čašu s vodom, OK 1:7. Uzorak se ispiru bez stiskanja, pomoću pincete lagano se uranja u čašu više puta cca 30 s
Broj ciklusa	3	4

*nakon postizanja radne temperature

Iz usporedbe pripreme uzorka mogu se izdvojiti razlike i sličnosti protokola. Razlike se očituju u prethodnom četkanju površine tekstilije kako bi se uklonila slabije-labavija vlakna unutar strukture (TM212), a koje se prema InWaShed-MP ne provodi; načinu rezanja uzoraka i dimenzija. Sličnost oba protokola u načinu kondicioniranja uzoraka po metodi B, dok se kondicioniranje po metodi A provodi samo u TM212.

Na temelju prikazanih uvjeta provedbe procesa pranja i sušenja u Tablici 2 mogu se izdvojiti veće razlike nego sličnosti. Najznačajnija razlika je u izbor deterdženta: TM212 propisuje standardni tekući deterdžent ili vodu, a InWaShed-MP standardni praškasti deterdžent. Dodatno je uočljiva i razlika u kvaliteti vode. Ove razlike mogu značajno utjecati na sadržaj čestične tvari, pri čemu tekući deterdžent radi dobre topivosti u vodi ne generira disperzne čestice u odnosu na praškasti, gdje se u efluentu od procesa pranja u tvrdoj vodi mogu očekivati inkrustacije i/ili netopive čestice, npr zeolit, ukoliko nisu utrošene na mekšanje vode. Temperatura pranja je različita: TM212 propisuje 40 °C, dok se u InWaShed-MP prakticira 60 °C kao ekstremniji čimbenik Sinnerovog kruga. U skladu s tim u InWaShed-MP se koristi manja masena koncentracija deterdženta (1,25 g/L) u odnosu na TM212 (2,5 g/L). Ovaj odnos u potpunosti slijedi zakonitosti Sinnerovog kruga, gdje se povećanje jednog kompenzira smanjenjem drugog čimbenika [8].

Tablica 4: Postupak odvajanja čestične tvari iz efluenta

Zahtjev	TM212-2021	InWaShed-MP
Filtracija	Vakuumska	Membranska tlačna
Filter	Filter papir od staklenih vlakana, pora 1,6 µm, promjera 47 mm	od staklenih vlakana, promjera 47 mm
Uvjeti sušenja filtera	<u>Metoda A</u> Kondicioniranje u standardnim uvjetima <u>Metoda B</u> Sušenje u sušioniku (hlađenje u eksikatoru sa silikagelom)	<u>Metoda B</u> Sušenje u sušioniku (hlađenje u eksikatoru sa silikagelom)
Gravimetrija	+	+
Analička vaga	Preciznosti 0,0001 g	

Iz pokazatelja u tablici 4 je razvidno da se oba protokola odvajanja čestične tvari temelje na filtraciji, koje se provode na različit način te da se provodi gravimetrijska analiza.

Tablica 5: Pokazatelj čestične tvari

Pokazatelj	TM212-2021	InWaShed-MP
Metoda analize čestične tvari	Gravimetrija - masa u gramima	Gravimetrija - masa u gramima TS (ukupna čvrsta tvar)
	-	Identifikacija mikroskopom
	-	Identifikacija bojiлом

Iz pokazatelja u tablici 5 je razvidno da protokol InWaShed-MP uključuje veći broj indikatora odnosno dodatne metode kojima se procjenjuje sadržaj čestične tvari.

5. Zaključak

Na temelju provedene usporedne analize može se zaključiti da protokol i metoda analize AATCC TM212 i InWaShed-MP imaju više razlika nego sličnosti. Koncept AATCC TM212 je ispitno važan, dok koncept InWaShed-MP ima istraživački značaj. Ove razlike ukazuju da je uz iskazivanje sadržaja čestične tvari u efluentu od procesa pranja uz važne značajke tekstilija potrebno navesti ostale važne čimbenike u procesu pranja i sušenja, te načina odvajanja.

Zahvala



Ovaj rad je tematski povezan i sufinanciran od strane Hrvatske zaklade za znanost projektom IP-2020-02-7575, „Procjena otpuštanja čestica mikroplastike iz poliesterskih tekstilija u procesu pranja, InWaShed MP“. Rad doktorandice Ane Šaravanja sufinanciran je dijelom iz „Projekta razvoja karijera mladih istraživača – izobrazba novih doktora znanosti“ Hrvatske zaklade za znanost (HRZZ- DOK-2021-02-6750).

Literatura

- [1] De Falco, F.; et al.: Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics, *Environmental Pollution*, **236** (2018), 916-925, ISSN 0269-7491
- [2] Choobar, B. G.; et al.: Fouling mechanism identification and analysis in microfiltration of laundry wastewater, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **7** (2019) 2, 103030, ISSN 2213-3437
- [3] Kang, H.; et al.: Impact of Chitosan Pretreatment to Reduce Microfibers Released from Synthetic Garments during Laundering, *Water*, **13** (2021) 18, 2480, ISSN 2073-4441
- [4] Palacios-Mateo, C.; van der Meer, Y. & Seide, G.: Analysis of the polyester clothing value chain to identify key intervention points for sustainability, *Environmental Sciences Europe*, **33** (2021) 1, 1-25, ISSN 21904707
- [5] The American Association of Textile Chemists and Colorists: AATCC TM212-2021, Test Method for Fiber Fragment Release During Home Laundering, (2021)
- [6] AATCC test method quantifies fibre shedding: <https://www.innovationintextiles.com/testing-standards/aatcc-test-method-quantifies-fibre-shedding/>, pristupljeno: 8.11.2022.
- [7] InWaShed – MP: <https://inwashed.wixsite.com/unizg-ttf>, pristupljeno: 29.11.2022.
- [8] Soljačić, I.; Pušić, T.: *Njega tekstila – čišćenje u vodenom mediju*, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN 9537105091, Zagreb, (2005)

OTPUŠTANJE ČESTICA MIKROPLASTIKE S TKANINE OD MJEŠAVINE PAMUKA S POLIESTEROM U PROCESU PRANJA

RELEASE OF MICROPLASTIC PARTICLES FROM COTTON AND POLYESTER BLEND FABRIC DURING THE WASHING PROCESS

Petra MIHOVILOVIĆ*; Kristina ŠIMIĆ; Tanja PUŠIĆ & Branka VOJNOVIĆ

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; petra.mihovilovic@ttf.unizg.hr; kristina.simic@ttf.unizg.hr; tanja.pusic@ttf.unizg.hr; branka.vojnovic@ttf.unizg.hr
*Adresa za korespondenciju: petra.mihovilovic@ttf.unizg.hr

Sažetak: Onečišćenje okoliša mikroplastikom globalni je problem o kojem se trenutno intenzivno raspravlja unutar znanstvene zajednice. Tekstilni materijali jedni su od glavnih izvora čestica mikroplastike, koje se otpuštaju u okoliš tijekom cjeloživotnog ciklusa tekstilnih materijala, a ponajviše u procesima pranja. Količina otpuštenih čestica mikroplastike prvenstveno ovisi o vrsti i konstrukciji tekstilnog materijala te parametrima pranja poput hidrodinamike, temperature, vremena i primijenjenih kemikalija. U ovom radu procijenjena je količina otpuštenih čestica iz tkanine od mješavine pamuka s poliesterom u procesima pranja standardnim i inovativnim postupkom. Količina otpuštenih čestica je procijenjena gravimetrijskom metodom nakon membranske filtracije i karakterizacijom filtarskog kolača mikroskopiranjem te selektivnim bojadisanjem. Također su ispitani i kemijski i fizikalno-kemijski parametri efluenta i filtrata (pH, elektrovodljivost, mutnoća, ukupna čvrsta tvar, ukupna suspendirana tvar i ukupna otopljena tvar te kemijska potrošnja kisika - KPK). Dobiveni rezultati su uspoređeni s procesom pranja u vodi, bez dodatka deterdženta kako bi se ispitaio utjecaj mehanike, temperature i vremena na otpuštanje čestica mikroplastike. Rezultati su pokazali da je tijekom procesa pranja ispitivane tkanine došlo do otpuštanja čestica mikroplastike u obliku vlakana i aglomerata a prisutnost deterdženta potiče otpuštanje čestica. Udio otpuštenih čestica celuloznog podrijetla je veći u odnosu na udio čestica poliestera.

Abstract: Environmental pollution by microplastics is a global problem that is currently the subject of intense scientific debate. Textiles are one of the main sources of microplastic particles released into the environment throughout the life cycle of textiles, especially during washing processes. The amount of microplastic particles released depends primarily on the type and structure of the textile material as well as on washing parameters such as hydrodynamics, temperature, time and chemicals used. In this work, the amount of released particles from a fabric made of a cotton-polyester blend was evaluated during washing processes with a standard and an innovative process. The amount of released particles was estimated by the gravimetric method after membrane filtration and characterisation of the filter cake by microscopy and selective colour staining. The chemical and physicochemical parameters of the effluents and filtrates were also studied (pH, electrical conductivity, turbidity, total solids, total suspended solids and total dissolved solids, and chemical oxygen demand - COD). The results obtained were compared with the washing process in water without the addition of detergent to investigate the influence of mechanical agitation, temperature and time on the release of microparticles. The results showed that during the washing process of the tested fabric, microparticles were released in the form of fibres and agglomerates, while the presence of detergent promoting the release of particles. The proportion of released particles of cellulosic origin is higher than the proportion of polyester particles.

Ključne riječi: onečišćenje okoliša; mikroplastika; pamuk/PES tkanina; otpadne vode nakon pranja; mutnoća; ukupna suspendirana tvar; KPK

Keywords: environmental pollution; microplastics; cotton/ PES fabric; washing wastewater; turbidity; total suspended solids; COD

1. Uvod

Mikroplastiku predstavljaju čestice plastičnog materijala čija je veličina manja od 5 mm, a prisutna je u različitim oblicima poput listića, kuglica, pahuljica, krhotina nastalih direktnim unošenjem u okoliš ili

fragmentacijom plastičnih materijala. Prva poznata istraživanja na ovu temu proveli su E. J. Carpenter i K. L. Smith 1972. godine [1]. Procjenjuje se da 35 % ukupne mikroplastike prisutne u oceanima dopijeva iz procesa pranja tekstilnih materijala. Dokazano je kako odjevni predmeti po litri otpadne vode otpuštaju više od 100 vlakana [2]. Čestice koje se otpuštaju s tekstilnih materijala mogu biti prirodnog i sintetičkog porijekla. Vlakna prirodnog podrijetla u prirodnim i otpadnim vodama su zastupljena u većem udjelu od sintetičkih, ali se ona brže razgrađuju u okolišu u odnosu na čestice sintetičkih materijala. Uzimajući u obzir da današnji sustavi pročišćavanja otpadnih voda nisu na toj razini da mogu zadržati sve otpadne čestice mikro- i nanovlakana, vlakna iz otpadnih voda dopijevaju u prirodni recipijent i dodatno se mehanički usitnjavaju, što rezultira akumulacijom mikro- i nanoplastike u okolišu [3]. Njihovom akumulacijom u biljkama i životinjama, mikroplastika dopijeva u hranidbeni lanac, a samim time i do čovjeka. S druge strane još veći problem uzrokuju neobrađene otpadne vode, koje se direktno ispuštaju u rijeke, jezera, oceane i mora. U ovom trenutku nije usvojena zakonska regulativa koja bi se odnosila na reguliranje otpuštanja čestica mikroplastike tijekom procesa pranja sintetskih materijala u okoliš. Količina otpuštenih čestica mikroplastike ovisi o vrsti tekstilnog materijala, ali i o parametrima pranja (hidrodinamika, temperatura, vrijeme, uporabljene kemikalije). Povećanjem temperature pranja te uporabom deterdženta za pranje tekstilnog materijala pospješuje se oslobađanje čestica mikroplastike iz svih sintetičkih tkanina [4,5]. Najveće količine čestica mikroplastike otpuštaju tekstilni materijali od poliestera (56 %), potom poliakrila (23 %), polipropilena (7 %) i polietilena (6 %) [6,7].

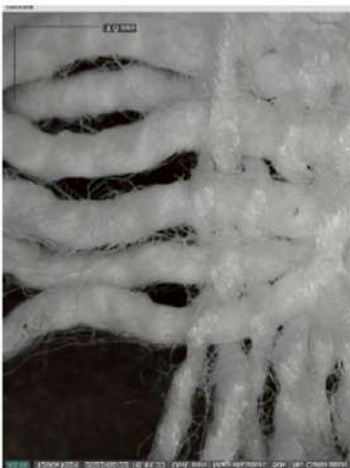
Čestice mikroplastike prisutne u vodenom okolišu mogu apsorbirati različita zagađivala iz vodenog okoliša i tako djelovati kao vektori adsorbiranih zagađivala. Adsorpcija ovisi o vrsti, starosti i polarnosti mikroplastike, omjeru površine i volumena mikroplastike te o uvjetima u okolišu. Na taj će način čestice mikroplastike prisutne u okolišu postati jedinstveni supstrati za mikroorganizme koji na tako velikoj površini lako koloniziraju tvoreći biofilm. Nastali biofilm nadalje može apsorbirati dodatna zagađivala (metali, patogene i organske onečišćujuće tvari, pesticidi i sl.) na čestice mikroplastike, te na taj način djelovati kao vektor-prijenosnik i zagađivala i pričvršćenih mikroorganizama u vodeni okoliš i na žive sustave [8].

Iz navedenih je razloga neophodno pratiti vrstu i sadržaj čestica sintetičkih polimera otpuštenih s tekstilnih materijala. U ovom radu procijenjena je količina i vrsta otpuštenih čestica iz tkanine od mješavine pamuka s poliesterom u procesima pranja standardnim i inovativnim postupkom u vodi i deterdžentom.

2. Eksperimentalni dio

2.1 Materijali i metode

U radu je korištena tkanina koja se sastoji od pamučne celuloze (60 %) i poliester (40 %), površinske mase 270 g m⁻², gustoće 14 niti cm⁻¹ u smjeru osnove i potke, vez krep (slika 1.).



Slika 5: Digitalna mikrofotografija ispitivanog tekstilnog materijala [9]

Tkanina pamuk/PES izrezana je ultrazvučnim rezačem Sonowave Ultrasonic REXEL TTS 400 tako da masa uzorka iznosi 37,9 g. Glavni razlog korištenja ultrazvučnog rezača je što se dobiva fiksirani rez, čime se onemogućava daljnje otpuštanje vlakana s rubnih dijelova tkanine.

Izrezan je po jedan uzorak za svaki postupak pranja: standardni (S) i inovativni (I) u vodi (V) i otopini standardnog deterdženta (D), pri čemu je korišten ECE A (nefosfatni deterdžent bez optičkog bjelila) tvrtke SDC Enterprises Limited, Velika Britanija.

Svi navedeni postupci pranja provedeni su u uređaju za pranje Rotawash, SDL Atlas, prema normi HRN EN ISO 6330:2012 uz omjer kupelji 1:8 pri 60 °C kroz 10 ciklusa. Nakon postignute temperature 60 °C procesi su nastavljeni kroz 30 minuta.

Standardni i inovativni procesi pranja provedeni su u suspenziji deterdženta u vodovodnoj vodi ($\gamma = 1,25 \text{ g dm}^{-3}$), dok su usporedno oba postupka provedena i u vodovodnoj vodi. Nakon postupka pranja, proveden je postupak ispiranja u vodovodnoj vodi s omjerom kupelji 1:7. Za standardni postupak ispiranje je provedeno 4 puta u vodi sobne temperature, dok je inovativni postupak proveden uz postupno smanjenje temperature (T

= 60 °C, 50 °C, 40 °C, 30 °C). Nakon svakog provedenog ciklusa pranja vodom i deterdžentom, te ispiranja standardnim i inovativnim postupkom prikupljala se voda.

Metodom membranske filtracije korištenjem filtra od staklenih vlakana (veličina pora 0,7 µm (Munktell)) odvojene su krute čestice suspendiranih tvari, što uključuje i otpuštene čestice mikroplastike.

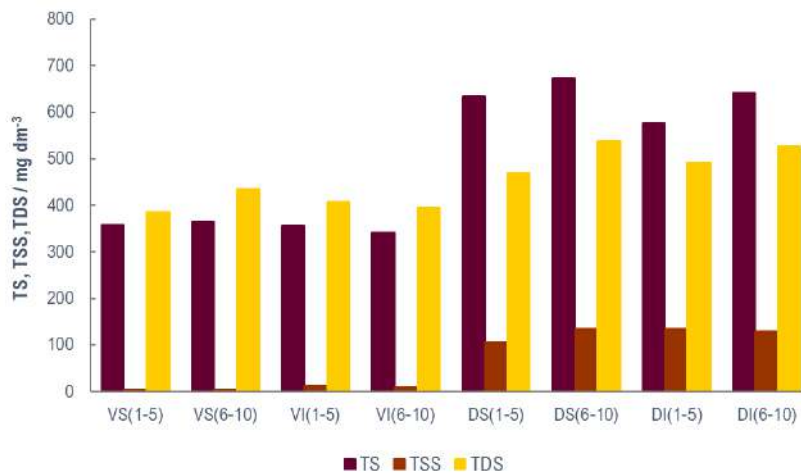
Efluenti od pranja i ispiranja kompozitno su prikupljeni u dvije skupine: prva skupna je činila uzorke od 1.–5. ciklusa (1-5), a druga od 6.–10. ciklusa pranja (6-10).

Provedena je i kvalitativna procjena količine otpuštenih čestica mikroplastike snimanjem filtarskog kolača Dino Lite digitalnim mikroskopom kao i selektivnim bojadisanjem filtara bojiлом Telon Blue M-GLW selektivnim za poliestersku komponentu i bojiлом Bezaktiv Brilliantblau V-R selektivnim za celuloznu komponentu.

Uzorci efluenta i filtrata ispitani su s ciljem određivanja ukupne čvrste tvari (TS), ukupne suspendirane tvari (TSS) i ukupne otopljene tvari (TDS) kao i standardnih fizikalno-kemijskih parametara: pH, elektrovodljivost, mutnoća i vrijednosti kemijske potrošnje kisika (KPK). Sva mjerenja provedena su u triplicatu.

3. Rezultati i rasprava

Karakterizacija efluenata od postupka pranja tkanine koja je po sastavu mješavina pamuka i poliestera te karakterizacija separiranih čestica na filtarskom kolaču provedena je s ciljem procjene otpuštaju li se čestice mikroplastike značajnije s tekstilnog materijala kroz 10 ciklusa standardnog ili inovativnog postupka pranja. Slika 2. prikazuje sadržaj ukupne čvrste tvari (TS), ukupne suspendirane tvari (TSS) i ukupne otopljene tvari (TDS) u efluentima nakon provedenog standardnog i inovativnog postupka pranja u vodi i u suspenziji deterdženta.



Slika 6: Grafički prikaz prikaz ukupne čvrste tvari (TS), ukupne suspendirane tvari (TSS) i ukupne otopljene tvari (TDS) određene u efluentima i filtratu od pranja pamuk/PES tkanine u vodovodnoj vodi i suspenziji deterdženta tokom 10 ciklusa pranja

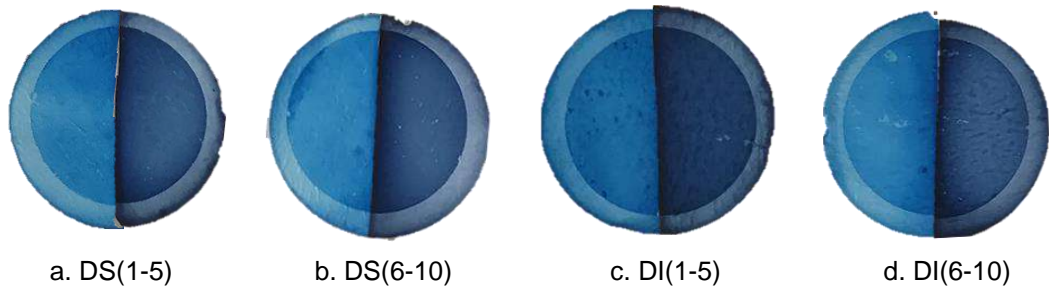
Uočava se da sadržaj TSS tokom svih 10 ciklusa pranja u vodovodnoj vodi ne premašuje donju granicu određivanja ($\gamma = 2 \text{ mg dm}^{-3}$), što ukazuje da pranje tkanine u vodovodnoj vodi uzrokuje minimalno otpuštanje čestica. Nadalje, dolazi do blagog povećanja TSS primjenom inovativnog postupka pranja u vodovodnoj vodi. Ovo opažanje može sugerirati da inovativni postupak potiče otpuštanje čestica.

Postupak pranja tekstilnog materijala u suspenziji deterdženta rezultira znatnim povećanjem sadržaja ukupne čvrste (TS), suspendirane (TSS) i otopljene tvari (TDS) u prikupljenom efluentu. Povećani sadržaj TSS može se objasniti zadržavanjem netopljivih komponenti deterdženta u efluentu, koje prilikom analize uzoraka nije moguće separirati od čestica tekstilnog porijekla.

Primjetno je da inovativni postupak pranja smanjuje sadržaj ukupne čvrste tvari (TS) u odnosu na standardni postupak pranja. Međutim, uočava se trend povećanja sadržaja ukupne otopljene tvari (TDS) i suspendirane tvari (TSS), što se tumači povećanom količinom otpuštenih čestica celuloznih i poliesterskih vlakana. Iako

očekivano dolazi do povećanja svih parametara povećanjem broja ciklusa pranja, prilikom analize treba uzeti u obzir da materijal koji ulazi u 6. ciklus nije isti kao početni materijal.

Za opisivanje fenomena otpuštanja čestica svakako je potrebno uzeti u obzir i konstrukcijske karakteristike predmetne tkanine (slika 1.), ali i sirovinski sastav. S obzirom na to da je ispitni uzorak mješavina pamuka (60 %) i poliester (40 %), za očekivati je da će se u postupcima pranja ovakvog uzorka otpustiti čestice ne samo poliesterne strukture već i celulozne. Otpuštene čestice na bazi celuloze, u odnosu na one poliesterne, ne predstavljaju okolišni problem jer su biorazgradljive [10]. Sa ciljem procjene količine otpuštenih čestica poliesterne i celulozne strukture, filterski kolač bojadisan je dvjema vrstama bojila: selektivnim bojilom za poliesteru komponentu Telon® Blue M-GLW, DyStar (C. I. Acid Blue 221) i selektivnim bojilom za celuloznu komponentu Bezaktiv Brilliantblau V-R spez., Bezema (C.I. Reactive Blue 19, 61200). Rezultati su prikazani na slici 3.

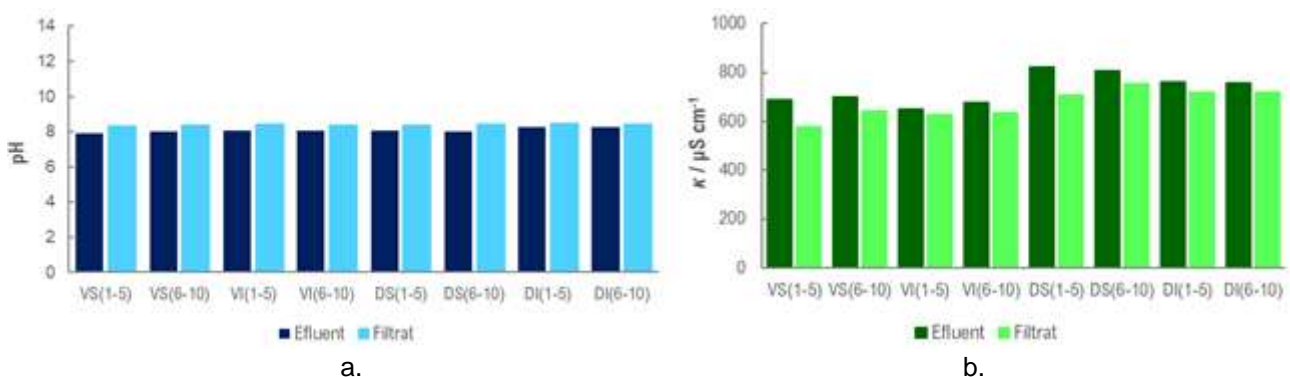


Slika 7: Slike obojadisanih filtera za standardni i inovativni postupak pranja u suspenziji deterdženta

Fotografije filterskih kolača nakon bojadisanja pokazuju različitu obojenost, što potvrđuje da dolazi do otpuštanja čestica obje komponente ispitnog uzorka tkanine (poliesterne i celulozne vlakna). Međutim, u analizi je potrebno uzeti u obzir i netopljive sastojke deterdženta, koji mogu adsorbirati bojila i na taj način otežavati procjenu otpuštenih čestica poliesterne i celulozne vlakna. Budući da se aktivni sastojci deterdženta nisu utrošili na uklanjanje mrlji, može doći do djelovanja samog deterdženta na otpuštena vlakna uzorka. Kao posljedica takvog djelovanja, pretpostavlja se da vlakna s komponentama deterdženta tvore veće nakupine, aglomerate. Ovu tvrdnju potvrđuje i fotografija filterskog kolača za postupak inovativnog pranja u suspenziji deterdženta (slika 3c i 3d).

Praćenjem kvalitete efluenta i filtrata ispitana su njihova kemijska i fizikalno-kemijska svojstva kao i utjecaj pojedinog parametra na mogućnost otpuštanja čestica mikroplastike. U tu su svrhu ispitani sljedeći parametri: pH, elektrovodljivost, mutnoća te kemijska potrošnja kisika (KPK).

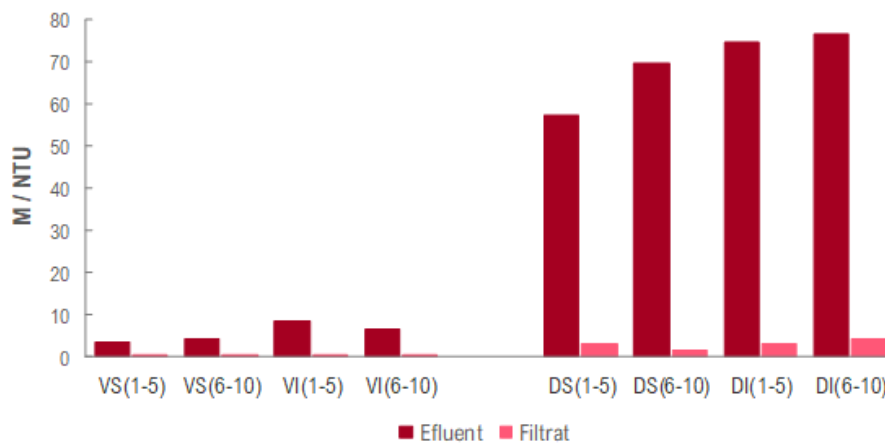
Vrijednosti pH efluenta (slika 4a.) nalaze se u alkalnom području i kreću u rasponu od 7,88-8,45. S obzirom na to da se radi o realnom uzorku, ovo se opažanje objašnjava ispiranjem komponenta deterdženta sa pamuk/PES tkanine, zaostalih u prethodnim ciklusima pranja. Nadalje, neovisno o primijenjenoj tehnologiji pranja (standardno ili inovativno) ne uočava se značajna razlika u pH. Vrijedi da povećanjem broja ciklusa pranja u vodovodnoj vodi i suspenziji deterdženta dolazi do neznatnog povećanja pH vrijednosti efluenta i filtrata. Porast pH efluenta od procesa pranja u suspenziji deterdženta u odnosu na pranje u vodovodnoj vodi pripisuje se sastavu deterdženta, koji sadrži komponente s bazičnim karakterom, kao i činjenici da prilikom pranja ne dolazi do potrošnje deterdženta na uklanjanje zaprljanja tekstilnog materijala. Također se uočava da kod inovativnog postupka pranja dolazi do neznatnog povećanja pH vrijednosti.



Slika 8: Grafički prikaz a. pH vrijednosti i b. elektrovodljivosti efluenta i filtrata dobivenih nakon provedenih ciklusa pranja standardnim i inovativnim postupkom u vodi i suspenziji deterdženta

Nadalje, bitno je naglasiti da elektrovodljivost poprima vrijednosti bliske elektrovodljivosti vode ($\kappa = 680 \mu\text{S cm}^{-1}$), što opet potvrđuje pretpostavku da se prilikom pranja u vodovodnoj vodi ne otpušta značajna količina čestica koje bi utjecale na elektrovodljivost (slika 4b.). One koje bi se ipak otpustile, zaostaju na filternom kolaču. Taj fenomen se može uočiti i na povećanim TSS vrijednostima što se može obrazložiti utjecajem mehanike na pamuk/PES tkaninu tijekom promatranih ciklusa pranja.

U daljnjim ispitivanjima određena je i mutnoća efluenta i filtrata. Mutnoća je pokazatelj prisutnosti čestica otpuštenih u pranju te ukazuje na prisustvo suspendiranih, ali i nekih teže taloživih tvari. Neotopljene i plutajuće ili suspendirane tvari uzrokuju zamućenje vode koje, osim estetskog nedostatka, sprječavaju prodor sunčeve svjetlosti i procese fotosinteze, uzrokuju smanjenje sadržaja otopljenog kisika, ali su i potencijalni „nosači“ štetnih mikroorganizama i zagađivala iz okoliša (metali, pesticidi, farmaceutici itd.). Na slici 5 je prikazana mutnoća prikupljenih efluenta od procesa pranja deterdžentom i vodom (1-5 i 6-10), te pripadajućih filtrata.



Slika 5: Grafički prikaz mutnoće efluenta i filtrata dobivenih nakon provedenih ciklusa pranja standardnim i inovativnim postupkom u vodi i suspenziji deterdženta

Povećane vrijednosti parametra mutnoće, koji je u korelaciji s ukupnom suspendiranom tvari (TSS), ukazuje na zamućenje koje se potencijalno može pripisati netopljivim komponentama deterdženta i otpuštenim česticama s tekstilija. Filtrati nakon pranja u vodi i deterdžentu imaju značajno manje vrijednosti mutnoće nego sami efluenti jer je membranskom filtracijom uklonjen veći dio prisutne suspendirane tvari (čestice manje od $0,7 \mu\text{m}$). Vrijednosti mutnoće filtrata su ispod zakonski propisanih vrijednosti (4 NTU), što ukazuje na dobar odabir filtra u procesu membranske filtracije [11].

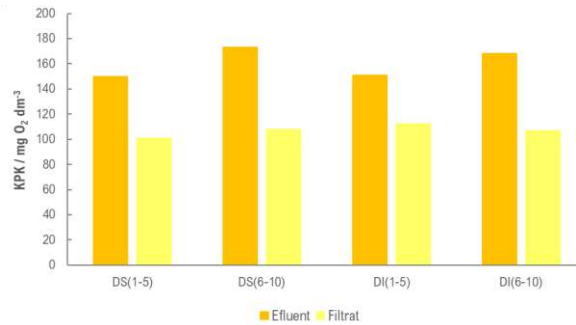
Vidljiva je značajna razlika u mutnoći između pranja u vodi te pranja deterdžentom (slika 5.). Usporede li se vrijednosti mutnoće filtrata od pranja uzorka u vodi s onima uz dodatak deterdženta, uočava se da upotrebom deterdženta u filtriranoj vodi zaostaju topljive komponente deterdženta. Međutim, povećanje vrijednosti mutnoće moglo bi se pripisati i povećanju broja otpuštenih čestica uslijed dodatne kemijske aktivnosti deterdženta. No ovu hipotezu treba dodatno potvrditi u daljnjim istraživanjima.

Nadalje na mutnoću utječe tehnologija pranja (standardni ili inovativni postupak pranja). Kod inovativnog postupka pranja u suspenziji deterdženta mutnoća iznosi čak 75 NTU, dok u usporedbi sa standardnim postupkom pranja iznosi 58 NTU. Pretpostavka je do ovakvog povećanja broja otpuštenih čestica dolazi pod utjecajem ispiranja pri višim temperaturama ($60 \text{ }^\circ\text{C}$, $50 \text{ }^\circ\text{C}$, $40 \text{ }^\circ\text{C}$, $30 \text{ }^\circ\text{C}$). Budući da je uzorak tkanina miješanog sastava, ispiranje pri $60 \text{ }^\circ\text{C}$ pogoduje lakšem otpuštanju čestica iz celuloznih vlakna. Ne može se sa sigurnošću tvrditi uzrokuju li povećanje parametra mutnoće otpuštene čestice vlakana ili čestice deterdženta skinutih s površine tekstilija u procesu pranja. Malo je vjerojatno da je povećanje mutnoće posljedica otpuštanja vlakana s obzirom da su ona dispergirana u otopini.

Parametar KPK opisuje kvalitetu efluenta i filtrata te može ukazati na stupanj onečišćenja. Slika 6 prikazuje promatrane sustave kroz KPK vrijednosti u mg dm^{-3} .

Promatraju li se vrijednosti KPK za procese pranja u vodovodnoj vodi uočava se da su vrijednosti efluenta i filtrata, bez obzira radi li se o standardnom ili inovativnom postupku pranja, ispod granice određivanja metode ($< 25 \text{ mg dm}^{-3}$), osim u slučaju efluenta za pranje u vodi od 1.–5. ciklusa gdje uvećana vrijednost ukazuje na otpuštanje topljivih tvari sa samog ispitnog uzorka. Najvjerojatnije se radi o ostacima zaostalog deterdženta iz prethodnih pranja ispitnog uzorka. Vrijednosti KPK u filtratima za deterdžent, bez obzira radi li

se o standardnom ili inovativnom postupku pranja, značajno se smanjuju što ukazuje da se pravilnim odabirom filtra može značajno utjecati na smanjenje opterećenja efluenta.



Slika 6: Grafički prikaz KPK efluenta i filtrata dobivenih nakon ciklusa pranja standardnim i inovativnim postupkom u suspenziji deterdženta

4. Zaključak

Parametri kvalitete efluenta (mutnoća, elektrovodljivost, pH, KPK) pokazali su da povećanje broja ciklusa pranja utječe na porast ovih vrijednosti. Drugim riječima, broj ciklusa pranja uzrokuje dodatno otpuštanje čestica (čestica mikroplastike, zaostalih komponenata deterdženta) sa ispitivanog uzorka. Pri procjeni količine otpuštenih čestica poliesterske i celulozne komponente, bojadisani filterski kolači pokazuju različitu obojanost, što potvrđuje da dolazi do otpuštanja čestica obje komponente uzorka tkanine (i poliesterska i celulozna vlakna). Nadalje se može uočiti da se ovim postupkom oboje i netopljivi sastojci deterdženta, što otežava analizu. Provedeno istraživanje je potvrdilo složenost promatranih sustava i teškoće u procjeni otpuštenih čestica u procesu pranja, što iziskuje primjenu naprednijih metoda analize u kombinaciji s konvencionalnim.

Zahvala

Ovaj rad je u potpunosti poduprla Hrvatska zaklada za znanost u sklopu projekta IP-2020-02-7575—Procjena otpuštanja čestica mikroplastike iz poliesterskih tekstilija u procesu pranja (InWaShed-MP).

Literatura

- [1] Laskar, N.; Kumar, U.: Plastics and microplastics: A threat to environment, *Environ. Technol. Innov.*, **14** (2019) 100352, str. 3-8, ISSN: 2352-1864
- [2] Browne, M. A. i sur.: Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks, *Environ. Sci. Technol.*, **45** (2021) 21, str. 9175–9179.
- [3] Murphy, F. i sur.: Wastewater treatment works(WWTW) as a source of microplastics in the aquatic environment, *Environ. Sci. Technol.* **50** (2016)11, str. 5800-5808.
- [4] Deng, H. i sur.: Microplastic pollution in water and sediment in a textile industrial area, *Environ. Pollut.*, **258** (2020) 113658, str.113-658, ISSN: 0269-7491.
- [5] Napper I. E.; Thompson, R. C.: Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions, *Mar. Pollut. Bull.*, **112** (2016) 1-2, str. 39-45, ISSN: 0025-326X.
- [6] Zhang, Y.-Q. i sur.: Microplastics from textile origin – emission and reduction measures, *Green Chem.*, **23** (2021) 15, str. 5247–5271
- [7] Yang, L. i sur.: Microfiber release from different fabrics during washing, *Environ. Pollut.*, **249**. (2019) str.136-143
- [8] Wang X.G., Jianming X.: Biofilm-Developed Microplastics As Vectors of Pollutants in Aquatic Environments, *Environ. Sci. Technol.*, **55** (2021) 19, str. 12780-12790
- [9] N. Dimitrov i sur., Application of GC/MS Pyrolysis for Assessment Residues of Textile Composites after Filtration of Washing and Rinsing Effluents, *Separations*, **9** (2022) 292.
- [10] Liu, J. i sur.: Atmospheric microfibers dominated by natural and regenerated cellulosic fibers: Explanations from the textile engineering perspective, *Environ. Pollut.*, **317** (2023) 120771, ISSN 0269-7491
- [11] Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe, NN 125/17, *Dostupan na* https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_12_125_2848.html, *Pristupljeno:* 2022-12-16

TOPLINSKA STABILNOST KOŽE ŠTAVLJENE VEGETABILNO UZ DODATAK ZEOLITA

THERMAL STABILITY OF VEGETABLE-TANNED LEATHER WITH THE ADDITION OF ZEOLITE

Franka ŽUVELA BOŠNJAK & Sandra FLINČEC GRGAC*

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska, franka.zuvela.bosnjak@ttf.unizg.hr;
sflincec@ttf.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: sflincec@ttf.unizg.hr

Sažetak: Proces štavljenja ima najvažniju ulogu u postizanju trajnosti kože, čemu pridonosi umrežavanje stabilizirajući trostruku spiralnu strukturu kolagena. Čvrstoća nastalih veza ovisi o vrsti sredstva za štavljenje. Zbog dobrih svojstava kože nakon štavljenja, kao i same učinkovitosti, danas se najčešće koriste mineralna štavna sredstva. Međutim, zbog ekoloških aspekata vegetabilno štavljenje još uvijek je značajno prisutno. Mehanizam stabilizacije vegetabilnih štavnih sredstava temelji se na vodikovim vezama između polifenola i kolagena. Posljednjih godina sintetski zeoliti korišteni su u predštavnom procesu proizvodnje "wet-white" koža bez kroma, pokazujući bolja svojstva od drugih metoda "wet-white" predštave. Proces nadoštave omogućuje proizvodnju kože različitih karakteristika i svojstava. Štavna svojstva sintetskih zeolita i njihova učinkovitost u iscrpljivanju kroma iz štavne kupelji već su istraživana. Kombinirana uporaba zeolita i kroma rezultira većim iscrpljenjem kupelji i višim temperaturama skupljanja u kraćem vremenu, nego kod konvencionalnog procesa kromnog štavljenja. U ovom radu istražena je mogućnost štavljenja goveđe kože primjenom vegetabilne štave uz dodatak zeolita. Analiza fizikalno-kemijskih svojstava uzoraka izvedena je pomoću Fourierove transformacijske infracrvene spektroskopije (FT-IR). Uzorci su podvrgnuti termogravimetrijskoj analizi (TGA) s ciljem praćenja toplinske stabilnosti tako štavljenog uzorka goveđe kože.

Abstract: Tanning plays the most important role in leather durability, stabilizing the triple helical structure of the collagen. It has been proven that the strength of the resulting bonds depends on the type of tanning agent. Today, mineral tanning is particularly popular due to tanning results. However, vegetable tanning is still used for certain purposes due to the environmental aspect. Mechanism of their stabilization is based on multi-hydrogen links between the polyphenols and collagen. In recent years, synthetic zeolite has been used in "wet white" pretanning and pretanned leather exhibiting better properties than other "wet white" pretanning methods. Subsequent tanning processes makes it possible to manufacture leather with different properties and characteristics. The tanning properties of synthetic zeolites and their effectiveness in the exhaustion of chrome tanning float have been previously investigated. Combined use of zeolite and chrome results in both higher float exhaustion and higher shrinkage temperatures in shorter time than in conventional chrome tanning. In this paper, the possibility of tanning beef leather using vegetable tanning with the addition of zeolite was investigated. The analysis of physicochemical properties of samples was performed using Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy. The samples were subjected to thermogravimetric analysis (TGA) with the aim of monitoring the thermal stability of the tanned bovine leather sample.

Ključne riječi: koža; štavna sredstva; zeoliti; FT-IR spektroskopija, termogravimetrijska analiza

Keywords: leather; tanning agents; zeolites; FT-IR spectroscopy; thermogravimetric analysis

1. Uvod

Kolagen je glavna komponenta kože i samim time je odgovoran za toplinsku stabilnost kao i za fizikalno mehanička svojstva kože. Čini 60-80 % suhe kožne tvari od koje se nizom procesa prerade dobije uštavljena koža [1,2].

Kolagen je fibrilarni protein u kojem je svaka spiralna makromolekula sastavljena od niza aminokiselina (primarna struktura) koje poprimaju prostornu konfiguraciju (sekundarna struktura). Njegova tercijarna struktura sastoji se od tri peptidna lanca upletena u trostruku spiralu. Peptidne lance unutar spirale povezuje

mreža paralelnih i okomitih veza tvoreći međumolekulske (intramolekularne) i unutarmolekulske (intermolekularne) mostove. Kvaternu strukturu čine trostruke spiralne makromolekule koje tvore fibrilarni raspored, stabiliziran različitim nekovalentnim i kovalentnim međumolekulskim vezama [3,4].

Uvođenjem sredstava za štavljenje u strukturu kože dolazi do vezanja aktivnih skupina štavnog sredstva na funkcionalne skupine proteina (kolagena) i nastaju dodatne poprečne veze. Molekula štavnog sredstva može reagirati s nekoliko identičnih ili različitih polarnih skupina peptidnog lanca. Nastajanje unutarmolekularnih (intermolekularni) kovalentnih poprečnih veza između molekula kolagena daje mehaničku i toplinsku stabilnost vlaknaste strukture [3].

Vodikove veze, hidrofobne interakcije, Van der Waalsove veze i interakcije između suprotno nabijenih dijelova bočnih lanaca stabiliziraju superuzvojnici. Sve te nekovalentne veze se zagrijavanjem kidaju. Kidanje veza počinje na najslabijim točkama spiralne uzvojnice između klastera koji stabiliziraju uzvojnici. Malo područje koje sadrži nekoliko veza niske energije djelovat će kao povoljno mjesto za početak denaturacije. Temperatura ovog faznog prijelaza procjenjuje se kao temperatura denaturacije ili kao temperatura skupljanja. Temperatura pri kojoj dolazi do denaturacije očituje se naglom promjenom viskoznosti i optičkom rotacijom koloidnog kolagena prilikom zagrijavanja. Temperatura skupljanja očituje se dimenzijskom promjenom čvrstog uzorka (duljine i/ili naprezanja).

Procesom štavljenja se od sirove kože dobije koža otporna na različite biološke utjecaje određenih mehaničkih i fizikalnih karakteristika. Uštavljena koža je otporna na mikroorganizme, ne truli, ne otapa se u kiselinama i lužinama, ne bubri, sušenjem se kolagena vlakna međusobno ne lijepe, ima znatno višu temperature skupljanja. Svojevremeno gotove kože, a samim time i njena namjena ovisi o vrsti i kvaliteti sirove kože, o procesima proizvodnje i dogotove. Proces štavljenja ima najvažniju ulogu u stabiliziranju trostruke uzvojnice kolagena [3]. Dokazano je da jačina dobivenih veza ovisi o vrsti sredstva za štavljenje. Koriste se vegetabilna, sintetska i kromna (mineralna) štavna sredstva, a svaka od navedenih na svoj način imaju negativan utjecaj na okoliš [5,6].

