



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
UNIVERSITY OF BANJA LUKA
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
FACULTY OF TECHNOLOGY



МЕХАНИЧКА I ЕЛЕКТРИЧНА СВОЈСТВА ŠAVOVA U ZAVISNOSTI OD VRSTE KONCA I OBRADE MATERIJALA

MASTER RAD

Mentori:

Prof. dr Dragana Grujić

Prof. dr Blanka Škipina

Kandidat:

Danica Švraka

Banja Luka, april 2026. godina



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
UNIVERSITY OF BANJA LUKA
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
FACULTY OF TECHNOLOGY



MECHANICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES OF SEAMS DEPENDING ON THE TYPE OF THREAD AND MATERIAL TREATMENT

MASTER THESIS

Mentors:

Prof. dr Dragana Grujić

Prof. dr Blanka Škipina

Candidate:

Danica Švraka

Banja Luka, April 2026

Informacije o mentorima i master radu

Mentor I: Dr Dragana Grujić, red. prof., Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet

Mentor II: Dr Blanka Škipina, vanr. prof., Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet

Naslov master rada: Mehanička i električna svojstva šavova u zavisnosti od vrste konca i obrade materijala

Sažetak

U radu je izvršena eksperimentalna analiza mehaničkih, električnih i dielektričnih svojstava materijala namenjenih za konstrukciju ESD radne stolice. Istraživanje je obuhvatilo ispitivanje poliuretanskih pena, kompozitne tkanine, različitih tipova šivaćih konaca (PA, PES, PES-P i PA-Ag), formiranih šavova, kao i modifikovanih tekstilnih struktura sa grafitom i aktivnim ugljem.

Rezultati mehaničkih ispitivanja pokazali su izraženu anizotropiju tkanine, sa većom prekidnom silom u smeru osnove i većim prekidnim izduženjem u smeru potke. Filamentni konci ostvarili su najviše vrednosti prekidne sile šava, dok je predeni konac pokazao nižu mehaničku efikasnost. PA-Ag konac zadržava zadovoljavajuću mehaničku stabilnost uz dodatnu funkcionalnu provodljivost.

Ispitivanja površinske otpornosti pokazala su da prisustvo provodnog konca obezbeđuje provodnost u šavovima, ali da bi se značajno smanjila otpornost same tkanine neophodno je formiranje kontinuirane provodne mreže ili dostizanje perkolacionog praga kod grafitnih modifikacija. Najniže vrednosti otpornosti ostvarene su kod mrežastih konfiguracija i uzoraka sa većom koncentracijom grafita. Dielektrična merenja ukazuju na stabilno ponašanje osnovne tkanine i šavova sa PA-Ag koncem, dok grafitne modifikacije dovode do porasta provodnosti, naročito u višefrekventnom području.

Integrisana analiza potvrđuje da optimalna ESD konstrukcija zahteva balans između mehaničke otpornosti i kontrolisane električne provodnosti. Ispitivani sistem pokazuje pogodnost za primenu u industrijskim okruženjima sa kontrolisanim elektrostatičkim pražnjenjem.

Ključne reči: ESD tekstil, šivaći provodni konci, mehanička svojstva šavova, površinska otpornost, dielektrična svojstva, grafitna modifikacija, kompozitna tkanina

Naučna oblast: Tekstilne tehnologije i inženjerstvo

Naučno polje: Ostala inženjerstva i tehnologije

Klasifikaciona oznaka: T 470 Tekstilna tehnologija

Tip odabrane licence Kreativne zajednice: Autorstvo

Information on mentors and master thesis

Mentor I: PhD Dragana Grujić, Full. Prof., University of Banja Luka, Faculty of Technology

Mentor II: PhD Blanka Škipina, Assoc. Prof., University of Banja Luka, Faculty of Technology

Title of master thesis: Mechanical and electrical properties of seams depending on the type of thread and material treatment

Abstract

This study presents an experimental analysis of the mechanical, electrical, and dielectric properties of materials intended for the construction of an ESD (Electrostatic Discharge) working chair. The research included polyurethane foams, the composite upholstery fabric, different types of sewing threads (PA, PES, PES-P and PA-Ag), formed seams, as well as textile structures modified with graphite and activated carbon.

Mechanical testing results revealed pronounced anisotropy of the fabric, with higher tensile strength in the warp direction and greater elongation in the weft direction. Filament threads achieved the highest seam tensile strength, while spun thread showed lower mechanical efficiency. The PA-Ag conductive thread maintained satisfactory mechanical stability while simultaneously providing additional electrical functionality.

Surface resistivity measurements demonstrated that the presence of a conductive thread ensures conductivity along the seams; however, a significant reduction in the overall fabric resistivity requires the formation of a continuous conductive network or reaching the percolation threshold in graphite-modified samples. The lowest resistivity values were observed in mesh configurations and in samples with higher graphite concentrations. Dielectric measurements indicate stable behavior of the base fabric and seams with PA-Ag thread, whereas graphite modifications increase conductivity, particularly in the higher frequency range.

The integrated analysis confirms that an optimal ESD construction requires a balance between mechanical strength and controlled electrical conductivity. The investigated system demonstrates suitability for application in industrial environments with controlled electrostatic discharge conditions.

Key words: ESD textile, sewing conductive threads, mechanical properties of seams, surface resistance, dielectric properties, graphite modification, composite fabric

Scientific area: Textile technology and engineering

Scientific field: Other engineering and technologies

Classification mark: T 470 Textile technology

The type of selected Creative Commons Licence: Autorship

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DEO	3
2.1. Elektrostatički fenomen i ESD sistemi	4
2.2. Tehnički i industrijski tekstil u ESD primeni	5
2.3. Tekstilni materijali za ESD primenu	7
2.3.1. Sirovine za izradu materijala za tapaciranje ESD stolice	9
2.3.2. Pređa	10
2.3.3. Tkanine	12
2.3.4. Pletenine	19
2.3.5. Netkani tekstil	20
2.3.6. Poliuretanska spužva	23
2.3.7. Kompoziti	26
2.4. Metode postizanja antistatičkih i ESD svojstava tekstila	27
2.5. Primena ESD tekstila u konstrukciji radnih stolica	30
2.6. Šivaći konci	30
2.7. Šivaće igle.....	33
2.7.1. Vrhovi šivaćih igala za mašinsko šivenje.....	35
2.7.2. Površinske obrade igle.....	37
2.7.3. Izbor igle za mašinsko šivenje.....	38
2.7.4. Karakteristike igala za izbegavanje problema pri šivenju	39
2.7.5. Zagrevanje igle	41
2.8. Šivaće mašine za izradu tapaciranih navlaka	43
2.9. Šivaći bodovi	43
2.10. Šivaći šavovi.....	46
2.10.1. Karakteristike šavova urađenih dvostrukim zrnčanim bodom	47
2.10.2. Šavovi u funkciji šivenja tapaciranih materijala.....	48
2.10.3. Kontrola kvaliteta šavova	50
3. EKSPERIMENTALNI DEO.....	51
3.1. Postavljene hipoteze	51
3.2. Plan istraživanja.....	52
3.3. Izbor materijala za izradu ESD stolice	54

3.4. Priprema i šivenje uzoraka za ispitivanje	60
3.5. Modifikacija uzoraka grafitom u ultrazvučnom kupatilu	62
3.6. Modifikacija tkanine grafitom i aktivnim ugljem postupkom premazivanja	63
3.7. Metode i uređaji za ispitivanje.....	64
3.7.1. Ispitivanje mehaničkih svojstava materijala ojaštuenja ESD stolice.....	65
3.7.2. Određivanje debljine materijala.....	66
3.7.3. Određivanje površinske mase tkanine	67
3.7.4. Određivanje otpornosti tkanine na habanje	68
3.7.5. Ispitivanje postojanosti obojenja	70
3.7.6. Ispitivanje usklađenosti boja	71
3.7.7. Ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja konca.....	71
3.7.8. Ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja tkanine	73
3.7.9. Ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja šava	74
3.7.10. Ispitivanje statičkog elektriciteta	75
3.7.11. Ispitivanje površinske otpornosti pomoću pločastih elektroda.....	76
3.7.12. Ispitivanje dielektričnih svojstava	81
4. REZULTATI I DISKUSIJA	84
4.1. Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava spužve	84
4.2. Rezultati ispitivanja osnovnih karakteristika i svojstava tkanine.....	85
4.3. Rezultati ispitivanja prekidne jačine i prekidnog izduženja konca	86
4.4. Rezultati ispitivanja prekidne jačine i prekidnog izduženja tkanine	89
4.5. Rezultati ispitivanja prekidne jačine i prekidnog izduženja šavova.....	90
4.6. Korelacija mehaničkih svojstava konca, tkanine i šava	99
4.6.1. Uticaj strukture i sastava konca	99
4.6.2. Uticaj tkanine na ponašanje sistema šav–tkanina.....	100
4.6.3. Ponašanje šavova i korelacija sa koncem i tkaninom.....	100
4.7. Rezultati ispitivanja statičkog elektriciteta.....	101
4.8. Rezultati ispitivanja otpornosti konca	102
4.9. Rezultati ispitivanja površinske otpornosti tkanine.....	104
4.10. Rezultati ispitivanja površinske otpornosti šavova	106
4.11. Rezultati ispitivanja dielektričnih svojstava	108
5. ZAKLJUČAK	112
6. LITERATURA.....	114

SADRŽAJ SLIKA

Slika 2.1. Pravci upredanja pređe: a) S uvoji, b) Z uvoji i pređa sa c) većim ili d) manjim brojem uvoja

Slika 2.2. Struktura tkanine: a) biaksijalne, b) triaksijalne

Slika 2.3. Faze pripreme osnove i potke

Slika 2.4. Šema položaja ispitivanog uzorka u procesu naknadnog kidanja

Slika 2.5. Delovi mašinske igle za šivenje

Slika 2.6. Određivanje finoće igala

Slika 2.7. Oblici vrhova igala za šivenje tekstilnih materijala

Slika 2.8. Različite obrade igala

Slika 2.9. Poređenje standardne i SAN 5 šivaće igle u području ušice

Slika 2.10. Stabilnost igle SAN 5 i igle standardnog oblika

Slika 2.11. Dvostruki zrnčani bod tip 301

Slika 2.12. Napetost gornjeg i donjeg konca

Slika 2.13. Oštećenje tkanine na mestu šava sedalnog dela

Slika 3.1. Antistatička ESD laboratorijska stolica sa modifikovanom kompozitnom tkaninom prošivena PA-Ag koncima (eksperimentalna varijanta presvlake)

Slika 3.2. Plan istraživanja

Slika 3.3. Priprema uzoraka za ispitivanje jačine i izduženja šava

Slika 3.4. Uređaj za ispitivanje mehaničkih svojstava spužve

Slika 3.5. Debljinomer

Slika 3.6. Rezač za sečenje epruveta kružnog oblika i elektronska vaga

Slika 3.7. Martindale tester abrazije i pilinga

Slika 3.8. Crockmeter, uređaj za ispitivanje postojanosti obojenja trljanjem na suvo i mokro

Slika 3.9. Color Light Box / Color Matching Cabinet

Slika 3.10. Dinamometar

Slika 3.11. Ispitivanje statičkog elektriciteta

Slika 3.11. Ispitivanje statičkog elektriciteta

Slika 3.12. Uzorci za ispitivanje statičkog elektriciteta

Slika 3.13. Metoda merenja površinske otpornosti pomoću pločastih elektroda

Slika 3.14. Aparatura za merenje površinske otpornosti pomoću pločastih elektroda

Slika 3.15. Uređaj LCR Hameg 8118 korišten za ispitivanje dielektričnih svojstava

Slika 4.1. Uporedna analiza srednjih vrednosti prekidne jačine (a) i prekidnog izduženja ispitivanih konaca (b)

Slika 4.2. Uporedna analiza prekidne sile šavova

Slika 4.3. Uporedni prikaz prekidne jačine šavova

Slika 4.4. Uporedni prikaz prekidnog izduženja šavova

Slika 4.5. Tangens dielektričnih gubitaka u funkciji frekvencije za tkaninu (T) i šavove U(PES), U(PES-P), U(PA-Ag) i U(PA)

Slika 4.6. Specifična provodnost u funkciji frekvencije za tkaninu (T) i šavove U(PES), U(PES-P), U(PA-Ag) i U(PA)

Slika 4.7. Tangens dielektričnih gubitaka u funkciji frekvencije za neobrađenu tkaninu (T) i obrađene tkanine T(E), T(E-0,5G), T(E-1G) i T(E-1AU)

Slika 4.8. Specifična provodnost u funkciji frekvencije za neobrađenu tkaninu (T) i obrađene tkanine T(E), T(E-0,5G), T(E-1G) i T(E-1AU)

SADRŽAJ TABELA

Tabela 2.1. Tabela šivaćih bodova prema standardu ISO 4915

Tabela 3.1. Karakteristike kompozitne tkanine *Titan* za izradu ESD stolice

Tabela 3.2. Karakteristike netkanog tekstila (retex) za izradu ESD stolice

Tabela 3.3. Karakteristike PU spužve za izradu ESD stolice

Tabela 3.4. Tehničke karakteristike konaca PA-Ag i PA

Tabela 3.5. Tehničke karakteristike konaca PES i PES-P

Tabela 3.6. Karakteristike šivaće igle i šivaće mašine za šivenje uzoraka

Tabela 3.7. Uzorci obrađeni grafitom u ultrazvučnom kupatilu

Tabela 3.8. Uzorci obrađeni postupkom premazivanja

Tabela 3.9. Predopterećenja na osnovu površinske mase tkanine

Tabela 3.10. Sommerov koeficijent vlažnosti (α) za određenu vrstu vlakana

Tabela 3.11. Uzorci tkanine T prošiveni PA-Ag koncem za merenje površinske otpornosti

Tabela 3.12. Uzorci šavova Š prošiveni PA-Ag koncem za merenje površinske otpornosti

Tabela 4.1. Fizičko-mehanička svojstva spužve T – 30150/20mm

Tabela 4.2. Fizičko-mehanička svojstva spužve T – 35160/40 mm

Tabela 4.3. Rezultati ispitivanja svojstava tkanine namenjene za izradu stolice

Tabela 4.4. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja konca

Tabela 4.5. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja tkanine

Tabela 4.6. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja šavova šivenih PA-Ag koncem

Tabela 4.7. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja šavova šivenih PA koncem

Tabela 4.8. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja šavova šivenih sa PES koncem

Tabela 4.9. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja šavova šivenih PES-P koncem

Tabela 4.10. Rezultati merenja otpornosti konca (Ω/m)

Tabela 4.11. Rezultati površinskog otpora p osnovne i prošivene tkanine

Tabela 4.12. Rezultati merenja otpora i vrednosti površinske otpornosti obrađenih tkanina

Tabela 4.13. Vrednosti površinske otpornosti različitih šavnih konstrukcija

1. UVOD

Savremeni razvoj tehničkog i pametnog tekstila uslovio je potrebu za materijalima koji, pored mehaničke pouzdanosti, poseduju i jasno definisana električna i dielektrična svojstva. U tehničkim tekstilnim konstrukcijama električno ponašanje materijala postaje jednako važno kao i njihova mehanička stabilnost, naročito u sistemima gde su prisutna električna polja ili osetljive elektronske komponente. Poseban izazov predstavlja obezbeđivanje stabilnosti u konstruktivno najosetljivijim zonama tekstilnog proizvoda – u šavovima. Šav predstavlja područje spajanja tekstilnih materijala dejstvom igle i konca, pri čemu dolazi do lokalnih koncentracija naprezanja, prekida kontinuiteta strukture materijala i potencijalne promene mehaničkih i električnih karakteristika materijala. Zbog toga šav ima presudnu ulogu u ukupnoj funkcionalnosti proizvoda, naročito u tehničkim i industrijskim sistemima u kojima se kombinuju mehanička opterećenja i prisustvo električnog polja (Horrocks i Anand, 2016).

U okruženjima u kojima se svakodnevno obavljaju poslovi vezani za elektroniku i osetljive uređaje, kao što su proizvodni pogoni elektronske industrije, ESD (Electrostatic Discharge) prostorije i laboratorije za merenje i kontrolu, zahteva se da tekstilni elementi koji dolaze u kontakt sa korisnikom ili opremom poseduju stabilne antistatičke i disipativne karakteristike. U takvim sistemima tekstilni proizvodi ne predstavljaju samo konstruktivnu ili estetsku komponentu, već i deo ukupnog sistema zaštite od nekontrolisanog nakupljanja i pražnjenja elektrostatičkog naelektrisanja.

Kritičnu zonu u ovakvim konstrukcijama često predstavljaju upravo šavovi, jer njihova električna svojstva direktno zavise od vrste, strukture i površinske modifikacije korišćenog konca. Ukoliko konac nema kontrolisanu disipativnost ili narušava električnu stabilnost osnovnog materijala, šav može postati mesto lokalne akumulacije naelektrisanja ili nekontrolisane provodljivosti, što može dovesti do oštećenja elektronskih komponenti ili poremećaja rada osetljive opreme (Uddin i sar., 2019; Halgas, Wilbik i Sidyk, 2024).

Iz navedenih razloga u tehničkim tekstilnim konstrukcijama sve češće se primenjuju konci sa definisanim antistatičkim i disipativnim karakteristikama, u opsegu kontrolisane površinske otpornosti od približno $10^5 \Omega$ do $10^9 \Omega$. Ovakvi konci omogućavaju kontrolisanu disipaciju naelektrisanja i sprečavaju da šav postane izvor električnog rizika. Paralelno sa tim, u oblasti pametnog i interaktivnog tekstila razvijaju se i konci kontrolisane provodljivosti koji omogućavaju integraciju senzora i elektronskih funkcionalnosti u tekstilne sisteme, čime se

otvara prostor za kombinovanje provodnih i izolacionih komponenti u cilju postizanja optimalne funkcionalne ravnoteže (Xiaoming, 2001; Stoppa i Chiolerio, 2014).

Poliesterske (PES) i poliamidne (PA) pređe tradicionalno se koriste kao dielektrični materijali u tekstilnim konstrukcijama, zahvaljujući svojoj hemijskoj stabilnosti i niskoj električnoj provodljivosti. Međutim, njihov funkcionalni opseg proširen je razvojem specijalnih konaca, kao što su poliamidni filamenti obloženi srebrom (PA-Ag), koji pokazuju izraženu provodljivost i primenjuju se u aplikacijama gde je potrebno omogućiti protok električnog signala ili kontrolisanu disipaciju naelektrisanja. Dodatno, modifikacija klasičnih tekstilnih vlakana nanošenjem provodnih čestica, poput grafita, predstavlja efikasan način za podešavanje električnih svojstava bez značajnog narušavanja mehaničke stabilnosti materijala (Jost i sar., 2011).

U ovom radu istraživao je uticaj četiri vrste šivaćih konaca: provodnog PA-Ag filamenta, standardnog PA filamenta, PES filamenta i PES-P predenog konca, na mehanička i dielektrična svojstva šavova formiranih na poliesterskoj kompozitnoj tkanini. Svi uzorci izrađeni su istom šivaćom iglom (Nm 90), kako bi se eliminisao uticaj geometrije igle na rezultate ispitivanja. Predeni PES konac dodatno je podvrgnut tretmanu grafitnom disperzijom (5 g/l, 40 °C, 40 minuta), sa ciljem ispitivanja mogućnosti unapređenja njegove električne provodljivosti.

Analiza mehaničkih svojstava obuhvata određivanje prekidne sile i prekidnog izduženja tkanine i šava, dok se električna i dielektrična svojstva procenjuju merenjem površinske otpornosti, provodljivosti i dielektričnog ponašanja konaca, osnovnog materijala i formiranih šavova. Uporedna analiza omogućava sagledavanje međusobnog uticaja vrste konca i grafitne modifikacije na ravnotežu između mehaničke stabilnosti i električne funkcionalnosti šava.

Cilj rada je da se, kroz eksperimentalnu i komparativnu analizu, definiše ponašanje šavova u sistemima gde su istovremeno značajni mehanička pouzdanost, dielektrična stabilnost i kontrolisana električna funkcionalnost. Dobijeni rezultati mogu poslužiti kao smernice pri izboru optimalnog tipa konca za tehničke tekstilne konstrukcije namenjene primeni u elektroosetljivim i industrijskim okruženjima, uključujući i specijalizovani tehnički nameštaj.

2. TEORIJSKI DEO

Tehnički tekstilni proizvodi namenjeni savremenim industrijskim sistemima zahtevaju jasno definisana i stabilna funkcionalna svojstva, pri čemu kontrola električnog ponašanja materijala zauzima značajno mesto. U radnim okruženjima u kojima su prisutni elektronska oprema, precizni merni sistemi i procesi visoke pouzdanosti, od tekstilnih komponenti se očekuje da ne narušavaju električnu stabilnost prostora, već da aktivno doprinose smanjenju rizika od neželjenih elektrostatičkih pražnjenja (Horrocks i Anand, 2016; Holdstock, 2022). Ovi zahtevi su naročito izraženi u prostorijama za proizvodnju i kontrolu elektronskih uređaja, gde i minimalne promene u električnom balansu mogu dovesti do oštećenja opreme ili kompromitovanja procesa.

U tom kontekstu, materijali se klasifikuju prema vrednosti površinske otpornosti. Provodnici ($R < 10^4 \Omega$) omogućavaju brzo odvođenje naelektrisanja, ali mogu dovesti do pojave električnog proboja ili varničenja. Izolatori ($R > 10^{12} \Omega$) zadržavaju naelektrisanje na površini, čime se povećava rizik od akumulacije. Disipativni, odnosno ESD materijali ($R \approx 10^5\text{--}10^9 \Omega$), obezbeđuju kontrolisano i postepeno odvođenje naelektrisanja i smatraju se optimalnim za primenu u prostorima sa osetljivom elektronskom opremom. Upravo ova kategorija materijala predstavlja osnovu za projektovanje tehničkog tekstila i šivaćih komponenti namenjenih ESD okruženjima.

Tekstilne komponente koje se koriste u takvim sistemima, uključujući presvlake, zaštitne navlake, obloge i druge konstrukcione elemente, imaju funkciju koja prevazilazi klasične mehaničke i estetske zahteve. One moraju obezbediti stabilnu disipativnu barijeru i sprečiti nekontrolisano nakupljanje ili prenos statičkog naelektrisanja (Holdstock, 2022; Telipan i sar., 2014). Iako su vlakna i površinske obrade važan segment, poseban tehnički izazov predstavljaju šavovi, jer prekid kontinuiteta materijala, kao i interakcija pređe i supstrata, mogu značajno uticati na lokalna električna svojstva konstrukcije (Uddin i sar., 2019; Rajput i sar., 2018). Zbog toga šav ne predstavlja samo konstruktivni spoj, već funkcionalnu zonu koja mora biti optimizovana u skladu sa zahtevima primene.

Zbog toga se u proizvodima namenjenim ESD okruženjima i drugim elektroosetljivim radnim prostorima primenjuju konci i tekstilne pređe sa specifičnim dielektričnim ili kontrolisano provodnim karakteristikama. Dielektrični konci omogućavaju stabilnu električnu izolaciju šava, dok se provodni i disipativni konci koriste kada kontrolisana provodljivost predstavlja

funkcionalni zahtev, kao što je slučaj kod pametnih tekstila, tekstilnih senzora i konstrukcija sa integrisanim električnim funkcijama. Kombinovanjem različitih tipova konaca moguće je postići ravnotežu između mehaničke pouzdanosti, električne bezbednosti i funkcionalne prilagodljivosti proizvoda (Xiaoming, 2001; Stoppa i Chiolerio, 2014; Ahmed i sar., 2020).

Kao reprezentativan primer tehničke primene u ovom istraživanju analiziran je tapacirani tekstilni sistem namenjen ESD radnim prostorima. Ovakav sistem je pogodan za ispitivanje jer sadrži više konstruktivnih šavova koji istovremeno moraju zadovoljiti mehaničke i električne kriterijume. Stabilnost i električno ponašanje šava u ovakvim konstrukcijama direktno utiču na ukupnu funkcionalnost proizvoda, s obzirom na to da lokalna promena provodljivosti ili mehaničko oslabljivanje mogu narušiti ESD stabilnost sistema.

Teorijska razmatranja koja slede obuhvataju svojstva vlakana, pređa i konaca koji se koriste u tehničkim tekstilnim konstrukcijama, kao i analizu uloge šavova u ukupnoj mehaničkoj i električnoj stabilnosti sistema. Poseban akcenat stavljen je na električna, dielektrična i disipativna svojstva materijala, jer upravo ona određuju podobnost tekstilnih komponenti za primenu u uslovima gde je kontrola statičkog naelektrisanja najbitniji element bezbednosti i pouzdanosti rada.

2.1. Elektrostatički fenomen i ESD sistemi

Elektrostatički elektricitet predstavlja pojavu akumulacije naelektrisanja na površini materijala usled kontakta i razdvajanja različitih tela, trenja ili indukcije. U tekstilnim sistemima statičko naelektrisanje najčešće nastaje trenjem između vlakana, između tekstila i drugih materijala ili tokom manipulacije i obrade materijala. Zbog niske električne provodljivosti većine sintetičkih vlakana, generisano naelektrisanje se zadržava na površini i može dovesti do njegove akumulacije.

Elektrostatičko pražnjenje (Electrostatic Discharge – ESD) predstavlja naglo i nekontrolisano pražnjenje akumuliranog naelektrisanja između dva tela različitog električnog potencijala. Iako energija ESD procesa često nije opasna po čoveka, može biti izuzetno štetna za osetljive elektronske komponente, mikroprocesore i merne sisteme. Npr. naponi reda nekoliko desetina volti mogu izazvati trajno oštećenje integrisanih kola.

U industrijskim i laboratorijskim uslovima, gde se manipuliše elektronskim uređajima visoke osetljivosti, uspostavljaju se ESD zaštićene zone (EPA – Electrostatic Protected Area), u kojima

svi elementi okruženja moraju imati kontrolisana električna svojstva. To uključuje podne obloge, radne površine, nameštaj, zaštitnu odeću i tekstilne komponente.

Materijali se u tom kontekstu klasifikuju prema vrednosti površinske otpornosti na:

- provodnike ($R < 10^4 \Omega$),
- disipativne materijale (10^5 – $10^9 \Omega$),
- izolatore ($R > 10^{12} \Omega$).

Disipativni materijali omogućavaju postepeno i kontrolisano odvođenje električnog naelektrisanja bez pojave varničenja i smatraju se optimalnim za primenu u ESD sistemima. Upravo podešavanje električne otpornosti u ovom opsegu predstavlja osnovni tehnički zadatak u razvoju tekstilnih materijala za elektroosetljiva okruženja (Temneanu i sar., 2013; Živičnjak, 2022; Halgas, Wilbik i Sidyk, 2024).

2.2. Tehnički i industrijski tekstil u ESD primeni

Tehnički tekstil obuhvata tekstilne proizvode koji poseduju specifične tehničke i funkcionalne karakteristike i koji se koriste samostalno ili kao sastavni deo složenijih sistema, uključujući i kompozitne materijale, sa ciljem unapređenja njihovih ukupnih performansi. Za razliku od tradicionalnog tekstila, koji se razvija primarno radi estetskih i dekorativnih vrednosti, tehnički tekstil se projektuje pre svega na osnovu funkcionalnih zahteva primene. U literaturi se ovaj sektor označava i terminima poput funkcionalni tekstil, tekstil visokih performansi, inženjerski tekstil ili nevidljivi tekstil, što ukazuje na njegovu specijalizovanu namenu i tehnološku složenost.

Od početka 2000-ih godina tehnički tekstil pokazuje znatno veći razvojni potencijal u odnosu na konvencionalne segmente tekstilne industrije. Razvijene zemlje postepeno smanjuju proizvodnju vlakana namenjenih klasičnim odevnim i kućnim tekstilnim proizvodima, dok sve veći fokus stavljaju na proizvodnju tehničkog i netkanog tekstila. Industrija tehničkog tekstila u tim zemljama dostigla je visok nivo tehnološkog razvoja, sa jasno definisanim pravcima daljeg napretka, dok se u zemljama u razvoju očekuje intenzivan rast ovog sektora. Posebno se ističu azijske zemlje, poput Kine i Indije, koje preuzimaju značajnu ulogu u globalnoj proizvodnji tehničkog tekstila (Urošević, 2011).

Razvoj tehničkog tekstila obuhvata širok spektar primena – od tradicionalnih proizvoda kao što su užad i mreže, do savremenih rešenja poput veštačkih krvnih sudova, ligamenata i biotekstila. Na događaju TechTex u Frankfurtu 2001. godine tehnički tekstil je klasifikovan u dvanaest oblasti primene (Somogyi Škoc, 2019):

- agrotekstil (*Agrotech*),
- geotekstil (*Geotech*),
- građevinski tekstil (*Buildtech*),
- industrijski tekstil (*Indutech*),
- tekstil za upotrebu u transportu (*Mobiltech*),
- tekstil za uređenje enterijera – kućni tekstil (*Hometech*),
- odevni tekstil (*Clothtech*),
- tekstil za zaštitne svrhe (*Protech*),
- tekstil za sport i rekreaciju (*Sporttech*),
- medicinski tekstil (*Medtech*),
- tekstil za ambalažu (*Packtech*) i
- tekstil za ekološku zaštitu (*Oekotech*).

Danas gotovo da ne postoji vlaknasta sirovina koja ne nalazi primenu u nekoj od navedenih oblasti, što potvrđuje širinu i interdisciplinarnost tehničkog tekstila (Somogyi Škoc, 2019).

Posebno mesto zauzimaju materijali namenjeni zaštiti u ekstremnim uslovima, gde tekstil mora ispuniti visoke standarde otpornosti na temperaturu, plamen, hemikalije ili zračenje. Razvoj materijala sa prilagodljivim i kontrolisanim svojstvima značajno je proširio primenu tehničkog tekstila u savremenoj industriji (Rowe, 2009).

U okviru tehničkog tekstila posebno se izdvaja industrijski tekstil, koji obuhvata materijale namenjene primeni u proizvodnim, laboratorijskim i visokoautomatizovanim sistemima. U takvim okruženjima tekstilni materijali predstavljaju sastavni deo enterijera i opreme, pri čemu njihova uloga prevazilazi estetske i ergonomske zahteve. U prostorijama sa osetljivom elektronskom opremom, kao što su ESD-radni prostori, laboratorije i pogoni za proizvodnju elektronike, tekstil funkcioniše kao element sistema kontrole elektrostatike, čime doprinosi ukupnoj bezbednosti i stabilnosti procesa (Zhang, 2011; Horrocks i Anand, 2016).

Za razliku od tekstila namenjenog domaćinstvima, čiji su osnovni kriterijumi komfor i vizuelni identitet, industrijski tekstil mora zadovoljiti stroge tehničke zahteve. U ESD-okruženjima

primenjuju se tapacirani elementi sa kontrolisanom provodljivošću, disipativne podne obloge, tehničke obloge instrumenata, navlake sa definisanom površinskom otpornošću, modularni paneli i druge konstrukcije sa specifičnim električnim karakteristikama. Ovi materijali moraju biti usklađeni sa međunarodnim standardima, kao što je IEC 61340 (2016), koji definiše granice površinske otpornosti i dozvoljene nivoe elektrostatčkog naelektrisanja (Zhang, 2011).

Rast primene tehničkog tekstila u industrijskim sistemima doveo je do povećane potražnje za materijalima koji istovremeno obezbeđuju mehaničku stabilnost i kontrolisana električna svojstva. U tom kontekstu razvijaju se disipativni tekstili, zaštitni kompoziti, netkani materijali za primenu u čistim sobama, kao i multifunkcionalne tkanine integrisane u pametne sisteme (Horrocks i Anand, 2016).

Najveća potrošnja ovih materijala zabeležena je u tehnološki razvijenim regionima, poput Azijsko-pacifičkog regiona, Severne Amerike i Zapadne Evrope, gde industrija elektronike i energetike kontinuirano raste (Shahid, 2014).

Upravo u okviru ove grupe industrijskih tekstila razvijaju se i ESD tekstilni sistemi, čija je osnovna funkcija kontrola akumulacije i disipacije statičkog naelektrisanja. Time se tehnički i industrijski tekstil direktno povezuju sa zahtevima elektroosetljivih radnih prostora, što predstavlja osnovu za dalje razmatranje tekstilnih materijala i konstrukcija primenjenih u ESD sistemima.

2.3. Tekstilni materijali za ESD primenu

Tekstilni materijali namenjeni primeni u tehničkim i industrijskim okruženjima obuhvataju širok spektar proizvoda koji doprinose funkcionalnosti, ergonomiji i bezbednosti elemenata enterijera i opreme. Za razliku od tekstila koji se koristi u domaćinstvima, materijali za primenu u specijalnim radnim prostorima moraju zadovoljiti stroge mehaničke, hemijske i električne kriterijume. Njihova uloga je dvostruka: obezbediti dugotrajnost i stabilnost konstrukcije, ali istovremeno i stabilnu izolacionu ili kontrolisano disipativnu barijeru koja sprečava neželjeno nakupljanje statičkog naelektrisanja (Zhang, 2011; Kumar, 2013).

Savremeni tekstilni sistemi za ovu namenu uključuju tkanine, pletenine, kompozite i netkane materijale, kao i različite vrste pena i vlaknastih ispuna. Ovi materijali primenjuju se u laboratorijskim i industrijskim prostorima, ESD-radnim zonama, kontrolnim centrima i drugim tehničkim sistemima gde tekstilni elementi predstavljaju sastavni deo funkcionalne

konstrukcije. U zavisnosti od uloge u konstrukciji, mogu se podeliti u dve osnovne kategorije (Horrocks i Anand, 2016; Jakšić i Jakšić, 2022):

- materijali za punjenje (različite vrste vlakana, poliuretanske pene, višeslojni apsorpcioni materijali),
- materijali za presvlake (tkanine, pletenine i tehnički kompoziti modifikovani zbog poboljšane otpornosti i električnog ponašanja).

Za spoljne slojeve najčešće se koriste višeslojni i kompozitni materijali, koji obezbeđuju mehaničku stabilnost, otpornost na habanje i definisana električna svojstva. Netkani tekstili i kompoziti sa iglanom ili termički vezanom strukturom sve se češće koriste kao zamena za tradicionalne podloge zbog njihove stabilnosti, veće otpornosti na deformacije i mogućnosti reciklaže, što ih čini pogodnim za upotrebu u industrijskim okruženjima sa visokim tehničkim zahtevima (Grbac i Ivelić, 2005).

Tekstilne presvlake u prostorima specijalne namene moraju ispuniti niz kriterijuma, među kojima se izdvajaju stabilnost oblika, otpornost na deformacije, minimalna sklonost ka pilingu, visoka otpornost na trenje, sporija apsorpcija prljavštine, hemijska otpornost i očuvanje estetskih karakteristika tokom dugotrajne eksploatacije. Stabilnost oblika i dimenzijska postojanost posebno su značajne, jer površine u ESD i industrijskim prostorima podležu cikličnom opterećenju i lokalnim koncentracijama naprezanja. Materijal mora dozvoliti elastične deformacije pod opterećenjem, ali ne sme biti sklon trajnim deformacijama koje bi mogle narušiti funkcionalnost konstrukcije (East i Ferguson, 1969; Telipan i sar., 2014; Jakšić i Jakšić, 2022).

Jedan od važnih parametara prilikom izbora materijala za presvlake jeste otpornost na piling i trenje, s obzirom da habanje može dovesti do promene površinske strukture i posledično uticati na električno ponašanje materijala. Otpornost na trenje i habanje zavisi od vrste vlakana, konstrukcije tkanine i površinskih modifikacija, dok se estetski izgled odnosi na vizuelni identitet materijala, ravnomernost boje, strukturu površine i kompatibilnost sa okruženjem. Iako estetika nije primarni kriterijum u tehničkim prostorima, homogenost površine i kvalitet izrade presvlaka važni su za profesionalni vizuelni standard, ergonomiju i higijenu radnog prostora (Horrocks i Anand, 2016; Jakšić i Jakšić, 2022; Maity, Singha i Pandit, 2023).

U kontekstu ESD sistema, izbor tekstilnih materijala mora biti usklađen sa zahtevima standarda koji definišu dozvoljene granice površinske i zapreminske otpornosti, kao i vreme raspada naelektrisanja. Zbog toga se prilikom projektovanja i ispitivanja tekstila za ovu namenu

istovremeno analiziraju mehanička svojstva (čvrstoća, otpornost na habanje, stabilnost konstrukcije) i električne karakteristike (površinska otpornost, sposobnost odvođenja naelektrisanja), što predstavlja osnovu za dalje eksperimentalno ispitivanje tkanina, konca i šavova u okviru ovog rada.

2.3.1. Sirovine za izradu materijala za tapaciranje ESD stolice

Vlakna predstavljaju osnovnu sirovinu za proizvodnju tekstilnih materijala i definišu se kao jaka i savitljiva tela čija je dužina višestruko veća od poprečne dimenzije. U zavisnosti od namene razlikuju se tekstilna i tehnička vlakna, pri čemu se tehnička vlakna koriste u industrijskim sistemima gde se, pored mehaničkih, zahtevaju i specifična funkcionalna svojstva. U ovu grupu tehničkih vlakana spadaju i ona koja se koriste u konstrukciji tapaciranih delova ESD radnih stolica, gde se zahteva kontrolisana provodljivost ili stabilno dielektrično ponašanje (Đorić i Radeka, 2008; Triki i sar., 2012).

Pored električnih zahteva, materijali za tapaciranje moraju ispuniti kriterijume otpornosti na gužvanje, trenje, habanje i hemijske uticaje, kao i zahteve negorivosti definisane evropskom regulativom (Directive 2001/95/EC, 2001). Međutim, u ESD okruženjima dodatni prioritet predstavlja stabilnost površinske i zapreminske otpornosti materijala, jer neadekvatan izbor vlakana može dovesti do ubrzane akumulacije naelektrisanja i rizika od nekontrolisanog elektrostatičkog pražnjenja (Carter, 1985; Gärtner i sar., 2019).

U konstrukciji tapaciranih elemenata ESD radnih stolica primenjuju se vlakna koja moraju obezbediti mehaničku stabilnost, otpornost na habanje i kontrolisano električno ponašanje. Većina standardnih sintetičkih vlakana, poput poliestera i poliamida, ima izražena izolaciona svojstva i sklonost ka akumulaciji naelektrisanja. Zbog toga se u ESD primeni njihova struktura modifikuje integracijom provodnih komponenti ili primenom površinskih antistatičkih obrada (Zhang, 2011; Horrocks i Anand, 2016).

Materijali koji se koriste za tapaciranje moraju biti otporni na gužvanje, trenje, prljavštinu, promene u izgledu usled promene boje i izlizanosti. Pored toga, oni moraju omogućiti lakšu negu (uklanjanje fleka i druge prljavštine) i zadržati stabilan oblik. Nažalost, ne postoji idealno vlakno koje bi ispunjavalo sve ove zahteve. Važno je napomenuti da se ovo odnosi na vlakna koja se nalaze na površini tkanine koja se koristi za tapaciranje. Ovaj pregled jasno ukazuje na potrebu za detaljnom analizom specifičnih slučajeva, uzimajući u obzir ključne aspekte upotrebe, kako bi se izabrala najpogodnija vrsta vlakana. Kod ESD stolica, materijali moraju

dodatno imati i stabilna dielektrična svojstva, jer neadekvatan izbor vlakana može izazvati ubranu akumulaciju naelektrisanja i rizik od elektrostatičkog pražnjenja (Carter, 1985). Kod materijala za tapaciranje, izbor vlakna mora istovremeno zadovoljiti i zahteve mehaničke izdržljivosti. Poliesterska vlakna su dominantna u tapetarskoj industriji zbog visoke čvrstoće, otpornosti na habanje, dobre elastičnosti, postojanosti boje i otpornosti na svetlost (Đorić i Radeka, 2008).

Savremeni pristupi razvoju ESD tekstila zasnivaju se na ugradnji provodnih vlakana (najčešće ugljeničnih ili metalizovanih), uvođenju provodnih niti u osnovnu tekstilnu strukturu ili dodavanju provodnih punila, poput grafita, u polimernu strukturu vlakna. Ove modifikacije omogućavaju formiranje kontrolisanih provodnih puteva kroz tekstilnu strukturu, čime se postiže disipativni opseg površinske otpornosti i stabilizuje vreme pražnjenja naelektrisanja (Stankutić i sar., 2010; Donciu, 2013; Halgas, Wilbik i Sidyk, 2024).

Iz navedenog proizlazi da je izbor vlaknaste sirovine u ESD tapaciranim sistemima kompromis između mehaničke otpornosti, dugotrajnosti i precizno kontrolisanih električnih svojstava, što predstavlja osnovu za dalju analizu konstrukcije tkanina, konca i šavova u okviru ovog istraživanja.

2.3.2. Pređa

Pređa predstavlja linearnu tekstilnu strukturu formiranu od dužih ili kraćih vlakana koja su postavljena u približno paralelan položaj i upredena oko sopstvene ose. Procesima pređenja vlaknaste mase se transformišu u pređu, linearnu tekstilnu strukturu koju sačinjavaju vlakna višeg ili nižeg stepena paralelizacije. Za izradu pređe može se koristiti bilo koja vrsta vlakana. Veoma je važno postaviti kriterijume za izbor optimalnog kvaliteta pređe za određenu svrhu. Monofilamentna i multifilamentna pređa dobijaju se pređenjem hemijskih vlakana iz rastopa ili rastvora. Multifilamentna pređa se često teksturira radi poboljšanja opipa i povećanja voluminoznosti, dok se monofilamentna pređa dodatno termički obrađuje kako bi se postigla željena konfiguracija i stabilnost (Hearle, Grosberg, i Backer 1969).

Pređa se može izrađivati i od štapelnih vlakana u predionicama sa različitim tehnologijama pređenja. Proces obuhvata pripremu vlakana i završnu fazu oblikovanja pređe. Priprema vlakana za pređenje obuhvata grubu i finu pripremu. Gruba priprema obavlja se na mašinama čiji je zadatak da rastresu masu vlakna i otvorene niti. Fina priprema uključuje oslobađanje vlakana iz niti, usmeravanje u jednom smeru i postavljanje u delimično paralelan položaj. Pri

gruboj i finoj pripremi uklanjaju se mehaničke nečistoće, strana tela i kratka vlakna. Zavisno od vrste vlakana, njihovih svojstava i karakteristike pređe koja se dobija, određuju se i mašine za pripremu. Njihov odabir zavisi i od sistema pređenja koji se koristi za obradu vlakana. Bez obzira na to koji se sistem pređe izrađuje i koja se vlakna obrađuju, zajednička svim sistemima je gruba priprema vlakana za pređenje (otvaranje pramenova, oslobađanje vlakana iz mase, uklanjanje mehaničkih nečistoća, kratkih vlakana i stranih tela (Škundrić i sar., 2008).

Predenje, u najužem smislu, je posljednja faza u procesu oblikovanja pređe, tokom koje se iz predpređe (prema konvencionalnom procesu pređenja) ili direktno iz trake (prema novim postupcima pređenja) dobija pređa željenih svojstava. Izvodi se sa ciljem da se predpređa ili traka istezanjem dovede do određene finoće, a upređanjem se postiže određeni broj uvoja i dobija se gotova pređa koja se namotava na cevku ili kalem. Za postizanje tog cilja koriste se mašine za pređenje, tzv. predilice. Međusobno se razlikuju po vrsti ili konstruktivnom rešenju. Najvažnije su dve grupe mašina (Škundrić i sar., 2008; Jakšić i Jakšić, 2022):

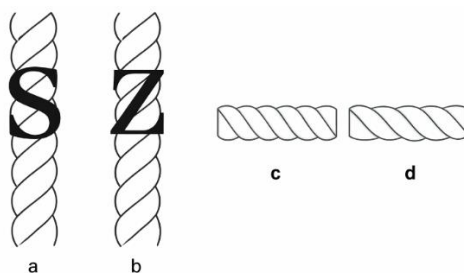
- konvencionalne mašine za pređenje s prstenovima i vretenima (prstenasta predilica) i
- nekonvencionalne mašine za pređenje bez vretena (bezvretenske predilice).

