

Utjecaj naknadne obrade u pranju poliesterske tkanine

Petek, Dora

Master's thesis / Diplomski rad

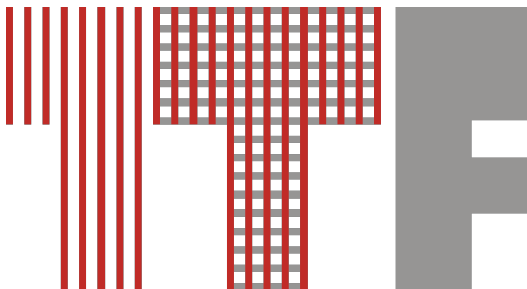
2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Textile Technology / Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:201:375295>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-25**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ NAKNADNE OBRADNE U PRANJU POLIESTERSKE
TKANINE**

DORA PETEK

Zagreb, prosinac 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
Zavod za tekstilnu kemiju i ekologiju

DIPLOMSKI RAD

UTJECAJ NAKNADNE OBRADNE U PRANJU POLIESTERSKE
TKANINE

Mentor:
prof. dr. sc. Tanja Pušić

Izradila:
Dora Petek
Matični broj:
0117225552/TTI

Zagreb, prosinac 2021.

Završni rad je izrađen na Sveučilištu u Zagrebu Tekstilno-tehnološkom fakultetu u Zavodu za tekstilnu kemiju i ekologiju.

MENTOR: prof. dr. sc. Tanja Pušić

BROJ STRANICA: 60

BROJ TABLICA: 33

BROJ SLIKA: 37

BROJ LITERATURNIH IZVORI: 23

Članovi povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada

1. Doc. dr. sc. Tihana Dekanić, predsjednik
2. Prof. dr. sc. Tanja Pušić, mentor
3. Prof. dr. sc. Mirjana Čurlin, član
4. Prof. dr. sc. Sandra Bischof, zamjenik člana

Datum predaje rada:

Datum obrane rada:



Ovaj rad izrađen je u Zavodu za tekstilnu kemiju i ekologiju u sklopu projekta Hrvatske zaklade za znanost, IP-2020-02-7575: ***Procjena otpuštanja čestica mikroplastike iz sintetskih tekstilija u procesu pranja*** (InWaShed-MP).

ZAHVALA

Zahvaljujem svojoj mentorici prof. dr. sc. Tanji Pušić koja je tijekom cijelog studija pa tako i u izradi ovog rada bila podrška i potpora, koja je bila profesor, roditelj i prijatelj. Zahvaljujem asistentici Tei Kaurin na susretljivost i pomoći u realizaciji eksperimentalnog djela rada.

Zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima koji su svojom podrškom i ljubavi uljepšali i olakšali moje studentske dane.

Hvala svima od srca.

SAŽETAK

U radu je ispitan utjecaj naknadne obrade silikonskim omekšivačima nakon pranja poliesterske tkanine crvenog, plavog i bijelog tona. Na neobrađenim, opranim i opranim te naknadno omekšanim poliesterskim tkaninama ocijenjen je opip na uređaju za objektivno vrednovanje, FTT (*Fabric Touch Tester*). Dodatno je analizirana pH površine i spektralne karakteristike. Svojstva analiziranih bijelih, plavih i crvenih poliesterskih tkanina na temelju FTT parametara nisu jednoznačno promijenjena. Silikonski omekšivač Evo® Soft VSJ (OA) u analiziranim uvjetima pokazao bolji učinak na opip nego omekšivač Liosil® HC 603 E. Pranje/omekšavanje plave poliesterske tkanine utječe na veće promjene spektralnih veličina u odnosu na pranje. Omekšivač OA ima bolji profil u odnosu na OB. Pranje crvene poliesterske tkanine kroz 1 i 3 ciklusa utječe na neznatnu ukupnu razliku u boji u odnosu na neobrađenu. Pranje/omekšavanje utječe na veće promjene spektralnih veličina, a omekšivač OA ima bolji profil u odnosu na OB. Ciklusi pranja i pranja/omekšavanja ne utječu na pad bjeline bijele tkanine, što se može smatrati povoljnim svojstvima analiziranih omekšivača.

Ključne riječi: poliestar, deterđent, omekšivač, opip, spektralne karakteristike

SUMMARY

The paper examines the effect of after-treatment with silicone softeners after washing of red, blue and white polyester fabrics. Touch was evaluated by device for objective evaluation, FTT (*Fabric Touch Tester*), on untreated, washed and washed and subsequently softened polyester fabrics. Surface pH and spectral characteristics were additionally analyzed. The properties of white, blue and red polyester fabrics based on FTT parameters were not unambiguously changed. The Evo® Soft VSJ (OA) silicone fabric softener showed a better tactile effect under the analyzed conditions than the Liosil® HC 603 E fabric softener. Washing and softening of blue polyester fabric affects larger changes in spectral values compared to washed. OA softener had a better profile compared to OB. Washing of red polyester fabric through 1 and 3 cycles affects a slight total difference in color compared to pristine. Impact of washing and softening affects larger changes in spectral values, where the softener OA had a better profile compared to OB. The washing and washing with softening cycles do not affect the whiteness degree of the white fabric, which can be considered as favorable properties of the analyzed softeners.

Key words: polyester, detergent, softener, touch, spectral parameters

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORETSKI DIO	2
2.1. Poliesterske tekstilije.....	2
2.2. Omekšivači	6
2.2.1. Povijesni razvoj omekšivača.....	8
2.2.2. Sastav omekšivača.....	9
2.2.2.1. Tenzidi	9
2.2.2.1.1. <i>Modifikacija tenzidnih formulacija omekšivača</i>	10
2.2.2.2. Gline	12
2.2.2.3. Polimeri - Silikoni	12
2.2.2.3.1. <i>Modificirani polisiloksani</i>	13
2.2.3. Adsorpcija omekšivača.....	16
2.2.3.1. Mehanizmi adsorpcije	17
2.3. Analiza funkcionalnih svojstava	20
2.3.1. Vrijeme kvašenja	20
2.3.2. Hidrofilnost – Određivanje sposobnosti kvašenja tkanina.....	21
2.3.3. Samozaglađivanje tkanina nakon pranja i sušenja	21
2.3.4. Objektivno vrednovanje opipa	23
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	25
3.1. Materijal	25
3.2. Sredstva.....	26
3.3. Postupak rada.....	28
3.4. Metode i uređaji	30
3.4.1. Vrednovanje opipa.....	30
3.4.2. Karakterizacija površine – pH.....	34
3.4.3. Određivanje spektralnih karakteristika.....	34
4. REZULTATI I RASPRAVA	36
5. ZAKLJUČAK	58
6. LITERATURA.....	59

1. UVOD

Održivost u tekstilnoj tehnologiji iziskuje sinergiju tehnologije i ekologije. Provjera ovog koncepta iziskuje objektivan pristup kroz primjenu metoda za ocjenu tehnološke postojanosti i utjecaja na okoliš. Jedan od globalnih problema u posljednjem desetljeću prisutnost je čestica mikroplastike u okolišu (efluenti, zrak, tlo, stijene), a prema istraživačkim nalazima procijenjeno je da oko 30% ovih čestica dopijeva u okoliš kroz proces pranja poliesterskih tekstilija [1].