Gotova koža se, osim u modnoj industriji, sve više koristi u različitim sektorima kao što su: automobilska industrija, građevina, izrada namještaja, zrakoplovstvo, pomorstvo, osobna sigurnost itd., stoga odabir metode štavljenja uglavnom ovisi o željenim konačnim svojstvima gotove kože koja joj određuju namjenu. Vrsta sirove kože također utječe na konačnu namjenu.

Vegetabilno štavljenje se i dalje koristi u proizvodnji kože za određene namjene, odnosno izradu cipela, potplata, torbi i kofera. Upotreba vegetabilnih štavni sredstva poznata je stoljećima, a mehanizam stabilizacije temelji se na vodikovim vezama između polifenola i kolagena. Listovi, plodovi, kora, drvo i korijenje raznog povrća sadrže tanine koji se mogu koristiti kao sredstva za štavljenje. Quebracho i mimoza su materijali koji se koriste u biljnom štavljenju i sadrže 35 % odnosno 18 % tanina u kori odnosno drvu [4,8].

Danas se najčešće primjenjuju kromna mineralna štavna sredstva zbog učinkovitosti i svojstava kože. Kolagenu vlakno u sirovoj koži reagira sa soli trovalentnog kromnog bazičnog sulfata pri pH 2-3. Sam mehanizam štavljenja podrazumijeva nastajanje kovalentnih veza između karboksilnih skupina asparaginske i glutaminske kiseline bočnog lanca kolagenih fibrila i bi- ili polinuklearnih iona kroma [3]. Kromnim procesom štavljenja se povoljno dobiju lagane, kvalitetne kože dobrih fizikalnih i mehaničkih svojstava (osjetljivost, punoća, mekoća, afinitet prema boji, fleksibilnost) i hidrotermalne stabilnosti ($T_s > 100^\circ\text{C}$). Ovaj način štavljenja predstavlja opasnost za okoliš zbog otpada koji nastaje tijekom štavljenja [5,6]. Istraživanja usmjerena na nova, ekološki prihvatljiva štavna sredstva i reduciranu upotrebu kromnog štavnog sredstva sve su češća. Zakonodavstvo u području ekotoksikologije prati optimiziranje kemikalija koje se koriste u proizvodnji kože [9].

S obzirom da sadašnji princip kromnog štavljenja rezultira iscrpljenjem kroma iz kupelji samo od 40 do 70 % proces kromnog štavljenja rezultira prisutnošću trovalentnog kroma u otpadnim vodama i talozima. Tako niske razine iscrpljenosti dovele bi do ispuštanja gotovo 160 000 tona kroma soli za štavljenje godišnje ako se ne upravlja učinkovito. Posljednjih godina agencije zadužene za okoliš u mnogim su zemljama objavile stroga ograničenja za dopuštene koncentracije kroma u otpadnim vodama, dok društvena svijest o utjecaju ispuštanja kroma na okoliš raste [3]. Istraživanja provedena primjenom oligomerne melamin-formaldehidne smole i rezorcinolnog predpolimera kao materijali za predštavljenje, novi materijal za štavljenje na bazi titana dobivenog preradom otpada iz metalurške industrije, primjeri su istraživanja primjene Cr-free materijala u proizvodnji kože. Procesi štavljenja s D-Lysine glutaraldehydnom kompleksom nazvan kao ekološki prihvatljiva zelena metoda, cjenovno je konkurentan konvencionalnim postupcima štavljenja zbog mogućnosti smanjenja potrošnje popratnih kemikalija i ukupnih troškova procesa [9,11]. Kože, štavljene

natrijevim aluminosilikatima (*sodium aluminium silicates*), uz optimizaciju proizvodnog procesa imaju prednosti poput mehaničke izdržljivost, dimenzijske stabilnosti itd. u usporedbi s drugim "wet white" kožama [9,12].

Zadnjih godina se u procesu predštavljenja koriste sintetski zeoliti [3,9] i pokazuju bolja svojstva od dosadašnjih "wet white" procesa predštave. Predstavljena koža je neutralne boje (bijela), lako se dalje strojno obrađuje, izdržljiva je i otporna te dimenzionalno stabilna. Proces štavljenja koji slijedi nakon predštave omogućuje proizvodnju koža različitih svojstava. U dosadašnjim istraživanjima štavna svojstva sintetičkih zeolita i učinkovitost u povećanju iscrpljenja kromne flote pokazuju da kombinirana uporaba zeolita i kroma rezultira većim iscrpljivanjem kupelji i višim temperaturama skupljanja uz redukciju vremenskog intervala u odnosu na konvencionalnih kromno štavljenje [3,9].

U ovom radu istražena je mogućnost štavljenja goveđe kože primjenom vegetabilne štave uz dodatak zeolita. Analiza fizikalno-kemijskih svojstava uzoraka izvedena je pomoću Fourierove transformacijske infracrvene spektroskopije (FT-IR). Uzorci su podvrgnuti termogravimetrijskoj analizi (TGA) s ciljem praćenja toplinske stabilnosti. Dobiveni rezultati uspoređeni su s kožom štavljenom pod istim uvjetima, vegetabilnim štavnim sredstvom bez zeolita.

2. Materijali i metode

Za ovo istraživanje korištena je goveđa koža. Procesi namakanja, luženja, odvapnjivanja, enzimiranja i zakiseljavanja (pikljanja) provedeni su u industrijskim uvjetima. Postupak štavljenja proveden je u laboratorijskom uređaju Mathis; Turbomat P4502, CHT Bezema. Količina sredstava dodana je na masu sirove kože.

Uzorak je pran 10 min na temperaturi 22 °C s 200 % vode. Nakon ispusta slijedi proces štavljenja u trajanju od 240 min na temperaturi od 30 °C, uz dodatak vegetabilnog sredstva za štavljenje (8 % Mimosa, Tanin Slovenija, 5 % Tanigan, TFL Njemačka), zeolita (10 % A5, Sigma Aldrich, Njemačka) i sredstva za mašćenje (2 % Magnopal, TFL Njemačka). Slijedi pranje na 35 °C, 10 min i ispuštanje vode. U novu kupelj s 200 % vode dodano je štavno sredstvo (10 % KPS, Tanin Slovenija, 1 % Tanigan, TFL Njemačka) i sredstvo za nadoštavu (2 % Magnopal, TFL, Njemačka). Proces štavljenja se nastavlja na 30 °C, 360 min, nakon kojeg se ponovno dodaje sredstvo za štavljenje (2 % Tanigan, TFL Njemačka). Proces se produljuje na istoj temperaturi 60 min. Slijedi pranje sa 200 % vode na 40 °C, 15 min. Uzorak je označen VEG+Z.

Vegetabilno štavljeni uzorak, označen VEG, prošao je prethodno opisani postupak štavljenja ali je sredstvo za štavljenje bilo isključivo vegetabilno (8 % Quebracho, Tanin Slovenija, 8 % Mimosa, Tanin Slovenija, 5 % Tanigan, TFL Njemačka).

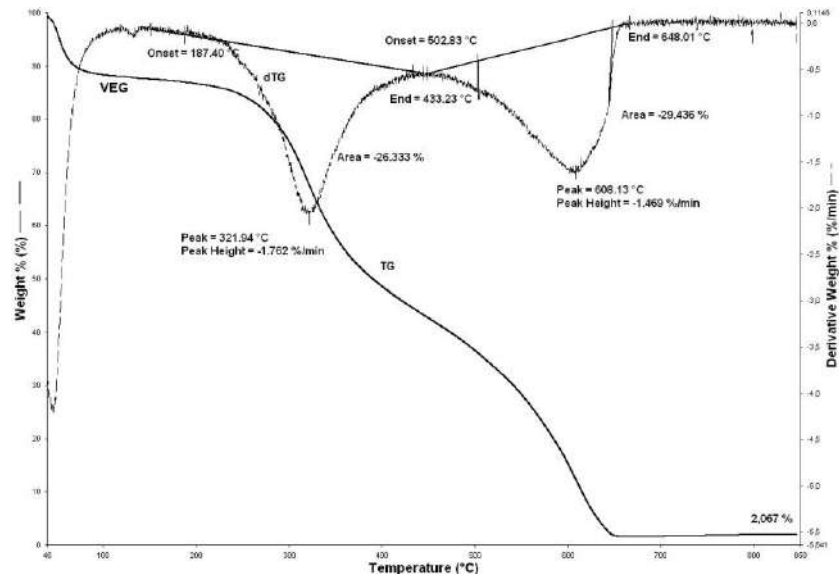
Nakon štavljenja uzorci su nadoštavljeni u industrijskim uvjetima. Korištena su punila i sredstva za mašćenje, bez dodavanja bojila. Nakon cijeđenja i sušenja, uzorci su podvrgnuti daljnjem ispitivanju.

Prije termičke analize, uzorak kože izrezan je na komadiće prosječne težine 1 mg, a analizirani uzorak težio je približno 6 mg. Termogravimetrijska analiza (TGA) izvedena je pomoću analizatora PerkinElmer, SAD kojim je upravljao PC sustav, u atmosferi s protokom sintetičkog zraka (30 % kisika; brzina protoka 60 ml/min). Termogravimetar (TG) uzorka dobiven je u temperaturnom rasponu od 50 °C do 850 °C pri brzini grijanja od 30 °C/min.

Analiza fizikalno-kemijskih svojstava uzoraka provedena je Fourierovom transformacijskom infracrvenom spektroskopijom u tehnici prigušene ukupne refleksije (FTIR-ATR) (Perkin Elmer, softver Spectrum 100, SAD). Napravljena su četiri skena za svaki uzorak s rezolucijom od 4 cm⁻¹ između 4000 i 650 cm⁻¹.

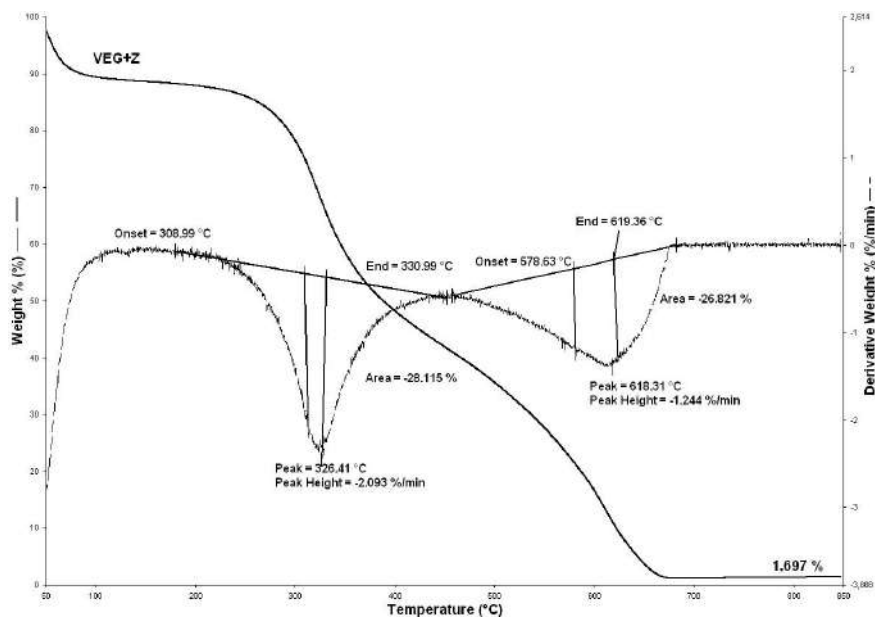
3. Rezultati i rasprava

3.1 Rezultati termogravimetrijske analize



Slika 1: Termogravimetrijski prikaz razgradnje uzorka vegetabilno štavljene kože (VEG)

Slika 1 prikazuje rezultat termogravimetrijske analize vegetabilno štavljenog uzorka. Primjenom derivacije TG krivulje (dTG) praćena je dinamika razgradnje koja ukazuje da se razgradnja uzorka odvija u dva stupnja. Prvi stupanj razgradnje počinje na 187,40 °C a završava na 433,23 °C. Maksimalna brzina razgradnje od 1,762 % u minuti zabilježena je pri temperaturi od 321,94 °C te pretpostavljamo da je došlo do pucanja slabih vodikovih veza između kolagena vegetativno štavljene kože. Drugi stupanj razgradnje počinje na 502,83 °C a završava na 648,01 °C. Unutar navedenog stupnja zabilježena je najveća dinamika razgradnje pri 608,13 °C te iznosi 1,469 %/min. U drugom stupnju dinamičke toplinske razgradnje došlo je do potpune dekompozicije uzorka te je zabilježen ostatak od 2,067 % koji je ostao nepromijenjen do kraja termogravimetrijske analize.

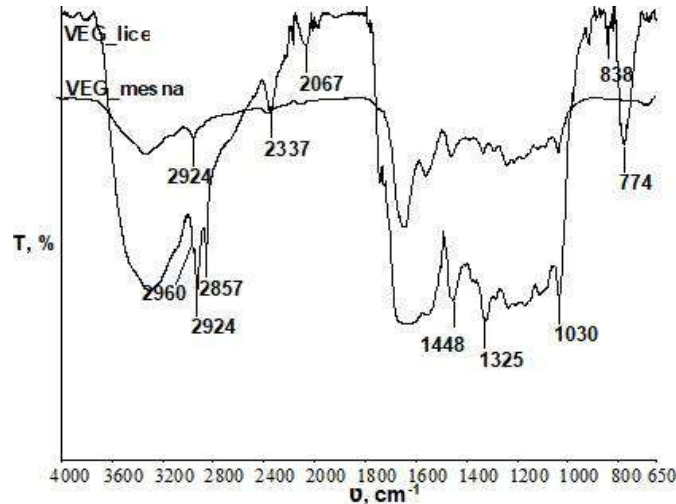


Slika 2: Termogravimetrijski prikaz razgradnje vegetativno štavljenog uzorka kože uz dodatak zeolita (VEG+Z)

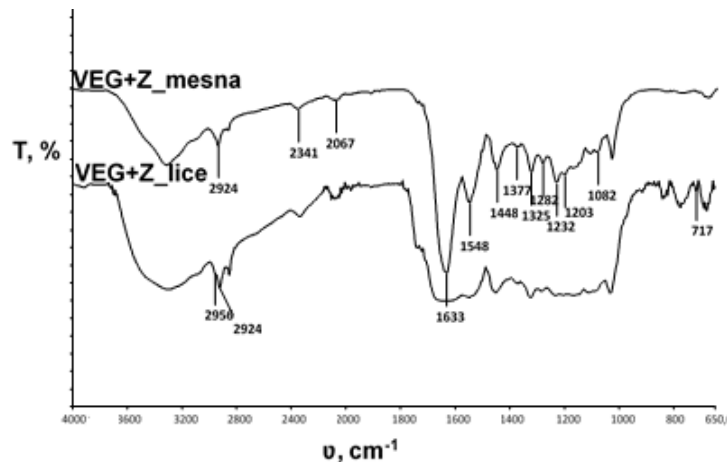
Rezultat termogravimetrijske analize uzorka VEG+Z prikazan je na slici 2. Iz dTG krivulje jasno je vidljivo da se uzorak toplinski razgrađuje u dva stupnja. Prvi stupanj razgradnje počinje na 308,99 °C, a završava na 330,99 °C. Maksimalna brzina razgradnje u tom stupnju zabilježena je pri temperaturi od 326,41 °C uz gubitak mase 2,093 %/min. Drugi stupanj razgradnje počinje na 578,63 °C, a završava na 619,36 °C. Unutar navedenog stupnja zabilježena je najveća dinamika razgradnje pri 618,31 °C te iznosi 1,244 %/min. Pri

temperaturi od 680 °C zabilježen je ostatak od 1,697 % koji je nepromijenjen do kraja termogravimetrijske analize. Ponašanje oba uzorka prilikom termogravimetrijske analize je vrlo slično te je neznatna razlika s obzirom na pougljenjeni ostatak na završetku ispitivanja. Razlika je vidljiva u temperaturi početne dekompozicije koja je kod uzorka VEG+Z (308,99 °C) znatno viša u odnosu na uzorak VEG (187,40 °C) što upućuje na nešto sporije djelovanje topline na kidanje slabih veze između kolagenih vlakana. No u daljnjem djelovanju topline oba uzorka se toplinski razgrađuju pri približno istim temperaturama.

3.2 Rezultati ispitivanja FT-IR spektroskopije



Slika 3: Spektralne krivulje uzoraka kože nakon provedenog vegetabilnog štavljenja snimljene na strani lica (VEG lice), i mesnoj strani (VEG mesna)



Slika 4: Spektralne krivulje uzoraka kože nakon provedenog štavljenja vegetabilnim štavnim sredstvom i zeolitom snimljene na strani lica (VEG+Z_lice), i mesnoj strani (VEG+Z_mesna)

Za proučavanje fizikalno-kemijskih promjena unutar strukture kožnog tkiva primijenjena je infracrvene spektroskopije u ATR tehnici (FTIR-ATR) [13]. FT-IR analiza uzoraka kože primjenjuje infracrveno zračenje za fizikalno-kemijsku karakterizaciju proteinske molekule s ciljem detektiranja eventualnih promjena u primarnoj, sekundarnoj, tercijarnoj i kvartarnoj strukturi proteina. Prisutnost vrha u području od 3319 cm^{-1} do 3200 cm^{-1} može se povezati s relativnom vlažnošću uzoraka kože, ali i uz prisutnost velikog broj slobodnih metilolnih funkcijonalnih skupina uključenih u stvaranje vodikovih veza s funkcionalnim skupinama proteina kože. Dobivene spektralne vrpce VEG (sl. 3) i VEG+Z (sl. 4) su tipične za polipeptidne kolagenske strukture koje su gradivne jedinice kože. Oštri pikovi vidljivi su na spektralnim vrpcama snimljenim na mesnoj strani oba vegetativno štavljena uzorka kože (VEG i VEG+Z). Pik pri valnom broju od 1630 cm^{-1} ukazuje na vibracije nastale unutar CO karboksilne skupine amida I, a pri valnom broju 1548 cm^{-1} na karakteristične vibracije C-NH veze unutar karboksilne skupine amida II. Pik oko valnog broja ~1230 cm^{-1} ukazuje na prisutnost amida III te intenzitet istog ovisi o vodikovim vezama i o bočnim lancima strukture kolagena [14].

Apsorpcijski pikovi koji se pojavljuju u rasponu od 1090 cm^{-1} do 1020 cm^{-1} nastaju uslijed vibracija unutar C-N veza primarnih amino skupina kolagena.

4. Zaključak

Vegetabilno štavljenje kože u današnje vrijeme poprima značajnu ulogu u procesu dorade koža upravo zbog njegove netoksičnosti u odnosu na proces kromnog štavljenja. U radu je istražen utjecaj primjene zeolita u postupku vegetabilnog štavljenja na fizikalno-kemijska i toplinska svojstva tako pripremljene govede kože. Iz dobivenih rezultata možemo zaključiti da su vrijednosti toplinske stabilnosti uzoraka primjenom termogravimetrijske analize za oba uzorka vrlo slične. Također, nisu vidljive značajnije fizikalno-kemijske promjene na uzorcima koža nakon provedenog vegetabilnog štavljenja uz dodatak zeolita u odnosu na uzorak štavljen samo vegetabilnom štavom. Zamjena vegetabilnog štavnog sredstva s 10% zeolita mijenja mehanička svojstva gotove kože. Dobiveni rezultati zadovoljavaju minimalne standarde [15].

Zahvala

Istraživanja prikazana u radu provedena su i financirana sredstvima potpore znanstvenoj i umjetničkoj djelatnosti Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta u ak. god. 2021./2022., TP8/22, pod nazivom Funkcionalizacija i karakterizacija tekstilija i kože za postizanje zaštitnih svojstva.

Literatura

- [1] Grgurić H.; Bajza Ž.; Vuković T.: Tehnologija kože i krzna, Zajednica kem., kožarskih, obučarskih, gum. i rud. organizacija, Zagreb, (1985)
- [2] Yang, P. et al.: Study on thermal degradation of cattlehide collagen fibers by simultaneous TG,MS,FTIR, *J. Therm. Anal. Calorim.*, **127** (2017) 3, 2005–2012, ISSN 13886150, 15882926
- [3] P. Ciambelli, P. et al.: Zeolite-chrome tanning: From laboratory to pilot scale, *Studies in Surface Science and Catalysis*, **155** (2005) 189-198, ISSN 1672991
- [4] Darwin J. Prockop, D.J. & Kari I. Kivirikko, K.I.: *COLLAGENS: Molecular Biology, Diseases, and Potentials for Therapy*, Annual Review of Biochemistry, **64** (1995) 403-434, ISSN 00664154, 15454509
- [5] A. I. Nasr,A.I. et al.: Effect of tanning method and region on physical and chemical properties of barki sheep leather, *Journal of Sheep and Goat Sciences*, Vol. **8** (2013) 1, 123-130, ISSN 2090-0368
- [6] Chakir, A.: A Comparative Study of the Removal of Trivalent Chromium from Aqueous Solutions by Bentonite and Expanded PerliteInternational, *Journal of Hazardous Materials*, **95** (2022) 29-46, ISSN 03043894
- [7] Onem, E. et al.: Comparison of different tanning agents on the stabilization of collagen via differential scanning calorimetry: *Jurnal of Therm Analysis and Calorimetry*, **129** (2017) 1, 615-622, ISSN 13886150, 15882926
- [8] Thanikaivelan, P. et al.: Recent trends in leather making: Processes, problems, and pathways, *Critical reviews in environmental science and technology*, **35** (2005) 1, 37-79, ISSN 1547-6537
- [9] Gurler Karaman, D.; Gulumser, G.: Possibilities of usage of alkali aluminosilicates as tanning material in chromium-free leather production, *Tekstil ve Konfeksiyon*, **26** (2016) 1, 117-124, ISSN 1300-3356
- [10] Cui, L. & Qiang, X.: Clean Production for Chrome Free Leather by Using a Novel Triazine Compound, *Chemical and Materials Engineering*, **7** (2019) 1, 57-71, ISSN 2332-1032
- [11] Cheng-Kung, L. et al.: Environmental effects on chrome-free leather, *The Journal of the American Leather Chemists Association*, **101** (2006) 10, 368-375, ISSN 29726
- [12] Ganesan, K. et al.: Greener approach to leather tanning process: d-Lysine aldehyde as novel tanning agent for, chrome-free tanning, *Journal of Cleaner Production*, **42** (2013) 277–286, 09596526, 18791786
- [13] Sendrea, C. et al.: Non-invasive characterisation of collagen based on materials by NMR-MOUSE and ATR-FRTIR, UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Scienceopen access, **78** (2016) 27-38, ISSN 14542331
- [14] Gregorí Valdés, B.S. et al.: New Biocompatible Polyurethanes: Synthesis, Structural Characterization and Cytotoxicity, https://pdfs.semanticscholar.org/0c6f/bf0714800a1b83111f229c0248465827646a.pdf?_ga=2.126820811.730865306.1673555429-137784724.1634069009, *Pristupljeno: 2022-12-10*
- [15] Flinčec Grgac, S.; Žuvela Bošnjak, F. & Mihanović, S.: Comparison of leather properties between vegetable tanning and vegetable/zeolit tanning, *Proceedings 14th symposium Novel technologies and economic development*, Lazić, M., 90-96, 978-86-89429-45-9, Leskovac, October, 22-23, 2021, Faculty of Technology, Leskovac

SOME ASPECT OF DYES APPLICATION ON INHERENTLY FLAME RETARDANT FABRICS

Martinia GLOGAR^{1,*}; Tanja PUŠIĆ¹; Veronika LOVREŠKOV¹; Tea KAURIN¹;
Nino KERMAN² & Lidija SRŠAN²

¹ University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Zagreb, Croatia; martinia.glogar@tff.unizg.hr; tanja.pusic@tff.unizg.hr; veronika.lovreskov@tff.unizg.hr; tea.kaurin@tff.unizg.hr

² Čateks d. d., Čakovec, Croatia; n.kerman@cateks.hr; l.srsan@cateks.hr

*Corresponding author: martinia.glogar@tff.unizg.hr

Abstract: The paper presents some aspects of reactive and vat dyes application, in processes of dyeing and printing, on inherently flame-retardant (FR) materials. The overall research is part of the project of development of Inherently Flame Retardant Fabric for Dual Use, funded by the European Union from the European Regional Development Fund. The project is coordinated by Croatian producer of protective and functional textiles, Cateks d.d. in partnership with the University of Zagreb Faculty of Textile Technology is Various combinations of fibres were applied, and thus the possibilities of applying dyes on such fabrics were investigated. In order to achieve optimal levels of flame resistance, various combinations of inherently flame resistant fibres with different proportions have been designed and tested. Considering the relatively high proportion of aramid fibres in such mixtures, the application of dyes and the achievement of coloured effects by conventional dyeing and printing procedures is highly demand and complex. This research presents the results of the application of reactive dyes using the printing and the vat dyes in dyeing by the method of impregnation. The vat dyeing was performed on three types of fabrics differing in variations and proportion of inherently flame retardant fibres. After the dyeing the microscopic imaging was performed by DinoLite AM7013. The limited flame spread, the fastness to wet and dry rubbing, as well as lightfastness was tested. The results showed that the colour characteristics depend on the proportion of the cellulose component, considering that the vat dyes bind to the cellulose fibres. In addition to the cellulose component, they can also bind to the polyamide and regenerated cellulose components. Microscopic images of the fabrics show the components in the structure of the fabric composition that will react with the dye and those that were not (these are mainly aramid components). Surface flammability test results show optimal inherent flame resistance of the tested fabrics. The results of the fastness test confirm optimal fastness to dry and wet friction, while the fastness to light is weaker and it can be said that it is not completely satisfactory. As for the reactive dyes printing, the research was also conducted on three fabrics differ in composition of warp and weft yarns. Flame retardant properties of fabrics before printing, determined by measuring LOI-Limiting Oxygen Index (LOI) were measured. Also colour characteristics were measured using a remission spectrophotometry. Wash fastness testing was performed, and also microscopic imaging of the printed sample was performed using DinoLite AM7013. The analysis of K/S values of printed samples were performed, while the wash fastness results are presented through the total colour difference values, dE , calculated according to the CIE76 system. For printed samples, also lightfastness was tested.

Keywords: inherently fire resistance, reactive printing, vat dyeing, LOI, spectrophotometric measurement, surface flammability, wash and light fastness

1. Introduction

Applying dyes to inherently flame retardant fabrics is a complex task due to the specific raw material composition of such materials, which as a rule contain a smaller or larger proportion of aramid fibres. Aramid fibres, having unsatisfactory dyeing properties, are practically non-dye able by classic exhaustion procedures, which is more difficult by their natural, basic yellow-green colour. The fibre modification or dye modification can contribute a certain improvement in the dyeing properties of aramid fibres, mainly the possibilities of m-aramid fibres [1, 2]. As for the dyeing processes of aramid fibres, Manyukov et al have published an interesting study about dyeing of thermostable para/meta aramid fabrics by pre-treatment in a solvent-water-swelling system, and subsequent dyeing by the depletion process with a mixture of disperse and cationic dye [3]. Kim et al. have dyed m-aramid fibres with vat dyes, finding that the colour yields are dependent upon dyeing temperature, liquor ratio, amount of auxiliaries, reductive agent and salt, and might be improved by controlling the dyeing condition, careful selection of vat dye, and using auxiliaries such as a

swelling agent [4, 5]. Kim et al. investigated the dyeing behaviour of the grafted meta-aramid fabrics with reactive dyes, including the effect of grafting and dyeing conditions. The results confirmed that the K/S value for the grafted fabrics highly increased. The colour and lightfastness of the dyed fabric were excellent. The mechanical and thermal properties of meta-aramid fabrics were not deteriorated substantially by the grafting and dyeing treatment compared with other dyeing and modification methods for the meta aramid fabrics [6]. The common blends of aramid fibres in inherently flame retardant fabrics are with FR viscose, Polybenzimidazole (PBI), wool or modacrylic [7]. As for the cellulose component (FR viscose, FR cotton, and similar), the application of conventional dyestuff for cellulosic fibres is usual. In the literature, there is a sufficient number of published research related to the dyeing processes of modified viscose, which deal with the possibilities of applying reactive or vat dyes on viscose fibres. Bairagi et al. reported a method of enhancing the dye ability of N-modified viscose fibre with reactive dyes by incorporation of poly-DMDAAC-based additive in the melt prior to spinning. The results showed are significantly higher dye exhaustion with optimal wash and light fastness grades [8]. Koha et al. reported the research of enVix novel regenerated cellulosic fibre reactive dyeing and reported higher exhaustion values and better build-up properties in compare to regular viscose, with stable final colour yield and better fastness properties [9]. Lee et al. researched the vat dyeing on enVix novel regenerated cellulosic fibres, reporting that the colour yield of vat dyes was affected by the dyeing temperature which was optimized. Addition of salt was found to have a beneficial effect on dyeing properties. The vat dyes used in this study exhibit good build-up on the enVix and overall fastness was good to excellent [10].

A review of the literature indicates a sufficient number of studies researching the possibility of dyeing aramid fibres or fibres from cellulose regenerates. However, research dealing with the application of dyes on FR fabrics, which combine aramid fibres and cellulose regenerates in their structure, are relatively rare in the literature. A particularly significant research gap is in the application of printing technology on inherently FR fabrics. In this paper, the cross-section of research into the possibility of applying dyes in the processes of dyeing and printing on inherently flame-retardant fabrics is presented. The overall research is part of the project of development of Inherently Flame Retardant Fabric for Dual Use, funded by the European Union from the European Regional Development Fund, and in which the University of Zagreb Faculty of Textile Technology is a partner to Croatian producer of protective and functional textile, Čateks d.d. In order to achieve optimal levels of flame resistance, various inherently flame resistant fibres in different proportions have been combined, and new fabrics were designed and tested. Considering the relatively high proportion of aramid fibres in such mixtures, the application of dyes and the achievement of coloured effects by conventional dyeing and printing procedures is extremely complex. During the research, the possibility of using reactive in printing process as well as vat dyes in dyeing process, was tested.

2. Experimental

2.1. Dyeing

The test is performed on three types of fabrics that differ in the proportion of inherently flame resistant fibres. The composition of the warp is the same for all tested samples, while the composition of the weft changes. The samples are woven in a Ripstop weave. The composition, warp/weft fineness and density, thickness as well as mass per unit area are shown in Table 1.

Table 1: Composition, warp/weft fineness and density, thickness, and mass per unit area of fabrics

Fabric	Fabric Composition		Fineness [tex]		Density [threads/cm]		Thickness [mm]	Q [g/m ²]
	Warp	Weft	Warp	Weft	Warp	Weft		
1	40% m-Aramid 40% Lenzing FR Viscose 20% Polyamide 6,6 t-420 dull	40% Cotton Long Stapel Combed 60% Modacryl Armora	40	33.3	36	21	0.67	230.9
2	40% m-Aramid 40% Lenzing FR Viscose 20% Polyamide 6,6 t-420 dull	95% m-Aramid 5% p-Aramid	40	33.3	36	21	0.66	220.0
3	40% m-Aramid 40% Lenzing FR Viscose 20% Polyamide 6,6 t-420 dull	55% Modacryl Armora 30% Cotton Long Stapel Combed 10% Polyamide 6,6 dull 5% p-Aramid	40	36.4	36	21	0.69	221.5

The dyeing was carried out with the Vat dye Indanthren Olive R, by impregnation process on a discontinuous laboratory machine for impregnation and dyeing – Foulard, Kovinar. Dye bath was prepared in volume of 300 ml, containing 40 g/L of vat dyestuff (Indanthren® Olive R) and 0.5 g/L of wetting agent (Kemonecer WET). Temperature of the bath was 50°C, while the impregnation was performed with squeeze effect of 104%.

Reduction of vat dye was carried out after printing, by processing a sample in a bath with the following composition: 100 ml/L of 32% sodium hydroxide (NaOH), 80 g/L of sodium dithionite (Na₂S₂O₄), 10 g/L of Borax (Na₂B₄O₇ x 10H₂O). After the reduction and fixation by steaming (in atmospheric conditions at a temperature of 102°C for 10 minutes), the oxidation procedure was carried out in a bath with the following composition: 4 ml/L of hydrogen peroxide (H₂O₂), 5 g/L of Oxydol KR (oxidizing agent: Sodium 3-nitrobenzenesulfonate). The oxidation bath is heated to 55-60°C, and the treatment time in the bath is 3 min.

After the dyeing the microscopic imaging was performed by DinoLite AM7013. The test for limited flame spread was performed, according to standard ISO 15025:2016 Protective Clothing – Protection against the flame – Method for limited flame spread. The fastness of colour to wet and dry rubbing was tested according to ISO 105-X12:2016 *Textiles- Tests for colour fastness — Part X12: Colour fastness to rubbing*. Lightfastness testing was performed on Xenotest 440 (SDL Atlas), according to the modified ISO 105-B02 and ISO 105-B04 test methods.

2.2. Printing

The samples containing the aramid fibres in its composition were printed using the screen printing technique with printing paste containing reactive dyestuff Brilliantblau V-R, Bezema (C.I. Reactive Blue 19, C.I. 61200), testing the possibility of printing the flame-retardant fabric. The three inherently FR fabrics were used, the same in fibre composition, but different in weave construction. The warp/weft composition, mechanical properties and the weave construction of the tested fabrics are shown in Table 2.

Table 2: Composition and wave construction of tested fabrics

Label	Weave	Composition	Density [threads/cm]		Thickness 1 kPa [mm]	Q [g/m ²]
			Warp	Weft		
Fabric 4	Plain	Warp: 95% m-Aramid; 5% p-Aramid Weft: 30% PA 6.6; 35% Lenzing FR; 35% m-Aramid	39	19	0.66	210.38
Fabric 5	Twill 2/2		38	20	0.76	205.70
Fabric 6	Twill 3/1		38	20	0.83	201.63

Before printing the fabrics were tested for flame retardance by LOI—Limiting Oxygen Index, measured using Limiting Oxygen Index Apparatus (Concept Equipment Ltd., Angmering, UK) according to EN ISO 4589-2: 2017 Plastics-Determination of burning behaviour by oxygen index-Part 2: Ambient-temperature test.

For the preparation of printing pastes, CHT-Alginate MV (CHT Group and Co) was used in two different viscosities, prepared in 4% (Paste 1) and 9% (Paste 2) of a thickening agent (dry matter). The quantities of printing paste components are given per 100 g of printing paste: dyestuff=1.26 g; thickener=50 g; Urea (CH₄N₂O)=20 g; soda (Na₂CO₃)=4 g.

After the printing, colour depth (K/S) characteristics were measured using a remission spectrophotometer, Datacolor 850, measuring geometry d/8°, D65, measuring aperture of 9 mm. Wash fastness testing was performed in a laboratory apparatus Polycolor, Mathis according to standard ISO 105-C06:2010 (A2S) *Textiles—Tests for color fastness—Part C06: Colour fastness to domestic and commercial laundering*, using 5 g/L standard detergent (ECE Non phosphate detergent without optical brightener agent), with bath ratio 1:8, temperature 40 ± 2 °C, time 30 min, through 5 cycles. The samples were air dried between each cycle. The wash fastness of the print was assessed by spectrophotometric colour evaluation before and after washing, and by calculating the total colour difference value according to the CIE76 formula. Microscopy of the printed sample was performed using DinoLite AM7013 at 50x magnification.


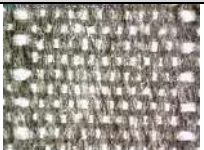

3. Results and Discussion

3.1. Dyeing

The results confirm the complexity of aramid fibres in dyeing by the exhaustion method, and the binding of dyes was achieved only on the cellulose component in the fabric composition. This is clearly shown by

microscopic images of coloured samples, and the final colour appearance is the result of the integral interrelationship of reflection and absorption of coloured and uncoloured components within the sample. In order to test the basic fastness, due to the fact that, in general, 50% of the components in the structure of the material have bound dye, testing of the resistance of the colouration to dry and wet rubbing and to light was carried out. The microscopic images, as well as fastness results are shown in Table 3.

Table 3: Microscopic images, wet/dry rubbing fastness and light fastness grades

Parameter	Fabric 1	Fabric 2	Fabric 3
Microscopic images			
Dry Rubbing	5	4-5	4-5
Wet Rubbing	4-5	4	4
Lightfastness	5	5	5

The results showed that the colour characteristics depend on the proportion of the cellulose component, considering that the vat dyes bind to the cellulose fibres. In addition to the cellulose component, they can also bind to the PA component and regenerated cellulose components. Microscopic images of the fabrics show the components in the structure of the fabric composition where the dye is bound and those where it is not (these are mainly aramid components). The results of the fastness test confirm optimal fastness to dry and wet friction, while the fastness to light is weaker and it can be said that it is not completely satisfactory.

On the dyed samples, a surface flammability test was also conducted, as one of the criteria for the final selection of the raw material composition of the inherently fire-retardant fabric. The results are presented in Table 4, and show optimal inherent flame resistance of the tested fabrics.

Table 4: The results of surface flammability test

	Fabric 1		Fabric 2		Fabric 3	
	Length	Width	Length	Width	Length	Width
A flame spreads over the surface of the sample (to the edges or not)	Not	Not	Not	Not	Not	Not
The pattern has been punctured	Not	Not	Not	Not	Yes	Not
Number of created holes	0	0	0	0	0	0
Size of the largest hole (mm)	/	/	/	/	/	/
The sample has burning or melted passages	Not	Not	Not	Not	Not	Not
Spreading smouldering on undamaged area	Not	Not	Not	Not	Not	Not
After burn time (s)	0	0	0	0	0	0
The time of subsequent smouldering (s)	0	0	0	0	0	0
Burning debris ignited filter paper	Not	Not	Not	Not	Not	Not

The results of surface flammability presented in Table 4 confirm that selected fabrics after vat dyeing fulfil the criteria in FR properties.

3.2. Printing

In printing process, the samples were printed using the screen printing technique with printing paste containing reactive dyestuff Brilliantblau V-R, Bezema (C.I. Reactive Blue 19, C.I. 61200), testing the possibility of printing the flame-retardant fabric, containing the problematic aramid fibres in its composition and being different in construction and structure. Structure, constructional and mechanical properties of fabrics used in this part of the research are shown in Table 2. Due to a higher ratio of aramid fibres in this samples, lower colour yield is expected.

Flame retardant properties of fabrics were determined before printing, by measuring LOI-Limiting Oxygen Index. The criteria specified for the inherently flame-retardant fabrics in the project is that LOI > 26% (percent of oxygen), so the results show satisfactory property (Table 5). The LOI values do not show significant differences within variations in weave construction of the fabrics.

Table 5: The LOI results of fabrics used

Label	LOI [%]	
	Warp	Weft
Fabric 4	31.40	31.48
Fabric 5	31.60	31.52
Fabric 6	31.70	31.51

Microscopic images confirm that binding of the reactive dye occurs mainly on the cellulose component, which significantly affects the overall colour appearance (Figure 1). The structure, which depends on the weave, also contributes to the colouration characteristics. This is confirmed by the results of the colour depth (K/S), which are the highest for Fabric 6 (Table 6).

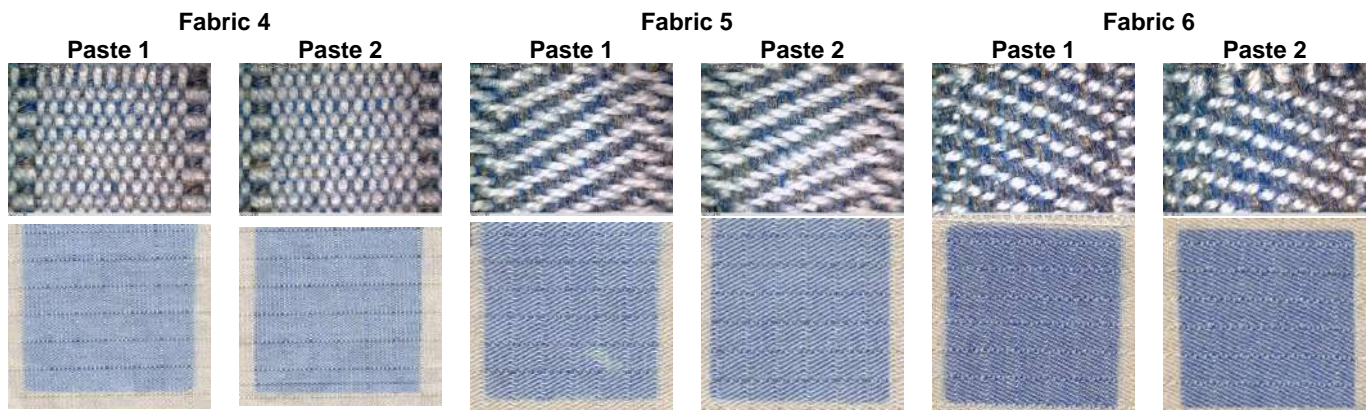


Figure 1: The Microscopic images of printed samples

The quality of the print is defined by the sharpness of the print and the achieved colour characteristics. More satisfactory print sharpness was achieved for Paste 2, for all three fabrics. It can be confirmed that the thickener with a higher proportion of dry matter is more suitable, giving optimal sharpness of the contour without capillary spreading of the dye.

Microscopic images of fabrics 4, 5 and 6 clearly show the difference in the weave structure resulting in the difference in the ratio of dyed and undyed components in the composition of the fabric, such a ratio affects the subjective appearance of the colour as well as the objective measurements that follow.

Table 6: K/S values of the samples before (BW) and after (AW) the washing, with fastness values

Label	K/S				Wash fastness (dE)		Light fastness (blue scale grade)	
	Paste 1		Paste 2		Paste 1	Paste 2	Paste 1	Paste 2
	B/W	A/W	B/W	A/W				
Fabric 4	0.9	0.5	1.1	0.7	3.63	2.73	3	3
Fabric 5	1.0	0.9	1.8	1.0	1.51	1.10	3-4	3-4
Fabric 6	1.6	1.6	2.1	1.8	0.84	0.77	4	4

Objective K/S values show a relatively low achieved colour strength. Slightly higher values were obtained for Fabric 6, due to a difference in weave construction which enables a higher proportion of coloured yarn in the measured integral area of the sample. Such lower K/S values were to be expected, given that only a partial ratio of components contained in the yarn composition is capable of bonding with dyestuff (the cellulosic part contained in the viscose yarn component). In dye printing, achieving a satisfactory intensity and brilliance of coloration of printed parts of the fabric is very complex. In the samples tested in this study, the lower intensity of the obtained coloration is contributed by the specific composition of the fabric in which more than half of the content are fibres that cannot be dyed by the process of dye-fibre chemical bonding.

The results of K/S after 5 washing cycles show decreased K/S values after 5 washing cycles, which indicates the loss or migration of a certain amount of dye in the washing processes.

The test of wash fastness, show optimal fastness properties which are evaluated and expressed in total colour differences (dE) calculated according to the CIE76 system, comparing the samples before and after

the five cycles of washing. It can be seen that the obtained values are within the tolerance limits, with the exception of Fabric 4, for which higher difference values were obtained.

Light fastness shows much lower results than optimal, but this can also be attributed to the pronounced sensitivity of aramid fibres to light, which is characterized by yellowing under the influence of light, and there is a significant change in colour, which results in larger differences, i.e., lower ratings graded according to blue scale.