Prstenasto pređenje omogućava dobru orijentaciju vlakana duž ose pređe, visoku jačinu i ravnomernost. Češljani postupak daje pređu veće čvrstoće i ujednačenosti, dok kardirani postupak obezbeđuje veću voluminoznost, ali manju jačinu i ravnomernost. Kardiranim postupkom nije moguće proizvoditi veoma fine pređe, a slična ograničenja važe i za vigonj pređu izrađenu od sekundarnih sirovina. Rotorsko (OE) pređenje daje ravnomernu i voluminoznu pređu, ali manje jačine u poređenju sa prstenastom pređom (Lin i sar., 2012).

Frikijsko pređenje proizvodi krutiju pređu sa slabijom jačinom, što ograničava njenu primenu kod proizvoda koji zahtevaju fleksibilnost (Triki i sar., 2012). Aerodinamičko pređenje omogućava visoku produktivnost i dobru paralelizaciju vlakana, uz jačinu uporedivu sa klasičnim pređenjem (Nikolić i Skenderi, 2004).

Kompaktno pređenje obezbeđuje visoku paralelizaciju vlakana, veću gustinu i bolje iskorišćenje pojedinačne jačine (Nikolić i Skenderi, 2004).

Tekstil za tapacirenje mora biti posebno otporan na habanje i čupavljenje. Iz tih razloga se koristi gruba ili srednje fina kardirana, polučešljana ili češljana pređa, koja u većini slučajeva ima uobičajene uvoje S ili Z, slika 2.1.



Slika 2.1. Pravci upredanja pređe: a) S uvoji, b) Z uvoji i pređa sa c) većim ili d) manjim brojem uvoja (Đorić i Radeka, 2008)

U konstrukciji presvlaka često se primenjuju i efektne ili kovrdžave pređe radi postizanja željenog površinskog izgleda, dok osnovni ili vezivni sistem niti, koji u manjoj meri učestvuje u formiranju površine, mora obezbediti stabilnost i dovoljnu jačinu. Taj sistem najčešće čini srednje fina kardirana i končana pređa. Multifilamentna pređa koristi se u manjem obimu za presvlake nameštaja (Peirce, 1930).

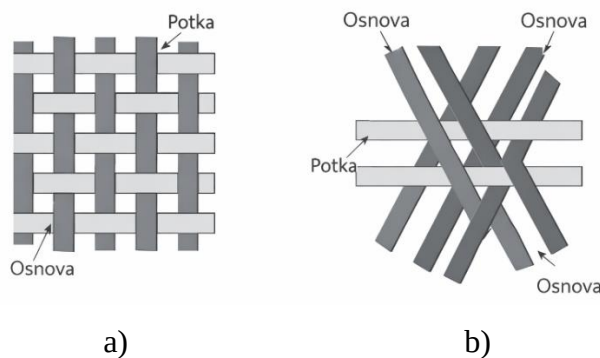
Za ESD primene, struktura pređe ima poseban značaj jer utiče ne samo na mehanička svojstva, već i na električno ponašanje tekstilne strukture. Stepem paralelizacije vlakana, broj uvoja i gustina pređe mogu uticati na raspored provodnih komponenti u strukturi tkanine i formiranje potencijalnih puteva za disipaciju naelektrisanja. Zbog toga izbor tipa pređe predstavlja važan parametar u projektovanju tekstilnih sistema sa kontrolisanim mehaničkim i električnim svojstvima, što je od posebnog značaja u ESD radnim okruženjima.

2.3.3. Tkanine

Tkanine prate čoveka kroz sve životne faze, od rođenja do smrti, zahvaljujući svojoj udobnosti i korisnim svojstvima. Njihova prisutnost u svakodnevnom životu ogleda se kroz raznovrsne oblike i funkcije – od onih namenjenih odevanju do onih sa specijalizovanom tehničkom primenom. Zahvaljujući širokom spektru fizičkih i funkcionalnih karakteristika koje se oblikuju u procesu proizvodnje, tkanine zauzimaju važno mesto među tekstilnim materijalima. Značajna je upotreba i uloga tkanina u domaćinstvu, za razne proizvode kućnog tekstila, ali je značajna i upotreba tkanina za tapaciranje nameštaja koji se koriste u različitim prostorima. Tkanine se izrađuju od niti pređe odgovarajućih karakteristika u tehnološkom procesu tkanja (Vladen, 1950).

Tkanina se definiše kao kompleksna struktura nastala međusobnim ukrštanjem dva sistema niti postavljena pod pravim uglom, pri čemu se formira biaksijalna mreža, slika 2.2a. Niti koje se

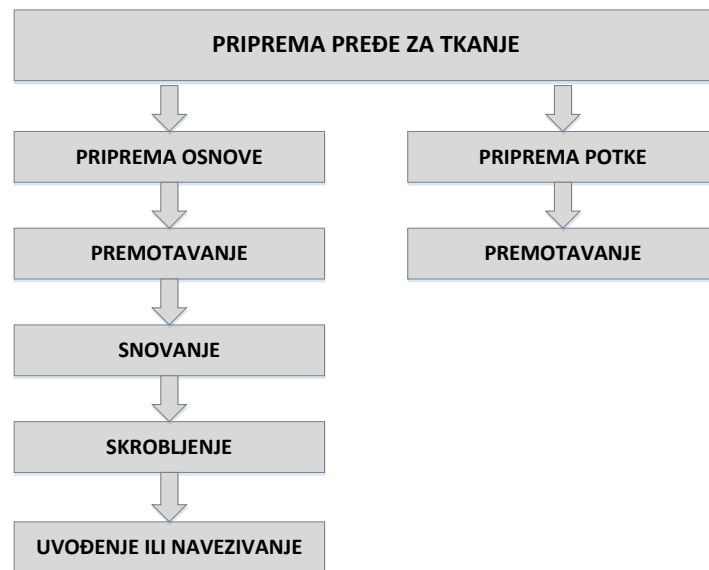
protežu u pravcu dužine tkanine, paralelno sa njenom ivicom, nazivaju se osnovom, dok se u poprečnom pravcu, pod pravim uglom na osnovu, nalazi drugi sistem niti poznat kao potka. Tkanina se dobija preplitanjem niti osnove i potke po utvrđenim zakonitostima. Osim biaksijalnih, postoje i tzv. triaksijalne tkanine koje se sastoje iz tri sistema pređe koje se međusobno ukrštaju pod uglom od 60° , slika 2.2b. (Škundrić i sar., 2008).



Slika 2.2. Struktura tkanine: a) biaksijalne, b) triaksijalne

Pored osnovnog oblika tkanja, postoje i tkanine koje nastaju preplitanjem više sistema osnove i potke, što rezultira znatno složenijom strukturom karakterističnom za određene vrste žakarskih tkanina (Stepanović i Janjić, 2015). Način na koji se niti osnove i potke međusobno povezuju naziva se prepletaj, a poznat je veliki broj varijacija ovog konstruktivnog elementa koje omogućavaju postizanje različitih vizuelnih i mehaničkih svojstava tkanine. Osnovni prepletaji su platno, keper i atlas. Svi ostali prepletaji se dobijaju iz osnovnih: kombinovanjem, sabiranjem, oduzimanjem i povećanjem veznih tačaka ili promenom, pomeranjem i ukrštanjem smeru osnovnog veza (Pušman, 1959).

Tehnološki postupak proizvodnje tkanine može se podeliti na dva osnovna segmenta: pripremu za tkanje i sam postupak tkanja. Kroz niz tehnoloških operacija, početni materijal u vidu pređe transformiše se u sirovu tkaninu, koja predstavlja krajnji proizvod tkačkog procesa. Faza pripreme ima ključnu ulogu u postizanju kvaliteta tkanine i obavlja se zasebno za osnovu i za potku, što je ilustrovano na slici 2.3. (Škundrić i sar., 2008).



Slika 2.3. Faze pripreme osnove i potke

Proces stvaranja tkanine na odgovarajućim uređajima naziva se tkanje. Današnji uređaji za tkanje su veoma raznovrsni. Zbog toga se za klasifikaciju tkačkih razboja primenjuje nekoliko podela (Nikolić, 1993):

- U zavisnosti od načina unošenja potke u zev razboji mogu biti: sa čunkom i bez čunka.
- Prema načinu snabdevanja potkom, razboji mogu biti: mehanički i automatski.
- U zavisnosti od broja čunkova, postoje razboji: sa jednim čunkom i sa više čunkova.
- Prema širini tkanine koja se dobija, razboji mogu biti: uski do 80 cm, srednje široki od 80 cm do 120 cm i široki preko 120 cm.
- U zavisnosti od načina formiranja zeva postoje razboji sa: ekscentrima, sa nitnim mašinama i žakar razboji.
- Prema sirovinskom sastavu tkanine koja se izrađuje, razlikuju se razboji za: svilu, vunu i pamuk.

Postoje i druge podele u zavisnosti od vrste tkanina koje se izrađuju. Bez obzira o kojoj vrsti tkanina je reč, princip dobijanja tkanina na svim mašinama je isti. U današnje vreme u upotrebi su različite konstrukcije razboja, koji imaju različit stepen automatizacije.

Izgled i karakteristike tkanina u velikoj meri određeni su njihovom krajnjom namenom. Postoji više kriterijuma za klasifikaciju tkanina, među kojima je jedan od osnovnih podela prema sirovinskom sastavu. Pored toga, tkanine se mogu razvrstati i prema konstrukciji, strukturi, načinu završne obrade, boji ili uzorku. S obzirom na raznovrsnost ovih kriterijuma, moguće je uspostaviti nove, specifične podele u zavisnosti od potreba, ali se kao najpraktičnija i najčešće

primenjivana smatra klasifikacija prema nameni tkanine. Upravo primena definiše i tipove završne obrade koje će se sprovoditi u tehnološkom procesu dorade. Tkanina koja izlazi iz tkačnice može se koristiti u sirovom obliku ili podvrgnuti doradnim procesima kako bi postala gotov proizvod. Većina tkanina je pogodna za doradu, a ključnu ulogu u njihovom nastanku imaju tkačnice. Tehnologija tkanja obuhvata sve tehnološke faze u proizvodnji sirovih tkanina. Pri izboru proizvodne metode, organizacije procesa i tehničko-tehnološkog rešenja, presudna je upravo vrsta tkanine koja se proizvodi (Vladen, 1950).

U završnoj fazi tekstilne proizvodnje, materijali se podvrgavaju različitim obradama u cilju poboljšanja njihovih funkcionalnih i estetskih osobina. Proces oplemenjivanja, na primer, primenjuje se kako bi se poboljšala taktilna udobnost, obezbedile osobine kao što su vodoodbojnost, uljeodbojnost i otpornost na zaprljanje, ali i kako bi se tkaninama dodelila specifična tehnička svojstva. Poseban značaj u tom kontekstu ima otpornost na habanje i smanjenje efekta stvaranja pillinga, što su ključni pokazatelji kvaliteta za materijale koji se koriste u tapaciranju nameštaja (Horrocks, Tune i Cegielka, 1988). Tkanine se u tim slučajevima najčešće primenjuju kao površinski sloj unutar višeslojnih materijala za navlake. Na ovaj način doprinose udobnosti i mekoći pri kontaktu sa telom, omogućavaju lakše oblikovanje u ergonomske forme i estetski se uklapaju u enterijer. Takve tkanine nazivaju se kompozitnim tkaninama, a u okviru ovog istraživanja biće analizirana svojstva kompozitne tkanine *Titan*. U većini slučajeva, površinski sloj ovih tkanina izrađen je korišćenjem osnovnih vezova ili njihovih izvedenica sa sitnim jedinicama prepleta. Mogu se takođe sresti i tkanine tipa velur i baršun, izrađene u više boja, koristeći žakar tehniku sa složenim osnovama i potkama. Međutim, usled vlaknaste strukture na licu tkanine, ove vrste materijala obično pokazuju nižu otpornost na habanje u poređenju sa klasičnim tkaninama.

Kao što je napomenuto, tkanine za tapaciranje moraju biti posebno otporne na habanje i čupavljenje. Iz tog razloga koristimo grubu ili srednje finu kardiranu, polučesljanu ili česljanu pređu, koja u većini slučajeva ima uobičajene zavoje. Često koristimo vrlo kovrdžavu pređu ili efektne niti koji tkanini daju poseban izgled. Ovo se odnosi na sistem niti koji stvara efekat površine. Od ključne važnosti su odgovarajuća čvrstoća i stabilnost, a manje je bitan estetski izgled. Takav osnovni ili vezivni sistem u većini slučajeva čini srednje fino kardirana i končana pređa. Multifilamentna pređa se takođe koristi za presvlake, ali u manjem obimu (Jakšić i Jakšić, 2022).

Konstrukcija tkanine mora zadovoljiti projektne zahteve, odnosno moramo odabrati parametre konstrukcije tako da svojstva tkanine što više odgovaraju projektnim zahtevima (Nikolić,

1993). Prečnik pređe, bilo da je u pitanju osnova ili potka, je osnovni parametar koji moramo uzeti u obzir pri analizi geometrije tkanina. Prečnik pređe zavisi od vrste vlakana, oblika poprečnog preseka vlakana, specifične mase, kovrdžavosti itd. Pored navedenog, zavisi i od vrste postupka predenja, stepena paralelizacije vlakana u pređi, broja uvoja, finoće pređe i sila koje deluju na osnovu i potku u procesu tkanja. Faktor pokrivanja je osnovni parametar geometrije tkanina koji govori na kojoj su međusobnoj udaljenosti niti osnove i potke. Ako nisu razmaknute jedna od druge to je potpuno prekrivanje bez deformacija niti, ako zamislimo da je osnova u jednoj ravni a potka u drugoj. Kod stvarnih tkanina to nije slučaj. Zbog toga je izuzetno teško postići da se u jednoslojnoj tkanini postigne toliki broj niti koji bi značio potpunu pokrivenost. Debljina tkanine utiče na fizičko – mehaničke osobine tkanine koje su od bitnog značaja kod upotrebe tkanina. Debljina označava međusobni položaj niti osnove i potke. Najpogodnija je tkanina tkana u platno prepletaju od iste vrste pređe i koja ima istu gustinu po osnovi i potki. Prilikom konstrukcije tkanina mora se voditi računa o utkanju osnove i potke, što je bitno za izračunavanje utroška osnove i potke.

Tkanina izrađena platnenim (platno) prepletajem karakteriše se ravnomernim zatezanjem niti osnove i potke, što rezultira jednoličnim utkanjem oba sistema niti (Teixeira, Platt i Hamburger, 1955; Triki i sar., 2012; Lin i sar., 2012). Estetski superiorna strana tkanine, poznata kao lice, oblikuje se specifičnim strukturnim rešenjima, načinom prepletanja i procesima oplemenjivanja tokom završne dorade. Lice tkanine često se označava i kao gornja ili leva strana, dok se naličje definiše kao donja ili desna. Lice se obično odlikuje izraženijim prepletajem, intenzivnijom nijansom boje i jasnoćom dezena. Kod štampanih tkanina dezen se uvek nalazi na licu, dok tkanine poput pliša i frotira na licu pokazuju reljefne strukture u vidu ispupčenja, nabora ili petlji. Takođe postoje i tkanine koje imaju dva funkcionalna lica.

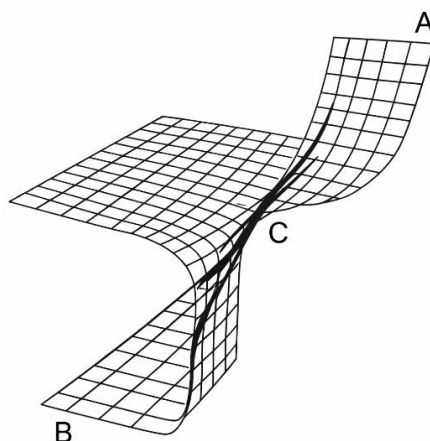
Širina tkanine predstavlja razdaljinu između krajnjih osnovnih niti i obično uključuje ivice, osim kod određenih vunениh tkanina kod kojih se one isključuju, osim ako nije drugačije specificirano. Standardna jedinica za izražavanje širine je centimetar (cm), iako se u pojedinim slučajevima koristi milimetar (mm) ili metar (m). Dužina gotove tkanine, koja se isporučuje krajnjem korisniku, definiše se kao rastojanje između dve krajnje potke koje se protežu duž cele širine tkanine bez prekida. Dužina može biti precizno definisana ili proizvoljna, u zavisnosti od tehničkih mogućnosti mašine i zahteva naručilaca. Obično se izražava u metrima, a u specifičnim slučajevima u centimetrima.

Treća dimenzija tkanine je debljina koja je znatno manja od dužine i širine, ali ima ključan uticaj na njenu funkcionalnost i primenu. S druge strane, površinska masa (izražena u g/m²)

predstavlja važan parametar za ocenu upotrebne vrednosti tkanine. Njeno precizno određivanje može biti otežano zbog neujednačenosti pređe, varijacija u gustini i načinu tkanja. Na osnovu površinske mase, tkanine se klasifikuju kao lake, srednje teške i teške. Većina pamučnih i svilenih tkanina pripada kategoriji lakih, dok se, u okviru odevnih tkanina, vuneni materijali namenjeni zimskim kaputima svrstavaju u teške. Za tkanine opšte i tehničke namene primenjuju se odgovarajući standardi koji sadrže sve relevantne tehničke karakteristike (Vladen, 1950; Nikolić, 1993; Škundrić i sar., 2008).

Fizičko-mehaničke osobine tkanina su, pre svega, jačina, elastičnost, krutost, otpornost na gužvanje, skupljanje tkanine zbog određenog tretmana tokom upotrebe, otpornost na trenje, otpornost na formiranje čvorića (pilinga) itd. Na većinu navedenih osobina možemo uticati izborom vrednosti određenih konstrukcijskih parametara, kao što su: vrsta i kvalitet vlakana, kvalitet pređe, finoća pređe, gustoća niti po osnovi i potki, prepletanje itd. Budući da nas stvarno zanima kvalitet gotove tkanine, doradom možemo uticati na neka fizičko – mehanička svojstva tkanine (Jakšić i Jakšić, 2022).

Prekidna jačina tkanine zavisi od prekidne niti osnove i potke, pravca delovanja opterećenja u odnosu na osu pređe i broja niti po jedinici dužine ili širine tkanine. Ovi parametri nisu dovoljni jer niti osnove i niti potke ne leže slobodno u tkanini već su međusobno isprepletene. Kada opteretimo niti jednog od sistema, one se deformišu, istežu, sve dok opterećenje ne dostigne prekidnu vrednost. Na primer, ako opteretimo osnovu, niti potke će sprečavati njenu deformaciju zbog koeficijenta trenja između niti oba sistema i normalnih sila koje stiskaju potku uz niti osnove i obrnuto. To prouzrokuje pojavu sile trenja koja se odupire deformaciji niti (Teixeira, Platt i Hamburger, 1955). Istezanje kod prekida prvenstveno zavisi od vrste i strukture vlakana. Istezanje koje se meri kod prekida tkanine je veće od istezanja slobodnih niti. Razlika nastaje zbog utkanja niti. Naknadno kidanje je češća pojava nego prekid. Proces naknadnog kidanja prikazan je na slici 2.4.



Slika 2.4. Šema položaja ispitivanog uzorka u procesu naknadnog kidanja

Ako su u stezaljkama pričvršćeni krajevi osnovinih niti u tačkama A i B, tada otpornost na naknadno kidanje daju potkine niti. Delimično i niti osnove učestvuju u ovom procesu, ali pre svega u uskoj zoni kidanja tkanine. Ako u procesu naknadnog kidanja opterećenje trpi n potkinih niti u pravcu naknadnog kidanja, tada $n+1$ potkina nit još uvek ne učestvuje u prenosu opterećenja. Kada se prva nit potke prekine, opterećenje u tkanini delimično popušta, a zatim se ponovo povećava do svoje maksimalne vrednosti. U tom trenutku, deo opterećenja se takođe prenosi na $n+1$ potku. Otpornost na naknadno kidanje zavisi od prekidne jačine pojedine niti u posmatranom sistemu (osnova ili potka), gustine niti po jedinici dužine, ukleštenja niti u drugi sistem ili slično. Očigledno da je će otpornost niti biti veća što je veća otpornost svake pojedine niti, koja je uključena u prenos opterećenja u procesu naknadnog kidanja. Pošto se opterećenje prostire do određene dubine ispitivanog uzorka, na promatranoj dubini biće više niti ukoliko je veća gustina niti po jedinici dužine, što rezultira većom otpornošću na naknadno kidanje (Triki i sar., 2012). Napetost niti se meri silom koja odoleva izvlačenju niti iz tkanine i pre svega zavisi od prepletaja. Što je veći broj vezivnih tačaka, tim je više nit ukleštena u tkaninu. Tako su niti u tkanini tkanoj u prepletaju platno bolje učvršćene nego u tkanini koja je tkana u atlasu. Kvalitet površine niti je takođe važan, odnosno vrednost koeficijenta trenja. Što je veća vrednost koeficijenta trenja, to će jače biti ukleštena posmatrana nit. Kod ove analize ne bi trebalo zanemariti izduženje niti kod prekida. Veće izduženje omogućava da se opterećenje rasporedi na veću dubinu, a time i na veću površinu, što znači da opterećenje podnosi veći broj niti jednog ili drugog sistema. Ovakva raspodela se manifestuje kao veći otpor tkanine naknadnom kidanju (Teixeira, Platt i Hamburger, 1955). Usled navedenih uticaja, moramo biti veoma oprezni prilikom kaširanja tkanina. Sloj koji se nanosi na tkaninu najčešće povećava otpornost na uvijanje i povećava međusobnu ukleštenost niti oba sistema. Sam nanoseni sloj je

često premalo elastičan. Sve to rezultira smanjenjem otpornosti tkanine na naknadno kidanje, koje je često vrlo veliko (Triki i sar., 2012).

U kontekstu ESD primene, konstrukcija tkanine ne utiče samo na njena mehanička svojstva, već i na električno ponašanje tekstilnog sistema. Gustina niti, vrsta pređe, stepen paralelizacije vlakana, tip prepletaja i prisustvo provodnih komponenti određuju raspored potencijalnih puteva za disipaciju naelektrisanja kroz strukturu tkanine. Prepletaji sa većim brojem vezivnih tačaka obezbeđuju stabilniju strukturu i ravnomerniju raspodelu naprezanja, ali istovremeno mogu uticati na kontaktni otpor između niti. Površinska masa, debljina i faktor pokrivanja dodatno utiču na zapreminsku i površinsku otpornost materijala. Zbog toga se pri projektovanju tkanina za ESD tapacirane sisteme mora postići balans između mehaničke izdržljivosti, otpornosti na habanje i kontrolisanih električnih karakteristika, što predstavlja osnovu za eksperimentalnu analizu sprovedenu u ovom radu (Donciu, 2013; Horrocks i Anand, 2016; Halgas, Wilbik i Sidyk, 2024).

2.3.4. Pletenine

Pletenje se definiše kao tehnološki postupak formiranja tekstilnog materijala kroz međusobno povezivanje velikog broja petlji, koje predstavljaju osnovne strukturne jedinice. Pletenina, kao rezultat ovog procesa, spada u grupu ravnih tekstilnih površina sličnih tkanini, ali se od nje razlikuje po unutrašnjoj strukturi i mehaničkim osobinama. Njena ključna prednost ogleda se u većoj elastičnosti i mekoći, što je čini udobnijom za nošenje i kontakt sa telom u poređenju sa tkaninama. Ipak, pletenine pokazuju manju otpornost na habanje, smanjenu stabilnost i niže vrednosti prekidne sile, što ograničava njihovu samostalnu upotrebu u tehničkim primenama. Zbog ovih karakteristika, pletenine se najčešće koriste kao sekundarni ili tercijarni sloj u okviru višeslojnih kompozitnih materijala, namenjenih navlakama za nameštaj i sedišta. Kada se učvrste dodatnim materijalima sa poledine, one doprinose ukupnoj elastičnosti, udobnosti i konstrukcionoj čvrstoći pojedinih delova proizvoda. Pored toga, pleteni tekstilni proizvodi mogu značajno varirati u pogledu sirovinskog sastava, metoda izrade i oblasti primene. Prema nekim procenama samo se jedna trećina svih proizvedenih pletenina koristi za izradu odeće, a preostale dve trećine za izradu pletenih proizvoda namenjenih u dekorativne svrhe i tehnički tekstil. Uređenje različitih enterijera predstavlja posebnu oblast primene pletenina. Industrija koja se bavi izradom predmeta za dekoraciju enterijera u velikoj meri koristi, pored tkanina, i pletenine. Pleteni predmeti za dekorativnu namenu imaju zadovoljavajuća svojstva tokom

eksploatacije kao i dobra estetska svojstva. Pletenine manje površinske mase, koje se lako štampaju, omogućavaju različite brojne opcije za izradu prekrivača, čipki, zavesa, draperija, stolnjaka, posteljina, mebl materijala i dr. Za ovu primenu uglavnom se koriste lančane pletenine različitog sirovinskog sastava. Pored pletenina koje se primenjuju za izradu dekorativnih predmeta, postoje i različite vrste pletenina koje služe za tehničku primenu. Zadatak pletenog tehničkog tekstila, za razliku od onog namenjenog odevanju, je da udovolji specifičnim, strogim zahtevima svoje namene, dok su pri tome manje važne estetske i dekorativne karakteristike. Lančane pletenine su se pokazale veoma prikladnim za proizvodnju tehničkog tekstila, naročito pletenine izrađene na Rašel mašinama. Međutim, sve više se za izradu pletenih materijala u tehničke svrhe koriste i ravno – pletaće mašine za kuliranje na kojima se izrađuju desno – desne i interlok pletenine (Škundrić i sar., 2008).

Za ESD primene, pletenine se ređe koriste kao primarni spoljašnji sloj tapaciranih sistema zbog njihove manje otpornosti na habanje i niže stabilnosti u odnosu na tkanine. Međutim, zahvaljujući svojoj elastičnosti i sposobnosti prilagođavanja obliku, mogu imati značajnu ulogu kao funkcionalni međusloj u kompozitnim konstrukcijama. U takvim sistemima struktura petlji, gustina i sirovinski sastav mogu uticati na raspodelu naprezanja i kontaktne električne karakteristike materijala, posebno ukoliko se u konstrukciju integrišu provodna vlakna ili antistatičke komponente.

2.3.5. Netkani tekstil

Netkani tekstil spada u kategoriju tehničkog tekstila i zauzima treće mesto u proizvodnji ravnih tekstilnih proizvoda, odmah iza tkanina i pletenina. Zbog svojih specifičnih osobina, kao što su varijabilnost u debljini, masi, voluminoznosti, elastičnosti i krutosti, ali i zbog relativno brze i jeftine proizvodnje, netkani tekstil često ima prednost u odnosu na tkanine i pletenine. Jedna od ključnih prednosti ovog materijala je mogućnost postizanja željenih svojstava s lakoćom, što ga čini pogodnim za specifične primene. Prema dosadašnjim podacima o proizvodnji netkanog tekstila, zabeležen je kontinuirani rast i sve šira primena ovog materijala u različitim industrijama (Šunjka i Petrović, 1996). Stručnjaci iz oblasti tekstilne industrije smatraju da netkani tekstil predstavlja površinski tekstilni proizvod, sačinjen od vlakana ili niti, koji se formira korišćenjem jednog ili više slojeva vlakana različito usmerenih, bez primene tradicionalnih metoda kao što su tkanje, predenje ili pletenje. Umesto toga, vlakna se učvršćuju

upotrebom vezivnih sredstava ili mehaničkim vezivanjem sopstvenim vlaknima, što omogućava postizanje specifičnih tehničkih i funkcionalnih karakteristika (Hoffer, 1976).

Netkani tekstil predstavlja tekstilnu strukturu proizvedenu povezivanjem ili preplitanjem vlakana, a zatim naknadno učvršćenu mehaničkim, termičkim, hemijskim ili kombinovanim postupkom. Jedna od glavnih prednosti proizvodnje netkanog tekstila je mogućnost dobijanja proizvoda od sirovog vlaknastog materijala, što je mnogo jeftinije od proizvodnje tkanina i pletenina. Plastika obuhvata sve tekstilne površine izrađene od tekstilnih vlakana koje se održavaju međusobnim prijanjanjem vlakana. Njihovim učvršćivanjem dobijaju se netkani tekstilni proizvodi koji imaju različite namene. Izrada netkanih tekstilnih materijala obuhvata sledeće faze:

- pripremu vlakana,
- izradu osnovnog sloja (plastice),
- učvršćivanje osnovnog sloja i
- doradu netkanog materijala.

Izbor vlakana za osnovni sloj uslovljen je zahtevima primene proizvoda. Priprema vlakana obuhvata otvaranje, čišćenje i mešanje vlakana. Prema načinu izrade plastice razlikuju se sledeći postupci proizvodnje, čiji izbor zavisi od dužine vlakana:

- suvi postupci proizvodnje (mehanički, aerodinamički, kombinovani, postupak hemijskog ispredanja) i
- mokri postupak proizvodnje (hidrodinamički).

Plastica formirana od položenih i usmerenih vlakana, ali koja nisu međusobno povezana, nema dovoljnu jačinu i ostala potrebna svojstva da bi predstavljala upotrebljiv materijal. Iz tog razloga se mora učvrstiti u elastičnu ravnu površinu. Učvršćivanje plastice moguće je uraditi mehaničkim, hemijskim i termomehaničkim postupkom (Šunjka i Petrović, 1996).

Mehanički postupak učvršćivanja plastice se radi iglovanjem na odgovarajućim mašinama. Vlakna se međusobno zapliću iglama koje se kreću od površine plastice ka unutrašnjosti i povratnim hodom nazad u početni položaj. Igle svojim nazubljenjima zahvataju pramenove vlakana i nose ih u smeru svog kretanja.

Hemijski postupak zasniva se na povezivanju vlakana raznim hemijskim sredstvima. Kao vezivna sredstva obično se koriste polimeri rastvorljivi u vodi, akrilni polimeri i kopolimeri, prirodni i sintetički kaučuk, razne smole, poliuretani i slično. Termomehaničko učvršćivanje podrazumeva spajanje plastice pod uticajem povišene temperature. Ako je plastika izrađena od

termoplastičnih vlakana, njeno jačanje se postiže prolaskom ispod valjaka zagrijanih do tačke topljenja vlakana, koja se pri zagrijavanju tope, postaju lepljiva i međusobno se vežu. Pod uticajem temperature, pritiska i podešavanjem brzine odvođenja plastice dobija se konačan izgled netkanog tekstila.

Termomehanički postupak učvršćivanja se koristi kod izrade plastice koja se sastoji od netermoplastičnih vlakana. Za učvršćivanje koriste se vezivna sredstva koja imaju termoplastične karakteristike ili sposobnost neograničenog bubrenja. Učvršćivanje se postiže zagrijavanjem do temperature topljenja vezivnog sredstva, pri čemu se vlakna međusobno slepljuju. Kao vezivna sredstva koriste se polimeri na bazi PE, PP, PA, PES, PVC i drugi. Vezivna sredstva moraju ispunjavati sledeće zahteve: efikasno topljenje, dobru adheziju sa osnovnim vlaknima iz plastice, nižu tačku topljenja od vlakana iz plastice, odgovarajuću jačinu i elastičnost. Koristi se nekoliko metoda nanošenja vezivnih sredstava. Proces učvršćivanja se odvija prolaskom plastice između dva valjka, od kojih je jedan gladak a drugi izgraviran. Pri tom se moraju kontrolisati parametri bitni za njegovo odvijanje, kao što su pritisak, rastojanje između vlakana, temperatura, oblik gravure, svojstva upotrebljenih vlakana i slično (Hoffer, 1976; Šunjka i Petrović, 1996).

Više od dve milijarde m² netkanog materijala koristi se u kućnom tekstilu širom sveta. Prema podacima EDANA-e¹, oko 5% netkanih materijala proizvedenih u zapadnoj Evropi, koristi se u dizajnu enterijera, uključujući i presvlake za nameštaj. Danas su netkani materijali, koji se proizvode različitim metodama, zauzeli značajan udeo na tržištu u sektoru kućnog tekstila. Upotreba netkanog materijala u dizajnu enterijera koncentrisana je uglavnom na materijale za presvlake, podne obloge, zidne obloge i nameštaj (Huizhou Xintaixin Nonwoven Fabric Co., Ltd., 2021).

Netkani tekstil koji se primenjuje u tapetarskoj industriji uglavnom je sintetičkog porekla, što omogućava postizanje visokih zahteva, kao što je otpornost na habanje, izborom odgovarajućih vlakana i primenom specijalizovanih obrada tokom proizvodnje (Pezelj, Andrassy i Čunko, 2002). Ovaj materijal se često koristi kao poledina za tkanine, kao deo kompozitnih materijala, te u izradi navlaka za tapacirani nameštaj. Međutim, jedan od izazova u primeni netkanog tekstila je spajanje s drugim materijalima šivenjem, s obzirom na nestabilnost šava. Kako bi se izbegli ovi problemi, koristi se netkani tekstil optimalnih svojstava, uključujući odgovarajuću

¹ EDANA, *European Disposable and Nonwoven Association*, je organizacija koja podupire održivi razvoj industrije i zagovara dobrobiti netkanih materijala za društvo.

gustinu vlakana, dobru kompaktnost i mekoću, što omogućava veću stabilnost šava i bolju funkcionalnost u krajnjoj primeni (Hoffer, 1976; Albrecht, 2000).

U ESD primeni, netkani tekstil najčešće se koristi kao funkcionalni unutrašnji sloj kompozitnih sistema, gde može doprineti raspodeli naprezanja i stabilizaciji ukupne strukture. Ukoliko je izrađen od sintetičkih vlakana bez dodatnih provodnih komponenti, netkani sloj može pokazivati izražena izolaciona svojstva i sklonost akumulaciji elektrostatčkog naelektrisanja. Međutim, integracijom provodnih vlakana, antistatičkih aditiva ili odgovarajućom površinskom obradom moguće je postići kontrolisanu disipaciju naelektrisanja. U višeslojnim sistemima za ESD stolice, interakcija netkanog poledinskog sloja sa tkaninom i šavom može uticati na ukupnu električnu otpornost i mehaničku stabilnost spoja, što zahteva pažljivo projektovanje strukture i izbor materijala.

2.3.6. Poliuretanska spužva

Spužve su materijali gotovo neograničenih mogućnosti primene. Dušeci i meka sedišta, delovi nameštaja i automobila od spužve i memorijske pene se prave od poliuretana (PU). Osim toga, ova vrsta spužvi se koristi i za pakovanje osetljive robe, u električnoj industriji i kao zvučna izolacija. Većina PU spužvi su takođe veoma otporne na vatru i hemijski su inertne što ih čini idealnim za gotovo svaku primenu, a posebno za zvučnu izolaciju prostorija i duške za spavanje. Vrhunska mekoća i fleksibilnost koju poliuretan nudi u odnosu na druge materijale od pene, čine ga savršenim za pravljenje nameštaja. Takođe je otporan na kidanje i habanje što ga čini izuzetno izdržljivim. Otvorena ćelijska struktura čini ovaj proizvod posebno korisnim za toplotnu izolaciju (Grbac i Ivelić, 2005; Gluhalić, 2015).

Mekane PU spužve su izuzetno pogodne za savremenu proizvodnju ojastučenog nameštaja zbog svojih izuzetnih svojstava koja omogućavaju lako oblikovanje i dugotrajan vek trajanja. Ove spužve obezbeđuju visoku elastičnost, kao i sposobnost da se prilagode individualnim potrebama korisnika, čime omogućavaju postizanje ergonomske položaja prilikom sedenja. Poliuretani se koriste za proizvodnju visokoelastičnih penastih materijala, odnosno PU spužvi, koje se formiraju kroz specifičnu hemijsku reakciju (Katz, 2008; Ražov, 2015).

PU smesa se sastoji od dva tečna materijala koja, kada se pomešaju u jednakim razmerama, reaguju i formiraju tvrdi spužvu koja se može koristiti za različite primene, kao što su toplotna ili zvučna izolacija. Prvi tečni materijal se sastoji od polimera diola ili triola (obično glicerina), aditiva koji podstiču stvaranje mehurića, površinskog silikona, katalizatora i freona. Drugi tečni

materijal sadrži poliizocijanat. Mešanjem dolazi do polimerizacijske reakcije u tri faze, što rezultira stvaranjem velikih molekula koje čine čvrstu trodimenzionalnu strukturu. Za stvaranje pene, odnosno za proširivanje poliuretanskog polimera, potrebno je uvođenje mehurića plina. Izvor plina u ovom procesu je ugljen-dioksid, koji nastaje reakcijom izocijanata sa vodom (Eaves, 2003; Klempner i Sendijarević, 2004). Proizvodnja PU spužvi obuhvata proces penjenja (eng. *foaming*), koji omogućava stvaranje porozne strukture koja je mekana, lagana i fleksibilna (Ražov, 2015).

Proizvodnja PU spužve počinje pripremom osnovnih sirovina. Glavni sastojci za proizvodnju PU spužve su:

- poliol (jedan od ključnih sastojaka u formiranju poliuretana),
- izocijanati (drugi ključni sastojak koji reakcijom sa poliolum stvara poliuretansku strukturu),
- formirajući agenti ili penušavi agensi koji omogućavaju stvaranje penaste strukture (najčešće se koriste vodeni rastvori ili gasovi poput ugljen-dioksida),
- katalizatori koji ubrzavaju hemijsku reakciju između poliola i izocijanata,
- stabilizatori i pomoćni materijali kao što su boje, mirisi, antibakterijski dodaci i sredstva za ubrzavanje ili usporavanje procesa.

Mešanje sirovina se pažljivo obavlja u tačno određenim proporcijama u velikim mešalicama. Mešanje mora biti vrlo precizno, jer svaka varijacija u proporcijama može uticati na kvalitet spužve.

Kada se sirovine pomešaju, započinje hemijska reakcija koja dovodi do stvaranja pene. Izocijanati reaguju sa polioluma i formiraju poliuretansku matricu. Ovu reakciju generiše gas (najčešće ugljen-dioksid), koji stvara pore u materijalu i uzrokuje njegovo širenje (penjenje). U procesu penjenja se može dobiti: otvorena pena (*open-cell foam*), gde su pore povezane i spužva je mekša, fleksibilnija i koristi se za udobnost (kao što su spužve za nameštaj) i zatvorena pena (*closed-cell foam*), gde su pore zatvorene i spužva je čvršća, izdržljivija i koristi se za primene gde je potrebna otpornost na vlagu i druge spoljne uticaje. Spužva se nakon penjenja obično izlije u oblikovane kalupe. Ti kalupi mogu biti različitih veličina i oblika, u zavisnosti od finalne primene spužve. U ovom procesu, penušavi materijal se izliva u kalup i ostavlja da se stvrdne. Tokom stvrdnjavanja, poliuretanska struktura postaje čvrsta i stabilna. Stvrdnjavanje može trajati od nekoliko minuta do nekoliko sati, u zavisnosti od vrste poliuretana i debljine spužve. Tokom stvrdnjavanja, temperatura i vlažnost igraju važnu ulogu u formiranju željenih svojstava spužve. Neke vrste poliuretanskih spužvi mogu zahtevati dodatnu termičku obradu. Kada je

spužva stvrdnuta, može se seći u različite oblike i veličine prema specifičnim zahtevima. Nakon sečenja, spužva se testira kako bi se osiguralo da ispunjava specifične zahteve u pogledu mekoće, gustine, elastičnosti i otpornosti na habanje. Zavisno od vrste spužve, može se meriti: gustina spužve (kg/m^3), elastična povratna deformacija, dugotrajnost i otpornost na habanje. Nakon što su svi testovi prošli, spužva se pakuje i priprema za distribuciju. Može se isporučivati kao gotov materijal za dalju proizvodnju nameštaja, madraca, jastuka ili za specijalizovane industrijske primene (Eaves, 2003; Ražov, 2015).

PU spužve se proizvode u različitim gustinama, pri čemu svaka gustina ima specifičnu primenu. Osim gustine, jedna od ključnih osobina poliuretanskih spužvi je njihova tvrdoća. Posebno su značajne tri vrste spužvi (Eaves, 2003):

- spužve niske gustoće (*low-density foams*) u rasponu od 10 do 80 kg/m^3 ,
- krute spužve niske gustoće (*low-density rigid foams*) u rasponu od 28 do 50 kg/m^3 i
- spužve visoke gustoće (*high-density foams*) koje imaju gustoću iznad 100 kg/m^3 .

PU spužva je materijal koji omogućava lagano i higijenski prihvatljivo ojašćenje proizvoda. Njena gustoća se kreće u rasponu od 16 do 1100 kg/m^3 , pri čemu se različiti tipovi spužvi različite gustoće obeležavaju dodavanjem specifičnih boja. Struktura PU spužvi može biti sa otvorenim ili zatvorenim stanicama. Ključna svojstva ove spužve uključuju visok stepen elastičnosti i malu trajnu deformaciju. Hemijski sastav PU spužvi obuhvata izocijanat kao prvu komponentu, dok drugu komponentu čini poliol, koji može biti polieter ili poliester. Spužve bazirane na polieteru imaju superiorna svojstva u poređenju sa spužvama na bazi poliestera. Na tržištu, spužve se dele na standardne poliesterske, visoko elastične (*HR – high resilience*) i visoko elastične otporne na gorenje (*CMHR – combustion modified high resilience*) (Eaves, 2003; Grbac i Ivelić, 2005).

Spužva je jedan od najuniverzalnijih materijala ikada proizvedenih. Iako se može činiti kao jednostavan proizvod, zapravo je veoma kompleksna. Spužve se mogu napraviti da imaju različita svojstva, pa čak i ako dve spužve izgledaju isto, mogu pružiti potpuno različite osećaje udobnosti. Svojstva spužvi mogu se precizno odrediti i detaljno opisati. Ključni faktori za udobnost spužve su njena nosivost, udobnost i trajnost (Szycher, 1999). Spužva mora biti u mogućnosti da podupre težinu korisnika, a za ojašćenje mora pružati ne samo stabilnu podlogu, već i udobnost tokom korišćenja. Trajnost se odnosi na sposobnost spužve da zadrži svoja prvobitna svojstva tokom upotrebe i ostane izdržljiva. Sedalo mora imati dobru nosivost, udobnost i dugotrajnost, dok naslon obično nije podložen velikim težinama. Gustoća spužve ima veliki uticaj na njene karakteristike. Gustoća je svojstvo koje se često pogrešno povezuje s

tvrdocom, što je netačno. Spužve s različitim nivoima tvrdoće mogu se napraviti u širokom opsegu gustina. Manja gustoća znači manje ćelijskog materijala za podupiranje težine, dok veća gustoća znači više ćelijskog materijala, što omogućava bolja dugoročna svojstva, posebno za sedala (Szycher, 1999; Eaves, 2003).

2.3.7. Kompoziti

Tkanine za tapaciranje nameštaja, koje su kompozitni materijali, često kombinuju različite slojeve kako bi se postigle bolje mehaničke osobine, udobnost i dugotrajnost. Obično, donji sloj ovih materijala čini pletenina, dok je gornji sloj na licu tkanina. Kompozitni materijali u izradi tapaciranog nameštaja imaju izuzetnu važnost zbog složenih zahteva koje postavlja funkcionalnost i estetika. Nameštaj mora omogućiti korisniku optimalan položaj tela i pružiti udobno sedenje. Odabir materijala, precizno krojenje i kvalitetno spajanje krojnih delova šivenjem ključni su faktori za dugotrajan vek navlaka na nameštaju, bez vidljivih oštećenja. S obzirom na visoke zahteve koji se postavljaju pred materijale za tapacirane navlake, sve se više koriste višeslojni materijali koji kombinuju različite vrste materijala i tehnologije izrade, gdje svaki doprinosi ispunjavanju specifičnih zahteva. Jedno od najvažnijih svojstava navlaka za stolice jeste kvalitetno spajanje krojnih delova. Kako se oblik stolica prilagođava složenijim ergonomskim zahtevima, raste broj i složenost krojnih delova, što podrazumeva veći broj šavova i zahtevnije šivenje. Kvalitet šava postaje ključan u izradi navlaka za tapacirani nameštaj. Zbog različitih materijala u kompozitnim materijalima, različitih debljina i komponenata koje je potrebno spojiti, šivenje će verovatno ostati jedini efikasan način za spajanje krojnih delova navlaka u doglednoj budućnosti.