Tendencija otpuštanja ovih čestica ovisi o svojstvima tekstilija, uvjetima tehnološkog procesa i uporabnog ciklusa. Da bi se smanjio udio otpuštenih vlakana, koja prema novim istraživanjima imaju nepovoljan utjecaj na okoliš, potrebno je raditi na prevenciji. Jedan od mogućih rješenja za smanjenje otpuštanja mikroplastike iz sintetskih tekstilija je obrada funkcionalnim sredstvima, npr. omekšivačima koji mogu smanjiti trenje između pojedinačnih vlakana i između vlakana i metalnih dijelova strojeva u procesu pranja.

U ovom radu je analiziran utjecaj naknadne obrade omekšivačima na svojstva tri poliesterske tkanine izrađene od rezanih vlakana. Odabrana su dva silikonska omekšivača koja su dodana nakon 1., 2. i 3. ciklusa pranja. Učinak naknadne obrade omekšivačima ocijenjen je kroz usporedbu svojstava oprane poliesterske tkanine pri čemu su varirani:

- vrste poliesterske tkanine (bijela, plava i crvena)
- omekšivači (2 silikonska različitih proizvođača)
- slijed operacija (pranje i pranje uz omekšavanje)
- broj ciklusa (0, 1, 3)

Rezultati analize poliesterskih tkanina prije i nakon 1., 2., 3. ciklusa pranja, te 1., 2., 3. pranja i omekšavanja vrednovane su primjenom tri metode. Prva metoda za vrednovanje opipa na uređaju FTT (*Fabric Touch Tester*) obuhvatila je analizu svojstava savijanja, površinskog trenja, površinsku hrapavost, kompresiju i toplinsku vodljivost; druga metoda mjerenje pH površine primjenom kontaktne elektrode, a treća je spektralna metoda temeljem koje je određen utjecaj pranja i omekšavanja na stupanj bjeline bijelih tkanina, te svjetlinu, zasićenje, ton i ukupnu razliku u boji tretiranih crvenih i plavih u odnosu na neobrađene poliesterske tkanine crvenog i plavog tona.

Svojstva analiziranih bijelih, plavih i crvenih poliesterskih tkanina na temelju FTT parametara nisu jednoznačno promijenjena. Silikonski omekšivač Evo® Soft VSJ (O_A) u analiziranim uvjetima pokazao bolji učinak na opip nego omekšivač Liosil® HC 603 E.

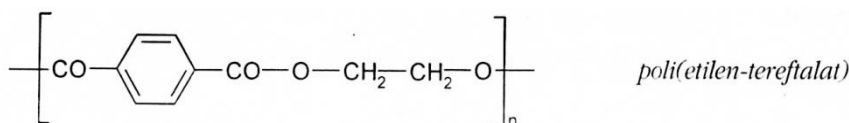
Učinak ovih obrada će u potpunosti procijeniti kroz analizu otpuštenih čestica s poliesterskih tkanina u efluent od procesa pranja, što je slijedeća faza istraživanja.

2. TEORETSKI DIO

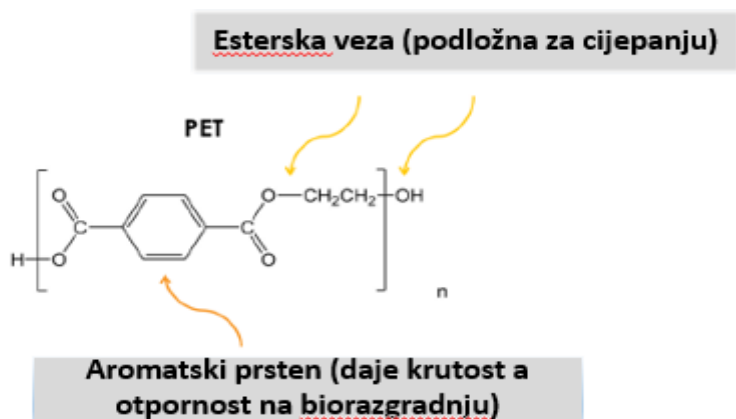
U teoretskom dijelu su obrađene poliesterske tekstilije s aspekta njege, vrste omekšivača i mehanizam adsorpcije na tekstilije, te metode vrednovanja učinaka omekšavanja.

2.1. Poliesterske tekstilije

Poliesterska vlakna građena su od linearnih poliesterskih makromolekula u kojima maseni udio estera tereftalne kiseline i dialkohola iznosi najmanje 85%. Kako bi poliester imao takva svojstva da ga se može koristiti za proizvodnju tekstilnih vlakana, najčešće se kao alkoholna komponenta uzima etilen-glikol, a kao kiselinska tereftalna kiselina, pri čemu nastaje poli(etilen-tereftalat) poznat pod komercijalnim imenom *Dacron* ili *Terilen* [2]. Esterske veze (-CO-O-) povezuju konstitucijske jedinice i upravo po tome je cijela skupina dobila naziv. Prema BISFA (*International Bureau for the Standardisation of Man-made Fibres*) međunarodna kratica poliesterskih vlakana je PES. Obzirom da je najveći udio poliesterskih vlakana po kemijskoj građi poli(etilen-tereftalat) njihova kratica je PET, slika 1 i 2 [3].

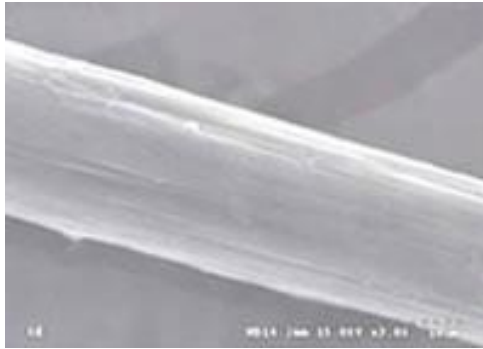


Slika 1. Strukturna formula poli(etilen-tereftalata)



Slika 2. Struktura i značajke PET-a

Na slici 3 je prikazana uzdužna mikroskopska slika PES vlakna.



Slika 3. Uzdužna mikroskopska slika PES vlakna

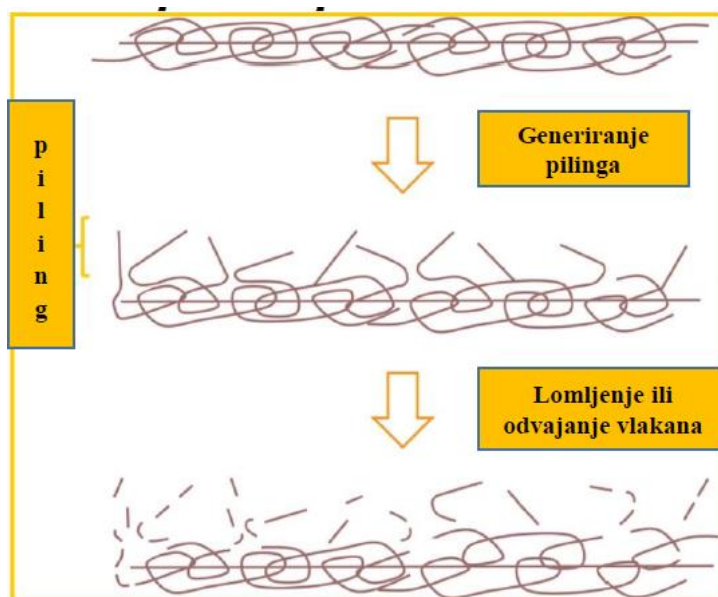
U nastavku se navode neka svojstva nemodificiranih PES vlakna:

- **Duljina:** proizvode se kao vlasak (32 – 150 mm) ili filament, ovisno o namjeni.
- **Finoća:** vlakna, ovisno o namjeni, mogu imati različite oblike poprečnog presjeka (standardni tipovi imaju glatku površinu i poprečan kružni presjek). Finoća se kreće između 1,3 – 22,0 dtex za vlasasta vlakna i 22,0 do iznad 80,0 dtex (tehnički tekstil) za filamente.
- **Čvrstoća (cN/tex):** 30 – 70 za standardne tipove vlakana i 60 – 90 za vlakna velike čvrstoće
- **Prekidno istezanje:** 20 – 30% za standardni tip vlakana i 8 – 20% za vlakna velike čvrstoće
- **Gustoća (g/cm³):** 1,38 – 1,51
- **Repriza:** slabo upijaju vodu i vlagu pa repriza iznosi oko 0,4%
- **Temperatura omekšavanja:** 230 – 240 °C
- **Kemijska svojstva:** vlakna osjetljiva prema lužinama (naročito pri povišenoj temperaturi), a otporna na kiseline, oksidativna sredstva i organska otapala [9].

Poliesterska vlakna su osjetljiva na toplinu, ukoliko su izložene temperaturama višim od temperatura toplinskog prijelaza ili temperature mekšanja tijekom sušenja ili prešanja pri glačanju kad prekomjerna toplina može prouzročiti skupljanje ili oštećenje materijala.

Poliesterske tekstilije imaju dobar elastičan oporavak. Uljne prljavštine lakše se mogu ukloniti sa pamučnih nego sa sintetskih tekstilija, npr. poliestera [4].

U sintetskim materijalima generiraju se na površini kuglice, poznate kao piling koji se najčešće pripisuje poliamidu ili poliesteru, što se može uočiti na ovratnicima tekstilija ili njihovih mješavina s prirodnim vlaknima, slika 4.



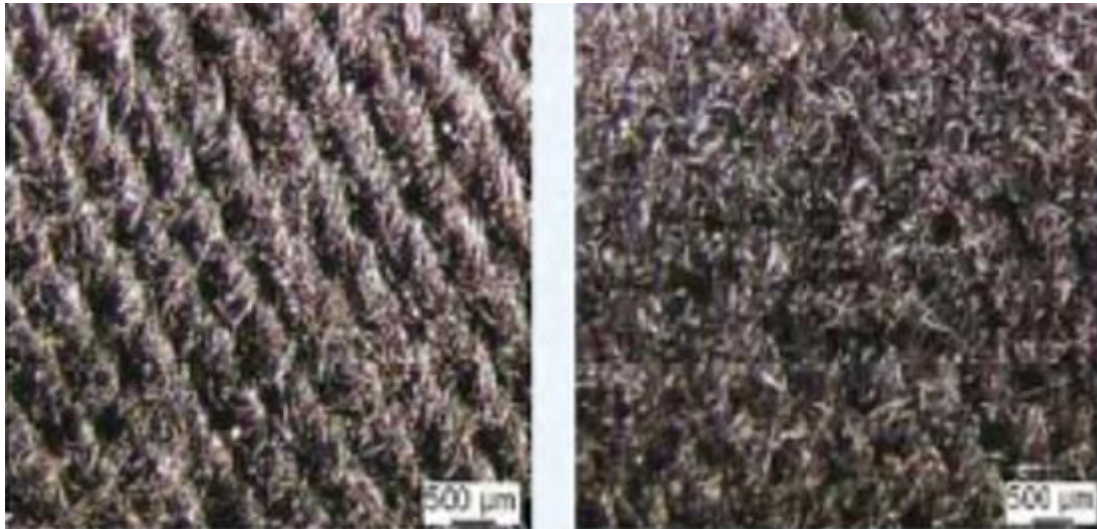
Slika 4. Piling na površini PES tekstilija [5]

Prema podacima iz starijih literaturnih navoda poliester kao hidrofobno vlakno u pranju nije izloženo degradaciji i fibrilaciji [6]. Međutim, novija istraživanja i analize ukazuju da se približno 35% sintetskih vlakana u okolišu potječe od pranja [5]. Dinamika otpuštanja mikrovlakana se povezuje s parametrima, koji su strukturirani u tablici 1.

Tablica 1. Parametri koji utječu na otpuštanje mikrovlakana iz odjeće tijekom uporabnog ciklusa [5]

Tekstilni parametri	Vrsta vlakna	Hidrofilna vlakna otpuštaju više vlakana nego sintetska Čvrstoća može također utjecati na trganje
	Karakteristike pređe	Pređe s većim brojem uvoja i duljim filamentom otpuštaju manje mikrovlakana
	Struktura tkanine	Termički rezane tkanine otpuštaju manje nego mehanički rezane tkanine Utjecaj pletene i tkanine strukture nije u potpunosti jasan
	Starost tkanine	Utjecaj nije primjenjiv jer odjeća ne prolazi potpun uporabni ciklus
Vanjski parametri	Vrsta stroja za pranje	Vertikalni doprinose više otpuštanju, iako se to dovodi s količinom vode u stroju
	Volumen vode	Viši omjeri voda/tekstil povećavaju otpuštanje
	Brzina	Nema utjecaja
	Vrijeme	Nema utjecaja
	Temperatura	Nema utjecaja
	Sušenje	Veći stupanj otpuštanja tijekom sušenja u stroju nego u pranju Postoje razlike u otpuštenim mikrovlaknima u stroju i zračnom sušenju

Da bi se smanjio udio otpuštenih vlakana, prema novim istraživanjima imaju nepovoljan utjecaj na okoliš, potrebno je raditi na prevenciji.



Slika 5. Rezultati habanja (200 ciklusa) na PES tekstiliji: a. obrađena disperzijom voska i tenzida;
b. neobrađena

Neke mogućnosti prevencije ovog fenomena su prikazane u tablici 2 [5].