4. Conclusion

The research confirms the complexity of applying dyes on fabrics that contain aramid fibres, which, due to its properties as a non-dye able fibre in classic dyeing and printing processes, prevents the achievement of target colouring levels. Therefore, with such structures, one must take into account the integral interrelationship of fabric components that will bond dye and those that will not, which, as the results confirm, will determine the characteristics and depth of colouration. With the samples tested in the process of dyeing with vat dyes, considering the characteristics of the target colouration which is olive green and belongs to the chromatic-achromatic colour hues by its nature, it can be said that a satisfactory and expected appearance of the colour was obtained, with satisfactory flame protective properties. For the samples tested in the reactive dye printing process, regardless of the obtained lower K/S values, it can also be said that a satisfactory colour appearance was achieved. The fastness confirms the optimal binding of the reactive dye, with the exception of Fabric 1, while the light fastness are expected to be weaker, due to the influence of aramid fibres and their behaviour characteristics under the influence of light. Such research contributes to today's trend of requirements, which, in addition to the functional, protective properties of such materials, place certain demands on the aesthetic component as well. In addition to the context of cut design, to obtain the aesthetic component of protective fabrics, there are attempts to develop the processes of dyeing and printing in order to obtain coloured effects. Achieving coloured effects on inherently fire retardant fabrics is highly demanding due to the complex dyeing properties of aramid fibres represented in a high proportion in such fabrics.

Acknowledgement

This work has been supported by the European Union from the European Regional Development Fund under the project KK.01.2.1.02.0064 Development of multifunctional non-flammable fabric for dual use.

References

- [1] Zhang, Y. J et al.: Progress on Dyeing Technology of Meta-Aromatic Polyamide Fiber, *Hi-Tech Fiber & Application*, **34** (2009) 6, 45-51, ISSN 1007-9815
- [2] Zhang, H. et al.: Effects of Polar Solvent on the Structure and Properties of m-Aramid Fibers, *Advanced Materials Research*, **144** (2012), 169-173, ISSN 1662-8985
- [3] Manyukov, E. A. et al.: Study of Dyeing of Thermostable Para/Meta-Aramid Fibre, *Fibre Chemistry*, **37** (2005) 1, 55-58, ISSN 1573-8493
- [4] Kim, M. R.; Kim, H.; Lee, J. J.: Dyeing and Fastness Properties of Vat Dyes on meta-Aramid Woven Fabric, *Fibers and Polymers*, **14** (2013) 12, 2038–2044, ISSN 1875-0052
- [5] Glogar, M.; et. al.: Vat Dyeing Process of Inherent Flame Retardant Fabrics, *Proceedings of 3rd International Congress of Innovative Textiles ICONTEX 2022*, Göktepe, F. (Ed.), 250-257, ISBN 978-605-4265-68-8, On-line Conference Tekirdağ, Turkey, May 2022, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, 2022.
- [6] Kim, E. M.; Min, B. G.; Jang, J.: Reactive Dyeing of Meta-aramid Fabrics Photografted with Dimethylaminopropyl methacrylamide, *Fibers and Polymers*, **12** (2011) 580, <https://doi.org/10.1007/s12221-011-0580-8>, ISSN 1875-0052
- [7] Glogar, M. et al.: Reactive Printing and Wash Fastness of Inherent Flame Retardant Fabrics for Dual Use, *MDPI Materials*, **15** (2022), <https://doi.org/10.3390/ma15144791>, ISSN 1996-1944
- [8] Bairagi, N. et al.: Dyeing of N-modified Viscose Rayon Fibres with Reactive Dyes, *Coloration Technology*, **121** (2005), 113-120, ISSN 1478-4408
- [9] Koha, J. et. al.: Reactive Dyeing Properties of Novel Regenerated Cellulosic Fibers, *Dyes and Pigments*, **64** (2005), 9-16, ISSN 0143-7208
- [10] Lee, J. J. et al.: Dyeing and Fastness Properties of Vat Dyes on a Novel Regenerated Cellulosic Fiber, *Fibers and Polymers*, **6** (2005) 3, 244-249, ISSN 1875-0052



PREGLEDNI RADOVİ

REVIEW PAPERS

RECYCLED COTTON ON THE MARKET (review)

Alenka ŠALEJ LAH* & Tatjana RIJAVEC

Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia, alenka.salej@ntf.uni-lj.si;
tatjana.rijavec@ntf.uni-lj.si

* Corresponding author: alenka.salej@ntf.uni-lj.si

Abstract: *The continuous growth of population, consumer standard and fashion trends are causing the increasing need for textiles. Global textile fibres production in 2021 amounted to 113 million tons, by 2030 an increase is assessed to 134 million tons, with natural fibres share of about 22.5% in 2021. Also, expenses of textile raw materials represent a major cost for the textile industry. In recent years, the prices of textile fibres have been increasing rapidly. Cotton is the most important natural fibre, but its production is increasing very slow as it is limited with agricultural areas and yield per hectare. Its global crop in the 2020/2021 season was 24.47 million tons, that is 21.7% of global textile fibres production in 2021. Cotton is an indispensable fibre for clothing (especially underwear) and interior textiles (bed linen, towels). Cotton clothes are breathable, absorb sweat and keep you cool in a hot environment. Cotton fibre biggest advantage over synthetic fibres is its biodegradability. Because of the fast fashion cycles, fashion became a disposable fashion and due to the shorter life cycles of textiles the amount of textile waste is increasing rapidly. Cotton is one of the most common raw materials, as a result of which a significant amount of cotton textile waste is produced. Recycled cotton is mainly produced today by recycling pre-consumer wastes (unsold and damaged products), and very little from production wastes (fibres, yarns, cloth scraps, fabrics cut-offs and roll ends) or post-consumer wastes like used clothes and interior textiles that are discarded because they are worn and damaged. The article provides an overview of modern strategies for recycling cotton waste into products with added value and the current offer of recycled cotton textiles for apparel and interior decoration.*

Keywords: *sustainability; textile recycling; quality assessment; textile waste; fast fashion.*

1. Introduction

The global demand and consumption of textile products are constantly increasing due to population growth, economic development, and ultra-fast fashion. For this reasons, large amounts of textile waste are generated, most of which is disposed of and that is why the textile industry faces enormous environmental and resource challenges [1]. Among all consumption sectors in the European Union (EU), the consumption of clothing, footwear, and household textiles is the fourth largest consumer of primary raw materials and water [2]. The production of textiles requires large amounts of energy, water, and chemicals; in addition, distribution and retailing cause transport emissions and packaging waste [3]. For this reason, the new Circular Economy Action Plan recognizes the textile sector as a priority product value chain due to its high global resource use of materials, water, land and chemicals, greenhouse gas emissions and waste generation. To tackle these challenges, an EU strategy for textiles is being developed with the aim of strengthening the competitiveness of the European textile industry by creating a market for sustainable and circular textile products, services, and business models [4]. Therefore, circular design is an important component of circular business models for textiles that can ensure higher quality, longer life, better use of materials, and better opportunities for reuse and recycling [3].

1.1 The biggest global cotton producers

Cotton is one of the most commonly used raw materials in the textile industry and the most produced natural textile fibre [5]. Cotton fibre is the purest source of cellulose and the most important natural fibre which is wide spread due to its strength, softness, and water absorbency [6]. Due to its good properties, cotton is known as the main component of the clothing industry, with a total supply of about 26.2 million tons around the world and a market share of 24.4% in 2020 [7]. The United States Department of Agriculture (USDA) annual report indicates that China, India, and the United States are the largest producers of cotton fiber in the world [8]. Most cotton-producing country is China, followed by India, while the USA had a top third position for cotton raising country (Figure 1) [8].

3.61 million metric tons 6.42 million metric tons 6.51 million metric tons



Figure 1: The World's biggest cotton producers

1.2 Cotton waste

Therefore, cotton waste is also one of the most common textile wastes. Every year, 11.6 million tons of cotton waste are generated worldwide. The use of chemicals and water in both crop and textile production is associated with significant environmental impacts and pollution [6]. The textile production process of garments from cotton fibres to fabrics requires the extensive use of chemicals and energy to reduce the level of natural impurities found in the fibre, to improve dye and finishing chemical uptake, and impart new functional properties to the final fabric with hydrophobic, antimicrobial, easy ironing, stain resistance, fire resistance, soft touch and other properties (Figure 2) [6].

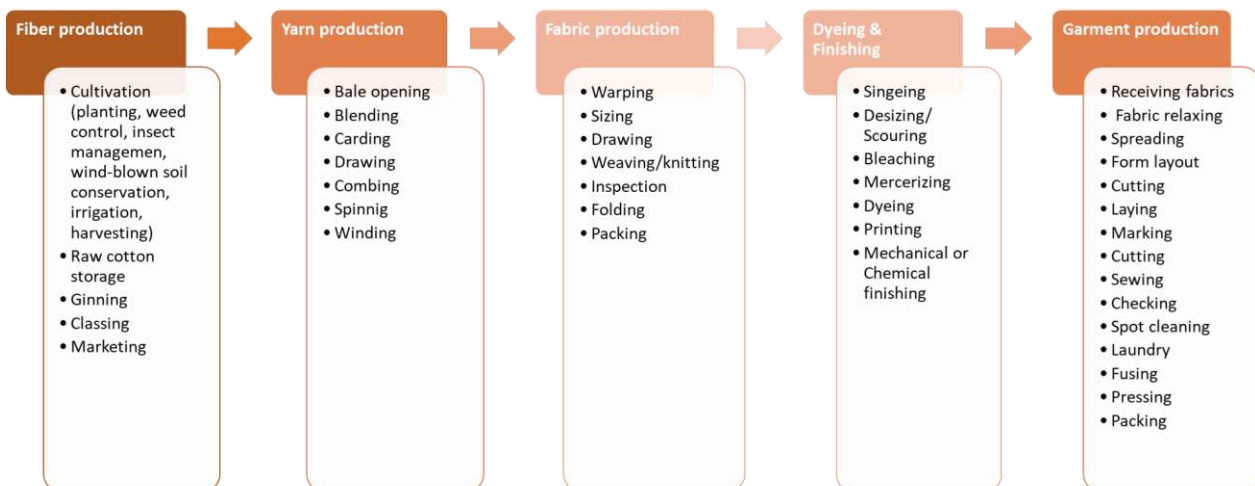


Figure 2: The basic steps of cotton production [6, 9, 10]

The U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) estimates that 9.5 million metric tons of clothing and textiles end up in landfills each year in the United States. Yet, it has been estimated that more than 80% of cotton waste is suitable for mechanical recycling into new textiles and less than 1% of the clothing produced is recycled back into new clothing. The use of recycled cotton has the potential to reduce the use of water, energy, pesticides, and dyeing chemicals, and to reduce the amount of waste sent to landfills [2].

1.3 Circular Economy of Cotton Textile Recycling

Circular business models (Figure 3) which are based on recycling and reuse turn products that can no longer be used for their original purpose into raw materials for (re)manufacturing [2]. It is vital to have a circular business model because it emphasizes seeking scientific solutions to complete the loop. Waste is reduced at the source and is recycled back into the economy for reuse rather than production and consumption being stopped due to garbage disposal [9]. These models involve reusing parts and cuts and producing recycled fibres for re-spinning and use in other products. It contributes to potential reduce of water, energy, pesticides, and dyeing chemicals consumption, and reduce landfill waste. In addition, increasing reuse and repurposing will also reduce the amount of textile materials that are needed for production [2, 9].

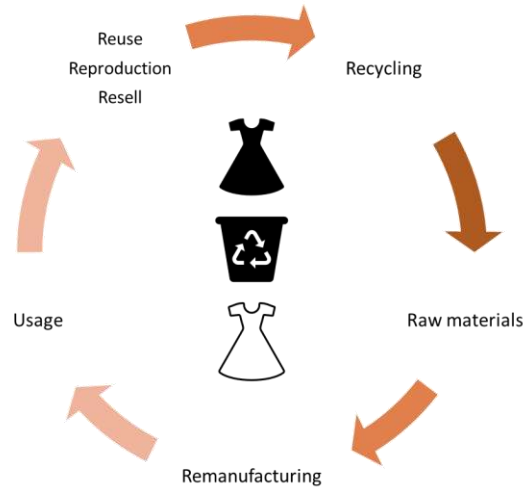


Figure 3: Circular business model [9]

2. Mechanical recycling

Textile recycling is the reprocessing method, which includes mechanical, chemical, and thermal routes, of textile waste for use in new textile or non-textile products. Recycling can be divided into downcycling, where the recycled material has a lower value or quality than the original product, and upcycling, where the product made from the recycled material has a higher value or quality than the original product [7]. Although recycled cotton fibres can be used to make carpets, geotextiles, composites, and nanoparticles, existing textile recycling routes generally recycle textile waste into a lower quality material such as blankets, insulation, and so on. On the other hand, the use of recycled cotton for clothing production is problematic because the quality of cotton fibres decreases at recycling [10].

Recycling cotton waste is challenging because cotton textiles are often mixed with other natural fibres (e.g., wool, soybean, and bast), chemical fibres (e.g., polyester, polyurethane, and polyamide), and textile dyes [5]. Current methods of recycling cotton waste consist mainly of mechanical, chemical, and biological recycling, but the majority of recycled cotton is obtained through mechanical recycling [11].

Mechanical recycling is a cost-effective process that involves short technological processes and re-spinning of end-of-life fibres, is well established, and is used for both pre- and post-consumer waste [5, 6]. The mechanical recycling of cotton fibres requires shredding of the waste materials/garments, which shortens the staple length of the fibres [10]. As the mechanical process breaks the fibres, quality and strength are reduced, so the recovered staple fibres must be blended either with virgin cotton fibres or with other fibres to improve strength and achieve color matching so that re-dyeing is not required [6, 9]. The process flow diagram in Figure 44 shows the potential of mechanical recycling of cotton to produce recycled fibres for apparel and blended materials for various applications [6]. Recent research has shown that systematic sorting of textile waste (by structure and previous finishing treatments) and optimization of shredding parameters are very important, as this leads to the production of higher quality yarns than the recycled fibres from mixed waste [10], which is a good starting point for the production of further upcycled cotton products.

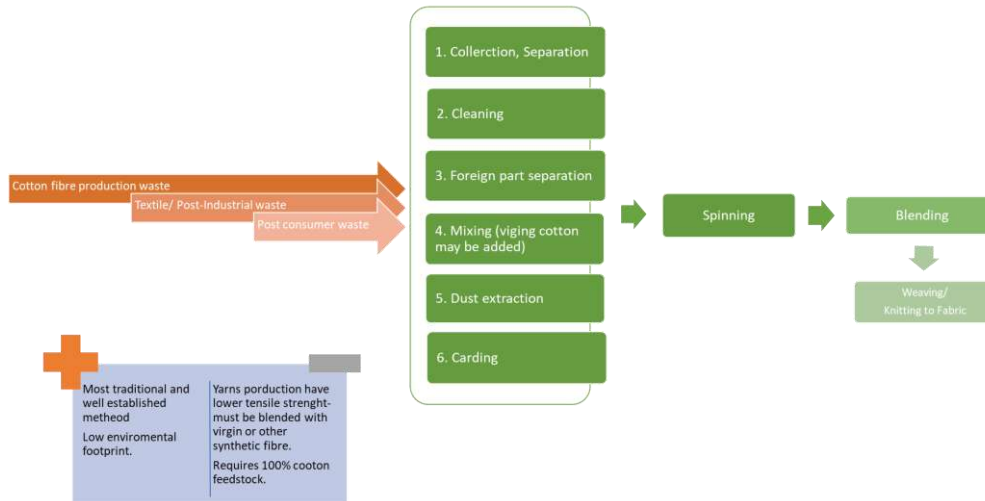


Figure 4: Overview of mechanical recycling process of cotton [6]

3. Recycled cotton on the market

3.1 Sustainable cotton initiatives

In the textile industry, several companies are developing industrial scale technologies to upcycle waste cotton using mechanical and chemical recycling methods [12], and various nonprofit groups, academic institutions, and companies have collaborated to create systems, standards, transparency, and traceability toward more sustainable cotton. Through these initiatives, the Textile Exchange partnership aims to support continuous improvement toward a more sustainable cotton future [13]. Since 2017, more than 50 of the most well-known and leading apparel brands have committed to exclusively use sustainable cotton by 2025 through the Sustainable Cotton Challenge. One of the Sustainable Cotton Challenge initiatives is also the Recycled Cotton sustainability program [13]. Recycled Cotton is certified to an independently verifiable standard such as the Global Recycled Standard (GRS) or the Recycled Claim Standard (RCS) [14]. Also, one of the initiatives for more sustainable cotton is Incorporated's CottonWorks™ program, supported by Cotton Incorporated and the Cotton Board's Importer Support Program, which aims to increase demand for and profitability of cotton through research and promotion.

Cotton Incorporated [11] has launched a denim recycling program called Blue Jeans Go Green™. The Blue Jeans Go Green™ initiative recycles old denim jeans to be preprocessed and converted into insulation material. The program, created in 2006, has collected more than three million pieces of denim and kept more than 1,700 tons of textile waste out of landfills. There are many recycling efforts by well-known brands that have started initiatives in their stores. Companies such as Columbia, The North Face, Patagonia, H&M, Peak Performance, Levi's, and many others have launched recycling programs that reward their customers for returning old clothing. Most of the companies that encourage their customers to recycle their clothing allow garments of all brands to be dropped off. Some of these initiatives offer consumer benefits such as coupons or points toward future purchases. Patagonia also focuses on repairing old clothing to extend the life of the product.

The use of recycled materials, including recycled cotton, is a topic of growing interest related to sustainability. In the textile and apparel market, manufacturers, brands, and retailers continue to review their supply chain footprint and therefore the interest in recycled cotton has increased.

3.2 Recycled cotton suppliers

A good example of a global producer of environmentally friendly, high-quality recycled cotton fibres and fibre blends is Recover, a Spanish company that shreds pre-consumer waste while maintaining the staple length of the cotton fibres so they can be reused. The company's strategy is to offer a range of fibres that enable the industry to achieve circular fashion for all [15]. Due to sustainability awareness, the demand for recycled cotton is increasing year by year, and so is the number of companies involved in cotton recycling. An overview of the leading companies around the world producing recycled cotton fibres, yarns and fabrics are given in Tables 1–3.

Table 1: Recycled cotton suppliers - Fibres

Country	Company	Website
Europe		
Spain	Recover	https://recoverfiber.com/
Germany	Gebrüder Otto GmbH &Co.- Recot	https://www.otto-garne.com/home-de/einzigartigkeit/eigenmarken/
Asia		
India	Kay Gee Enterprises	https://www.kaygeeindia.com/cotton-fibre-1

Table 2: Recycled cotton suppliers - Yarns

Country	Company	Website
America		
USA	Gap Yarns, reCapture	https://www.recaptureyarns.com/
USA	Giotex Ltd.	https://giotex.com.mx/en/products-detail
Guatemala	Faxel Textiles	https://www.ecoyarn.co/
Europe		
Netherlands	Ecological Textiles	https://www.ecologicaltextiles.com/contents/en-uk/d77_-_Yarns.html
Spain	Hilaturas Ferre yarns	https://ferreyarns.com/products/
Italy	Marchi & Fildi S.p.a	https://www.marchifildi.com/products/#ecotec-en
UK	Hampton Yarns	https://hamptonyarns.co.uk/about/#
Turkey	Kipaş Mensucat İşletmeleri a.ş.	https://kipastextiles.com/segments/yarns/#sustainable--recycled-yarns
Asia		
Bangladesh	CYCLO Recycled Fibers	https://www.cyclofibers.com/
Bangladesh	Martin Spining	https://matinspinning.com/products/
India	Kay Gee Enterprises	https://www.kaygeeindia.com/cotton-yarn-1

Table 3: Recycled cotton suppliers - Fabrics

Country	Company	Website
America		
Guatemala	Iris Textiles- The new denim project	https://www.thenewdenimproject.com/
Europe		
Turkey	Kipaş Mensucat İşletmeleri a.ş.	https://kipastextiles.com/segments/yarns/#sustainable--recycled-yarns
Asia		
China	Prosperity Textile (HK) Ltd.	https://www.prosperity-textile.com/sustainable-denim-mill-prosperity/

New companies have also entered the market that specialize exclusively in eco-friendly clothing made from recycled cotton. The New Denim Project produces a range of fabrics using a fully circular model developed by a third-generation family-run Iris Textile mill in Guatemala. They produce fabrics by collecting and sorting post-industrial cotton waste from local garment factories and reprocessing this waste into fibres and then into a fabric (Upcycled Denim), garments, and accessories [16]. The R Collective is another social enterprise based in London and Hong Kong that aims to end fashion waste by rescuing, reusing and recycling fashion waste and creating responsible products and clothing with a clear conscience [17].

4. Conclusion

As global demand and consumption of textile products continue to grow, large amounts of textile waste are generated. And since cotton is one of the most common raw materials in the textile industry and the most produced natural textile fibres, it is crucial that the development in the field of cotton recycling accelerates.

The fact is that the amount of recycled cotton is currently lower than we would like to see, but it is gratifying that there are more and more companies and other textile initiatives working towards a more sustainable textile industry. To achieve the Circular Economy Action Plan established by the European Union, end-of-life textiles must be recycled to produce new recycled fibres with similar properties than from virgin fibres, which will be achieved through continuous research and development in the field of cotton recycling. The aim of researchers and textile industry is to develop new, modern strategies for recycling cotton waste into high value-added products, create systems, standards, transparency, and traceability to achieve sustainable cotton production. In addition, consumer awareness and knowledge must be increased, and the fact that leading textile companies are already launching initiatives in their stores is extremely positive.

References

- [1] Sandin, G.; M. Peters, G.; Environmental impact of textile reuse and recycling- A review. *Journal of Cleaner Production*, **24** (2018) 184, pp. 353-365. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266>
- [2] Coscieme, L.; Manshoven, S.; Gillabel, J.; Grossi, F.; Mortensen, L. F.: Science, Practice and Policy. A framework of circular business models for fashion and textiles: the role of business-model, technical, and social innovation. *Sustainability*, **18** (2022), pp. 451-462.
- [3] Textiles and the environment: the role of design in Europe's circular economy. European Environment Agency. Available from: <https://www.eea.europa.eu/publications/textiles-and-the-environment-the>. Accessed: 2022-12-10
- [4] Gillabel, J.; Manshoven, S.; Grossi, F.; Mortensen, L. F.; Coscieme, L. ETC/WMGE 2021/2, Business Models in a Circular Economy. European Topic Centre on Waste and Materials in a Green Economy, 2021. Available from <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/business-models-in-a-circular-economy> Accessed: 2022-12-9
- [5] Lu, L.; Fan, W.; Meng, X.; Xue, L.; Ge, S.; Wang, C.; Foong, S.C. et al. Current recycling strategies and high-value utilization of waste cotton. *Science of the Total Environment*, **856** (2022), 158798. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158798>
- [6] Le, K. Textile Recycling Technologies, Colouring and Finishing Methods. UBC Sustainability Scholars report, Available from: <https://sustain.ubc.ca/about/resources/textile-recycling-technologies-colouring-and-finishing-methods> 2018. str. 30-36. Accessed: 2022-12-9
- [7] Cao, H.; Cobb, K.; Yatvitskiy, M.; Wolfe, M.; Shen, H. Textile and Product Development from End-of-Use Cotton Apparel: A Study to Reclaim Value from Waste. *Sustainability*, **14** (2022), 8553, Doi: <https://doi.org/10.3390/su14148553>
- [8] Shakkal, A.; Mirza, H. *Cotton Production and Uses, Agronomy, Crop Protection, and Postharvest Technologies*, Springer, ISBN 978-981-15-1472-2, Singapore, (2020)
- [9] Toyota Industries, Available from https://www.toyota-industries.com/products/relation/textile_process/. Accessed: 2022-12-16
- [10] Textile School, Available from <https://www.textileschool.com/193/garment-production-process/>. Accessed: 2022-12-16
- [11] Damayanti, D.; Wulandari, L. A.; Bagaskoro, A.; Rianjanu, A.; Wu, H. S. Possibility Routes for Textile Recycling Technology. *Polymers*, **13** (2021), 3834, pp. 1-32. Doi: <https://doi.org/10.3390/polym13213834>
- [12] Ütebay, B.; Çelik, P.; Çay, A. Effects of cotton textile waste properties on recycled fibre quality. *Journal of Cleaner Production*, **222** (2019), pp. 29- 35. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.033>
- [13] Cottonworks. Recycled Cotton, Cotton Incorporated, 2022. Available from <https://www.cottonworks.com/en/topics/sustainability/cotton-sustainability/recycled-cotton/>. Accessed: 2022-12-14
- [14] Johnson, S.; Echeverria, D.; Venditti, R.; Jameel, H.; Yao, Y. AATCC, Supply Chain of Waste Cotton Recycling and Reuse: A Review. *Journal of Research, Sustainability*, **7** (2020), 1, pp 19-31. Doi: <https://doi.org/10.14504/ajr.7.S1.3>
- [15] Fontoura, R. et. Al. 2025 Sustainable Cotton Challenge; Third Annual Report 2021, Textile Exchange, 2021. Available from https://textileexchange.org/app/uploads/2021/12/2025_Sustainable-Cotton-Challenge-Report_2021.pdf Accessed: 2022-12-10
- [16] The European market potential for sustainable cotton. CBI Ministry of Foreign Affairs, 12. February 2020. Available from <https://www.cbi.eu/market-information/apparel/sustainable-cotton/market-potential>. Accessed: 2022-12-13
- [17] Recover fiber. Recover Textile Systems, S.L, 2022. Available from <https://recoverfiber.com/about-us>. Accessed: 2022-12-12
- [18] The new denim project, TNDP by Iris Textiles, 2022. Available from <https://www.thenewdenimproject.com/about>. Accessed: 2022-12-16
- [19] The R Collective. Available from <https://thercollective.com/pages/about-us>. Accessed: 16.12.2022

DESIGN OF AROMATHERAPY AND MEDICAL FUNCTIONAL TEXTILE BY MICROCAPSULES WITH GREEN REPELLENTS AND ESSENTIAL OILS

Tamara GEORGIEVSKA¹; Katerina ATKOVSKA¹; Stefan KUVENDZIEV¹, Mirko
MARINKOVSKI¹, Erhan MUSTAFA², Predrag MIŠIĆ³, Kiril LISICHKOV^{1,*}

¹ Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Technology and Metallurgy, Skopje, R. North Macedonia; tami.georgievska@gmail.com, kburevska@tmf.ukim.edu.mk, stefan@tmf.ukim.edu.mk, mirko@tmf.ukim.edu.mk, lkiril@tmf.ukim.edu.mk

² Inkoma d.o.o. Skopje, Skopje, R. North Macedonia; erhanmustafa1978@gmail.com

³ Specialized Hospital for psychiatric disorders "Gornja Toponica", Niš, R. Serbia; drmisticpredrag@gmail.com

* Corresponding author: lkiril@tmf.ukim.edu.mk

Abstract: *In this work, it was aimed to provide a comprehensive review of application of microencapsulation technique for obtaining medical functional textiles that exhibit repellent properties, healing and health-supporting on mental and physical body. Examples of utilised microencapsulation technologies for essential and basic oils and green repellents are discussed. A brief review of applied encapsulating materials is described and recent advanced in functional medicinal textile engineering is presented. The introduction of applying the microencapsulation processes has been increasing gradually over the years in the textile industry. It is most frequently encountered in producing value-added-textile, or fabrics with modified properties in medicinal and technical textiles. Certain essential oils and similar plant-based elements are commonly encapsulated to repel mosquitoes, due to their less toxicological effect on people and environment. Most commonly reported microencapsulated essential oils as repellents are: immortelle oil, lemon eucalyptus, citronella oil, clove oil, and basil oil. Over the past few years, the interest of essential oils has been expanded to medical area, due to their medicinal and biological properties, biocidal activities and pharmacological properties. Microencapsulation of essential oils has been employed, thus overcoming some of their limitations. The microcapsules entrap the essential oil, thereafter acting as micro-reservoirs providing sufficient stability protection. The literature overview of essential oil microencapsulation revealed studies for encapsulated: peppermint oil, lemongrass, oregano, basil, rosemary, garlic, lavender, thyme, nutmeg etc. This research field can contribute in development of: medical devices, repellence with less toxic effects on people and environment and pharmaceutical and cosmetic products.*

Keywords: *microencapsulation; green repellents; medical textiles; aromatherapy textiles; essential oils*

1. Introduction

Microencapsulation is a technique by which encapsulation of different bioactive compounds (proteins [1], cells [2], genes and DNA [3], active pharmaceutical substances [4], essential oils [5-7]) can be achieved. All three states can be encapsulated by a suitable microencapsulation technique, thus manufacturing microparticles with size of 1 to 1000 µm. As a wall or encapsulating material are used natural (proteins and polysaccharides) and synthetic (biodegradable and non-degradable) polymers [8,9]. With this process, the core material is protected from external factors. Application of microencapsulation has been reported in the following areas: pharmaceutical, agrochemistry and food industry [10], adhesives, cosmetics, biotechnology, medicine and medical devices, dyes and coatings, exploration of gas and oil [11].

Lately, microencapsulation of essential oils is commonly investigated, due to their biocidal activities and medical properties [12]. Furthermore, essential oils are known for their high volatility, reactivity, high susceptibility to oxygen, light, heat and humidity [13,14], thereafter resulting in poor stability. As a result of this, microencapsulation of essential oils can be employed to prevent or improve some of these limitations. Innovative strategies have been developed in protecting the essential oils from oxidative deterioration. Medical functional textiles with essential oils in microencapsulated form, not only are they fragranced textile but also they provide antimicrobial, antiviral and antifungal protection [15].

Functional textiles are engineered textile materials with purpose to deliver value-added-products with modified functionality-characteristics to the end-user, beyond the clothing's basic purpose. A research

suggests that in 2020, the global market in functional textiles has reached USD 4.72 billion [16], due to commercial market applications in military, fitness, health care, sports, fashion and automotive sectors. Yet, manufacturing functional textiles remains a challenge associated with selection of a suitable material, its design as per end-users' needs and the manufacturing process, during which microcapsules can be immobilized at fiber, fabric, garment or yarn stage.

The aim of this review is to highlight a summary of microcapsules loaded with green repellents, essential and basic oils with application in functional medical textiles and insect-repellent textile. Application areas of medical functional textiles can be found in medicine and health sciences, pharmaceutical and medical devices industry, sports and cosmetics.

2. Purpose of microcapsules in functional textile products

Incorporating microencapsulation process in textile industry to manufacture functionalized textiles with essential oils with predefined properties can be regarded as a revolutionary step in manufacturing of textile that were not possible or economical feasible. A systematic research of recent trends of microencapsulation in functional textiles has been elucidated [17]. In their research [17], it has been pointed out that patent applications (with leading countries Japan, USA and China) in this research field exceed the number of scientific articles (with leading countries China, Turkey and India). One of the first application has been in encapsulating dyes and pigments to achieve permanent dyeing and printing of textiles, or colour-changing textiles achieved by thermochromic microcapsules. One of perspective flourishing applications of functional textiles-embedded microcapsules are insect-repellent textiles, healthcare textiles, medical textile and cosmetotextiles.

In the first category, green repellents are encapsulated with aim to reduce toxicity of synthetic compounds, reduce the volatility and improve stability of essential oils. Nonetheless, the release of bioactive compound is extended, thus providing prolonged protection, whereas decrease in wash fastness of the encapsulated bioactive compound is targeted. With recent investigation studies, the healthcare textiles need to be designed to provide antimicrobial protection, disinfection or locally-acting anti-inflammatory property. Commonly, in healthcare textiles are included hygiene masks, sportswear and footwear, biofunctional materials, patches or medical garments. The medical functional-textiles have direct-skin contact, whereas the healthcare functional textile can have direct or indirect-skin contact.

Based on the properly chosen microencapsulation technique, its critical process parameters and formulation design (i.e. choice of encapsulating material, crosslinking agent, surfactant) the release profile, morphology, encapsulation efficiency and stability of essential oils can be accordingly modified. Furthermore, by choosing appropriate method for microcapsules application on fabrics, desired product's profile can be reached.

3. Functionalisation of aromatherapy textiles with green repellents

Repellent protection can be considered as an awareness for health and hygiene, for which the awareness is increasing lately, thus resulting in an increasing demand for clothing with functionality [18]. For that purpose, commercialized essential oils blends acting as a natural mosquito repellent are available, for example a blend of lemongrass, thyme, cedarwood, geranium and peppermint.

Mosquitos are commonly considered as a vector for borne diseases, with no effective vaccine to fight off the diseases. Therefore, personal protection to prevent the mosquito bites is one of the approaches. Commercially, the following synthetic repellents are employed: DEET (N,N-Diethyl-meta-toluamide), DMP (Dimethyl phthalate) and allethrin, which, however exhibit certain toxicity and could have negative impact on the environment. Another disadvantage is the economical aspect (high operational costs).

In the review study of Atkovska *et al.* [19], essential oil as candidates for green repellents have been discussed based on their repellent protection efficiency. In table 1 are presented selected potential essential oils with high repellent protection that could be further microencapsulated.

Table 1: Green extracts-based microcapsules for mosquito repellent-textile

Essential oil	Application	Repellent protection [%]	Reference
Immortelle	Dosage rate of 200-300 ppm	41.7-100% mortality for <i>Ae. albopictus</i> within 24h	[20]
Clove	100% essential oil (topically)	100% against <i>Ae. Aegypti</i> (120 min), <i>An. dirus</i> (210 min.), <i>C. quinquefasciatus</i> (240 min)	[21]
Citronella	100% essential oil (topically)	100% against <i>Ae. aegypti</i> (120min.), <i>An. dirus</i> (70 min) <i>C. quinquefasciatus</i> (100 min.),	[21]
Peppermint	3ml/m ² of water surface	100% mortality for <i>C. quinquefasciatus</i> (24h), 90% for <i>Ae. aegypti</i> (24h), 85% mortality for <i>An.</i> <i>stephensi</i> (24h)	[22]
	100% essential oil (topically)	100% against <i>Ae. aegypti</i> (150 min.) 100% against <i>Ae. aegypti</i> (45 min.)	[23]
Basil	100% essential oil (topically)	100% prot. against <i>A. aegypti</i> for 3h, 100% prot. against <i>C. quinquefasciatus</i> for 8 h, 100% prot. against <i>An. dirus</i> for 3.5 h	[24]
	2%, 4% and 6% essential oil (topically)	125 min.; 200 min and 270 min. protection against <i>Anopheles</i>	[25]
Lemongrass	lemongrass oil + olive oil (topically)	98.8% prot. against <i>Ae. aegypti</i> for 60 min. and <i>C. quinquefasciatus</i> for 170 min	[26]

Attempts to overcome the high volatility of essential oils have been reported by controlled release of the oils using β -cyclodextrin (native form) and crosslinking agent - citric acid for cotton-based textile with diverse functionalities [27]. Khanna & Chakraborty [27] have reported utilization of β -cyclodextrin with citric acid as encapsulating material for six essential oils: clove, cedarwood, eucalyptus, peppermint, lavender and jasmine to produce microcapsules by esterification. It was concluded that cedarwood is an effective mosquito killer, whereas potential mosquito repellents were lavender and peppermint. However, poor results had shown oils of jasmine, since the oils worked as an attractant, thus simulating the flower nectar. Their research confirmed that with microencapsulation, the duration of repellent effect of essential oils is significantly increased. Therefore, microcapsules would have potential for commercialization as an alternative plant-based repellent.

Furthermore, microcapsules containing citronella oil have been manufactured by complex coacervation, and afterwards applied to cotton textiles [28]. Their results suggested to higher and longer-lasting protection against mosquitos. Additional advantages are associated with the chosen microencapsulation technique, especially beneficial to developing countries [28].

Lemon grass oil has been encapsulated in sodium alginate and afterwards was grafted on a polyester fabric. The microencapsulated fabric showed highest repellent properties against mosquitos (92%) compared to polyester fabric finished only by pad-dry cure method [29]. Lemon grass oil was encapsulated in gum acacia as reported in [30] and encapsulated cotton textile. Lemon grass-encapsulate exhibited repellency in range from 84% to 96%, whereas washing it by thirty times, the repellency dropped to a range of 56% to 68% [30].

Another investigated extract with high-repellent activity against mosquitoes and even snakes is Andrographolide, extracted from *Andrographis paniculata* plant [31]. Sodium alginate based microcapsules with Andrographolide extract have been reported and through exhaustion were applied on bamboo/cotton fabric. The results suggested to high-repellent protection up to 94% for fabric embedded microcapsules and 96% for fabric with direct application. Washing the fabric by thirty times, the repellent-protection dropped to 52% (encapsulated) and 40% (direct finished fabric) [31]. Based on the results, it can be concluded that retention of repellent-protection after washing was higher in encapsulated finished fabrics.

4. Functionalisation of medical textiles with essential oils

Utilization of extracts, not only has gained attention in the aforementioned study field, but also in industrial application areas as medical, food and cosmetics. The awareness for health-quality, balanced diet and administration of natural-based supplementation favors the need of symbiosis between medicine, pharmaceutical and food industry. In table 2 are shown examples of essential oils, wall materials and microencapsulation techniques for medical and pharmaceutical industrial applications. The chosen representative essential oils are known for their medical properties in alternative medicine.

Table 2: Microcapsules with essential oils for medical and pharmaceutical industrial applications

Microencapsulation technique	Wall Material(s)	Essential oil / source	Application	Reference
Emulsification	Hydroxypropyl methyl cellulose/chitosan/silica	Peppermint oil	Medical	[32]
Extrusion	Sodium alginate	Nutmeg	Pharmaceutical	[33]
Freeze-drying	Maltodextrin/gelation	Lemongrass	Cosmetics, pharmaceutical	[34]
Extrusion/external gelation method	Sodium alginate	<i>P. madagascariensis</i> extract	Perspective medical	[35]
Spray drying by conventional emulsion	Soy protein isolate	Olive oil (CoQ ₁₀)	Perspective pharmaceutical, medical	[36]
Spray drying by conventional emulsion	Gelatin Carbohydrates: chitosan + maltodextrin	Fish oil	Pharmaceutical, medical	[37]
Emulsification	β -cyclodextrin hydrate	Lavender Thyme Clove	Medical	[41]

Value-added-textiles, especially, the aromatherapy-based textile and medicinal textiles are designed to provide therapeutic benefits for end-users. Most commonly, the therapeutic effects are medicinal, biocidal and wound-healing of some infection-induced skin diseases. In study reports, the essential oils were encapsulated with aim of providing wound-healing properties either through film [40] or hydrogel [39]. For example, curcumin have been encapsulated in PEG-poly(ϵ -caprolactone) copolymer-micelle by employing solid dispersion technique and have been loaded on a thermosensitive hydrogel composite (PEG-PCL-PEG). The results showed sustained curcumin release in an extended period, high encapsulation efficiency and composite that converted to a gel at skin temperature [39].

Interesting research was reported by Liakos *et al.* [40]. In their research, encapsulation of nine different essential oils (elicriso, chamomile blue, cinnamon, lavender, tea tree, peppermint, eucalyptus, lemongrass and lemon) was performed in a sodium alginate-based film for wound dressing. Except, chamomile blue, all other eight essential oils showed inhibition of fungal growth (*C. albicans*). However, against the bacterial growth (*E. Coli*), only few essential oils have proven to be effective. These are cinnamon, lemongrass and peppermint oil [40].

In other research, *plectranthus spp.* extract-loaded calcium alginate beads were prepared by extrusion/external gelation method. The extract demonstrated anti-*Staphylococcus epidermidis* activity along with antioxidant capacity [35]. However, no experimental data has been provided for functionalizing textile with the microcapsules. This could further be investigated.

Molla M.M. & El-Ghorab A.H. [41] have conducted a research by encapsulating lavender, thyme and clove essential oil in β -cyclodextrin. The microcapsules have been applied through exhaustion approach on polyester fabrics. Against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*, the functionalized textile has exhibited antimicrobial properties, thus making the finish fabrics – medicile textile. However, these samples have not exhibited antifungal activity. Highest antimicrobial activity had shown polyester encapsulated with thyme [41]. Washing study was performed for fragrance evaluation. After 20 and 50 days, strong fragrance was detected, though after 60 days (five washings) medium scent was detected, due to fragrance-concentration decrease. No study was conducted for antimicrobial evaluation after washing-cycles.

It has been suggested that the encapsulated essential oils would be applied on a textile to achieve wound dressing, and as an intelligent bandage that would release the natural essential oils during skin therapy and improving the overall skin-health. Yet, in literature [38], it was deduced that further research on the therapeutic effects of aromatherapeutic textile in function of medical textile are needed, as rarely studies are available on this topic.

5. Conclusion

Microencapsulation, for the purpose of textile functionalization, is employed either to introduce entirely new properties and functional characteristics in order to achieve value-added-textile or to improve some limitations of the core material, i.e. the stability of essential oils. Encapsulating green repellents, as an alternative to synthetic repellents, have proven to show lower toxicity and improved repellent efficiency. Furthermore, microcapsules with essential and/or basic oils that provide antimicrobial properties or wound-healing will exhibit increasing attention in medical devices industry, especially in functionalized bandages.

To summarize, design of functional medical-textile with microcapsules (essential oils) and functional aromatherapy-textile (green repellents) will attract more attention in coming years. Based on the presented overview, it can be concluded that more attention in future research-work needs to be addressed on choice of suitable working materials (polymers, surfactants), microencapsulation and manufacturing technique for textile applications. Therefore, future research in this area is highly recommended, encouraged and anticipated, considered the benefits that arise by employing alternative to synthetic bioactive compound.