Materijali koji se koriste za nameštaj, kako bi tokom celog svog veka trajanja zadržali svoj izgled i udobnost, sve više se izrađuju kao kompoziti, gde se različiti materijali termički učvršćuju zajedno. Obično se na licu koristi tkanina, veštačka ili prirodna koža, ili pletivo, dok se na naličju nalazi tanko pletivo, a u novije vreme između tih slojeva nalazi se tanka poliuretanska spužva ili vatirani materijali. Ovaj složeniji pristup omogućava postizanje maksimalne udobnosti pri upotrebi, kao i produženu dugotrajnost, stabilnost, elastičnost i prozračnost materijala. Tkanina se najčešće koristi kao površinski sloj višeslojnog kompozita, jer doprinosi udobnosti i mekoći pri kontaktu s telom. Poliuretanska spužva, koja se koristi kao unutrašnji sloj, pruža mekoću i udobnost prilikom sedenja, dok istovremeno daje stabilnost navlaci. Ključna osobina poliuretanske spužve je njena krutost, koja sprečava savijanje,

nabiranje, gužvanje i rastezanje na mestima gde korisnici sede. Tipična primena troslojnih kompozita, sa poliuretanskom spužvom ili vatelinom u sredini, uključuje stilski nameštaj kao što su fotelje, trosedi, dvosedi, taburei i uzglavlja za francuske ležajeve. Pletivo kao treća komponenta u kompozitu pruža visoku elastičnost i mekoću, što ga čini udobnijim od tkanine. Međutim, zbog niže otpornosti na habanje, trajnosti, nestabilnosti i manje prekidne sile u odnosu na tkanine, veštačku ili prirodnu kožu, pletivo se najčešće koristi kao drugi ili treći sloj u kompozitnim višeslojnim materijalima za navlake. Navlake su ključna komponenta svakog komada tapaciranog nameštaja, jer su one prvi element sa kojim korisnik dolazi u kontakt, kako vizuelno, tako i dodirnom. Zbog toga je kvalitet navlake od velikog značaja za ukupnu percepciju i funkcionalnost nameštaja. Osim što direktno utiču na udobnost, estetiku i trajnost, navlake takođe igraju važnu ulogu u očuvanju unutrašnjih slojeva tapaciranog nameštaja i njegovih osnovnih materijala.

Visokokvalitetne navlake doprinose dugoročnom zadovoljstvu korisnika, jer ne samo da moraju zadovoljiti estetske i funkcionalne zahteve, već i visoke standarde izdržljivosti i otpornosti na habanje (Stylios i Jones, 2013; Kovačević i Ujević, 2013; Bilić, 2021).

Na osnovu navedenih sirovina i tekstilnih struktura u prethodnim poglavljima (pređa, tkanine, pletenine, netkani tekstil, poliuretanska spužva i kompoziti), ESD svojstva mogu se postići njihovom strukturnom modifikacijom ili naknadnom površinskom obradom. Kod kompozitnih sistema i poliuretanskih spužvi, provodna faza se može dodavati tokom proizvodnje, čime se obezbeđuje kontrolisana disipacija električnog naelektrisanja u celokupnoj strukturi materijala. Na taj način, različite tekstilne i netekstilne komponente tapaciranog sistema mogu biti prilagođene zahtevima ESD okruženja, u skladu sa propisanim opsegom površinske otpornosti. Metode postizanja antistatičkih i ESD karakteristika tekstilnih površina biće detaljnije razmotrene u narednom poglavlju.

2.4. Metode postizanja antistatičkih i ESD svojstava tekstila

Tekstilni materijali u svom osnovnom obliku, naročito oni izrađeni od sintetičkih vlakana, pokazuju izraženu sklonost ka akumulaciji statičkog elektriciteta usled niske električne provodljivosti i male sposobnosti odvođenja naelektrisanja. Zbog toga je za primenu tekstila u ESD okruženjima, kao što su radne stolice, tehnička oprema i zaštitna odeća, neophodno primeniti odgovarajuće metode kojima se postižu disipativna ili kontrolisano provodna svojstva, u opsegu površinske otpornosti od približno 10^5 do $10^9 \Omega$.

Postizanje antistatičkih i ESD svojstava tekstilnih materijala može se ostvariti primenom strukturnih, sirovinskih i površinskih obrada, pri čemu se u praksi često kombinuje više metoda.

Jedan od osnovnih načina postizanja ESD svojstava jeste *ugradnja provodnih ili poluprovodnih vlakana* u strukturu tkanine. Najčešće se koriste:

- vlakna sa metalnim premazom (srebro, nerđajući čelik),
- karbonizovana vlakna,
- hibridna vlakna sa provodnim jezgrom.

Ovakva vlakna mogu biti ugrađena u osnovu, potku ili u obliku mrežaste strukture, čime se obezbeđuje kontinualan put za odvođenje naelektrisanja. Ova metoda je trajna i stabilna, ali često povećava cenu materijala.

Savremena istraživanja pokazuju da integracija grafen-baziranih i karbon-baziranih komponenti u vlakna omogućava dobijanje fleksibilnih provodnih tekstila sa stabilnim električnim svojstvima i dobrom mehaničkom izdržljivošću, što ih čini pogodnim za ESD primene (Neves i sar., 2017; Evseev i sar., 2023).

Površinske obrade predstavljaju fleksibilan i ekonomičan način za dobijanje ESD svojstava tekstila. Najčešće se primenjuju:

- grafitne disperzije,
- paste na bazi ugljeničnih čestica,
- grafen i grafen-oksidi,
- provodni polimeri.

Grafitne obrade funkcionišu tako što se čestice grafita talože na površini i u porama tekstilne strukture, formirajući mrežu koja omogućava disipaciju električnog naelektrisanja. Ovakve obrade mogu značajno smanjiti površinsku otpornost tkanine i prevesti je iz izolacionog u disipativni režim.

Istraživanja pokazuju da nanošenje grafen-oksida ili grafena metodama premazivanja uranjanjem (dip-coating), prskanja ili impregnacije dovodi do formiranja provodnih puteva duž vlakana, pri čemu čak i male koncentracije nanočestica mogu znatno smanjiti površinsku otpornost poliesterskih tkanina (Li i sar., 2020). Takođe je pokazano da ultrazvučno prskanje grafen disperzija omogućava ravnomernu raspodelu provodnog sloja na tekstilnoj površini i stabilna električna svojstva (Sadanandan i sar., 2021).

Pregledne studije o provodnim premazima ukazuju da karbon-bazirani premazi (grafit, grafen, nano-ugljenik) predstavljaju jednu od najefikasnijih i tehnološki najprihvatljivijih metoda za dobijanje fleksibilnih i laganih ESD tekstila (Chatterjee, Tabor i Ghosh, 2019).

Ovakve obrade su posebno pogodne za tapaciranje ESD stolica i tehnički tekstil, gde je potrebno postići disipativna svojstva bez značajnog uticaja na taktilne i estetske karakteristike materijala.

Hemijske antistatičke obrade zasnivaju se na nanošenju antistatičkih sredstava koja povećavaju sposobnost materijala da veže vlagu iz okoline, čime se smanjuje pojava statičkog elektriciteta. Ove obrade su jednostavne za primenu, ali često imaju ograničenu trajnost i zavise od uslova sredine, naročito relativne vlažnosti vazduha.

Za razliku od klasičnih antistatičkih sredstava, grafen-bazirane i karbon-bazirane obrade pokazuju veću stabilnost nakon mehaničkog opterećenja i višestrukih ciklusa pranja, što je potvrđeno u istraživanjima trajnosti provodnih tekstila (Evseev i sar., 2023).

U savremenoj proizvodnji ESD tekstila često se primenjuju kombinovani pristupi, koji uključuju:

- upotrebu provodnih vlakana u strukturi tkanine,
- primenu provodnih konaca u šavovima,
- površinske obrade grafitnim ili grafen-baziranim disperzijama,
- kontrolu rasporeda provodnih elemenata u mrežastoj konfiguraciji.

Kombinacija strukturalne provodljivosti i površinskih premaza omogućava optimizaciju električnih i mehaničkih svojstava tekstila, uz postizanje stabilne disipativne zone površinske otpornosti (10^5 – $10^9 \Omega$), što je u skladu sa savremenim ESD zahtevima (Neves i sar., 2017; Chatterjee, Tabor i Ghosh, 2019).

Upravo ova grupa materijala – disipativni tekstili sa kontrolisanom površinskom otpornošću, predstavlja osnovu za dizajn antistatičkih radnih stolica, tehničkog tekstila i šivaćih komponenti namenjenih ESD okruženjima, u skladu sa zahtevima savremenih standarda i industrijske prakse.

2.5. Primena ESD tekstila u konstrukciji radnih stolica

Antistatička ESD radna stolica predstavlja važan elemenat opreme u prostorima gde je prisutna osetljiva elektronska oprema, merni instrumenti, procesi precizne proizvodnje ili laboratorijski postupci sa povećanim zahtevima za kontrolisanu disipaciju statičkog naelektrisanja. Kao deo standardizovanog ESD sistema, stolica ima funkciju da obezbedi bezbedno rasipanje elektrostatčkog naelektrisanja, sprečavajući njegovu akumulaciju na telu korisnika i prenošenje na uređaje i komponente osetljive na elektrostatičko pražnjenje (Greason, 1992; Gärtner i sar., 2019).

ESD radna stolica je konstruisana tako da obezbedi ergonomsku podršku korisniku tokom višesatnog rada, ali i da ispuni stroge tehničke zahteve definisane standardima IEC 61340–5–1 koji propisuju kontrolu elektrostatčkih svojstava radnog okruženja (IEC 61340, 2016). U laboratorijama, proizvodnim pogonima elektronike i čistim sobama, stolica mora biti deo ESD zaštitnog sistema zajedno sa podnim oblogama, radnim stolovima, obucom i zaštitnom odecom (Gärtner i sar., 2019).

2.6. Šivaći konci

U savremenim proizvodnim procesima za izradu tapaciranog nameštaja, šivaći konac često se zanemaruje u kontekstu ukupnih troškova proizvodnje. Međutim, kvalitet šivaćeg konca je od presudnog značaja za dugoročni uspeh proizvoda. Pravilno odabran konac, u pogledu njegove finoće, sirovinskog sastava, boje i čvrstoće, direktno utiče na kvalitet i trajnost šavova, koji predstavljaju osnovu stabilnosti i funkcionalnosti tapaciranog nameštaja. Kvalitet šava se meri njegovim izgledom, čvrstoćom i ponašanjem tokom upotrebe, jer šavovi tokom upotrebe podnose različite sile koje deluju na delove nameštaja. Ako šavovi nisu pravilno dizajnirani i izvedeni, to može dovesti do oštećenja ili slabljenja strukture nameštaja. Zato je važno pažljivo odabrati šivaći konac koji odgovara specifičnim zahtevima proizvodnje, jer to ne samo da osigurava vizuelnu privlačnost proizvoda, već i njegovu dugotrajanost i funkcionalnost tokom vremena (Geršak, 1987; Šajn, 2007).

U kontekstu tehničkog i ESD tapaciranog nameštaja, naročito se ističe potreba za izborom konaca koji poseduju stabilna dielektrična svojstva. U te svrhe koriste se različite vrste sintetičkih konaca, među kojima su najčešći poliamidni (PA), poliesterski (PES) i njihove provodne ili površinski modifikovane varijante, kao što je poliamid obložen srebrom (PA-

Ag) ili poliesterski konac tretiran grafitom. Ove specijalizovane vrste konaca omogućavaju kontrolu električnog ponašanja šava, što je bitno za sprečavanje neželjenog elektrostatičkog pražnjenja u ESD okruženjima (Stankutè i sar., 2010; Amann Group, 2025).

Konstrukcija konca za šivenje je zavisna od strukture konca i načina na koji se on proizvodi. Paramateri koji karakterišu konac su: namena, sirovinski sastav, način obrade, broj i pravac uvoja i finoća. Konac se prema nameni deli na konac za šivenje odeće, obuće, hirurški konac, konac za vezenje itd., ali se može podeliti i na konac za šivenje tkanina, pletenina, netkanih i drugih materijala. Prema sirovinskom sastavu može biti pamučni, laneni, svileni, od veštačkih i sintetičkih vlakana. Prema načinu obrade postoji sirovi, beljeni, mat, sjajni, mercerizovani i konac u boji. Sintetički konci su otporni na toplotu zbog različitih dorada pa se u toku procesa šivenja javlja manje problema zbog zagrevanja igle. Najčešće se koriste konci izrađeni iz PA i PES vlakna. Posebno su značajni PA i PES filamentni konci, kakvi su korišćeni i u ovom istraživanju, jer nude visok stepen čvrstoće i homogenu strukturu. Predeni PES konac zbog svoje voluminozne strukture, razlikuje se po ponašanju u šavu u odnosu na glatke filamente, posebno kada se dodatno tretira provodnim sredstvima kao što je grafit.

Zavisno od načina izrade postoji više vrsta sintetičkih konaca (Grujić, 2020):

- konci izrađeni iz štapelnih vlakana,
- monofilamentni konci,
- multifilamentni konci,
- teksturirani konci i drugi.

Monofilamentni konci se izrađuju od niti velike finoće i specijalno se obrađuju. Prečnik im se kreće od 0,10 mm do 0,15 mm, imaju veliku finoću i providnost, što omogućava šivenje tekstilnih materijala u raznim bojama. Monofilamentni konci nemaju mekan opip i skloni su paranju na krajevima šavova. Najčešće se koriste za izradu nameštaja i kućnog tekstila.

Konci kao što su poliamidni i poliesterski multifilamentni konci, poliesterski predeni konac i specijalne varijante obložene provodnim metalima (npr. srebrom) koriste se za postizanje željenih mehaničkih i električnih karakteristika. Modifikovani konci, poput onih tretiranih grafitom, omogućavaju dodatnu kontrolu provodljivosti šavova, što je od posebnog značaja za pametne i funkcionalne ESD stolice (Horrocks i Anand, 2016). Za razliku od monofilamentnih konaca, multifilamentni PA i PA konci obloženi srebrom pružaju bolju fleksibilnost, otpornost na višekratno naprezanje i stabilnost pod električnim opterećenjem, što ih čini pogodnim za

izradu šavova u ESD okruženjima gde se zahteva kontrolisana provodljivost šavova (Stankutė i sar., 2010; Amann Group, 2025).

Šivaći konci koji se koriste u tapaciranju nameštaja moraju zadovoljiti visoke standarde, jer igraju ključnu ulogu u stabilnosti i dugovečnosti proizvoda. Tipične karakteristike ovih konaca uključuju:

- Finoću: obično se kreće od 50 do 100 tex, što je optimalno za osiguranje čvrstoće i elastičnosti šava.
- Prekidnu čvrstoću: u opsegu od 40 do 80 cN/tex, što znači da konac mora biti dovoljno jak da izdrži sile koje se pojavljuju tokom upotrebe.
- Prekidno istezanje: obično se nalazi između 20% i 30%, što omogućava šavu da bude dovoljno elastičan i da se prilagodi različitim naprezanjima bez pucanja.
- Sirovinski sastav: najčešće se koristi poliester, poliamid, pamuk, a mogu biti prisutni i specijalni tretmani poput smuđenja, mercerizacije ili parafinskog premaza, koji poboljšavaju otpornost i izdržljivost konca.

Dobra svojstva šivaćih konaca za tapaciranje nameštaja obuhvataju čvrstoću, elastičnost, rastezljivost, mekoću, ravnomernost, sjaj i glatkoću (Dürkopp Adler, 2023). Takođe, konac mora biti otporan na habanje, atmosferske uslove, kao i na visoke temperature koje se mogu javiti tokom šivanja i korišćenja nameštaja. Odabir odgovarajuće vrste boda, šava i konca omogućava postizanje šavova tačno određene čvrstoće i elastičnosti, što je od ključne važnosti za dugotrajan i funkcionalan tapacirani nameštaj. Sve ove karakteristike doprinose tome da šivaći konac bude u skladu sa trajanjem nameštaja, garantujući njegovu dugovječnost i očuvanje kvaliteta tokom upotrebe (Grbac i Ivelić, 2005). Kod ESD tapaciranog nameštaja dodatno se zahteva da šivaći konac ne narušava elektrostatčku stabilnost, već da poseduje kontrolisan nivo električne provodljivosti. To se postiže korišćenjem provodnih vlakana ili površinskom obradom konca (npr. grafitnom disperzijom), čime se formira šav koji sprečava akumulaciju statičkog naelektrisanja (Stankutė i sar., 2010).

Kvalitet konca zavisi i od površinske obrade konaca. Površinske obrade mogu biti različite, a zahtev da konac ima sposobnost klizanja i smanjenja trenja se postiže smuđenjem, rakliranjem, poliranjem, bondiranjem i završnom obradom ili avivažom konca. Bez navedenih obrada došlo bi do oštećenja konca tokom šivenja, što dovodi do njegovog pucanja. Sredstava za avivažu treba da ispunjavaju nekoliko uslova a to su (Grujić, 2020):

- smanjenje trenja na vodećim elementima mašina za šivenje,

- mirno odmotavanje konca sa kalema u toku šivenja,
- otpornost na toplotu,
- pristupačnu cenu,
- ne smeju se lepiti na ušici šivaće igle i
- ne smeju biti izvor zaprljanja.

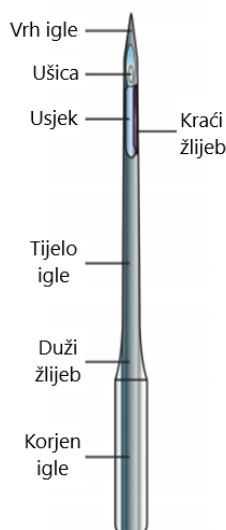
Tokom procesa šivenja, konac je izložen promenljivim mehaničkim opterećenjima koja su u velikoj meri uslovljena brzinom šivenja. Ova opterećenja dovode do izmena u mehaničkim karakteristikama samog konca. Najintenzivnija opterećenja javljaju se u zonama savijanja, naročito u predelu ušice igle, kao i u tački međusobnog preplitanja gornjeg i donjeg konca. Pored dinamičkog opterećenja, konac je podvrgnut i dejstvu trenja, savijanja, pritiska, istezanja i habanja, a sve to pri visokim brzinama i ubrzanjima. Uslovi cikličkog opterećenja pri varijabilnim brzinama dodatno dovode do pojave termičkih opterećenja. Mehanička svojstva konca koji se koristi u izradi tapaciranih navlaka zavise ne samo od njegovih konstrukcijskih karakteristika, već i od svojstava materijala od kog je izrađen (Rudolf i Geršak, 2007).

Povećanje brzine šivenja dovodi do porasta zatezne sile u koncu, kao i do intenzivnijeg trenja između konca i elemenata sistema za vođenje. Ovi faktori uzrokuju promene u čvrstoći konca nakon završetka procesa šivenja. Materijali koji se primenjuju za tapaciranje karakterišu se različitim sirovinskim sastavom, otpornošću na probijanje i tehnološkim svojstvima, te stoga zahtevaju konac visoke čvrstoće i otpornosti na pomenuta opterećenja. Većina opterećenja kojima je konac izložen ima ciklički karakter, što vodi ka njegovom zamoru, odnosno zamoru pojedinačnih vlakana od kojih je sastavljen. Pravilno odabran broj uvoja i komponenti u strukturi konca, kao i odgovarajući proces uvijanja, doprinose formiranju kružnog poprečnog preseka konca, čime se minimizira kontaktna površina između konca i šivaće igle. Ova konfiguracija, zajedno sa pravilnim rasporedom niti, omogućava postizanje adekvatnih viskoelastičnih svojstava konca, što je ključno za otpornost na dinamička opterećenja tokom šivenja. Ukoliko dinamičko opterećenje premaši graničnu tačku popuštanja, dolazi do neželjene plastične deformacije konca (Rudolf i Geršak, 2007).

2.7. Šivaće igle

Pored različitih tipova šivaćih bodova i šavova, kao i uređaja za regulaciju napetosti konca, mehanizama za transport materijala i konca, igla predstavlja ključni element koji značajno utiče

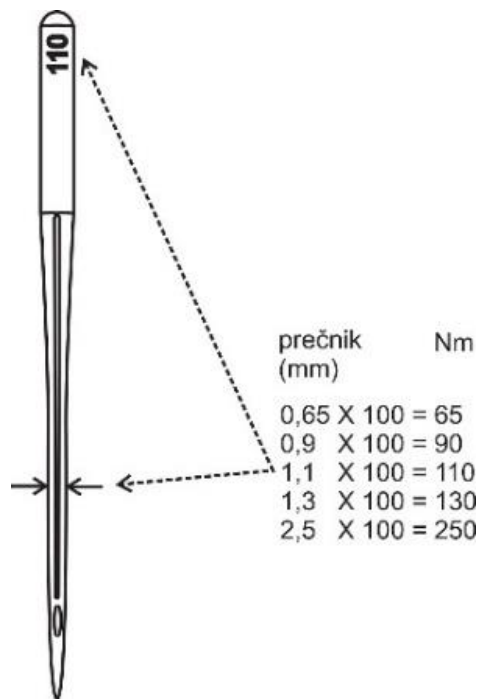
na izgled i čvrstoću šava. Mašinska igla sastoji se iz nekoliko osnovnih delova, prikazanih na slici 2.5.:



Slika 2.5. Delovi mašinske igle za šivenje (Grujić, 2020)

Šivaća igla, zajedno sa hvatačem, predstavlja jedan od osnovnih elemenata u procesu formiranja šivaćeg boda. Njena osnovna funkcija je da svojim vrhom probode materijal za šivenje i zatim kroz njega prođe, olakšavajući provlačenje konca koji je neophodan za formiranje boda. Prilikom povlačenja igle u gornji položaj, trenje između konca i materijala doprinosi stvaranju petlje konca. Ovu petlju hvatač zatim zahvata, čime započinje proces oblikovanja ravnog dvostrukog zrnčanog boda, poznatog kao tip 301 (Vladen, 1950).

Univerzalne i specijalne mašine za šivenje mogu koristiti različite oblike igala: ravne, zakrivljene, kukaste, dvostruke i sa dva vrha. Igle mogu biti različitih konstrukcija, debljina, dužina, oblika i različitih površinskih obrada. Svaka igla treba da ima oznaku vrste i oznaku debljine. Pored osnovnih oznaka, neophodno je naznačiti i ime proizvođača, tip vrha, kao i vrstu površinske obrade igle. Tokom razvoja odevnog inženjerstva korišćeno je više od 2000 različitih sistema označavanja igala prema njihovoj debljini, odnosno finoći i obliku. Tek sredinom XX veka usvojen je standard koji je trebalo da zameni tada dominantnih približno 40 sistema označavanja. Prema standardu DIN 5325 (1973) igle za mašinsko šivenje klasifikuju se prema debljini pomoću metričke numeracije, označene skraćeno kao Nm. Metrička numeracija Nm predstavlja stoti deo prečnika tela igle „d“ izražen u milimetrima, koji se meri u cilindričnom delu tela iznad useka ili kratkog žljeba, ali ne i u zadebljanoj oblasti igle. Drugim rečima, debljina šivaće igle izražava se u stotinama milimetra, na primer, igla prečnika 1,1 mm nosi oznaku 110, slika 2.6. (Grujić, 2020; Rogale i sar., 2011).



Slika 2.6. Određivanje finoće igala (Tekstilni svet, 2017)

2.7.1. Vrhovi šivaćih igala za mašinsko šivenje

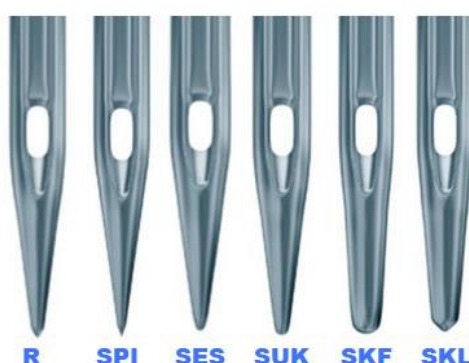
Za postizanje optimalnog kvaliteta šava, svi tehnološki parametri procesa šivenja moraju biti pažljivo usklađeni, počevši od izbora materijala i podešavanja šivaće mašine, preko vođenja i napetosti konca, pa sve do odabira odgovarajuće igle. Oštećenja materijala tokom šivenja najčešće nastaju usled neusklađenosti između finoće igle i oblika njenog vrha sa karakteristikama materijala koji se obrađuje. Materijal, igla i konac čine nerazdvojni sistem čiji međusobni odnosi direktno određuju kvalitet konačnog šava. Precizna usklađenost između veličine ušice igle i debljine konca je neophodna kako bi se omogućio nesmetan prolaz konca kroz ušicu uz minimalno trenje. Debljina igle treba biti prilagođena materijalu tako da probadanje ne izazove oštećenja. Pored toga, oblik vrha igle ima značajan uticaj na kvalitet šava i stepen eventualnog oštećenja materijala (Rogale i sar., 2000). Izbor odgovarajućeg oblika vrha i debljine igle predstavlja posebno izazovan zadatak kod šivenja tapaciranih navlaka, gde igla mora da probode različite materijale sa varijabilnom debljinom i osetljivošću, što ovu proceduru čini zahtevnijom nego kod ostalih materijala.

Kod šivanja tapaciranih navlaka, koje često sadrže više slojeva različitih materijala, pravilan odabir debljine i oblika vrha igle postaje izazov, u poređenju sa šivanjem drugih, jednostavnijih

materijala. Vrh igle je od suštinske važnosti jer direktno utiče na veličinu sile probijanja materijala koji se šije i kvalitet šava. Na osnovu oblika vrha, razlikujemo igle (Grujić, 2020):

- sa oštrim vrhom, koji se koriste za šivanje kože, folija i sličnih materijala i
- sa delimično zaobljenim i zaobljenim vrhom za šivanje tekstilnih materijala.

Zaobljeni vrhovi igle uglavnom se koriste za šivanje tekstilnih materijala. U zavisnosti od vrste materijala i načina prodiranja igle, igle se prema obliku vrha mogu podeliti na igle namenjene za šivenje tkanina i igle namenjene za šivenje trikotaže. Za tkanine koristimo šiljaste, zaobljene i tupe oblike vrhova igle, dok za trikotaže koristimo samo zaobljene vrhove, slika 2.7. (Grujić, 2020).



Slika 2.7. Oblici vrhova igala za šivenje tekstilnih materijala (Tekstilni svet, 2017)

Vrhovi igala se označavaju slovima, u obliku skraćenica (Grujić, 2020):

- R - normalno zaobljen vrh, standardni oblik vrha, namenjen za lagane tkanine, apretirane tanke materijale, krzno, kožu, kombinaciju kože i krzna i dr.;
- SPI - šiljati vrh, namenjen šivenju gustih tkanina jer ih ovaj vrh manje oštećuje, umanjuje nabiranje u području šava;
- SES - malo zaobljen vrh, koristi se za laku konfekciju sa pletenim materijalima pa čak i kod laganog denima;
- SUK - srednje zaobljen vrh, namenjen za teška pletiva;
- SKF - veoma zaobljen vrh, koristi se za šivenje grubih pletiva i guste elastične tkanine;
- SKL - tupi vrh, namenjen za srednje grube elastične materijale, materijale sa elastomernim nitima i grublja pletiva.

Tkanine su tkane od pređa različitih gustina. Igla prilikom probijanja tkanina treba da prođe između pređa, a ne kroz vlakna pojedinačne pređe, jer bi ga na taj način oštetila. Zbog toga je

bitno izabrati odgovarajući oblik vrha igle za odgovarajuće tkanine. Najpogodniji oblici za tkanine su blago konusni sa zaobljenim vrhom. Da ne bi dolazilo do oštećenja materijala prilikom šivenja, moraju se odrediti najpogodniji parametri šivenja kao što su (Grujić, 2020):

- debljina odnosno finoća igle (Nm),
- oblik i vrsta vrha igle
- površinska obrada igle,
- debljina, sirovinski sastav, konstrukcija i obrada konca,
- brzina šivenja,
- način transporta materijala na mašinama,
- zatezanje konca itd.

2.7.2. Površinske obrade igle

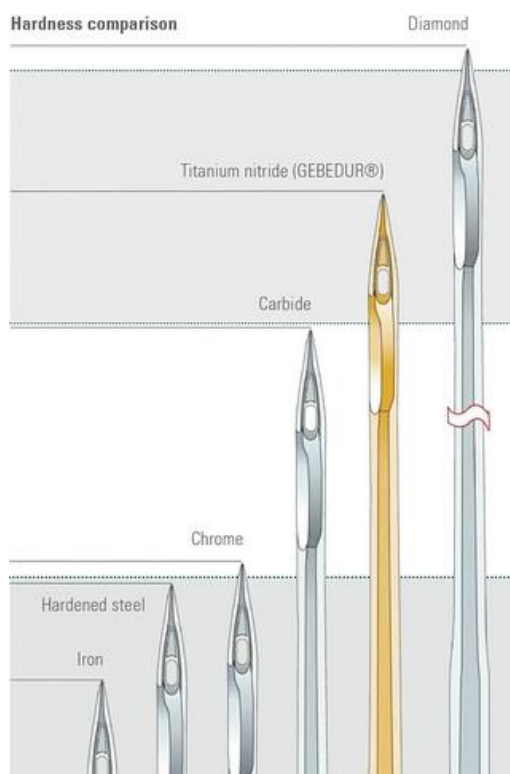
Igle se izrađuju od čelika i dorađuju poliranjem, naročito u području ušice igle. Dorade se rade da bi se povećale otpornosti na koroziju, abraziju i da bi se smanjilo trenje. Površine igala se obrađuju hromom ili niklom. Obrada površine igala dovodi do (Grujić, 2020):

- smanjenja adhezije,
- povećanja otpornosti na habanje,
- smanjenje zagrevanja igle prouzrokovano trenjem,
- poboljšanje otpornosti na visoke temperature,
- zaštita od korozije,
- promena mehaničkih svojstava,
- karakterističan izgled.

Kvalitet šivaće igle u velikoj meri zavisi od kvaliteta specijalnog čelika od kojeg je izrađena, kao i od tehnoloških postupaka obrade kojima se osiguravaju odgovarajuća elastičnost, čvrstoća i savitljivost igle, slika 2.8. Tanje i neobrađene igle imaju tendenciju da pucaju, često usled neadekvatnog rukovanja. S druge strane, deblje igle najčešće postaju neupotrebljive usled trošenja. Kod šivenja teških i gustih materijala, igle se značajno zagrevaju, a savijanje igala moglo bi se izbeći usklađivanjem granica čvrstoće i lomljivosti materijala. Ključnu ulogu u tome ima proces kaljenja čelika.

Habanje igala može se smanjiti primenom površinskih obrada, pri čemu je premaz od tvrdog hroma pokazao izuzetnu trajnost i otpornost. Opterećenje igle usled zagrevanja uzima se u obzir

već u fazi dizajna, pri čemu zadebljanje tela igle u području ušice omogućava proširenje mesta uboda i time smanjuje trenje između igle i tkanine. Takođe, smanjenje trenja pri izlasku igle iz materijala postiže se dodatnim zadebljanjem tela igle u delu koji pri niskom položaju još ulazi u materijal. Površinska glatkoća igle predstavlja značajan faktor, zbog čega se igle često nikluju ili hromiraju. Ove površinske obrade ne samo da obezbeđuju glatkoću, već i povećavaju otpornost na toplotne uticaje i poboljšavaju zaštitu od korozije.



Slika 2.8. Različite obrade igala (Groz-Beckert, 2025)

Često se postavljaju pitanja o iglama koje su obložene titanijum nitridom. Ovo je zabrinjavajuće jer je titanijum vrlo jak i može oštetiti mašinu i materijal. Titanijum je izuzetno tvrd materijal koji se nanosi na površinu igle za šivenje, veoma je važno da ovaj sloj bude tanak, kako se šavovi i mašina ne bi oštetili. Igle duže ostaju oštre zbog odlične otpornosti na habanje. Zbog ove visoke otpornosti na habanje, mogu trajati i do šest puta duže od standardnih niklovanih igala.

2.7.3. Izbor igle za mašinsko šivenje

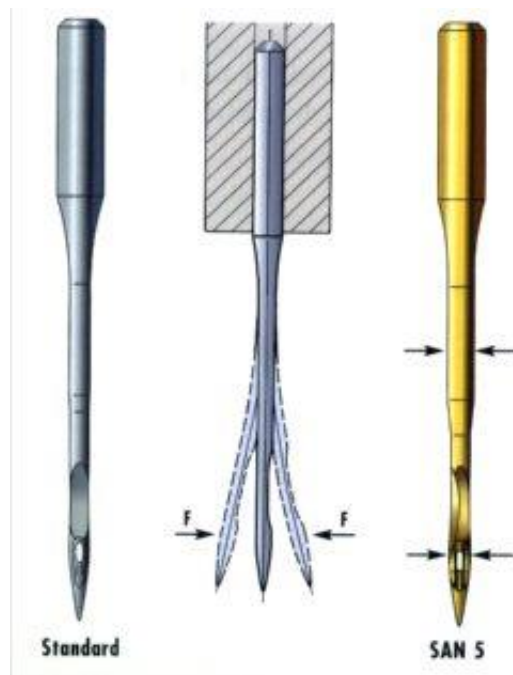
Pravilan izbor igle treba da obezbedi minimalna oštećenja materijala i spreči nabiranje šavova i da osigura odgovarajuću jačinu šava. Minimalna oštećenja materijala i sprečavanje nabiranja

se postiže tankim iglama i koncima velike finoće, dok jačinu šava postizemo debljim iglama i koncima. Stoga je neophodno pronaći ravnotežu između ovih zahteva. Kada je izabrana igla pretanka u odnosu na finoću konca, konac se ne može slobodno kretati kroz ušicu igle, što za posledicu ima veliko habanje konca. Korišćenje suviše tanke igle za šivenje teških materijala dovodi do savijanja igle, ispuštanja uboda ili loma igle. Kada je igla predebela u odnosu na finoću konca dolazi do ispuštanja bodova, mesta uboda igle su vidljiva i izgled šava nije dobar i prouzrokuje oštećenja materijala po liniji šivenja. Kod izbora igala bitna je debljina igle, odnosno numera. Kvalitet igle je veoma bitan jer oštećenja na iglama dovode do raznih problema tokom šivenja. Prilikom određivanja odgovarajuće igle potrebno je za svaki materijal uraditi test i utvrditi koja finoća i vrh igle je poželjan (Grujić, 2020).

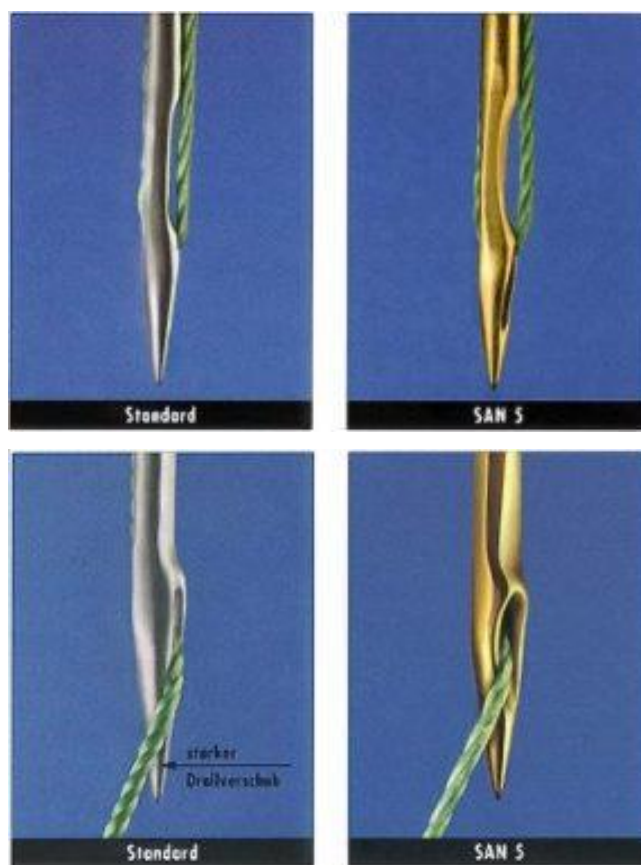
2.7.4. Karakteristike igala za izbegavanje problema pri šivenju

Problemi ispuštanja uboda, oštećenja vrha igle, prelomi igle i prekidi konca koji nastaju prilikom šivenja, javljaju se kod viskoelastičnih materijala, kod šivenja višeslojnih materijala, ukrštanja šavova, kod upotrebe elastičnih konaca i pri promeni smera šivenja. Ispuštanje uboda nastaje kada se igleni konac i konac hvatača ne isprepliću, što dovodi do smanjenja čvrstoće šava, lošeg izgleda šava i prekida šava. Kod izrade tehničkog tekstila često se kombinuju različiti materijali. Problemi koji se javljaju kod šivenja takvih materijala su prije svega: savijanje igle, slepljivanje otvora od uboda igle u materijalu i neravnomeran izgled šava. Da bi se smanjili ovakvi problemi koriste se igle za specijalne namene u konfekcioniranju tehničkog tekstila. Za tehnički tekstil koriste se igle posebnog oblika, koje imaju nešto deblje telo u odnosu na standardne igle, slika 2.9. (Grujić, 2020).

Zbog primene izuzetno tvrdih materijala za izradu šivaćih igala, dolazi do povećanja sile probijanja materijala i sila koje deluje na iglu. Posledično, ove sile mogu izazvati oštećenja vrha igle, pojavu nepravilnih uboda, kao i druge vrste oštećenja igle koja mogu dovesti do oštećenja materijala, prekida konca ili čak loma igle. Igla tipa SAN 5 dizajnirana je sa specifičnom geometrijom koja ima za cilj da minimizira navedene probleme. Poseban oblik igle u zoni klizanja konca kroz ušicu omogućava značajno smanjenje opterećenja, slika 2.10. (Groz-Beckert, 2025).



Slika 2.9. Poređenje standardne i SAN 5 šivaće igle u području ušice (Groz-Beckert, 2025)



Slika 2.10. Stabilnost igle SAN 5 i igle standardnog oblika (Groz-Beckert, 2025)

Šivaća igla SAN 5 proizvedena je naprednim i visokozahtevnim postupkom, a optički se prepoznaje po zlatnoj boji koja potiče od nanosa titan nitrída. Ova igla ističe se svojim tehničkim svojstvima, prepoznatljivim prvenstveno po visokoj elastičnosti, što joj omogućava da podnosi veoma visoka opterećenja bez pojave zamora. Vrh igle je posebno otporan na lomljenje, habanje i deformisanje prilikom dodira sa hvatačem konca. Zbog svoje glatke površine i minimalnog trenja, SAN 5 igla se znatno manje zagreva tokom šivenja. Takođe, nije sklona adheziji, odnosno lepljenju konca i otporna je na prljanje. Ova igla se odlikuje izuzetnim performansama čak i u najzahtevnijim uslovima šivenja, pri maksimalnim brzinama, uz minimalna oštećenja materijala (Groz-Beckert, 2025).

Tvrdoća šivaćih igala, kao i njihova površinska obrada i nanos, imaju ključnu ulogu u kvalitetu nastalog šava, kao i u veličini sile probijanja materijala. Vrh igle sa manjim prečnikom omogućava prolaz kroz tkaninu uz smanjeno trenje, dok u području ušice dolazi do povećanja otpora i trenja, što u pojedinim slučajevima može dovesti do oštećenja niti pređe. Zbog toga se u procesu šivenja koriste različiti oblici vrhova šivaćih igala (Dürkopp Adler, 2023). Poboljšani žljeb na igli tipa SAN 5 pruža efikasnu zaštitu u kontaktu sa hvatačem konca. Igle ovog tipa odlikuju se potpuno glatkim i ispoliranim ušicama. Zahvaljujući ovim karakteristikama, razvijena je igla koja zadovoljava sve zahteve za šivenje zahtevnih materijala, omogućavajući postizanje maksimalnih brzina šivenja bez nastanka nepravilnih uboda, uz očuvanje integriteta materijala i konca (Tekstilni svet, 2017; Dimitrijević i sar., 2017).

2.7.5. Zagrevanje igle

Prilikom šivanja na brzošivaćim mašinama, površina igle može dostići temperature do 400 °C. Ove temperature nisu problematične za kvalitet igle kada se šiju materijali od prirodnih vlakana, jer oni podnose visoke temperature bez oštećenja. Međutim, kod šivenja sintetičkih vlakana, visoke temperature igle mogu predstavljati problem, jer većina sintetičkih materijala počinje da se topi na temperaturama oko 200 °C. To može uzrokovati lepljenje materijala na iglu, koji stvrdne i površina igle postane hrapava, što povećava trenje i dalje podiže temperaturu igle. Posledično, konac može sagoreti, a igla se može saviti ili slomiti (Grujić, 2020).

Značajan uticaj na nastanak oštećenja zbog visoke temperature igle ima, prije svega, brzina šivenja. To potvrđuju sledeće postavke (Vilhanová i sar., 2022; Dimitrijević i sar., 2017):

- prilikom šivenja srednje teških tkanina pri brzini 4000 uboda/min, standardna šivaća igla može postići temperaturu do 250 °C;

- kod većih brzina modernih šivaćih mašina (8000 – 9000 uboda/min) temperatura igle u najkraćem vremenu penje se na više od 350 °C. Tako visoka temperatura igle je štetna za jačinu igle i pored toga dovodi i do nedopustivo visoke temperature konca, kao i materijala koji se šije u području uboda igle.

Nagli porast temperature igle do približno 350 °C izaziva probleme kod šivenja apretiranih tkanina izrađenih od prirodnih vlakana. Apertura se topi ili sagoreva, stvarajući naslage na površini igle koje dodatno povećavaju trenje tokom procesa šivenja. Još izraženiji problemi javljaju se pri obradi tkanina od sintetičkih vlakana. Tokom šivenja sintetičkih tkanina ili upotrebe sintetičkog konca, temperatura igle ne bi smela da prelazi 200 °C. Sintetička vlakna poseduju termoplastične osobine, što znači da se pre dostizanja tačke topljenja mogu plastično deformisati, odnosno omekšati. Tačka omekšavanja za poliamide se kreće između 170 °C i 235 °C, dok je za poliester u rasponu od 230 °C do 240 °C (Khan, Hersh i Grady, 1970; Bilić, 2021). Kao posledica ovih svojstava, tokom obrade sintetičkih tkanina, pletenina i njihovih mešavina, često se javljaju poteškoće kao što su zaprljanje igle ostacima otopljenog materijala, prekidi konca zbog prevazilaženja tačke topljenja i preskakanje uboda. Glavni uzrok ovih problema leži u topljenju sintetičkih materijala koji dolaze u kontakt sa iglom. Plastično deformisani ostaci se zadržavaju na igli tokom celog rada, što dodatno pojačava trenje između igle i tkanine. Zaustavljanje šivaće mašine dovodi do brzog hlađenja igle, čime se otopljeni ostaci stvrdnjavaju i onemogućavaju dalje korišćenje igle u procesu šivenja (Rogale i sar., 2000; Bilić, 2021).

Temperaturu zagrevanja igle moguće je efikasno smanjiti primenom različitih metoda (Grujić, 2020):

- smanjenjem trenja upotrebom specijalno dizajniranih oblika igala i modifikacijom njihove površine,
- korišćenjem posebnih tečnosti koje sadrže masnoće ili voskove, a koje se mogu prenositi putem konca ili direktno na iglu, na mesta sa najvećim trenjem,
- hlađenjem igala upotrebom komprimovanog vazduha, poznatog kao Schmetzovo hlađenje,
- kao i dovodenjem mešavine vazduha i vode na površinu igle.

Ove tehnike značajno doprinose smanjenju temperature i poboljšanju trajnosti igle tokom šivenja.