Tablica 2. Neke smjernice prevencije otpuštanja mikrovlakana s poliesterskih tekstilija

Problem	Cilj	Mjera
Sirovine	Eliminirati fosilna goriva	Koristiti obnovljive izvore energije
	Smanjiti potrošnju energije	Povećati učinkovitost strojeva
		Prati na nižim temperaturama
		Izbjegavati strojnосуšenje kad je moguće
	Smanjiti potrošnju svježje vode	Prebaciti se na horizontalne strojeve za pranje
		Riješiti povrat vode u kućanstvu
Deterdženti	Proizvoditi ekološki održive deterdžente	Odabrati prikladan deterdžent prema kriterijima: <ul style="list-style-type: none"> • Produvdnja • Pakiranje • Utjecaj na okoliš • Učinak na otpuštanje mikrovlakana
Izlazi	Smanjiti opterećenje efluenta	Nametnuti sustave za pročišćevanje
Mikrovlakna	Prevencija otpuštanja mikrovlakana odjeće	Prati u optimalnim omjerima kupelji

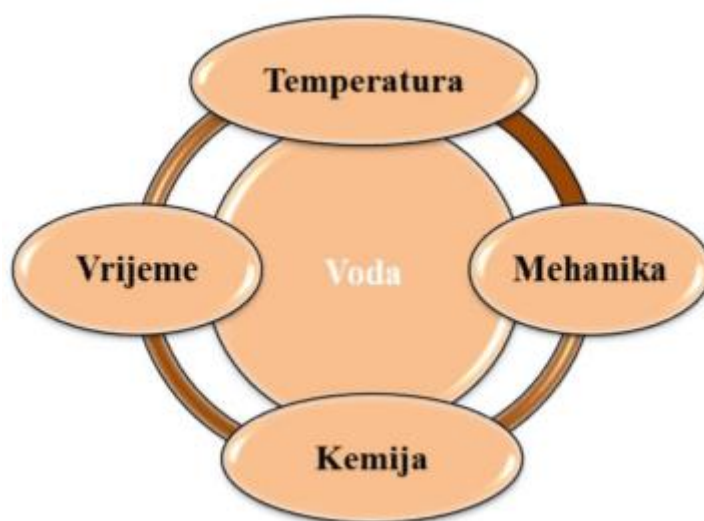
		Dati prioritet kompaktnim pređama (visoke uvojitost, dulji filament)
		Dati prioritet termičkim metodama iskrojavanja
		Standardizacija metoda za kvantifikaciju otpuštenih mikrovlakana
	Retroaktivna rješenja za otpuštanje mikrovlakana odjeće	Koristiti filtere za prihvat otpuštenih vlakana
		Koristiti zračne filtere za lov vlakana u atmosferi
		Bioremedijacija: mogu li enzimi ili mikroorganizmi biti dodani u tlo za razgradnju PET-a bez loših utjecaja na tlo?

Jedan od mogućnosti za smanjenje otpuštanja mikroplastike iz sintetskih tekstilija je obrada funkcionalnim sredstvima, npr. **omekšivači** koji mogu smanjiti trenje između pojedinačnih vlakana i između vlakana i metalnih dijelova strojeva u procesu pranja.

Primjer djelovanja funkcionalnog omekšivača na bazi voska s tenzidima vidljiv je iz mikroskopske analize tretirane i netretirane površine, slika 5.

2.2. Omekšivači

Tekstilni proizvodi tijekom njege i uporabe mijenjaju se ovisno o tehničkim karakteristikama i doradnim svojstvima, te uvjetima procesa njege i uporabe. Djelovanjem čimbenika u Sinner-ovom krugu, slika 6, mijenjaju se karakteristike tekstilija, uklanjaju apreture i preparacije, što rezultira promjenom površine, neugodnim i tvrdim opipom.



Slika 6. Sinner-ov krug procesa pranja [7]

Utjecaj tvrde vode je značajan na opip, bjelinu i hidrofilitnost višestruko opranih tekstilija. Mehanički utjecaj u pranju utječe na izvlačenje međusobno isprepletenih niti, čime se mijenja opip i izgled površine, što je naročito izražajno kod frotir tkanina [8]. Kako bi se smanjilo oštećenje i promjene uvjetovane procesom pranja, tekstilni proizvodi se naknadno obrađuju omekšivačima. U njezi se omekšivači karakteriziraju kao sredstva koja završavaju pranje ili „kozmetikom u pranju“ obzirom da poboljšavaju opip, smanjuju nastajanje statičkog elektriciteta, skraćuju vrijeme sušenja, poboljšavaju gipkost vlakna, smanjuju sklonost gužvanju, olakšavaju glačanje i daju ugodan miris i svježinu rublju. Navedena svojstva uvelike ovise o sirovinskom sastavu tekstilija. Primjerice, antistatička svojstva su važna za tekstilije od sintetskih vlakana i mješavine sintetskih i celuloznih vlakana, kod kojih se javlja statički naboj tijekom strojnog sušenja ili prilikom nošenja u atmosferskim i prostornim uvjetima s malim sadržajem vlage. Nabijanje umanjuje udobnost pri nošenju odjeće. Neki omekšivači smanjenjem sile trenja i pozitivnim nabojem mogu ukloniti naboje na površini vlakana. Oni prigušuju čimbenike Sinner-ovog kruga, pomažu u smanjenju skupljanja i u zaštiti tkanina od oštećenja zbog mehaničkog trenja u perilici rublja i kemijskog djelovanja deterdženata. Za razliku od pamuka, propusnost vodene pare poliestera nastavlja rasti do ~20%, u usporedbi s vrijednošću za neobrađenu tkaninu.

Pojam „njeza tkanina“ obuhvaća širi pojam od primjene omekšivača, a obuhvaća:

Omekšivači za tkanine

- omekšivači za naknadnu obradu nakon strojnog pranja
- omekšivač ugrađen u deterdžent, 2-u-1 za strojno pranje
- omekšivači za ručno pranje

Omekšivači za glačanje

Sredstva za omekšavanje u impregnaciji

Omekšivači za tkanine doprinose:

- mekoći
- hidrofilitnosti
- olakšanom glačanju
- manjem broju nabora
- olakšanom sušenju
- ugodnom mirisu i svježini
- njezi-zaglađivanju vlakana
- antistatičkom učinku
- zadržavanju boje
- svježini

- antialergijskom učinku

Omekšivači za glačanje

Sredstva za omekšavanje u impregnaciji

- hidrofobnost
- odbijanje prljavštine.

U skladu s navedenim svojstvima neupitna je opravdanost primjene omekšivača. Međutim, važno je poznavati tehnološke i ekološke karakteristike kao i mehanizam njihovog djelovanja.

2.2.1. Povijesni razvoj omekšivača

Najbolji rezultati omekšavanja se postižu u zadnjem ispiranju ciklusa pranja, a najprikladnije tvari desetljećima bili su kationski tenzidi [9], koji su se na tržištu pojavili 1933. Povijesno gledano, omekšivači se koriste i razvijaju od 1955., za koju se veže prvi komercijalni proizvod na američkom tržištu. Prvi komercijalni omekšivač u Europi je proizveden u Njemačkoj 1963. g. Oni su sadržavali 4-6% aktivne tvari (kationski tenzid), miris i modifikator viskoznosti. Gotovo u svim formulacijama omekšivača kationski tenzid je bio disteariladimetilamonijev klorid (DSDMAC). Sredinom sedamdesetih godina 20. stoljeća pojavile su se poboljšane formulacije omekšivača koje su sadržavale dvije različite vrste aktivne tvari. Osamdesetih godina 20. stoljeća je slijedio daljnji razvoj omekšivača kroz inovacije i potvrdu da njihova primjena ima potpuni učinak ukoliko se doda u zadnjoj vodi za ispiranje. U njihovom sastavu su i dalje dominirali kvaterni amonijevi spojevi dopunjeni tzv. ko-omekšivačima, koji su djelovali u sinergiji.

U to vrijeme na omekšivače su postavljeni slijedeći zahtjevi [10]:

- održavati bjelinu (ne smiju izazivati požućenje ili posivljenje) tekstilija,
- ne smiju utjecati na ton boje tekstilija,
- ne smiju utjecati na hidrofilitnost tekstilija,
- ne smiju izazivati koroziju metalnih dijelova stroja za pranje,
- ne smiju izazivati iritacije i alergije u kontaktu s kožom.