References

- [1] Mutaliyeva, B. et al.: Microencapsulation of insulin and its release using w/o/w double emulsion method, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **521** (2017), pp. 147-152, ISSN: 09277757
- [2] Batubara, I. et al.: Leydig Cells Encapsulation with Alginate-chitosan: Optimization of microcapsule formation. *J. Encapsulation Adsorpt. Sci.*, **2** (2012) 2, pp. 15-20, ISSN: 2161-4873
- [3] Farris, E. et al.: Chitosan-zein nano-in-microparticles capable of mediating in vivo transgene expression following oral delivery. *J Control Release*, **249** (2017), pp. 150-161, ISSN: 0168-3659
- [4] Hayatunnufus, R.; Wati, P. G.; Budianto, E.: Preparation, Characterization and Emulsion Efficiency test of simvastatin microencapsulation using polyblend of Poly(lactic) acid and Poly(ϵ -caprolactone), *Materials Science Forum*, **947** (2019), pp. 21-25, ISSN: 1662-9752
- [5] Ozcan, A.; Kandirmaz, E. A.: Poly(vinyl alcohol) - (stearic acid) synthesis and use in lavender oil capsulation, *Proceedings of 9th International Symposium on Graphic Engineering and Design*, pp. 189-196, ISBN: 9788660221140, Novi Sad: Faculty of Technical sciences, november 2018, Department of graphic engineering and design, Novi Sad, (2018)
- [6] Aziz, F. R. et al.: Microencapsulation of citronella oil by complex coacervation using chitosan-gelatin (b) system: operating design, preparation and characterization, *Proceedings of 5th International Conference on Chemical and Process Engineering (ICCPE 2016)*, 04002, Vol. 69, MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, Les Ulis, (2016)
- [7] Burhan, A. et al.: Optimization of the microencapsulation of Lavender oil by spray drying. *J. Microencapsul.*, **36** (2019) No. 3, pp. 250-266, ISSN: 1464-5246
- [8] Lam, P.L.; Gambari, R.: Advanced progress of microencapsulation technologies: *In vivo* and *in vitro* models for studying oral and transdermal drug deliveries, *JCR*, **178** (2014), pp. 25-45, ISSN: 0168-3659
- [9] Coelho, J. et al.: Drug delivery systems: Advanced technologies potentially applicable in personalized treatments, *EPMA Journal*, **1** (2010), pp. 164-209, ISSN: 1878-5085
- [10] Amaral, P. H.; Andrade, P. L.; de Conto, L. C.: Microencapsulation and Its Uses in Food Science and Technology: A Review, In *Microencapsulation - Processes, Technologies and Industrial Applications*, IntechOpen, ISBN: 9781838818715, London, (2019)
- [11] Lipovetskaya, Y.: *Microspheres: technologies and global markets*, Willesley, BCC Research, (2010)
- [12] Bakkali, F. et al.: Biological effects of essential oils—A review, *Food Chem. Toxicol.*, **46** (2008), pp. 446–475, ISSN: 0278-6915
- [13] De Billerbeck V.G: Huiles essentielles et bactéries résistantes aux antibiotiques, *Phytotherapie*, **5** (2007), pp. 249–253, ISSN: 1765-2847
- [14] Burt, S.: Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *Int. J. Food Microbiol.*, **94** (2004), pp. 223–253, ISSN: 1879-3460
- [15] Ghayempour, S.; Montazer, M.: Micro/Nanoencapsulation of Essential Oils and Fragrances: Focus on Perfumed, Antimicrobial, Mosquito–Repellent and Medical Textiles, *J. Microencapsul.*, **33** (2016), pp. 497–510, ISSN: 1464-5246
- [16] Majumdar, A.; Gupta, D.; Gupta, S.: *Functional Textiles and Clothing*, Springer Singapore, ISBN: 9789811377204, Singapore, (2019)
- [17] Podgotnik, B.B.; Šandrić, S.; Kert, M.: Microencapsulation for Functional Textile Coatings with Emphasis on Biodegradability—A Systematic Review, *Coatings*, **11** (2021), 1371, ISSN: 2079-6412
- [18] Karolia, A.; Mendapara, P.: Application of antimicrobial and fragrance finish in combination by microencapsulation on cotton, *JTA*, **66** (2005) No. 4, pp.155–159, ISSN: 0368-4336

- [19] Atkovska, K. et al.: Essential oils as green repellents against mosquito vectors, *Quality of Life (Banja Luka)*, **12** (2021) No. (1-2), pp. 51-60, ISSN: 1986-6038
- [20] Barbara, C. et al.: Essential oil composition and larvicidal activity of six Mediterranean aromatic plants against the mosquito *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae), *Parasitol Res.*, **107** (2010) 6, pp. 1455-1461, ISSN: 2090-0031
- [21] Trongtokit, Y. et al.: Comparative repellency of 38 essential oils against mosquito bites, *Phytotherapy Research*, **19** (2005), pp. 303-309, ISSN: 1099-1573
- [22] Ansari, M.A. et al.: Larvicidal and mosquito repellent action of peppermint (*Mentha piperita*) oil, *Bioresource Technology*, **71** (2000), pp. 267-271, ISSN: 0960-8524
- [23] Sarita, K.; Naim, W.; Radhika, W.: Bioefficacy of *Mentha piperita* essential oil against dengue fever mosquito *Aedes aegypti* L., *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, **1** (2011) 2, pp. 85-88, ISSN: 22211691
- [24] Tawatsin, A. et al.: Repellency of volatile oils from plants against three mosquito vectors, *J. Vector Ecol.*, **26** (2001), pp. 76-82, ISSN: 1948-7134
- [25] Adam, A.A. et al.: Evaluation of repellent activities of the essential oil of *Ocimum basilicum* against *Anopheles* mosquito and formulation of mosquito repellent cream, *Biomed. Res. and Clinical Practice*, **4** (2019), pp. 1-5, ISSN: 2397-9631
- [26] Mayura, S.; Siriporn P.: Efficacy of Thai herbal essential oils as green repellent against mosquito vectors, *Acta Tropica*, **142** (2015), pp. 127-130, ISSN: 0001-706X
- [27] Khanna, S.; Chakraborty, J.N.: Mosquito repellent activity of cotton functionalized with inclusion complexes of β -cyclodextrin citrate and essential oils, *Fash Text*, **5** (2018) 9, ISSN: 2198-0802
- [28] Specos, M. et al.: Microencapsulated citronella oil for mosquito repellent finishing of cotton textiles, *Trans R Soc Trop Med Hyg*, **104** (2010) 10, pp. 653-658, ISSN: 1878-3503
- [29] Anitha, R.; Ramachandran, T.; Rajendran, R.: Microencapsulation of lemon grass oil for mosquito repellent finishes in polyester textiles, *Elixir Biophys*, **40** (2011) pp. 5196-200
- [30] Vinayagamorthy, P. et al.: Microencapsulated lemongrass oil for mosquito repellent finishing of knitted cotton wear, *Asian J. Pharm. Clin. Res.*, **10** (2017) 6, pp. 303-307, ISSN: 2455-3891
- [31] Ramya, K.; Maheshwari V.: Development of eco friendly mosquito repellent fabric finished with *andropogon paniculata* plant extracts, *Int J Pharm Pharm Sci*, **6** (2014), pp. 115-17, ISSN: 2656-0097
- [32] Lai, H. et al.: Fabrication and antibacterial evaluation of peppermint oil-loaded composite microcapsules by chitosan-decorated silica nanoparticles stabilized Pickering emulsion templating, *Int. J. Biol. Macromol*, **183** (2021), pp. 2314-2325, ISSN: 1879-0003
- [33] Matulyte, I.; Kasparaviciene, G.; Bernatoniene, J.: Development of new formula microcapsules from nutmeg essential oil using sucrose esters and magnesium aluminometasilicate, *Pharmaceutics*, **12** (2020) 628, ISSN: 1999-4923
- [34] Martins. W.S. et al.: Lemongrass (*Cymbopogon citratus* DC. Stapf) essential oil microparticles: Development, characterization, and antioxidant potential, *Food Chem*, **355** (2021), ISSN: 0308-8146
- [35] Rijo, P. et al.: Antimicrobial plant extracts encapsulated into polymeric beads for potential application on the skin, *Polymers*, **6** (2014), pp. 479-90, ISSN: 2073-4360
- [36] Zhao, X.H.; Tang C.H.: Spray-drying microencapsulation of CoQ10 in olive oil for enhanced water dispersion, stability and bioaccessibility: influence of type of emulsifiers and/or wall materials, *Food Hydrocoll*, **61** (2016) pp. 20-30, ISSN: 0268-005X
- [37] Pourashouri, P. et al.: Impact of wall materials on physicochemical properties of microencapsulated fish oil by spray drying, *Food Bioprocess Technol*, **7** (2014) pp. 2354-2365, ISSN: 19355149
- [38] Mehta, S.; MacGillivray, M.: Aromatherapy in Textiles: A Systematic Review of Studies Examining Textiles as a Potential Carrier for the Therapeutic Effects of Essential Oils, *Textiles*, **2** (2022) 1, pp. 29-49, ISSN: 2673-7248
- [39] Gong, C. et al.: A biodegradable hydrogel system containing curcumin encapsulated in micelles for cutaneous wound healing, *Biomaterials*, **34** (2013) 27, pp. 6377-6387, ISSN: 0142-9612
- [40] Liakos, I. et al.: All-natural composite wound dressing films of essential oils encapsulated in sodium alginate with antimicrobial properties, *Int. J. of Pharm.*, **463** (2014) 2, pp. 137-145, ISSN: 1873-3476
- [41] El-Molla, M.M.; El-Ghorab, A.H.: Extraction of eco-friendly essential oils and their utilization in finishing polyester fabrics for fragrant and medical textiles, *J. Eng. Fibers Fabr.*, **17** (2022), pp. 1-12 ISSN: 15589250



STRUČNI RADOVI

PROFESSIONAL PAPERS

SUSTAINABLE APPROACHES TO GARMENT PRODUCTION

Tanja PODBEVŠEK*; Tatjana RIJAVEC & Matejka BIZJAK

University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia; tanja.podbevsek@ntf.uni-lj.si; tatjana.rijavec@ntf.uni-lj.si; mateja.bizjak@ntf.uni-lj.si

* Corresponding author: tanja.podbevsek@ntf.uni-lj.si

Abstract: *The modern consumer is increasingly aware of the damage that the fashion industry is causing to the global environment. As a result, the apparel industry must grapple with how to survive in a global marketplace that has high expectations for meeting the sustainability criteria of its increasingly environmentally conscious target customer groups. The fact is that the fashion industry is one of the biggest polluters. From the design process to production to final consumption, about two-thirds of the textiles produced end up in landfills. Textile waste can be broadly divided into three categories: Pre-consumer textile waste, post-industrial textile waste and post-consumer textile waste. In this conference paper, we specifically address pre-consumer textile waste that never reaches the consumer and comes directly from manufacturers, such as garment production waste. To improve sustainability in the apparel industry, manufacturers must change the way garments are designed and produced. Solutions include changing traditional processes to develop new apparel collections. Typically, a garment company's development department includes fashion designers, pattern developers, garment technologists, seamstresses and other employees. One of the new concepts of zero-waste production combines the work of a fashion designer and a pattern developer in one person. In this way, the designer/pattern developer simultaneously designs clothing and develops the patterns for it, with the goal of generating as little textile waste as possible. The ultimate goal is that all the textile material of the garment is consumed (or less than in the conventional way) and at the same time a garment (an image) is created that meets the fashion, aesthetic and functional desires of the user's target group. The aim of the experimental work is to show three different ways of simultaneous development of design and pattern cut, leading to a contemporary female garment. The garments were sewn from longitudinal striped knit of recycled cotton in a one size (bust girth 84 cm). Knit waste was less than one percent in two garments and zero percent in one.*

Keywords: *zero waste; sustainable approach; clothing design; pattern cut.*

1. Introduction

The new conditions in the world market have forced many garment companies to become more flexible and innovative, moving to more sustainable and flexible production, which contributes significantly to the reduction of environmental impact. Sustainable aspects related to textile waste reduction are becoming increasingly important, both for apparel manufacturers and their customers. Current technology offers advanced solutions for production automation and improved planning and production processes to make manufacturing more accurate, but also more local and sustainable. Potential benefits, among others, include less sewing waste [1].

The fact is that from the design process to production to final consumption, about two-thirds of textiles produced end up in landfills [2]. Lucie Brigham, co-founder of the Conscious Fashion and Lifestyle Network (CFLN), an online platform of the United Nations, and head of the Office of Partnerships, highlighted the problem of textile waste at the main press conference of Techtexil/Texprocess (June 2022, Frankfurt), which focused mainly on sustainable fashion. During her presentation, she mentioned some interesting data on consumer behavior, where large amounts of textiles are thrown away and thus have a significant impact on environmental pollution [2].

Textile waste can be broadly classified into three categories, namely pre-consumer textile waste, post-industrial textile waste and post-consumer textile waste. Pre-consumer textile waste is waste that never reaches the consumer and comes directly from manufacturers, such as waste from spinning, knitting, weaving, wet processing and garment manufacturing [3]. In this paper, we specifically address pre-consumer textile wastes, such as garment manufacturing wastes.

When it comes to improving sustainability in the garment industry, manufacturers need to change the way garments are designed and produced [4]. One of the solutions is to transform the conventional design process and the conventional pattern development process into a single process where garment design and pattern development take place at the same time. Usually, the development department of a garment company includes fashion designers and pattern developers, among others. Under a new concept of zero-waste production, the designer and pattern developer become one person. In this way, the designer/pattern developer simultaneously designs clothes and develops the patterns for them, with the goal of producing as little textile waste as possible. This combination has been called the Zero Waste principle by some authors [5,6,7]. Zero Waste refers to a product or process that produces no waste, i.e., everything is reused and nothing is thrown away [6] Rissanen and McQuillan [5], in addition to having little or no waste, also emphasized other important quality criteria that zero waste clothing must meet, namely: visual appearance (the garment must be visually appealing to the consumer); fit (the garment should fit well and be the right size); cost (manufacturing costs should not increase due to complicated pattern cuts); sustainability (the material used should be durable and visually long-lasting, ideally using sustainable fiber types); manufacturability (ability to be manufactured in one-off or batch production).

In the experimental work, the zero waste concept was investigated and tested against Rissanen and McQuillan's quality criteria. Three modern female garments were produced and the amount of production waste was displayed and calculated.

2. Method used

A size 84 female mannequin (chest circumference 84 cm) [8] was used to develop the proper width of garments across the bust line.

The width of the recycled cotton knit was the same for all three garments and was 150 cm. The knit was stretchy enough in length and width that we could cut in the direction of loop rows or loop columns.

There were no restrictions on the width and length of the garments, or on the length of the sleeves. The seam allowances were already included in the pattern pieces and were 0,6 cm. Stitch 1.01.01/504 was used for sewing. Stitches 6.02.01/301 or 3.05.01/301 were used to hem the sleeves or the length of the garments.

The amount of waste was calculated by measuring the weight of the indicated knitted piece before cutting and the weight of the waste itself after cutting. Based on these measurements, the percentage of waste was calculated.

3. Results

The design of the three women's garments took place simultaneously with the development of their patterns, with the goal of generating as little textile waste as possible. For the first garment (Figure 1), we managed to produce zero waste. This was possible thanks to the simple rectangular and triangular shapes of the pattern pieces (Figure 4 a).

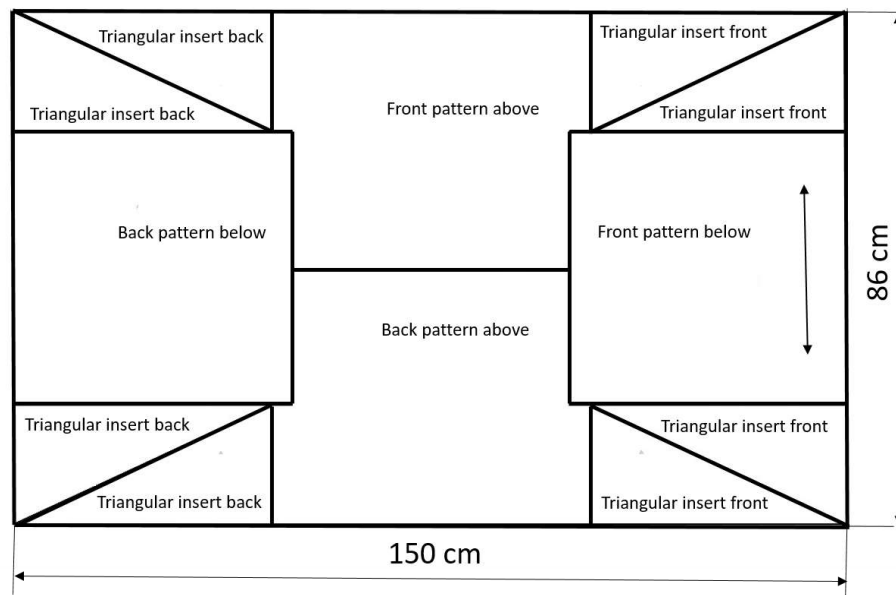


Figure 1: Pattern cut of women's dress a. - made according to the zero waste principle (produced 0 % of textile waste of knitted material)

For the second garment, we obtained 0,89 % of textile waste (Figure 2). In this case, the sleeve line was designed in the same way as for the traditional patterns (Figure 4 b).

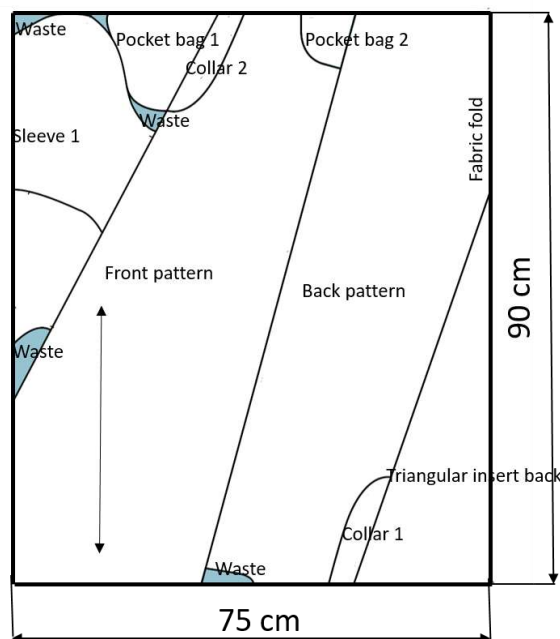


Figure 2: Pattern cut of women's dress b. - made according to the zero waste principle (produced 0,89 % of textile waste of knitted material (the amount of waste was calculated by measuring the weight of the indicated knitted piece before cutting and the weight of the waste itself after cutting. Based on these measurements, the percentage of waste was calculated)

In the case of the third garment, we have 0,43 % of textile waste (Figure 3). The front pattern cut of the garment was modelled to a different neckline, and the irregular line of the side seam was hidden in a fold as the knit fell (Figure 4 c).

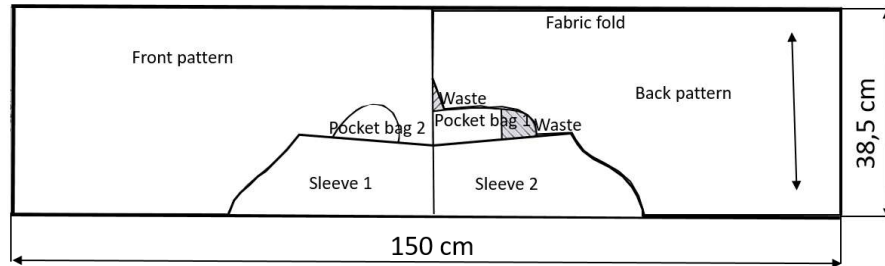


Figure 3: Pattern cut of women's dress c. - made according to the zero waste principle (produced 0,43 % of textile waste of knitted material (the amount of waste was calculated by measuring the weight of the indicated knitted piece before cutting and the weight of the waste itself after cutting. Based on these measurements, the percentage of waste was calculated)



Figure 4: Women's dresses made according to the zero waste principle: a. - produced 0 % of waste, b. - produced 0,89 % of waste and c. - produced 0,43 % of waste)

4. Conclusion

The apparel industry must grapple with how to survive in a global marketplace with high expectations for meeting sustainability criteria. The production of garments generates a lot of textile waste at various stages such as cutting, sewing, etc. The aim of the work was to develop such a design and pattern cut for three women's garments, where a minimum of waste is generated in cutting the textiles. We went from zero to 0.89 percent waste in the process of garments production. At the same time, according to Rissanen and McQuillan [5], other quality criteria of zero waste garments were identified: Visual appearance (the garments have a contemporary look and are visually appealing); fit (the garments fit well on the female mannequin of the selected size 84); cost (the manufacturing cost would not increase because pattern cuts are not more complicated as in traditional garment production); sustainability (the material used was recycled cotton, which is sustainable, durable, and visually long-lasting); manufacturability (all three garments can be manufactured in one-off or batch production).

We can conclude that the Zero Waste principle can be a successful way to reduce textile waste in the garment industry. However, it also has its disadvantages. The disadvantage is definitely the lack of people who are talented and have knowledge in fashion design and pattern development at the same time. They also need to have a good knowledge of the mechanical properties of different textile materials, have a lot of practical experience and knowledge in the field of garment production and, of course, be very creative and innovative when it comes to finding new solutions for reducing textile waste in the future. We must also emphasise that Zero Waste principles require further research. For example, how to cut clothes in different sizes to the same width of different textile types, or the possibility of combining different designs of clothes in different sizes, etc.

In addition, Zero Waste design experts believe that the production of cut and sewn goods of all kinds will decrease in the next thirty years. Technologies such as 3D knitting, 3D weaving, and 3D printing, as well as techniques such as Zero Waste Design, will pave the way for sustainable fashion in the apparel industry. However, this technology cannot currently be used in large production units because the dynamics of a traditional pattern cutting process ensure high productivity and fabric widths are standardised [9].

Acknowledgment

We thank the students Špela Bajrič, Gracija Čepič, Kaja Cergonja, Marina Panoska, Jasna Skoko, Egshig Ladislav Varga, Svjetlana Peulić and Ana Gerl for their help in the practical implementation of the experiment.

References

- [1] Williams, D.: Fashion design and sustainability In *Sustainable Apparel Production, Processing and Recycling*, Woodhead Publishing, ISBN 978-1-78242-339-3, UK, (2016), pp. 163-185
- [2] Techtexil, Techprocess, Heimtextil Press Conference: Challenges as a motor for business opportunities, *Available from* <https://heimtextil.messefrankfurt.com/frankfurt/en/press/press-conference.html>, *Accessed:* 2022-12-10
- [3] Vadicherla, T., Saravanan, D., Muthu Ram, M. and Suganya, K.: Fashion Renovation via Upcycling In *Textiles and Clothing Sustainability-Recycled and Upcycled Textiles and Fashion*, Springer, ISBN 978-981-10-2145-9., Singapur, (2017), pp. 1-54
- [4] Paldiya, B.: Industry 4.0 for Textile and Apparel Industry, *Available from* <https://textilelearner.net/industry-4-0-for-textile-and-apparel-industry/>, *Accessed:* 2022-11-10
- [5] Rissanen, T., McQuillan, H.: *Zero Waste Fashion Design*, Bloomsbury Publishing, ISBN 9781350094833, London, (2018)
- [6] Ross, C. B.: What is zero waste fashion design all about?, *Available from* <https://www.the-sustainable-fashion-collective.com/2017/04/26/zero-waste-fashion-design>, *Accessed:* 2022-12-13
- [7] Gupta, L., Saini, H.K.: Achieving Sustainability through Zero Waste Fashion-A Review, *Current World Environment*, **15** (2020) 2, pp. 154-162, ISSN: 0973-4929
- [8] SIST EN 13402-3: Označevanje velikosti oblačil – 3. del: Mere in koraki. European Committee for Standardization, Brussels, 2005, 29 pp.
- [9] Fibre2Fashion: The art of designing apparels with zero waste, *Available from* <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/7350/the-art-of-designing-apparels-with-zero-waste>, *Accessed:* 2022-12-10

KOLEKCIJA DJEČJE ODJEĆE U SKLADU S ODRŽIVOŠĆU

A COLLECTION OF CHILDREN'S CLOTHING IN ACCORDANCE WITH SUSTAINABILITY

Tara TOLIĆ; Irena ŠABARIĆ; Franka KARIN* & Renata HRŽENJAK

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; tolictara@gmail.com; irena.sabaric@tff.unizg.hr; franka.karin@tff.unizg.hr; renata.hrzenjak@tff.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: franka.karin@tff.unizg.hr

Sažetak: Dječja odjeća popraćena je rastom i razvojem djeteta. Povećani kapaciteti za proizvodnju dječje odjeće rezultat su modnih trendova. U eksperimentalnom dijelu rada cilj je bio osmisliti dječje haljinice s prilagodbom veličina sukladno rastu djeteta koje se mogu nositi duže od jedne godine u svrhu održivog razvoja. U radu je prikazan proces izrade dječje odjeće u skladu s problematikom ekološke osviještenosti i održivog razvoja i nosivost dječjih odjevnih predmeta kroz razvojne faze djeteta s naglaskom na produljenje životnog vijeka odjevnog predmeta modifikacijom dodavanja ili oduzimanja pojedinih elemenata.

Abstract: Children's clothing is accompanied by the growth and development of the child. Increased capacities for the production of children's clothing are the result of fashion trends. In the experimental part of the work, the goal was to design children's dresses with size adjustment according to the growth of the child, which can be worn for more than one year for the purpose of sustainable development. The paper presents the process of making children's clothing in accordance with the issues of ecological awareness and sustainable development and the wearability of children's clothing through the developmental stages of the child with an emphasis on extending the life of the clothing by modifying the addition or subtraction of certain elements.

Cljučne riječi: dječja odjeća, promjene, povijest, ekološka osviještenost, održivi razvoj

Keywords: children's clothes, changes, history, environmental awareness, sustainable development

1. Uvod

Razvoj djeteta dovodi do promjena djetetovih proporcija koje se odnose na tjelesnu visinu, masu tijela i opseg glave što je dokazano redovitim mjerenjem djece i analizom njihove tjelesne građe i uzrastom od rođenja do puberteta. Brze promjene u djetetovom razvoju rezultiraju i brzom izmjenom odjevnih predmeta što dovodi do porasta tekstilnog otpada koji se ne zbrinjava na adekvatan način. Stoga je sve veća potreba za prilagodbom odjevnih predmeta i u dječjoj odjeći na više odjevnih veličina kako bi se proizvodu produžio životni vijek, a da odjevni predmet pri tome ne izgubi funkcionalnost. Napredak tehnologije i brza moda rezultat su prekomjerne industrijske proizvodnje dječje odjeće koju uvjetuju brzo izmjenjujući modni trendovi. Neodrživa proizvodnja dovela je do svijesti proizvodnje dječje odjeće od prirodnih materijala i važnosti održivog razvoja i ekologije kao smjer prema boljoj i zdravijoj budućnosti. Produljenje životnog vijeka proizvoda, ponovna upotreba istog i recikliranje glavni su parametri za koncept održivog razvoja s ciljem očuvanja okoliša [1].

2. Povijesni razvoj dječje odjeće

Na početku civilizacije dječja odjeća svojom formom nije se razlikovala od odjeće odraslih što se nastavilo i u vrijeme Grka i Rimljana, kroz srednji vijek i doba prosvjetiteljstva. Odjeća je označavala društvenu pripadnost određenom staležu, a dječja odjeća se nije razvijala već je bila preslika odjeće za odrasle. Iako se dječja odjeća kroz povijest sporo mijenjala u 17. i 18. stoljeću zbog istraživanja filozofa ona se počela prilagođavati dječjem tijelu kako se ne bi sputavao fizički razvoj djeteta [2-5]. Do promjena je došlo u 19. stoljeću kada se kultura konzumerizma počela brzo razvijati što je rezultiralo da su ženska i dječja odjeća postali statusni simboli društva. Tako se kroz povijest počela buditi svijest i roditelja o formi dječje odjeće, njezinom načinu izrade i vrsti materijala od kojih je izrađena kako bi bila u skladu s dobi i razvojem djeteta i omogućavala im slobodu kretanja u dječjim aktivnostima. Promjene u razvoju dječje odjeće nastavile su se i u 20. stoljeću

kada je ona postala jednostavnije forme i dizajna. Izrađivala se od rastezljivih materijala, nije bila uska kako ne bi sputavala dječje tijelo i bila je funkcionalna. Počinju se primjenjivati zatvarači kako bi se djeca sukladno svojoj dobi i samostalnosti mogla sama odijevati. Početkom 21. stoljeća dječja odjeća ponovno je preslika odraslih, ali iz drugih razloga nego što je to bilo slučaj kroz povijest. Sličnosti između dječje odjeće i odjeće odraslih nametnuli su modni trendovi i velike modne kuće koje rade kolekcije za djecu po uzoru na odjeću odraslih različitih stilova i cijene kako bi bila pristupačna što široj skupini potrošača, a kako se razvijala konfekcijska proizvodnja. Zbog toga su se povećavali kapaciteti za proizvodnju dječje odjeće koja je u skladu s trendovima. Bez obzira na veliki konzumerizam brze mode budi se svijest prema održivosti i u dječjoj modi i sve se više teži dječjoj odjeći od prirodnih materijala ekološkog uzgoja koji su u skladu s održivim razvojem [6].

3. Utjecaj tekstilne i modne industrije na okoliš

Odnos prema dječjoj odjeći postao je isti kao i odnos odraslih prema modi. Praćenje modnih trendova postalo je vrlo popularno i u dječjoj modnoj industriji koja je u kontinuiranom porastu što je posljedica da je smanjen životni vijek proizvoda i negativni utjecaj na ekološke aspekte jer potrošnja tekstila i odjeće čini 10 % utjecaja na okoliš zbog emisije ugljičnog dioksida. Potrebno je kod potrošača osvijestiti stvarni opseg problema i potrebu za pristupom prema zero-waste dizajnu i održivom razvoju jer je tekstilni otpad rastući problem u svim zapadnim zemljama. Nakon što se dođe do rezultata u proizvodnom procesu ne vodi se računa o zbrinjavanju ostatka tekstilne tkanine nakon što ona ispunji svoju funkciju i uglavnom nije planirano da budu kompatibilni za kompostiranje ili bilo koju drugu vrstu zbrinjavanja tekstilnog otpada. Nekada se dječja odjeća prenosila s koljena na koljeno, to je bio jedan od načina recikliranja i produživanja trajnosti i funkcionalnosti odjevnog predmeta što je u današnje vrijeme sve manje zastupljena metoda zbog dobrog marketinga koji potiče veću potrošnju dječje odjeće nego što je to potrebno i zbog dokazivanja statusnog simbola u društvu koji roditelji manifestiraju kroz dječju odjeću. Svi navedeni aspekti posljedica su prekomjernog tekstilnog otpada u modnoj industriji koji se tretira kao ekonomski problem čije je rješenje održivi razvoj i primjena adekvatnih metoda kao što su zero-waste metoda, prenamjena odjevnih predmeta i recikliranje [7].

3.1. Zero-waste metoda u dječjoj odjeći

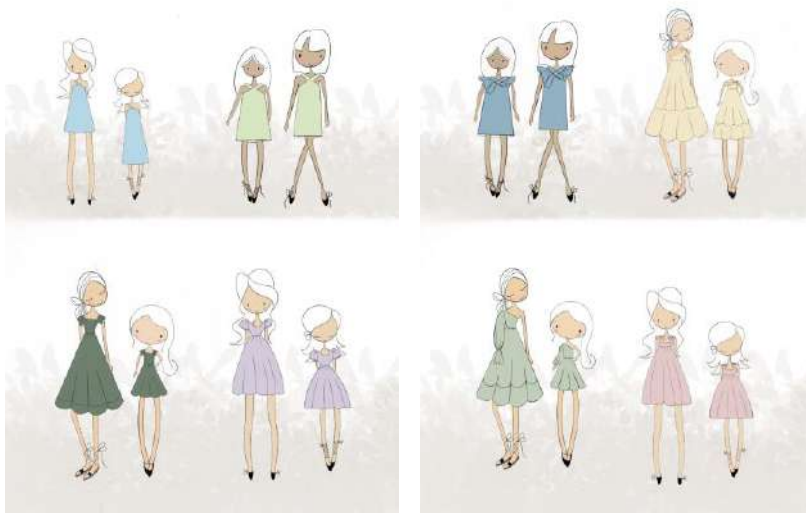
Metoda zero-waste uspješno se razvija već neko vrijeme u modnoj industriji i pronalazi svoj put kod sve više modnih dizajnera i potrošača. Zero-waste metoda paralelno se razvija od kada je krenula svijest o održivom razvoju zbog gomilanja tekstilnog otpada koji je postao gorući problem za ekologiju. Zero-waste dizajn karakterizira se kao dizajn bez otpada jer dizajnerski i proizvodni proces objedinjuje tako da se dizajnerska ideja unaprijed uklopi u proces krojenja koji definira površina tekstilnog materijala koja se uglavnom u potpunosti iskoristi. Dizajneri koji primjenjuju zero-waste metodu u svojem radu imaju težak zadatak zbog uspostavljanja ravnoteže između više kriterija koji se odnose na estetiku odjevnog predmeta i proizvodni proces izrade koji unaprijed moraju riješiti problematiku izbjegavanja tekstilnog otpada od iskrojavanja s naglaskom na ekonomiju koja je vezana uz proizvodnju, a kasnije i prodaju odjevnog predmeta [8]. Odjeća koja je nastala prema zero-waste metodi uglavnom je jednostavne forme. To su jednostavni geometrijski oblici sastavljeni u odjevne predmete koji ne sputavaju tijelo i često su multifunkcionalni jer se mogu modificirati i nositi na više načina dodavanjem ili oduzimanjem pojedinih elemenata. Uzmemo li u obzir ove pozitivne karakteristike, one su smjernice koje bi trebala zadovoljavati dječja odjeća. Dječja odjeća uglavnom je jednostavnih geometrijskih formi što je u skladu sa zero-waste pristupom i dobar je primjer za održivost osobito ako se stavi naglasak na multifunkcionalnost koja je nužna zbog fizičkog razvoja djeteta. Mogućnost da se dječji odjevni predmet prilagodi na više odjevnih veličina njeguje održivi razvoj jer se smanjuje potreba za kupnjom novih odjevnih predmeta kako djeca rastu, time se smanjuje i proizvodni proces i prekomjerni tekstilni otpad. Za sada ne postoje istraživanja koja dokazuju da je zero-waste metoda primijenjena isključivo i ciljano za dječju odjeću u svojem djelovanju sa svim aspektima koji ju karakteriziraju. Dječja odjeća dobar je primjer za primjenu zero-waste metode koju je potrebno istražiti jer bi rezultati sigurno bili zadovoljavajući. U eksperimentalnom dijelu rada prikazana je kolekcija dječje odjeće koja je nastala u skladu s održivim razvojem i čiji je cilj bio produžiti životni vijek proizvoda.

4. Eksperimentalni dio

Dječja kolekcija autorice Tolić Tare inspirirana je održivošću i izrađena je za djevojčice dobi od 3 do 6 godina pod nazivom "Small steps". Cilj kolekcije je mogućnost prilagodbe za navedenu dob dodavanjem, oduzimanjem ili sužavanjem pojedinih elemenata i tako produljiti životni vijek proizvoda sukladno fizičkom razvoju djeteta. Kolekcija dječje odjeće usklađena je s rastom i razvojem djeteta na temelju istraživanja rasta i razvoja, održivog razvoja, ekologije te utjecaja tekstilne i modne industrije na okoliš [9].

4.1. Opis kolekcije

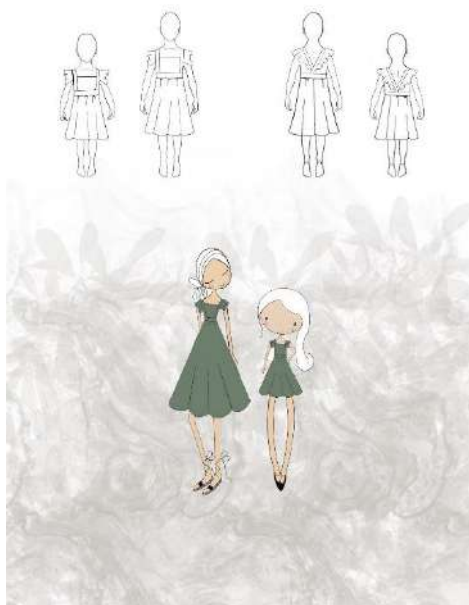
Za izradu kolekcije polazište je bila funkcionalnost, udobnost i mogućnost prilagodbe na dob od 3 do 6 godina. Kolekcija se sastoji od 8 modela. Izrađena je od pamuka u pastelnim nijansama boja. Prirodni materijali i bojila koji su primijenjeni, primjereni su za dječju odjeću jer su udobni za nošenje, njihovim korištenjem sprječava se rizik od alergijskih reakcija zbog direktnog dodira s osjetljivom dječjom kožom, a u skladu su s aspektima održivosti. Na slici 1 prikazana je kolekcija od 8 modela dječjih haljina autorice Tolić Tare koje su prilagođene na više odjevnih veličina [9].



Slika 1: Kolekcija „Small Steps“ autorice Tolić Tare

5. Rezultati rada

U rezultatima rada prikazana su tri realizirana modela dječjih haljina autorice Tolić Tare s prijedlozima prilagodbe za više dobnih skupina djeteta sukladno fizičkom razvoju i njihove varijacije. Na slici 2 prikazan je prvi model dječje haljine koja na prednjem dijelu ima volane koji se protežu i na stražnji dio. Haljina je u predjelu struka uska i ima gumu kako bi se mogao prilagoditi opseg struka sukladno odjevnoj veličini djeteta. Prilagodljive su i naramenice haljine pomoću gumbi koji se nalaze na stražnjoj strani. Naramenicama moguće je prilagoditi i dužinu haljine. Varijacije prve haljine zamišljene su da se po istom ili sličnom principu mogu proširiti i produžiti [9].

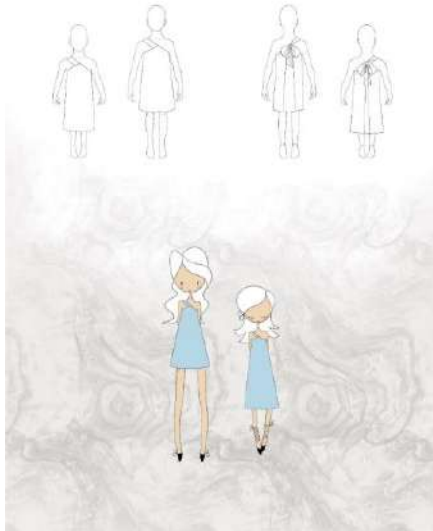


Slika 2: Model 1 iz kolekcije „Small Steps“ autorice Tolić Tare



Slika 3: Realizirani model 1 autorice Tolić Tare

Na slici 4 prikazan je drugi model dječje haljine jednostavnog „A“ kroja dužine do koljena. Haljina je na jedno rame. Naramenica je široka traka koja se proteže preko jednog ramena na stražnji dio haljine gdje se veže u mašnu. Zbog druge naramenice koja se nalazi na stražnjoj strani i veže se s prvom omogućena je prilagodba gornjeg dijela haljine. Na stražnjoj sredini nalazi se traka koja se učvršćuje gumbima što pruža mogućnost proširivanja haljine za veće odjevne veličine. Varijacije druge haljine zamišljene su da se po istom ili sličnom principu mogu proširiti i produžiti [9].

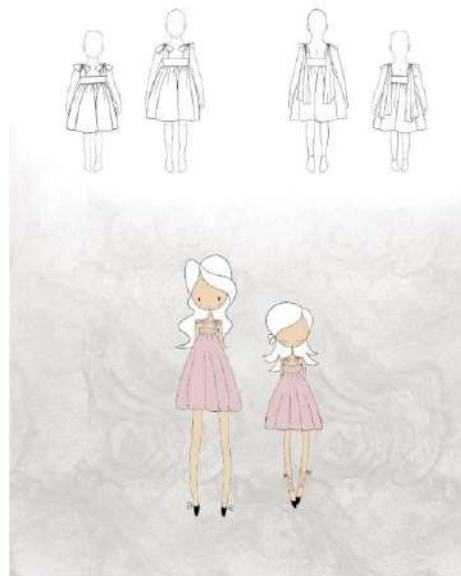


Slika 4: Model 2 iz kolekcije „Small Steps“ autorice Tolić Tare



Slika 5: Realiziran model 2 autorice Tolić Tare

Na slici 6 prikazan je treći model dječje haljine koja je rezana u predjelu prsnog koša gdje se nalazi i guma pomoću koje je moguće proširiti odjevni predmet. Od prsnog koša nadalje se haljina širi do predjela koljena. Naramenice su dvije duge široke trake koje omogućuju laku i brzu prilagodbu i vežu se u mašnu na području ramena. Varijacije treće haljine zamišljene su da se po istom ili sličnom principu mogu proširiti i produžiti [9].



Slika 6: Model 3 iz kolekcije „Small Steps“ autorice Tolić Tare



Slika 7: Realiziran model 3 autorice Tolić Tare

6. Zaključak

Dječja odjeća kroz povijest nije se razlikovala od odjeće odraslih ako sagledamo estetski i funkcionalni aspekt što znači da nije bilo značajnih promjena u razvoju dječje odjeće gotovo do 20. stoljeća kada se sve više počelo osvještavati da odjeća, njezin kroj i dizajn ne smiju sputavati razvoj djeteta. Kako je konfekcijska proizvodnja odjeće sve više bilježila svoj porast tako su se povećavale i potrebe za sve većom proizvodnjom odjeće općenito, što je posljedica brze mode koja je preplavila modno tržište i pokrenula brzu izmjenu modnih kolekcija ovisne o modnim trendovima. Dječja odjeća također je postala dio brze potrošnje i brze izmjene odjevnih predmeta što rezultira prekomjernom konzumacijom koja stvara tekstilni otpad i negativno utječe na okoliš. Stoga su održivi razvoj i metode koje njeguju aspekte održivosti važan pristup u proizvodnji dječje odjeće. Sve je više probuđena svijest od strane potrošača da dječja odjeća bude izrađena od prirodnih materijala koji su dobiveni ekološkim uzgojem, bez primjene raznih bojila i kemikalija koje bi mogle naškoditi djetetu što je u skladu s održivim razvojem koji u tekstilnoj i modnoj industriji dopušta inovativna rješenja kako bi se očuvao okoliš, omogućio ekonomski rast te smanjile društvene nejednakosti. Primjena održivih metoda jedan su od načina kako da se spriječi prekomjerna proizvodnja dječje odjeće. Primjer koji je prikazan u radu dobra je smjernica koja ostavlja puno prostora za napretkom u skladu s održivim razvojem. Metoda da se dizajnu dječje odjeće pristupi tako da gotov odjevni predmet bude osmišljen tako da se prilagođava rastu djeteta na nekoliko odjevnih veličina, izvrstan je smjer jer se time produžuje životni vijek proizvoda koji ne gubi svoju funkcionalnost zbog mogućnosti transformacije. Takvim pristupom smanjuje se potreba konzumacije novih odjevnih proizvoda prije nego je to djetetu potrebno i sprječava se prekomjerna proizvodnja.