2.8. Šivaće mašine za izradu tapaciranih navlaka

Standardne šivaće mašine najčešće funkcionišu sa jednom iglom i koriste osnovni ravni zrnčani bod, uz prisustvo ravne osnovne ploče i bez dodatnih funkcionalnosti. Nasuprot njima, univerzalne šivaće mašine omogućavaju viši nivo produktivnosti jer smanjuju potrebu za manuelnim intervencijama operatera u poređenju sa konvencionalnim modelima. Prilikom izrade tapaciranih navlaka, ključnu ulogu ima adekvatan izbor vrste i dužine šava, što podrazumeva poštovanje važećih standarda, kao što je ASTM D6193 (2020). S obzirom na specifične zahteve u obradi višeslojnih i debljih materijala, šivenje navlaka iziskuje primenu specijalizovanih industrijskih šivaćih mašina. Takve mašine moraju biti u mogućnosti da efikasno obrađuju materijale različitih sirovinskih sastava, bez izazivanja oštećenja ili neujednačenog zatezanja komponenata. U poređenju sa klasičnim modelima, industrijske šivaće mašine namenjene za izradu tapaciranih navlaka karakteriše robusnija konstrukcija. One često poseduju produženu glavu i slobodan rukavac, čime se olakšava rukovanje materijalom tokom procesa šivenja (Kovačević i Ujević, 2013).

Savremeni trendovi u razvoju šivaćih mašina namenjenih za obradu tapaciranih materijala usmereni su ka unapređenju ergonomske karakteristike, povećanju ukupne produktivnosti, kao i olakšanoj manipulaciji većim i složenijim krojnim delovima. Poseban akcenat stavlja se na mogućnost višeg podizanja papučice, postizanje ujednačene dužine uboda, kao i na veću fleksibilnost u radu, čime se omogućava prilagođavanje različitim zahtevima u procesu šivenja (Skorupińska, Wiaderek i Sydor, 2021). Mašine za tapaciranje nameštaja se razlikuju po vrsti transporta. Za presvlačenje, tapaciranje i izradu nameštaja pre svega poželjna je industrijska mašina sa minimalno dvostrukim transportom materijala, ali se preporučuju šivaće mašine sa trostrukim transportom. Razlog je što se kod izrade nameštaja vrlo često šije deblji i čvršći materijal (dvoslojni i troslojni kompoziti) poput eko kože, veštačke kože i prirodne kože i šivenje takvih materijala je jako teško na običnim šivaćim mašinama (Rogale i sar., 2011).

2.9. Šivaći bodovi

Šivaći bod predstavlja osnovnu jedinicu ulančavanja konca, koja je oblikovana jednim ili više konaca odnosno petlji konca, međusobno ulančanih ili isprepletanih. Formiranje šivaćih bodova može se odvijati na nekoliko načina:

- bez prisustva materijala,

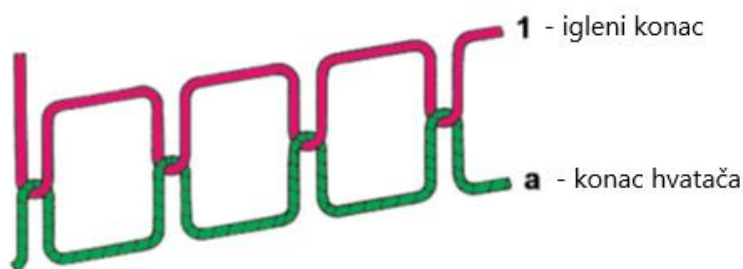
- unutar materijala,
- kroz materijal,
- kao i na površini materijala koji se šije.

Razvoj industrijskih šivaćih mašina doveo je do nastanka širokog spektra različitih šivaćih bodova, koji su sistematizovani u međunarodnom standardu ISO 4915 – *Textiles Stitch Types – Classification and Terminology* (2021). Ovaj standard naglašava značaj preciznog definisanja pojmova i kategorija šivaćih bodova, uključujući njihovu klasifikaciju, metode označavanja, kao i ilustrativne prikaze i opise kako za ručne, tako i za mašinske šivaće bodove. Prema ovom standardu, svi šivaći bodovi su razvrstani u šest grupa, označenih numeričkim kodovima od 100 do 600, što je prikazano u tabeli 2.1 (Rogale i sar., 2000).

Tabela 2.1. Tabela šivaćih bodova prema standardu ISO 4915 (2021)

Grupa šivaćih bodova		Obeležja	Tip šivaćih bodova
Oznaka	Naziv		
100	Jednostruki lančani	Oblikuju se od jednog ili više iglenih konaca kod kojih je najmanje jedan ulančan sam sa sobom.	101 102 103 104 105 107 108
200	Jednostruki zrnčani	Nastali od ručnih uboda. Karakteristični su po naizmeničnom prolasku konca sa jedne na drugu stranu materijala čime ga spajaju.	201 202 204 205 206 209 211 213 214 215 217 219 220
300	Dvostruki i višestruki zrnčani	Oblikuje se ispreplitanjem dve ili više grupa konaca. Konci jedne grupe prolaze kroz materijal i učvršćuju ga ispreplitanjem sa petljama druge grupe konaca.	301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327
400	Dvostruki i višestruki lančani	Sastoji se od dve ili više grupa konaca. Te grupe konaca se međusobno ulančavaju ili isprepliću sa drugim grupama konaca.	401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417
500	Rubni lančani	Formiraju se od jedne ili više grupa konaca gde se petlje najmanje jedne grupe konaca vode oko ruba materijala.	501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 521
600	Prekrivni lančani	Sastoji se od dve ili više grupa konaca, gde sve grupe ulančavanjem prekrivaju obe površine materijala.	601 602 603 604 605 606 607 608 609

Najčešće korišteni tip boda u procesu šivenja je šivaći bod iz grupe 300, dvostruki zrnčni bod tip 301, slika 2.11.



Slika 2.11. Dvostruki zrnčani bod tip 301 (Grujić, 2020)

Potrošnja konca u šavu može se odrediti različitim metodama, koje uključuju:

- instrumentalno merenje pomoću mernog pretvarača dužine konca i digitalnog brojača,
- izvlačenje i merenje dužine konca iz već sašivenog šava,
- korišćenje standardizovanih tablica i
- primenu matematičkih formula.

Instrumentalna metoda predstavlja najprecizniji pristup merenju, dok je metoda izvlačenja konca iz šava takođe tačna, ali manje praktična za industrijsku upotrebu. Korišćenje tablica daje samo približne vrednosti. Matematičkim izražavanjem moguće je izračunati potrošnju konca, uz neophodnu korekciju zbog uticaja napetosti konca, koja rezultira time da je stvarni utrošak konca nešto manji (Rogale i sar., 2000). Za šivaći bod tip 301, potrošnja konca računa se sledećom formulom (Grujić, 2020):

$$L = b_{u1} \cdot l_{\xi} \cdot l_{k1}$$

gde je:

L – utrošak konca [cm],

b_{u1} – broj uboda na 1 cm šava,

l_{ξ} – dužina šivenja [cm],

l_{k1} – dužina jednog uboda [mm].

2.10. Šivaći šavovi

Šavovi su osnovni zahtevi u proizvodnji odevnih predmeta. Efekat šavova ima veliki uticaj na kvalitet odeće. Šavovi moraju biti izdržljivi i glatki. Vrste bodova i šavova kao i parametre uboda i šavova treba odabrati u skladu sa vrstom tkanine koja se šije (Gurarda, 2019).

Šivaći šav predstavlja niz uzastopnih šivaćih uboda raspoređenih na jednom ili više slojeva materijala za šivenje. Ti slojevi mogu imati određena ograničenja ili biti bez njih. Prema standardu ISO 4916 (1991), šiveni šavovi se klasifikuju u osam grupa na osnovu tipa i minimalnog broja slojeva materijala uključenih u šav. Svaka od ovih grupa obuhvata specifične tipove šivaćih šavova. Standard ISO 4916 definiše oznake tipova šivaćih šavova kroz petocifrene brojeve, gde (Rogale i sar., 2000; Grujić, 2020):

- prva cifra označava grupu šivaćih šavova (od 1 do 8),
- druga i treća cifra određuju raspored slojeva materijala za šivenje (od 01 do 99),
- četvrta i peta cifra označavaju položaj uboda ili proboda igle (takođe od 01 do 99).

Mehanička čvrstoća šava predstavlja jednu od osnovnih osobina pravilno formiranog i izrađenog šivaćeg spoja. Kao kriterijum kvaliteta, čvrstoća šava se definiše kao njegova sposobnost da izdrži oštećenja ili prekid tokom eksploatacije i procesa održavanja. Ova oštećenja se najčešće manifestuju kao pomeranje šavova, njihovo kidanje ili prekidi u obrascu materijala na mestu šivenja (Geršak i Abmar, 1988). Iako je čvrstoća šavova od ključnog značaja, njihova svojstva nisu precizno definisana postojećim standardima. Pojedini zahtevi, naročito oni koji se odnose na vizuelni kvalitet i estetske karakteristike, ne mogu se egzaktno kvantifikovati. Tokom upotrebe nameštaja, šavovi su izloženi raznim vrstama opterećenja, čija se tačna vrednost i uticaj na ukupnu čvrstoću šava još uvek nedovoljno poznaju. Na osnovu dostupnih saznanja može se konstatovati da na otpornost šava utiče više faktora, uključujući: vrstu i strukturu tkanine, tip šivaćeg boda, jačinu i finoću konca, gustinu uboda (broj uboda po centimetru), napetost gornjeg i donjeg konca, izbor tipa šivaćeg šava, kao i karakteristike korišćene igle i ukupna funkcionalna usklađenost šava sa materijalom (Geršak i Knez, 1991). Jedna od osnovnih i najvažnijih karakteristika šava spojenog koncem je njegova jačina. Jačina šava se karakteriše sledećim pokazateljima:

- maksimalnim opterećenjem pri rastezanju šava u poprečnom pravcu,
- izduženjem šava pri opterećenju u uzdužnom pravcu,
- izdržljivošću šava pri višestrukom rastezanju u oba pravca.

Maksimalna sila koja deluje na šav u poprečnom pravcu, a koju on može da izdrži pre pucanja, određuje se pomoću dinamometra koji je specijalizovan za testiranje čvrstoće šavova. Tokom ispitivanja, koriste se uzorci dimenzija 200 x 50 mm, pri čemu se šav pozicionira centralno, dok se krajevi konca učvršćuju vezivanjem u čvor. Na osnovu eksperimentalnih podataka, vrednosti maksimalnog opterećenja za šavove izrađene pamučnim koncem kreću se između 50 i 64 N po centimetru, dok se za svileni konac kreću u rasponu od 76 do 88 N/cm. Čvrstoća šava, odnosno njegova otpornost na opterećenje, u najvećoj meri zavisi od mehaničkih svojstava korišćenog konca, gustine šivenja, tipa šivaćeg boda, kao i karakteristika materijala koji se spaja, uključujući njegovu debljinu i gustinu. Maksimalno opterećenje koje šav može podneti moguće je proračunati i primenom odgovarajuće matematičke formule (Grujić, 2020):

$$P = m \cdot Q \cdot \eta$$

gde je:

P – maksimalno opterećenje koje šav može izdržati pri rastezanju u poprečnom pravcu šava [N/cm],

m – broj uboda igle na 1 cm šava (gustina šivenja),

Q – prekidna sila konca za šivenje [N],

η – korektivni koeficijent koji obuhvata smanjenje jačine konca pri šivenju.

Na bazi eksperimentalno dobijenih podataka, korektivni koeficijent η za različite materijale pri šivenju dvostrukim zrnčanim bodom iznosi od 0,8 do 1,2. Za orijentacione proračune maksimalne sile koja je potrebna za prekid šava uzima se da je $\eta = 1$ (Grujić, 2020).

2.10.1. Karakteristike šavova urađenih dvostrukim zrnčanim bodom

Za analiziranje šavova urađenih dvostrukim zrnčanim bodom bitne su sledeće karakteristike šavova: rastezljivost šava, jačina na kidanje u poprečnom pravcu, otpornost na habanje itd. Za rastezljivost šava važna su dva kriterijuma:

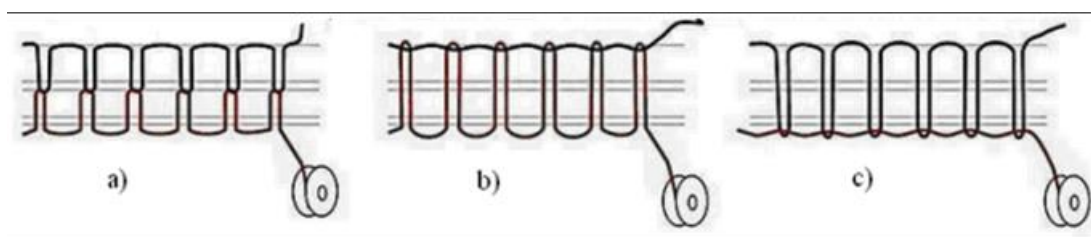
- rastezljivost tkanine u pravcu osnove i
- rastezljivost samog šava.

Ako je rastezljivost tkanine u pravcu osnove manja od rastezljivosti samog šava, tada se rastezljivost šava određuje prema svojstvima tkanine. Ako je rastezljivost samog šava manja od rastezljivosti tkanine u pravcu osnove, rastezljivost šava po dužini ograničava rastezljivost

boda, pa konac puca prilikom velikog rastezanja. Rastezljivost šava je veća ako je dužina uboda manja.

2.10.2. Šavovi u funkciji šivenja tapaciranih materijala

Estetski kvalitet i funkcionalna efikasnost šava kod tapaciranih materijala predstavljaju ključne faktore u oceni kvaliteta navlaka za stolice. Neophodno je pažljivo optimizovati dužinu i tip šava, kao i jačinu i finoću konca, uz odgovarajući izbor šivaće igle. Parametri poput vrste i debljine materijala određuju adekvatan oblik igle, vrstu boda i karakteristike konca. Da bi se obezbedio kvalitetan i pravilan šav, od suštinskog je značaja precizno podešavanje napetosti gornjeg i donjeg konca, kao i sinhronizovan transport materijala sa obe strane, što predstavlja izazov zbog varijabilnosti debljine materijala tokom šivenja. Neadekvatna napetost konca, bilo da je prevelika ili preniska, može rezultirati nepravilnim izgledom šava, što dovodi do smanjene mehaničke otpornosti i mogućeg razdvajanja spojeva, kao što je prikazano na slici 2.12. (Grbac i Ivelić, 2005; Juciene i Vobolis, 2008).



Slika 2.12. Napetost gornjeg i donjeg konca (Mašinski kutak, 2012)

a) optimalna napetost gornjeg i donjeg konca

b) povećana napetost gornjeg konca

c) povećana napetost donjeg konca

Usled intenzivnih opterećenja kojima su izložene navlake, naročito u zoni sedišta i naslona, dolazi do izvlačenja niti i vlakana iz strukture materijala upravo na mestima uboda igle. Ovakva deformacija naročito je izražena kod tkanina, gde dolazi do narušavanja njihove unutrašnje konstrukcije. Posledice se manifestuju u vidu nastanka otvora i perforacija, što u kasnijoj fazi može dovesti do cepanja šivenog materijala i prekida konca, slika 2.13 (Juciene i Vobolis, 2008).



Slika 2.13. Oštećenje tkanine na mestu šava sedalnog dela

Dodatno, preskočeni ubodi negativno utiču na estetski izgled, ali i na mehaničku otpornost šava, što može rezultirati odvajanjem spojenih delova, posebno ukoliko se greška ne detektuje na vreme. Pokušaji ponovnog šivenja duž istog ubodnog puta nisu preporučljivi, jer prethodni ubodi ostavljaju tragove u obliku oštećenja (rupa) koje umanjuju čvrstoću i vizuelni kvalitet materijala. Kako se elementi navlaka najčešće spajaju različitim vrstama šavova radi postizanja određenog estetskog efekta, uočene su značajne razlike u pogledu čvrstoće i istezanja materijala u zonama sa i bez šavova. Kod standardnih tapaciranih stolica ovi problemi prvenstveno utiču na trajnost i vizuelni kvalitet proizvoda, međutim u slučaju ESD tapaciranih stolica, šav dobija dodatnu funkcionalnu i bezbednosnu ulogu, budući da predstavlja mesto gde može biti narušen ne samo mehanički, već i električni kontinuitet presvlake. Šavovi na tapaciranim delovima ESD stolice predstavljaju posebno važan konstruktivni element jer upravo u liniji šava dolazi do prekida kontinuiteta materijala. To ih čini mestom povećanog mehaničkog opterećenja, ali i potencijalnom tačkom gde može doći do narušavanja električnih svojstava presvlake. Vrsta konca, njegova mehanička čvrstoća, struktura filamenta i površinska modifikacija mogu značajno uticati na ponašanje šava u pogledu provodljivosti ili izolacije (Uddin i sar., 2019). U skladu sa zahtevima standarda za ESD opremu i radne površine, od šavova se očekuje da zadrže stabilna električna svojstva tokom celog veka trajanja proizvoda, bez obzira na mehaničko opterećenje, vlagu ili habanje. To znači da konci moraju imati kontrolisan nivo površinske i zapreminske otpornosti, kao i dovoljnu otpornost na triboelektrično punjenje (IEC 61340-5-1, 2016).

2.10.3. Kontrola kvaliteta šavova

Neadekvatno izabrani konci ili nepravilno formirani šavovi mogu prouzrokovati elektrostatičke poremećaje, lokalna oštećenja presvlake, neujednačene zone provodljivosti ili ubrzano propadanje konstrukcije, čime se ugrožava primarna funkcija ESD stolice. Upravo zato analiza mehaničkih i dielektričnih svojstava šavova ima ključnu važnost u dizajniranju i evaluaciji ESD radnih stolica (Horrocks i Anand, 2016). U tapaciranim tehničkim stolicama, šavovi predstavljaju integralni segment koji direktno utiče na:

- mehaničku izdržljivost (otpornost na kidanje, ciklična opterećenja, deformacije),
- električnu stabilnost (kontrola provodljivosti i dielektričnog ponašanja),
- ergonomiju (zadržavanje oblika i komfora tapaciranih površina),
- dugotrajnost proizvoda.

Tokom procesa šivenja često dolazi do različitih deformacija šava i pojava koje negativno utiču na ukupni kvalitet gotovog proizvoda. Neadekvatno formiran šav može biti rezultat različitih uzročnih faktora kao što su (Grujić, 2020):

- nepravilno oblikovan bod: preskočeni ubodi, nejednaka dužina uboda u šavu, promena smera uboda u šavu, nepravilno vezivanje gornjeg i donjeg konca u materijalu, neuravnoteženi ubodi, nejednake gustine uboda, prekid gornjeg ili donjeg konca;
- deformacija materijala: nabiranje materijala u šavu;
- oštećenja materijala u liniji šivenja: izvučene niti ili vlakna iz površine materijala, oštećenja osnove ili potke, vidljiva ubodna mesta.

Definicije kvaliteta šava nisu jednostavne zbog velikog broja parametara koji deluju u procesu šivenja. Da bi se mogao odrediti odgovarajući kvalitet, tj. čvrstoća šavova koja bi odgovarala uslovima upotrebe i različitim opterećenjima, potrebno je poznavati tehničko tehnološke zahteve šivenih šavova (Geršak i Knez, 1991).

Faktori koji utiču na kvalitet šava se dele u dve grupe (Grujić, 2020):

- *Parametri šivaće mašine koji utiču na kvalitet šavova:* zategnutost iglenog konca i konca hvatača, sila pritiska papučice za šivenje, finoća šivaće igle i oblik vrha igle, brzina šivenja, mehanizam za transport materijala i dužina uboda.
- *Svojstva materijala i konca koji utiču na kvalitet šavova:* debljina, struktura, površinska obrada, elastičnost, krutost savijanja, krutost smicanja, kompresibilnost materijala i trenje.

3. EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalni deo ovog istraživanja usmeren je na procenu kvaliteta šavova izrađenih na poliesterskoj kompozitnoj tkanini namenjenoj tehničkim primenama, sa posebnim naglaskom na njihova mehanička i električna svojstva. U kontekstu ESD radnog okruženja, kvalitativne i funkcionalne performanse šava imaju presudnu ulogu, jer šav predstavlja potencijalno oslabljenu zonu konstrukcije u kojoj može doći do narušavanja mehaničke i električne stabilnosti. Zbog prekida kontinuiteta tekstilnih vlakana i lokalnog koncentrisanja naprezanja, šavovi se smatraju kritičnim mestima gde se mogu pojaviti oštećenja kao što su pucanje konca, izvlačenje niti iz tkanine ili promena provodljivosti usled deformacije.

3.1. Postavljene hipoteze

Cilj istraživanja je da se utvrdi uticaj vrste šivaćeg konca na mehanička svojstva šava, određena merenjem prekidne sile i prekidnog izduženja konca, tkanine i tkanine u šavu, kao i na dielektrična svojstva, kroz određivanje električne provodljivosti konca, tkanine i formiranog šava. Ispitivanja su sprovedena sa ciljem identifikovanja šavne konfiguracije koja obezbeđuje optimalan odnos mehaničke stabilnosti i kontrolisane električne provodljivosti, što je jedan od ključne važnosti za primenu u ESD radnim prostorima.

Na osnovu stručne literature koja izučava mehanička svojstva šavova i dielektrična svojstva materijala, kao i na osnovu određenih zapažanja u toku preliminarnih ispitivanja, istraživanja su bila zasnovana na sledećim hipotezama:

- 1) Prekidna jačina i izduženje šava, kao i njegova površinska otpornost u značajnoj mjeri zavisi od vrste primjenjenog konca za šivenje.
- 2) Šavovi izrađeni filamentnim koncima pokazuju veću prekidnu jačinu u šavu u odnosu na šavove izrađene predenim koncima.
- 3) Poliamidni filamentni konac obložen srebrom se odlikuje dobrom provodljivošću, ali ima slabija mehanička svojstva.
- 4) Tkanine obrađene grafitom postižu svojstva koja se mogu uvrstiti u ESD područje primjene.

U okviru eksperimentalnog dela rada analiziran je uticaj četiri vrste konaca (PA-Ag, PA, PES i PES-P) i postupaka modifikacije grafitom i aktivnim ugljem na mehanička, električna i dielektrična svojstva šavova formiranih na poliesterskoj kompozitnoj tkanini. Radi eliminisanja

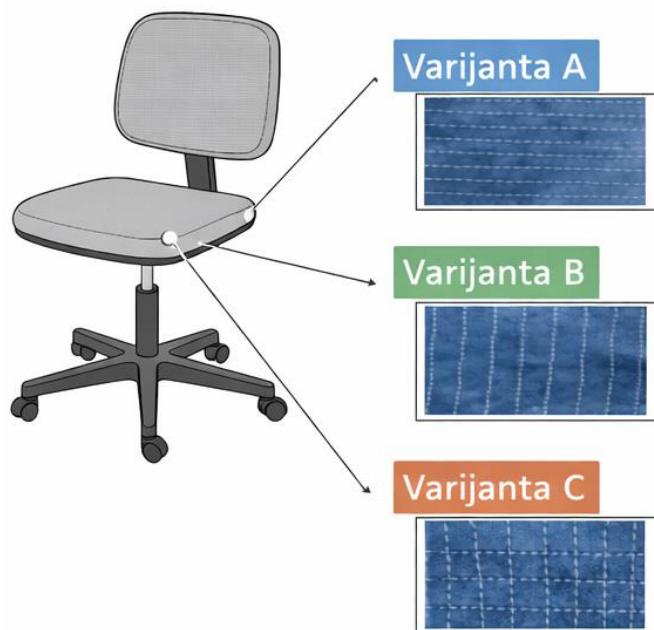
uticaja geometrije igle, kao eksperimentalne promenljive, svi uzorci su izrađeni istom šivaćom iglom finoće Nm 90.

3.2. Plan istraživanja

U okviru ovog rada izvršena je modifikacija tapaciranog dela stolice primenom kompozitne tkanine prošivene PA-Ag (poliamid-srebro) koncima, radi ispitivanja elektroprovodnih i mehaničkih karakteristika u cilju utvrđivanja optimalne varijante materijala za ESD primenu.

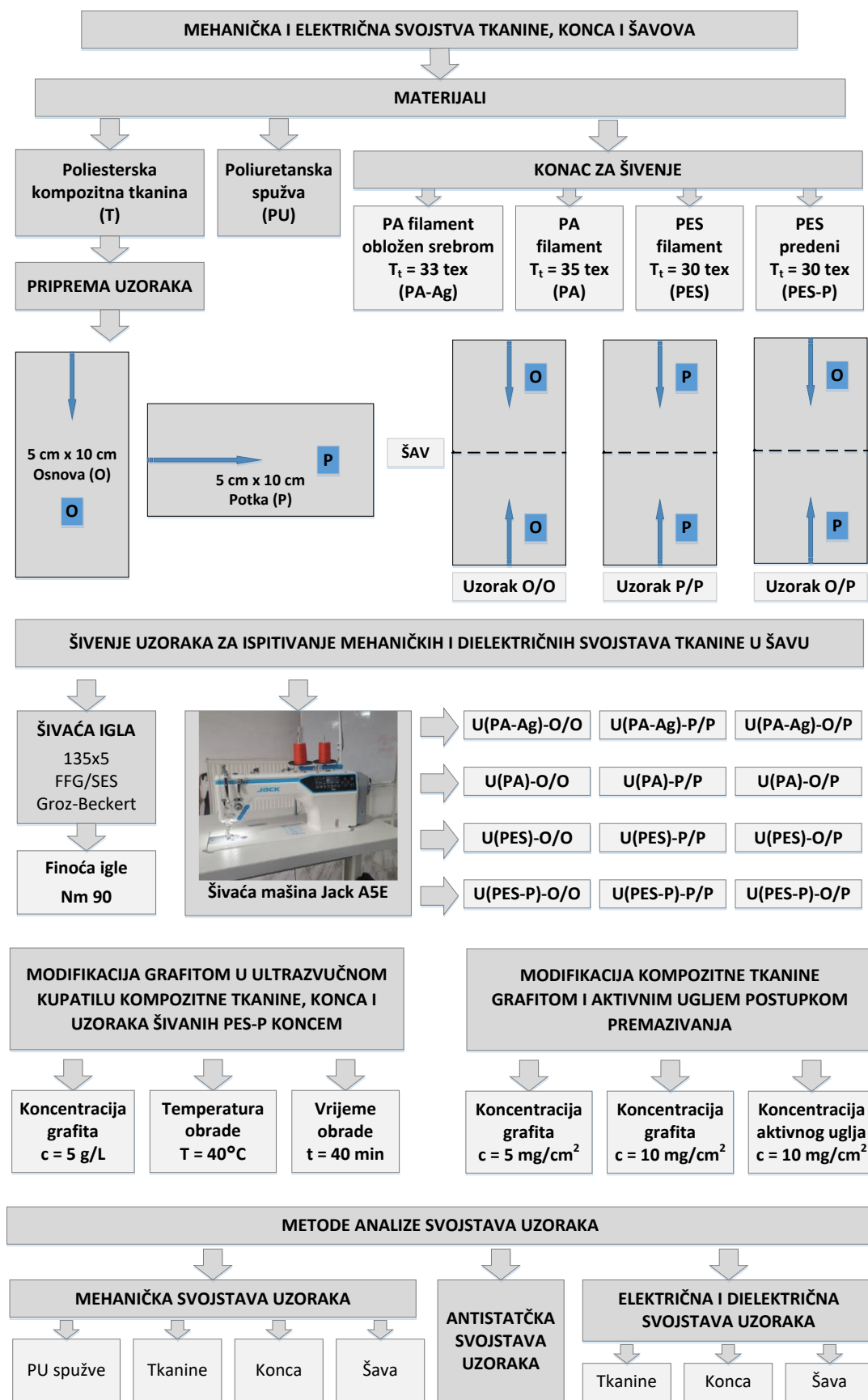
Konstrukcija stolice, slika 3.1., obično se sastoji od:

- sedeće površine sa tapaciranim punjenjem,
- tapaciranog naslona,
- centralnog metalnog ili kompozitnog nosača,
- mehanizma za podešavanje visine,
- antistatičkih točkova,
- petokrake baze koja obezbeđuje stabilnost.



Slika 3.1. Antistatička ESD laboratorijska stolica sa modifikovanom kompozitnom tkaninom prošivena PA-Ag koncima (eksperimentalna varijanta presvlake)

Na slici 3.2. je dat šematski prikaz toka istraživanja uticaja vrste upotrebljenog konca za izradu šava i naknadne obrade grafitom i aktivnim ugljem na mehanička i dielektrična svojstva šavova.



Slika 3.2. Plan istraživanja

3.3. Izbor materijala za izradu ESD stolice

Materijali izabrani za izradu ESD stolice su: kompozitna tkanina *Titan*, netkani materijal *Retex*, poliuretanske spužve različitih debljina (PU spužve) i konci (poliamidni filamentni konac obložen srebrom (PA-Ag), poliamidni filamentni konac (PA), poliesterski filamentni konac (PES) i poliesterski pređeni konac (PES-P)). Osnovne karakteristike tekstilnih materijala, konaca za šivenje, mašinske igle i šivaće mašine korištene za izradu stolice i za ispitivanje uticaja parametara šivenja na jačinu šava, prikazane su u tabelama 3.1. – 3.5.

Za tapaciranje ESD stolice izabrana je kompozitna tkanina *Titan*, tabela 3.1. Tkanina je dvoslojne strukture, pri čemu je lice izrađeno od velur tkanine, što materijalu daje mekoću, glatku teksturu i vizuelno luksuzan izgled, dok je naličje izrađeno od pletenine, koja obezbeđuje elastičnost, stabilnost dimenzija i dodatnu čvrstoću. *Titan* spada u velur tkanine namenjene za oblaganje nameštaja i proizvodi se od 100% poliesterskih vlakana. Pleteno naličje *Titan* tkanine doprinosi povećanoj elastičnosti i boljoj sposobnosti praćenja deformacija tokom opterećenja u realnim uslovima korišćenja. Ovo svojstvo utiče na ponašanje šava u zoni spoja, jer elastična podloga može dovesti do većeg istezanja i lokalnih naprezanja u koncu. Takva struktura predstavlja realnu simulaciju uslova u kojima se nalaze tapacirani delovi ESD stolica, gde šav mora zadržati i mehaničku stabilnost i električnu sigurnost.

Uprkos svojoj nežnoj teksturi, velur izrađen od sintetičkih vlakana može imati visoku otpornost na habanje, dok dodatne obrade poboljšavaju njegovu postojanost i dugotrajnost. Osetljivost na prašinu, mrlje i vlagu čini da materijal zahteva pažljiviju negu, ali njegova estetska vrednost i vizuelni efekat čine ga čestim izborom u tapaciranju nameštaja.

Poliesterska priroda *Titan* tkanine posebno je značajna u kontekstu ESD primene, jer poliester poseduje stabilna dielektrična svojstva i visoku zapreminsku otpornost. Kao materijal koji slabo apsorbuje vlagu, poliester zadržava ujednačena električna svojstva i u promenljivim spoljnim uslovima. Zbog toga *Titan* predstavlja pogodan kompozit za ispitivanje ponašanja šavova u ESD okruženju, jer omogućava jasno uočavanje promene provodljivosti šavova usled primene različitih vrsta konaca, bez značajnog uticaja same tkanine na rezultate. U ESD konstrukcijama šav predstavlja najkritičniju tačku, jer na liniji šava dolazi do prekida kontinuiteta površine i eventualnog narušavanja električne homogenosti materijala.

Kompozitna struktura *Titan* tkanine obezbeđuje dovoljno veliku debljinu i stabilnost tokom šivenja, što omogućava formiranje homogenih, pravilnih šavova i pouzdano poređenje

rezultata. Dodatno, relativno niska sklonost velura ka triboelektričnom punjenju smanjuje uticaj spoljašnjih faktora i osigurava da rezultati ispitivanja dominantno zavise od vrste i strukture korišćenog konca, što je od posebne važnosti u analizama usmerenim na ESD svojstva šavova.

Tabela 3.1. Karakteristike kompozitne tkanine Titan za izradu ESD stolice

Kompozitna tkanina Titan, lice i naličje	
	
Površinska masa:	410 g/m ² (± 5%)
Širina tkanine:	141 cm (± 2%)
Debljina tkanine:	0,85 mm
Sirovinski sastav:	100% PES
Martindale test:	> 30.000
Formaldehid:	ne sadrži
Alergene boje:	nema
Kancerogene azo boje:	nema
Upotreba:	jastuci, zavese, nameštaj
Prošivanje:	Da
Vodootporno:	Da

Retex je polipropilenski mikroporozni, parapropustljivi netkani materijal, prikazan u tabeli 3.2. Ovaj materijal se dobija iz veoma tankih vlakana polipropilena, primenom termo lepljenja. Karakteristike *Retexa*, kao i oblast njegove primene, zavise od rasporeda vlakana pre procesa lepljenja, koji je ključan za određivanje finalnih svojstava materijala.

Osnovna sirovina za proizvodnju *Retexa* su polipropilenske granule, koje se tope i ekstrudiraju formirajući niti. Ove niti se isprepliću i brzo hlade kako bi se postigla željena gustoća i čvrstoća. Nakon toga, niti se učvršćuju i povezuju prolaskom kroz vruće valjke, što rezultira finalnim proizvodom koji se potom namotava na papirne cevke.

Retex je materijal značajne čvrstine i izuzetne otpornosti na delovanje kiselina i baza. Kroz dodatne obrade, moguće je modifikovati njegova svojstva i omogućiti da materijal postane higroskopan ili hidrofoban, otporan na UV zračenja, antistatičan, baktericidno sterilan ili lako razgradiv.

Proizvodi se u različitim bojama, različitim površinskih masa od 15 g/m² do 150 g/m², te u različitim širinama namotaja materijala koji mogu biti 1400 mm, 1600 mm, 2100 mm, 3200 mm ili 4200 mm. *Retex* je lako obradiv, netoksičan, može se sterilizovati, jednostavan je za šivenje, spajanje varenjem i čišćenje.

Tabela 3.2. Karakteristike netkanog tekstila (retex) za izradu ESD stolice

RETEX	
	
Površinska masa:	100 g/m ² (± 5%)
Debljina:	0,125 mm
Širina:	cca 160 cm
Sirovinski sastav:	100% polipropilen
Zapaljivost:	Nije zapaljiv
Boja:	Crna
Skladištenje:	Ne zahteva specijalne uslove čuvanja

PU spužve, tabela 3.3., odlikuju se svojstvima koja ih čine otpornim na sakupljanje prašine, razvoj gljivica i insekata, a takođe poseduju antialergijska svojstva. Ne ispuštaju štetne ili toksične materije, a istovremeno su otporne na različite hemikalije i organske kiseline. Zbog svoje elastičnosti i čvrstoće, PU spužve održavaju svoj oblik i karakteristike tokom dužeg vremenskog perioda. Spužve T-30150 i T-35160 naročito se izdvajaju zbog izvrsnih svojstava udobnosti, fleksibilnosti i visoke nosivosti. Udobnost koju pružaju ove spužve očituje se u njihovoj sposobnosti da pod malim opterećenjem prilagode svoju površinu telu, omogućavajući

time ergonomski povoljan položaj. Prilikom izbora spužve, odlučujući faktor nije samo tvrdoća, već i gustoća materijala. Spužve veće gustoće karakterišu se većom elastičnošću, dok povećanje tvrdoće pri istoj gustoći dovodi do smanjenja elastičnosti i trajnosti. Zbog velike količine otvorenih ćelija koje omogućavaju slobodan protok vazduha, standardne poliuretanske spužve su lagane i izuzetno prozirne, što doprinosi povoljnoj mikroklimi između kože i tkanine (Eaves, 2003).

PU spužve koje se koriste za stolicu su sledeće: za sedalo se stavlja PU spužva debljine 4 cm i gustoće 35 kg/m³, na naslon sa unutrašnje strane PU spužva debljine 2 cm i gustoće 35 kg/m³ a na naslon sa spoljašnje strane PU spužva debljine 1 cm i gustoće 30 kg/m³. PU spužva gustoće 30 kg/m³ se preporučuje za elemente koji trpe srednji do visok stepen opterećenja (nasloni za leđa i ruke, sedala i ležaje) sa vekom trajanja do 8 godina i nosivošću 80 kg do 100 kg, uz visokofrekventnu svakodnevnu upotrebu. PU spužva gustoće 35 kg/m³ se preporučuje za elemente koji trpe srednji do visok stepen opterećenja (nasloni za leđa i ruke, sedala i ležaje) sa vekom trajanja do 12 godina i nosivošću 100 kg do 120 kg, uz visokofrekventnu svakodnevnu upotrebu (Eaves, 2003).

Tabela 3.3. Karakteristike PU spužve za izradu ESD stolice

FLEKSIBILNA POLIURETANSKA PENA



T – 30150		T – 35160	
Oznaka proizvoda:	T-30150, T-3037, 30T	Oznake proizvoda:	T-35160, T-3540, 35T
Debljina spužve:	20 mm	Debljina spužve:	40 mm
Vrsta:	standardna PU pena	Vrsta:	standardna PU pena
Hemijski sastav:	100 % poliuretan	Hemijski sastav:	100 % poliuretan

Za šivenje uzoraka za ispitivanje mehaničkih, električnih i dielektričnih svojstava šavova korištene su četiri vrste konaca za šivenje i to: poliamidni filamentni konac obložen srebrom (PA-Ag), poliamidni filamentni konac (PA), poliesterski filamentni konac (PES) i poliesterski predeni konac (PES-P).

Poliamidni filamentni konac obložen srebrom *Silver-tech+* (PA-Ag), tabela 3.4., predstavlja specijalizovani provodni tekstilni materijal namenjen za ESD primenu. Jezgro konca čini poliamid visoke čvrstoće, dok se na njegovoj površini nanosi kontinuirani sloj čistog srebra, što koncu obezbeđuje stabilnu električnu provodljivost uz zadržavanje mehaničke izdržljivosti. Zahvaljujući kombinaciji niske električne otpornosti, fleksibilnosti i otpornosti na habanje, PA-Ag se koristi za šavove koji moraju sprečiti akumulaciju statičkog naelektrisanja i omogućiti kontrolisano disipativno ponašanje u tehničkim tekstilima. Zbog svoje strukture, ovaj konac nalazi primenu u antistatičkim tkaninama, zaštitnoj odeći, ESD presvlakama i komponentama pametnog tekstila (Amann Group, 2025).

Poliamidni filamentni konac *Onyx* (PA), tabela 3.4., sastoji se iz kontinuiranih sintetičkih vlakana koja obezbeđuju visoku prekidnu čvrstoću, elastičnost i otpornost na habanje. PA multifilamentni konci odlikuju se izuzetnom zateznom izdržljivošću i dobrim ponašanjem pod cikličkim opterećenjima, što ih čini pogodnim za šavove izložene intenzivnom savijanju i dinamičkim naprezanjima. Njihova hemijska stabilnost i otpornost na vlagu i abraziju doprinose dugotrajnosti šavova kod tapaciranog nameštaja i tehničkih tekstila. U okruženjima koja su izložena visokom električnom naponu koriste se PA stabilni dielektrični konci, jer ne poseduju sopstvenu provodljivost i doprinose održavanju izolacionih svojstava šavova (Amann Group, 2025).

Poliesterski multifilamentni konac *Serafil* (PES), tabela 3.5., je visokog kvaliteta, karakterističan po visokoj čvrstoći šava, stabilnosti u procesu šivenja i posebnoj površinskoj doradi koja obezbeđuje ravnomerno klizanje kroz materijal. Ovaj konac pokazuje odličnu otpornost na habanje, stabilnost boje i termo-otpornost do 250–260°C, što ga čini pogodnim za tehničke tekstile, tapaciranje i industrijske proizvode (Amann Group, 2025).

Poliesterski predeni konci (PES-P), tabela 3.5., imaju dobru dimenzionu stabilnost i izdržljivost u šavu. Preden poliesterski konac za šivanje je obojen na visokoj temperaturi od 130°C, otporan na UV zračenje, hemijsku degradaciju i naširoko se koristi na industrijskim šivaćim mašinama za izradu tapaciranog nameštaja.

Tabela 3.4. Tehničke karakteristike konaca PA-Ag i PA

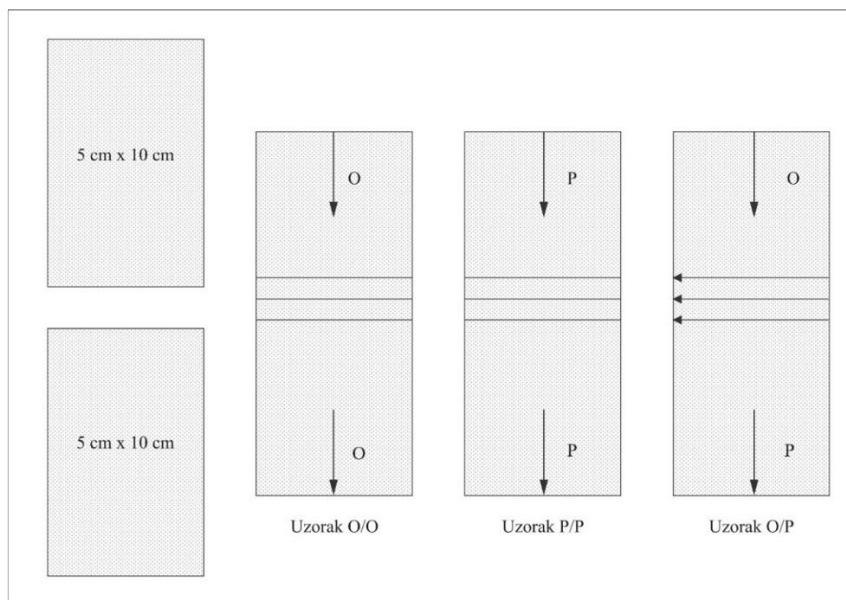
<i>PA-Ag filamentni konac za šivenje</i>		<i>PA filamentni konac za šivenje</i>	
			
<i>Finoća konca (Tex)</i>	33	<i>Finoća konca (Tex)</i>	35
<i>Smer uvoja</i>	S	<i>Smer uvoja</i>	S
<i>Termička postojanost (°C)</i>	250-260	<i>Termička postojanost (°C)</i>	250-260
<i>Prekidna sila (cN)</i>	1030	<i>Prekidna sila (cN)</i>	2450
<i>Prekidno izduženje (%)</i>	35	<i>Prekidno izduženje (%)</i>	25
<i>Preporučena igla (Nm)</i>	75 – 90	<i>Preporučena igla (Nm)</i>	80-100
<i>Električni otpor (Ω/m)</i>	<200		

Tabela 3.5. Tehničke karakteristike konaca PES i PES-P

<i>PES filamentni konac za šivenje</i>		<i>PES-P konac za šivenje</i>	
			
<i>Finoća konca (Tex)</i>	30	<i>Finoća konca (Tex)</i>	30
<i>Smer uvoja</i>	S	<i>Smer uvoja</i>	S
<i>Termička postojanost (°C)</i>	250-260	<i>Broj uvoja/broj niti</i>	40/2
<i>Prekidna sila (cN)</i>	2261	<i>Prekidna sila (cN)</i>	1020
<i>Prekidno izduženje (%)</i>	16	<i>Prekidno izduženje (%)</i>	13 – 17
<i>Preporučena igla (Nm)</i>	70 – 110	<i>Preporučena igla (Nm)</i>	70 – 90

3.4. Priprema i šivenje uzoraka za ispitivanje

Uzorci za ispitivanje prekidne jačine i izduženje šavova su šiveni na univerzalnoj šivaćoj mašini Jack A5E, dvostrukim zrnčanim bodom tip 301, sa gustinom šivenja 4 uboda/cm. Uzorci za ispitivanje jačine i izduženja šava su pripremljeni na način kao što je prikazano na slici 3.3.