Daljnji razvoj koncentrata na bazi DSDMAC dolazi u pitanje jer je dokazan njegov utjecaj na vodenu floru i faunu, te loša biološka razgradivost. S obzirom na ove ekološke karakteristike, DSDMAC se polako potiskuje, a u nove formulacije se uvode esterkvati (EQ), a zamjena DSDMAC esterkvatima smatra se povijesnim preokretom u proizvodnji omekšivača. Uvođenjem EQ u formulacije omekšivača, gotovo svaki proizvođač posjeduje vlastiti aktivan sastojak [10].

Razvoj formulacija omekšivača nametnuo je specifične zahtjeve na njihovu funkcionalnost koji se sagledavaju kroz funkcionalna i ekološka svojstva [11].

Specifični zahtjevi mogu se sažeti kroz slijedeće elemente:

- aktivne molekule moraju biti polivalentne zbog raznolikosti vlakana i uvjeta upotrebe,
- ispunjavanje različitih zahtjeva tržišta,
- dostupnost tehnologija za proizvodnju omekšivača.

Omekšivačima na bazi EQ, dodatak silikona već pri niskim koncentracijama povećava kvasivost pamuka.

Modifikacijom kationskih omekšivača dodacima na bazi polialkoksilata i neionskih tenzida, koji zamjenjuju 20% kationskog tenzida u formulaciji omekšivača postiže se visoki učinak i olakšano glačanje [12].

Poboljšanje formulacija omekšivača ide u smjeru bolje stabilnosti i biorazgradivosti, pri čemu njihova adsorpcija na tekstilije ne smije oslabiti.

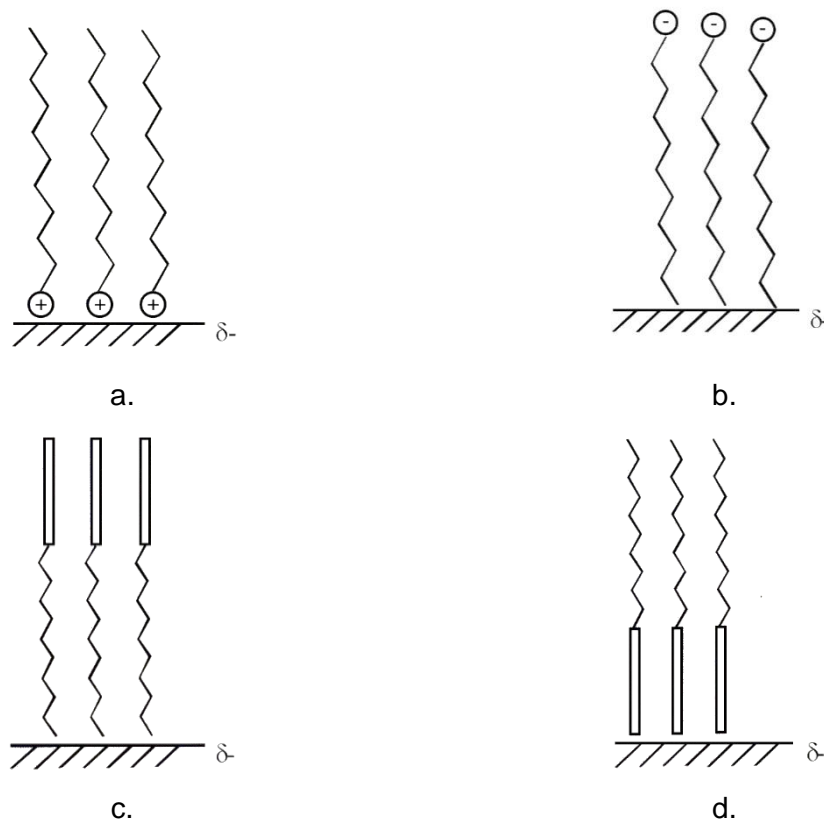
Kvantifikacija adsorpcije omekšivača je donekle otežana složenom tekstilnom strukturom, velikom aktivnom površinom koja je hrapava i porozna. Važno je napomenuti da ove značajke ovise o vrsti tekstilije, stupnju modifikacije i njenim svojstvima. Stoga, današnje formulacije omekšivača tkanine ispunjavaju dodatne zahtjeve koji se odnose na njihovu faznu i temperaturnu stabilnost, netoksičnost, biorazgradivost i reološka svojstva [13].

2.2.2. Sastav omekšivača

Zahtjevi koji se postavljaju na omekšivače kao i zakonska regulativa utječu na njihov sastav i stupanj modifikacije. Pomno biranje sastojaka ključno je radi stabilizacije u ambalaži, potrebe njihove destabilizacije zbog razrjeđenja i ravnomjeren nanos na tekstil. Aktivne tvari u omekšivačima mogu biti anorganske, organske i silikoni kao njihova kombinacija. U organske tvari ubrajaju se tenzidi, sapuni i ulja. Od anorganskih tvari je najvažniji montmorilonit koji se prvenstveno upotrebljava kao omekšivač ugrađen u deterdžent. Silikoni su sintetski polimeri spojeva silicija s organskim radikalom i kisikom.

2.2.2.1. Tenzidi

Kationski, anionski i neionski tenzidi mogu biti sadržani u formulaciji omekšivača. Ovisno o električnom naboju hidrofilnog dijela molekule, tenzidi se različito orijentiraju prema površini negativnoj površini vlakna, što je shematski prikazano na slici 7 [14].



Slika 7. Shematski prikaz orijentacije omekšivača na površinu vlakna: a. kationski omekšivač; b. anionski omekšivač; c. neionski omekšivač na hidrofobnoj površini; d. neionski omekšivač na hidrofilnoj površini [14]

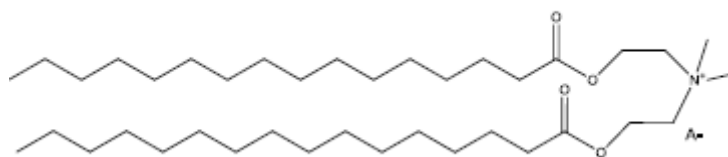
Kationski omekšivači orijentiraju se pozitivno nabijenom sku se postižu prema negativno nabijenom vlaknu, pri čemu hidrofobni lanci strše s površine, čime se postižu svojstva mekoće i glatkoće, slika 7a.

Anionski omekšivači se s druge strane orijentiraju na način da se negativno nabijena skupina odbija od površine vlakna, što dovodi do povećanja hidrofobnosti, ali se ne postiže mekoća materijala, slika 7b.

Orijentacija neionskih omekšivača ovisi o prirodi površine vlakna, hidrofilnoj skupini omekšivača koja se orijentira prema hidrofilnoj površini, slika 7d i hidrofobnog dijela koji se orijentira prema hidrofobnoj površini, slika 7c.

2.2.2.1.1. Modifikacija tenzidnih formulacija omekšivača

Kvaterni amonijevi spojevi, npr dihidrogenalowdimetilamonijev klorid (DHTDMAC) ili DSDMAC klasificira se kao štetna komponenta u omekšivačima radi slabe biorazgradljivosti. EU tržište se u skladu s tim 1991. okrenulo prema **esterkvatima** (EQ).