Literatura

- [1] Fruk, N.: Rast i razvoj djeteta predškolske dobi, *Dostupan na* <https://core.ac.uk/display/14425537>, *Pristupljeno: 2022-12-17*
- [2] Egyptianclothing, *Dostupan na* <https://www.historyforkids.net/egyptian-clothing.html>, *Pristupljeno: 2022-12-17*
- [3] Grau, Francois-Marie.: *Povijest odijevanja*, Jesenski i Turk, ISBN 9532223053, Zagreb,(2008)
- [4] Encyclopedia of fashion: Clothingof the middleages, *Dostupan na* http://www.fashionencyclopedia.com/fashion_costume_culture/Early-Cultures-Europe-in-the-Middle-Ages/Clothing-of-the-Middle-Ages.html, *Pristupljeno: 2022-12-17*
- [5] Children's Fashion in the Renaissance, *Dostupan na* <https://knoji.com/article/childrens-fashion-in-the-renaissance/>, *Pristupljeno: 2022-12-17*
- [6] Marshall, N.: *Dictionary of Children's Clothes*, V & A, (2008)
- [7] Chen, Hsiou-Lien.; Burns, Leslie Davis.: Environmental analysis of textile products, *Clothing and Textiles Research Journal*, Vol. 24 (2006) Br 3., str. 248-261, DOI:10.1177/0887302X06293065
- [8] Rissanen, T.; McQuillan, H.: *Zero-wastefashion design*, Bloomsbury Academic, ISBN 1472581989, (2016)
- [9] Tolić, T.: Projektiranje kolekcije dječje odjeće usklađene s rastom i razvojem djeteta, Sveučilište u Zagrabu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, (2022)

ODRŽIVA MODA KAO POTICAJ U OBLIKOVANJU KOLEKCIJE DJEČJE ODJEĆE

SUSTAINABLE FASHION AS AN INCENTIVE IN CHILDREN'S CLOTHING COLLECTION DESIGN

Marina MARIĆ; Tena RISEK; Ivana STIPIĆ & Renata HRŽENJAK*

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; mmarić@tff.hr; trisek@tff.hr; istipic@tff.hr; renata.hrzenjak@tff.hr

* Adresa za korespondenciju: renata.hrzenjak@tff.hr

Sažetak: *Upotreba prirodnih i recikliranih materijala za izradu odjeće nameće se kao nužan trend koji bi trebao smanjiti globalno zagađenje okoliša i prirodnih resursa. Vođeno tom idejom pokušalo se osmisliti i izraditi kolekciju haljina za djevojčice. Za izradu haljina izabrane su pamučne tkanine (jednobojno pamučno platno i platno s uzorkom), neiskorišteni ostatci vunene tkanine te prugaste pamučne krpe. Kao rezultat rada predstavljena su tri autorska modela koji su nosivi i prikladni za svakodnevne aktivnosti djeteta, pri čemu prirodni materijali omogućuju njihovu udobnost.*

Abstract: *The use of natural and recycled materials for clothing is emerging as a necessary trend that should reduce global pollution of the environment and natural resources. Guided by this idea, an attempt was made to design and create a collection of dresses for girls. For the production of dresses, cotton fabrics (plain cotton linen and patterned linen), unused wool fabric remnants and striped cotton cloths were chosen. As a result of the work, three original models were presented that are wearable and suitable for everyday activities of the child, where natural materials enable their comfort.*

Cljučne riječi: *održiva moda; reciklirani materijali; kolekcija; dječja odjeća*

Keywords: *sustainable fashion; recycled materials; collection; children's clothes*

1. Uvod

Održiva moda danas je dio filozofije u dizajnu koji nastoji biti društveno odgovoran, drugačiji, prvenstveno osviješten prema okolišu, ali i vlastitoj struci. Društvena odgovornost i ekologija glavni su pokretači ideja u ovoj djelatnosti, a dizajneri koji u njoj stvaraju rade s ciljem kreiranja odjeće koja je izrađena od prirodnih, recikliranih, ručno rađenih materijala [1]. Nasuprot održivoj modi, brza moda je isključivo iskustvo 21. stoljeća. Ono što je nekada bio jednostavan modni sustav za dvije sezone sada je neprekidan tok nužno potrebnih modnih komada. Troškovi za društvo u cjelini zbog masovne proizvodnje i potrošnje modne odjeće očituju se kroz povećano zagađenje, otpad, iscrpljivanje resursa i klimatske promjene [2-4]. Međunarodna proizvodnja povećala je iskorištavanje radne snage dok je uzrokovala značajne probleme onečišćenja zraka, tla i vode zbog slabe ekološke regulative [4-5]. Postoji jasna potreba za dramatičnom transformacijom načina na koji trenutačna modna industrija funkcionira, od proizvodnje do potrošnje. Ključ napretka je inovacija, a postoji jasna potreba za inovacijama unutar mode u potrazi za održivošću.

Faza dizajna pruža dizajnerima priliku za ugradnju načela održivosti u proizvodnju [4,6,7] i time pruža važnu priliku za smanjenje negativnih ekoloških i društvenih utjecaja. Odluke donesene u ovoj fazi određuju više od 70% troškova razvoja i proizvodnje proizvoda i značajno utječu na kraj životnog vijeka upravljanja [4,8]. Međutim, održivi pristupi dizajnu i razvoju proizvoda još uvijek su relativno novi [4,9]. Centar za održivu modu (2008.) ustanovio je da dok dizajneri postaju svjesniji svoje uloge i preispitivanja u stvaranju održive mode, teško im je raditi unutar održivog okvira. To bi moglo biti posljedica činjenice da istraživanja pokazuju kako su karakteristike kao što su boja, stil, cijena i stas najjači prediktori za kupnju odjeće za razliku od društvenog ili okolišnog razmatranja [4,10]. Ta poboljšanja obično uključuju rješavanje smanjenja potrošnje vode, energije i korištenje kemikalija u proizvodnim procesima. Održivost materijala, kao što je korištenje organskog pamuka umjesto konvencionalnog pamuka, je također ključna za razmatranje. Prilikom ispitivanja

čitave modne industrije, održivost je, u najboljem slučaju, periferna briga i rijetko je integrirana u dizajnersku praksu modnih trgovaca [11].

Unaprijed definirane vrste proizvoda čije se oslanjanje na diferencijaciju i vrijednost odnosi isključivo na tehnološke ili stilske pokazatelje ograničava emocionalno iskustvo korisnika. Trenutak izbacivanja na tržište novijeg modela osigurava gubitak značenja i percipiranu zastarjelost proizvoda [4,12]. Dizajn ima priliku podići svijest i promijeniti percepciju vrijednosti budući da igra značajnu ulogu u reguliranju materijalnih i simboličkih resursa [4].

Autorice ovog rada (M. M., T. R i I. S.) su osmislile autorsku kolekciju dječjih haljina pridržavajući se načela održivosti.

2. Eksperimentalni dio

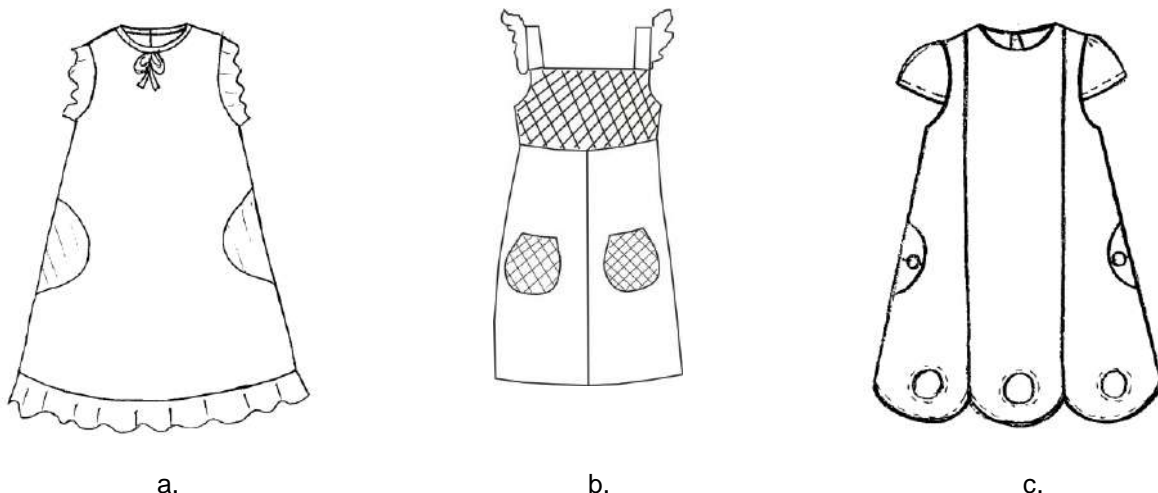
Eksperimentalni dio rada predstavlja skice različitih modela iz tri pojedinačne kolekcije dječjih haljina za djevojčice. Iz svake kolekcije odabran je po jedan model koji je izrađen prema istom temeljnom kroju odjevne veličine 110.

2.1 Kreiranje kolekcije dječjih haljina

Kako prikazuje slika 1, izdvojena kolekcija se sastoji od tri modela haljina za djevojčice. Model „Marina” je haljina bez rukava. Prednji dio je iz jednog dijela, a stražnji dio iz dva dijela i kopča se zatvaračem na stražnjoj sredini. Na prednjem dijelu se nalaze džepovi izrađeni iz drugačije tkanine. Orukavlje i duljina imaju našivene volane iste tkanine kao i džepovi. Vratni izrez je porubljen paspul trakom, a na prednjoj sredini se nalazi ukrasna mašnica.

Model „Ivana” je haljina bez rukava sa širim naramenicama na kojima se nalaze ukrasni volani. Haljina je sužena i skraćena u odnosu na temeljni kroj. Izrađena je iz dvije različite tkanine, džepovi i prednji gornji i stražnji gornji dio su izrađeni iz tkanine s uzorkom, a ostatak haljinice je iz jednoboje tkanine. Prednji dio se sastoji od tri dijela i ima našivene džepove. Haljina nema kopčanja, a moguće ju je odjenuti kroz glavu.

Model „Tena” je haljina s kratkim rukavima i asimetrične duljine kroja. Prednji dio sastoji se od tri dijela, koji imaju okrugle proreze na duljini. U bočnom šavu nalaze se džepovi s džepnim vrećicama i poklopcem koji se zatvaraju kopčanjem. Stražnji dio se sastoji od tri dijela te također ima okrugle proreze na duljini. Haljina se kopča u vratnom izrezu sa gumbićem.



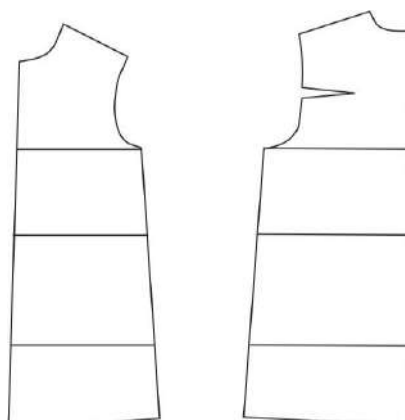
Slika 1: Izabrane skice modela iz autorskih kolekcija: a. Model „Marina”, b. Model „Ivana”, c. Model „Tena”

2.2 Konstrukcija temeljnog kroja za dječju haljinu

Za izradu temeljnog kroja potrebna je oznaka odjevne veličine odjeće kao i pripadajuće glavne i konstrukcijske mjere. Potrebni podatci za izradu temeljnog kroja dječjih haljina prikazani su u tablici 1.

Tablica 1: Glavne i konstrukcijske mjere za dječju haljinu [13]

Odjevna veličina: 110	
Glavne tjelesne mjere:	Konstrukcijske mjere:
Tjelesna visina (Tv) = 110 cm	Dubina orukavlja (Do) $(1/10 \text{ Og} + 8 \text{ cm}) + 1 \text{ cm} = 14,7 \text{ cm}$
Opseg grudi (Og) = 57 cm	Duljina leđa (DI) $(1/4 \text{ Tv} - 1 \text{ cm}) = 26,5 \text{ cm}$
Opseg struka (Os) = 54 cm	Visina bokova (Vb) $(DI + Do) = 41,2 \text{ cm}$
	Duljina kroja (Dk) $(Vb + 10 \text{ cm}) = 51,2 \text{ cm}$
	Širina vratnog izreza (Švi) $(1/20 \text{ Og} + 2 \text{ cm}) = 4,9 \text{ cm}$
	Visina prednjeg dijela (Vpd) $(DI + 1/20 \text{ Og} - 1 \text{ cm}) = 28,4 \text{ cm}$
	Širina leđa (Šl) $(1/8 \text{ Og} + 4 \text{ cm}) + 1 \text{ cm} = 12,1 \text{ cm}$
	Širina orukavlja (Šo) $(1/8 \text{ Og} - 0,5 \text{ cm}) + 2 \text{ cm} = 6,6 \text{ cm}$
	Širina grudi (Šg) $(1/4 \text{ Og} - 3 \text{ cm}) + 1,5 \text{ cm} = 11,3 \text{ cm}$



Slika 2: Temeljni kroj dječje haljine

Temeljni kroj sastoji se od prednjeg i stražnjeg dijela. Model je širi bez prsnih ušitaka koji nisu potrebni za odjevnu veličinu 110.

3. Rezultati i rasprava

Slike 3, 4 i 5 prikazuju izrađene modele haljina „Marina”, „Ivana” i „Tena”.



a.



b.

Slika 3: Model „Marina” a. prednji dio, b. stražnji dio



a.



b.

Slika 4: Model „Ivana” a. prednji dio, b. stražnji dio

Model „Marina” (sl. 3) je izrađen od jednobojnog pamučnog platna, a volani na duljini i u orukavlju, kao i džepovi te paspul i mašnica u vratnom izrezu od prugaste pamučne krpe. Model „Ivana” (sl. 4) je izrađen od ostataka vunene tkanine te pamučnog platna s uzorkom (džepovi i gornji dio prednjeg i stražnjeg dijela). Model „Tena” (sl. 5) je izrađen od jednobojnog pamučnog platna i platna s uzorkom (rukavi i džepni poklopci). Okrugli prorezi na duljini su ukrašeni ručnim vezom u plavoj i ljubičastoj boji.



Slika 5: Model „Tena” a. modelirani krojni dijelovi s istaknutim uzorkom, b. prednji dio, c. stražnji dio

Kopčanje na stražnjem dijelu je izvedeno ukrasnim gumbićem u svijetloplavoj boji. Slika 5a prikazuje modelirane krojne dijelove modela „Tena” pri čemu su vidljive male dimenzije rukava i poklopca za džep koji su iskrojani iz ostataka pamučnog platna.

4. Zaključak

Održiva moda u ovom radu očituje se upotrebom prirodnih i recikliranih tkanina (kod svih modela haljina) te ručnim radom (kod modela „Tena”). Također upotrebom pamučnih krpa u kombinaciji sa običnim platnom (kod modela „Marina”) dobila se nosiva haljina prvenstveno prenamjenom pamučnih krpa. Kod modela Ivana, zbog malih dimenzija krojnih dijelova haljine, upotrijebili su se ostaci vunene tkanine kao i pamučna tkanina s uzorkom koja je bila dovoljna za naglašavanje prednjeg i stražnjeg dijela kao i džepova. S obzirom na sve veće zagađenje okoliša i klimatske promjene treba više promišljati prilikom izrade kolekcija odjeće. To je posebno izraženo kod djece jer brzo prerastu odjeću i trebaju novu.

Literatura

- [1] *Dostupan na* <https://idop.hr/odrziva-modala/>, *Pristupljeno:* 2022-12-01
- [2] Esslinger, H.: Sustainable Design: Beyond the Innovation-driven Business Model, *Journal of Innovative Management*, **28** (2011) 3, str. 401–404, ISSN 2183-0606
- [3] Fletcher, K. & Grose, L.: *Fashion & Sustainability*, Lawrence King, ISBN-13 978-1856697545, London, UK (2012)
- [4] Niinimäki, K.: *Sustainable fashion: New approaches*, Aalto ARTS Books, ISBN 978-952-60-5573-2, Helsinki, Finska (2013)
- [5] Christmann, P. & Taylor, G.: Globalization and the Environment: Determinants of Firm Selfregulation in China, *Journal of International Business Studies*, **32** (2001) 3, str. 439–458, ISSN 0047-2506
- [6] Welters, L.: The Fashion of Sustainability, u *Sustainable Fashion, Why Now?*, Fairchild Books, ISBN 978-1-5013-1225-0 (online), New York, USA, (2008), str. 3–29
- [7] Dickson, M. A., Loker, S. & Eckman, M.: *Social Responsibility in the Global Apparel Industry*. Fairchild Books, ISBN-13 978-1563675928, New York, (2009)
- [8] Waage, S. A.: Re-considering Product Design: A Practical “Road-map” for Integration of Sustainability Issues, *Journal of Cleaner Production*, **15** (2007) 7, str. 638–649, ISSN 0959-6526
- [9] Walker, S.: *Sustainable by Design: Explorations in Theory and Practice*, Earthscan, ISBN 9781844073535, London, UK (2006)
- [10] Shaw, D. & Tomolillo, D.: Undressing the Ethical Issues in Fashion: A Consumer Perspective, u *International Retail Marketing: A Case Study Approach*, Elsevier Butterworth-Heinemann, ISBN 0 7506 5748 0, Burlington, (2004), str. 141–152
- [11] Gwilt, A. & Rissanen, T.: *Shaping Sustainable Fashion: Changing the Way We Make and Use Clothes*, Routledge, ISBN 9781849712422, London, UK (2011)
- [12] Chapman, J.: *Emotionally-durable Design: Objects, Experiences and Empathy*, Routledge, ISBN 9780415732154, London, UK (2015)
- [13] Ujević, D.; Rogale, D. & Hrastinski, M.: *Tehnike konstruiranja i modeliranja odjeće*, Tekstilno–tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, ISBN 978-953-7105-36-5, Zagreb, (2010)

DIGITALNE TEHNOLOGIJE U KREATIVNOM SEKTORU – DIZAJN I RAZVOJ ODJEĆE ZA INDUSTRIJU VIDEO IGARA

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE CREATIVE SECTOR - DESIGN AND DEVELOPMENT OF CLOTHING FOR THE GAMING INDUSTRY

Lukrecija MESEK* & Slavenka PETRAK

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; lukrecija.mesek@ttf.unizg.hr;
slavenka.petrak@ttf.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: lukrecija.mesek@ttf.unizg.hr

Sažetak: U današnje vrijeme digitalna umjetnost počela je preuzimati vodstvo u odnosu na druge oblike umjetnosti obzirom na veliki spektar mogućnosti koje se pružaju u razvoju umjetničkog djela. Kreativne, brzorastuće industrije, kao što su filmska i industrija video igara, vrlo intenzivno implementiraju digitalne tehnologije u procesima dizajna i razvoja digitalnog umjetničkog stvaralaštva. Područje kostimografije, za potrebe kreativnih industrija transformira se iz tradicionalnog procesa dizajniranja i izrade kostima u proces digitalnog dizajna i razvoja virtualnih kostimografskih rješenja, pri čemu se ostvaruje sve veća sinergija kreativnih industrija s odjevnim inženjerstvom te tehnologijama i sustavima koji omogućuju računalni dizajn, modeliranje i cjelovito projektiranje virtualnih likova i kostima. U tom smislu, u radu je prikazan kreativni razvojni proces dizajna i razvoja 3D digitalnog autorskog lika za prethodno razvijen koncept računalne igre. Istražene su mogućnosti digitalnog kiparenja i modeliranja autorskog lika, pri čemu je kao osnova za 3D modeliranje korišten parametarski model tijela iz CAD sustava za projektiranje odjeće. Istražene su mogućnosti povezivanja i kompatibilnosti različitih CAD programa i sustava u procesu dizajniranja i računalnog projektiranja kostima za modelirani autorski lik, za predloženi koncept računalne igre. Izvedeno je i 3D modeliranje dodataka u programu za 3D kiparenje. Razvojni koraci u procesu dizajniranja i projektiranja kostima za autorski lik izvedeni su u digitalnom okruženju, pri čemu se dizajn i razvoj krojeva analiziraju i dorađuju u CAD programima, sve do postizanja željenog ishoda. Realiziran računalni 3D kostim u tom smislu je razvijen na temelju pravila konstrukcije odjeće i istovremeno je pripremljen za izradu realnog kostima u prirodnoj veličini. Prikazani pristup predstavlja iskorak u odnosu na tradicionalno modeliranje odjeće za računalne likove u industriji video igara te pruža mogućnost povezivanja odjevnog inženjerstva s tom izrazito rastućom industrijom. Prikazani koncept omogućuje provedbu cjelovitog razvojnog procesa bez negativnog utjecaja na okoliš obzirom da se u procesu razvoja kostima uz primjenu digitalnih alata ne troše resursi kao u realnom, tradicionalnom procesu izrade probnih uzoraka kostima koji generira veliki utrošak materijala, energije i svih ostalih resursa potrebnih za realni proces izrade odjeće.

Abstract: Nowadays, digital art has slowly begun to take the lead in relation to other forms of art, considering the large spectrum of possibilities that are provided in the development of a work of art. Creative, fast-growing industries, such as the movie and gaming industries, very intensively implement digital technologies in the design and development processes of digital artistic creativity. The field of costume design, for the needs of creative industries, is being transformed from the traditional process of designing and making costumes into a process of digital design and development of virtual costume design solutions, whereby an increasing synergy of creative industries with clothing engineering and technologies and systems that enable computer design, modeling and complete virtual design of characters and costumes. In this sense, the paper presents the creative development process of the design and development of a 3D digital author's character for a previously developed concept of a computer game. The possibilities of digital sculpting and modelling of the author's character were explored, where the parametric body model from the CAD system for clothing design was used as the basis for 3D modeling. The possibilities of connection and compatibility of different CAD programs and systems in the process of designing and computer designing costumes for a modeled author's character, for a proposed concept of a computer game, were investigated. 3D modeling of accessories in the 3D sculpting program was also performed. The development steps in the process of designing and projecting costumes for the author's character are carried out in a digital environment, where the design and development of patterns are analyzed and refined in CAD programs, until the desired outcome is achieved. In this sense, the realized computer 3D costume was developed based on the rules of clothing construction and at the same time it was prepared for the production of a realistic costume in life size. The presented approach represents a step forward in relation to the traditional modeling of clothing for computer characters in the gaming industry and provides the possibility of

connecting clothing engineering with this extremely growing industry. The presented concept enables the implementation of a complete development process without a negative impact on the environment, considering that in the process of developing costumes with the use of digital tools, resources are not consumed as in the real, traditional process of making test samples of costumes, which generates a large consumption of materials, energy and all other resources necessary for the real process of making clothes.

Ključne riječi: CAD sustavi; digitalni dizajn; virtualna odjeća; industrija video igara; održivi dizajn

Keywords: CAD systems; digital design; virtual clothing; gaming industry; sustainable design

1. Uvod

Intenzivan i konstantan razvoj digitalnih tehnologija u posljednjem desetljeću postupno je doveo do promjena u svim područjima ljudskog rada, pri čemu su brojni procesi i tradicionalne metode rada značajno unaprijeđeni ili u potpunosti zamijenjeni automatiziranim digitalno vođenim sustavima. Razvojni segment brojnih industrija doživio je veliku transformaciju obzirom da su tradicionalne tehnike i metode dizajniranja, projektiranja i razvoja proizvoda zamijenjene specijaliziranim CAD sustavima i programima te u potpunosti digitalizirane. Unutar sektora kreativnih industrija, posebno se ističe industrija video igara koja se u potpunosti bazira na digitalnim tehnologijama te je izrasla u vodeću industriju unutar medijskih industrija u cjelini. Godine 2020. ostvareno je 159,3 milijardi dolara prihoda, a broj korisnika video igara dostigao je brojku od 2,69 milijardi igrača [1]. Uz to, mobilno igranje je pokretačka snaga u industriji video igara i dodatno će ubrzati rast tržišta. Posljednji, preliminarni podaci pokazuju da hrvatska industrija video igara godišnje ostvaruje prihod veći od 500 milijuna kuna (66,66 milijuna eura), pri čemu se očekuje njen daljnji rast, s obzirom na kontinuirani razvoj i sve veći broj korisnika [2]. Razvoj i primjena različitih ulaznih i izlaznih uređaja kao nadogradnja na igraće konzole i računala, omogućuje korisnicima sve veću realističnost likova i virtualnih svjetova, odnosno okruženja u video igrama. Sve češća je primjena uređaja za prikaz koji se nosi na glavi ili kao dio kacige (engl. Head-mounted display - HMD) što je sastavni dio cjelovitog VR (engl. Virtual reality) seta, koji uključuje i dodatne uređaje koji omogućuju korisniku potpuni doživljaj virtualnog svijeta u kojem se odvija radnja igre. Korisnik pri tome stječe dojam ulaska u okruženje video igre, a uređaj uglavnom ima ugrađene i senzore pokreta za određivanje smjera i kretanja te zvučnike [3]. Ovakav intenzivan razvoj tehnologije stavlja pred razvojne timove video igara dodatna očekivanja korisnika da likovi u virtualnim okruženjima budu što više realistični te da odjeća na njima odgovara fizikalnim svojstvima realnog svijeta. Trenutna razina razvoja ne zadovoljava očekivanja korisnika s obzirom da se odjeća na virtualnim likovima još uvijek razvija na principima računalnog 3D modeliranja, ne prilagođava se pravilno tijelu lika te još uvijek nije povezana s pravilnim razvojem krojeva simuliranih odjevnih predmeta i tekstilnim materijalima. Ovo područje omogućuje intenziviranje interdisciplinarnih istraživanja, pri čemu se otvara mogućnost povezivanja odjevnog inženjerstva i računalnog razvoja odjeće s razvojnim timovima u području industrije video igara. Cilj istraživanja koje je prikazano u ovom radu je istražiti mogućnosti razvoja lika za računalnu igru prema autorskoj priči [4] te razvoja digitalne odjeće i podataka za lik. Pri tome su istražene mogućnosti i kompatibilnost više različitih računalnih 2D i 3D programa te specijaliziranog CAD sustava za projektiranje odjeće u kontekstu cjelovitog razvojnog procesa.

2. Digitalni alati za računalni dizajn, 3D oblikovanje i projektiranje odjeće

Kada govorimo o digitalnim alatima za računalni dizajn, potrebno je uzeti u obzir različite segmente dizajna kroz koje želimo razvijati dizajn, kao i krajnji rezultat koji želimo postići. Za grafički dizajn odjeće mogu se koristiti CAD (engl. Computer Aided Design) programi koji se primjenjuju u procesu računalnog dizajna za različite namjene, kao što su Adobe Illustrator koji se koristi za vektorske crteže te Adobe Photoshop, koji je s godinama postao inačica za digitalno uređivanje fotografija te kreiranje i doradu grafičkih ilustracija. Nadalje, za potrebe 3D i oblikovanja 3D objekata ili modela, kao što je oblikovanje 3D modela ljudskog tijela, može se koristiti program Zbrush. Program omogućuje samostalno kreiranje realističnih modela iz jednostavnih geometrijskih oblika, kao i detaljno uređivanje modela i detalja uz pomoć različitih alata programa, koji vjerno simuliraju tradicionalne tehnike trodimenzionalnog oblikovanja iz različitih materijala i rada s kistovima. Za proces računalnog razvoja krojeva i cjelovitog projektiranja i simulacije 3D modela odjevnih predmeta koriste se specijalizirani CAD sustavi, primjenom kojih se cjeloviti razvojni proces odvija u nizu povezanih kompatibilnih programa. Većina uobičajenih programa za računalni dizajn omogućuju kompatibilnost s drugim programima s obzirom na različite formate zapisa dokumenata koji se u tim programima mogu čitati ili pohranjivati. Međutim specijalizirani CAD sustavi namijenjeni za računalno projektiranje odjeće nisu u potpunosti otvoreni za povezivanje i razmjenu podataka s drugim programima ili CAD sustavima različitih proizvođača. U tom kontekstu, podaci se u nekim slučajevima mogu razmjenjivati uz primjenu dodatnih

programa za konvertiranje podataka iz jednog zapisa u drugi, dok u nekim slučajevima nije moguće koristiti podatke generirane u jednom programu na drugim sustavima ili programima. U okviru eksperimentalnog dijela rada korišteni su CAD programi Adobe Photoshop za grafički dizajn autorskog lika i odjeće, ZBrush za oblikovanje lika za računalnu igru i modeliranje dodataka na njemu te CAD sustav za projektiranje odjeće Optitex.

Kao pretpostavka za uspješnu instalaciju i stabilan rad navedenih računalnih programa potrebno je osigurati snažniju konfiguraciju računala, što se posebno odnosi na procesor, radnu memoriju, grafičku karticu, kao i periferiju računala. U tom smislu, proširenje standardne konfiguracije osobnog računala s grafičkim tabletom u značajnoj mjeri može olakšati rad u sučeljima programa za dizajn, simulirajući tradicionalan način crtanja na papiru, uz istovremeno puno veću slobodu kreativnog izražavanja kod kreiranja željenog dizajna.

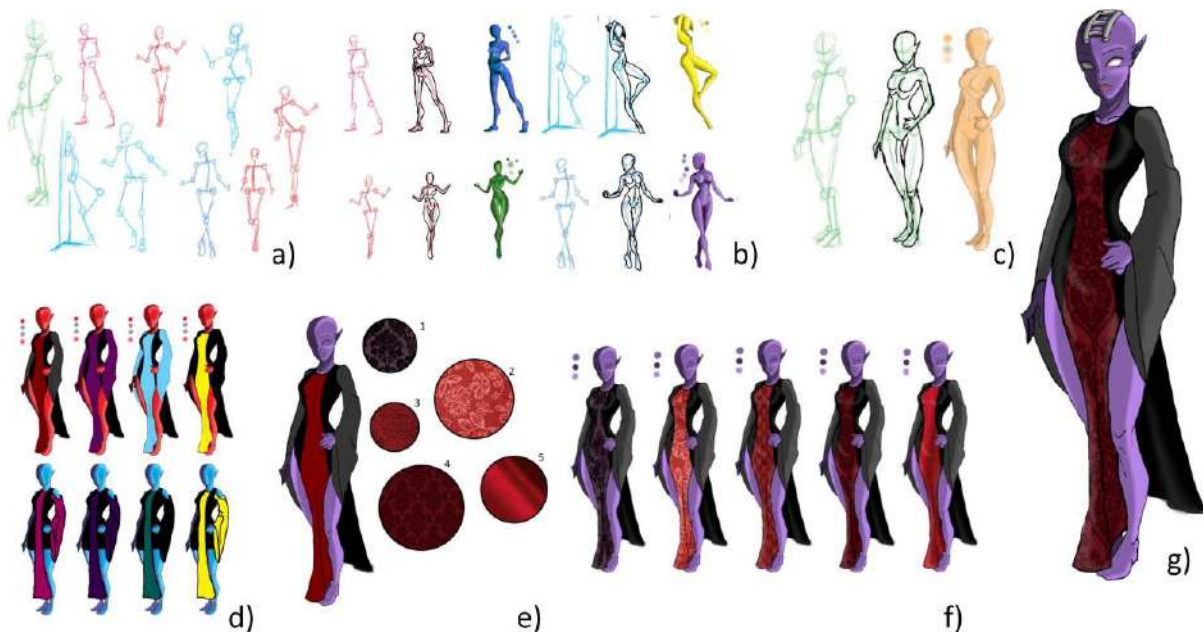
3. Eksperimentalni dio

Za provedbu eksperimentalnog dijela rada korišteno je računalo čiju konfiguraciju čine sljedeće komponente: Intel Core i7 13700KF, 3.4 GHz / 5.4 GHz, 16 jezgri procesor, grafička kartica GIGABYTE GeForce RTX 3060 Eagle 2.0, 12GB GDDR6, radnu memoriju, 32GB, KINGSTON Fury Beast, DDR4 3200MHz. Od periferije računala korištena je tipkovnica MOUNTAIN Everest Core TKL, mehanička, računalni miš WHITE SHARK Azarah GM-5003, 6400dpi, optički, žičani, tablet Wacom Intuos, te monitor 27" SAMSUNG LF27T350FHRXEN, IPS, 5ms, 250cd/m², 1.000:1.

U nastavku rada opisani su i prikazani segmenti provedenog istraživanja na razvoju autorskog lika kao avatara za video igru, digitalne odjeće i dodataka, uz primjenu prethodno navedene računalne opreme i programa.

3.1 Digitalno kreiranje avatara i odjeće za video igru u programu za grafički dizajn

Inspiracija za dizajn i digitalni razvoj avatara za video igru proizišla je iz autorske priče temeljem koje je osmišljen koncept za video igru [4]. Priča je nastala na temelju proučavanja mitova o vilenjacima (engl. *Elf*), koji se kroz povijest video igara, ali i kroz samu povijest mitova o vilenjacima pojavljuju u mnogo različitih oblika [5]. Na sl. 1 prikazan je kreativan proces razvoja dizajna lika i odjeće za potrebe individualnog avatara u video igrama.



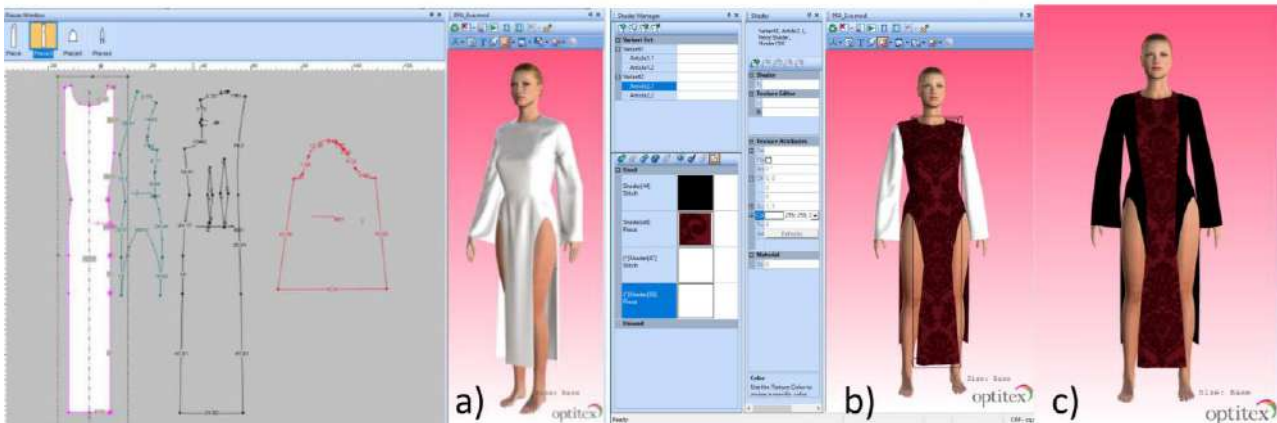
Slika 1: Razvoj koncepta za dizajn lika i odjeće za potrebe individualnog avatara u video igrama

Kreiranje konceptnog crteža lika izvedeno je primjenom programa Photoshop, početnim istraživanjem pokreta tijela te kreiranjem modela lika u različitim dinamičkim položajima (sl.1 a). Slijedi odabir modela koji se dalje razvija istraživanjem različitih mogućnosti bojanja kože autorskog lika te njegove dorade alatima za

sjenčanje površine (sl. 1 b i c). Digitalni crtež kreiranog lika osnova je za kreiranje odjeće koja dodatno treba doprinijeti karakteru lika. Kod kreiranja odjeće, u prvom koraku izvedeno je oblikovanje modela kroja na modelu tijela, a potom kroz prezentaciju različitih kombinacija boja (sl. 1. d), određene su temeljne boje odjevnog predmeta te dodatne teksture materijala (sl. 1 e). Kako bi se upotpunio grafički dizajn lika s kreiranom odjećom, izvedeno je djelomično preoblikovanje glave lika te kreiranje dodataka na glavi. Dodatna realističnost crteža i privid trodimenzionalnosti postignut je primjenom alata za rad sa svjetlima i sjenama (sl.1 f). Završeni lik u grafičkom programu (sl.1 g) osnova je za daljnji razvoj lika kroz oblikovanje virtualnog trodimenzionalnog avatara i projektiranje odjeće i dodataka, što je opisano u sljedećim točkama rada.

3.2 Razvoj računalnog 3D modela odjevnog predmeta

Razvoj modela odjevnog predmeta za kreiran autorski lik izveden je po koracima koji obuhvaćaju cjelovito računalno projektiranje primjenom specijaliziranog 2D/3D CAD sustava, unutar kojeg su integrirani programi za konstrukciju i razvoj krojeva te 3D simulaciju odjevnih predmeta, čime se omogućuje bolja povezanost između dizajna, konstrukcije odjeće, odabira tekstilnih materijala te dijelom i tehničke pripreme proizvodnje odjevnih predmeta kada se sustav primjenjuje u industrijskim uvjetima [6]. U tom smislu, u ovom radu je primijenjena metodologija računalnog projektiranja odjevnog predmeta koja omogućuje istovremeni razvoj 3D modela odjevnog predmeta za računalni lik u video igri, ali i za moguću realnu proizvodnju odjevnog predmeta u prirodnoj veličini. U tom smislu video igra može biti medij za promociju odjevnih predmeta u digitalnom obliku prije njegove realne izrade, a prema želji potencijalnog kupca. Na taj način bi se realni proces proizvodnje odvijao samo za odjeću za koju postoji kupac, čime bi se ostvario značajan iskorak u smanjenju proizvodnje nepotrebne odjeće, što bi se pozitivno odrazilo i na smanjenje zagađenja okoliša. Na sl. 2 prikazan je radni segment u procesu računalnog 2D/3D projektiranja modela odjevnog predmeta



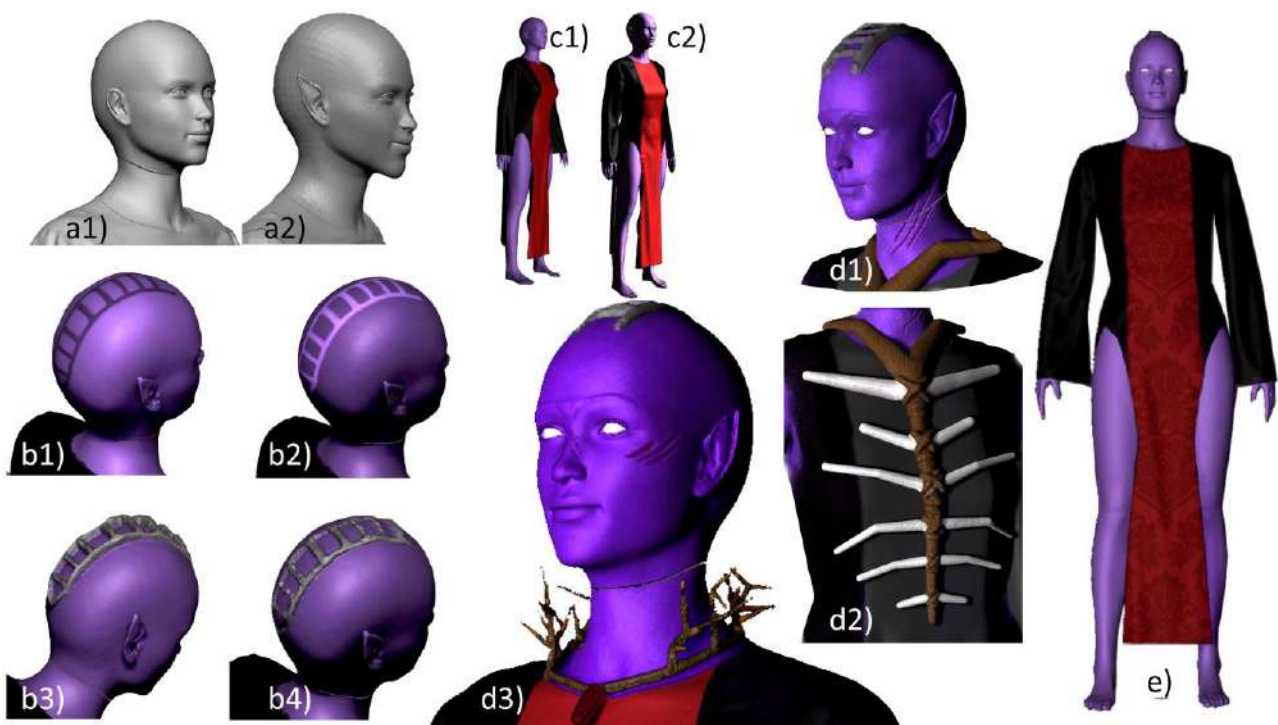
Slika 2: Računalno 2D/3D projektiranje modela odjevnog predmeta

Računalno projektiranje odjeće omogućuje simulaciju spajanja dvodimenzionalnih krojnih dijelova i realističan prikaz virtualne odjeće na računalnom trodimenzionalnom modelu tijela, određenih antropometrijskih karakteristika. Takav pristup omogućuje: realističnu vizualizaciju i analiza dizajna modela odjevnog predmeta prije izrade stvarnog uzorka, analizu točnosti i preciznosti izvedene konstrukcije i modeliranja kroja modela, analizu pristalosti kroja zadane odjevne veličine na računalnom 3D modelu tijela, koji je u mjerama prilagođen odabranoj odjevnoj veličini (sl.2 a), analizu pristalosti i postizanja željene 3D forme modela odjevnog predmeta s aspekta odabira tekstilnih materijala različitih fizikalnih i mehaničkih karakteristika, analizu komocije modela odjevnog predmeta i njegovih dimenzija, analizu naprezanja i istezanja simuliranog 3D modela odjevnog predmeta na 3D modelu tijela te procjena funkcionalnosti modela, analiza pristalosti i primjerenosti određenog dizajna modela na različitim tipovima i veličinama tijela, analizu modela odjevnog predmeta s aspekta odabira boja, tekstura, ukrasnih šavova, detalja i sl. (sl.2 b) te analizu kompleksnosti modela odjevnog predmeta, kao polazište za izradu plana tehnoloških operacija za proces šivanja odjevnog predmeta. Računalni model odjevnog predmeta za računalni lik u video igri razvijen je i analiziran prema svim navedenim koracima, te je pohranjen u jednom od standardnih formata zapisa za 3D objekte u računalnim CAD programima kako bi se mogao implementirati u program za računalno 3D kiparenje i oblikovanje te dalje doradivati za potrebe karaktera lika u računalnoj igri (sl.2 c).

3.3 Oblikovanje modela tijela i dodataka u programu za digitalno kiparenje

U nastavku rada istražena je mogućnost digitalnog modeliranja i dodatnog oblikovanja dijelova parametarskog modela tijela koji se inače koristi na specijaliziranom CAD sustavu za računalno projektiranje

odjeće. S obzirom na dizajn lika koji je kreiran za potrebe individualnog avatara u video igrama (sl. 1), parametarski model tijela je učitani u program za digitalno kiparenje kako bi se istražile mogućnosti ciljanog preoblikovanja površinske mreže dijelova glave pomoću alata za oblikovanje 3D objekata. Cilj je preoblikovati model ljudskog tijela u model tijela vilenjaka prema prethodno navedenom konceptu priče [4]. Izvedeno je preoblikovanje površinske mreže u području ušnih školjki primjenom alata za izvlačenje dijelova površine kako bi se postigao njihov zašiljeni oblik, karakterističan za dizajnirani lik (sl.3 a1 i a2). Prema konceptu priče jedno od obilježja vilenjaka u autorskoj priči je metalna kruna na glavi modela koja simbolizira određeni status u društvu. Uz pomoć alata za obilježavanje, selektiran je dio glave na kojem je u daljnjim koracima i uz primjenu alata programa izvedeno 3D modeliranje detalja u obliku krune (sl.3 b1-b4). Detalj krune modeliran je izravno na modelu te čini jedinstvenu cjelinu s modelom tijela (sl. 3 d1). Za razliku od prikazanog detalja ogrlice i detalja korzeta (sl.3 d2 i d3) koji su modelirani i oblikovani kao zasebni objekti te potom dodani na model. Zasebni detalji mogu se pohraniti kao pojedinačni 3D objekti te ih se može prema potrebi dodavati i na druge modele. Međutim, iako je parametarski model tijela uspješno učitani iz CAD sustava Optitex u program Zbrush te je modeliranje segmenata tijela uspješno izvedeno, pokazala se potreba dodatne obrade tekstura na modelu obzirom da u tom segmentu programi nisu u potpunosti kompatibilni (sl.3 e).



Slika 3: Oblikovanje modela tijela i 3D modeliranje dodatka u programu Zbrush

4. Rezultati

Na temelju provedenog istraživanja mogućnosti povezivanja različitih CAD programa i specijaliziranog CAD sustava za računalno projektiranje odjeće u procesu razvoja digitalnog avatara te odjeće i dodatka za video igru, ostvareni su rezultati po svim segmentima istraživanja. Primjenom CAD sustava Optitex izvedeno je projektiranje 3D modela odjevnog predmeta za dizajnirani model lika za video igru, pri čemu je istovremeno odjevni predmet digitalno razvijen i pripremljen za realni proces izrade. Primjenom programa za digitalno kiparenje i oblikovanje uspješno je izvedeno preoblikovanje segmenata modela tijela te dodatka koji upotpunjuju karakter lika. Digitalnom obradom izvedeno je povezivanje svih elemenata u cjelinu, pri čemu je tijelo razvijenog avatara povezano s projektiranim modelom odjevnog predmeta i modeliranim dodacima te se može implementirati u koncept video igre, a prema potrebi i na platformu za promociju odjeće u digitalnom obliku. Na sl. 4 prikazan je 3D avatar s apliciranom odjećom i dodacima, razvijen za implementaciju u video igru.