Slika 3.3. Priprema uzoraka za ispitivanje jačine i izduženja šava

Za ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja šava neophodno je pripremiti po 15 uzoraka za svaki ispitivani konac odnosno po 5 uzoraka (epruveta) u tri varijante, a to su:

- Osnova/Osnova (O/O)
- Potka/Potka (P/P) i
- Osnova/Potka (O/P).

Šav je kod svih uzoraka formiran na standardizovanoj udaljenosti od ivice materijala, tačno 10 mm, kako bi se obezbedili uslovi uporedivosti rezultata i eliminisao uticaj geometrijskih odstupanja na mehanička svojstva spoja.

Paralelno s tim, za ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja same tkanine, pripremljeno je po pet kondicioniranih epruveta u dve orijentacije – u smeru osnove i u smeru potke. Dimenzije uzoraka bile su 200 x 50 mm širine, u skladu sa relevantnim normama koje regulišu mehanička ispitivanja tekstilnih materijala. Kondicioniranje uzoraka je sprovedeno u kontrolisanim uslovima relativne vlažnosti i temperature, kako bi se obezbedila stabilnost i ponovljivost dobijenih rezultata.

Uzorci za ispitivanje prekidne jačine i izduženje šavova su šiveni na univerzalnoj šivaćoj mašini Jack A5E, dvostrukim zrnčanim bodom tip 301, sa gustinom šivenja 4 uboda/cm u proizvodnom pogonu "Naš dom MB" Gradiška. Osnovne karakteristike igle i mašine za šivenje prikazane su u tabeli 3.6.

Tabela 3.6. Karakteristike šivaće igle i šivaće mašine za šivenje uzoraka

	Vrsta igle	DP x 5
		135 x 5
	Finoća igle	Nm 90
	Proizvođač	Groz – Beckert
	Oznaka vrha igle	FFG/SES



Vrsta mašine: Jack A5E

Digitalne kontrole:	Rezanje konca, tiho učvršćavanje početka i završetka šava, podizanje stopice, glasovni vodič, pozicioniranje igle, šivenje prema programiranim delovima, USB priključak za spajanje vanjskih uređaja
Adaptivni sistem tkanine (AMH):	Za teške, lagane i elastične tkanine bez posebnih podešavanja
Maksimalna brzina šivenja:	Do 5000 uboda/min
Maksimalna dužina uboda:	Do 5 mm
Visina podizanja stopice:	Do 13 mm
Dimenzije:	695x295x550 mm
Težina:	41 /47 kg

3.5. Modifikacija uzoraka grafitom u ultrazvučnom kupatilu

Rastvor za modifikaciju uzoraka tkanine, konca i sašivene epruvete za ispitivanje se priprema tako što se u destilovanu vodu dodaje određena količina grafita (5 g/L), u odnosu na ukupni volumen rastvora. Za bolju absopciju grafita tokom modifikacije u rastvor se dodaje 1 g/L površinski aktivne materije (Leonil FW). Uzorci kompozitne tkanine *Titan* dimenzija 10cm x 10cm, 1 m poliesterskog predenog konca (PES-P) i epruveta sašivena PES-P koncem izvažu se i potope u rastvor grafita (omjer flote je 1:30). Tako pripremljene čaše sa uzorcima tkanine, konca i sašivene epruvete u rastvoru grafita stavljaju se u ultrazvučno kupatilo i uzorci obrađuju 40 minuta na temperaturi od 40°C. Nakon modifikacije uzorci se suše u sušioniku na temperature 40°C tokom 2h. Uzorci obrađeni grafitom u ultrazvučnom kupatilu prikazani su u tabeli 3.7.

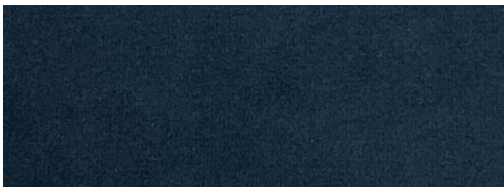
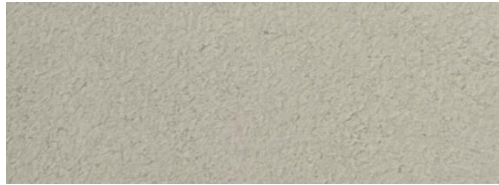
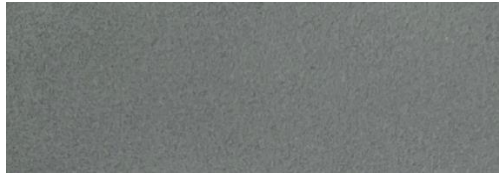
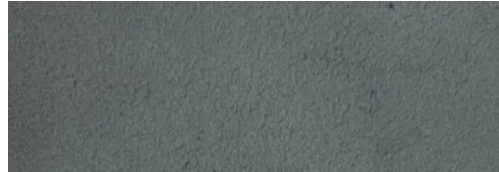
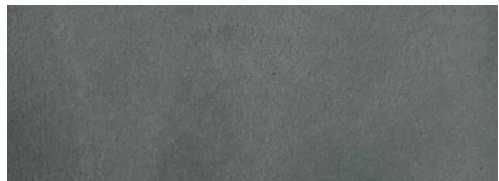
Tabela 3.7. Uzorci obrađeni grafitom u ultrazvučnom kupatilu

Izgled uzorka	Oznaka uzorka
	PES-P(G)
	T(G)
	Š(PES/P)-G

3.6. Modifikacija tkanine grafitom i aktivnim ugljem postupkom premazivanja

Za pripremu paste za premazivanje korišćen je rastvor EUH (5-hlor-2-metilizotiazol-3-on i 2-metilizotiazol-3-on u odnosu 3:1), dejonizovana voda (DV), grafit (G) i aktivni uglj (AU). Pasta je pripremana tako što se u 9 ml rastvora EUH dodavala različita količina grafita (G) i aktivnog uglja (AU), te je nakon mešanja u dobijenu pastu dodan 1 ml dejonizovane vode. Tako pripremljene paste su nanošene postupkom premazivanja na uzorak tkanine dimenzija 10 cm x 10 cm i sušene u sušioniku na temperaturi 40 °C. Uzorci obrađeni postupkom premazivanja prikazani su u tabeli 3.8.

Tabela 3.8. Uzorci obrađeni postupkom premazivanja

<i>Izgled uzorka</i>	<i>Koncentracija grafita (G) i aktivnog uglja (AU) u pasti</i>	<i>Oznaka uzorka</i>
	/	T
	EUH + DV	T(E)
	EUH + DV + 0,5 g G	T(E-0,5G)
	EUH + DV + 1 g G	T(E-1G)
	EUH + DV + 1 g AU	T(E-1AU)

3.7. Metode i uređaji za ispitivanje

Laboratorijska ispitivanja, koja su najbliža stvarnoj upotrebi, predstavljaju postupci simulacije praktične primene. To su postupci ispitivanja u kojima se primenom odgovarajućih uređaja i tehničkih rešenja, u laboratorijskim uslovima, uz odgovarajuću mikroklimu, simulira sasvim određena, predviđena upotreba proizvoda (Čunko, 1995). Sprovedeno istraživanje karakteriše mogućnost ponavljanja uz primenu identičnih ili prilagođenih proizvodnih uslova koji su korišćeni tokom eksperimentalnog rada. Time se obezbeđuje verodostojnost i pouzdanost rezultata, što omogućava njihovu primenu u daljim ispitivanjima ili u industrijskim uslovima sa sličnim tehničkim zahtevima.

S obzirom na namenu ispitivanih materijala, korištenjem odgovarajućih metoda, na uzorcima su provedena osnovna ispitivanja. Ispitivanja su provedena prema sledećim metodama ili standardima:

- Ispitivanje mehaničkih svojstava materijala ojaštavanja (ISO 2439:2008 i ISO 845:2006)
- Određivanje debljine materijala (BAS EN ISO 5084:2015)
- Određivanje površinske mase tkanine (BAS ISO 3801:2016)
- Ispitivanje otpornosti tkanine na habanje (HRN EN ISO 12947-2:1998)
- Ispitivanje postojanosti obojenja (ISO 20433 Metoda C)
- Ispitivanje usklađenosti boja (ASTM D1729)
- Ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja konca (EN ISO 2062)
- Ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja tkanine (EN ISO 13934 – 1)
- Ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja šava (EN ISO 13936 – 1)
- Ispitivanje statičkog elektriciteta (AATCCTM 115)
- Ispitivanje površinske otpornosti pomoću pločastih elektroda (EN 1149-1)
- Ispitivanje dielektričnih svojstava konca (mjerni LCR most)
- Ispitivanje dielektričnih svojstava tkanine (mjerni LCR most)
- Ispitivanje dielektričnih svojstava šava (mjerni LCR most).

Ispitivanje tekstilnih materijala obuhvata širok spektar metoda i uređaja koji se primenjuju za analizu fizičkih, hemijskih, mehaničkih i dielektričnih svojstava tekstila. U zavisnosti od vrste ispitivanja, koriste se specijalizovani aparati i instrumenti koji omogućavaju preciznu analizu ovih svojstava. Ovi uređaji i testovi obezbeđuju kvalitet tekstilnih proizvoda, čime se osigurava da oni zadovoljavaju industrijske standarde i specifične zahteve potrošača.

3.7.1. Ispitivanje mehaničkih svojstava materijala ojaštavanja ESD stolice

U okviru ovog istraživanja, za ispitivanje fizičko-mehaničkih svojstava fleksibilne poliuretanske (PU) spužve, korišćene su standardizovane metode propisane međunarodnim normama ISO 2439:2008 i ISO 845:1988. Ispitivanja su obuhvatila određivanje nekoliko parametara koji su od suštinskog značaja za procenu kvaliteta materijala koji se koristi za tapaciranje nameštaja, posebno u segmentu sedećih površina stolica. Na osnovu norme ISO 2439:2008, analizirani su sledeći pokazatelji: indeks udobnosti (*Support Factor* ili *SAG faktor*), tvrdoća (*Hardness*), histerezni povrat (*Recovery*), odnosno relativna tvrdoća, i gubitak energije usled deformacije, poznat kao histerezna vrednost (*Hysteresis Loss*). Ovi parametri daju sveobuhvatan uvid u ponašanje PU spužve pod opterećenjem i nakon prestanka opterećenja, čime se procenjuje sposobnost materijala da pruži potrebnu elastičnost, udobnost i trajnu nosivost u svakodnevnoj upotrebi.

Gustina materijala određena je u skladu sa standardom ISO 845:1988, koji definiše način merenja zapreminske mase čelijskih materijala. Gustina se izračunava kao odnos mase uzorka i njegove zapremine, izražena u jedinici kg/m^3 . Ovaj parametar ima višestruku funkcionalnu važnost; direktno je povezan s ekonomskim aspektom materijala, ali i s njegovom sposobnošću da se odupre trajnim deformacijama, odnosno da zadrži svoju funkcionalnost tokom duže upotrebe. Procena nosivosti spužve izvršena je IFD testiranjem (*Indentation Force Deflection*), koje se temelji na merenju sile potrebne za postizanje određene procentualne deformacije uzorka, konkretno 25%, 40% i 65% od njegove početne debljine. Ispitivanja su sprovedena u definisanom vremenskom intervalu, čime se obezbeđuje ujednačenost i uporedivost rezultata. Na osnovu odnosa sila pri 65% i 25% deformacije dobija se indeks udobnosti, koji predstavlja važan pokazatelj kako materijal reaguje na opterećenje i u kojoj meri se prilagođava obliku tela bez gubitka potpore. Takođe je izračunat i indikator relativne tvrdoće, povratna vrednost histereze, koja označava sposobnost materijala da se vrati u prvobitno stanje nakon što se ukloni opterećenje. Što je ova vrednost viša, to je materijal elastičniji i otporniji na trajne deformacije, što direktno doprinosi produženju njegovog veka trajanja i očuvanju kvaliteta tapaciranog proizvoda. Dobijeni rezultati u ovom istraživanju omogućavaju objektivnu analizu ponašanja različitih vrsta PU spužvi u uslovima koji imitiraju stvarnu eksploataciju (Vlaović, 2009; Gluhalić, 2015).

Određivanje mehaničkih svojstava spužvi urađeno je na uređaju proizvođača *Hegewald i Peschke*, prikazanog na slici 3.4.



Slika 3.4. Uređaj za ispitivanje mehaničkih svojstava spužve

Ispitivanje je sprovedeno tako što je uzorak postavljen na ravnu podlogu, a na njega je primenjeno opterećenje pritiskom okruglom pločom površine 314 cm², uz brzinu pomaka od 100 mm/min. Tokom postupka, mereni su sila i deformacija uzorka. Svi eksperimenti su praćeni korišćenjem računarskog programa *LabMaster*, koji je omogućio precizno praćenje ispitivanja mehaničkih svojstava prema standardu ISO 2439. Dobijeni podaci su naknadno analizirani korišćenjem *Microsoft®Excel 2007* softverskog paketa (Organika BH d.o.o; Klempner i Sendijarević, 2004; Vlaović, 2009).

3.7.2. Određivanje debljine materijala

Debljinu tkanine teško je odrediti jednostavnim merenjem, pa je standardima predviđeno da se pod debljinom tkanine podrazumeva rastojanje između dve metalne glatke paralelne površine između kojih se nalazi tkanina pod određenim pritiskom. Pritisak zavisi od vrste tkanine i može biti različit. Merenja se obavljaju pomoću debljinomera, slika 3.5., koji mora osigurati preciznost rezultata merenja na 0,01 mm.



Slika 3.5. Debljinomer

Debljina tkanine je parametar koji se unosi prilikom ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja na dinamometru, kao i kod ispitivanja dielektričnih svojstava. Rezultat merenja se prikazuje kao aritmetička sredina od svih merenja (Čunko, 1995; Radivojević, Đorđević i Trajković, 2016).

3.7.3. Određivanje površinske mase tkanine

Pod površinskom masom tkanine podrazumeva se masa 1 m² tkanine, izražene u g/m². Prema navedenom standardu ISO 3801:2016 postoje dve vrste ispitivanja: na kondicioniranim uzorcima i na apsolutno suvim uzorcima. Kada se rade ispitivanja na apsolutno suvim uzorcima, priprema se uzorak tkanine površine 100 cm², koji se dovede u standardno stanje i iz istog se izrežu najmanje tri epruvete određene površine (Šunjka, 2001; Radivojević, Đorđević i Trajković, 2016). Rezanje epruveta se vrši pomoću kružnog specijalnog rezača, slika 3.6., gde se preko penaste površine položi uzorak tkanine, zatim se prisloni rezač i pod pritiskom se izreže epruveta kružnog oblika. Pri isecanju epruveta ne sme biti zahvaćena ivica. Vaganje epruveta se radi pod standardnim uslovima sa tačnošću 0,01 g na preciznim vagama, slika 3.6.



Slika 3.6. Rezač za sečenje epruveta kružnog oblika i elektronska vaga

Na osnovu konstantovane normalne mase epruvete i njene površine izračunava se površinska masa (M_f) prema jednačini (Šunjka, 2001):

$$M_f = \frac{m \cdot 10.000}{F} \text{ [g/m}^2\text{]},$$

gde je:

M_f – površinska masa,
 m – normalna masa epruvete u g,
 F – površina epruvete u cm^2

Rezultat merenja se prikaže kao aritmetička sredina od svih merenja.

3.7.4. Određivanje otpornosti tkanine na habanje

U procesu korišćenja tekstilnih materijala, naročito kod tapaciranog nameštaja, ispitivanje otpornosti na habanje predstavlja bitan parametar ocene kvaliteta i dugotrajnosti proizvoda. Habanje se definiše kao postupno pogoršanje površinskih i mehaničkih svojstava tkanine, do kojeg dolazi usled relativnog kretanja između tekstilnih površina ili između tkanine i drugih materijala. Ova pojava se ogleda kroz promene u masi, boji, debljini, čvrstoći i ukupnom izgledu površine tkanine (HRN EN ISO 12947–2:2008). U zavisnosti od intenziteta i trajanja opterećenja, razlikuju se dve faze habanja: nahabavanje i prohabavanje. Nahabavanje podrazumeva habanje do nivoa bez vidljivih oštećenja, pri čemu su prisutne mikrostrukturne promene koje ne narušavaju funkcionalnost materijala. Suprotno tome, prohabavanje nastupa kada dođe do vidljivih oštećenja, poput prekida niti ili formiranja perforacija, što direktno kompromituje upotrebnu vrednost tekstilnog proizvoda (HRN EN ISO 12947–3:2008).

U savremenim laboratorijskim uslovima razvijene su brojne metode za ispitivanje habanja, koje se klasifikuju prema načinu relativnog pokreta između uzorka i habajućeg tela, kao i po geometriji kontakta. Najčešće korišćena metoda u praksi je metoda kružnog habanja, poznata kao Martindale test. Ovaj test se primenjuje u skladu s međunarodnim standardima i obuhvata merenje otpornosti tkanina na habanje pod definisanim uslovima opterećenja, pritiska i broja ciklusa (HRN EN ISO 12947–4:2008). Uređaj za ispitivanje po Martindale metodi, slika 3.7., omogućava precizno utvrđivanje gubitka čvrstoće, mase i promene površinskog izgleda tkanine. Standardi koji se primenjuju u ovom postupku uključuju (Čunko, 1995):

- HRN EN ISO 12947–2:2008 (određivanje promene u čvrstoći materijala nakon habanja),
- HRN EN ISO 12947–3:2008 (kvantitativna analiza gubitka mase uzorka),
- HRN EN ISO 12947–4:2008 (vizuelna procena izgleda površine nakon habanja, uključujući pojavu nopa, grudvica i drugih deformacija).



Slika 3.7. Martindale tester abrazije i pilinga

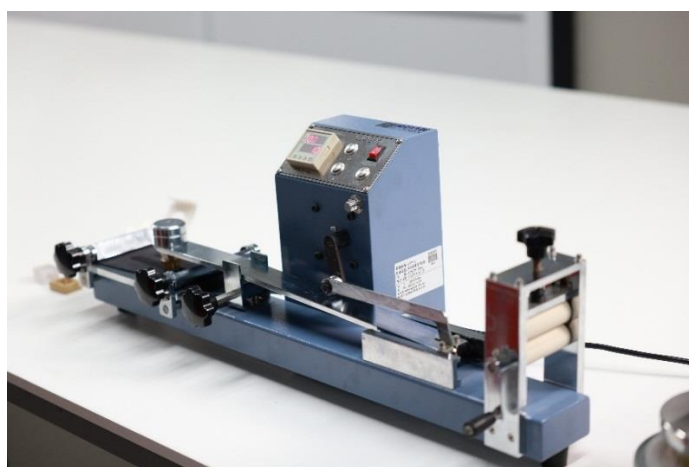
Primena Martindale metode omogućava standardizovano i ponovljivo testiranje tekstilnih materijala, čime se obezbeđuje pouzdana procena njihove izdržljivosti u realnim uslovima eksploatacije. Ova metoda je posebno značajna za evaluaciju tekstila koji se koristi u proizvodnji tapaciranog nameštaja, gde je otpornost na habanje najbitniji faktor kvaliteta i trajnosti proizvoda.

Proces testiranja počinje pripremom uzorka tkanine koja se želi ispitati. Sledeći posebne standarde, od materijala se izrezuju uzorci kružnog oblika. Ovako pripremljeni uzorci se zatim stavljaju na donje rotirajuće ploče unutar testera. Suprotna površina za trljanje može varirati zavisno od vrste testa i vrste materijala. Martindale tester abrazije i pilinga je programiran da radi za određeni broj ciklusa, imitirajući očekivano trajanje habanja na koje bi tkanina mogla naići u svojoj predviđenoj primeni. Tokom svakog ciklusa, rotirajuća donja ploča trlja uzorak tkanine o suprotnu površinu u složenom putu poznatom kao Lissajousov uzorak. Ova putanja osigurava da se sva područja uzorka trljaju pod različitim uglovima, oponašajući scenarije habanja u stvarnom svetu gde se tkanina ne trlja samo u jednom smeru. Oprema za testiranje radi u intervalima od 5000 ciklusa/trljanja. Što se postigne veći broj ciklusa, tkanina je otpornija (Šunjka, 2001; Radivojević, Đorđević i Trajković, 2016). Prema Martindale testovima tkanine se mogu klasifikovati prema rezultatima ispitivanja na:

- < 10.000 jedinica: dekorativna upotreba (primer: ukrasni jastuci)
- 10.000 – 15.000 jedinica: povremena kućna upotreba (primer: pomoćni ležajevi, ležaljke)
- 15.000 – 25.000 jedinica: tipična dnevna kućna upotreba (primer: stolice, sedišta)
- 25.000 – 30.000 jedinica: zahtevna svakodnevna kućna upotreba (za glavne delove nameštaja)
- > 30.000 jedinica: komercijalna upotreba (primer: kreveti, sofe, fotelje).

3.7.5. Ispitivanje postojanosti obojenja

Pod postojanošću obojenja podrazumeva se otpornost obojenog materijala na razne uticaje tokom eksploatacije. Promena obojenja, kao i prelazak bojila na druge materijale u blizini predstavlja merilo postojanosti obojenja. Tekstil je podložan trenju sa drugim predmetima kada se koristi. Ponekad se tekstilne površine trljaju u vlažnim uslovima, pa čak i zaprljaju drugim predmetima i ako boja ne poseduje dobru postojanost, neće zadovoljiti standarde. Stoga bi trebali postojati određeni zahtevi za postojanost boje na trljanje. Postojanost boje na trljanje odnosi se na otpornost na bleđenje boje tkanina tokom dugog trljanja jedne o drugu ili druge predmete, kako bi se izmerio njen uticaj na postojanost boje tkanine. Crockmeter uređaj, slika 3.8., se koristi za određivanje postojanosti boje tekstila na suvo ili mokro trljanje. Ova metoda se koristi za merenje stepena prenosa boje sa obojenih tekstilnih površina na druge tekstilne površine pod delovanjem trenja. Kao sredstvo za trenje koristi se suva i mokra bela pamučna tkanina. Glava za trljanje može biti okrugla Ø16 mm ili pravougaona 19 mm x 25,4 mm, teška obično 9 N, trenje glave je 104 mm, a povratno vreme 10 puta (Radivojević, Đorđević i Trajković, 2016; Jinan Yueyang Information Technology Co., Ltd., 2023).



Slika 3.8. Crockmeter, uređaj za ispitivanje postojanosti obojenja na suvo i mokro trljanje

Dva uzorka su potrebna za suvo ispitivanje i dva za mokro ispitivanje, odnosno dva uzorka u smeru osnove, a dva u smeru potke. Nakon što uređaj dostigne zadati broj trljanja, automatski se isključuje. Postojanost obojenja ocenjuje se na osnovu sive skale. Postoji jedna siva skala za ocenu gubitka boje obojenog materijala i druga za ocenu prelaska bojila na prateću belu tkaninu. Siva skala predstavlja petobojni sistem ocenjivanja, tj. od 1 do 5, pri čemu 1 označava veliku promenu, a 5 bez promena (Čunko, 1995; Šunjka, 2001).

3.7.6. Ispitivanje usklađenosti boja

Color Light Box / Color Matching Cabinet, slika 3.9., naširoko se koristi u laboratorijama za testiranje tekstila za proveru razlike u boji nakon drugih testova na tekstilu, kao što je postojanost boje. Kada se test završi, može se dobiti ocena na osnovu standarda ASTM D1729, koji simulira više izvora svetlosti. Ormarić za usklađivanje boja opremljen je za simulaciju različitih izvora svetlosti, uključujući D65, TL84, CWF, UV, F i A. Ovi izvori svetla ormarića koji se podudaraju sa bojama mogu se automatski prebacivati i podržavati detekciju metamerizma, što ga čini idealnim za sigurno i precizno podudaranje boja i minimalna odstupanja boja u proizvodima. Mikrokompjuterska kontrola omogućava precizno i brzo prebacivanje između izvora svetlosti, omogućavajući tačnu procenu razlika u bojama pod različitim osvetljenjem (Jinan Yueyang Information Technology Co., Ltd., 2023).



Slika 3.9. Color Light Box / Color Matching Cabinet

3.7.7. Ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja konca

Ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja konca izvršeno je u skladu sa standardom EN ISO 2062:2009, koji propisuje određivanje sile kidanja i izduženja pri prekidu tekstilnih pređa metodom konstantne brzine istezanja (CRE – Constant Rate of Extension).

Ispitivanje je sprovedeno na dinamometru, slika 3.10., sa konstantnom brzinom pomeranja pokretne klemе, pri čemu je razmak između stezaljki bio podešen na 250 mm, u skladu sa dozvoljenim uslovima standarda. Brzina istezanja usklađena je sa mernom dužinom i iznosila je 250 mm/min, čime je obezbeđen konstantan odnos brzine deformacije tokom celog ispitivanja.



Slika 3.10. Dinamometar

Uzorci konca su kondicionirani u standardnoj atmosferi za ispitivanje tekstila prema ISO 139. Pre stezanja uzorka primenjeno je propisano prednaprezanje u cilju određivanja početne merne dužine i uklanjanja eventualne početne relaksacije niti. Konac je pažljivo postavljen između klema tako da ne dođe do dodatnog uvijanja, klizanja ili lokalnog oštećenja. Tokom ispitivanja uzorak je bio izložen jednoosnom zatezanju do trenutka prekida. Dinamometar je registrovao maksimalnu silu pri kojoj dolazi do prekida, koja predstavlja prekidnu jačinu konca, kao i odgovarajuće izduženje u trenutku prekida.

Prekidna jačina izražena je u cN, dok je prekidno izduženje izračunato prema izrazu:

$$\varepsilon = \frac{l_p - l_o}{l_o} \cdot 100 (\%)$$

gde je:

l_p – dužina konca u momentu kidanja (mm) i

l_o – početna merna dužina pod propisanim prednaprezanjem (mm).

Ukoliko je bilo klizanja uzorka u klemi većeg od 2 mm ili prekida u neposrednoj blizini stezaljki, rezultat nije uzet u obzir u skladu sa zahtevima standarda.

Za svaku vrstu konca ispitano je više uzoraka, a rezultati su prikazani kao srednja vrednost prekidne sile i prekidnog izduženja, čime je obezbeđena statistička pouzdanost merenja. Vrednosti mehaničkih svojstava konaca predstavljaju osnovu za analizu ponašanja šavova, budući da prekidna čvrstoća i deformaciona sposobnost šava direktno zavise od mehaničkih karakteristika primenjenog konca (Radivojević, Đorđević i Trajković, 2016).

3.7.8. Ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja tkanine

Postupak ispitivanja prekidne jačine i prekidnog izduženja tkanine izveden je u skladu sa standardom EN ISO 13934-1. Samo ispitivanje realizuje se pomoću dinamometra, pri čemu je razmak između stezaljki precizno podešen na 200 mm, čime se osiguravaju standardizovani uslovi za merenje mehaničkih svojstava uzoraka. Pre početka zatezanja, donja stezaljka se opterećuje predopterećenjem, čija vrednost varira u zavisnosti od površinske mase tkanine koja se ispituje. Detaljni podaci o predopterećenju za različite klase površinske mase navedeni su u tabeli 3.9, što omogućava preciznu i ponovljivu kontrolu uslova ispitivanja. Ovaj pristup garantuje pouzdanost i uporedivost dobijenih rezultata.

Tabela 3.9. Predopterećenja na osnovu površinske mase tkanine

<i>Predopterećenje (cN)</i>	<i>Površinska masa tkanine (g/m²)</i>
200	do 150
500	od 150 do 500
1000	od 500 do 1000
1500	preko 1000

Epruveta se stavlja u dinamometar, tako da je ispitivani pravac niti tkanine paralelan sa delovanjem sile, a poprečne niti paralelne sa pravcem ivice stezaljke. Prekid se treba dogoditi u vremenu 60 ± 10 sekundi. Ako se epruveta prekine uz stezaljku taj rezultat se odbacuje. Ako se ispitivanja ne provode u prostoru sa standardnim atmosferskim uslovima, rezultate je potrebno preračunati na normalne uslove prema sledećem izrazu (Čunko, 1995; Šunjka, 2001):

$$F_{NO} = F_{RH} + \frac{F_{RH} \cdot a}{100} \cdot (65 - RH_p)$$

gde je:

F_{NO} – prekidna sila proračunata za standardne uslove,

F_{RH} – prekidna sila utvrđena ispitivanjem u prostoru određene relativne vlažnosti RH,

a – Sommerov koeficijent vlažnosti i

RH_p – očitana vrednost relativne vlažnosti u prostoru određene relativne vlažnosti.

Tabela 3.10. Sommerov koeficijent vlažnosti (a) za određenu vrstu vlakana

Vlakno	Pamuk	Lan	Juta	Vuna	Svila	Viskoza	Acetat	PA	PAC	PES
a	+ 0,4	+ 0,5	+ 0,2	- 0,4	- 0,5	- 0,8	- 0,56	- 0,2	- 0,15	-0,02

Prekidna dužina u km predstavlja onu zamišljenu dužinu epruvete iste širine, 50 mm, usled čije težine bi se epruveta prekinula i izražava se formulom (Čunko, 1995):

$$L \text{ (km)} = \frac{F \cdot 1.000}{PM \cdot b}$$

gde je:

F – srednja vrednost prekidne sile (N),

PM – površinska masa (g/m^2),

b – širina epruvete (mm).

Prekidno izduženje ε (%) se izračunava prema sledećoj formuli (Čunko, 1995):

$$\varepsilon = \frac{l_p - l_o}{l_o} \cdot 100$$

gde je:

l_p – dužina epruvete u momentu prekida (mm) i

l_o – dužina epruvete merena uz predopterećenje pre delovanja sile (mm).

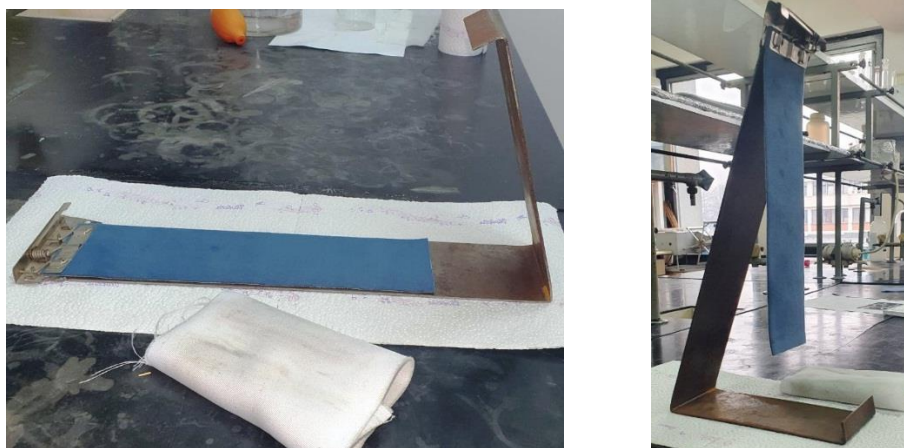
3.7.9. Ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja šava

Ispitivanje uzoraka sa šavom radi se na način da se jedan kraj prve epruvete sa šavom stegne u gornjoj stezaljci dinamometra, prema mernoj liniji. Donji deo epruvete se provuče kroz donju stezaljku dinamometra i opteretiti određenim predopterećenjem nakon čega se donja stezaljka stegne. Razmak između klema na dinamometru iznosi 100 mm. Epruveta je postavljena tako da šav bude u sredini između dve kleme. Brzina kidanja se podesi na 100 mm/min. Kada se postigne sila u visini približno 1/20 očekivane jačine šava, dinamometar se zaustavlja. Nakon toga očitava se vrednost opterećenja i pripadajuće izduženje epruvete. Na narednim uzorcima ponavlja se tok ispitivanja, ali se kod svakog novog uzorka povećava vrednost opterećenja za 1/20 očekivane jačine šava. Na temelju prosečnih vrednosti opterećenja šavova epruveta uzoraka izračunavaju se karakteristične čvrstoće šavova pojedinih nivoa opterećenja kao i

jačina kidanja šava. Vrednost opterećenja se povećava tako dugo dok ne dođe do kidanja epruvete i zabeleži se jačina kidanja šava i izduženje epruvete u toku kidanja epruvete (Čunko, 1995; Radivojević, Đorđević i Trajković, 2016).

3.7.10. Ispitivanje statičkog elektriciteta

Postupak predstavlja grubu simulaciju ponašanja elektrostatičkog naelektrisanja odeće prema ljudskom telu prilikom nošenja. Kao posledica prisustva elektrostatičkog naelektrisanja u ljudskom telu dolazi do indukcije naelektrisanja suprotnog predznaka što može izazvati neugodno slepljivanje odeće prema telu (Asanović i sar., 2007). Sklonost ovoj pojavi određuje se primenom „Clinging“ testa, prema standardu AATCC TM 115. Ispitivanje se vrši pomoću metalne ploče koja simulira ljudsko telo, slika 3.11.



Slika 3.11. Ispitivanje statičkog elektriciteta

Za ispitivanje potreban je metalni stalak. Traka površinskog proizvoda dimenzija $7,6 \times 29,5 \text{ cm}^2$ u gornjem kraju kose metalne ploče se učvrsti hvataljkama. Zajedno sa stalkom postavlja se u horizontalni položaj i podvrgava trenju. Za trenje koristi se drvena tarna pločica koja je omotana tkaninom od poliesterskih vlakna. Brzina trenja treba biti takva da se u 15 sekundi izvrši 12 ciklusa. Nakon toga stalak se okrene u vertikalni položaj i upotrebom pincete, čiji vrhovi su prekriveni dobrim izolatorom, epruveta povuče u okomiti položaj i otpusti.

Zbog prisustva statičkog elektriciteta na epruveti i indukcije naelektrisanja suprotnog predznaka na ploči, doći će do privlačenja elektriciteta i epruveta će se ponovo pilepiti za stalak. Meri se vreme koje je potrebno da bi se epruveta odvojila od stalka. Tekstilni materijali koji se odmah odvoje neće u primeni pokazati sklonost stvaranja statičkog elektriciteta. Odvajanje do kojeg dođe u nekoliko sekundi ukazuje na postojanje slabe sklonosti stvaranja

statičkog elektriciteta. Sva ispitivanja treba provoditi u atmosferi smanjene vlažnosti i temperaturi 20 °C, kako bi eventualno stvaranje statičkog elektriciteta bilo što izražajnije.

Za ispitivanje sklonosti pojave statičkog elektriciteta pripremljeno je pet uzoraka tkanine istih dimenzija, u skladu sa zahtevima metode. Prvi uzorak je osnovna tkanina bez ikakve intervencije, dok su preostala četiri uzorka prošivena šavom širine 1 cm, pri čemu je svaki uzorak prošiven različitom vrstom konca: PA-Ag, PA, PES i PES-P, slika 3.12. Na ovaj način omogućuje se poređenje uticaja vrste šivaćeg konca na sklonost tkanine ka pojavi statičkog elektriciteta na površini materijala.



Slika 3.12. Uzorci za ispitivanje statičkog elektriciteta

3.7.11. Ispitivanje površinske otpornosti pomoću pločastih elektroda

Metoda merenja površinske otpornosti tekstilnih materijala pomoću pločastih elektroda zasniva se na standardu EN 1149-1. Ova metoda koristi se za ispitivanje antistatičkih tekstila i zaštitne odeće koja mora sprečiti nakupljanje elektrostatičkog naelektrisanja. Rezultati pokazuju sposobnost materijala da rasipa naelektrisanje i smanjuje rizik od varnica i eksplozija u radnim okruženjima.

Standard EN 1149-1 definiše postupak za merenje površinske otpornosti zaštitne odeće i tekstilnih materijala. Površinska otpornost se meri između dve pločaste elektrode koje su u kontaktu s površinom uzorka. Elektrode su obično kvadratnog ili pravougaonog oblika, izrađene od provodljivog metala i postavljene paralelno na površinu materijala. Na elektrode se dovodi definisani napon (najčešće 100 V DC), a instrument (precizni ommetar) meri električni otpor između njih.

Tekstilni uzorak se kondicionira u standardnim klimatskim uslovima. Površina mora biti ravna i dovoljno velika da elektrode potpuno nalegnu. Dve pločaste elektrode se postavljaju na površinu uzorka, obično na razmaku od 100 mm. Elektrode se blago pritisnu kako bi se osigurao dobar kontakt. Meri se struja koja prolazi preko površine materijala.

Površinska otpornost (ρ) se izračunava iz sledeće jednačine:

$$\rho = R \cdot \frac{D}{L}$$

gde je:

ρ - površinska otpornost [Ω],

R - električni otpor [Ω],

D - dužina elektrode [cm],

L - udaljenost između elektoda [cm].

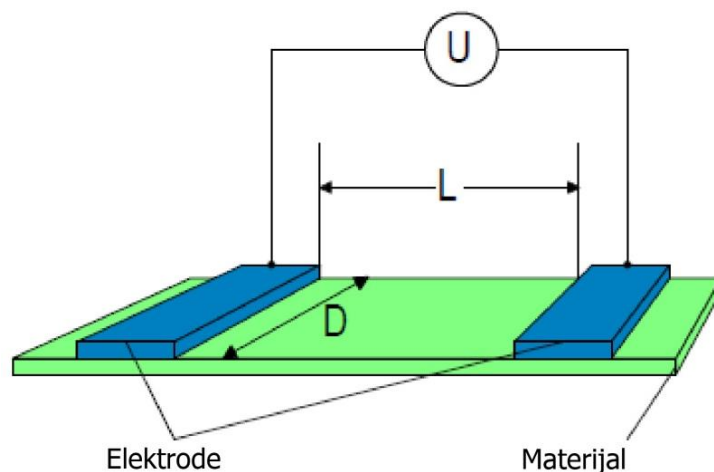
Električni otpor (R) je količnik između napona i jačine struje:

$$R = \frac{U}{I}$$

gde je:

U - napon [V],

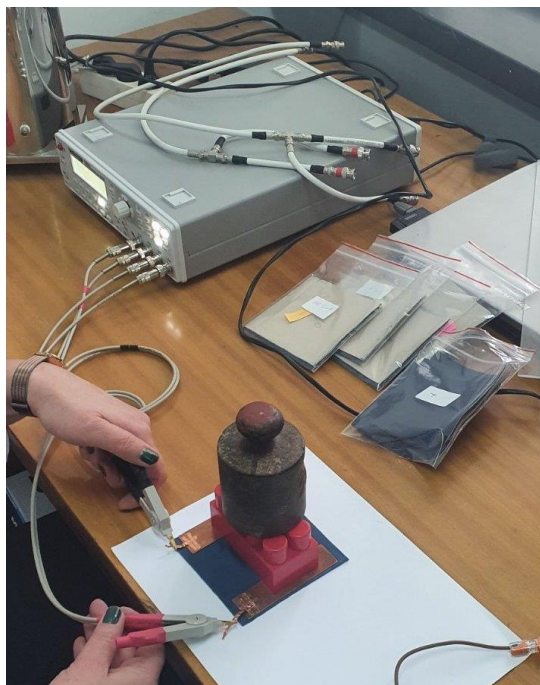
I - jačina sruje [A].



Slika 3.13. Metoda merenja površinske otpornosti pomoću pločastih elektroda

Ispitivani uzorci su bili dimenzija 10 cm x10 cm. Pločaste elektrode su postavljene na površinu uzorka kao na slici 3.14 i dodatno su opterećene tegom mase 2 kg. Merenja površinske otpornosti vršena su U/I metodom, slika 3.12. Merenja su vršena pri naponu od 100 V.

Ispitivanje je sprovedeno u laboratoriji sa standardnom atmosferom. Ispitivanje površinske otpornosti je mjereno pri različitim razmacima između elektroda: 0,5 cm; 1,0 cm; 1,5 cm; 2,0 cm; 2,5 cm, 3,0 cm, 3,5 cm, 4,0 cm, 5,0 cm (Škipina i sar., 2018).



Slika 3.14. Aparatura za merenje površinske otpornosti pomoću pločastih elektroda

U cilju sistematичne analize uticaja strukture i obrade na površinsku otpornost, ispitivanja su sprovedena na četiri grupe uzoraka:

1. šivaći konci,
2. osnovna i površinski obrađena tkanina,
3. tkanina prošivena provodnim koncem i
4. formirani šavovi različite konstrukcije.

U prvoj fazi ispitivana je električna otpornost šivaćih konaca po metru dužnom (Ω/m), kako bi se utvrdila njihova provodljivost pre ugradnje u tekstilnu strukturu. Ispitivani su sledeći konci:

- K(PA-Ag) – poliamidni filamentni konac obložen srebrom
- K(PA) – poliamidni konac
- K(PES) – poliesterski konac
- K(PES-P) – poliesterski predeni konac
- K(PES-P(G)) – poliesterski predeni konac sa grafitnom obradom.

Ovi rezultati predstavljaju referentne vrednosti za analizu ponašanja konca unutar šava i tekstilne strukture.

U drugoj fazi ispitivana je površinska otpornost kompozitne poliesterske tkanine dimenzija 10 cm × 10 cm, bez šava i sa različitim površinskim obradama.

Ispitivani su sledeći uzorci:

- T – osnovna tkanina bez obrade
- T(G) – tkanina obrađena grafitnom disperzijom u ultrazvučnom kupatilu
- T(E) – tkanina obrađena rastvorom EUH postupkom premazivanja
- T(E-0,5G) – tkanina obrađena rastvorom EUH sa dodatkom 0,5% grafita
- T(E-1G) – tkanina obrađena rastvorom EUH sa dodatkom 1% grafita
- T(E-1AU) – tkanina obrađena rastvorom EUH sa dodatkom 1% aktivnog uglja

Ova grupa uzoraka omogućava analizu uticaja površinske modifikacije na disipaciju elektrostatičkog naelektrisanja.

U trećoj fazi analiziran je uticaj uvođenja provodnog konca u strukturu tkanine putem prošivanja. Svi uzorci prošiveni su koncem PA-Ag u tri različite konfiguracije:

- T(PA-Ag/P) – prošivanje u smeru potke
- T(PA-Ag/O) – prošivanje u smeru osnove
- T(PA-Ag/M) – mrežasta konfiguracija prošivanja

Fotografije uzoraka i raspored šavova prikazani su u tabeli 3.11. Ovi uzorci omogućavaju procenu uticaja rasporeda provodnih niti na smanjenje površinske otpornosti.

Tabela 3.11. Uzorci tkanine T prošiveni PA-Ag koncem za merenje površinske otpornosti

Uzorak T(PA-Ag/P)	Uzorak T(PA-Ag/O)	Uzorak T (PA-Ag/M)
		

U završnoj fazi ispitivana je površinska otpornost formiranih šavova, sa ciljem analize uticaja vrste konca i konstrukcije šava. Ispitivani su šavovi izrađeni sledećim koncima:

- Š(PA-Ag)
- Š(PA)

- Š(PES)
- Š(PES-P)
- Š(PES-P(G))

Ovi uzorci omogućavaju direktno poređenje uticaja vrste konca na električna svojstva šavne strukture.

Radi ispitivanja uticaja položaja provodnog konca u šavu, formirana su dva kombinovana uzorka:

- Š(PA-Ag/PA) – gornji konac PA-Ag, donji konac PA
- Š(PA/PA-Ag) – gornji konac PA, donji konac PA-Ag

Na ovaj način analiziran je uticaj rasporeda provodnog elementa unutar strukture šava.

Posebnu grupu činili su dekorativni šavovi izrađeni provodnim PA-Ag koncem, koji su prikazani u tabeli 3.12:

- Š(PA-Ag/Š) – usko prošivanje po liniji šava
- Š(PA-Ag/O) – prošivanje u smeru osnove
- Š(PA-Ag/P) – prošivanje u smeru potke

Tabela 3.12. Uzorci šavova Š prošiveni PA-Ag koncem za merenje površinske otpornosti

<i>Uzorak Š(PA-Ag/Š)</i>	<i>Uzorak Š(PA-Ag/O)</i>	<i>Uzorak Š(PA-Ag/P)</i>
		

Svi uzorci ispitivani su u standardnim laboratorijskim uslovima, pri naponu od 100 V, uz varijabilni razmak elektroda od 0,5 cm do 5,0 cm. Rezultati merenja površinske otpornosti prikazani su i detaljno analizirani u poglavlju Rezultati ispitivanja površinske otpornosti.