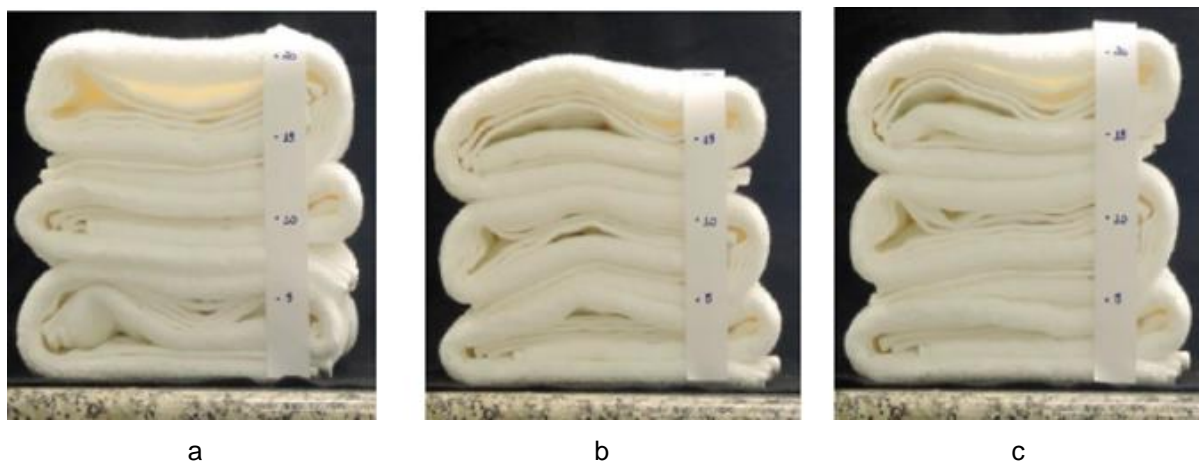
Slika 8. Esterkvat (EQ)

Međutim primjena EQ dodatno se poboljšava uvođenjem aktivnih supstanci na račun smanjenja kationskog tenzida. Učinak tako modificiranih formulacija može se vidjeti kroz olakšano glačanje, slika 9.



Slika 9. Učinkovitost poboljšane formulacije kationskog omekšivača [12]

Na slici 10 su uspoređeni ručnici nakon omekšavanja različitim formulacijama omekšivača.



Slika 10. Vizualna ocjena omekšanih ručnika: a) klasičan kationski omekšivač; b) omekšivač a. sa 20% smanjenim udjelom kationskog tenzida; c) b. formulacija s Oxisense F 1100 [12]

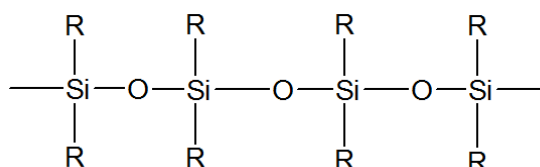
2.2.2.2. Gline

Glina je prirodni materijal sastavljen od sitnih koloidnih čestica, koja bubri u vodi i na taj način generir koloide raznih veličina, a stvrdnjava se pri sušenju ili zagrijavanju. Ove gline ograničene su na primjenu u kombinaciji proizvoda 2 u 1. Najčešće se koristi bentonit, materijal iz skupine glina koji nastaje alteracijom vulkanskog pepela, a sastoji se uglavnom od montmorilonita, jednog od minerala iz skupine glina. Čestice montmorilonita nikad ne posjeduju pravilnu strukturu kristala, nego izgledaju poput listova papira izderanog u nepravilne komadiće. Istražuje se mogućnost njihove ugradnje u konvencionalne omekšivače koji se dodaju u zadnje ispiranje [8].

2.2.2.3. Polimeri - Silikoni

Silikoni se upotrebljavaju u gotovo svim tekstilnim procesima, od ispredanja vlakana do obrade šivaćeg konca. Najvažnija uporaba su za omekšivače i elastomere, hidrofobiranje, fino naslojavanje, sredstva za klizanje šivaćeg konca, preparacije vlakana, obrada vlakana, naslojavanje kaučuka, sredstva protiv pjenjenja, sredstva za kvašenje i posrednik za prijanjanje. Omekšivači na bazi silikona imaju sve veće značenje zbog svojih izvrsnih svojstava. Primjenjuju se u oplemenjivanju liocela, kao proizvodi koji povoljno djeluju na fibrilaciju pređe, održavaju efekt *peach – skin* (površina breskvine kože), smanjuju defibrilaciju u kućnom pranju. Svrstava ih se u skupinu postojećih omekšivača, jer i nakon više pranja zadržavaju mekan i ugodan opip. Ujedinjuju svojstva anorganskih (silikata) i organskih polimera (umjetnih smola). Termički su stabilni, kemijski inertni, imaju malu promjenu viskoznosti s temperaturom i hidrofobni su.

Silikoni su sintetski polimeri spojeva silicija s organskim radikalom i kisikom. Ujedinjuju svojstva anorganskih (silikata) i organskih polimera (umjetnih smola).



Slika 11. Struktura silikona

Ime silikoni dobili su po tome što je bruto formula silikona R_2SiO slična formuli ketona $\text{R}_2\text{C=O}$. Njihova opća formula je $(\text{R}_2\text{SiO})_n$ i mogu biti linearni, ciklički i umreženi, a njihova svojstva određuju područje primjene, pri čemu R predstavlja bilo koju organsku skupinu vezanu na

siloksanski kostur, a n stupanj polimerizacije, slika 6. Na atom silicija mogu biti metilna, fenilna, vinilna, etilna, propilna, trifluoropropilna itd.

Promjena duljine lanca ili organskih skupina mijenjaju se strukture, fizikalna i kemijska svojstva silikona. Termički su stabilni, kemijski inertni, imaju malu promjenu viskoznosti s temperaturom, hidrofobni i elastični.

Silikoni se upotrebljavaju u različite svrhe, što je djelomično vezano za njihovu otpornost na visoke temperature (600°C). U tekstilnoj industriji su se silikoni najprije koristili kao maziva, a potom i kao sredstva za poboljšanje učinka obrade protiv gužvanja.

Silikoni su dobri elastomeri jer su im veze između silicijeva i dva kisikova atoma vrlo fleksibilne. Visoka fleksibilnost Si-O-Si silikonskog polimera, pokretne silikonske petlje ima zaštitni efekt prema površini vlakna.

Njihova moć **omekšavanja** je kasnije iskorištena uz ostala svojstva, poput smanjenja gužvanja tijekom pranja, olakšanog glačanja, učinka zaštite tona obojenja, zaštita vlakna od prljanja i očuvanju oblika odjevnih predmeta. Brojne prednosti polisiloksana u odnosu na neke druge spojeve se mogu pripisati prirodi siloksanske veze, koja je termodinamički gledano jedna od najstabilnijih veza. Elastični su zbog slobodne rotacije u Si-O vezama, pogotovo kada su na atom silicija vezane male organske skupine, npr metilna.

Silikoni se mogu naći u raznim oblicima, npr. silikonske tekućine (PDMS), aminosilikoni/amidosilikoni i silikonske emulzije.