Slika 4: Avatar razvijen za video igru s apliciranom digitalnom odjećom u virtualnom okruženju

5. Zaključak

Istraživanje mogućnosti digitalnih tehnologija u procesu dizajna i razvoja odjeće za kreativne industrije, kao što su filmska industrija i industrija video igara, omogućuje dizajneru da svoj kreativni potencijal usmjeri i razvija uz primjenu digitalnih alata, uz istovremenu implementaciju strukovnih znanja i vještina. Intenzivan i konstantan razvoj u području računalnih tehnologija, računalne grafike razvoja aplikacija i video igara postavlja pred korisnika sve veće zahtjeve za edukacijom. Istovremeno omogućuje podizanje korisničkog iskustva na različitim nivoima usluga i novih mogućnosti korištenja tehnologija pri čemu će tehnologije proširene i virtualne stvarnosti predstavljati trend budućeg razvoja i implementacije u različitim područjima. Industrija video igara se u tom kontekstu ističe kao vrlo propulzivna, a očekuje se i daljnji razvoj ove gospodarski vrlo značajne industrije. Trend virtualizacije odjeće za potrebe industrije video igara pruža mogućnost povezivanja područja odjevnog inženjerstva s razvojnim timovima tvrtki koje razvijaju aplikacije za video igre. Dosadašnji razvoj likova u video igrama, ali i u 3D filmovima temeljio se na konceptu razvoja karaktera likova, pri čemu je odjeća bila sastavni dio samog lika i nedovoljno realistična. Novi trendovi razvoja u ovom području nameću potrebu da se razvoj lika upotpuni odvojenim razvojem digitalne odjeće, pri čemu se u tom procesu mogu primjenjivati CAD sustavi za računalno projektiranje odjeće koji se inače koriste u konstrukcijskoj pripremi za potrebe realne proizvodnje odjeće. Digitalne platforme i video igre bi u tom kontekstu u budućnosti mogle postati mediji za promociju i prodaju kolekcija odjeće, te tako zamijeniti tradicionalne načine promocije i prodaje odjeće. S obzirom da se prikazani koncept razvoja odjeće temelji na korištenju digitalnih resursa, s aspekta održivosti i utjecaja na okoliš može se okarakterizirati kao vrlo pozitivan, jer ne generira utrošak energenata i materijala te otpad, što proizlazi iz realnog procesa proizvodnje prevelikih količina odjeće na globalnoj razini, već potiče usmjeravanje proizvodnje prema zahtjevima kupaca.

Literatura

- [1] Lozić, J.: Globalna industrija video igara: pregled stanja, *POLYTECHNIC & DESIGN*, **9** (2021) 3, 208-214, ISSN 2459-6302
- [2] Gaming industry annual revenue in Croatia exceeds €66 million, *Dostupan na* <https://www.croatiaweek.com/gaming-industry-annual-revenue-in-croatia-exceeds-e66-million/>, *Pristupljeno: 2022-12-09*
- [3] Stein, C.: Virtual Reality Design: How Upcoming Head-Mounted Displays Change Design Aradigms of Virtual Reality Worlds, *MediaTropes*, **VI** (2016) 1, 52–85, ISSN 1913-6005
- [4] Mesek, L.: *3D modeliranje ljudskog tijela i odjeće za koncept video igre*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zavod za odjevnu tehnologiju, Zagreb, Svibanj, 2019.
- [5] Lindow, J.: *Norse Mythology: A Guide to Gods, Heroes, Rituals, and Beliefs*, Oxford University Pres, ISBN-10: 0195153820, Oxford, (2002)
- [6] Petrak, S.; Mahnić, M.: Implementacija suvremenih računalnih sustava u procesima industrijskog dizajna i konstrukcije odjeće, *Zbornik radova 5. međunarodnog znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo*, Ujević, D.; Penava, Ž. (ur.), 25-36, ISSN 1847-2877, Zagreb, siječanj 2012., Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb (2012)

OPORABA DŽINSA SA SVRHOM ODRŽIVOSTI

REUSE OF DENIM FOR THE PURPOSE OF SUSTAINABILITY

Mihaela JURAKOVIĆ; Tihana DEKANIĆ*; Tanja PUŠIĆ
& Koraljka KOVAČ DUGANDŽIĆ

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; miha.jurak@live.com; tihana.dekanic@ttf.unizg.hr; tanja.pusic@ttf.unizg.hr; kdugan@ttf.unizg.hr

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

Sažetak: *Inspiracija za oporabom džinsa kao vrijednog materijala proizašla je iz ideje kako bi se učinilo nešto korisno po pitanju ekologije. Poznato je da se samo malen dio tekstila reciklira i na taj način vraća u proizvodni ciklus. S obzirom na činjenicu da je džins izuzetno zahvalna tkanina za postizanje različitih efekata, ali i kao općeprihvatljiv materijal za sve dobne skupine, proizašla je ideja za njegovom oporabom i vraćanjem u novi životni ciklus. Po modelu zamišljenog, proizvoljnog nacрта načinjeni su krojni dijelovi od džinsa te spojeni u jednu cjelovitu, inovativnu i jedinstvenu funkcionalnu torbu. Dodatnom primjenom pojedinačnih obrada na izdvojenim uzorcima, džins tkaninama je dan nov, privlačan i moderan izgled, a izradom torbe i nova namjena odnosno svrha.*

Abstract: *The inspiration for reusing jeans as a valuable material came from the idea of doing something valuable for ecology. It is known that only a small part of textiles is recycled and thus returned to the production cycle. Considering that denim is an extremely useful fabric that can be used to achieve various effects, but also is an universally accepted material for all ages, the idea was born to reuse it and give it a new life cycle. Starting from an imaginary random design, customised denim pieces were made and combined to create a complete, innovative and unique functional bag. The additional application of individual treatments on selected patterns gives a new, attractive and modern look to denim fabrics and a new purpose by making a bag.*

Ključne riječi: džins; oporaba; održivost; dizajn; torba

Keywords: jeans; reusing; sustainability; design; bag

1. Uvod

Torba je danas neizostavan predmet u svakodnevnom životu. Ona je nezaobilazan i modni i funkcionalni dodatak, nosiv u svim prigodama i odjevnim kombinacijama. Torba je nešto bez čega je danas nepojmljivo izaći iz kuće. Ona nije izum novijeg datuma [1]. Počeci primjene predmeta nalik današnjim torbama zabilježeni su već oko 38 000 godina prije Krista, kada su lovci – sakupljači koristili svežnjeve i vrećice, koje su bile načinjene od vlakana, koristili za skladištenje, čuvanje i prijenos hrane [2].

Današnje doba pruža veliki izazov. Potrošačka kultura se temelji na ideji tržišne kompetitivnosti i ideji stalnog rasta [3]. Drastično povećanje proizvodnje tekstila, kao i modne potrošnje, odražava se u nastanku brze mode, točnije poslovnog modela koji se zasniva na ponudi i potražnji, najčešće u obliku jeftinih proizvoda, tzv. trendova. Brza moda se oslanja na neprekidnu konzumaciju i impulzivnu kupnju, a ovaj poslovni model izuzetno je uspješan, o čemu svjedoči njegov kontinuirani rast [4].

Na ovaj način tekstilna industrija izravno utječe i na okoliš jer tijekom različitih faza proizvodnje koristi velike količine energije, vode i kemikalija. Potrošači kupuju nove tekstilne proizvode i na taj se način neprekidno stvara tekstilni otpad, koji na kraju završava na komunalnim odlagalištima. Samo malen dio tekstilnog otpada se oporabi recikliranjem, što rezultira stvaranjem velikih količina tekstilnog otpada [5].

Džins odjevni predmeti su od strane potrošača jedan od najprihvaćenijih i univerzalnih komada odjeće jer ga prihvaćaju i nose sve dobne skupine. Zbog svoje popularnosti i iznimnih kvaliteta džins se proizvodi u velikim količinama, tako da proizvodnja, upotreba i odlaganje džinsa ima velik utjecaj na okoliš. Da bi nešto općenito postalo ekološki prihvatljivije, potrebno je promijeniti princip razmišljanja, promijeniti koncept na način da se

realizira kružni proizvodni sustav u kojem bi se odbačeni proizvodi ponovno upotrebljavali, ili koristili kao sirovina. U stvaranju jednog takvog kružnog gospodarstva, recikliranje je važna alternativa [5,6].

Sam tekstilni otpad nastao uslijed proizvodnje džinsa može se podijeliti na otpad nastao tijekom proizvodnje i otpad nastao nakon uporabe od strane potrošača [4]. Većina tog otpada se po završetku procesa krojenja reciklira na način da se prigodnim postupcima ponovno dobivaju vlakna od kojih se potom proizvodi pređa za buduće tekstilije. Međutim, postupak recikliranja odjevnog predmeta nakon uporabe je jako složen proces jer je takav materijal na pojedinim dijelovima najčešće manje homogen po boji i kvaliteti vlakana, a osim toga netekstilni dijelovi poput gumbiju, patentnih zatvarača, zakovica i sl. dodatno otežavaju proces recikliranja [5]. Posljednjih godina značajna pažnja posvećuje se i odjeći koja je proizvedena, a nije našla put do krajnjeg potrošača, jer je i ona također postala svojevrsni otpad [4].

Neke procjene govore da se godišnje proizvodi 3,6 milijardi pari džins hlača, koji će se baciti nakon jedne ili dvije godine uporabe. Ako prosječni par džins hlača teži 600 g, to u teoriji znači da postoji godišnji potencijal od 2,16 milijuna tona otpadnog džinsa. Samo se mali dio sakuplja i ponovno koristi ili reciklira [5], u vidu stvaranja novih, malih proizvoda poput jastuka, torbi, igračka (sl. 1), tepiha, prekrivača i sl.



Slika 1: Igračka načinjena recikliranjem džinsa [7]

S obzirom da je džins univerzalno najprihvaćeniji materijal današnjice [8], njegova planetarna popularnost za posljedicu ima stvaranje velike količine tekstilnog otpada. Zbog toga se kroz ovaj rad pokušalo naći neko trajnije rješenje i nastala je ideja o mogućnosti njegova recikliranja, a koja bi uz malo dobre volje, bila izvediva i od strane potrošača. Na ovaj način svatko ponaosob bi mogao doprinijeti ekologiji i učiniti nešto po pitanju smanjenja tekstilnog otpada. U okviru ovog rada dan je prikaz jedne od mogućnosti. Prikupljeni otpadni džins je služio kao podloga za izradu torbe, pri čemu se otpadni džins može, ali i ne mora dodatno obrađivati, što je ovdje i prikazano.

2. Eksperimentalni dio

Kroz ideju uporabe džinsa, glavna ideja vodilja bila je da se recikliranjem, kao i naknadnim obradama na otpadnom džinsu, ostvari odgovarajući izgled i podare neka nova svojstva, a potom postupcima slobodnog strojnog i ručnog prošivanja i nova namjena.

2.1 Materijali

Za ostvarenje zamišljene ideje korišten je otpadni džins različitog tona, konstrukcijskih parametara, kao i stanja trošnosti. Primijenjene su različite kemikalije i sredstva kako bi se ostvarili željeni efekti.

2.2 Postupci obrade

Za potrebe recikliranja, uporabe i postizanja novih svojstava i efekata, na otpadnom džinsu su rađene različite obrade. Postupci obezbojavanja su načinjeni pomoću kalijevog permanganata, $KMnO_4$. Novi ton džinsa ostvaren je postupkom *tinting*, odnosno laganim nijansiranjem džins tkanine mješavinom bojila na podlogama različitog tona. Spajanje otpadnog i recikliranog džinsa u funkcionalan predmet zaokruženo je postupcima strojnog prošivanja, te ručnog prošivanja japanskom tehnikom vezenja, tzv. *sashiko* vezenjem.

2.2.1. Obezbojavanje

Postupak obezbojavanja je proveden s $KMnO_4$ metodom suhog postupka, na podlozi tamnog tona. Na prethodno navlaženu tkaninu proizvoljno su nanесeni kristalići $KMnO_4$. Nakon određenog vremena djelovanja sredstva na materijal, u uređaju Polymat Werner proveden je postupak neutralizacije uz OK 1:20, na 40 °C u vremenu od 20 minuta.

2.2.2. Tinting

Tinting je postupak koji se radi kada se željenom uzorku želi neznatno promijeniti ton [8]. Džins tkanina se obrađuje sredstvom na bazi alkilpoliglikoletera, iza čega slijedi postupak obrade materijala u otopini bojila, na 40 °C, uz OK 1:20, u vremenu od 10 minuta.

2.2.3. Sashiko tehnika vezenja

Sashiko tehnika je način ručnog vezenja koji potječe iz drevnog Japana, a ime u prijevodu znači *mali ubod*. Obično se opisuje kao svojevrsni vez nastao jemčenim bodom, pri čemu se šivanjem čine geometrijski precizni i pravilni uzorci [9, 10]. Za izradu tehnike *sashiko* u ovom radu je odabran bijeli konac. Ručnim provlačenjem igle i uz pomoć konca načinjeni su bodovi u jednakim razmacima. Za potrebe ovog rada zamišljen je i odabran vez brojenjem, tzv. križići, čime je njegova izvedba značajno pojednostavljena u odnosu na izvorni način, sl. 2.



Slika 2: Prikaz *sashiko* veza [11]

2.2.4. Postupak strojnog prošivanja

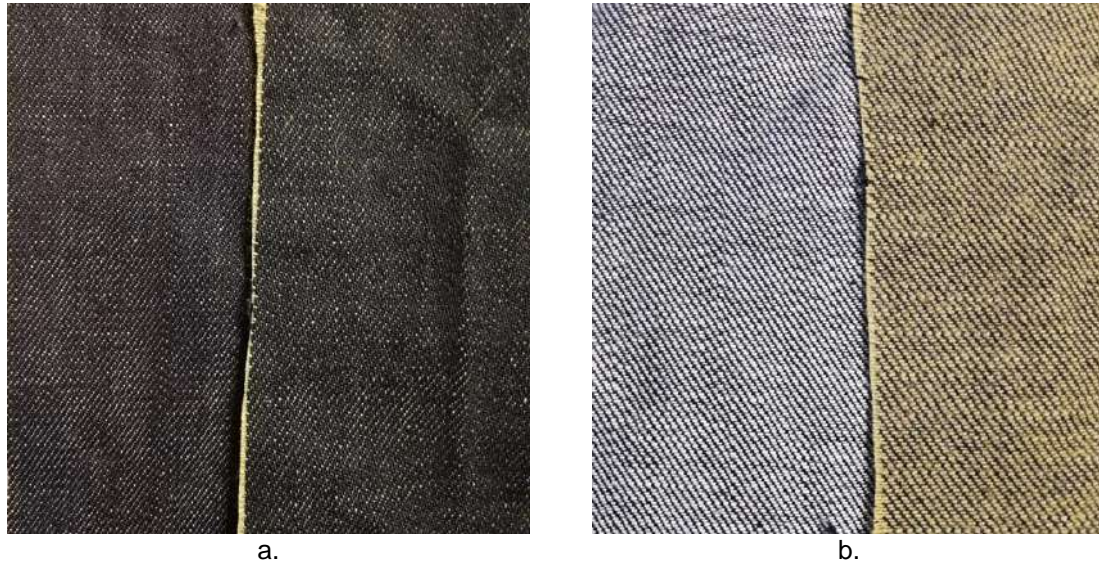
Postupak strojnog prošivanja temeljio se na kontrastu i igri boja, svijetlo-tamno. Šivaćim strojem izvedeni su neprekinuti nizovi bodova na način da je na svijetloj podlozi primijenjen tamniji konac, a na tamnoj podlozi svijetli konac, sl. 3.



Slika 3: Realizacija postupka strojnog prošivanja

3. Rezultat s raspravom

Sam proces izrade torbe od recikliranog džinsa započeo je prikupljanjem korištenih i odbačenih džins materijala. Na odabranim uzorcima odrađeni su postupci nijansiranja te obezbojavanja. Nijansirani džins je neznatno promijenio ton, što je bilo zamjetnije na naličju tkanine, sl.4.



Slika 4: Usporedba neobrađenog uzorka s uzorkom podvrgnutog postupku tintinga: a. lice, b. naličje tkanine

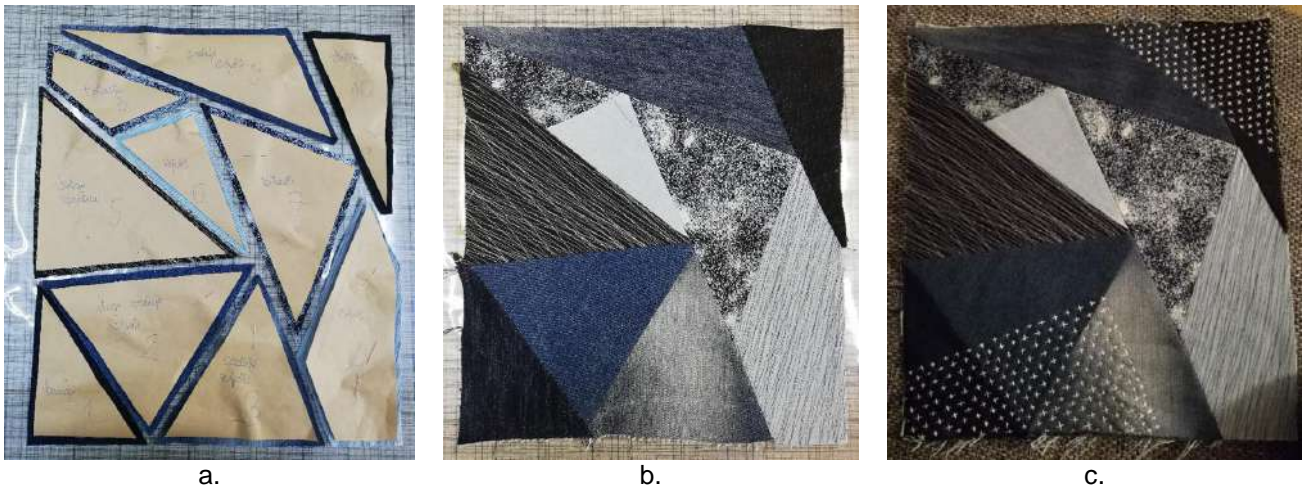
Obezbojavanje s KMnO_4 je rezultiralo velikim i izraženim kontrastom obezbojeni dio naspram početna podloga, sl. 5.



Slika 5: Uzorak džins tkanine: a. prije, b. poslije obezbojavanja s KMnO_4

Ovako obrađene otpadne džins tkanine bile su podloga za nastavak i primjenu strojnog prošivanja, vodeći se ranije rečenim načelom kontrasta svijetlo-tamno. S obzirom da je obezbojavanje s KMnO_4 rezultiralo kontrastom svijetlo-tamno, na njemu nije rađeno prošivanje. Na nijansiranoj podlozi tamnog tona prošivanje je izvedeno svijetloplavim šivaćim koncem, dok je na svijetlom recikliranom uzorku džinsa primijenjen konac tamnoplave boje, što je vidljivo na sl. 3, te 6b i 6c.

Potom su, prema idejnom nacrtu, načinjeni krojni dijelovi od džinsa te spojeni u jednu cjelinu, sl. 6a i 6b. Zbog dodatnog učvršćivanja novonastalog džins predloška, kao i lakšeg izvođenja posljednjeg postupka, na naličje je dodan i sloj krojačkog flizelina. Na taj način je tkanina postala pogodnija za rukovanje i izvedbu *sashiko* načina vezenja, sl. 6c.



Slika 6: Kronološki slijed: a. priprema krojnih dijelova, b. spajanje i šivanje, c. realizirani sashiko vez

Izradi stražnje strane zamišljene torbe pristupilo se na jednak način, izuzev što je na stražnjem dijelu izostavljeno ručno i strojno prošivanje.

Kako bi se zaokružila cjelina i maksimalno oporabili tekstilni materijali, metalni dijelovi i kopče za naramenice su uzeti sa odbačene i neupotrebljive torbe. Naramenice su napravljene od starih džins hlača, ali su radi veće izdržljivosti i otpornosti dodatno učvršćene crnim trakama koje su prethodno bile u funkciji zaštite zapakiranog novog namještaja. Patentni zatvarač i podstava su uzete sa odbačene stare muške džins jakne.

Postupnim dodavanjem i prišivanjem spomenutih dijelova, spajanjem prednjeg dijela i poledine te naramenica, torba je poprimila svoj konačan izgled, sl. 7.



Slika 7: Realizirani prototip reciklirane džins torbe: a. prednja, b. stražnja strana

4. Zaključak

Inspiracija za uporabu džinsa kao vrijednog materijala proizašla je iz ideje da se učini nešto po pitanju ekologije. Nažalost, svega se malen dio reciklira na način da se ponovno vraća u proizvodni ciklus. Džins tkanina je izuzetno zahvalna jer, ne samo što je materijal broj jedan za sve dobne skupine, vrlo je podatna i za postizanje različitih efekata.

Zbog toga se u okviru ovog rada prikupio već korišten i odbačeni džins materijal, kojemu je naknadnim obradama dan odgovarajući efekt. Načinjeni su postupci obezbojavanja i nijansiranja, tzv. tinting, a potom su na pripremljenim uzorcima slijedili postupci ručnog vezenja i strojnog prošivanja.

Primjenom svih opisanih postupaka, otpadnom džins materijalu podana su nova svojstva i nova namjena. Kao rezultat je načinjena jedinstvena, ekološki prihvatljiva i unikatna torba izvanrednih estetskih i funkcionalnih svojstava.

Literatura

- [1] Nyamache, T. & Nyambura, R.: Handbags Culture: An Evolution, *EXCEL International Journal of Multidisciplinary Management Studies* **2** (2012) 4, 153-162, SSN 2249 8834
- [2] The History of the Handbag, *Dostupan na*: <https://womensmuseum.wordpress.com/2017/05/31/the-history-of-the-handbag>, *Pristupljeno*: 2022-11-09
- [3] Čolić, S.: *Suvremena potrošačka kultura neoliberalnog kapitalizma i održivost: globalni aspekti*, Institut društvenih znanosti Ivo Pilar, ISBN: 978-953-7964-00-9, Zagreb (2013),
- [4] Niinimäki K. et al.: The environmental price of fast fashion, *Nature Reviews Earth & Environment* **1** (2020), 189-200, ISSN: 2662-138X
- [5] Lukien, A. & Bouwhuis, G.: Recovery and recycling of denim waste u *Denim; Manufacture, Finishing and Applications*, Woodhead Publishing, ISBN 978-0-85709-843-6, UK, (2015), 527-540
- [6] Jordeva S. i sur.: Tekstilni otpad kao materijal za toplinsku izolaciju, *Tekstil* **63** (2014) 5-6, 168-173, ISSN 0492-5882
- [7] DIY Denim Whale, *Dostupno na*: <http://valaanvillapaita.blogspot.com/p/hi-there-i-finally-managed-to-translate.html>, *Pristupljeno*: 2022-12-10
- [8] Dekanić, T.; Soljačić, I. & Pušić, T.: Oplemenjivanje džins odjeće – novosti, *Tekstil* **57** (2008) 5, 226-242, ISSN 0492-5882
- [9] Hayes, C.: Sashiko Needlework Reborn: From Functional Technology to Decorative Art, *Japanese Studies* **39** (2019) 2, 263-280, ISSN 0095-6848
- [10] Ranka, S. & Varghese, N.: Sustainable Approach: Upcycled Clothing Inspired from Japanese Boro Technique, *Journal of Research in Humanities and Social Science* **9** (2021) 6, 61-74, ISSN: 2321-9467
- [11] Sashiko Technique, *Dostupno na*: <http://www.certiferme.com/blog/article-86-133587-perso-a-la-decouverte-du-sashiko-broderie-japonaise-15-mars-2019.html>, *Pristupljeno* 2022-12-8

ERASMUS+ PROJEKT “SUSTAINABLE DESIGN AND PROCESS IN TEXTILES FOR HIGHER EDUCATION” – GREENTEX

ERASMUS+ PROJECT “SUSTAINABLE DESIGN AND PROCESS IN TEXTILES FOR HIGHER EDUCATION” – GREENTEX

Anita TARBUK*; Sandra FLINČEC GRGAC; Tihana DEKANIĆ & Ana SUTLOVIĆ

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; anita.tarbuk@ttf.hr, sflincec@ttf.hr, tihana.dekanic@ttf.unizg.hr, ana.sutlovic@ttf.hr

* Adresa za korespondenciju: anita.tarbuk@ttf.hr

Sažetak: Uzimajući u obzir održivost i brigu o okolišu, stanje u tekstilnoj i odjevnoj industriji te srodnim industrijama, nije optimistično. Stoga je potrebno ponajprije podići svijest o utjecaju ovih industrija na okoliš. U tu svrhu, u okviru projekta iz Erasmus+ programa: KA220-HED – Partnerstva za suradnju u visokom obrazovanju naziva “Sustainable Design and Process in Textiles for Higher Education” (2021-1-PL01-KA220-HED-000032201; akronim: GreenTEX), razvijat će se inovativna rješenja i pravci djelovanja kako bi ove industrije postale održivije i manje štetne po okoliš pri čemu bi se osigurao proizvod visoke kvalitete siguran po krajnje korisnike. Pripremljeni materijali neće sadržavati samo konkretna rješenja, već će prikazati čitav niz mogućnosti koje se mogu koristiti u obrazovnom procesu i poslovanju planiranjem održivog razvoja u tekstilu. Provedba projekta također će doprinijeti obrazovanju stručnjaka koje trenutno tržište rada očekuje, a koji bi trebali biti spremni za nove izazove, uključujući uvođenje standarda kružnog gospodarstva, mjerenje i smanjenje negativnog utjecaja na okoliša, osiguravanje odgovarajućih radnih uvjeta, kao i provođenje transparentnih pravila za komuniciranje promjene okoline i potrošača. Pridruženi partneri iz gospodarstva kontinuirano će sudjelovati u provedbi projekta, te će se suradnja između sveučilišta i gospodarstva te javnih institucija svakako poboljšati.

Abstract: The situation in the textile and garment industry and related sectors is not optimistic in terms of sustainability and environmental protection. Therefore, it is first necessary to raise awareness about the impact of this industry on the environment. To this end, the project from the Erasmus+ programme: KA220-HED - Partnerships for Cooperation in Higher Education, entitled "Sustainable Design and Process in Textiles for Higher Education" (2021-1-PL01-KA220-HED-000032201; acronym: GreenTEX), has developed innovative solutions and approaches to make these post-industries more sustainable and environmentally friendly, while ensuring a high quality product that is safe for the end consumer. The materials developed will not only contain concrete solutions, but will also highlight a whole range of possibilities that can be used in the educational process and in business planning for sustainable development in the textile sector. The implementation of the project will also contribute to the training of professionals who are currently expected by the market and who should be prepared for new challenges, including the introduction of standards for the circular economy, measurement and reduction of negative environmental impacts, ensuring adequate working conditions, and the implementation of transparent rules for communicating environmental changes and consumers. Associated partners from the business community will continuously participate in the implementation of the project, and cooperation between the university and the business community and public institutions will definitely improve.






Ključne riječi: održivi dizajn, održivi procesi, kružno gospodarstvo, zaštita okoliša

Keywords: Sustainable Design, Sustainable Process, Circular Economy, Environment Protection

1. O GreenTEX projektu

Projekt “Sustainable Design and Process in Textiles for Higher Education” (šifra: 2021-1-PL01-KA220-HED-000032201; akronim: GreenTEX) je projekt iz Erasmus+ programa KA220-HED – Partnerstva za suradnju u visokom obrazovanju. GreenTEX projekt je započeo 1. siječnja 2022. i trajat će 2 godine. Unutar projekta udruženo je 5 partnera iz visokog obrazovanja iz Poljske, Češke, Hrvatske, Litve i Portugala (Tab. 1).

Tablica 1: Partneri Erasmus+ projekta GreenTEX

	Koordinator: Lodz University of Technology, Lodz, Poland, Faculty of Material Technologies and Textile Design, www.p.lodz.pl Voditeljice: Monika Malinowska-Olszowy, Anna Laska-Leśniewicz
	Partner: Technical University of Liberec, Liberec, Czech Republic, Faculty of Textile Engineering, www.tul.cz Voditeljica: Pavla Těšinová
	Partner: Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania, www.ktu.edu Voditelj: Rimvydas Milašius
	Partner: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska, www.ttf.unizg.hr Voditeljica: Anita Tarbuk
	Partner: University of Aveiro, Aveiro, Portugal, www.ua.pt Voditeljica: Elisabeth Pereira

Logo projekta prikazan je na sl.1.



Slika 1: Logo projekta GreenTEX

Cilj projekta je provođenje različitih vrsta obrazovnih aktivnosti u području održivih dizajna i procesa u tekstilu. Stanje tekstilne i odjevne industrije i srodnih industrija ne izgleda optimistično u kontekstu brige za okoliš te je neophodno podići svijest o njihovom utjecaju na okoliš. Stoga će se razvijati inovativna rješenja i pravci djelovanja uzimajući u obzir održivost i brigu o okolišu, stanje u tekstilnoj i odjevnoj industriji te srodnim industrijama, kako bi ove industrije postale održivije i manje štetne po okoliš pri čemu bi se osigurao proizvod visoke kvalitete siguran po krajnje korisnike [1].

Glavni ciljevi koje treba postići su povećanje svijesti ciljnih skupina, povećanje atraktivnosti visokog obrazovanja i izgradnja bolje suradnje između istraživača i gospodarstva.

Kao rezultati provedbe projekta očekuju se:

- 1) Nastavni materijali za područje održivih dizajna i procese u tekstilu (e-knjiga),
- 2) Studije slučaja (Case Study) izrađene na primjerima i u suradnji s gospodarstvom,
- 3) Multimedijaska platforma „Sustainable BOOSTER in Textile“,
- 4) Prijedlog predmeta na preddiplomskom studiju - Održivi dizajn i procesi u tekstilu,
- 5) Znanstvena i didaktička izvješća,
- 6) Inovativna rješenja razvijena na ljetnoj školi „International Green Summer School“ i predstavljena na izložbi „Green Exhibition“.

Osim gore navedenih glavnih rezultata provedbe projekta očekuje se:

- 1) Podizanje stručnih kvalifikacija, omogućavanje daljnjeg obrazovanja ili povećanje šanse za pronalazak posla koji ispunjava očekivanja studenata i koje zahtijeva tržište rada (studenti razvijaju vještine, kvalifikacije i kompetencije, uče suvremene didaktičke metode),
- 2) Usavršavanje nastavničkih stručnih kompetencija kroz upoznavanje i primjenu suvremenih metoda poučavanja te uvođenje inovativnih rješenja,
- 3) Osposobljavanje (stjecanje novih/dodatnih kvalifikacija u određenom djelokrugu),
- 4) Uspostavljanje suradnje (između različitih područja, transnacionalno) s projektnim partnerima i pridruženim partnerima,

- 5) Povećanje osjećaja odgovornosti za obavljene zadatke, podizanje razine znanja i kompetencija tijekom razmjene iskustava, stjecanja komunikacijskih vještina (međuljudski kontakti),
- 6) Unapređenje suradnje između sveučilišta, gospodarstva i javnih institucija,
- 7) Razvoj međukulturalnih kompetencija: otvorenost, prihvaćanje, tolerancija, povećana neovisnost.

2. Provedba GreenTEX projekta

Aktivnosti provedbe projekta su sljedeće:

- 1) Organizacija redovitih sastanaka projektnog tima (on-line i face-to-face) za praćenje napretka projekta, razmjena iskustava, raspravljati o problemima projekta i rješavati trenutne probleme i izazove;
- 2) Izrada suvremenih istraživačkih i nastavnih materijala za nastavnike i studente kao i izvješća o istraživanju i nastavi.
- 3) Izrada studija slučaja na temelju stvarnih problema u tvrtkama.
- 4) Na temelju pripremljenih materijala, dijelovi predmeta „Održivi dizajn i procesi u tekstilu“ moći će se primjenjivati u drugim predmetima na različitim razinama studija.
- 5) Organizacijom ljetne škole „International Green Summer School“ studenti iz pet europskih zemalja suočit će se s izazovom. Njihov će zadatak biti predstaviti inovativna rješenja u području održivog dizajna i procesa u tekstilu.
- 6) Izložba „Green Exhibition“ predstaviti će studentske projekte razvijene tijekom ljetne škole.
- 7) S predstavnicima gospodarstva i javnih institucija na svim partnerskim sveučilištima organizirat će se sastanci s ciljem predstavljanja projekta što će doprinijeti prikupljanju neophodnih informacija o održivosti. To će biti dobra prilika za upoznavanje primjera dobre prakse, saslušanje stručnjaka i razmjenu iskustva.
- 8) Završna konferencija - na njoj će sudjelovati osobe koje nisu izravno uključene u provedbu projekta, odnosno predstavnici gospodarstva vezani za tekstilnu i odjevnu industriju, akademska zajednica, studenti, profesori srednjih škola i učenici srednjih strukovnih škola te ostali zainteresirani za temu.

Do sada su održana tri transnacionalna sastanka partnera uživo i 5 on-line sastanaka. Kick-off sastanak partnera održan je na Lodz University of Technology, Faculty of Material Technologies and Textile Design, Lodz, Poljska od 28. 2. 2022. do 1. 3. 2022. (sl.2). Drugi sastanak partnera održan je na Kaunas University of Technology, Kaunas, Litva 14. 6. 2022. (sl.3). Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet ugostio je partnere na trećem sastanku u Dubrovniku 3.-4. 10. 2022. (sl.4).



Slika 2: Kick-off sastanak partnera u Lodzu, Poljska

Pridruženi partneri iz gospodarstva kontinuirano će sudjelovati u provedbi projekta, te će se suradnja između sveučilišta i gospodarstva te javnih institucija svakako poboljšati. Studije slučaja (Case Study) nudit će primjere dobre praksa, kroz postavljene probleme iz prakse i rješenja konkretnog problema. Dodatno, izradit će se i otvoreni izazovi (Open Challenge) koji će sadržavati problem iz prakse, ali ne i rješenje, već će se koristiti tijekom ljetne škole. Tijekom provedbe, inovativni nastavni materijali iz područja održivog dizajna i procesa u tekstilu bit će postavljeni na multimedijску platformu „Sustainable BOOSTER in Textile“. Oni će činiti katalog dobrih praksi za nastavnike i bit će odlična didaktička pomoć tijekom nastave u različitim područjima – tehničkom, ekonomskom i umjetničkom.



Slika 3: Drugi transnacionalni sastanak partnera u Kaunasu, Litva



Slika 4: Treći transnacionalni sastanak partnera u Dubrovniku, Hrvatska

Hrvatski tim (sl.3b) u sastavu Anita Tarbuk, Sandra Flinčec Grgac, Ana Sutlović i Tihana Dekanić zadužen je za područje održivih tekstilnih procesa u oplemenjivanju i njezi tekstila [2].

3. Zaključak

Pripremljeni materijali će sadržavati stvarne primjere i slučajeve iz prakse, konkretna rješenja, ali će ponuditi i čitav niz mogućnosti koje se mogu koristiti u obrazovnom procesu i poslovanju planiranjem održivog razvoja u tekstilu. To će doprinijeti obrazovanju stručnjaka koje trenutno tržište rada očekuje, a koji bi trebali biti spremni za nove izazove, uključujući uvođenje standarda kružnog gospodarstva, mjerenje i smanjenje negativnog utjecaja na okoliša, osiguravanje odgovarajućih radnih uvjeta, kao i provođenje transparentnih pravila za komuniciranje promjene okoline i potrošača.

Zahvala

Ovaj rad dio je Erasmus+ projekta "Sustainable Design and Process in Textiles for Higher Education" (GreenTEX, 2021-1-PL01-KA220-HED-000032201).

Literatura

- [1] Tarbuk, A.: Novi Erasmus+ projekt „Sustainable Design and Process in Textiles for Higher Education – GreenTEX“, *Glasnik AMCA TTF*, **19** (2022), str. 21, ISSN 1846-6494
- [2] Sutlović, A. et al.: Sustainability of Wet Textile Processes, *Book of Proceedings of 10th International Textile, Clothing & Design Conference – Magic World of Textiles*, Dragčević, Z.; Hursa Šajatović, A.; Vujasinović, E. (Eds), pp. 429-434, ISBN 1847-7275, Dubrovnik, October 2022, University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Zagreb, (2022)

IZRADA ODJEĆE PO MJERI U TVORNICI VARTEKS D.D. CUSTOM-MADE CLOTHING AT VARTEKS

Tena ŠUMSKI & Josip PETRIC

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska, josip.petric@ttf.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: josip.petric@ttf.unizg.hr

Sažetak: U ovom radu opisan je proces izrade odjeće po mjeri na način kako se on izvodi u tvornici Varteks d.d.. Osim industrijskog načina izrade odjeće koji je osnova proizvodnje Varteksa, šivanje po mjeri postaje interesantno mnogim skupinama potrošača. Pretilost kao jedan od problema za zdravlje današnjih ljudi, očituje se i kod odijevanja. Takovi potrošači na ovaj način mogu sebi osigurati odjeću koja im pristaje. Zahtjevniji potrošači mogu direktno utjecati na kroj modela, odabir materijala i na neki način stvoriti odjevni predmet po svojoj mjeri. Na primjeru jednog modela, biti će opisani postupci o kojima treba voditi računa prilikom uzimanja tjelesnih mjera, tehnološki proces šivanja sa kontrolnim probama u pojedinoj fazi izrade i nekoliko karakterističnih tehnoloških operacija sa slikovnim prikazima i oznakama tipova šivaćih šavova i uboda prema ISO standardima.

Abstract: This paper describes the process of making custom-made clothing in the Varteks d.d. factory. In addition to industrial clothing production, which is the basis of Varteks production, custom-made clothing has become more interesting to many customers). Obesity, as one of the health problems affecting people nowadays, is also evident in dressing. Such costumers can thus manage to procure clothing that suits them. Demanding customers can directly influence the model form, select a material and in a way create a garment of their own. The paper will show the example of one model, the process of taking body measurements, the technological sewing process, with fitting tests at each stage of production, and several characteristic technological operations with visual representations and markings of types of sewing seams and stitches according to ISO standards.

Ključne riječi: odjeća po mjeri, krojni dijelovi, tehnološke operacije, šivaći strojevi, kontrolna proba, ženska jakna, Varteks

Keywords: custom clothing, cutting parts, technological operations, sewing machines, fitting tests, women's jacket, Varteks

1. Uvod

Dva su načina proizvodnje odjeće, industrijski i zanatski. Odjeća izrađena industrijskim načinom prema mjerama je prilagođena standardima, dok se zanatskim načinom češće izrađuje odjeća po mjeri. U teorijskom dijelu rada opisan je proces prikupljanja podataka za izradu odjavnog predmeta po mjeri, od uzimanja tjelesnih mjera do odabira modela i tkanine. U eksperimentalnom dijelu rada izrađena je ženska jakna s dvorednim kopčanjem po osobnim mjerama u tt. Varteks. Razrađen je dio procesa izrade ženske jakne po mjeri i nekoliko tehnoloških operacija kod šivanja odabranog modela. Povijest najveće varaždinske tekstilne industrije započinje davne 1918. proizvodnjom tkanina Tekstilne industrije Varaždin, a osim industrijske proizvodnje današnji Varteks nudi i šivanje po mjeri [1]. Kupac sam odabire model i materijale i tako ima priliku utkati svoje želje i ideje u odjevni predmet. Kroj je posve personaliziran, odjevni predmeti prvo se privremeno sastavljaju i šalju kupcu na probu, nakon čega se izvode eventualne korekcije. U posljednjoj fazi kupca se poziva na završnu probu i tada je odjevni predmet spreman za predaju u ruke kupca.

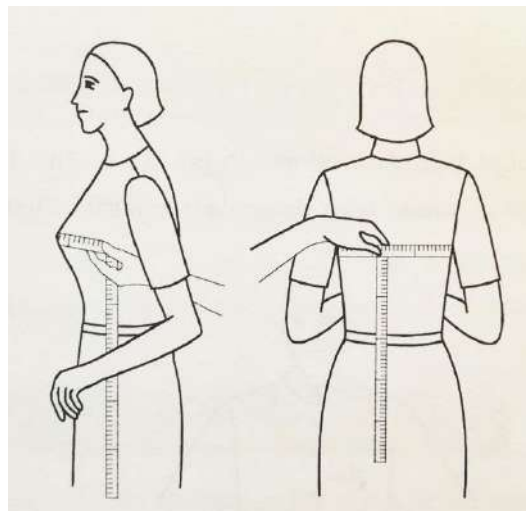
2. Izrada odjeće po mjeri

Prva faza u procesu izrade odjeće po mjeri je uzimanje tjelesnih mjera, nakon čega slijedi odabir modela, osnovne tkanine, boje podstave, dugmadi, unutarnje obrade i unutarnje etikete. Mogu se birati ležerniji krojevi, blago strukirani ili izrazito strukirani. Kod odabira modela kupac također bira vrstu kopčanja:

jednoredno (jedan, dva ili tri gumba) ili dvoredno (četiri ili šest gumba). Fazona može biti klasična sa ili bez rupice, špic, šal ili ruski ovratnik. Na stražnjem dijelu sakoa može biti jedan raspored na stražnjoj sredini, dva rasporeda ili bez. Raspored rukava može biti klasičan ili na otkopčavanje, a posebno se može odabrati prvi gumb i prva rupica. Džepovi mogu biti usmjereni ravno ili koso, a način izrade s dva paspula, jednim paspulom, s poklopcem džepa ili našiveni (sport) džepovi. Nakon odabranog modela i zabilježenih mjera, podaci se šalju u sjedište tvrtke i slijedi izrada kroja u programskom paketu Lectra što omogućuje maksimalnu preciznost. Nakon što je nalog obrađen sukladno željama i mjerama klijenta, kroj se šalje u razvojni dio gdje se slažu i ispisuju krojne slike [2]. Kod izrade odjeće po mjeri, posebno ulogu ima glačanje. Trodimenzionalno oblikovanje glačanjem na posebno oblikovanim površinama kako bi dvodimenzionalno iskrojani dijelovi bolje pristajali na mjestima gdje ljudsko tijelo ima obline.

2.1 Postupci prilikom uzimanja tjelesnih mjera

Prilikom uzimanja tjelesnih mjera, klijent se mora držati prirodno kako bi se mogle uočiti eventualne devijacije na tijelu. Tijekom mjerenja opsega grudi, struka i bokova, vrpca ne smije biti previše zategnuta i mora biti paralelna s tlom. Duljina jakne mjeri se od položaja sedmog vratnog kralješka na kralježnici do željene duljine. Duljina rukava mjeri se od vrha ramena preko vrha lakta do ispod ručnog zgloba. Posebno se mjeri lijeva i desna strana. Osim glavnih i pomoćnih tjelesnih mjera, proučavamo i ostale parametre koji bitno utječu na konstrukciju kada se radi o šivanju po mjeri; je li čovjekovo držanje pognuto, normalno ili uspravno, ima li puniji ili normalan stas, kosinu ramena i kojoj skupini pripada u odnosu na tjelesnu visinu. Tijekom godina uočeno je da se ljudi drže sve više pognuto, a kod visokih ljudi često se pojavljuje zaobljeni oblik leđa i tome se konstrukcija mora prilagoditi [2].