3.7.12. Ispitivanje dielektričnih svojstava

Dielektrična spektroskopija je metoda kojom se ispituje ponašanje materijala pod delovanjem naizmjeničnog električnog polja u širokom frekventnom području (od mHz do GHz). Cilj je da se odredi dielektrična konstanta (ϵ') i dielektrični gubici (ϵ''), koji zavise od strukture, relativne vlažnosti, temperature i provodljivih komponenti u tekstu.

Uzorak tekstilnog materijala se postavlja između elektroda (najčešće paralelne pločaste elektrode). Na uzorak se primenjuje naizmenični napon različitih frekvencija, a meri se struja i fazni pomak između napona i struje ili realni i imaginarni deo otpornosti ili realni G i imaginarni B deo provodnosti.

Iz tih podataka se izračunavaju dielektrična konstanta (ϵ') – pokazuje sposobnost materijala da skladišti električnu energiju, dielektrični gubici (ϵ'') – pokazuju disipaciju energije (npr. zbog dipolne relaksacije ili ionske provodljivosti).

Tekstilni materijali često sadrže vlakna, poroznu strukturu i vlagu, pa njihova dielektrična svojstva zavise od vrste vlakana (pamuk, poliester, poliamid), sadržaja vlage, završne obrade (antistatička, vodoodbojna) i temperature. Dielektrična spektroskopija omogućava karakterizaciju provodljivih i antistatičkih tekstila, praćenje adsorpcije vlage, analizu relaksacionih procesa u polimernim vlaknima.

Prednosti metode dielektrične spektroskopije su to što je metoda nedestruktivna, tj. uzorak se ne oštećuje; metodom se dobija širok spektar informacija, od niske frekvencije (jonska provodljivost) do visoke (dipolna polarizacija), takođe metoda je primenjiva na kompozite i funkcionalne tekstile (npr. sa metalnim ili ugljeničnim vlaknima).



Slika 3.15. Uređaj LCR Hamag 8118 korišten za ispitivanje dielektričnih svojstava

Dielektrična spektroskopija je izvršena u Laboratoriji za ispitivanje tekstilnih materijala na Tehnološkom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci. Za merenja je korišten LCR most Hamag 8118, slika 3.15., čiji je merni opseg od 20 Hz do 200 kHz. Merenje je izvršeno u paralelnom režimu, pri čemu su merene realna i imaginarna vrednost admitanse Y , a to su konduktansa G i susceptansa B . Primenjeni napon je bio 1,5 V. Sva merenja su izvršena na normalnom atmosferskom pritisku pri sobnoj temperaturi od 26 °C i relativnoj vlažnosti 46%.

Merna ćelija koja se koristila se zasniva na metodu paralelnih ploča, gde se uzorak smešta između dve paralelne elektrode, pri čemu sistem elektroda-uzorak-elektroda obrazuje kondenzator. Detaljan opis metode merenja nalazi se u radu (Škipina i sar., 2018; Grujić i sar., 2021; Pećanin i sar., 2025; Škipina i sar., 2025) .

Na slici 3.15. je dat prikaz ćelije koja je korištena za dielektrična merenja. Radi se o masivnoj mesinganoj ćeliji prečnika 24 mm koja je smeštena unutar Faradejevog kaveza čije je kućište uzemljeno. Prilikom merenja su dobijene zavisnosti konduktanse G_m i susceptanse B_m od frekvencije u navedenom opsegu frekvencija. Nakon svakog merenja sa uzorkom između elektroda, izvršeno je i merenje konduktanse G_0 i susceptanse B_0 za slučaj bazne ćelije kada se između elektroda ne nalazi uzorak, a one su na udaljenosti koja je jednaka debljini uzorka. Ove vrednosti se mere kako bi se mogla izračunati potrebna korekcija radi doprinosa merenim vrednostima same ćelije, kablova i sl. Tako da stvarne vrednosti konduktanse i susceptanse samih uzoraka dobijamo kao:

$$G = G_m - G_0 \quad \text{ i } \quad B = B_m - B_0 + B_{\text{ćelije}}.$$

Provodnost σ tekstilnih uzoraka računamo na osnovu poznate vrednosti konduktanse:

$$\sigma = G \cdot \frac{d}{S}$$

U okviru ispitivanja dielektričnih svojstava analizirani su uzorci neobrađene kompozitne poliesterske tkanine (T), tkanine sa formiranim šavovima izrađenim različitim vrstama konaca, kao i tkanine sa površinskim obradama na bazi EUH premaza uz dodatak grafita i aktivnog uglja.

U grupi šavnih uzoraka ispitivani su sledeći sistemi: tkanina sa šavom od poliesterskog konca Š(PES), predenog poliesterskog konca Š(PES-P), poliamidnog konca sa srebrom Š(PA-Ag) i poliamidnog konca Š(PA).

U grupi površinski obrađenih uzoraka analizirani su uzorci: T(E) – tkanina obrađena EUH premazom, T(E-0,5G) i T(E-1G) – tkanine sa dodatkom 0,5 g i 1 g grafita u EUH sloju, kao i T(E-1AU) – tkanina sa dodatkom aktivnog uglja.

Na ovaj način omogućena je komparativna analiza uticaja šavne strukture i vrste konca, kao i uticaja provodnih punila u površinskom sloju, na frekvencijski zavisna dielektrična svojstva tekstilne strukture.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

U ovom poglavlju prikazani su i analizirani rezultati ispitivanja mehaničkih i električnih svojstava materijala i šavova, koji su veoma značajni za primenu poliesterskih kompozitnih tkanina u tapaciranju nameštaja, posebno u ESD radnim okruženjima. Rezultati obuhvataju ispitivanja osnovnih mehaničkih svojstava tkanine, konaca i formiranih šavova, kao i određivanje površinske otpornosti, antistatičkih i dielektričnih svojstava. Na osnovu dobijenih vrednosti izvršena je komparativna analiza različitih tipova konaca i postupaka modifikacije, sa ciljem utvrđivanja njihove pogodnosti za primenu u tehničkim tekstilnim konstrukcijama.

4.1. Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava spužve

Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava spužvi, koje su korišćene za izradu stolice, prikazani su u tabelama 4.1. i 4.2.

Tabela 4.1. Fizičko-mehanička svojstva spužve T – 30150/20mm

<i>T – 30150/20mm</i>		
<i>Osobina:</i>	<i>Vrednost</i>	<i>Metoda</i>
<i>Gustina:</i>	28,50–31,50 kg/m ³	ISO 845
<i>Tvrdoća IFD 40% - nosivost:</i>	130 – 170 N	ISO 2439, metoda B
<i>Tvrdića CLD 40%:</i>	3,25–4,25 kPa	ISO 2439
<i>Kompresija:</i>	max. 7 %	ISO 1856, metoda A
<i>Elastičnost :</i>	min. 45 %	ISO 8307
<i>Elongacija pri kidanju:</i>	min. 150 %	ISO 1798

Tabela 4.2. Fizičko-mehanička svojstva spužve T – 35160/40 mm

<i>T – 35160/40 mm</i>		
<i>Osobina:</i>	<i>Vrednost</i>	<i>Metoda</i>
<i>Gustina:</i>	33,25 – 36,75 kg/m ³	ISO 845
<i>Tvrdoća IFD 40% - nosivost:</i>	135–185 N	ISO 2439, metoda B
<i>Tvrdića CLD 40%:</i>	4,00–5,00 kPa	ISO 2439
<i>Kompresija:</i>	max. 6 %	ISO 1856, metoda A
<i>Elastičnost :</i>	min. 45 %	ISO 8307
<i>Elongacija pri kidanju:</i>	min. 150 %	ISO 1798

4.2. Rezultati ispitivanja osnovnih karakteristika i svojstava tkanine

Ispitivanja svojstava tkanine veoma su značajna sa aspekta njene upotrebe. U tabeli 4.3. prikazani su rezultati ispitivanja širine tkanine, debljine tkanine, površinske mase tkanine, otpornosti na habanje, postojanosti obojenja i usklađenosti obojenja.

Tabela 4.3. Rezultati ispitivanja svojstava tkanine namenjene za izradu stolice

Uzorak:	Titan
Širina tkanine:	141 cm ($\pm 2\%$)
Debljina tkanine:	0,85 mm
Površinska masa tkanine:	410 g/m ² ($\pm 5\%$)
Otpornosti na habanje:	> 30.000
Postojanosti obojenja:	Ocena 5: Odlična postojanost boje
Usklađenosti boja:	Sa minimalnim odstupanjima, u skladu sa standardom

Tkanina je pregledana na specijalizovanim uređajima za detekciju nepravilnosti. Pregled je pokazao minimalna oštećenja u vidu sitnih nepravilnosti u tkanju i manjih varijacija u strukturi materijala, ali su sva odstupanja u granicama dozvoljenog. Površina tkanine je ujednačena, bez značajnih defekata kao što su zadebljanja, prerezi ili oštećenja pređe. Boja je ravnomerno raspoređena, bez primetnih razlika u nijansi. Sva uočena mikrooštećenja ne utiču na funkcionalnost, estetiku i trajnost materijala, te je tkanina ocenjena kao pogodna za upotrebu u skladu sa propisanim standardima.

Kontrola širine tkanine pokazuje da se odstupanja širine tkanine u celom namotaju nalaze unutar propisanih tolerancija. Dimenzije dobijene merenjem odgovaraju standardnim vrednostima za ovu vrstu materijala. U toku merenja, širina tkanine je dosledna, bez značajnih odstupanja, što omogućava precizno krojenje i šivanje.

Rezultati merenja debljine tkanine redovno se beleže i analiziraju kako bi se proverila usklađenost sa propisanim tehničkim specifikacijama i relevantnim standardima. Ova praksa omogućava preciznu kontrolu kvaliteta materijala i doprinosi doslednom održavanju zahtevanih parametara u proizvodnom procesu. Rezultati pokazuju da tkanina ima optimalnu debljinu, čime se postiže ravnoteža između udobnosti, trajnosti i fleksibilnosti. Materijal nije previše tanak, što doprinosi dugotrajnosti, ali nije ni previše debeo, što omogućava lako rukovanje pri šivenju i oblikovanju nameštaja.

Ispitivanja površinske mase tkanine *Titan* potvrdila su da tkanina ima adekvatnu masu, što doprinosi njenoj čvrstoći i otpornosti na habanje. Ovaj parametar takođe pokazuje da je tkanina pogodna za intenzivnu upotrebu, kao što je tapaciranje nameštaja u domaćinstvima i javnim prostorima.

Tkanina je testirana u skladu sa metodama otpornosti na habanje koja simulira dugotrajnu upotrebu. Rezultati pokazuju da materijal ima visoku otpornost na habanje, čime se potvrđuje njegova dugotrajnost i izdržljivost. Ispitivanjem je utvrđen neznatan gubitak mase koji je u granicama eksperimentalne greške. Pored toga nema promene boje tkanine, kao ni pojave pilinga. Može se reći da ispitana tkanina pokazuje jako dobru otpornost na habanje i nakon 30.000 ciklusa.

Postojanost obojenja pokazuje da je materijal u potpunosti u skladu sa propisanim standardima. Postojanost obojenja na mokro i suvo trljanje, 10 ciklusa, se ocenjuje sivom skalom od 1 – 5, gde je 1- jako loša postojanost a 5 – odlična postojanost. Rezultati postojanosti obojenja na suvo i na mokro trljanje pokazali su da tkanina odlično zadržava boju i nakon dugotrajnog korišćenja i održavanja, što znači da tkanina zadržava svoj estetski izgled tokom vremena.

Ispitivanje usklađenosti obojenja pokazuje da su boje ravnomerno raspoređene po celoj površini tkanine. Nema primetnih varijacija u nijansi, što je posebno važno za estetiku i vizuelni sklad nameštaja. Boje su dosledne i postoje, čime se osigurava visok kvalitet završnog proizvoda.

Rezultati svih ispitivanja potvrđuju da tkanina *Titan* u potpunosti zadovoljava postavljene standarde kvaliteta. Odlikuje se preciznim dimenzijama, optimalnom debljinom, visokom izdržljivošću, postojanošću boja i ravnomernošću nijansi, što je čini izuzetno pouzdanim izborom za tapaciranje nameštaja.

4.3. Rezultati ispitivanja prekidne jačine i prekidnog izduženja konca

U cilju analize mehaničkih svojstava šivaćih konaca, izvršeno je ispitivanje prekidne sile (F), specifične prekidne jačine (cN/tex) i prekidnog izduženja (ϵ), u skladu sa standardom EN ISO 2062. Dobijene eksperimentalne vrednosti upoređene su sa proizvođačkim specifikacijama, čime je omogućena procena usklađenosti nominalnih i realno izmerenih parametara, kao i sagledavanja uticaja sirovinskog sastava i konstrukcije konca na mehaničko ponašanje.

Rezultati srednjih vrednosti, standardne devijacije (δ) i koeficijenta varijacije (CV) prikazani su u tabeli 4.4.

Tabela 4.4. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja konca

<i>Konac</i>	<i>Prekidna sila (cN)</i>	<i>Prekidna jačina (cN/tex)</i>	<i>Prekidno izduženje ε (%)</i>
PA-Ag (prema proizvođačkoj specifikaciji: $Tt = 33 \text{ tex}$; $F = 1030 \text{ cN}$; $\varepsilon = 35 \%$)			
<i>Srednja vrednost - $\bar{x}$</i>	1029,71	31,20	37,14
<i>Standardna devijacija - δ</i>	0,4170	0,0127	3,03
<i>Koeficijent varijacije - CV (%)</i>	0,04	0,04	8,15
PA (prema proizvođačkoj specifikaciji: $Tt = 35 \text{ tex}$; $F = 2450 \text{ cN}$; $\varepsilon = 25 \%$)			
<i>Srednja vrednost - $\bar{x}$</i>	2267,49	64,79	29,639
<i>Standardna devijacija - δ</i>	42,72	1,22	0,7990
<i>Koeficijent varijacije - CV (%)</i>	1,88	1,88	2,70
PES (prema proizvođačkoj specifikaciji: $Tt = 30 \text{ tex}$; $F = 2261 \text{ cN}$; $\varepsilon = 16 \%$)			
<i>Srednja vrednost - $\bar{x}$</i>	2003,91	66,80	21,245
<i>Standardna devijacija - δ</i>	37,55	1,251	0,8490
<i>Koeficijent varijacije - CV (%)</i>	1,87	1,87	3,99
PES-P (prema proizvođačkoj specifikaciji: $Tt = 30 \text{ tex}$; $F = 1020 \text{ cN}$; $\varepsilon = 13-17 \%$)			
<i>Srednja vrednost - $\bar{x}$</i>	1025,33	34,18	16,31
<i>Standardna devijacija - δ</i>	41,55	1,385	0,4190
<i>Koeficijent varijacije - CV (%)</i>	4,05	4,05	2,57

Iz rezultata ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja, tabela 4.4., vidi se da svi ispitivani konci pokazuju dobru usklađenost sa proizvođačkim specifikacijama.

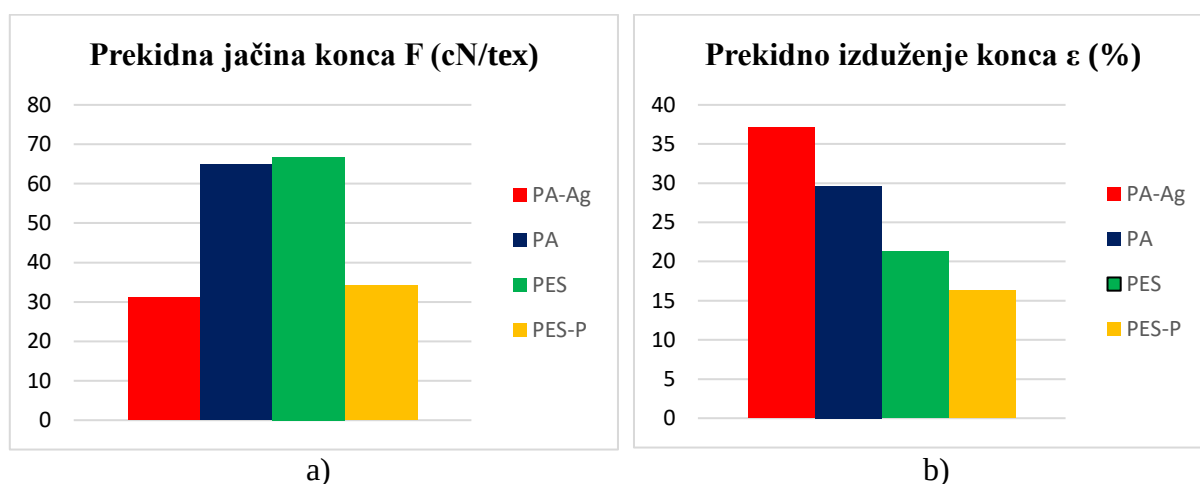
PA-Ag konac ostvaruje srednju prekidnu silu od 1029,71 cN, što praktično odgovara deklarisanjoj vrednosti (1030 cN). Prekidno izduženje (37,14 %) blago je više od deklarisanog (35 %), dok je koeficijent varijacije vrlo nizak za silu (0,04 %), što ukazuje na izuzetnu homogenost strukture.

PA konac pokazuje srednju prekidnu silu od 2267,49 cN, što je približno 7 % niže od deklarisanje vrednosti (2450 cN), ali uz nisku varijabilnost (CV = 1,88 %). Prekidno izduženje (29,64 %) je nešto više od deklarisanog (25 %), što ukazuje na izraženu deformacionu sposobnost filamentne poliamidne strukture.

PES konac ostvaruje srednju prekidnu silu od 2003,91 cN, što je niže u odnosu na deklariranih 2261 cN, ali uz stabilne vrednosti koeficijenta varijacije (1,87 %). Prekidno izduženje (21,25 %) veće je od deklarisanog (16 %), što potvrđuje dobru duktilnost filamentne strukture.

PES-P (predeni) konac pokazuje srednju prekidnu silu od 1025,33 cN, što je u potpunosti u skladu sa specifikacijom (1020 cN). Međutim, njegova specifična prekidna jačina (34,18 cN/tex) niža je u odnosu na filamentne konce, dok je varijabilnost nešto izraženija ($CV \approx 4\%$ za prekidnu silu), što je očekivano kod diskontinuirane strukture pređe.

Radi jasnijeg sagledavanja međusobnih razlika u mehaničkim svojstvima, na slici 4.1. su grafički prikazani rezultati ispitivanja prekidne jačine i prekidnog izduženja ispitivanih konaca.



Slika 4.1. Uporedna analiza srednjih vrednosti prekidne jačine (a) i prekidnog izduženja ispitivanih konaca (b)

Na slici 4.1.a) prikazana je specifična prekidna jačina, čime je eliminisan uticaj finoće konca i omogućeno realnije poređenje mehaničke efikasnosti. Najvišu vrednost ostvaruje PES konac, zatim PA konac, dok PES-P i naročito PA-Ag pokazuju niže vrednosti. Rezultati potvrđuju da filamentna struktura omogućava efikasniji kontinualni prenos naprezanja duž ose niti.

Vrednosti prekidnog izduženja, slika 4.1b), pokazuju da najveću deformacionu sposobnost ima PA-Ag konac, zatim PA konac, dok PES i posebno PES-P konac ima manju sposobnost deformacije pre kidanja. Razlike u izduženju imaju poseban značaj pri formiranju šava, jer direktno utiču na raspodelu naprezanja između konca i tkanine, kao i na ponašanje spoja pri dinamičkom opterećenju.

Vrednosti mehaničkih svojstava konaca predstavljaju osnovu za analizu ponašanja šavova, budući da prekidna čvrstoća i deformaciona sposobnost šava direktno zavise od mehaničkih karakteristika primenjenog konca (Radivojević, Đorđević i Trajković, 2016).

Dobijeni rezultati jasno potvrđuju dominantan uticaj sirovinskog sastava i konstrukcije na mehanička svojstva šivaćih konaca. Filamentni konci (PA i PES) karakterišu se visokom specifičnom prekidnom jačinom, niskom varijabilnošću i efikasnim prenosom opterećenja duž ose niti. Predeni PES-P konac pokazuje nižu mehaničku efikasnost i veću varijabilnost, što je posledica diskontinuirane strukture i mogućnosti unutrašnjeg klizanja vlakana pri opterećenju. PA-Ag konac, uprkos funkcionalnoj modifikaciji radi obezbeđivanja provodljivosti, zadržava stabilna mehanička svojstva i dobru usklađenost sa deklarisanim parametrima, što potvrđuje njegovu pogodnost za primenu u tehničkim i ESD sistemima.

4.4. Rezultati ispitivanja prekidne jačine i prekidnog izduženja tkanine

Na osnovu eksperimentalno dobijenih rezultata određene su srednje vrednosti prekidne sile, specifične prekidne jačine i prekidnog izduženja tkanine u smeru osnove i potke, kao i pripadajuće vrednosti standardne devijacije i koeficijenta varijacije. Dobijeni statistički pokazatelji omogućavaju procenu homogenosti i reproducibilnosti mehaničkih svojstava, dok srednje vrednosti predstavljaju prosečne karakteristike tkanine. Dobijeni rezultati ispitivanja su prikazani u tabeli 4.5.

Tabela 4.5. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja tkanine

Oznaka	Prekidna sila (N)	Prekidna jačina (N/mm²)	Prekidno izduženje ϵ (%)
OSNOVA	756,52	17,80	72,08
<i>Standardna devijacija δ</i>	36,39	0,8563	2,98
<i>Koeficijent varijacije CV</i>	4,81	4,81	4,14
POTKA	455,36	10,71	117,12
<i>Standardna devijacija δ</i>	8,145	0,1916	7,74
<i>Koeficijent varijacije CV</i>	1,79	1,79	6,61

Analizom rezultata ispitivanja, tabela 4.2., jasno se vidi da tkanina pokazuje izraženu anizotropiju mehaničkih svojstava, što je očekivano kod tkane strukture u kojoj niti osnove i potke imaju različite konstruktivne uloge i različito opterećenje. Prekidna sila u smeru osnove iznosi 756,52 N, dok je u smeru potke 455,36 N, što znači da je osnova približno 40 % otpornija na zatezanje. Veća čvrstoća osnovnih niti može se objasniti višom zategnutošću tokom procesa

tkanja, većom gustinom ili linearnom masom niti i konstruktivnim položajem koji im omogućava efikasno preuzimanje opterećenja.

Suprotan trend primećen je kod prekidnog izduženja, pri čemu potka pokazuje značajno veću deformabilnost od osnove. Prekidno izduženje potke iznosi 117,12 %, dok osnova pokazuje vrednost od 72,08 %, što znači da je deformabilnost potke približno 62 % veća. Ovakvo ponašanje potke rezultat je manjeg zatezanja niti tokom tkanja, veće mogućnosti relaksacije i preraspodele naprezanja, kao i diskontinuiteta u strukturi koji omogućava veće pomeranje niti pre prekida. Varijabilnost izduženja je izraženija u smeru potke ($CV = 6,61 \%$) u odnosu na osnovu ($CV = 4,14 \%$), što ukazuje na nešto veću heterogenost strukture potke ili različitu raspodelu naprezanja tokom ispitivanja.

Dobijeni rezultati potvrđuju tipičnu anizotropiju tkane strukture, gde niti osnove preuzimaju dominantnu nosivu funkciju, dok potka omogućava fleksibilnost i redistribuciju naprezanja. Statistički pokazatelji, uključujući standardnu devijaciju i koeficijent varijacije, potvrđuju da su rezultati reproducibilni i da raspodela mehaničkog opterećenja u tkanini prati očekivani konstruktivni tok. Ovakva kombinacija svojstava je poželjna za tehničke, kompozitne i tapacirne tkanine, jer istovremeno pruža stabilnost i prilagodljivost materijala pod višesmernim opterećenjima.

4.5. Rezultati ispitivanja prekidne jačine i prekidnog izduženja šavova

U cilju sagledavanja uticaja vrste konca na mehaničko ponašanje šavova formiranih na poliesterskoj kompozitnoj tkanini, izvršeno je ispitivanje prekidne sile (F), prekidne jačine (σ) i prekidnog izduženja (ε) u tri pravca opterećenja: O/O, P/P i O/P.

Rezultati predstavljaju srednje vrednosti eksperimentalnih merenja sa pripadajućom standardnom devijacijom (δ) i koeficijentom varijacije (CV), čime je omogućena procena stabilnosti, ponovljivosti i pouzdanosti dobijenih podataka.

Dobijene vrednosti prikazane u tabelama 4.6. – 4.9. omogućavaju analizu uticaja:

- strukture konca (filamentni/predeni),
- sirovinskog sastava (PA, PES),
- funkcionalne modifikacije konca (PA-Ag),
- pravca opterećenja u odnosu na strukturu tkanine.

Tabela 4.6. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja šavova šivenih PA-Ag koncem

<i>PA - Ag/O-O</i>	<i>Prekidna sila F (N)</i>	<i>Prekidna jačina (N/mm²)</i>	<i>Prekidno izduženje ε (%)</i>
Srednja vrednost	158,96	3,74	19,27
SD	13,38	0,3149	0,6993
CV	8,42	8,41	3,63 %
<i>PA - Ag/P-P</i>	<i>Prekidna sila F (N)</i>	<i>Prekidna jačina (N/mm²)</i>	<i>Prekidno izduženje ε (%)</i>
Srednja vrednost	162,98	3,83	32,94
SD	11,66	0,2747	1,77
CV	7,15	7,18	5,37
<i>PA - Ag/O-P</i>	<i>Prekidna sila F (N)</i>	<i>Prekidna jačina (N/mm²)</i>	<i>Prekidno izduženje ε (%)</i>
Srednja vrednost	176,97	4,16	26,76
SD	9,15	0,2151	1,19
CV	5,17	5,17	4,46

Rezultati ispitivanja prikazani u tabeli 4.6 ukazuju da šavovi izrađeni sa PA-Ag koncem ostvaruju različite mehaničke karakteristike u zavisnosti od pravca opterećenja. Najniža vrednost prekidne sile zabeležena je kod šava u pravcu O/O (158,96 N), dok je najveća vrednost ostvarena kod kombinovanog pravca O/P (176,97 N). Šav u pravcu P/P pokazuje vrednost prekidne sile od 162,98 N, što ga svrstava između prethodne dve kombinacije. Isti trend uočava se i kod prekidne jačine, gde najveća vrednost (4,16 N/mm²) pripada uzorku O/P, a najmanja uzorku O/O (3,74 N/mm²).

Sa aspekta deformacionog ponašanja, najveće prekidno izduženje ostvareno je kod šava P/P (32,94 %), što ukazuje na izraženiju sposobnost deformacije u pravcu potke. Šav O/O pokazuje najmanju vrednost izduženja (19,27 %), što je u skladu sa većom krutošću sistema u pravcu osnove. Kombinovani pravac O/P daje srednju vrednost izduženja od 26,76 %, što potvrđuje uravnoteženo ponašanje šava pri opterećenju u dva međusobno upravna pravca.

Koeficijent varijacije za prekidnu silu i prekidnu jačinu kreće se u opsegu 5,17–8,42 %, dok je za prekidno izduženje u opsegu 3,63–5,37 %. Ove relativno niske vrednosti CV ukazuju na dobru ponovljivost rezultata i stabilnost procesa šivenja, bez izraženih odstupanja između pojedinačnih merenja.

Dobijeni rezultati potvrđuju da PA-Ag konac obezbeđuje zadovoljavajuću nosivost i stabilnost šava, pri čemu kombinovani pravac O/P pokazuje najpovoljniji odnos čvrstoće i deformabilnosti, dok pravac P/P omogućava najveće deformacije pre prekida.

Tabela 4.7. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja šavova šivenih PA koncem

<i>PA/O-O</i>	<i>Prekidna sila F (N)</i>	<i>Prekidna jačina (N/mm²)</i>	<i>Prekidno izduženje ε (%)</i>
Srednja vrednost	247,18	5,82	25,62
SD	17,26	0,4060	1,60
CV	6,98	6,98	6,25
<i>PA/P-P</i>	<i>Prekidna sila F (N)</i>	<i>Prekidna jačina (N/mm²)</i>	<i>Prekidno izduženje ε (%)</i>
Srednja vrednost	291,68	6,86	50,30
SD	7,27	0,1711	1,52
CV	2,49	2,49	3,02
<i>PA/O-P</i>	<i>Prekidna sila F (N)</i>	<i>Prekidna jačina (N/mm²)</i>	<i>Prekidno izduženje ε (%)</i>
Srednja vrednost	264,89	6,23	43,91
SD	5,30	0,1248	1,51
CV	2,00	2,00	3,44

Rezultati prikazani u tabeli 4.7 pokazuju da šavovi izrađeni sa PA koncem ostvaruju znatno više vrednosti prekidne sile i prekidne jačine u poređenju sa šavovima šivenim PA-Ag koncem. Dobijeni podaci ukazuju na izražen uticaj strukture i modifikacije konca na nosivost šava. Najveća srednja vrednost prekidne sile zabeležena je kod šava u pravcu P/P (291,68 N), dok je najmanja vrednost ostvarena u pravcu O/O (247,18 N). Kombinovani pravac O/P pokazuje srednju vrednost od 264,89 N, što predstavlja uravnoteženo ponašanje između dva osnovna pravca opterećenja. Isti trend prisutan je i kod prekidne jačine, gde maksimalna vrednost (6,86 N/mm²) pripada pravcu P/P, dok je minimalna (5,82 N/mm²) zabeležena u pravcu O/O.

Sa aspekta deformacionog ponašanja, šavovi u pravcu P/P pokazuju izrazito visoko prekidno izduženje (50,30 %), što ukazuje na značajnu sposobnost deformacije pre kidanja. Pravac O/P takođe pokazuje visoku vrednost izduženja (43,91 %), dok je kod pravca O/O zabeleženo znatno niže izduženje (25,62 %). Ovakav raspored vrednosti potvrđuje da pravac opterećenja u odnosu na strukturu tkanine značajno utiče na mehanički odgovor sistema šav–tkanina.

Koeficijent varijacije za prekidnu silu i prekidnu jačinu kreće se u opsegu 2,00–6,98 %, dok je za prekidno izduženje u opsegu 3,02–6,25 %. Najmanje rasipanje rezultata prisutno je kod pravca P/P i O/P, što ukazuje na visoku stabilnost i pouzdanost dobijenih merenja.

U poređenju sa PA-Ag koncem, nemodifikovani PA konac pokazuje veću nosivost i veću deformabilnost šava, posebno u pravcu P/P. Ovi rezultati ukazuju da osnovna struktura PA konca omogućava efikasniji prenos opterećenja.

Tabela 4.8. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja šavova šivenih sa PES koncem

<i>PES/O-O</i>	<i>Prekidna sila F (N)</i>	<i>Prekidna jačina (N/mm²)</i>	<i>Prekidno izduženje ε (%)</i>
Srednja vrednost	217,03	5,11	22,89
SD	7,04	0,1656	1,38
CV	3,24	3,25	6,03
<i>PES /P-P</i>	<i>Prekidna sila F (N)</i>	<i>Prekidna jačina (N/mm²)</i>	<i>Prekidno izduženje ε (%)</i>
Srednja vrednost	217,84	5,13	51,76
SD	8,45	0,1989	1,69
CV	3,88	3,88	3,28
<i>PES /O-P</i>	<i>Prekidna sila F (N)</i>	<i>Prekidna jačina (N/mm²)</i>	<i>Prekidno izduženje ε (%)</i>
Srednja vrednost	218,68	5,15	30,81
SD	5,38	0,1266	0,7095
CV	2,46	2,46	2,30

Rezultati prikazani u tabeli 4.8 ukazuju da šavovi izrađeni sa PES koncem pokazuju ujednačene vrednosti prekidne sile u sva tri pravca opterećenja. Srednje vrednosti prekidne sile kreću se u veoma uskom opsegu od 217,03 N (O/O) do 218,68 N (O/P), dok pravac P/P ostvaruje 217,84 N. Ovakva raspodela ukazuje na ravnomerno prenošenje opterećenja bez izražene zavisnosti od pravca ispitivanja. Sličan trend uočava se i kod prekidne jačine, gde se vrednosti kreću između 5,11 i 5,15 N/mm². Najviša vrednost zabeležena je kod pravca O/P, dok je najniža kod O/O, ali su razlike minimalne i statistički neznatne.

Sa aspekta deformacionog ponašanja, razlike između pravaca su izraženije. Najveće prekidno izduženje ostvareno je kod pravca P/P (51,76 %), što ukazuje na značajnu sposobnost deformacije sistema u ovom smeru. Kombinovani pravac O/P pokazuje srednju vrednost

izduženja od 30,81 %, dok je kod pravca O/O zabeležena najniža vrednost (22,89 %). Ovi rezultati potvrđuju da struktura tkanine i orijentacija niti utiču pre svega na deformabilnost sistema, dok je nosivost relativno stabilna.

Koeficijent varijacije za prekidnu silu i prekidnu jačinu kreće se u opsegu 2,46–3,88 %, što ukazuje na visoku ponovljivost i stabilnost rezultata. Kod prekidnog izduženja vrednosti CV iznose 2,30–6,03 %, pri čemu je najveće rasipanje prisutno u pravcu O/O, ali i dalje u granicama statističke pouzdanosti.

U poređenju sa PA koncem, PES konac pokazuje nešto niže maksimalne vrednosti prekidne sile, ali izraženu ujednačenost rezultata u svim pravcima opterećenja. Ovakvo ponašanje može se dovesti u vezu sa strukturnim karakteristikama PES vlakana, koja obezbeđuju stabilan i predvidiv mehanički odgovor sistema šav–tkanina.

Tabela 4.9. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja šavova šivenih PES-P koncem

<i>PES-P/O-O</i>	<i>Prekidna sila F (N)</i>	<i>Prekidna jačina (N/mm²)</i>	<i>Prekidno izduženje ε (%)</i>
Srednja vrednost	176,36	4,15	20,37
SD	11,51	0,2710	1,07
CV	6,53	6,53	5,26
<i>PES-P/P-P</i>	<i>Prekidna sila F (N)</i>	<i>Prekidna jačina (N/mm²)</i>	<i>Prekidno izduženje ε (%)</i>
Srednja vrednost	116,26	2,74	33,35
SD	8,32	0,1958	0,5830
CV	7,16	7,16	1,75
<i>PES-P/O-P</i>	<i>Prekidna sila F (N)</i>	<i>Prekidna jačina (N/mm²)</i>	<i>Prekidno izduženje ε (%)</i>
Srednja vrednost	167,49	3,94	26,40
SD	9,04	0,2126	1,27
CV	5,40	5,39	4,83

Rezultati prikazani u tabeli 4.9 ukazuju na izražen uticaj strukture PES-P konca na mehaničko ponašanje šava, posebno u zavisnosti od pravca opterećenja.

Najveća srednja vrednost prekidne sile ostvarena je u pravcu O/O (176,36 N), dok je u kombinovanom pravcu O/P iznosila 167,49 N. Najniža vrednost zabeležena je u pravcu P/P (116,26 N), što predstavlja značajan pad nosivosti u odnosu na ostale pravce. Ovakav rezultat

ukazuje na manju sposobnost sistema da prenese opterećenje u pravcu potke kada je primenjen predeni konac, što se može dovesti u vezu sa njegovom nižom kompaktnošću i većim unutrašnjim trenjem vlakana u odnosu na filamentne konce.

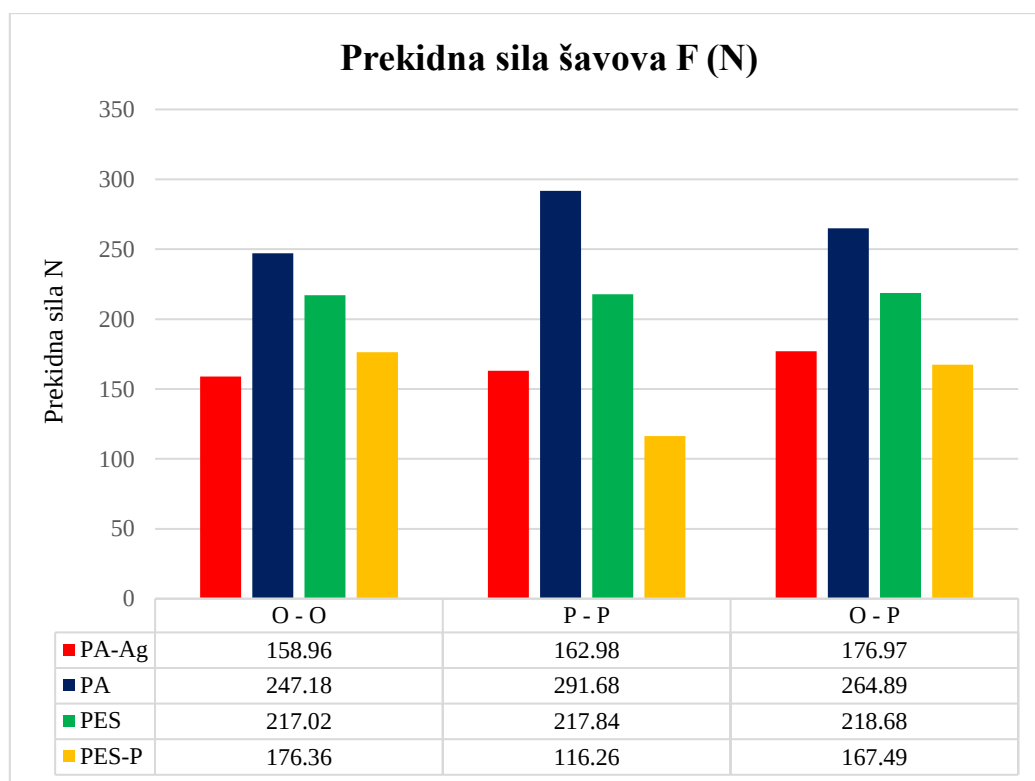
Sličan trend uočava se i kod prekidne jačine. Najviša vrednost zabeležena je u pravcu O/O ($4,15 \text{ N/mm}^2$), zatim u pravcu O/P ($3,94 \text{ N/mm}^2$), dok je u pravcu P/P ostvarena značajno niža vrednost ($2,74 \text{ N/mm}^2$). Ovi podaci potvrđuju da struktura predenog konca utiče na smanjenje efektivne nosivosti šava, naročito u pravcu u kojem dolazi do izraženijih deformacija sistema.

Sa aspekta deformacionog ponašanja, najveće prekidno izduženje ostvareno je u pravcu P/P (33,35 %), iako je u tom pravcu zabeležena najmanja prekidna sila. Ovo ukazuje na to da dolazi do veće deformacije sistema pre konačnog kidanja, što je karakteristično za manje kompaktne, predene strukture konca. U pravcu O/P prekidno izduženje iznosi 26,40 %, dok je najmanje u pravcu O/O (20,37 %).

Koeficijent varijacije za prekidnu silu i prekidnu jačinu kreće se u opsegu 5,40–7,16 %, što ukazuje na zadovoljavajuću, ali nešto nižu ponovljivost u poređenju sa filamentnim PES koncem. Kod prekidnog izduženja vrednosti CV su relativno niske (1,75–5,26 %), što potvrđuje stabilnost deformacionog ponašanja sistema.

U poređenju sa filamentnim PES koncem, predeni PES-P pokazuje niže vrednosti prekidne sile i prekidne jačine u svim pravcima opterećenja, što potvrđuje značajan uticaj strukture konca na mehaničku otpornost šava. Razlike su naročito izražene u pravcu P/P, gde je smanjenje nosivosti najizraženije. Ovi rezultati jasno ukazuju da struktura konca ima podjednako važan uticaj kao i sirovinski sastav na mehaničko ponašanje šavnog spoja.

Radi jasnijeg sagledavanja međusobnih razlika u mehaničkom ponašanju šavova izrađenih različitim vrstama konaca, rezultati su dodatno predstavljeni grafički na slikama 4.2–4.4. Grafički prikaz omogućava direktno poređenje uticaja sirovinskog sastava, strukture konca i pravca opterećenja na prekidnu silu, prekidnu jačinu i prekidno izduženje šavova.



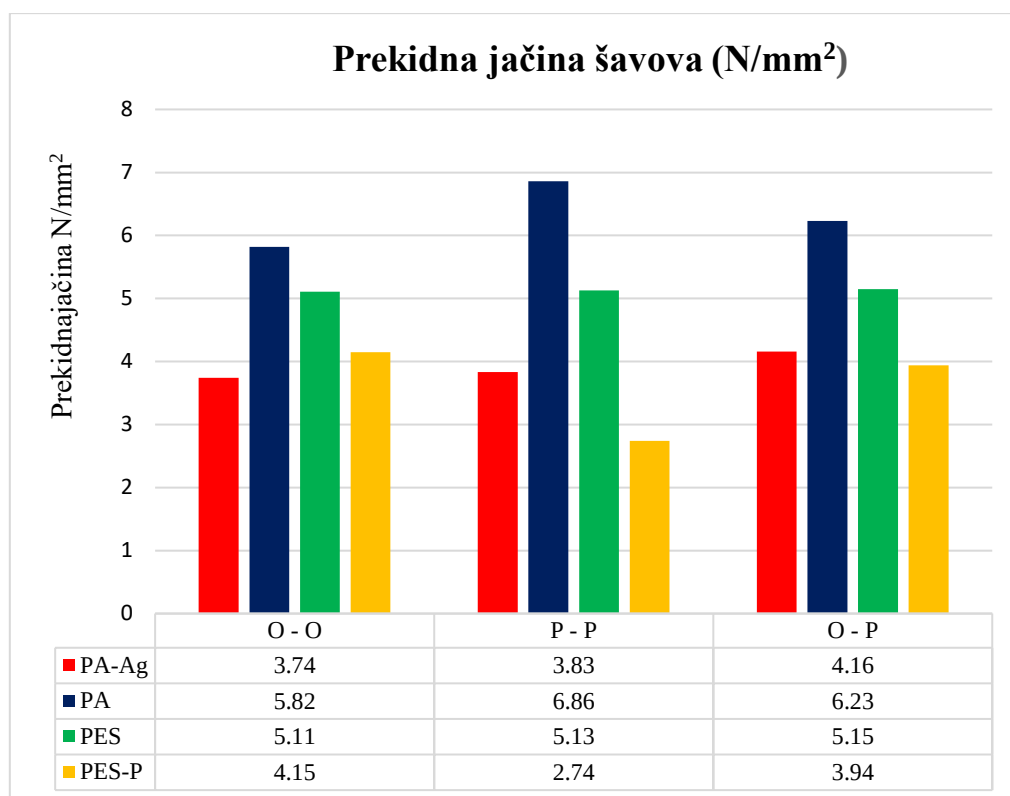
Slika 4.2. Uporedna analiza prekidne sile šavova

Prikaz prekidne sile na slici 4.2. jasno pokazuje da šavovi izrađeni sa PA filamentnim koncem ostvaruju najviše vrednosti nosivosti u svim pravcima opterećenja, pri čemu je maksimum zabeležen u pravcu P/P. Ovi rezultati ukazuju na visoku sposobnost prenosa opterećenja i dobru kompatibilnost PA filamentnog konca sa strukturom kompozitne tkanine.

PA-Ag konac pokazuje niže vrednosti prekidne sile u odnosu na čisti PA konac, što može biti posledica modifikacije strukture konca dodatkom srebra, koja utiče na njegovu mehaničku homogenost.

Kod PES filamentnog konca uočava se ujednačena vrednost prekidne sile u sva tri pravca, bez izraženih oscilacija, što ukazuje na stabilno i predvidivo ponašanje sistema šav–tkanina.

Najniže vrednosti prekidne sile ostvarene su kod predenog PES-P konca, naročito u pravcu P/P, što potvrđuje da predena struktura smanjuje efektivnu nosivost šava usled manje kompaktne unutrašnje građe i većeg klizanja vlakana.