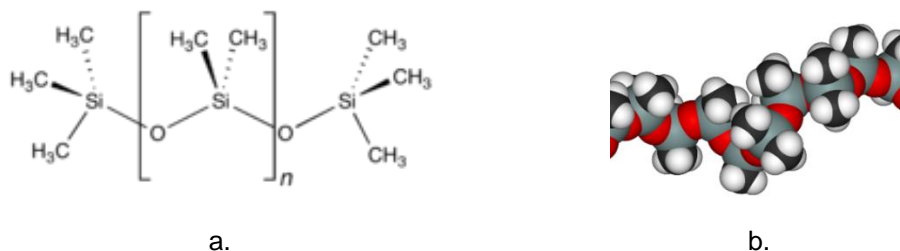
Silikonske emulzije zauzimaju raspon od nereaktivnih do reaktivnih, umreživih silikona. Neumreživi silikoni imaju izrazito svojstvo klizavosti, kako na površini vlakna tako i u vlaknu, čime se poboljšava čvrstoća tekstilnog materijala. Povoljno djeluju na suhe/mehaničke procese oplemenjivanja kao što su čupavljenje i brušenje, olakšavaju šivanje i krojenje. Dimetil – siloksan je osnovni model silikonskih elastomera. Pomoću podesnog katalizatora ovi proizvodi mogu proizvesti elastične filmove zajedno s hidrogensiloksanom kao omekšivačem slično kaučuku. Obrada ovom kombinacijom materijala daje elastičan, mekani opip, pri čemu je važno održavanje kisele pH vrijednosti, ne samo u kupelji već i na materijalu.

Razvoj jednokomponentnih silikonskih elastomera značajno je poboljšao sigurnost primjene ovih proizvoda.

2.2.2.3.1. *Modificirani polisiloksani*

Modifikacijom osnovnog modela polisiloksana postignute su varijacije s ciljem postizanja specifičnih učinaka. Uvođenjem amino skupina u molekulu siloksana postignuto je značajno

povećanje efekta mekanog opipa i često se opisuje svojstvom „*supersoft*“. Duljina Si-O veze u polidimetilsiloksanu (PDMS) iznosi 1,64 Å, čime je ona dulja u odnosu na tipične organske veze, npr. duljinu C-C veze koja iznosi 1,54 Å. Za PDMS koji je prikazan na slici 7, kutevi valencija u vezama Si-O-Si i O-Si-O su približno 143° i 110° ± 10°, koji je znatno veći u odnosu na tipičan tetraedarski kut od približno 111°. Ova činjenica u kombinaciji s vrlo niskom energetsom barijerom za rotaciju (SiO < 0,8 kcal/mol u odnosu na C-O ~11,3 kcal/mol) dovodi do visoke fleksibilnosti polisiloksanskih lanaca, slika 12.



Slika 12. Polidimetilsiloksan (PDMS): a) strukturna formula; b) kalotni model

Vlačna svojstva silikonskih elastomera ne ovise o temperaturi kao kod većine organskih polimera. Anorganski karakter siloksanskog glavnog polimernog lanca (koji ne apsorbira UV zračenje radi nedostatka zasićenosti) omogućava polisiloksanima otpornost na UV zračenje i ozon [15].

Razvijeno je više produkata polidimetilsiloksanskih polimera (PDMS), od kojih amino- ili amido-funkcionalni polidimetilsiloksani i njihove mješavine imaju dobra svojstva omekšavanja. Aminofunkcionalni silikonski omekšivači se često koriste zbog svojstava trajne mekoće, glatkoće i opipa. Ovi omekšivači mogu se prirediti kao mikro i makro emulzije, pri čemu se postiže različita funkcionalnost. Makroemulzije su dobri lubrikanti zbog većih dimenzija kapljica, bolje podmazuju površinu tkanine i površinu pređe. Mikroemulzije radi manjih veličina bolje prodiru u strukturu tekstilija.



Slika 13. Konvencionalni aminofunkcionalni omekšivač





Slika 14. Hidrofilni funkcionalni silikonski omekšivač



Kationske skupine omogućavaju topivost, čime nije potrebno dodavati emulgirajuće sredstvo [16].

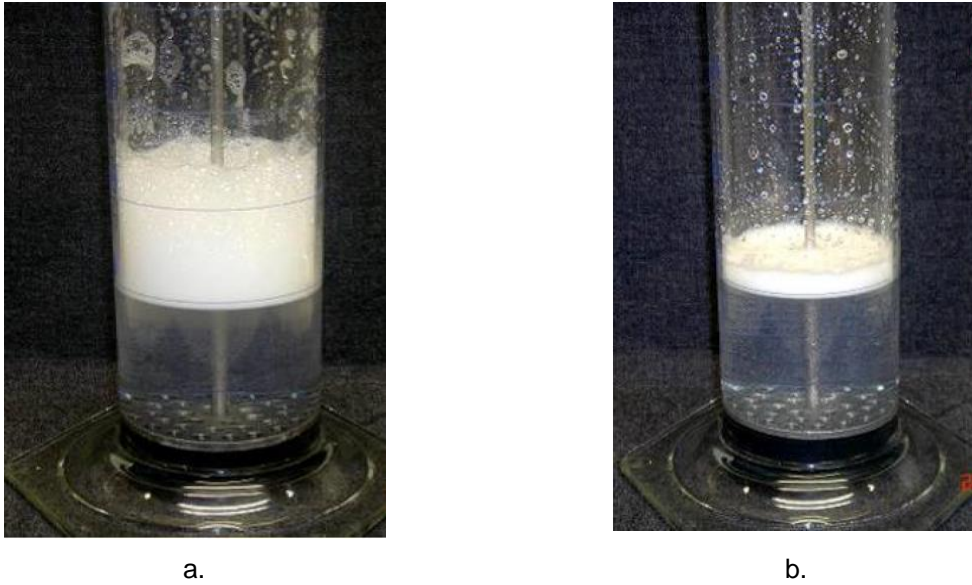
Karakteristike emulzije, poput vrste i veličina čestica važne su za primjenu proizvoda. Obično se isporučuju kao emulzije, nudeći veliki izbor kandidata za postizanje željenih performansi i fizikalno-kemijskih svojstava kao što su viskoznost. Veličina čestica disperzije omekšivača utječe na prodor i distribuciju silikona na tekstilni supstrat, što utječe na učinak omekšavanja. Relativno manja čestica disperzije veličine bi se ravnomjernije taložile na površinu tkanine nego disperzije veće veličine.

Ovi silikoni adsorbiraju se na površinu tekstilnog materijala u obliku mikro ili makroemulzije. *Makroemulzije* (veličina čestica je između 150 i 300 nm) zaostaju na površini vlakna, a zahvaljujući smanjenju dinamičkog koeficijenta trenja postižu se iznimna svojstva podmazivanja i izvrstan učinak omekšavanja.

Mikroemulzije (veličina čestica < 150 nm) mogu prodrijeti unutar pređe i istaložiti se na vlaknima. Na taj način se postiže suho podmazivanje i smanjivanje statičkog koeficijenta trenja. Unutar ove skupine se navode još i *semi-mikroemulzije* (veličina čestica između 80 i 120 nm) i nano-emulzije (veličina čestica <10 nm) ,

Polimerne emulzije (veličina čestica od 150 do 250 nm) talože se na vanjskoj površini tkanina i pređa. Povećavaju mekoću, olakšavaju glačanje, jer smanjuju statički i dinamički koeficijent trenja [17].