Slika 1: Primjer kako se uzima određena tjelesna mjera [10]

Tablica 1: Primjer odstupanja tjelesnih mjera kupca od standardnih tjelesnih mjera odjevne veličine

Naziv mjere	Veličina 36 (cm)	Osobne mjere (cm)	Alteracija na ½ kroja (cm)
Opseg grudi	88	88	0
Opseg struka	78	74	-2
Opseg rukava na duljini	24,6	24,6	0
Dužina rukava	60,5	61,5	+1
Opseg bokova	94	90	-2
Duljina jakne	59	60	+1

3. Tehnološki proces šivanja

Odabrani model jakne sastoji se od ukupno 62 krojna dijela. Kroji se osnovna tkanina, podstavna tkanina, te nekoliko vrsta međupodstave različitih sastava i konstrukcija, a kako je svaki kroj prilagođen individualnom klijentu, krojenje se izvodi ručno. Univerzalnim šivaćim strojem s lančanim ubodom, bijelim pamučnim koncem privremeno se sastavljaju krojni dijelovi osnovne tkanine i u takvom se obliku odijelo isporučuje kupcu za prvu probu. Na probi se provjerava ispravnost i pristalost odjevnog predmeta, bilježe eventualne






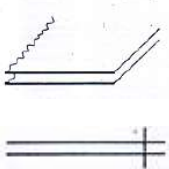


korekcije i odijelo se tada vraća u šivaonicu gdje se nastavlja proces šivanja. Tehnološki proces šivanja podijeljen je na nekoliko faza: predmontaža u kojoj se šivaju ušitci, džepovi i ostale pripremne operacije, šivanje podstave, šivanje rukava i montaža u kojoj se kompletiraju svi dijelovi i sastavljaju u cjelinu. Za izradu jakne izvedeno je ukupno 126 tehnoloških operacija i ukupno vrijeme izrade iznosi 91,62 min.


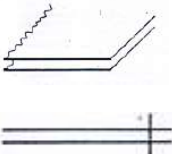



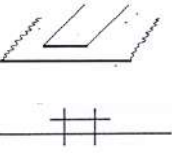
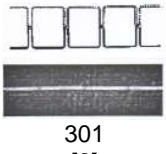


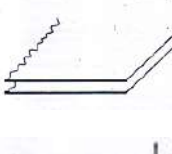



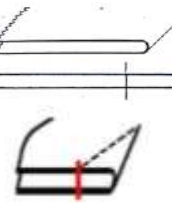




Slika 2: a. Jakna pripremljena za prvu probu, b. Konačan izgled jakne [3]

U tablici 2. je prikazano nekoliko karakterističnih tehnoloških operacija šivanja ženske jakne s prikazima različitih šivaćih uboda prema međunarodnom standardu *ISO 4915 – Textiles – Stich types – Clasification and terminology* i oznake šivanih šavova prema međunarodnom standardu *ISO 4916* uz slikovni prikaz izgleda operacije i šivaćeg stroja na kojem je operacija izvedena [4].

Tablica 2: Prikaz karakterističnih tehnoloških operacija šivanja ženske jakne

Naziv tehnološke operacije	Fotografija	Slikovni prikaz i brojučana oznaka šivanog šava u skladu s ISO 4916	Tip šivaćeg uboda u skladu s ISO 4915	Sredstvo rada – karakteristike i opis	Sredstvo rada - slika
1	2	3	4	5	6
Porubljivanje duljine (prije probe)	 [3]	 6.02.01 [5]	 101 [6]	Univerzalni šivaći stroj s lančanim ubodom, jednoigleni, ubod tipa 101, automatsko odrezivanje konca	 [7]
Sastavljanje bočnog šava (prije probe)	 [3]	 1.01.01 [5]	 101 [6]	Univerzalni šivaći stroj s lančanim ubodom, jednoigleni, ubod tipa 101, automatsko odrezivanje konca	 [7]

<p>Sastav ramenog šava</p>	 [3]	 1.01.01 [5]	 301 [6]	<p>Univerzalni šivaći stroj sa zrnčanim ubodom, jednoigleni, ubod tipa 301, automatsko odrezivanje konca, podizanje igle u gornji položaj, max. brzina šivanja do 5000 ub/min</p>	 [8]
<p>Našivanje etikete</p>	 [3]	 5.04.03 [5]	 301 [6]	<p>Univerzalni šivaći stroj sa zrnčanim ubodom, jednoigleni, ubod tipa 301, automatsko odrezivanje konca, podizanje igle u gornji položaj, max. brzina šivanja do 5000 ub/min</p>	 [8]
<p>Šivanje bočnog šava (nakon probe)</p>	 [3]	 1.01.02 [5]	 301 [6]	<p>Univerzalni šivaći stroj sa zrnčanim ubodom, jednoigleni, ubod tipa 301, automatsko odrezivanje konca, podizanje igle u gornji položaj, max. brzina šivanja do 5000 ub/min</p>	 [8]
<p>Ušivanje ušitka</p>	 [3]	 6.05.01 [5]	 301 [6]	<p>Šivaći automat za šivanje ušitaka, zrnčani ubod tipa 301, automatsko učvršćivanje početka i kraja šava, odrezivanje konca i oslobađanje izratka</p>	 [9]

4. Zaključak

Usporedimo li industrijski i zanatski način proizvodnje odjeće, prednosti jednog i drugog se znatno razlikuju. Iako industrijskim načinom uz visoku produktivnost i nisko vrijeme izrade dobivamo proizvod namijenjen širokom tržištu kupaca, ipak postoje kupci koji žele unikatan proizvod ili ukoliko njihove mjere ne odgovaraju standardima. Takvim kupcima više odgovara izrada odjeće po mjeri. Iako je vrijeme izrade duže, produktivnost niža i cjenovno se proizvod znatno razlikuje od onog koji se masovno proizvodi, dobivamo proizvod namijenjen kupcu kao individualcu koji osobno sudjeluje u gradnji vlastitog odijela i kao takvom mu se vrijednost povećava a sve to takav kupac na kraju spreman je i platiti.

Literatura

- [1] Gradski muzej Varaždin, Varteks d.d.; *Stoljeće tekstila*, Printera, Varaždin (2018)
- [2] Interni materijali i podaci tvrtke Varteks d.d., (2022)
- [3] Osobne fotografije, 2022.
- [4] Rogale D.i sur.; *Procesi proizvodnje odjeće*, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, ISBN 978- 953-7105-32-7, Zagreb, (2011)
- [5] International standard ISO 4916: 1991 (E/F), Textile – Seam types – Classification and terminology
- [6] Stitch Guide, Most Common Stitch Types in ASTM D-6193 and ISO 4915:1991 Standards
- [7] *Dostupan na* <http://www.sivanol.hr/juki/266-juki-dln-5410n-7.html> accessed 2022.07.20.
- [8] *Dostupan na* <http://www.sivanol.hr/juki/221-juki-ddl-8700-7wb-ak-sc920-m92.html>, Pristupljeno: 2022.07.20.
- [9] *Dostupan na* https://www.google.com/search?rlz=1C1GCEA_enHR796HR796&biw=1600&bih=750&tbm=isch&sa=1&ei%20%20%20=RqNqXbvxCeGugweByqHQBQ&q=button+sewing+machine&oq=button+sewing+&gs_l=img.1.0.0i19I5j0i30i19I2j0i5i30i19I2j0i8i30i19.2949.2949..4173...0.0..0.121.121.0j1.....0....1..gws-wiz-img.xV5Xh6QeeiQ, Pristupljeno: 2022-08-10
- [10] Hrastinski M.: *Konstrukcija odjeće 1*, Miniprint, ISBN 953-96996-2-2, Zabok, (1998)

TALOŽNO OČVRŠĆIVANJE BIORAZGRADIVIH POLIMERA ZA ANTIMIKROBNE MATERIJALE METODOM 3D TISKA

FUSED DEPOSED OF BIODEGRADABLE POLYMERS FOR ANTIMICROBIAL MATERIALS BY 3D PRINTING

Mislav MAJDAK; Slavica BOGOVIĆ* & Iva REZIĆ*

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska; mislav.majdak@tff.hr; slavica.bogovic@tff.hr;
iva.rezic@tff.hr

* Adresa za korespondenciju: iva.rezic@tff.hr; slavica.bogovic@tff.hr

Sažetak: Napredni procesi i tehnologije omogućavaju realizaciju suvremenih, ekoloških i biorazgradivih novih materijala posebnih funkcionalnih svojstava. Prilagodбом procesa postupka dobivanja biorazgradivog polimera željenog oblika moguće je dobiti materijal koji se dodatno može funkcionalizirati posebnim prevlakama s ciljem dobivanja antimikrobnih materijala. U ovom će radu stoga biti opisan postupak dobivanja medicinskog katetera od biorazgradivog polilaktida postupkom taložnog očvršćivanja (3D tiska) koji je pogodan za antimikrobnu funkcionalizaciju. Model katetera iz PLA polimera 3D tiskan je u optimalnim uvjetima nakon pripreme modela pomoću g-coda koji omogućava kvalitetan ispis te osigurava adekvatnu čvrstoću elemenata katetera. Pri izradi prototipa niže razine korišten je 3D printer Creality CR-10 max s prilagodljivom temperaturom podloge i mlaznice, dok se sam proces izvedbe prototipa proveo metodom taložnog očvršćivanja.

Abstract: Advanced processes and technologies enable the production of modern, ecological and biodegradable novel materials with special functional properties. By adapting the process of obtaining a biodegradable polymer of the desired shape, it is possible to obtain a material that can be additionally functionalized with special coatings with the aim of obtaining antimicrobial materials. This work will therefore describe the process of production of a medical catheter made of biodegradable polylactide by the fusion deposition methodology (FDM method of 3D printing) that can be further easily functionalized by antimicrobial coating. The catheter model was made in optimal conditions after preparing the model using g-code, which enabled high-quality printing and ensured adequate strength of the catheter elements. During the creation of the lower-level prototype, a 3D printer "Creality CR-10 max" was used with an adjustable temperature of the substrate and nozzle, while the prototype execution process itself was carried out using the fusion deposition method.

Ključne riječi: biorazgradivi polimeri; medicinski materijali; taložno očvršćivanje; polilaktid; antimikrobna prevlaka

Keywords: biodegradable polymers; medical materials; fused deposition modeling (FDM); polylactide; antimicrobial coating

1. Uvod

1.1 3D tisak

3D tisak je proces izrade 3D objekta na temelju digitalnih 3D modela. Proizvodni proces započinje konstruiranjem trodimenzionalnoga modela računalnim programima za modeliranje, ili digitaliziranjem prostornoga oblika već postojećega objekta primjenom 3D skenera. Zatim se model pretvara u niz horizontalnih poprečnih presjeka koji se strojem za proizvodnju tvorevina otiskuju sloj po sloj do konačnog proizvoda [1-3].

Razvoj tehnologije izrade trodimenzionalnih tvorevina započeo je u SAD-u, 1984. kada je Charles Hull upotrebom stereolitografije izradio prvi 3D tiskani objekt, čašu. S druge strane, prva industrijska uporaba aditivnih proizvodnih postupaka zabilježena je 1987. kada je tvrtka 3D Systems iz Rock Hilla razvila postupak stereolitografije, dok je postupak trodimenzionalnoga ispisa razvijen 1989. na Massachusetts

Institute of Technology u Cambridgeu. 1991. pojavljuju se postupci taložnoga očvršćivanja i proizvodnje laminarnih objekata, 1992. selektivnog laserskog očvršćivanja i dr. [4].

Ovisno o tehnologiji dobivanja slojeva i upotrijebljenim materijalima, koji mogu biti u krutom, tekućem i praškastom stanju, razvijeno je više postupaka aditivne proizvodnje. Prema primijenjenoj tehnologiji postupci aditivne proizvodnje uobičajeno se razvrstavaju na fotopolimerizaciju (stereolitografija), raspršivanje veziva (trodimenzionalni ispis), raspršivanje materijala (PolyJet postupak) ekstrudiranje materijala (taložno očvršćivanje), laminiranje (proizvodnja laminiranih objekata), stapanje praha (selektivno lasersko očvršćivanje) i izravno taloženje materijala [1, 2, 5]. Danas se za 3D tisak najčešće koriste polimerni materijali, kao akrilonitril/butadien/stiren (ABS), polilaktid (PLA), poliamidi (PA), polikarbonat (PC), termoplastični poliuretan (TPU) [3], ali i kompoziti PLA/pamuk, te PLA/PES [6].

Zahvaljujući svojoj jednostavnoj primjeni, i konstrukciji uređaja, taložno očvršćivanje (engleski Fused Deposition Modeling) je danas u odnosu na već spomenute metode postalo sinonim za 3D tisak. Metoda tiska se zasniva na omekšavanju polimernog materijala koji u obliku niti prolazi kroz sapnicu smještenu na glavi uređaja (ekstruder). Izrađeni slojevi hlade se i skrućuju pri sobnoj temperaturi, te tako vežu na prethodni sloj. Kod složenije geometrije može se izraditi potporna struktura radi postizanja bolje završne površine tvorevina [7]. Kako bi se riješili problemi koji zahvaćaju zdravlje, mnogi znanstvenici su odlučili iskoristiti prednosti 3D tiska, pogotovo taložnog očvršćivanja za izradu medicinskih materijala poput kardiovaskularnih stentova, katetera za kemoterapiju i dr. koji radi svoje primjene zahtijevaju antimikrobne prevlake namijenjene suzbijanju pogubnih sojeva bakterija poput *E. coli* i *S. aureus* [8]. Štoviše, u Hrvatskoj 2015. je provedena revolucionarna operacija postavljanja 3D tiskanog umjetnog vratnog kralješka dobivenog dizajnom snimke napravljene korištenjem računalne tomografije [9].

3D tisak je tehnologija koja je još uvijek u razvoju, predstavlja budućnost proizvodnje. Visoka fleksibilnost, razmjerno kratko vrijeme izradbe i dimenzijska točnost čine proizvode sve isplativijima za upotrebu. Iako neće u potpunosti promijeniti temeljnu strukturu klasične proizvodnje, ta će tehnologija otvoriti široko polje mogućnosti izradbe tvorevina, kalupa, alata i dr.

1.2 Biorazgradivi polimeri

Vlakna od sintetskih polimera među najrasprostranjenijim su sirovinama tekstilne industrije. Veliki izbor kao i mogućnost modifikacije tih vlakana omogućuju izradu raznih tekstilnih proizvoda te njihova primjena raste iz godine u godinu. Loša sposobnost razgradnje potaknula je javnost ali i znanstvenu zajednicu na potragu za alternativom, pri čemu biorazgradivi polimeri polagano poprimaju tu ulogu [10]. Naime, biorazgradivi polimeri su kako norma EN 13432:2000 navodi, proizvodi koji završetkom svojeg ciklusa upotrebe moraju imati svojstva razgradnje i kompostiranja bez negativnog utjecaja na okoliš [11].

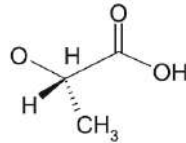
Danas se za dobivanje biorazgradivih polimera najčešće koriste:

- Polisaharidi (škrob, celuloza, laktoza, kitozan, kitin, alginat),
- Proteini (kazein, kolagen, soja, elastin),
- Mikroorganizmi (bakterijska celuloza, dekstran)

Često, spomenuti izvori su biljni i životinjski otpadci koji nemaju upotrebu [12, 13]. Ujedno, biorazgradivi polimeri uz pomoć enzima i organizama se razgrađuju na kompostabilnu biomasu koja može poticati daljnji rast biljaka potrebnih za proizvodnju biorazgradivih polimera te samim time osigurati obnovljive izvore sirovina što nažalost nije slučaj kod sintetskih polimera [14, 15].

1.3 PLA

PLA je linearni alifatski termoplastični poliester čija je kemijska struktura prikazana na slici 1. Sintetizira se polimerizacijom laktida, cikličkog dimera mliječne kiseline (2-hidroksipropionska kiselina), koji se u velikim količinama proizvodi bakterijskom fermentacijom pomoću sojeva *Lactobacillus* pri niskom pH (oko 5.0) i niskim razinama kisika na temperaturi od 40 °C, a u manjim kemijskom sintezom [16]. PLA je optički aktivan zahvaljujući asimetričnom C atomu te ima dva optički aktivna izomera, D-laktid i L-laktid. Stoga su svojstva PLA usko povezana s tim izomerima. S obzirom na to da je laktidna kiselina kiralna molekula s D i L izomerima, mogu nastati tri različite vrste polilaktidne kiseline, poli-L-laktidna kiselina (PLLA), poli-D-laktidna kiselina (PDLA) te poli-D,L-laktidna kiselina (PDLLA) [17]. Polimerizacija laktidnog prstena metoda je koja se koristi za industrijsku proizvodnju PLA visoke molekulske mase. Laktid ima tri stereo konfiguracije -L-laktid, mezolaktid i D-laktid. Nakon dobivanja laktida visoke čistoće, ovisno o katalizatoru ova metoda može poprimiti više različitih mehanizama [18].



Slika 1: Kemijska struktura – polilaktidna kiselina (PLA) [16]

Danas, PLA zahvaljujući svojoj odličnoj biokompatibilnosti s ljudskim tijelom se sve češće koristi u zdravstvu za izradu medicinskih implantata poput vijaka, stentova i potpornih sustava (*eng. Scaffold*) koji u odnosu na konvencionalne metalne implantate ne korodiraju, zbog čega ne zahtijevaju invazivne operacije namijenjene za uklanjanje implantata, već se s vremenom razgrađuju na mliječnu kiselinu [19, 20].

2. Materijali i metode

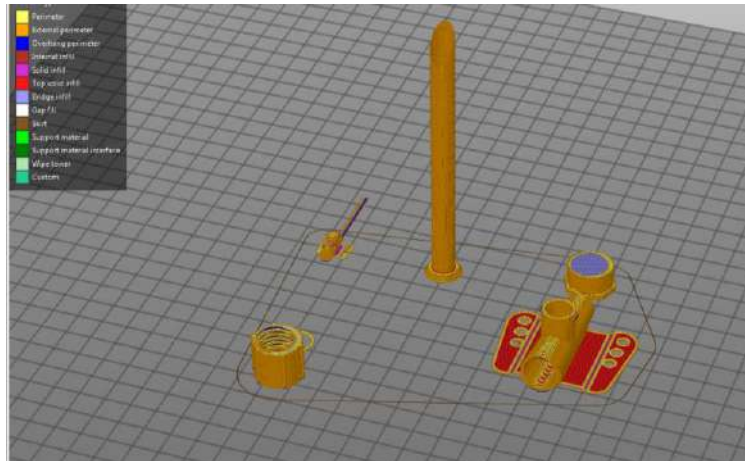
Za potrebe izrade prototipa katetera korišten je filament PLA proizvođača Devil Design. Filament je debljine 1,75 mm i gustoće 1,24 g/cm³. Prototip katetera je 3D tiskan primjenom 3D tiskala Creality CR-10 max s prilagodljivom temperaturom podloge i mlaznice (Slika 2). Navedeno 3D tiskalo ima radni volumen od 450×450×470 mm. Ovo je jedna od nekoliko različitih metoda 3D tiska kao primjerice: LOM tehnologija koja se bazira na laminiranju; stereolitografija pri čemu se koristi fotopolimer, smola i UV laser; FDM tehnologija pri čemu se kroz mlaznicu ekstrudira polimer u slojevima oblikujući 3D objekt. FDM tehnologija 3D tiska se primjenjuje na različitim tipovima tiskala poput tiskala kartezijskog koordinatnog sustava, delta pisača, polar 3D pisača i pisača s robotskom rukom [1, 3, 5-7].

Osim vrste polimera na svojstva krajnjeg proizvoda utječu konstrukcijski parametri 3D tiska. Odabrana vrsta polimera utječe na parametre 3D tiska kao što su temperatura ekstruzije i temperatura površine na koju se tiska objekt. Prije 3D tiska FDM tehnologijom potrebno je definirati konstrukcijske parametre koji utječu na mehanička svojstva krajnjeg proizvoda. Pri tome se definiraju debljina stjenke 3D tiskanog objekta određujući broj slojeva stjenke, debljina podloge koja se također definira brojem slojeva, ispunja objekta koja je određena oblikom i postotkom ispunje, dok se kod jako zakošenih stjenki 3D tiskanog objekta dodatno definiraju potpore odgovarajuće gustoće i strukture. Nakon definiranih parametara 3D tiska izrađuje se g-code koji upravlja procesom 3D tiska [6].



Slika 2: 3D printer Creality CR-10 max s prilagodljivom temperaturom podloge i mlaznice

Na Slici 3 prikazana je priprema 3D digitalnog objekta za 3D tisak, prema parametrima tiska prikazanim u Tablici 1.

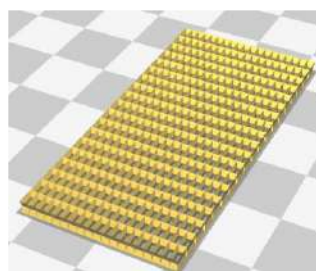


Slika 3: Priprema 3D modela za 3D tisk

3. Rezultati i rasprava

U radu je prikazana obrada PLA biorazgradivih polimera koji je jedan od najzastupljenijih biorazgradivih polimera s primjenom u zdravstvu, zahvaljujući svojoj biokompatibilnosti. 3D tiskom omogućuje se izrada raznih objekata koji se mogu brzo prilagoditi ovisno o individualnim potrebama što u zdravstvu omogućava inovativno rješavanje raznih problema.

Prije tiska katetera, provedeno je preliminarno ispitivanje čiji je cilj bio utvrditi odnos strukture i mehaničkih svojstava. Među prvim proizvedenim 3D objektima, tiskane su pločice šupljikave strukture. Na slici 4 je prikazana struktura pločica tijekom dizajna i nakon tiska. Kao što je vidljivo, struktura nakon tiska značajno se razlikovala u odnosu na 3D dizajnirani model. Razlog tome je niska rezolucija tiska. Ujedno, tijekom rukovanja proizvedenog modela došlo je do loma pojedinih veznih elemenata pločice tijekom savijanja [21]. Zbog toga je radi očuvanja mehaničkih svojstava i primjenjivosti potrebno objekte popunjavati čvrstim punim ispunama. Na taj način je izrađena pločica koja je prikazana na slici 5. Prije provedbe 3D tiska, 3D model je dizajniran na način da je ispunjena potpuna bez šupljikave strukture tako da slojevi filameta budu u što većem dodiru kako bi proizvedena pločica bila čvrsta. Kako bi se to postiglo, pojedini slojevi filameta su paralelno nasloženi u odnosu na druge slojeve. Ovako izrađena pločica je čvrsta i nesavitljiva, te ne pokazuje nikakve znakove deformacije tijekom rukovanja. Zahvaljujući preliminarnom istraživanju, dobiven je uvid u odnos ispune i mehaničkih svojstava, zbog čega je zaključeno da bi proizvodnja kompleksnijih proizvoda poput katetera koji nemaju šupljikavu strukturu bila izvediva.



a.



b.

Slika 4: Šupljikava pločica: a. 3D dizajnirani model i b. pločica nakon tiska [21]



Slika 5: 3D tiskana pločica s punom ispunom

3D tiskani kateter prikazan je na slici 6. Model katetera je preuzet sa: <https://cults3d.com/en/3d-model/tool/the-biggo-iv-catheter-i-v-katheter> (Autorska prava u skladu s Creative Commons). 3D kateter se sastoji od 4 dijela sa debljinom stjenki od dva sloja koja osiguravaju potrebnu čvrstoću krajnjeg proizvoda, a samim tim i međusobno spajanje u jednu cjelinu. Prema definiranim optimalnim parametrima 3D tiska izrađen je g-cod pomoću programa za pripremu 3D tiska PrusaSlicer. Na temelju g-coda izveden je 3D tisak svakog pojedinog elementa.



Slika 6: Prototip katetera dobiven metodom taložnog očvršćivanja

U Tablici 1 navedeni su parametri 3D tiska. Iz podataka je vidljivo da je upotrebom Creality CR-10 max moguće 3D tiskati objekte s ispunom pod kutom od 45°. 3D tisak bez potpore prilikom naslojavanja postignut je na temelju studiozno oblikovanog 3D objekta pri čemu su nagibi objekta definirani prema pravilima projektiranja 3D objekta namijenjenog za 3D tisak. Kut nagiba 3D tiskanog objekta u odnosu na podlogu treba biti veći od 45°, a otvori koje 3D tiskalo može premostiti bez potpore mora iznositi manje od 10 mm. 3D tisak objekta bez potpore utječe na brzinu tiska, količinu korištenog filameta i izbjegavanje naknadne obrade namijenjene uklanjanju potpore. Štoviše, upotrebom spomenutih parametara proizveden je prototip katetera, koji se tijekom rukovanja nakon tiska ne savija, deformira ili lomi. Zahvaljujući tome može se zaključiti da je tako dobiveni objekt pogodan za naknadne antimikrobne obrade.

Tablica 1: Parametri 3D tiska

Filament			Parametri 3D tiska					
	Temperatura ekstruzije [°C]	Promjer filameta [mm]	Brzina [mm/s]	Gustoća [g/cm ³]	Visina sloja [mm]	Temp. podloge [°C]	Promjer mlaznice [mm]	Kut ispune [°]
PLA	210	1,75	30	1,24	0,3	60	0,4	45

4. Zaključak

Svojstva mnogih biorazgradivih polimera nisu najpogodnija za sve potrebe industrije, stoga se međusobno miješaju i koriste kao komonomeri u proizvodnji kopolimera kako bi dobili specifična tražena svojstva. Izrađuju se kopolimeri prirodnih i umjetnih biorazgradivih polimera da bi se umanjila hidrofobnost i povećala biorazgradivost. Zbog svoje cijene (u odnosu na cijenu tradicionalnih polimera) biorazgradivi polimeri pogodni su za specijalne primjene i male količine kao što se koriste u medicini i tehnikama aditivne proizvodnje. Stoga proizvodnja u velikim količinama još uvijek nije na vidiku.

Primjena biorazgradivih polimera zahtjeva više obradivih površina za uzgajanje kultura iz kojih se mogu dobiti, koje onda ponovno zahtijevaju velike količine kemikalija i vode te upotrebu strojeva za obrađivanje. Dakle, ne postoji definitivno održivo rješenje, no kako se ne čini da se stopa konzumacije raznovrsnih proizvoda samo povećava, primjena biorazgradivih polimera svakako je pravac prema ugodnijoj budućnosti. Na temelju provedenog istraživanja vidljivo je da aditivna proizvodnja omogućuje izradu proizvoda specifičnih dimenzija i struktura u što kraćem vremenskom roku. Zahvaljujući tome moguće je učinkovito pristupiti rješavanju problema u zdravstvu i šire.

Zahvala

Ovaj rad financirala je Hrvatska zaklada za znanost kroz projekt IP-2019-04-1381 pod nazivom "Antibakterijske prevlake za biorazgradive medicinske materijale ABBAMEDICA" voditeljice izv. prof. dr. dr. sc. Ive Rezić. Sva mišljenja, nalazi i zaključci ili preporuke iznesene u ovom radu su mišljenja autora i ne odražavaju nužno stavove Hrvatske zaklade za znanost.

Literatura

- [1] What is 3D printing?, *Dostupan na* <https://www.hubs.com/guides/3d-printing/>, *Pristupljeno*: 2022-10-01
- [2] Šercer, M. et. al.: Microreactor Production by PolyJet Matrix 3D-Printing Technology: Hydrodynamic Characterization, *Food Technology and Biotechnology*, **57** (2019) 2, str. 272-281, ISSN: 1330-9862
- [3] Hrženjak, R.; Bogović, S. & Rogina-Car, B.: 3D Printing Technologies for Clothing Industry: A Review, *8th International Ergonomics Conference*, Sumpor, D.; Jurčević Lulić, T.; Salopek Čubrić, I.; Jambrošić, K.; Milčić, D.; Šabarić, I. (ur.), str. 103-109, ISBN: 978-3030669362, Zagreb, prosinac (2020), Hrvatsko Ergonomijsko Društvo (2020)
- [4] Savini, A. & Savini, G., G.: A Short History of 3D Printing, a Technological Revolution Just Started, *Proceedings of the 2015 ICOHTEC/IEEE International History of High-Technologies and their Socio-Cultural Contexts Conference (HISTELCON)*, Baal-Schem, J.; Geselowitz, M. (ur), str. 1-8, ISBN: 978-1-5090-0065-4, Tel-Aviv, kolovoz (2015), Institute of Electrical and Electronics Engineers
- [5] Markovac, D.: Prototipno modeliranje 3D pisača, Diplomski rad, Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, 2020, *Dostupan na* <https://repositorij.unin.hr/islandora/object/unin:3724>, *Pristupljeno* 2022-10-01
- [6] Bogović, S. & Čorak, A.: A New Method for Testing the Breaking Force of a Polylactic Acid-Fabric Joint for the Purpose of Making a Protective Garment, *Materials*, **15** (2022) 10, str. 1-11, ISSN: 1996-1944
- [7] The 9 Different Types of 3D Printers, *Dostupan na* <https://3dinsider.com/3d-printer-types/>, *pristupljeno* 2022-12-01
- [8] Domsta, V. & Seidlitz, A.: 3D-Printing of Drug-Eluting Implants: An Overview of the Current Developments Described in the Literature, *Molecules*, **26** (2021) 13, str. 1-30, ISSN: 1420-3049
- [9] Čalušić, B.: Na Klinici za neurokirurgiju riječkog KBC-a pacijentu ugrađen umjetni kralježak izrađen uz pomoć 3D printera, *Dostupan na* <https://www.novolist.hr/rijeka-regija/rijeka/na-klinici-za-neurokirurgiju-riječkog-kbc-a-pacijentu-ugraden-umjetni-kraljazak-izraden-uz-pomoc-3d-printera/>, *Pristupljeno*: 2022-10-01
- [10] Majdak, M. & Rezić, I.: 3D Printing of Biodegradable Polymers in the Textile Industry, *13th International Scientific Conference on Production Engineering*, Hodžić, A.; Islamović, F.; Hodžić, D. (ur.), str. 35-40, ISSN: 2566-3283, Sarajevo, rujan (2021.), Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet (2021)
- [11] EN 13432: *Dostupan na* <https://ecozema.com/en/why/en13432/>, *Pristupljeno*: 2022-10-02
- [12] Rosseto, M. et. al.: Biodegradable Polymers: Opportunities and Challenges, u *Organic Polymers*, IntechOpen, ISBN: 978-1-78984-618-8, London, (2020), str. 1-18
- [13] Silva, S. S. et. al.: Polymers of Biological Origin, u *Comprehensive Biomaterials II*, Elsevir, ISBN: 978-0-08-100692-4, Oxford, str. 228-252
- [14] Vroman, I. & Tighzert, L.: Biodegradable Polymers, *Materials*, **2** (2009) 2, str. 307-344, ISSN: 1996-1994
- [15] Luzi, F., et. al.: Study of disintegrability in compost and enzymatic degradation of PLA and PLA nanocomposites reinforced with cellulose nanocrystals extracted from *Posidonia Ocenaica*, *Polymer Degradation and Stability*, **121** (2015) 1, str. 105-115, ISSN 0141-3910
- [16] Castro-Aguirre, E. et. al.: Poly(lactic acid) Mass production, processing, industrial applications, and end of life, *Advanced Drug Delivery Reviews*, **107** (2016), str. 333-366, ISSN: 0169-409X
- [17] Farah, S.; Anderson, D., G. & Langer, R.: Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review, *Advanced Drug Delivery Reviews*, **107** (2016), str. 367-392, ISSN: 0169-409X
- [18] Avinc, O. & Khoddami, A.: Overview of Poly(lactic acid) (PLA) Fibre, *Fibre Chemistry*, **41** (2009) 6, str. 391-401, ISSN: 0015-0541
- [19] Davachi, S. M. & Kaffashi, B.: Polylactic acid in Medicine, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, **54** (2015) 9, str. 944-967, ISSN: 0360-2559
- [20] Hadasha, W. & Bezuidenhout, D.: Poly(lactic acid) as Biomaterial for Cardiovascular Devices and Tissue Engineering Applications, u *Industrial Applications of Poly(lactic acid)*, Springer, ISBN: 978-3-319-75459-8, Cham, (2017), str: 51-77
- [21] Majdak, M.: Kemijska analiza antimikrobne prevlake biorazgradivih polimera metodom tankoslojne kromatografije, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 2020, *Dostupan na* <https://zir.nsk.hr/islandora/object/ttf%3A735>, *Pristupljeno*: 2022-12-21

OBLIKOVANJE I RAZVOJ MINI KOLEKCIJE OBUĆE I MODNIH DODATAKA

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MINI COLLECTION OF FOOTWEAR AND FASHION ACCESSORIES

Mia MAKŠAN¹; Sanja PRAHIĆ² & Suzana KUTNJAK-MRAVLINČIĆ^{3,*}

¹ Srednja strukovna škola, Varaždin, Hrvatska, mia.maksan116@gmail.com

² Tvornica obuće Midal d.o.o, Varaždin, Hrvatska

³ Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Studijska jedinica Varaždin, Varaždin, Hrvatska, skutnjaktf.unizg.hr

* Adresa za korespondenciju: suzana.kutnjak-mravlincic@ttf.unizg.hr

Sažetak: U radu je sažeto prikazan proces razvoja i izrade autorske mini kolekcije obuće i modnih dodataka inspiriranih suprematizmom. U samom procesu dizajniranja posebna pozornost posvećivala se osmišljavanju idejnih rješenja iz više sastavnih dijelova s ciljem manjeg utroška materijala i mogućnosti primjene „upcycling“ metode, odnosno kreativne upotrebe proizvodnih ostataka kože u realizaciji modela. Eksperimentalni dio rada opisuje razvoj prototipa ženskih tenisica, gležnjača i ruksaka od idejnih rješenja, projektnih crteža, odabira materijala za izradu, do konstrukcije modela te izrade šablona. Primjenom digitalnih alata izrađeni su realistični prikazi budućih modela temeljem kojih su odabrani najatraktivniji i najprikladniji za izradu prototipa. U rezultatima rada prikazana je autorska mini kolekcija ženskih gležnjača, tenisica i ruksaka, s primarnim naglaskom na dizajn, funkcionalnost i kvalitetu te mogućnost dužeg vijeka trajanja i primjene u skladu sa smjernicama održive mode.

Abstract: The paper summarizes the process of development and creation of the author's mini collection of shoes and fashion accessories inspired by suprematism. During the design process itself, special attention was paid to the creation of conceptual solutions from several components with the aim of reducing material consumption and the possibility of applying the "upcycling" method, i.e. the creative use of leather production remains in the realization of the model. The experimental part of the paper describes the development of prototypes of women's sneakers, ankle boots, and backpacks from conceptual solutions, project drawings, and selection of materials for production, to model construction and template creation. By applying digital tools, realistic representations of future models were created. Out of all, the most attractive and most suitable ones were selected for prototype creation. In the paper's results, the author's mini collection of ankle boots, sneakers, and backpacks is shown, with a primary emphasis on design, functionality, and quality, as well as the possibility of a longer product life and application in accordance with the guidelines of sustainable fashion.

Ključne riječi: dizajn obuće; održiva moda; upcycling; suprematizam; modni dodaci; razvoj modela

Keywords: footwear design; sustainable fashion; upcycling; suprematism; fashion accessories; model development

1. Uvod

Obuća i modni dodaci sastavni su dio odjevne kombinacije te kao funkcionalni i estetski dodatak upotpunjavaju i karakteriziraju pojedini modni izražaj, stil ili *outfit*. Obuća se razlikuje ovisno o tipu, namjeni, kroju, načinu izrade/proizvodnje ili materijalima iz kojih je načinjena. Cipele, čizme, gležnjače, sandale, natikače, cipele s visokom potpeticom (štikle), tenisice samo su neki primjeri osnovnih tipova obuće [1]. Tenisice, nekada isključivo sportska obuća, prerasle su svoju primarnu funkciju i postale svojevrsni kulturni simbol našeg vremena [2]. Uz ležerne i neformalne prigode, u posljednjem desetljeću društveno su prihvatljive i u formalnim (elegantnim) prilikama [3]. Modni dodaci (e. *accessoire*) uključuju široku skupinu predmeta koji čine sastavni dio odijevanja kao npr. cipele, pokrivala za glavu, rukavice, šalovi, pojasevi, čarape te proizvode određenih namjena; torbe, ruksaci, naočale, kišobrani, nakit i drugo kojima se nadopunjuje konačan izgled ili stil korisnika (e. *staying*) [4]. Mini kolekcija modnih dodataka predstavljena u ovom radu inspirirana je umjetničkim smjerom suprematizam, odnosno djelima Kazimira Maljevića. Zbog trenutačne popularnosti i zastupljenosti na tržištu za realizaciju prototipova obuće i modnih dodataka

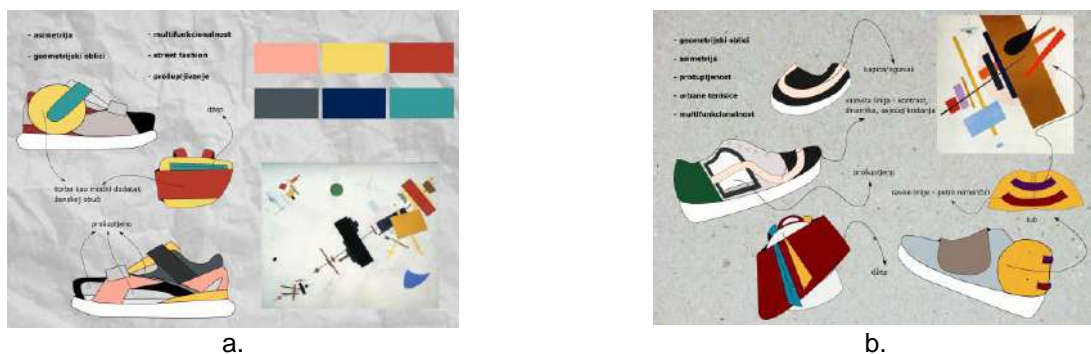
odabrane su tenisice, gležnjače i ruksaci uz primjenu „upcycling“ metode u skladu s konceptima održivog razvoja tj. smjernicama održive mode. Suvremena ili brza moda i neodrživa proizvodnja tekstila, odjeće i obuće dovela je modnu industriju na vrh liste najvećih zagađivača okoliša, od nabave i preradivanja sirovina, kroz proizvodnju, distribuciju, upotrebu i konačno odlaganje [5]. Zbog nepovratnih šteta okolišu; velikih količina štetnih plinova, kemikalija, otpadnih voda te otpada općenito, održivost u modi prepoznata je kao važno pitanje sa sve većom potražnjom za ekološki održivim proizvodima. Jedan od načina stvaranja održive ili „spore“ mode (e. *slow fashion*) je „upcycling“ metoda. Termin „upcycling“ uveden je kao bolje rješenje od recikliranja, a podrazumijeva kreativne transformacije; proizvodnih viškova kao npr. kože, tekstila i drugih materijala ili prenamjenu odbačenih ili istrošenih odjevnih predmeta s primarnim ciljem smanjenja otpada [6].

2. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu rada prikazan je i vizualno dokumentiran postupak dizajniranja obuće i modnih dodataka od koncept dizajna, izrade i razrade idejnih rješenja do razvoja prototipa ženske gležnjače i tenisice te dva modela ruksaka uključujući konstrukciju i modeliranje, izbor materijala te izradu šablona.

2.1 Koncept dizajn

Razvoj modela započinje procesom prikupljanja ideja koje se objedinjuju u vidu koncept dizajna. Koncept dizajn je početna slika ili nacrt promišljanja dizajna budućeg proizvoda, a primjenjuje se u svim granama produkt dizajna ili umjetničkog stvaralaštva [7]. Prikazuje idejno promišljanje vizualnih i funkcionalnih segmenta budućeg proizvoda temeljem odabrane inspiracije. Osmišljavanje koncept dizajna ove kolekcije inspirirano je asimetričnim kompozicijama Kazimira Maljevića; *Supremus* br. 56 i *Suprematizam* iz 1916. god. (slika 1). Geometrijski oblici, pravilni i nepravilni, ravne i zakrivljene linije te kontrastne i jarke boje bili su poticaj za detalje kako dekorativne tako i funkcionalne u dizajniranju kolekcije obuće i modnih dodataka.

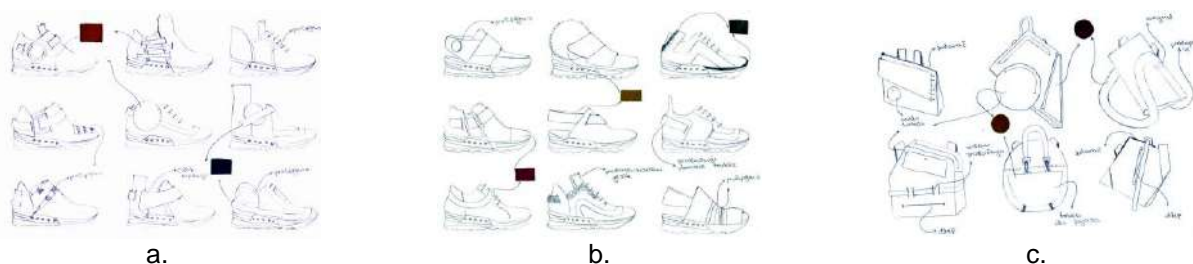


Slika 1: Koncept dizajn inspiriran djelom K. Maljevića: a. *Supremus* br. 56 i b. *Suprematizam* 1916. [8]

Prikazani radovi rađeni su u računalnom vektorskom programu *Inkscape* jer omogućuju brže vrijeme izrade, jednostavne i brze korekcije te zorne vizualne prezentacije.

2.2 Idejna rješenja kolekcije modnih dodataka

Kreativnom igrom uglatih i oblikih oblika, ravnim i zakrivljenim linijama, izmjenom pravilnog i nepravilnog ritma izrađene su početne skice različitih tipova ženske obuće od gležnjača, cipela, tenisica do sandala prikazanih na slici 2a i 2b. Osnovna nit vodilja u osmišljavanju torbi bila je kombinacija ravnih i zakrivljenih linija, te pravilnih geometrijskih oblika i asimetrična kompozicija. Zbog svoje trenutačne popularnosti i prisutnosti u svim modnim stilovima dizajnirani su multifunkcionalni ruksaci prikazani na slici 2c. Motiv kruga pojavljuje se kao dekorativni ili funkcionalni detalj kompozicije ili kao osnovni oblik ruksaka uz uglate i pravilne forme, najčešće trapezoidnih oblika.



Slika 2: Idejne skice kolekcije obuće i ruksaka: a i b, različiti tipovi obuće i c, ruksaci [8]

Prošupljivanjem pojedinih krojnih dijelova te provlačenjem remenića i trakica, na različitim krojnim dijelovima gornjišta, željela se postići dinamičnost karakteristična za odabrani poticaj. Također se nastojalo kombinirati krojne dijelove i aplikacije manjih veličina i dimenzija s ciljem realizacije modela „upcycling“ metodom. Slika 3 prikazuje idejna rješenja različitih tipova ženske obuće.



Slika 3: Idejna rješenja različitih tipova ženske obuće [8]

2.3 Razrada mini kolekcije ženske obuće i ruksaka

Kako bi se cijela kolekcija učinila što atraktivnija i cjelovita planirana je realizacija prototipa tenisice i gležnjače te multifunkcionalnih ruksaka usklađenih s dizajnom pripadajućeg prototipa obuće tako da čini komplet. Odabran je tradicionalni i još uvijek najcjenjeniji materijal u obućarstvu i galanteriji – koža. Uzorci koža različitih po boji, teksturi i vrsti, za prototip tenisice i ruksaka br. 1 prikazani su na slici 4a, a za prototip gležnjače i ruksaka br. 2 na slici 4b.