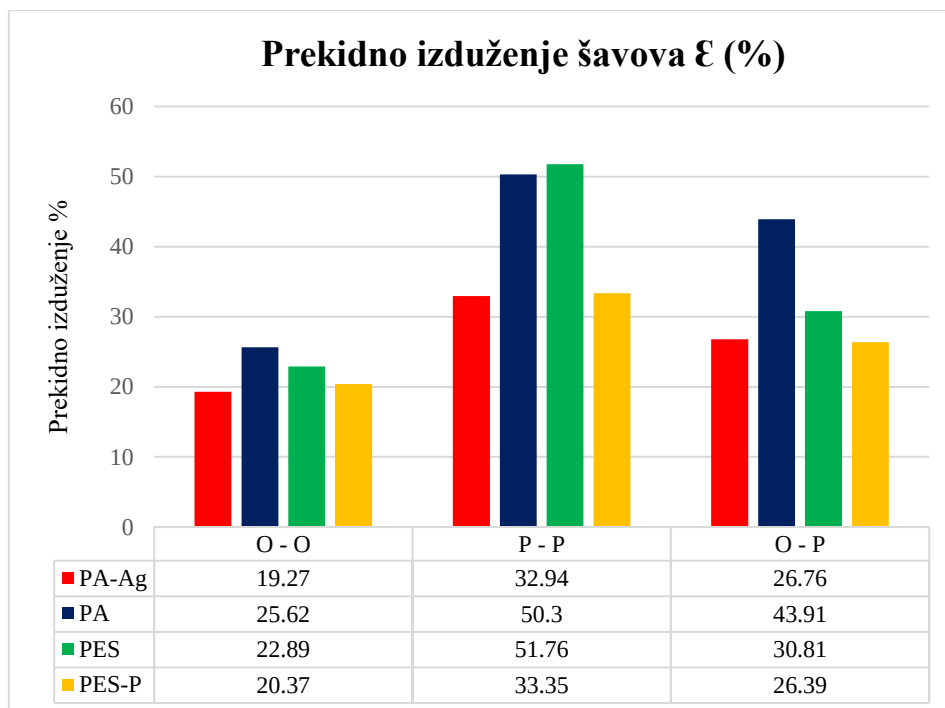


Slika 4.3. Uporedni prikaz prekidne jačine šavova

Trendovi prikazani na slici 4.3 u potpunosti prate ponašanje prekidne sile, s obzirom na to da prekidna jačina predstavlja odnos sile i poprečnog preseka.

Najviše vrednosti prekidne jačine ostvaruje PA filamentni konac, dok nešto niže vrednosti pokazuje PES filamentni konac. PA-Ag konac ostvaruje srednje vrednosti, potvrđujući da funkcionalna modifikacija utiče na smanjenje mehaničke otpornosti u odnosu na osnovni PA konac.

Preteni PES-P konac pokazuje najniže vrednosti prekidne jačine u svim pravcima, a naročito u pravcu P/P, gde je razlika u odnosu na filamentne konce najizraženija. Ovakav rezultat potvrđuje značajan uticaj strukture konca na raspodelu napona unutar šava i njegovu konačnu otpornost na kidanje.



Slika 4.4. Uporedni prikaz prekidnog izduženja šavova

Za razliku od nosivosti, grafički prikaz prekidnog izduženja na slici 4.4. pokazuje izraženiju zavisnost od pravca opterećenja. Najveće vrednosti prekidnog izduženja ostvarene su u pravcu P/P kod PA i PES filamentnih konaca, što ukazuje na veću deformabilnost sistema u ovom smeru, verovatno usled strukture tkanine i rasporeda niti.

PA-Ag konac pokazuje umerene vrednosti izduženja, dok predeni PES-P konac ostvaruje srednje deformacione vrednosti, ali uz znatno nižu nosivost. To ukazuje da kod predene strukture dolazi do veće deformacije pre kidanja, ali bez proporcionalnog povećanja nosivosti. Kombinovani pravac O/P pokazuje međuvrednosti kod svih konaca, potvrđujući interakciju oba konstruktivna pravca tkanine tokom opterećenja.

Komparativna analiza svih ispitivanih konaca jasno pokazuje da najveći uticaj na mehaničko ponašanje šava ima struktura konca, a zatim sirovinski sastav i funkcionalna modifikacija. Filamentni konci (PA i PES) ostvaruju značajno veće vrednosti prekidne sile i prekidne jačine u odnosu na predeni PES-P konac, što potvrđuje da kompaktna i kontinuirana struktura filamenta omogućava efikasniji prenos opterećenja i ravnomerniju raspodelu napona.

PA filamentni konac pokazao je najbolje ukupne mehaničke karakteristike, dok PES filamentni konac obezbeđuje vrlo stabilne i ujednačene rezultate u svim pravcima. PA-Ag konac, iako funkcionalno modifikovan, pokazuje nešto nižu nosivost u odnosu na nemodifikovani PA, ali zadržava zadovoljavajući nivo mehaničke stabilnosti.

Predeni PES-P konac pokazuje najnižje vrednosti nosivosti, ali relativno stabilno deformaciono ponašanje, što ukazuje da je njegova primena pogodnija u sistemima gde se zahteva veća fleksibilnost, ali ne i maksimalna mehanička otpornost.

Ukupno posmatrano, rezultati potvrđuju da je za postizanje visoke mehaničke otpornosti šavnog spoja presudna filamentna struktura konca, dok pravac opterećenja dominantno utiče na deformaciono ponašanje sistema.

4.6. Korelacija mehaničkih svojstava konca, tkanine i šava

U cilju sagledavanja međusobne povezanosti mehaničkih svojstava šivaćih konaca, tkanine i formiranih šavova, izvršena je komparativna analiza srednjih vrednosti prekidne sile (F), prekidne jačine (σ) i prekidnog izduženja (ϵ). Ova analiza omogućava razumevanje kako struktura i sirovinski sastav konca, konstruktivne karakteristike tkanine i pravac opterećenja utiču na mehanički odgovor sistema šav–tkanina.

4.6.1. Uticaj strukture i sastava konca

Analiza rezultata ispitivanja konaca (tabela 4.4, slike 4.1–4.3) pokazuje da filamentni PA i PES konci ostvaruju znatno veće vrednosti prekidne sile i specifične prekidne jačine u odnosu na modifikovani PA-Ag i predeni PES-P konac. Najveću nosivost u apsolutnim i specifičnim vrednostima pokazuje PA konac ($F \approx 2267,5$ cN, $\sigma \approx 64,79$ cN/tex), dok je PA-Ag konac funkcionalno modifikovan radi provodljivosti i ima nešto nižu nosivost ($F \approx 1029,7$ cN, $\sigma \approx 31,20$ cN/tex), ali visoko prekidno izduženje ($\epsilon \approx 37,1$ %). Predeni PES-P konac ima najnižu prekidnu jačinu ($\sigma \approx 34,18$ cN/tex) i nižu nosivost ($F \approx 1025,3$ cN), što ukazuje na manju efikasnost prenosa opterećenja zbog diskontinuirane strukture.

Ovi rezultati potvrđuju zaključke iz literature, gde se ističe da kontinuirana filamentna struktura omogućava efikasniji prenos naprezanja i stabilniju raspodelu napona unutar šava (Geršak i Knez, 1991; Geršak i Knez, 1992).

4.6.2. Uticaj tkanine na ponašanje sistema šav–tkanina

Ispitivanja tkanine, tabela 4.5, pokazuju izraženu anizotropiju mehaničkih svojstava. Niti osnove preuzimaju dominantnu nosivu funkciju ($F \approx 756,5 \text{ N}$, $\sigma \approx 17,8 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon \approx 72,1 \%$), dok potka omogućava veću deformabilnost ($F \approx 455,4 \text{ N}$, $\sigma \approx 10,7 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon \approx 117,1 \%$). Ova razlika u čvrstoći i izduženju direktno utiče na ponašanje šava, naročito u pravcu O/O i P/P, gde niti osnove ili potke dominiraju u prenosu opterećenja. Literatura potvrđuje da orijentacija niti tkanine značajno utiče na otpornost spojeva u predelu šavova i distribuciju naprezanja (Geršak i Knez, 1991; Prvanov i Knez, 1993; Barbulov Popov i sar., 2009). Veća deformabilnost potke u pravcu P/P doprinosi većim vrednostima prekidnog izduženja šavova u tom pravcu, dok osnova preuzima glavnu ulogu u maksimalnoj nosivosti u pravcu O/O.

4.6.3. Ponašanje šavova i korelacija sa koncem i tkaninom

Rezultati ispitivanja šavova (tabele 4.6–4.9, slike 4.2–4.4) jasno pokazuju da struktura konca i pravac opterećenja dominantno određuju mehanička svojstva šava:

- PA filamentni konac: ostvaruje najviše vrednosti prekidne sile i jačine u svim pravcima, posebno P/P ($F \approx 291,68 \text{ N}$, $\sigma \approx 6,86 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon \approx 50,30 \%$), što se poklapa sa visokim karakteristikama samog konca i čvrstom osnovom tkanine.
- PA-Ag konac: iako funkcionalno modifikovan, daje nižu nosivost ($F \approx 158,96\text{--}176,97 \text{ N}$), ali zadovoljavajuće prekidno izduženje, potvrđujući da modifikacija ne narušava bitno deformacionu sposobnost šava.
- PES filamentni konac: pokazuje stabilnu raspodelu sile i jačine u sva tri pravca ($F \approx 217\text{--}218 \text{ N}$), ali veće prekidno izduženje u P/P pravcu ($\epsilon \approx 51,76 \%$), što ukazuje na dobru kompatibilnost sa anizotropnom strukturom tkanine.
- Predeni PES-P konac: daje najniže vrednosti nosivosti, naročito u pravcu P/P ($F \approx 116,26 \text{ N}$, $\sigma \approx 2,74 \text{ N/mm}^2$), ali sa prosečnim izduženjem ($\epsilon \approx 33,35 \%$), što potvrđuje uticaj predene strukture na smanjenu efikasnost prenosa opterećenja.

Korelacija između mehaničkih svojstava konca, tkanine i šava pokazuje da:

- visoka prekidna jačina i kontinualna filamentna struktura konca omogućavaju efikasan prenos opterećenja,
- dominantna osnova tkanine doprinosi maksimalnoj nosivosti šava u pravcu osnove,

- predeni konci, iako fleksibilniji, smanjuju efektivnu nosivost šava, posebno u pravcima sa većim deformacijama potke.

Istraživanjem je potvrđeno da najveći uticaj na mehanička svojstva šava ima struktura konca, zatim sirovinski sastav i funkcionalna modifikacija, dok pravac opterećenja dominantno utiče na deformativno ponašanje sistema šav–tkanina. Ovi zaključci se poklapaju sa podacima u literaturi, gde se naglašava uticaj vrste konca, strukture tkanine i pravca opterećenja na otpornost u predelu šavova (Geršak i Knez, 1991; Geršak i Knez, 1992; Prvanov i Knez, 1993; Barbulov Popov i sar., 2009).

4.7. Rezultati ispitivanja statičkog elektriciteta

Rezultati ispitivanja statičkog elektriciteta sprovedenog metodom „Clinging“ testa prema standardu AATCC TM 115 (2011) pokazali su da ispitivani uzorci tkanine ne ispoljavaju izraženu sklonost ka stvaranju statičkog naelektrisanja. Tokom ispitivanja nijedan od uzoraka nije pokazao dugotrajno prijanjanje uz metalnu ploču nakon završetka ciklusa trenja, već je do odvajanja dolazilo trenutno, što ukazuje na odsustvo značajnije akumulacije elektrostatičkog naelektrisanja.

Osnovni uzorak tkanine, bez dodatne obrade i bez prisustva šava, odmah se odvajao od metalne ploče nakon otpuštanja. Ovakvo ponašanje ukazuje da sama struktura i sirovinski sastav tkanine ne doprinose zadržavanju elektrostatičkog naelektrisanja u uslovima ispitivanja. Prema navodima u literaturi, tekstilni materijali koji se odmah odvajaju od metalne površine tokom „Clinging“ testa ne pokazuju sklonost ka neugodnom slepljivanju uz telo tokom nošenja (Asanović i sar., 2007).

Kod uzoraka tkanine prošivene šavom širine 1 cm, bez obzira na vrstu primenjenog šivaćeg konca (PA-Ag, PA, PES i PES-P), zabeleženo je slično ponašanje. Svi ispitivani uzorci su se nakon otpuštanja brzo odvajali od metalne ploče, bez vidljivog zadržavanja ili ponovnog prijanjanja. Ovi rezultati ukazuju da prisustvo šava, kao ni razlike u sirovinskom sastavu i električnim svojstvima šivaćih konaca, ne dovode do povećane sklonosti tkanine ka pojavi statičkog elektriciteta u uslovima primenjene metode.

Dobijeni rezultati su u saglasnosti sa rezultatima ispitivanja površinske otpornosti, gde je utvrđeno da osnovna tkanina, kao i tkanine prošivene koncem PA-Ag u određenim konfiguracijama, poseduju povoljne disipativne karakteristike. Niske vrednosti površinske otpornosti kod uzoraka prošivenih koncem PA-Ag u poprečnom smeru i u obliku mreže

omogućavaju efikasnije odvođenje električnog naelektrisanja, čime se smanjuje mogućnost njegove akumulacije. Istovremeno, činjenica da ni uzorci sa višim vrednostima površinske otpornosti nisu pokazali izraženo prijanjanje ukazuje da sama vrednost otpornosti nije jedini faktor koji određuje elektrostatičko ponašanje materijala.

U literaturi se navodi da na pojavu statičkog elektriciteta kod tekstilnih materijala, pored njihove električne otpornosti, značajno utiču površinska morfologija, raspored vlakana, sposobnost relaksacije naelektrisanja unutar strukture, kao i uslovi okoline tokom ispitivanja. U radu Asanović i saradnika (2007) pokazano je da ponašanje tekstilnih materijala u pogledu akumulacije i disipacije elektrostatičkog naelektrisanja zavisi od strukture materijala i raspodele provodnih komponenti, te da površinska otpornost sama po sebi ne predstavlja jedini parametar koji određuje sklonost ka elektrostatičkom prijanjanju (Asanović i sar., 2007; AATCC Test Method 115, 2011; ISO 139:2005, 2005).

Rezultati ovog istraživanja u potpunosti su u skladu sa navedenim nalazima, jer ukazuju da u ispitivanom sistemu dominiraju mehanizmi ograničene akumulacije naelektrisanja i njegove brze relaksacije unutar vlaknaste strukture tkanine.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da ispitivani uzorci tkanine, kako osnovni tako i oni prošiveni različitim vrstama šivaćih konaca, ne pokazuju sklonost ka stvaranju statičkog elektriciteta niti tendenciju neugodnog prijanjanja uz metalnu površinu. Ovakvi rezultati potvrđuju povoljna antistatička svojstva ispitivanih materijala i ukazuju da primena različitih vrsta šivaćih konaca, uključujući provodni konac PA-Ag, ne narušava elektrostatičko ponašanje tkanine u kontaktu sa ljudskim telom.

4.8. Rezultati ispitivanja otpornosti konca

U cilju utvrđivanja specifične provodljivosti šivaćih konaca pre njihove ugradnje u tekstilnu strukturu, izvršeno je merenje otpornosti konca po metru dužnom (Ω/m), korišćenjem digitalnog multimetra. Dobijene vrednosti predstavljaju referentnu osnovu za analizu ponašanja konca u strukturi tkanine i šava. Rezultati merenja otpornosti konca prikazani su u tabeli 4.10.

Tabela 4.10. Rezultati merenja otpornosti konca

<i>Uzorak</i>	<i>Srednja vrednost (Ω/m)</i>	<i>Standardna devijacija (Ω)</i>	<i>Koeficijent varijacije (%)</i>	<i>Klasifikacija</i>
K(PA-Ag)	146,4	0,61	0,41	Provodni
K(PA)	$R > 10^9$		-	Izolacioni
K(PES)	$R > 10^9$		-	Izolacioni
K(PES-P)	$R > 10^9$		-	Izolacioni
K(PES-P(G))	$R > 10^9$		-	Izolacioni

Kod konca čija je otpornost prelazila $10^9 \Omega/\text{m}$ instrument nije registrovao preciznu numeričku vrednost, te standardna devijacija i koeficijent varijacije nisu izračunavani.

Rezultati jasno ukazuju na izrazitu razliku u električnim svojstvima ispitivanih konca. PA-Ag konac pokazuje veoma nisku električnu otpornost ($146,4 \Omega/\text{m}$), uz minimalnu varijabilnost rezultata ($CV = 0,41\%$), što potvrđuje homogenu raspodelu provodnih srebrnih vlakana i stabilnu provodljivost duž niti.

Ostali konci (PA, PES, PES-P i PES-P(G)) pokazuju otpornost veću od $10^9 \Omega/\text{m}$, čime se svrstavaju u grupu izolacionih materijala u uslovima ispitivanja. Grafitna obrada kod konca PES-P(G) nije dovela do merljivog smanjenja otpornosti, što ukazuje da dodatak grafita nije formirao kontinuirani provodni put kroz strukturu konca.

Razlika između PA-Ag konca i ostalih uzoraka iznosi približno sedam redova veličine, što potvrđuje dominantan uticaj srebrnih provodnih vlakana na električna svojstva konca. Ovi rezultati predstavljaju osnovu za dalju analizu ponašanja provodnog konca u kompozitnoj tekstilnoj strukturi i šavu.

Dobijeni rezultati pokazuju višerednu razliku u otpornosti između PA-Ag konca i ostalih ispitivanih uzoraka. Dok PA-Ag konac ima nisku otpornost karakterističnu za provodne materijale (reda veličine $10^2 \Omega/\text{m}$), ostali konci pokazuju vrednosti veće od $10^9 \Omega/\text{m}$, što ih svrstava u oblast izolacionih materijala. Dobijeni rezultati potvrđuju da je PA-Ag jedini konac sa izraženim antistatičkim potencijalom u okviru ispitivanog skupa uzoraka.

4.9. Rezultati ispitivanja površinske otpornosti tkanine

Površinska otpornost tekstilnih materijala i šavova značajan je parametar za antistatičke i funkcionalne tkanine, posebno kod tapaciranog nameštaja koji može biti izložen elektrostatičkom naelektrisanju. Merenja su sprovedena U/I metodom prema standardu EN 1149-1 (2006), sa pločastim elektrodama ($D = 5,7$ cm, $L = 9,4$ cm) i napon od 100 V.

Analiza je sprovedena u dve faze:

1. Tkanina i tkanina prošivena koncem PA-Ag – osnovni uzorci, bez površinskih modifikacija, uključujući različite konfiguracije prošivanja (pravac osnove O, pravac potke P, mrežasta M).
2. Tkanina sa površinskim obradama – grafit, aktivni ugalj, različite koncentracije dodataka i kombinacija sa prošivanjem PA-Ag koncem.

Površinska otpornost ρ izračunat je po formuli:

$$\rho = R \cdot \frac{D}{L}$$

gde je:

ρ - površinska otpornost [Ω],

R - električni otpor [Ω],

D - dužina elektrode [cm],

L - udaljenost između elektoda [cm].

Tabela 4.11. Rezultati površinske otpornosti ρ osnovne i prošivene tkanine

<i>Uzorak</i>	<i>Digitalni multimetar</i>	<i>Hameg (MΩ)</i>	<i>ρ (Ω)</i>
T	$R > 10^9$	484,2	293,6 M Ω
T(PA-Ag/O)	$R > 10^9$	470,4	285,2 M Ω
T(PA-Ag/P)	1,9 Ω	-	1,2 Ω
T(PA-Ag/M)	1,6 Ω	-	1,0 Ω

Osnovna tkanina (T) pokazuje visoku površinsku otpornost. Srednja vrednost električnog otpora dobijena Hameg instrumentom iznosi 484,2 M Ω , tako da je vrijednost površinske otpornosti prema prethodnoj formuli 293,6 M Ω . Merenje digitalnim multimetrom pokazuje otpornost veću od 10^9 Ω , što potvrđuje izolatorski karakter materijala.

Uzorak T(PA-Ag/O), iako sadrži provodni konac, pokazuje relativno visoku površinsku otpornost (285,2 MΩ). Ovakav rezultat ukazuje da pojedinačno prošivanje u jednom smeru nije dovoljno da se formira kontinuirana provodna mreža kroz čitavu površinu materijala.

Nasuprot tome, kod uzoraka T(PA-Ag/P) i T(PA-Ag/M) dobijene su izuzetno niske vrednosti otpornosti (1,2 Ω i 1,0 Ω), što ukazuje na formiranje efikasnog provodnog puta kroz strukturu tkanine. Rezultati jasno pokazuju da raspored i konfiguracija provodnog konca imaju presudan uticaj na električna svojstva tekstilne strukture.

Dobijeni rezultati jasno ilustruju višerednu razliku u površinskoj otpornosti između osnovne tkanine i uzoraka sa odgovarajućom konfiguracijom prošivanja. Dok osnovna tkanina T i uzorak T(PA-Ag/O) zadržavaju vrednosti u oblasti stotina MΩ, uzorci T(PA-Ag/P) i T(PA-Ag/M) pokazuju drastičan pad otpornosti na nivo od nekoliko Ω. Ovakav rezultat potvrđuje da kontinuitet i prostorni raspored provodnog konca predstavljaju značajan faktor za formiranje efikasne provodne mreže unutar tekstilne strukture.

U cilju analize uticaja površinskih modifikacija na električna svojstva, ispitana je površinska otpornost tkanina obrađenih grafitom, aktivnim ugljem i njihovim kombinacijama, a dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 4.12.

Tabela 4.12. Rezultati merenja otpora i vrednosti površinske otpornosti obrađenih tkanina

Uzorak	Digitalni multimetar	Hameg R (MΩ)	U/I metodom	ρ
T(G)	R > 10 ⁶	588,4		356,7 MΩ
T(E)	R > 10 ⁶	596,2		345,2 MΩ
T(E-0,5G)	R > 10 ⁶	393,8		238,8 MΩ
T(E-1G)	R=4,6 kΩ	-	U=100,3V I=41,6 mA R=2,4 kΩ	1,46 kΩ
T(E-1AU)	R > 10 ⁶	398		241,3 MΩ

Uzorci T(G), T(E) i T(E-0,5G) pokazuju visoke vrednosti otpornosti u opsegu stotina MΩ, što ukazuje da primenjena količina grafita i aktivnog uglja u tim koncentracijama nije bila dovoljna za formiranje kontinuirane provodne mreže.

Kod uzorka T(E-1G) dolazi do drastičnog smanjenja otpornosti na približno 1,46 kΩ, što ukazuje na dostizanje perkolacionog praga i formiranje kontinuirane provodne mreže grafitnih čestica na površini materijala.

Rezultati potvrđuju da koncentracija provodnog punila ima presudan uticaj na električna svojstva tekstilne strukture, a formiranje provodne mreže nastupa tek nakon dostizanja kritične koncentracije. Ispod tog praga čestice su izolovane i sistem zadržava izolatorsko ponašanje, dok iznad praga dolazi do eksponencijalnog smanjenja otpornosti.

Dobijeni rezultati jasno pokazuju da uzorci T(G), T(E), T(E-0,5G) i T(E-1AU) zadržavaju vrednosti površinske otpornosti u oblasti stotina MΩ, što potvrđuje da primenjene koncentracije punila nisu bile dovoljne za formiranje kontinuirane provodne mreže. Nasuprot tome, uzorak T(E-1G) pokazuje višeredni pad otpornosti na nivo kΩ, što ukazuje na dostizanje perkolacionog praga i formiranje kontinuirane provodne strukture grafitnih čestica. Ovakvo ponašanje potvrđuje da električna svojstva sistema zavise od koncentracije i međusobnog povezivanja provodnih čestica u sloju.

4.10. Rezultati ispitivanja površinske otpornosti šavova

Površinska otpornost šavova predstavlja najznačajniji parametar za procenu električne provodljivosti i funkcionalnosti tkanina u ESD i antistatičkim aplikacijama. Merenja su sprovedena U/I metodom, sa pločastim elektrodama ($D = 5,7 \text{ cm}$, $L = 9,4 \text{ cm}$) i napon od 100 V. Analiza je obuhvatila različite šavne konstrukcije, uključujući šavove izrađene filamentnim i predenim koncima, kombinovane šavne konfiguracije sa provodnim PA-Ag koncem, kao i dekorativna i usmerena prošivanja. Rezultati merenja površinske otpornosti različitih šavnih konstrukcija prikazani su u tabeli 4.13.

Tabela 4.13. Vrednosti površinske otpornosti različitih šavnih konstrukcija

<i>Uzorak</i>	<i>Digitalni multimetar</i>	<i>Hameg (MΩ)</i>	<i>ρ (Ω)</i>
Š(PA-Ag)	$R > 10^9$	449,6	272,6 MΩ
Š(PA)	$R > 10^9$	555,6	336,9 MΩ
Š(PES)	$R > 10^9$	602,6	356,3 MΩ
Š(PES-P)	$R > 10^9$	573,2	347,5 MΩ
Š(PES-P(G))	$R > 10^9$	656,8	398,2 MΩ
Š(PA-Ag/PA)	$R > 10^9$	411,6	249,5 MΩ
Š(PA/PA-Ag)	$R > 10^9$	427,6	259,2 MΩ
Š(PA-Ag/Š)	11,2 Ω	-	6,8 Ω
Š(PA-Ag/O)	$R > 10^9$	271,4	146,5 MΩ
Š(PA-Ag/P)	1,9 Ω	-	1,2 Ω

Većina ispitivanih šavova, uključujući šavove izrađene provodnim PA-Ag koncem, pokazuje visoke vrednosti otpornosti u opsegu stotina $M\Omega$. Na primer, šav Š(PA-Ag) ima srednju vrednost od 272,6 $M\Omega$, dok filamentni konci Š(PA) i Š(PES) pokazuju još veće vrednosti, što ukazuje na izolatorsko ponašanje kompletne šavne strukture. Ovi rezultati potvrđuju da samo prisustvo provodnog konca u šavu nije dovoljno za formiranje efektivne provodne mreže. Međutim, kod dekorativnih i usmerenih prošivanja primećen je drastičan pad otpornosti. Uzorci Š(PA-Ag/Š) i Š(PA-Ag/P) pokazuju vrednosti od 6,8 Ω i 1,2 Ω , respektivno, što ukazuje na formiranje kontinuiranog provodnog puta kroz strukturu šava. Rezultati jasno pokazuju da geometrija šava i orijentacija provodnog konca predstavljaju presudne faktore za smanjenje površinske otpornosti.

Električna provodljivost šavne strukture zavisi od:

- kontinuiteta provodnih niti,
- međusobnog kontakta provodnih elemenata,
- gustine i rasporeda šavova.

Ukoliko provodni konac ne formira kontinuiranu mrežu, sistem zadržava izolatorsko ponašanje bez obzira na provodna svojstva samog konca. Komparativna analiza rezultata pokazuje da se značajno smanjenje površinske otpornosti može postići isključivo formiranjem kontinuirane provodne mreže unutar šavne strukture.

Najniže vrednosti otpornosti ostvarene su kod:

- T(PA-Ag/M)
- Š(PA-Ag/P)
- T(E-1G)

Ovi uzorci pokazuju prelazak iz izolatorskog u provodno ponašanje, što ih čini potencijalno primenljivim u ESD zaštitnim sistemima.

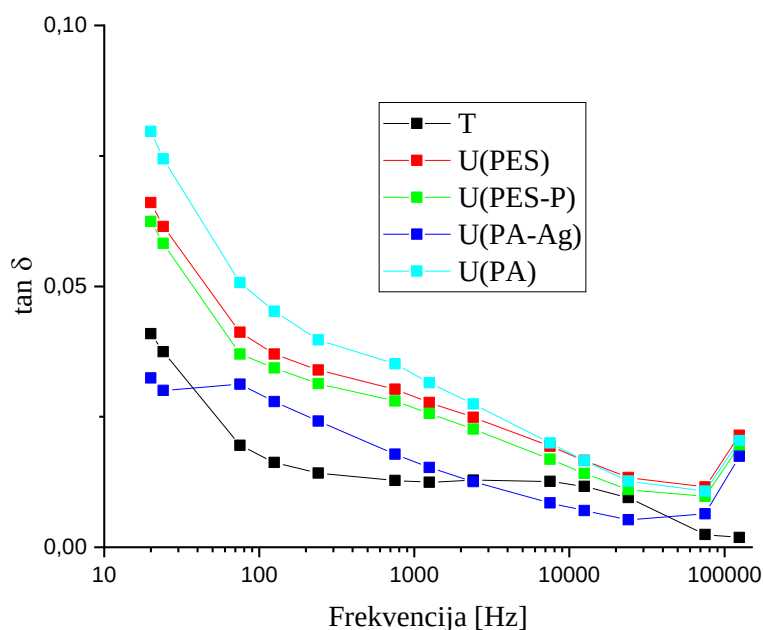
Većina šavnih konstrukcija ima površinsku otpornost u opsegu stotina $M\Omega$, što potvrđuje izolatorsko ponašanje sistema, čak i u slučajevima kada je u šav uključen provodni PA-Ag konac. Ovo ukazuje da prisustvo provodnog konca samo po sebi nije dovoljno za formiranje efektivne provodne mreže unutar šavne strukture.

Nasuprot tome, uzorci Š(PA-Ag/Š) i Š(PA-Ag/P) pokazuju višeredni pad otpornosti, sa vrednostima u opsegu Ω , što jasno ukazuje na formiranje kontinuiranog provodnog puta kroz strukturu šava. Ovakvo ponašanje potvrđuje da geometrija šava, orijentacija i kontinuitet provodnog konca imaju presudan uticaj na električna svojstva.

Rezultati potvrđuju da se značajno smanjenje površinske otpornosti može postići isključivo formiranjem povezane provodne mreže unutar šavne konstrukcije, dok u suprotnom sistem zadržava izolatorsko ponašanje bez obzira na provodna svojstva samog konca.

4.11. Rezultati ispitivanja dielektričnih svojstava

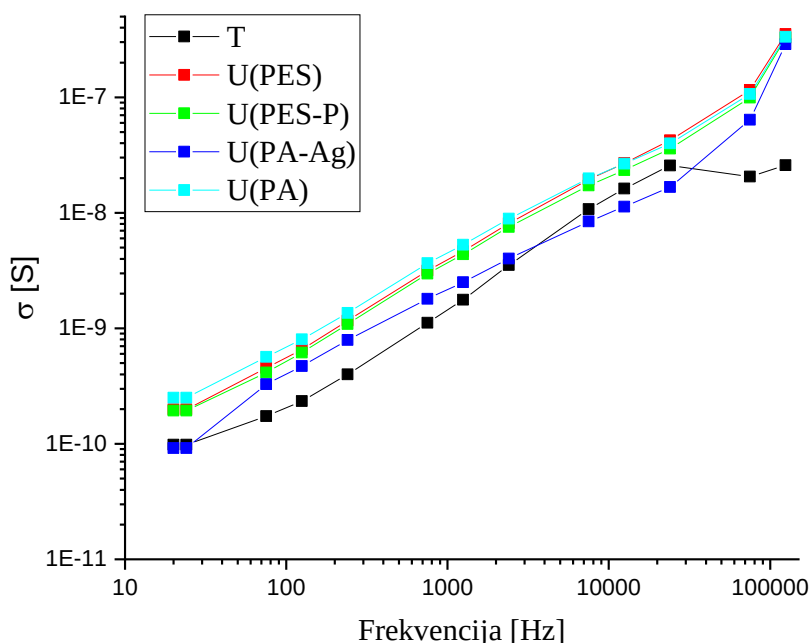
Na slikama 4.5. i 4.6. prikazani su tangens dielektričnih gubitaka i specifična provodnost za uzorke neobrađene tkanine T i tkanina šivenih različitim vrstama konaca: U(PES), U(PES-P), U(PA-Ag) i U(PA). Neobrađena tkanina pokazuje najniži i najstabilniji tangens dielektričnih gubitaka, što je očekivano za homogeni dielektrični materijal bez dodatnih strukturalnih prekida. Sličan profil uočava se i kod uzorka sa šavom od poliamidnog konca sa srebrom, gde tangens ostaje nizak i stabilan kroz cijeli frekvencijski opseg. Ovaj rezultat ukazuje da prisustvo provodnog konca sa srebrom ne uvodi dodatne polarizacione procese niti povećava disipaciju energije, već naprotiv doprinosi stabilizaciji kontakta između elektroda i uzorka.



Slika 4.5. Tangens dielektričnih gubitaka u funkciji frekvencije za tkaninu (T) i šavove U(PES), U(PES-P), U(PA-Ag) i U(PA)

Kod uzoraka sa PES i predenim PES-P koncem vrednosti tangensa gubitaka su više, što se vidi na grafiku kroz izraženije odstupanje krivih u niskofrekventnom području. To se može povezati sa interfejsnim polarizacijama na granici tkanina–konac, gde se naelektrisanja akumuliraju i doprinose većim gubicima. Iako tangens pokazuje razlike, specifična zapreminska provodnost

se nije značajno menjala među uzorcima. Najniže vrednosti provodnosti dobijene su upravo za čistu tkaninu i tkaninu sa šavom od provodnog poliamidnog konca sa srebrom, što potvrđuje da u ovom sistemu dominiraju kontaktne pojave, a ne stvaranje provodnih mreža kroz šav.

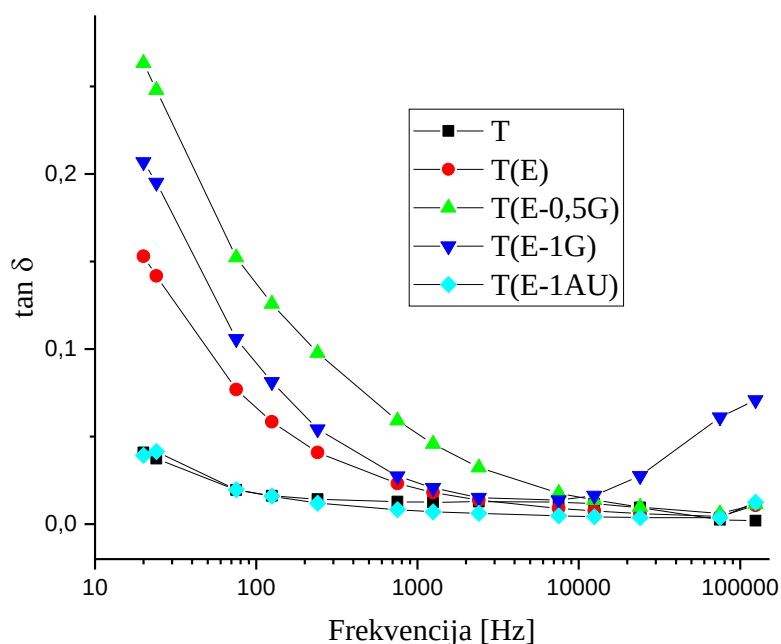


Slika 4.6. Specifična provodnost u funkciji frekvencije za tkaninu (T) i šavove U(PES), U(PES-P), U(PA-Ag) i U(PA)

Rezultati pokazuju da čista tkanina i tkanina sa šavom od poliamidnog konca sa srebrom imaju najniži i najstabilniji tangens gubitaka, uz istovremeno najniže vrednosti zapreminske provodnosti. Kod uzoraka sa PES i PES-P koncem tangens gubitaka je viši, što se može pripisati interfejsnim polarizacijama na granici tkanina–konac. Međutim, provodnost se nije značajno menjala među uzorcima, što ukazuje da kontaktne pojave između elektroda i uzorka dominiraju u određivanju ukupnih dielektričnih svojstava.

Na Slikama 4.7. i 4.8. prikazani su tangens dielektričnih gubitaka i specifična provodnost za uzorke neobrađene tkanine T i tkanine obrađene EUH, bez i uz dodatak grafita i aktivnog uglja. Neobrađena tkanina pokazuje očekivano najnižu specifičnu provodnost i stabilne vrednosti tangensa gubitaka, što je tipično za dielektrični materijal bez dodatnih modifikacija (Cerović i sar., 2014; Almetwally i Elfowaty, 2025). Obrada EUH-om dovodi do povećanja provodnosti i tangensa dielektričnih gubitaka na nižim frekvencijama. Na Slici 4.7. jasno se vidi da se tangens dielektričnih gubitaka uzorka obrađenih sa EUH povećava sa smanjenjem frekvencije. Ovaj efekat se može pripisati interfacijalnoj polarizaciji na granici tkanina–EUH sloj, kao i doprinosu

mobilnih jona iz izotiazolonskih komponenti, koji na nižim frekvencijama imaju dovoljno vremena da se akumuliraju i doprinesu transportu naelektrisanja.

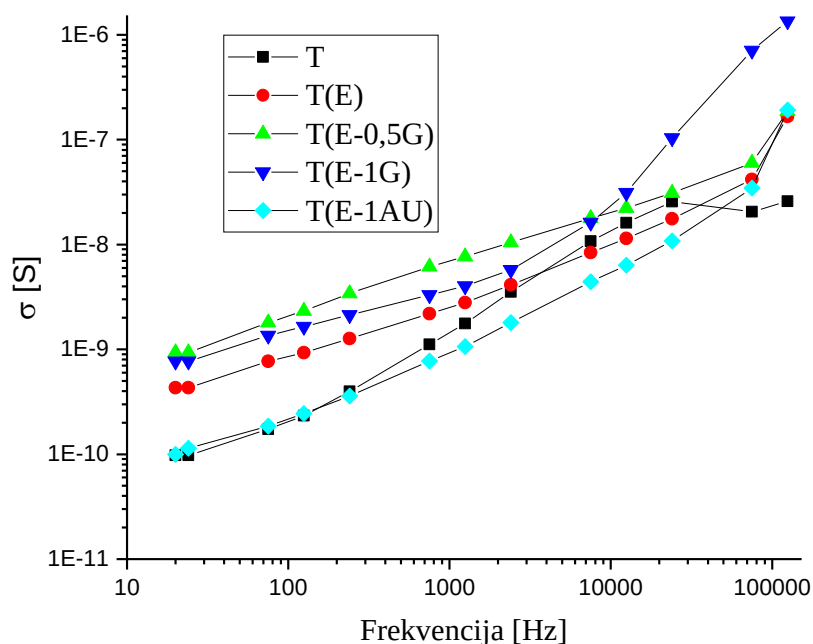


Slika 4.7. Tangens dielektričnih gubitaka u funkciji frekvencije za neobrađenu tkaninu (T) i obrađene tkanine $T(E)$, $T(E-0,5G)$, $T(E-1G)$ i $T(E-1AU)$

Dodavanje grafita u EUH sloj pokazuje najznačajniju promenu u dielektričnim svojstvima (Alamer, 2018). Na Slici 4.8. vidi se da uzorci sa 0,5 g i 1 g grafita imaju izražen porast provodnosti, posebno u visokofrekventnom području. Grafit, zahvaljujući svojoj visokoj električnoj provodljivosti i lamelarnoj strukturi, poboljšava kontakt između elektroda i uzorka, smanjujući kontaktni otpor. Time se formiraju provodni putevi kroz uzorak, što rezultira značajnim porastom zapreminske provodnosti (Škipina i sar., 2010; Dudić i sar., 2011). Ovaj efekat je posebno izražen na višim frekvencijama, gde se smanjuje uticaj interfacijalne polarizacije i aktiviraju brži mehanizmi transporta naelektrisanja (tunelovanje, preskok naelektrisanja (hopping)). Upravo zato je porast provodnosti izraženiji u visokofrekventnom području kod uzoraka sa grafitom.

Za uzorak sa aktivnim ugljem dobijene vrednosti provodnosti i tangensa dielektričnih gubitaka ostaju niske, gotovo identične netretiranoj tkanini. Na grafiku se vidi da tangens dielektričnih gubitaka i specifična provodnost uzorka sa aktivnim ugljem ne odstupaju značajno od neobrađene tkanine. Aktivni ugalj, zbog svoje porozne strukture i niže provodljivosti, ne formira kontinuirane provodne staze. Dominantne su kontaktne pojave na granici elektrode-

tkanina-EUH sloj, pri čemu aktivni ugalj ne doprinosi značajno modifikaciji dielektričnih svojstava.



Slika 4.8. Specifična provodnost u funkciji frekvencije za neobrađenu tkaninu (T) i obrađene tkanine $T(E)$, $T(E-0,5G)$, $T(E-1G)$ i $T(E-1AU)$

Dobijeni rezultati jasno pokazuju da sama obrada EUH-om dovodi do povećanja specifične provodnosti i tangensa dielektričnih gubitaka na nižim frekvencijama usljed interfacijalne polarizacije i jonskog transporta. Dodavanje grafita u EUH sloj značajno poboljšava kontakt sa elektrodama i omogućava formiranje provodnih mreža, što rezultira izraženim porastom zapreminske provodnosti, posebno na višim frekvencijama. Aktivni ugalj, za razliku od grafita, ne pokazuje isti efekat zbog svoje porozne strukture i niže provodljivosti, pa provodnost i gubici ostaju na nivou netretirane tkanine. Ovi rezultati ukazuju da je upravo poboljšanje kontakta sa elektrodama ključni faktor u modifikaciji dielektričnih svojstava tkanine tretirane filerima na bazi ugljenika.

5. ZAKLJUČAK

Analiza pojedinačnih parametara kvaliteta materijala omogućila je detaljniji uvid u njihovo ponašanje u realnim uslovima upotrebe, što predstavlja dobru osnovu za procenu njihove pouzdanosti, trajnosti i optimalnog izbora u konstrukciji proizvoda. Na osnovu rezultata ispitivanja mehaničkih i električnih svojstava materijala (tkanine, konca i šavova) namijenjenih za izradu ESD stolice može se zaključiti sledeće:

- Rezultati ispitivanja kvalitativnih karakteristika odabrane tkanine pokazuju da tkanina *Titan* u potpunosti ispunjava zahteve kvaliteta za tapaciranje stolice, odlikujući se visokom otpornošću na habanje, odličnom postojanošću boje i stabilnim strukturnim i mehaničkim svojstvima. Uz optimalnu debljinu, površinsku masu i postojanost boje, tkanina omogućava ravnotežu između stabilnosti i udobnosti, što je posebno značajno kod tapacirnih površina izloženih višesmernim opterećenjima.
- Ispitivani šivaći konci pokazuju zadovoljavajuća mehanička svojstva i usklađenost sa proizvođačkim specifikacijama. Filamentni konci (PA i PES) karakterišu se visokom specifičnom prekidnom jačinom, niskom varijabilnošću rezultata i efikasnim prenosom opterećenja duž niti, što obezbeđuje stabilnost i pouzdanost u primeni. Predeni PES-P konac pokazuje nižu nosivost po jedinici finoće, nešto veću varijabilnost i smanjenu efikasnost prenosa naprezanja usled diskontinuirane strukture, dok PA-Ag konac, iako modifikovan radi obezbeđivanja provodljivosti, zadržava stabilna mehanička svojstva i visok stepen homogenosti, potvrđujući njegovu funkcionalnost u tehničkim i ESD primenama.
- Šavovi šiveni filamentnim koncima (PA i PES) ostvaruju najviše vrednosti prekidne sile i specifične prekidne jačine, uz stabilnu raspodelu naprezanja i nizak koeficijent varijacije, što potvrđuje njihovu visoku pouzdanost i efikasan prenos opterećenja kroz spoj. Analiza ponašanja šavova u različitim pravcima opterećenja (O/O, P/P i O/P) potvrđuje izražen uticaj anizotropije tkanine, pri čemu pravac potke omogućava veću deformabilnost i fleksibilnost, dok pravac osnove obezbeđuje veću nosivost spoja. Ova međuzavisnost konca, strukture šava i konstrukcije tkanine predstavlja bitan faktor u projektovanju pouzdanih tapacirnih spojeva.
- Na osnovu uporedne analize može se zaključiti da filamentni konci (PA i PES) predstavljaju optimalan izbor za pozicije spojeva izložene većim i dugotrajnim

opterećenjima, dok se PA-Ag konac može primenjivati u funkcionalnim tehničkim zonama gde je, pored mehaničke otpornosti, potrebna i dodatna provodljivost. Predeni PES-P konac predstavlja adekvatno rešenje za manje opterećene delove konstrukcije, gde je potrebna fleksibilnost i ekonomičnost.

- Ispitivanje električne otpornosti šivaćih konaca pokazalo je izrazitu razliku između provodnog PA-Ag konca i ostalih ispitivanih uzoraka. Vrednost otpornosti od 146,4 Ω/m potvrđuje stabilnu i homogenu provodnu strukturu konca sa srebrnim vlaknima, dok su PA, PES, PES-P i PES-P(G) konci registrovani kao izolacioni materijali ($>10^9 \Omega/\text{m}$), bez merljivog antidisipativnog efekta u datim uslovima ispitivanja.
- Ugradnjom provodnog konca PA-Ag u strukturu uskog dekorativnog šava ostvaruje se potencijal formiranja lokalnog provodnog puta unutar tekstilnog sistema, pri čemu efikasnost disipacije elektrostatičkog naelektrisanja zavisi od kontinuiteta provodnih vlakana i njihove integracije sa konstrukcijom tkanine.
- Tkanina pokazuje visok nivo površinske otpornosti, što potvrđuje njen izolatorski karakter. Prošivanje tkanine PA-Ag koncem u pravcu osnove i potke omogućava formiranje kontinuirane provodne mreže, što dovodi do drastičnog smanjenja površinske otpornosti. Dostizanje perkolacionog praga površinski obrađene tkanine grafitom (uzorak T(E-1G)) dovodi do naglog prelaska otpornosti u $\text{k}\Omega$ opseg, što potvrđuje formiranje kontinuirane provodne mreže i presudan uticaj koncentracije provodnog punila na električna svojstva.
- Šavovi od PA-Ag konca ne povećavaju dielektrične gubitke, već održavaju stabilan tangens dielektričnih gubitaka, što ukazuje da provodni konac sa srebrom ne uvodi dodatne polarizacione procese i doprinosi stabilizaciji kontakta između elektroda i uzorka.
- Premazivanje tkanine grafitom značajno poboljšava kontakt sa elektrodama i formira provodnu mrežu kroz uzorak, što dovodi do izraženog porasta zapreminske provodnosti, posebno na višim frekvencijama.

Na osnovu svega navedenog može se zaključiti da su sve postavljene hipoteze u potpunosti potvrđene.

6. LITERATURA

- AATCC Test Method 115:2011; *Test Method for Electrostatic Clinging of Fabrics: Fabric-to-Metal Test*.
- Ahmed, A., Hossain, M. M., Adak, B. i Mukhopadhyay, S. (2020). Recent advances in 2D MXene integrated smart-textile interfaces for multifunctional applications. *Chemistry of Materials*, 32(24), 10296-10320. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c03392>
- Alamer, A. F. (2018). Structural and electrical properties of conductive cotton fabrics coated with the composite polyaniline/carbon black. *Cellulose*, 25(3), 2075–2082. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1667-9>
- Albrecht, W. (2000). Netkane tekstilije-stare, ali ipak suvremene i perspektivne. *Tekstil*, 49(10), 568-570.
- Almetwally, A. A. i Elfowaty, H. M. (2025). Electric and dielectric properties of cotton and regenerated cellulose fibers in comparison with polyethylene terephthalate fiber. *Journal of Natural Fibers*, 22(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2025.2537062>
- Amann Group (2025) Products. Dostupno na: <https://www.amann.com/products/product/> (pristupljeno: decembar 2025).
- Asanović, A. K., Mihajlidi A, T., Milosavljević V, S., Cerović D, D. i Dojčilović, R. J. (2007). Investigation of the electrical behavior of some textile materials. *Journal of Electrostatics*, 65(3), 162-167. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2006.07.008>
- ASTM D1729-22:2022; *Standard Practice for Visual Appraisal of Colors and Color Differences of Diffusely-Illuminated Opaque Materials*.
- ASTM D6193-16:2020; *Standard Practice for Stitches and Seams*.
- Barbulov Popov, D., Petrović, V., Reljić, M. i Savić, M. (2009). Uticaj vrste konca na jačinu šavova. *Zbornik radova Tehnološkog fakulteta, Leskovac*, 19, 298-305.
- BAS EN ISO 5084:2015; *Textiles - Determination of thickness of textiles and textile products*.
- Bilić, B. (2021). Tehnološki parametri šivanja automobilskih sjedala. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet.
- Carter, S. (1985). Electrostatic discharge (ESD) properties of plastic packaging: Terminology, standards and measurement. *Tek Pak Tech Bull* 101, 1-5. Dostupno na: tekpak.com.
- Cerović, D., Dojčilović, J., Petronijević, I. i Popović, D. (2014). Comparative analysis of dielectric and structural characteristics of the samples based on polyethyleneterephthalate. *Contemporary Materials*, 5(1), 42–49. <https://doi.org/10.7251/COMEN1401042C>

- Chatterjee, K., Tabor, J. i Ghosh, K. T. (2019). Electrically Conductive Coatings for Fiber-Based E-Textiles. *Fibers*, 7(6), 51. <https://doi.org/10.3390/fib7060051>
- Čunko, R. (1995). Ispitivanje tekstila: fizikalne i instrumentalne metode karakterizacije osnovnih svojstava tekstilija. Zagreb: Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb.
- Dimitrijević, D., Adamović, Ž., Čolović, G. i Krstić, D. (2017). Termografsko određivanje temperature i uticajni parametri zagrevanja mašinske igle. *Tekstilna industrija*, 65(2), 20-28.
- DIN 5325:1973; *Sewing machines - needle size comparison chart*.
- Directive 2001/95/EC of the European Parliament and of the Council of 3 December 2001 on general product safety.
- Donciu, C. (2013). Estimating ESD properties of fabrics based on correlation between dielectric losses and charge decay time. *Advanced Materials Research*, 837, 688-693. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.837.688>
- Đorić, B. i Radeka, M. (2008). Tekstilni materijali 1. Beograd: Zavod za udžbenike.
- Dudić, D., Škipina, B., Dojčilović, J., Novaković, L. i Kostoski, D. (2011). Effects of charge trapping on the electrical conductivity of low-density polyethylene–carbon black composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 121(1), 138-143. <https://doi.org/10.1002/app.33421>
- Dürkopp Adler (2023). Dürkopp Adler-Living/ Upholstery: Dostupno na: <https://www.duerkopp-adler.com/industry-solutions/living-and-upholstery/#> (pristupljeno: septembar 2024).
- East, G. C. i Ferguson, J. P. (1969). The Optical Properties of Fabrics and their Relation to Soiling. *The Journal of The Textile Institute*, 60(10), 441-442. <https://doi.org/10.1080/00405006908629946>
- Eaves, D. (2003). Handbook of polymeric foams. Harbury, UK: Rapra Technology.
- EN 1149-1:2006; *Protective clothing - Electrostatic properties - Part 1: Test method for measurement of surface resistivity*.
- EN ISO 1856:2018; *Flexible cellular polymeric materials - Determination of compression set (ISO 1856:2018)*.
- Evseev, Z. I., Vasileva, F. D., Smagulova, S. A. i Dmitriev, P. S. (2023). Highly Washable and Conductive Cotton E-textiles Based on Electrochemically Exfoliated Graphene. *Materials*, 16(3), 958. <https://doi.org/10.3390/ma16030958>
- Gärtner, R., Hilkersberger, M., Stadler, W., Niemesheim, J. i Speicher, J. (2019) ‘Are ESD Chairs Good Enough to Be Used as Primary Means of Personnel Grounding?’, u: Annual

- EOS/ESD Symposium (EOS/ESD). Riverside, CA, USA: IEEE, str. 1–10.
<https://doi.org/10.23919/EOS/ESD.2019.8869977>
- Geršak, J. (1987) Šiv – kakovostni kriterij oblačilnega predmeta, *Tekstilec*, 30(10), 338-341.
- Geršak, J. i Abmar, Z. M. (1988) Metode preizkušanja trdnosti šiva, *Tekstilec*, 31(6), 201-206.
- Geršak, J. i Knez, B. (1991). Određivanje čvrstoće šivaćih šavova na odjeći. *Tekstilec*, 40(8), 361-368.
- Geršak, J. i Knez, B. (1992). Tehničko-tehnološki parametri konca i njihov utjecaj na čvrstoću odjevnih šavova. *Tekstilec*, 41(5), 211-218.
- Gluhalić, A. (2015). Moderni proizvodni procesi u proizvodnji i preradi furnira. 10th. International Scientific Conference on Production Engineering. Bihać.
- Grbac, I. i Ivelić, Ž. (2005). Ojastučeni namještaj. Zagreb: Šumarski fakultet, Akademija šumarskih znanosti.
- Greason, W. D. (1992). Electronic apparatus and appliances -- Protection, Electric discharges, Electrostatics. New York: Taunton, Somerset, England: Research Studies Press; New York: Wiley.
- Groz-Beckert (2025) From seam to needle. Dostupno na: <https://portal.groz-beckert.com/germany/sewing/en/default,1572358> (pristupljeno: septembar 2024).
- Grujić, D. (2020). Tehnološki procesi proizvodnje u odevnoj industriji. Banja Luka: Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet.
- Grujić, D., Škipina, B., Cerović, D., Topalić-Trivunović, Lj. i Savić, A. (2021). Antibacterial and dielectric properties of textile materials modified with herbal extract of *Picea omorika* and the copper ferrite nanoparticles. *Contemporary Materials*, 12, 80-90.
<https://doi.org/10.7251/COMEN2101080G>
- Gurarda, A. (2019). Seam Performance of Garments. *Textile Manufacturing Processes*, 5, 17.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.86436>
- Halgas, S., Wilbik, H.B. i Sidyk, P. (2024). Modeling and testing of ESD protective textiles. *Applied Sciences*, 14(16), 7376. <https://doi.org/10.3390/app14167376>
- Hearle, J. W., Grosberg, P. i Backer, S. (1969). Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics. New York: Wiley-Interscience.
- Hoffer, D. (1976). Netkane tekstilije. Zagreb: Savez inženjera i tehničara tekstilaca Hrvatske.
- Holdstock, P. (2022). A review of electrostatic standards. *Journal of Electrostatics*, 115, 103652. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2021.103652>

- Horrocks, A. R., Tune, M. i Cegielka, L. (1988). The burning behaviour of textiles and its assessment by oxygen-index methods. *Textile Progress*, 18(1-3), 1-186.
<https://doi.org/10.1080/00405168908689004>
- Horrocks, R. A., i Anand, S. (2016). *Handbook of Technical Textiles*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- HRN EN ISO 12947-2:2008; *Tekstilije -- Određivanje otpornosti na habanje plošnog tekstila metodom po Martindaleu -- 2. dio: Određivanje prekida uzorka (ISO 12947-2:1998+Cor 1:2002; EN ISO 12947-2:1998+AC:2006)*.
- HRN EN ISO 12947-3:2008; *Tekstilije -- Određivanje otpornosti na habanje plošnog tekstila metodom po Martindaleu -- 3. dio: Određivanje gubitka mase (ISO 12947-3:1998+Cor 1:2002; EN ISO 12947-3:1998+AC:2006)*.
- HRN EN ISO 12947-4:2008; *Tekstilije -- Određivanje otpornosti na habanje plošnog tekstila metodom po Martindaleu -- 4. dio: Procjena promjene izgleda (ISO 12947-4:1998+Cor 1:2002; EN ISO 12947-4:1998+AC:2006)*.
- Huizhou Xintaixin Nonwoven Fabric Co., Ltd. (2021) Nonwovens for home textiles.
 Dostupno na: <http://hr.ppfabricnonwoven.com/info/nonwovens-for-home-textiles-64583918.html> (pristupljeno: septembar 2024).
- IEC 61340-5-1:2016; *Electrostatics—Part 5-1: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena-General requirements*.
- Tekstilni svet (2017) Igle - sve o iglama. Dostupno na:
<http://tekstilnisvet.blogspot.com/2017/11/igle-sve-o-iglama.html> (pristupljeno: septembar 2024).
- ISO 139:2005; *Textiles — Standard atmospheres for conditioning and testing*.
- ISO 13934-1:2013; *Textiles — Tensile properties of fabrics, Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method*.
- ISO 13936-1:2004; *Textiles — Determination of the slippage resistance of yarns at a seam in woven fabrics, Part 1: Fixed seam opening method*.
- ISO 1798:2008; *Flexible cellular polymeric materials — Determination of tensile strength and elongation at break*.
- ISO 20433:2024; *Leather — Tests for colour fastness — Colour fastness to crocking*.
- ISO 2062:2009; *Textiles — Yarns from packages — Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension (CRE) tester*.
- ISO 2439:2008; *Flexible cellular polymeric materials — Determination of hardness (indentation technique)*.

- ISO 3801:2016; *Textiles — Woven fabrics — Determination of mass per unit length and mass per unit area.*
- ISO 4915:1991; *Textiles — Stitch types — Classification and terminology.*
- ISO 4916:1991; *Textiles — Seam types — Classification and terminology.*
- ISO 8307:2018; *Flexible cellular polymeric materials — Determination of resilience by ball rebound.*
- ISO 845:2006; *Cellular plastics and rubbers — Determination of apparent density.*
- Jakšić, D. i Jakšić, N. (2022) Projektiranje in konstrukcija tekstilij in oblačil. Ljubljana: Narodna i univerzitetna knjižnica u Ljubljani.
- Jinan Yueyang Information Technology Co., Ltd. (2023) Textile testing instruments. Dostupno na: <https://www.jnyytech.com/textile-testing-instruments/> (pristupljeno: septembar 2024).
- Jost, K., Perez, C. R., McDonough, J. K., Presser, V., Heon, M., Dion, G. i Gogotsi, Y. (2011). Carbon coated textiles for flexible energy storage. *Energy i Environmental Science*, 4(12), 5060-5067. <https://doi.org/10.1039/C1EE02421C>
- Juciene, M. i Vobolis, J. (2008). Analiza parametara šava tkanine na tapeciranom pokućstvu. *Tekstil*, 57(7), 352-356.
- Katz, D. A. (2008). Polyurethane foam. Dostupno na: <http://www.chymist.com/polyurethane.pdf> (pristupljeno: novembar 2024).
- Khan, R. A., Hersh, S. P. i Grady, P. L. (1970). Simulation of needle-fabric interactions in sewing operations. *Textile research journal*, 40(6), 489-498. <https://doi.org/10.1177/004051757004000601>
- Klempner, D. i Sendijarević, V. (2004). Handbook of polymeric foams. Munich: Hanser Publishers.
- Kovačević, S. i Ujević, D. (2013). *Seams in car seat coverings: properties and performance*, u: *Joining textiles: Principles and applications*, 478–506. <https://doi.org/10.1533/9780857093967.4.478>
- Kumar, S. R. (2013). *Textiles for industrial applications*. Coimbatore, Tamilnadu: CRC Press.
- Li, L., Liu, J., Hu, Z., Geng, C. i Liu, R. (2020). Graphene oxide loading on polyester fabrics and antistatic properties, *Journal of Textile Research*, 41(9), 102–107.
- Lin, H., Zeng, X., Sherburn, M., Long, A. C. i Clifford, M. J. (2012). Automated geometric modelling of textile structures. *Textile Research Journal*, 82(16), 1689-1702. <https://doi.org/10.1177/0040517511418562>

- Maity, S., Singha, K. i Pandit, P. (2023) Functional and technical textiles. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Mašinski kutak (2012) Sewing machine thread tension adjustment. Dostupno na: <https://www.masinskikutak.com/2012/03/podesavanje-zategnutosti-konca-na.html> (pristupljeno: septembar 2024).
- Neves, A. I. S., Rodrigues, D. P., De Sanctis, A., Alonso, E. T., Pereira, M. S., Amaral, V. S., Melo, L. V., Russo, S., de Schrijver, I., Alves, H., i Craciun, M. F. (2017). Towards conductive textiles: coating polymeric fibres with graphene. *Scientific Reports*, 7(1), 4250. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04453-7>
- Nikolić, M. (1993) *Struktura i projektovanje tkanina*. Beograd: Tehnološko-metalurški fakultet.
- Nikolić, M., i Skenderi, Z. (2004). Technologies of staple fibers spinning at ITMA 2003. *Tekstil: časopis za tekstilnu tehnologiju i konfekciju*, 54(4), 147-156.
- Organika BH d.o.o. Fabrika za proizvodnju i preradu poliuretanske pjene. Gradiška.
- Pećanin, B., Ružičić, B., Maletić, S., Cerović, D., Savić, A., Bodroža, D., Tadić, N., Petronijević, I., Grujić, D. i Škipina, B. (2025). Dielectric properties of modified bentonites: the effect of sodium, copper, and zinc on dielectric relaxations. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 36(1022). <https://doi.org/10.1007/s10854-025-15098-y>
- Peirce, F. T. (1930). 26—The “handle” of cloth as a measurable quantity. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 21(9), T377–T416. <https://doi.org/10.1080/19447023008661529>
- Pezelj, E., Andrassy, M. i Čunko, R. (2002). Modern Technical Textiles - Specific Requirements on Fibres. *Tekstil: časopis za tekstilnu tehnologiju i konfekciju*, 51(6), 261-277.
- Prvanov, P., i Knez, B. (1993). Utjecaj tkanine, tipa šivanog šava i finoće konca na čvrstoću šavova na odjeći. *Tekstil*, 42(10), 539-545.
- Pušman, V. (1959). *Prepletaji tkanina: udžbenik za tekstilnu tehničku školu i priručnik za tekstilne stručnjake*. Leskovac: Savet za prosvetu Narodne Republike Srbije.
- Radiojević, D., Đorđević, M. i Trajković, D. (2016). *Ispitivanje tekstila*. Leskovac: Visoka strukovna škola za tekstil u Leskovcu.
- Rajput, B., Kakde, M., Gulhane, S., Mohite, S., i Raichurkar, P. P. (2018). Effect of sewing parameters on seam strength and seam efficiency. *Trends in Textile Engineering i Fashion Technology*, 4(1). <https://doi.org/10.31031/TTEFT.2018.04.000577>

- Ražov, I. (2015). *Poliuretanske spužve i njihova primjena*. Zagreb: Fakultet šumarstva i drvne tehnologije.
- Rogale, D., Ujević, D., Firšt, R. S. i Hrastinski, M. (2000). *Tehnologija proizvodnje odjeće sa studijem rada*. Bihać: Tehnički fakultet Univerziteta u Bihaću.
- Rogale, D., Ujević, D., Rogale, S. F. i Hrastinski, M. (2011). *Procesi proizvodnje odjeće*. Zagreb: Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Rowe, T. (2009). *Interior textiles: Design and developments*. Oxford; Cambridge; New Delhi: The Textile Institute.
- Rudolf, A. i Grešak, J. (2007). Influence of sewing speed on the changes of mechanical properties of differently twisted and lubricated threads during the process of sewing. *Tekstil: časopis za tekstilnu i odjevnu tehnologiju*, 56(5), 271-277.
- Sadanandan, K. S., Bacon, A., Shin, D. W., Alkhalifa, S. F. R., Russo, S., Craciun, M. F. i Neves, A. I. (2021). Graphene coated fabrics by ultrasonic spray coating for wearable electronics and smart textiles. *Journal of Physics: Materials*, 4(1), 014004.
<https://doi.org/10.1088/2515-7639/abc632>
- Šajn, D. (2007). Vpliv materiala na kakovost šiva. *Tekstilec*, 50(4-6), 77-92.
- Shahid, N. (2014). Indian technical textile industry: Production and trade analysis of selected segments. *Indian Journal of Commerce i Management Studies*, 3(1), 38–46.
- Škipina, B., Dudić, D., Kostoski, D., i Dojčilović, J. (2010). Dielectrical properties of low density polyethylene and carbon black composites. *Hemijska industrija*, 64(3), 187–191.
<https://doi.org/10.2298/HEMIND091221035S>
- Škipina, B., Kukrić, Z., Milošević, M., Luyt, A. S., i Dudić, D. (2018). Enhancement of the surface dielectric and photodielectric properties of low density polyethylene by adding emodin. *Contemporary Materials*, 9(1), 96–105.
<https://doi.org/10.7261/COMEN1801096S>
- Škipina, B., Pećanin, B., Savić, A., Topalić-Trivunović, L., Ružičić, B., Maletić, S., Kolar, M., Kurečić, M., Rudolf, A. i Grujić, D. (2025). Enhancing electrical conductivity of polypropylene nonwoven textiles via Cu/Zn-modified bentonite: FTIR, XRD and dielectric study, u: Conference Proceedings – Politehnika 2025. Beograd: Politehnika 2025, str. 1252–1256.
- Skorupińska, E., Wiaderek, K. i Sydor, M. (2021). Influence of technological parameters on the upholstery seams in furniture, *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology*, 114, 110–115.
<https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.2389>

- Škundrić, P., Kostić, M., Medović, A., Mihailović, T. i Asanović, K. (2008). *Tekstilni materijali*. Beograd: Tehnološko-metalurški fakultet.
- Somogyi Škoc, M. (2019). *Bilo kuda tehnički tekstil svuda*. Zagreb: Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- SRPS F.S2.017:1958; *Fizikalna ispitivanja tekstila - Određivanje prekidne sile i izduženja tkanina*.
- Stankutė, R., Grinevičiūtė, D., Gutasukas, M., Žebrauskas, S. i Varnaitė, S. (2010). Evaluation of electrostatic properties of fiber-forming polymers, *Technologija*, 16(1), str. 72–75. Kaunas: Kaunas University of Technology.
- Stepanović, J. i Janjić, S. (2015). *Mehaničke tekstilne tehnologije*. Banja Luka: Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet.
- Stoppa, M., i Chiolerio, A. (2014). Wearable electronics and smart textiles: A critical review. *Sensors*, 14(7), 11957–11992. <https://doi.org/10.3390/s140711957>
- Stylios, G. K. i Jones, I. (2013). *Joining of textiles: Principles and applications*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Šunjka, S. (2001). *Radni materijal za ispitivanje tekstila*. Zrenjanin: Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“.
- Šunjka, S. i Petrović, V. (1996). *Tehnologija netkanog tekstila*. Zrenjanin: Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“.
- Szycher, M. (1999) *Szycher's handbook of polyurethanes*. Boca Raton: CRC Press.
- Teixeira, N. A., Platt, M. M., i Hamburger, W. J. (1955). Mechanics of elastic performance of textile materials: Part XII: Relation of certain geometric factors to the tear strength of woven fabrics. *Textile Research Journal*, 25(10), 838–861. <https://doi.org/10.1177/004051755502501003>
- Telipan, G., Ignat, M., Catanescu, L. i Moasa, B. (2014). Electrostatic discharge testing of several ESD protective textiles used in electronic industry, u: 2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE). Iasi, Romania: IEEE, str. 602–605. <https://doi.org/10.1109/ICEPE.2014.6969980>
- Temneanu, M., Ardeleanu, A., Yilmaz, A., i Penciu, M. (2013). Estimating ESD properties of fabrics based on correlation between dielectric losses and charge decay time. *Advanced Materials Research*, 837, 688–693. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.837.688>

- Triki, E., Vu-Khanh, T., Nguyen-Tri, P. i Boukehili, H. (2012). Mechanics and mechanisms of tear resistance of woven fabrics. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 66, 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2012.08.004>
- Uddin, F., Gurarda, A., Duru Cimilli, S., Praček, S., Pušnik, N. i Zulkeflee, A. (2019). *Textile manufacturing processes*. Rijeka: IntechOpen.
- Urošević, S. (2011). Perspektive razvoja i upotrebe tehničkih i netkanih tekstilnih materijala, u: IX Simpozijum „Savremene tehnologije i privredni razvoj“. Leskovac: Zbornik radova Tehnološkog fakulteta u Leskovcu, str. 261–269.
- Vilhanová, A., Langová, N., Kłos, R., i Máchová, E. (2022). The effect of selected factors on the strength of stitches of upholstery faux leather. *Materials*, 15(19), 6585. <https://doi.org/10.3390/ma15196585>
- Vladen, M. (1950) Tehnologija tekstilne proizvodnje. 2. dio. Zagreb: Tehnička knjiga.
- Vlaović, Z. (2009) Činitelj udobnosti uredskih stolica. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.
- Xiaoming, T. (2001) Smart fibres, fabrics and clothing: Fundamentals and applications. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Zhang, X. (2011). Antistatic and conductive textiles. In *Functional textiles for improved performance, protection and health* (pp. 27–44). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857092878.27>
- Živičnjak, J. (2022). Applicable measurement systems for determining the amount of electrostatic charge generated on textile materials. *Tekstil: časopis za tekstilnu i odjevnu tehnologiju*, 71(2), 113–119.

BIOGRAFIJA

Ime i prezime: Danica (rođ. Bulat) Švraka

Datum i mjesto rođenja: 27.07.1982, Subotica, Srbija

E-mail: danica.bulat@gmail.com

OBRAZOVANJE

Osnovne akademske studije (2004–2007)

Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin

Studijski program: Dizajn i projektovanje tekstila i odeće

Zvanje: Diplomirani tekstilni inženjer za dizajn i projektovanje tekstila i odeće

Završni rad: *Analiza operacija rada u procesu proizvodnje sportske odeće*

Datum odbrane završnog rada: 22.12.2007

Strukovne studije (2000–2004)

Viša tehnička škola, Zrenjanin

Odsek/Smer: Tehnološki/ Tekstilna konfekcija

Zvanje: Inženjer tekstilne konfekcije

Završni rad: *Kreativno-konstruktivno rešenje ženskog kaputa za kolekciju jesen–zima 2004*

Datum odbrane završnog rada: 01.06.2004

Srednja škola (1997–2000)

Hemijsko-tehnološka srednja škola „Lazar Nešić“, Subotica

Obrazovni profil: Tekstilstvo i kožarstvo – konfektionar

Osnovna škola (1989–1997)

Osnovna škola „Vuk Stefanović Karadžić“, Bajmok

RADNO ISKUSTVO

- **01.09.2021 –**

JU Srednja stručna i tehnička škola Gradiška

Radno mesto: Nastavnik stručnih predmeta u oblasti tekstilstva i kožarstva

- **01.03.2021 – 01.12.2024** (Krojačka radnja „Jass“, s.p. Danica Švraka)

- **01.09.2020 – 20.08.2021** („Lion“ d.o.o, Gradiška)

Radno mesto: Kontrolor kvaliteta tekstilnih materijala

- **17.09.2012 – 30.07.2018** („Konfekcija Gončin“ d.o.o, Gradiška)
Radno mesto: Konstruktor – modelar odeće
- **01.02.2012 – 10.09.2012** („Spring“ d.o.o, Gradiška)
Radno mesto: Rukovodilac smene u pogonu šivaone
- **04.04.2007 – 26.09.2011** („Golden Garden“ d.o.o, Subotica)
Radno mesto: Referent izvoza i uvoza
- **01.07.2004 – 01.12.2006** (Fabrika pozamanterije i tepiha A.D. „Mladost“ Subotica)
Radno mesto: Rukovodilac proizvodnog pogona tkačnica

Veštine i kompetencije

Računarski programi: Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), Müller, Modaris, Diamino, AutoCAD, CorelDRAW, Canva.

Poznavanje stranih jezika: Engleski, Nemački – početni nivo

Lične osobine: Društvena, ambiciozna, odgovorna, kreativna, komunikativna, organizovana.

Danica Švraka

UNIVERZITETU U BANJOJ LUCI

PODACI O AUTORU ODBRANJENOG MASTER/MAGISTARSKOG RADA

Ime i prezime autora master/magistarskog rada: *Danica Švraka*

Datum, mjesto i država rođenja autora: *27.07.1982, Subotica, Srbija*

Naziv završenog fakulteta autora i godina diplomiranja: *Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2007*

Datum odbrane završnog/diplomskog rada autora: *22.12.2007*

Naslov završnog/diplomskog rada autora: *Analiza operacija rada u procesu proizvodnje sportske odeće*

Akademsko zvanje koje je autor stekao odbranom završnog/diplomskog rada: *Diplomirani tekstilni inženjer za dizajn i projektovanje tekstila i odeće*

Akademsko zvanje koje je autor stekao odbranom master/magistarskog rada: *Master tekstilne tehnologije*

Naziv fakulteta na kome je master/magistarski rad odbranjen: *Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet*

Naslov master/magistarskog rada i datum odbrane: *Mehanička i električna svojstva šavova u zavisnosti od vrste konca i obrade materijala*

Naučna oblast master/magistarskog rada prema CERIF šifrniku: *T 470 Tekstilna tehnologija*

Imena mentora i članova komisije za odbranu master/magistarskog rada:

1. Dr Dragana Grujić, red. prof., mentor I
2. Dr Blanka Škipina, vanr. prof., mentor II
3. Dr Svjetlana Janjić, red. prof., predsjednik
4. Dr Biljana Lazić, vanr. prof., član
5. Dr Miroslav Dragić, vanr. prof., član.

Zamjenski član komisije za odbranu master rada:

Dr Aleksandar Savić, red. prof., član

U Banjoj Luci, dana 24.04.2026.



Dekan

[Signature]
Prof. dr Borislav Malinović

Izjava 1

IZJAVA O AUTORSTVU

Izjavljujem da je
master/magistarski rad

Naslov rada na srpskom jeziku:

Mehanička i električna svojstva šavova u zavisnosti od vrste konca i obrade materijala

Naslov rada na engleskom jeziku:

Mechanical and electrical properties of seams depending on the type of thread and material treatment

- ☐ rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- ☐ da master/magistarski rad, u cjelini ili u dijelovima, nije bio predložen za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- ☐ da su rezultati korektno navedeni i
- ☐ da nisam kršila autorska prava i koristila intelektualnu svojinu drugih lica.

U Banjoj Luci 15.04.2026.

Potpis kandidata

Danica Švraka

Danica Švraka

Izjava 2

Izjava kojom se ovlašćuje Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjoj Luci da master/magistarski rad učini javno dostupnim

Ovlašćujem Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjoj Luci da moj master/magistarski rad, pod naslovom

MEHANIČKA I ELEKTRIČNA SVOJSTVA ŠAVOVA U ZAVISNOSTI OD VRSTE KONCA I OBRADE MATERIJALA

koji je moje autorsko djelo, učini javno dostupnim.

Master/magistarski rad sa svim prilogima predala sam u elektronskom formatu, pogodnom za trajno arhiviranje.

Moj master/magistarski rad, pohranjen u *digitalni repozitorijum* Univerziteta u Banjoj Luci, mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (*Creative Commons*), za koju sam se odlučila.

1. Autorstvo
2. Autorstvo - nekomercijalno
3. Autorstvo - nekomercijalno - bez prerade
4. Autorstvo - nekomercijalno - dijeliti pod istim uslovima
5. Autorstvo - bez prerade
6. Autorstvo - dijeliti pod istim uslovima

U Banjoj Luci 15. 04. 2026.

Potpis kandidata

Danica Švraka
Danica Švraka

Izjava 3

Izjava o identičnosti štampane i elektronske verzije master/magistarskog rada

Ime i prezime autora: Danica Švraka

Naslov rada: MEHANIČKA I ELEKTRIČNA SVOJSTVA ŠAVOVA U ZAVISNOSTI OD
VRSTE KONCA I OBRADE MATERIJALA

Mentor I: Dr Dragana Grujić, red. prof.

Mentor II: Dr Blanka Škipina, vanr. prof.

Izjavljujem da je štampana verzija mog master/magistarskog rada identična elektronskoj verziji koju sam predala za digitalni repozitorijum Univerziteta u Banjoj Luci.

U Banjoj Luci 15.04.2026.

Potpis kandidata

Danica Švraka

Danica Švraka

NAUČNO-NASTAVNOM VIJEĆU
TEHNOLOŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BANJOJ LUCI

UNIVERZITET U BANJOJ LUCI TEHNOLOŠKI FAKULTET BANJA LUKA		
Primljeno: 01.04.2026.		PRILOGA:
ORG. JED.	BROJ	ARH. ŠIFRA
15/3	517/26	
		VRHJEDNOST:

PREDMET: Izvještaj Komisije o ocjeni urađenog završnog (master) rada kandidata Danice Švraka, dipl. inž. tekstilnog inženjerstva

Odlukom Nastavno-naučnog vijeća Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci broj 15/3.392-3/26 od 12.03.2026. godine imenovani smo u Komisiju za ocjenu i odbranu urađenog završnog (master) rada kandidata Danice Švraka, diplomiranog inženjera tekstilnog inženjerstva, pod naslovom „**Mehanička i električna svojstva šavova u zavisnosti od vrste konca i obrade materijala**“.

Komisija u sastavu:

1. Dr Svjetlana Janjić, redovni profesor, Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, uža naučna oblast Tekstilne tehnologije i inženjerstvo, predsjednik,
2. Dr Dragana Grujić, redovni profesor, Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, uža naučna oblast Tekstilne tehnologije i inženjerstvo, mentor I,
3. Dr Blanka Škipina, vanredni profesor, Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, uža naučna oblast Fizika kondenzovane materije (uključujući fiziku čvrstog tijela, superprovodivost), mentor II,
4. Dr Biljana Lazić, vanredni profesor, Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, uža naučna oblast Tekstilne tehnologije i inženjerstvo, član i
5. Dr Miroslav Dragić, vanredni profesor, Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, uža naučna oblast Industrijsko inženjerstvo i menadžment, član

pregledala je dostavljeni završni (master) rad i Nastavno-naučnom vijeću Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci podnosi sljedeći

IZVJEŠTAJ

Završni rad na studiju drugog ciklusa (master rad) kandidata Danice Švraka, dipl. inž. tekstilnog inženjerstva napisan je na 122 stranice teksta, ilustriranog sa 36 slika i 26 tabela uz 122 literaturna navoda. Rad je napisan jasno i pregledno kroz sljedeća poglavlja: **Uvod, Teorijski dio, Eksperimentalni dio, Rezultati i diskusija, Zaključak i Literatura.**

UVOD I TEORIJSKI DIO

Savremeni razvoj tehničkog i pametnog tekstila uslovio je potrebu za materijalima koji, pored mehaničke pouzdanosti, posjeduju i jasno definisana električna i dielektrična svojstva. Poseban izazov predstavlja obezbjeđivanje stabilnosti u djelovima proizvoda koji su konstruktivno najosjetljiviji, tj. u šavovima. Šav je područje gdje dolazi do lokalnih koncentracija naprezanja, prekida kontinuiteta materijala i potencijalne promjene električnih svojstava. Zbog toga šav ima presudnu ulogu u ukupnoj funkcionalnosti tekstilnog proizvoda, naročito u tehničkim i

industrijskim sistemima u kojima se kombinuju mehanička opterećenja i prisustvo električnog polja. U proizvodnim pogonima elektronike i laboratorijama za mjerenje i kontrolu, zahtjeva se da tekstilni elementi enterijera poseduju stabilne antistatičke i disipativne karakteristike. Šavovi na ovim elementima često predstavljaju najslabiju tačku, jer njihova električna svojstva direktno zavise od vrste i strukture korišćenog konca. Ukoliko konac nema kontrolisanu disipativnost ili narušava električnu stabilnost materijala, šav može postati izvor rizika, što može dovesti do oštećenja elektronskih komponenti, poremećaja osjetljive mjerne opreme ili ugrožavanja bezbjednosti radnika. Iz navedenih razloga u tehničkom nameštaju i tekstilnim komponentama koje se koriste u električnim i elektroosetljivim prostorima sve se više primjenjuju konci koji imaju jasno definisane antistatičke i disipativne karakteristike.

U teorijskom dijelu master rada opisane su metode za postizanje antistatičkih i ESD svojstava tekstila, kao i primjena ESD tekstila u konstrukciji radnih stolica, te prikazani postignuti rezultati i stanje u navedenom području istraživanja, uz korišćenje relevantne i aktuelne literature. Kroz odgovarajuća poglavlja obrađene su sirovine za izradu materijala za tapaciranje (pređe, tkanine, pletenine, netkani tekstil, poliuretanska spužva, kompoziti), šivaći konci (vrste i namjena), šivaće igle (vrhovi, površinske obrade i karakteristike igala za izbjegavanje problema pri šivenju), šivaći bodovi i šavovi i mašine za šivenje tapaciranog namještaja. Posebno je istaknuta primjena tehničkog tekstila u industrijskim sistemima, što je dovelo do povećane potražnje za materijalima koji istovremeno obezbeđuju mehaničku stabilnost i kontrolisana električna svojstva.

HIPOTEZE I CILJ RADA

Na osnovu stručne literature koja izučava mehanička i dielektrična svojstva šavova, kao i na osnovu određenih zapažanja u toku preliminarnih ispitivanja, kandidatkinja je istraživanja zasnovala na sledećim hipotezama:

- 1) Prekidna jačina i izduženje šava, kao i njegova površinska otpornost u značajnoj mjeri zavisi od vrste primjenjenog konca za šivenje.
- 2) Šavovi izrađeni filamentnim koncima pokazuju veću prekidnu jačinu u šavu u odnosu na šavove izrađene pređenim koncima.
- 3) Poliamidni filamentni konac obložen srebrom se odlikuje dobrom provodljivošću, ali ima slabija mehanička svojstva.
- 4) Tkanine obrađene grafitom postižu svojstva koja se mogu uvrstiti u ESD područje primjene.

Istraživanja u ovom master radu su imala za cilj da doprinesu boljem razumjevanju ponašanja šavova u primjenama gdje su istovremeno važni mehanička pouzdanost, dielektrička stabilnost i potencijalna električna funkcionalnost. Dobijeni rezultati mogu poslužiti kao smjernice pri izboru optimalne vrste konca za tehničke tekstilne konstrukcije, posebno u oblastima kao što su antistatička zaštita, elektronika, energetika, pametni tekstil i specijalizovani tehnički nameštaj.

MATERIJALI I METODE RADA

Materijali korišteni u istraživanjima su: kompozitna tkanina *Titan*, netkani materijal *Retex*, poliuretanske spužve različitih debljina i konci: poliamidni filamentni konac obložen srebrom (PA-Ag), poliamidni filamentni konac (PA), poliesterski filamentni konac (PES) i poliesterski pređeni konac (PES-P). U procesima obrade tekstilnih materijala korišteni su grafit i aktivni ugalj.

U master radu detaljno su opisane metode pripreme i obrade uzoraka, kao i metode i uređaji za

analizu svojstava materijala:

- Priprema i šivenje uzoraka za ispitivanje;
- Modifikacija uzoraka grafitom u ultrazvučnom kupatilu;
- Modifikacija tkanine grafitom i aktivnim ugljem postupkom premazivanja (coating);
- Ispitivanje mehaničkih svojstava poliuretanske spužve (ISO 2439:2008);
- Ispitivanje gustine poliuretanske spužve (ISO 845:2006);
- Ispitivanje debljine materijala (BAS EN ISO 5084:2015);
- Ispitivanje površinske mase tkanine (BAS ISO 3801:2016);
- Ispitivanje otpornosti tkanine na habanje (HRN EN ISO 12947-2:1998);
- Ispitivanje postojanosti obojenja (ISO 20433 Metoda C);
- Ispitivanje usklađenosti boja (ASTM D1729);
- Ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja konca (EN ISO 2062);
- Ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja tkanine (EN ISO 13934 – 1);
- Ispitivanje prekidne jačine i prekidnog izduženja šava (EN ISO 13936 – 1);
- Ispitivanje statičkog elektriciteta (AATCCTM 115);
- Ispitivanje površinske otpornosti pomoću pločastih elektroda (EN 1149-1);
- Ispitivanje dielektričnih svojstava konca, tkanine i šava (mjerni LCR most).

REZULTATI RADA I DISKUSIJA

Rezultati ispitivanja šavova jasno pokazuju da struktura konca i pravac opterećenja dominantno određuju mehanička svojstva šava. Najveći uticaj na mehanička svojstva šava ima struktura konca, zatim sirovinski sastav i funkcionalna modifikacija, dok pravac opterećenja dominantno utiče na deformaciono ponašanje sistema šav–tkanina. Analiza rezultata ispitivanja konaca pokazuje da filamentni PA i PES konci ostvaruju znatno veće vrijednosti prekidne sile u odnosu na PA-Ag i predeni PES-P konac. Ovi rezultati potvrđuju da kontinuirana filamentna struktura omogućava efikasniji prenos naprezanja i stabilniju raspodjelu napona unutar šava. Ispitivanja tkanine pokazuju izraženu anizotropiju mehaničkih svojstava. Niti osnove preuzimaju dominantnu nosivu funkciju (veća prekidna sila), dok potka omogućava veću deformabilnost (veće prekidno izduženje). Ova razlika u čvrstoći i izduženju direktno utiče na ponašanje šava.

Specifične provodljivosti šivaćih konaca predstavljaju referentnu osnovu za analizu ponašanja konca u strukturi tkanine i šava. Rezultati ukazuju na izrazitu razliku u električnim svojstvima ispitivanih konaca. PA-Ag konac pokazuje veoma nisku električnu otpornost ($146,4 \Omega/\text{m}$), uz minimalnu varijabilnost rezultata ($CV = 0,41\%$), što potvrđuje homogenu raspodelu provodnih srebrnih vlakana i stabilnu provodljivost duž niti. Ostali konci (PA, PES, PES-P i PES-P(G)) pokazuju otpornost veću od $10^9 \Omega/\text{m}$, čime se svrstavaju u grupu izolacionih materijala.

Površinska otpornost tekstilnih materijala i šavova značajan je parametar za antistatičke i funkcionalne tkanine, posebno kod tapaciranog nameštaja koji može biti izložen elektrostatičkom naelektrisanju. Rezultati pokazuju da raspored i konfiguracija prošivanja provodnog konca imaju presudan uticaj na električna svojstva tekstilne strukture. Dok je površinska otpornost tkanine (T) u oblasti stotina $M\Omega$, uzorci T(PA-Ag/P) i T(PA-Ag/M) pokazuju drastičan pad otpornosti na nivo od nekoliko Ω . Ovakav rezultat potvrđuje da kontinuitet i prostorni raspored provodnog konca predstavljaju značajan faktor za formiranje efikasne provodne mreže unutar tekstilne strukture.

U cilju analize uticaja površinskih modifikacija na električna svojstva, ispitana je površinska

otpornost tkanina obrađenih grafitom i aktivnim ugljem. Rezultati potvrđuju da koncentracija provodnog punila ima presudan uticaj na električna svojstva tekstilne strukture, a formiranje provodne mreže nastupa tek nakon dostizanja kritične koncentracije. Ispod tog praga čestice su izolovane i sistem zadržava izolatorsko ponašanje, dok iznad praga dolazi do eksponencijalnog smanjenja otpornosti.

Rezultati ispitivanja statičkog elektriciteta pokazali su da ispitivani uzorci tkanine, kako osnovni tako i oni prošiveni različitim vrstama šivaćih konaca, ne pokazuju sklonost ka stvaranju statičkog elektriciteta niti tendenciju neugodnog prijanjanja uz metalnu površinu. Ovakvi rezultati potvrđuju povoljna antistatička svojstva ispitivanih materijala i ukazuju da primjena različitih vrsta šivaćih konaca, uključujući provodni konac PA-Ag, ne narušava elektrostatičko ponašanje tkanine u uslovima simulacije kontakta sa ljudskim telom.

Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja, a uzimajući u obzir da je cilj istraživanja u ovom master radu bio dobiti ESD tekstilni sistem odgovarajućih mehaničkih i električnih svojstava; razvijajući obrade i definišući konfiguracije prošivanja tkanina različitim vrstama konaca; može se reći da je kandidat ispunio cilj istraživanja i dokazao postavljene hipoteze.

ZAKLJUČAK I PRIJEDLOG KOMISIJE

Imajući u vidu sve navedeno, Komisija je jednoglasno dala svoje pozitivno mišljenje o završnom radu na studiju drugog ciklusa (master radu) kandidata **Danice Švraka**, dipl. inž. tekstilnog inženjerstva, pod naslovom „**Mehanička i električna svojstva šavova u zavisnosti od vrste konca i obrade materijala**“ i predlaže Naučno-nastavnom vijeću Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci da odobri javnu odbranu rada.

Banja Luka, 31.03. 2026. godine

Članovi Komisije:

-
1. Dr Svjetlana Janjić, redovni profesor, predsjednik
-
2. Dr Dragana Grujić, redovni profesor, mentor I
-
3. Dr Blanka Škipina, vanredni prof., mentor II
-
4. Dr Biljana Lazić, vanredni profesor, član
-
5. Dr Miroslav Dragić, vanredni profesor, član