Slika 4: Uzorci koža: a. za tenisicu i ruksak br. 1 i b. za gležnjaču i ruksak br. 2 [8]

Temeljem odabranih materijala razrađene su moguće kombinacije boja materijala na različitim krojnim dijelovima. S obzirom da je kombinirano sedam materijala različitih po boji i teksturi, prikazane su samo neke od mogućih kombinacija (slike 5 i 6). Atraktivnost gležnjača naglašena je dominantnim žutim krugom na vanjskom dijelu sarice. Kako bi se zadržala asimetrija prisutna na krojnim dijelovima kapice i na lubnom je dijelu kreiran asimetričan dekorativni umetak različitih kombinacija boja na lijevoj i desnoj gležnjači (slika 5b). Na prototipu tenisice asimetrija je dodatno naglašena različitim razmještajem kombinacija materijala na krojnim dijelovima lijeve i desne tenisice (slika 5a).



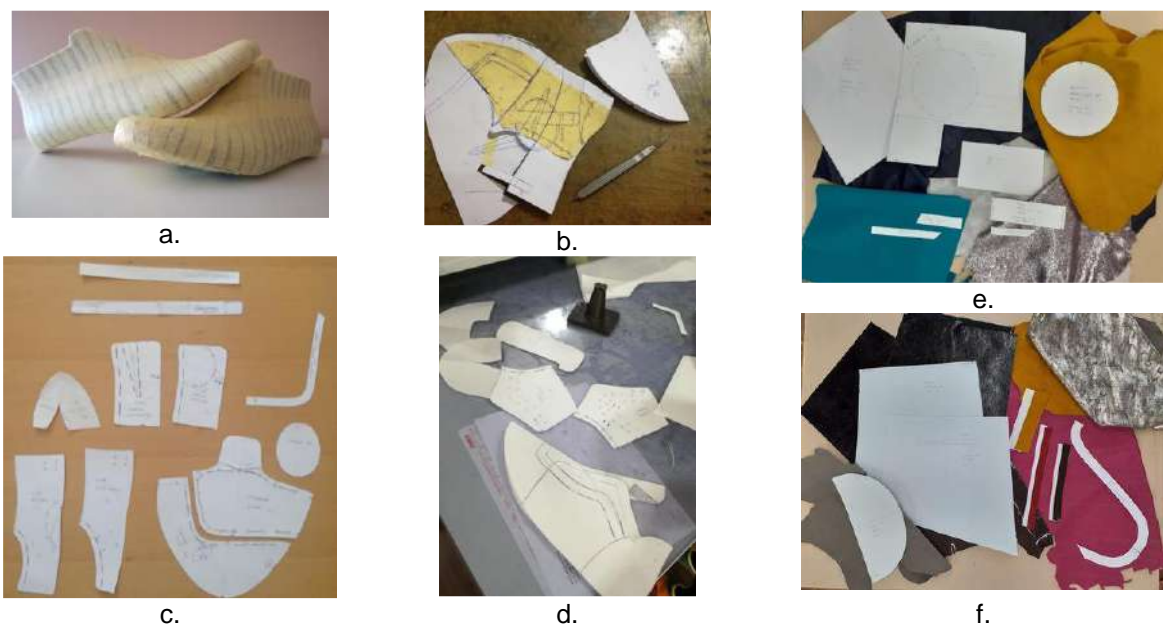
a. b.
Slika 5: Razrada po boji odabranih idejnih rješenja obuće: a. tenisice i b. gležnjače [8]



a. b.
Slika 6: Razrada po boji odabranih idejnih rješenja ruksaka: a. ruksak br. 1 i b. ruksak br. 2 [8]

2.4 Konstrukcija i modeliranje mini kolekcije modnih dodataka

Nakon izabranih rješenja za realizaciju planirane mini kolekcije modnih dodataka odabire se kalup s pripadajućim đonom za prototipove obuće. Đon je važan sastavni dio obuće te formom, veličinom i bojom značajno utječe na estetski izgled ali i na udobnost obuće. Za prototip gležnjače odabran je đon smeđe boje s bakreno smeđim detaljima i tamno smeđim potplatom, dok je za prototip gležnjače odabran isti model đona bijele boje s boje sa sivim linearnim detaljima i potplatom oker boje.



Slika 7: Konstrukcija i modeliranje mini kolekcije modnih dodataka: a. obljepljivanje kalupa, b. konstrukcija i modeliranje gležnjače, c. šablone s tehnološkim oznakama ženske gležnjače, d. šablone s tehnološkim oznakama ženske tenisice, e. izrađene šablone i priprema za krojenje ruksaka br. 1 i f. izrađene šablone i priprema za krojenje ruksak br. 2 [8]

3. Rezultati rada

Nakon procesa razvoja mini kolekcije modnih dodataka slijedi izrada po industrijskim fazama unutar krojarne, šivaone, montaže i finiša. Realizirani prototipovi tenisica, gležnjača i ruksaka prikazani su na slici 10.



Slika 10: Realizirani prototipovi tenisica, gležnjača i ruksaka [8]

4. Zaključak

Realizirana funkcionalna mini kolekcija ženske obuće i modnih dodataka atraktivnog je dizajna, sačinjena od četiri prototipova izrađenih u okvirima industrijske proizvodnje prema svim fazama i postupcima od početnog koncepta dizajna i cjelokupnog razvoja do završne izrade. S obzirom na primjenu „upcycling“ metode najveći izazov bio je izbor ostataka kože te njihovo usklađivanje sa zamišljenim segmentima i kombinacijama kontrastnih boja stoga su tijekom izrade pojedini elementi korigirani prema dimenzijama raspoloživih materijala, no postavljeni cilj je postignut, dizajn autorske kolekcije u skladu sa smjernicama održive mode.

Literatura

- [1] Fashionary: Shoe Style Library, *Shoe design A Handbook for Footwear Designers*, Fashionary International Ltd, (2016), str. 5-9
- [2] Kutnjak-Mravlinčić, S.; Sutlović, A.: Tenisica – cipela dvadesetog stoljeća, Zbornik radova 10. znanstveno–stručnog savjetovanja tekstilna znanost i gospodarstvo - Komplementarnost znanosti, tehnologije i dizajna, Glogar, M. I. (ur.), str 147-151, ISSN 2459-8186, Zagreb, siječanj 2017, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno – tehnološki fakultet, (2017)
- [3] Braithwaite, N.: How sneakers became a \$79 billion business—and an undisputed cultural symbol for our times, *Dostupan na* <https://www.fastcompany.com/90637534/how-sneakers-became-a-79-billion-business-and-an-undisputed-cultural-symbol-for-our-times>, *Pristupljeno: 2022-12-5*
- [4] Donnanno. A.: *La tecnica deo modelli accessori moda*, Ikon Editrice, ISBN 8889628111, Milano, (2004)
- [5] Gardett, M. A.; Torres, A. L.: Sustainability in Fashion and Textiles Values, Design, Production and Consumption, ISBN-13: 978-1-906093-78-5, Taylor & Francis (2013)
- [6] Lovelady, C.H.: Upcycling For a Better World, *Dostupan na* <https://www.ncreators.org/upcycling-for-a-better-world>, *Pristupljeno: 2022-12-8*
- [7] Motawi, W.: How shoes are made: A Behind the Scenes Look at a Real Sneaker Factory, ISBN 0998707031, Wade Motawi, (2017)
- [8] Makšan, M.: Oblikovanje kolekcije ženske obuće i modnih dodataka inspiriranih supremantizmom, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Studij u Varaždinu, (2020)

OD RESTAURACIJE ETNOGRAFSKOG PREDMETA DO IZRADE KOPIJE FROM THE RESTORATION OF AN ETHNOGRAPHIC ARTIFACT TO REPRODUCTION

Sara VLADIĆ¹; Danijela JEMO^{2,*}; Sanja SERHATLIĆ² & Mateo Miguel KODRIČ
KESOVIA²

¹ Zagreb, Hrvatska; saravladic18@gmail.com

² Sveučilište u Dubrovniku, Dubrovnik, Hrvatska; danijela.jemo@unidu.hr; sserhat@unidu.hr; mmkesov@unidu.hr

* Adresa za korespondenciju: danijela.jemo@unidu.hr

Sažetak: *Etnografske svečane cipele opisane u ovom radu pripadaju bogatom fundusu narodnih nošnji Etnografskog muzeja, Dubrovački muzeji. Datirane su u kasno 19. st. i jedini su primjerak ovoga tipa cipela u zbirci. Kako bi se sačuvala materijalna forma i vrijednosti ovako jedinstvenog predmeta kulturne baštine ovoj se problematici pristupilo s dva aspekta. Prvo je proveden detaljan konzervatorsko-restauratorski zahvat nakon kojega je slijedila izrada njihove kopije, a sve prema odobrenju Konzervatorskog odjela Ministarstva kulture i medija RH. Konzerviranje i restauriranje višeslojnog, trodimenzionalnog predmeta izrađenog od tekstila i kože predstavlja posebnu problematiku, koja je dodatno naglašena slabom istraženosti etnografske obuće s područja Hrvatske, što će se dodatno obraditi u radu.*

Abstract: *The formal ethnographic shoes described in this article belong to the extensive collection of folk costumes of the Ethnographic Museum, Dubrovnik Museums. They date from the end of the nineteenth century and are the only example of this kind of footwear in the collection. In order to preserve the material form and values of such a unique cultural heritage artefact, this Issue has been approached from two perspectives. First, a detailed conservation-restoration procedure was performed, followed by making their copy, all this in accordance with the approval of the Conservation Department of the Ministry of Culture and Media of the Republic of Croatia. The conservation and restoration of a multi-layered, three-dimensional object made of textiles and leather represents a special problem, which is highlighted by the lack of research on ethnographic shoes in Croatia, also addressed in this paper.*

Ključne riječi: *tradicijska obuća; koža; tekstil; konzervacija-restauracija, kopistika*

Keywords: *ethnographic footwear; leather; textile; conservation-restoration; copy making*

1. Uvod

Hrvatska je vrlo bogata etnografskom baštinom koja se odlikuje raznolikošću materijala, desena i tehnika izrade. S obzirom na to da se doživljava kao manje zanimljiv dio narodne nošnje tradicijska obuća najmanje je proučavana od strane stručnjaka. Glavni tip obuće koja se stoljećima koristila na područjima Hrvatske bili su opanci. Izrađivali su ih vješti pojedinci od biljno štavljene kože domaćih životinja, najčešće teleće, govede, svinjske i kozje, a rjeđe konjske, koja je korištena za izradu gornjišta i od kožnog potplata. U početku nije bilo razlike između lijeve i desne cipele, a jedan par koristio se u svim prilikama i godišnjim dobima [1]. Godine 1963. autorica Nevenka Bezić-Božanić sastavila je popis majstora s područja Dalmacije iz razdoblja od 13.-19. stoljeća raspoređenih po djelatnostima [2]. U kategoriji Majstori tekstilne i kožarske struke, uz krojače, krznare, suknare, klobučare i bojadisare, donosi popis čak 160 kožara i 290 obućara koji su djelovali u tom razdoblju.

Temelji gospodarstva u Hrvatskoj bili su mali obrtnici i cehovi, sve do prve trećine 19. st. kada započinje industrijska revolucija i ubrzani razvitak strojeva za masovnu proizvodnju. Obuća poprima svečaniji oblik te se dodaju ukrasi. Od tada građanska cipela postaje obuća za svečane prilike, a opanak dobiva ulogu isključivo radne obuće. Nakon II. Svjetskog rata opanke polako zamjenjuju drugi tipovi obuće, dok se oni počinju koristiti isključivo za posebne prilike kao što su folklorne izvedbe, proštenja i razne svetkovine [1].

Na Dubrovačkom području, preko opanaka, nosili su se nazuvci. Prekrivali su potkoljenicu i dio stopala sve do prstiju. Bili su domaće izrade i služili su kao zaštita noge od zemlje, kamenja i vlage prilikom kopanja.

Izrađivali su se od lana, vune, brnistre, kostrijeti, kože ili kozje mješine. Ovaj dio tradicijske radne odjeće imao je svoju vrijednost pa se darivao kao sastavni dio miraza (tj. prčije ili dote) [3]. Kao svečana obuća, ali i obuća nošena u kući, koristile su se papuče. U Dubrovniku su se mogle kupiti svečane papuče izrađivane od tamno crvene kože zvane kajser. Na njih su naknadno prišivane kite od crvene svile [4].

Rijetki su primjeri u praksi konzerviranja i/ili restauriranja etnografske obuće, jer se zbog načina uporabe i odnosa prema njoj nije mnogo sačuvala. Konzervacija-restauracija predmeta izrađenog od različitih materijala predstavlja poseban izazov i zahtjeva interdisciplinarnu suradnju konzervatora-restauratora iz više specijalnosti. Doprinos u razumijevanju ove problematike predstavlja konzervatorsko-restauratorski zahvat obrađen u ovome radu, proveden na paru cipela s Dubrovačkog područja iz zbirke Etnografskog muzeja u Dubrovniku. Datirane su u kasno 19.st. i jedini su sačuvani primjerak ovog tipa cipela u zbirci. Iako je tradicijska obuća vrlo malo istraživana, proučavanjem dostupne literature, analizom i izradom detaljne dokumentacije cipela iz zbirke Etnografskog muzeja u Dubrovniku bilo je moguće izraditi njihovu vjernu kopiju koja je postala sastavni dio muzejske zbirke. Kopijom su zamijenjene cipele izložene u stalnom postavu muzeja. Restauracija cipela i izrada njihove kopije opisane su u diplomskom radu studentice Sare Vladić. Voditeljica cjelokupnog projekta bila je doc. dr. sc. Danijela Jemo. Konzervatorsko-restauratorski radovi provedeni su na Sveučilištu u Dubrovniku u radionicama za konzervaciju-restauraciju tekstila i papira. Izrada kopije cipela započela je u radionici za tekstil na Sveučilištu u Dubrovniku, a nastavila se u postolarskoj radionici *Cipele Zlatko* u Zagrebu.

2. Definicije određenih dijelova tradicijske obuće

Tijekom konzervatorsko-restauratorskog rada na projektu suradnici su se susreli s brojnim izazovima u opisivanju, imenovanju i usklađivanju strukovnog nazivlja i terminologije. Iz tog razloga, u ovome radu donesene su neke definicije određenih dijelova obuće i pojmovi koji se često rabe u struci ali i oni manje poznati. Nerijetko su se izrazi korišteni u praksi prenosili usmenim putem s generacije na generaciju majstora zanata, kao što su definicije nekih osnovnih pojmova poput gornjišta, podstave, potplata, itd. U suvremenoj komunikaciji, stječe se dojam da ono što nije potrebno prosječnom trgovcu ili kupcu teško da se može pronaći u standardnom rječniku.

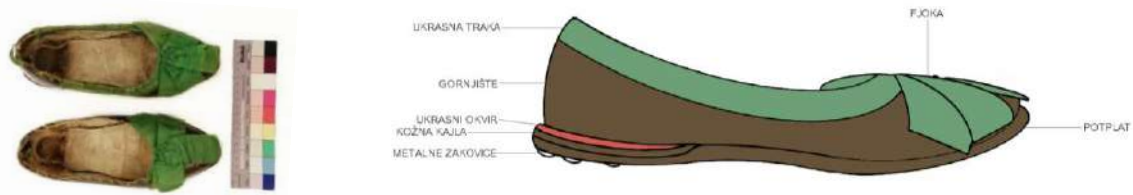
Radi jasnijeg razumijevanja tradicijske obuće te kako bi se stručnom terminologijom opisao izgled i tehničke karakteristike predmeta korišteni izrazi u radu preuzeti su iz bilješki gospodina Siniše Klarića, bivšeg učenika Škole za tekstil, kožu i dizajn u Zagrebu, koje je zabilježio u periodu od školske godine 1992./1993. do školske godine 1994./1995. na nastavi predmeta „Poznavanje materijala, Crtanje i modeliranje i Tehnologija obuće“ i monografskog kataloga autorice Zec B. [5] (Slika 1b):

- *Uložna tabanica* – uložak postavljen u unutrašnjost cipele
- *Temeljna tabanica* – nalazi se između potplata i uložne tabanice. To je sloj za koji se potplat lijepi ili prišiva za ostatak cipele.
- *Gornjište* je još nazivano i kapičasti dio pa je i koža za njegovu izradu u nekim dijelovima Hrvatske zvana kapčarka [1].
- *Lub* - Stražnji dio cipele
- *Potplat* - donji dio cipele u dodiru s tlom
- *Kajla* - sloj kožnog đona postavljan u predjelu pete umjesto potpetice
- *Fjoka* - mašna izrađena od ukrasne vrpce

3. Konzervatorsko-restauratorski zahvat na cipelama iz Etnografskog muzeja

Cipele obrađene u ovom radu dio su fundusa bogate zbirke Etnografskog muzeja iz sastavnice Dubrovačkih muzeja u Dubrovniku (Slika 1). Kao jedini sačuvani primjerak ovog tipa tradicijske obuće predstavljaju neprocjenjiv dio baštine dubrovačkog područja. Postojeća dokumentacija preuzeta je iz muzejske dokumentacije u kojoj se nalaze primarni podatci o predmetu koji je zaveden pod inventarnim brojem DUM EM 5208 i monografskog kataloga autorice Zec B. [5]. Iz razloga što su u ovom paru cipela identične lijeva i desna strana, nakon zapremanja u radionicu na Sveučilištu u Dubrovniku, svakoj je cipeli dodijeljen interni inventarni broj radi lakšeg raspoznavanja i vođenja dokumentacije.

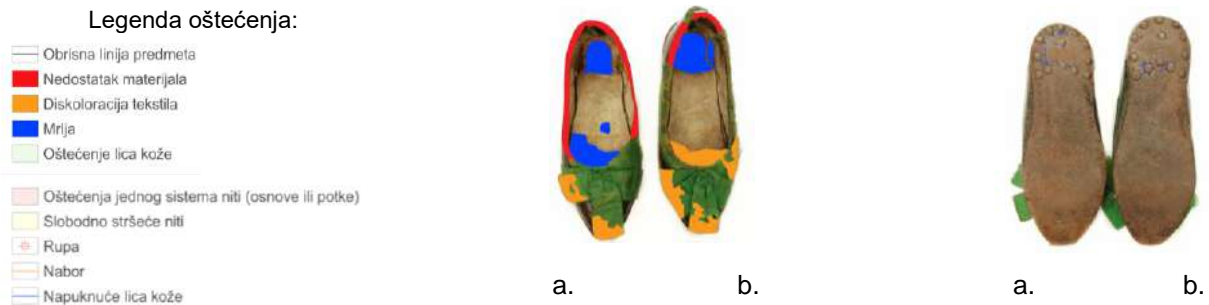
Svaka cipela sastoji se od kožnih i tekstilnih dijelova koji su međusobno spojeni tehnikama šivanja ili lijepljenja te zakovica u petnom dijelu. Kožni dijelovi cipela su gornjište, podstava, uložna tabanica i potplat. Pod tekstilne dijelove ubrajamo ukrasne vrpce prišivene uz rub cipela i fjoke (mašne; izraz fjoka preuzet je iz opisa ovog predmeta u katalogu izložbe [5]).



Slika 1: Par cipela inv.br. DUM EM 5208: a. Fotografija totala, b. Grafički prikaz s označenim dijelovima cipele

3.1 Zatečeno stanje

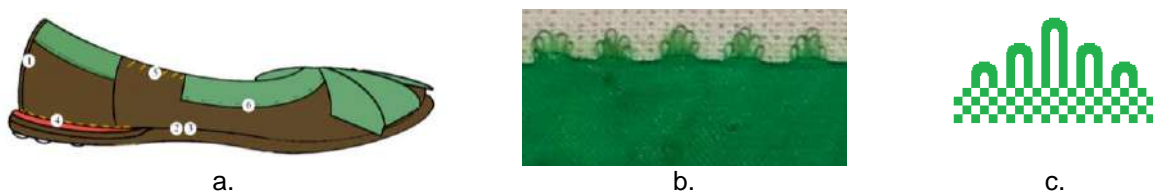
Obje su cipele kompaktne i cjelovite. Na pojedinim dijelovima vidljiva su oštećenja tekstila i kože koja su dokumentirana fotografski, opisno i grafički (Slika 2). Najveće oštećenje tekstilnog materijala izraženo je na obje cipele u vidu djelomičnog ili potpunog nedostatka zelene vrpce na rubovima cipele. Na preostalom tekstilu mjestimice su prisutna oštećenja u obliku manjih rupa, poderotina, mrlja i nabora te blijeđenja boje. Na kožnim dijelovima nalaze se nakupljene nečistoće u unutrašnjosti cipela, manja oštećenja prisutna su u obliku ogrebotina na licu kože gornjišta te nekoliko vrlo malih rupica i oštećenja na rubovima uložnih tabanica. Također, na đonu su primijećene pukotine u koži koje se šire radijalno oko gotovo svake zakovice zabijene u petnom dijelu. Na metalnim zakovicama prisutna je korozija dok je karton ispod uložne tabanice mjestimice raslojen i odlijepljen od površine.



Slika 2: Grafički prikaz oštećenja na obje cipele: a. desna cipela int.inv.br. 5208 2-2, b. lijeva cipela int.inv.br. 5208 1-2

3.2 Preliminarna istraživanja

Ova su istraživanja obuhvaćala dokumentiranje svih tehnika izrade predmeta, analizu sirovinskog sastava materijala, probe mokrih tretmana uklanjanja nečistoća i testiranje postojanosti bojila na tekstilu. Dokumentirani su svi šavovi zatečeni na predmetu, načini njihove izrade i položaj. Analizom veza u tkanju zelenih ukrasnih vrpca utvrđena je jednolična struktura materijala dobivena u platno vezu, gustoće niti osnove 52 niti/cm i potke 40 niti/cm. Tkanina je po vrsti svileni taft s rubovima u cik-cak efektu kojeg radi potka u procesu tkanja stvarajući omčice različite duljine (Slika 3b,c).



Slika 3: Preliminarna istraživanja: a. Raspored šavova na cipeli, b. Detalj vrpce obrubne tkanine, c. Grafički prikaz platno veza u tkanju i potki koje stvaraju cik-cak efekt

Provedeno je uzorkovanje vlakana osnove i potke tekstilnog materijala, te je mikroskopskom analizom i testom gorenja utvrđeno da se radi o vlaknima svile. Također, analizirani su i uzorci dviju pređa korištenih za prišivanje ukrasnih traka i fjoka na cipele. Utvrđeno je kako su obje pređe, žuta (tronitna pređa S-uvoja) i zelena (tronitna pređa Z-uvoja), po sirovinsku sastavu pamuk. Prije samog procesa pranja, na malom uzorku materijala, bilo je potrebno utvrditi pH tkanine i sirovinski sastav o kojem je ovisio odabir adekvatnog deterdženta za pranje. Testiranje postojanosti bojila na tekstilu provedeno je kako bi se utvrdilo jesu li boje izvorne tkanine postojane i postoji li mogućnost provođenja mokrog tretmana uklanjanja nečistoća s materijala. Rezultati su pokazali da u mokrom stanju dolazi do blagog otpuštanja boje zbog čega je bio potreban dodatni oprez prilikom pranja.

Postupci čišćenja kože i kemikalije koje se pri tome koriste ovise o vrsti kože i štavila. Preliminarnom vizualnom i taktilnom analizom često se može dobiti dovoljno informacija, koje u kombinaciji s iskustvom, mogu upućivati na zaključak radili se o ne štavljenoj koži ili štavljenoj biljnim, aluminijskim ili kromnim štavilom [6,7]. Neke indicije o prisustvu konsolidanata, veziva, lakova i apretura mogu se dobiti UV fluorescencijom. Ovom metodom također se mogu otkriti i mogući znakovi naknadnih intervencija na predmetu [8,9]. Kože štavljene kromnim štavilom tretiraju se drugačije u odnosu na one štavljene ostalim vrstama štavila. Tijekom preliminarnih istraživanja pretpostavljeno je da korišteno štavilo nije bilo kromno te da na predmetu nema zakova naknadnih intervencija, što je odredilo proces čišćenja. Na kožnim dijelovima napravljene su tri probe (sonde) kao bi se odredio idealan omjer etanola i destilirane vode najprikladniji za čišćenje kože (Slika 5a).

3.3 Provedeni konzervatorsko-restauratorski radovi

Nakon proučavanja materijalne forme predmeta i na temelju procjene zatečenog stanja izrađen je prijedlog konzervatorsko-restauratorskih radova po fazama i planiranim ishodima. Dobivene informacije utjecale su na odabir metoda i tijekom konzervatorsko-restauratorskog zahvata poput mokrih tretmana uklanjanja nečistoća ili pak konsolidacije oštećenja, a u ovom slučaju bile su ključne za izradu vjerne kopije predmeta. Tijekom preliminarnih analiza, primijećene su nečistoće na površini i među slojevima predmeta zbog čega je provedeno mehaničko uklanjanje nečistoća (Slika 4a).

Zbog slojevitosti predmeta i uporabe različitih vrsta materijala bilo je neophodno provesti parcijalnu dekompoziciju nekih dijelova. Odvojeni su svi tekstilni dijelovi predmeta te uložna i temeljna tabanica. Pri odvajanju fjoke detaljno je dokumentiran način na koji je ukrasna vrpca originalno presavijana, kako bi se pri ponovnom spajanju nakon konzervatorsko-restauratorskog zahvata oblik fjoke mogao pravilno rekonstruirati. Zbog potrebe da se tekstilni i kožni dijelovi cipela tretiraju u različitim radionicama izrađena je specijalna podloga za rukovanje cipelama s posebnim utorom oblikovanim prema dimenzijama potplata i malim uzdignućem na mjestu gdje su špice cipela uvinute prema gore. Napravljena je tako da se obje cipele sigurno smjeste jedna do druge i tako olakša transport i manipulacija predmetom.

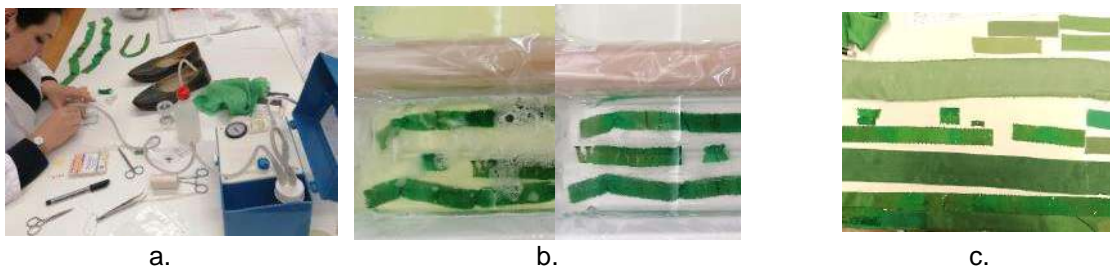
Mokri tretmani provedeni su u svrhu uklanjanja vezanih nečistoća koje nije bilo moguće ukloniti mehaničkim putem te u svrhu stabilizacije pH materijala kako bi mu se povratila podatnost i mekoća. Prije provedbe mokrog tretmana obrisne linije svih tekstilnih dijelova iscrtane su na Melinex foliji kako bi se mogle pratiti eventualne dimenzijske promijene za svaki pojedini fragment tkanine. Umetanjem u sendvič od tila zaštićena su vrlo oštećena područja ukrasnih traka kako bi se izbjegla dodatna oštećenja u procesu pranja. Pranje je provedeno u više faza (Slika 4b). Prvo su fragmenti uronjeni u otopinu destilirane vode i octene kiseline (pH=4-5) kako bi se fiksiralo nepostojano bojilo, a zatim su prani naizmjeničnim uranjanjem u otopinu pH neutralnog *Restore* deterdženta (5 ml/l) i ispiranjem u čistoj destiliranoj vodi. Dok je prije procesa pranja pH tkanine bio bliži neutralnom području (pH 6,8 - 7), nakon pranja, zbog dodatka octene kiseline, blago se pomaknuo prema kiselom području (pH 6,5 – 6.7), što više odgovara proteinskim vlaknima.

Nakon pranja tekstil je izvađen iz sendviča od tila, položen na ravnu podlogu. Iglicom za histološke preparate isparalelizirane su niti osnove i potke, ispravljene distorzije u strukturi materijala koji je opterećen stakalcima radi sprečavanja gužvanja. Procesu mokrog uklanjanja nečistoća podvrgnuti su i svi kožni dijelovi predmeta primjenom 50% otopine etanola i destilirane vode (Slika 5a, sonda 2). Metodologija je određena prema rezultatima analize štavila i odabirom odgovarajućeg tretmana koji se pokazao dovoljno učinkovit a najmanje štetan za predmet. Tvrdokornije mrlje na petnom dijelu uložnih tabanica tretirane su otopinom umjetne govede slin (mucina) u destiliranoj vodi. Nakon čega je sve detaljno očišćeno destiliranom vodom.

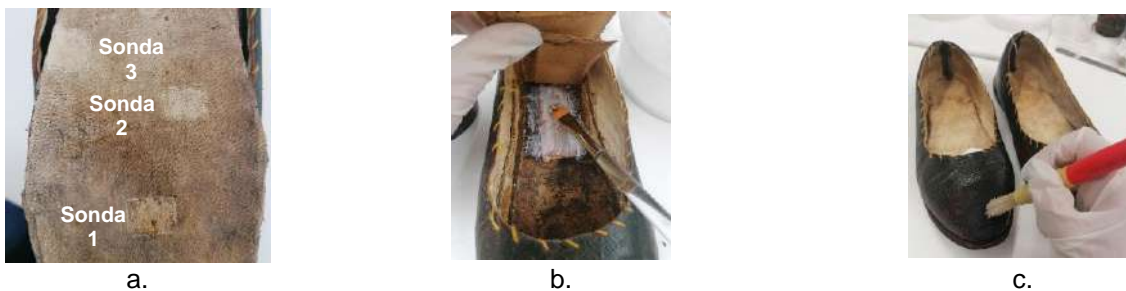
Kako bi se predmet dodatno zaštitio i kako bi se usporilo daljnje propadanje, na kožne dijelove te metalne zakovice nanoseni su adekvatni zaštitni slojevi. Na koži je to provedeno upotrebom mikrokristalinskih voskova (Slika 5c), a na zakovicama upotrebom Paraloida B72. Konsolidiranje oštećenih dijelova predmeta odvijalo se prema sljedećim fazama. Prvo su tekstilni fragmenti podloženi novom tkaninom odgovarajućih konstrukcijskih karakteristika, koja je prethodno pripremljena bojadisanjem kako bi se ton boje uskladio s izvornikom. Zbog neravnomjerne fotodegradacije tekstilnih dijelova, pronalazak adekvatnih tonova zelene boje predstavljao je poseban izazov. Dok je na oštećenim dijelovima tekstila prevladavao žuti ton boje, ostala skrivena mjesta koja su bila zaštićena tijekom vremena bila su izraženijeg plavog tona, što je upućivalo na zaključak da je izvorni ton zelene boje dobiven miješanjem plavog i žutog bojila. Iz tog razloga, trebalo je novu tkaninu obojadisati u odgovarajuće tonove zelene boje koji će se uklopiti s oštećenim područjima originalne tkanine. Prvo su na malim uzorcima tekstila provedene 26 probe bojadisanja *Lanaset* bojilima sve dok nisu dobivene zadovoljavajuće recepture po kojima su pripremljene tkanine za podlaganje i konsolidaciju oštećenih područja izvornika i one kojima će biti nadomješteni dijelovi koji nedostaju (Slika 4c).

Ovisno o stupnju oštećenja izvorne tkanine podlagane su parcijalno ili u potpunosti te konsolidirane šivanjem restauratorskim bodom. Fjoke su podlagane djelomično jer su oštećenja bila mala i lokalna, dok su fragmenti ukrasne rubne trake podlagani u potpunosti. Na mjestima na kojima je nedostajala izvorna vrpca napravljena je rekonstrukcija prema sačuvanim originalnim uzorcima. Kako bi se postigao cik-cak efekt rubova izvornika, rubovi nove tkanine podlijepljeni su *Archibond Tissue* papirom i obrađeni cik-cak škarama. Ova metoda napravljena je prema uzoru na jednu od faza tretmana oslikanog svilenog kostima iz kolekcije V&A Muzeja, upotrebom japan papira tretiranog s ljepljivom [10].

Korištenjem nove kože izrađene su integracije na dijelovima gdje je originalni materijal nedostajao. Dublje ogrebotine i rupe sanirane su upotrebom kožne paste dobivene mješavinom kožnih vlakana i ljepljiva. Zbog mjestimičnih oštećenja lica kože i izvedbe integracija neobojenom kožom, dijelovi predmeta su tonirani bojama za kožu. Kožna uložna tabanica i slojevi kartona ispod nje međusobno su razdvojeni kako bi se efikasnije proveli postupci čišćenja. Nakon što je čišćenje završeno, raslojeni slojevi međusobno su ponovno zalijepljeni smjesom dva ljepljiva: Jade 403 i 5% Tylose MH₃00P (Slika 6b). Isto ljepljivo korišteno je i za podlijepljivanje prednjeg dijela kožnog potplata.



Slika 4: Restauratorski zahvati na tekstilnom materijalu: a. Mehaničko čišćenje tekstila aspiratorom, b. Prvo namakanje tekstila i završno ispiranje u destiliranoj vodi, c. Različiti uzorci tekstila pripremljeni bojadisanjem



Slika 5: Restauratorski zahvati na koži: a. Probe mokrog tretmana uklanjanja nečistoća s kožne uložne tabanice, b. Lijepljenje raslojenih slojeva kartona za kožnu tabanicu, c. Nanošenje mikrokristalnog voska

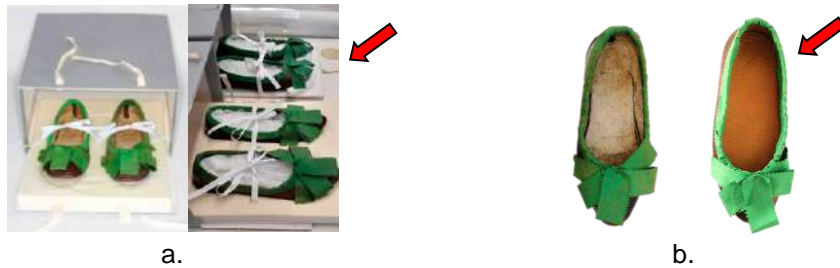
U posljednjoj fazi radova na predmetu, tekstilni dijelovi prišiveni su na predmet. Na mjestima gdje je nedostajao originalni tekstilni materijal, a za koja se sa sigurnošću znalo da je postojao, napravljena je rekonstrukcija poštujući izvorni način izrade.

4. Izrada kopije cipela

S obzirom na jedinstvenost i veliku vrijednost originalnih cipela odlučilo se pristupiti izradi njihove kopije kojom bi se zamijenio izvornik koji je do tada bio izložen kao dio kompleta narodne nošnje dubrovačkog područja s kraja 19.st. Tijekom prethodnog konzervatorsko-restauratorskog zahvata dobiveno je mnogo važnih podataka o materijalima i tehnikama korištenim u izradi izvornika, koji su se pokazali vrlo važnim pri izradi kopije. Proces izrade kopije cipela s detaljnim opisom radova prezentiran je na 17th International Conference of Conservation-Restoration Studies [11]. Radovi su se odvijali u radionici za konzervaciju-restauraciju tekstila na Sveučilištu u Dubrovniku i Salonu cipela Zlatko, Ilica 21, 10 000 Zagreb.

Faze radova odvijale su se prema sljedećem redoslijedu:

- Izrada odljeva za kalup i odljeva za izradu kroja gornjišta.
- Izrada drvenog kalupa na temelju odljeva.
- Izrada krojnih dijelova za gornjište i podstavu; krojenje i šivanje gornjišta.
- Navlačenje gornjišta na kalup.
- Izrada potplata.
- Izrada ukrasnih traka i fjoka.
- Nanošenje zaštitnih slojeva i prišivanje tekstilnih dijelova.
- Izrada kutije za pohranu i transport od beskiselnih materijala konzervatorske kakvoće.



Slika 6: Priprema predmeta za pohranu i transport: a. muzejske cipele nakon zahvata u kutiji s uložnom podlogom za cipele, b. izvornik i njegova kopija (označene strelicom)

5. Zaključak

Provedeni konzervatorsko-restauratorski radovi i izrada kopije cipela inv.br. DUM EM 5208 predstavljaju vrlo zanimljiv i edukativan projekt međuinstitucijske suradnje Odjela za umjetnost i restauraciju Sveučilišta u Dubrovniku s Etnografskim muzejom i postolarskom radionicom. Izrada dokumentacije o predmetu, zatečenom stanju i provedenim radovima bila je otežana zbog pomanjkanja adekvatne i usustavljene terminologije. Trodimenzionalnost predmeta i različitost materijala od kojih su cipele napravljene predstavljao je dodatni izazov. Kako se ne bi narušila cjelovitost predmeta provedena je samo nužna dekompozicija zbog koje nije bilo moguće tretirati svaki sloj predmeta zasebno. Zbog toga su neke faze izostavljene poput mokrog tretmana uklanjanja nečistoća s kartona koji je korišten za izradu temeljne tabanice na originalnom paru cipela. Zbog više različitih materijala na predmetu konzervatorsko-restauratorski zahvat provodilo je više osoba u radionici za tekstil i radionici za papir na Sveučilištu u Dubrovniku. Sve je to zahtijevalo pažljivu koordinaciju i planiranje redoslijeda kojim će se pojedine faze radova odrađivati. Izrada kopije vrlo vrijednog predmeta kulturne baštine predstavljala je poseban izazov jer se takvi projekti rijetko rade. U tom procesu neminovno dolazi do određenih odstupanja u materijalima i tehnikama izrade koje se danas primjenjuju iz razloga što sve treba biti podređeno izvorniku kako bi se dobila njegova vjerna kopija. Konzervatorsko-restauratorskim zahvatom i trajnom pohranom izvornika otklonjeni su svi štetni utjecaji koji bi mogli prouzrokovati daljnja oštećenja.

Literatura

- [1] Moslavac, S.: Opančarstvo, *Muzejski vjesnik*, **15** (1992), str. 50-51. Dostupan na <https://hrcak.srce.hr/190559>, *Pristupljeno*: 2022-9-14
- [2] Bezić-Božanić, N.: Majstori od IX do XIX stoljeća u Dalmaciji (V), *Prilozi povijesti umjetnosti u Dalmaciji*, **25** (1), (1985) str. 331-346, *Dostupan na* <https://hrcak.srce.hr/120635>, *Pristupljeno*: 2022-11-8
- [3] Franić-Novak, L. „Nazuvci-dio tradicijske radne obuće“, *Etnološka tribina*, **22** (15), str. 131-144. *Dostupan na* <https://hrcak.srce.hr/80672>, *Pristupljeno*: 2022-11-9
- [4] Gušić, B.: „Starinsko ruho na otoku Mljetu“, *Narodna starina*, **9** (1930) 21, str. 62., *Dostupan na* <https://hrcak.srce.hr/66086>, *Pristupljeno*: 2022-11-9
- [5] Zec B.: Kako ti stoji u škrinji tako stoji i na tebi: Narodna nošnja Dubrovačkog primorja iz fundusa Etnografskog muzeja, Dubrovački muzeji, ISBN 978-953-7037-23-9, Dubrovnik, (2011)
- [6] Kite, M.; Thomson, R.: *Conservation of leather and related materials, The manufacture of leather*, Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, ISBN 9780367606350, Oxford (2006)
- [7] Fan, Q.: *Chemical Testing of Textiles*, Woodhead Publishing Series in Textiles, Elsevier, ISBN 1845690699, 9781845690694 (2005)
- [8] Danielle, M.; Museums, V.: A summary of ultra-violet fluorescent materials relevant to Conservation, *AICCM National Newsletter*, **137** (2017), *Dostupan na* <https://aiccm.org.au/network-news/summary-ultra-violet-fluorescent-materials-relevant-conservation/>, *Pristupljeno*: 2022-12-12
- [9] Rogério Ricciluca Matiello, F.; Márcia De Almeida, F.: Applications of archeometry in eighteenth century São Paulo furniture: indicative analysis and historical contextualization, *Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material*, **27** (2019), *Dostupan na* <https://doi.org/10.1590/1982-02672019v27e10d1>, *Pristupljeno*: 2022-12-12
- [10] Haldane, E-A: Encounters with paper conservation: the treatment of a Chinese painted silk dress, *Conservation Journal*, **49**, *Dostupan na* <https://www.vam.ac.uk/content/journals/conservation-journal/issue-49/encounets-wit-paper-conservation-the-treatment-of-a-chinese-painted-silk-dress/>, *Pristupljeno*: 2021-4-5
- [11] Vladić, S.; Jemo, D.: Making a copy of a pair of shoes from the Ethnographic Museum in Dubrovnik, 17th International Conference of Conservation-Restoration Studies Zagreb, Croatia, 20th – 22nd October 2021. *Dostupan na* http://www.konferencija-restauracija.com/images/stories/Poster/21/VLADIC_Poster.pdf, *Pristupljeno*: 2022-10-5



POPIS AUTORA

AUTHOR INDEX

A	
Atkovska	Katerina
B	
Basić	Mirjana
Bizjak	Matejka
Bogović	Slavica
Botteri	Lea
Brlobašić	
Šajatović	Blaženka
Brnada	Snježana
Č	
Čorak	Ivana
D	
Dekanić	Tihana
Divjak	Iva
E	
Ercegović Ražić	Sanja
Erjavec	Alen
F	
Firšt Rogale	Snježana
Flinčec Grgac	Sandra
G	
Georgievska	Tamara
Glogar	Martinia Ira
Golubić	Karlo
Grgić	Katia
H	
Hrženjak	Renata
Hursa Šajatović	Anica
J	
Jemo	Danijela
Jovanović	Tea
Jukl	Nikolina
Jurković	Mihaela
K	
Karin	Franka
Kaurin	Tea
Kerman	Nino
Kirin	Snježana
Knezić	Željko
Kodrič Kesovia	Mateo Miguel
Kovač Dugandžić	Koraljka
Kuduzović	Valentina
Kutnjak-Mravlinčić	Suzana
Kuvendzjev	Stefan
L	
Ladan	Valentina
Lisichkov	Kiril
Lovreškov	Veronika
Ludaš	Anja
M	
Majdak	Mislav
Makšan	Mia

Marić	Marina
Marinkovski	Mirko
Matašić	Robert
Meheš	Ivana
Mesek	Lukrecija
Mihaljević	Ivan
Mihovilović	Petra
Mišetić	
Mišić	Lucija
Mustafa	Predrag
P	
Palčić	Ana
Pavunc Samaržija	Marijana
Penava	Željko
Petrak	Slavenka
Petric	Josip
Podbevešek	Tanja
Prahić	Sanja
Prahin	Pavao
Pušić	Tanja
R	
Racané	Livio
Rezić	Iva
Rijavec	Tatjana
Risek	Tena
Rogale	Dubravko
S	
Serhatlić	Sanja
Sršan	Lidija
Stipić	Ivana
Surname	Name
Sutlović	Ana
Š	
Šabarić	Irena
Šalej Lah	Alenka
Šaravanja	Ana
Šimić	Kristina
Šimić Penava	Diana
Šomogyi Škoc	Maja
Šumski	Tena
T	
Tarbuk	Anita
Tkalec	Marijana
Tolić	Tara
V	
Višić	Ksenija
Vladić	Sara
Vojnović	Branka
Volmajer Valh	Julija
Vujasinović	Edita
Ž	
Žuvela Bošnjak	Franka



POPIS DONATORA

LIST OF DONORS

Galeb d.d.



Ivančica d.d.



KAP-KO d.o.o.



MIRTA-KONTROL d.o.o.



Optimus Plus d.o.o.



Tekstilna galanterija Panić



TZ Zagreb