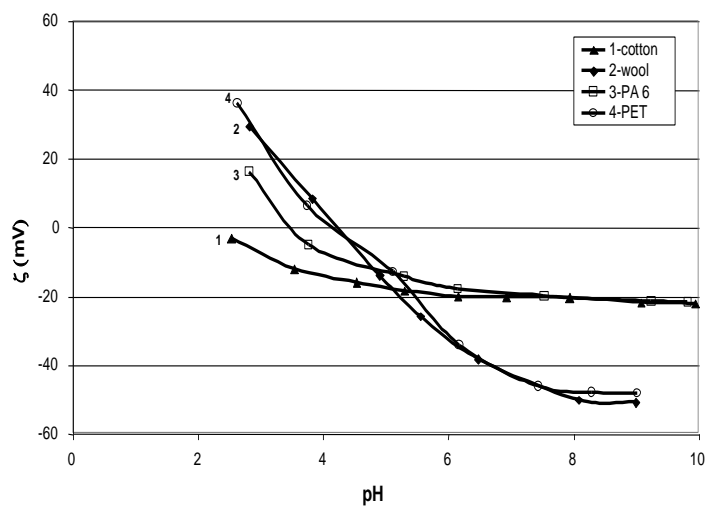
U razvoju formulacija silikonskih proizvoda važno je zadovoljiti zahtjev slabog pjenjenja, slika 15.



Slika 15. Ispitivanje pjenjenja: a. normalna silikonska mikroemulzija; b. niskopjeneći silikonski proizvod

2.2.3. Adsorpcija omekšivača

Većina tekstilnih vlakana u neutralnim vodenim otopinama posjeduje negativan naboj [18], slika 16. Zeta potencijal je važna veličina za sve mokre procese oplemenjivanja tekstila jer vlakno u vodenom mediju ima određen naboj. Taj naboj potječe od aktivnih skupina koje disociraju, a može i potjecati od adsorpcije iona iz otopine. Polarna vlakna, npr. pamuk i rajon mogu vrlo snažno stupiti u interakciju s vodom, dok hidrofobna vlakna poput poliesteru u slaboj su interakciji s vodom pomoću disperznih sila, što može utjecati na učinkovitost čišćenja [4].

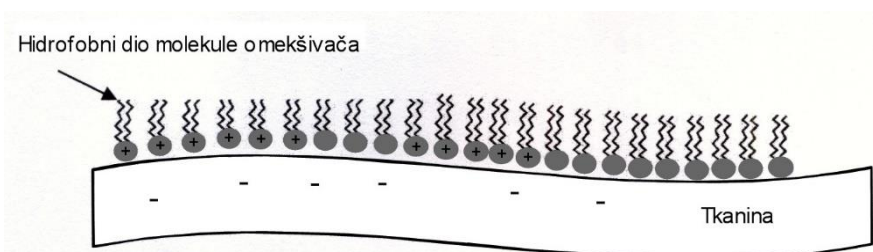


Slika 16. Zeta potencijal pamuka, vune, PA 6 i PES [18]

Zeta potencijal je iznimno važan radi tumačenja fenomena adsorpcije, te predviđanja kako će se vlakno ponašati u vodenom i nevodenom mediju. Uljne prljavštine lakše se mogu ukloniti sa pamučnih nego sa sintetskih tekstilija, npr. poliestera.

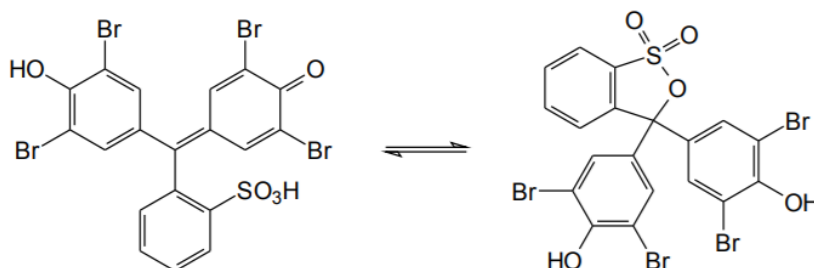
2.2.3.1. Mehanizmi adsorpcije

Dugolančasti kationski tenzidi imaju visoku moć adsorpcije na većinu tekstilnih vlakana. Fizikalni razmještaj molekula kationskog omekšivača na površinu vlakna, od gusto posloženih monoslojeva ili više slojeva je prikazana na slici 17.



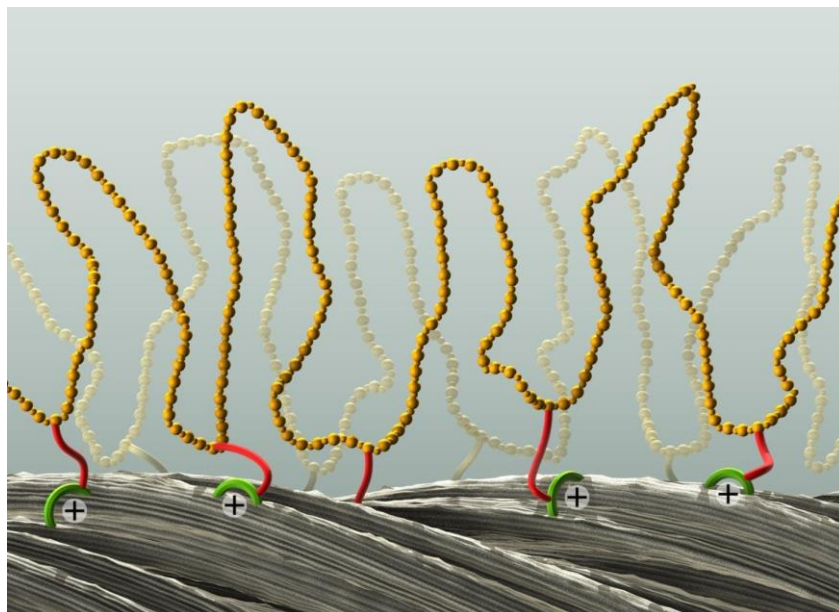
Slika 17. Shematski prikaz orijentacije kationskog omekšivača na površinu vlakna [14]

Kvaterni amonijev ion - hidrofilni dio kationskog tenzida adsorbira se na negativno nabijenu površinu vlakna. Dugi alifatski lanci se onda orijentiraju od vlakna prema vani, gdje između pređe i vlakana djeluju kao izvrsna maziva. Tipičan omekšivač sastoji se od koncentrirane disperzije gel faze (L_{β}) čestica u vodi. Ove pozitivno nabijene liposomne čestice privlače se na negativno nabijenu površinu vlakna. Nakon vađenja tkanine iz kupelji, voda se osuši, te ostaje tanki sloj oko svakog pojedinog vlakna. Mikroskopska studija raspodjele omekšivača na pamučnoj tkanini pokazala je da se omekšivač rasporedio kroz pamučna vlakna, a ukoliko je primijenjena viša koncentracija omekšivača uočava se i u lumenu. Distribucija omekšivača je podjednaka i na vanjskoj i unutarnjoj površini fibrila. Taloženje i konačan stupanj pokrivanja površine ovisi jako o pH vrijednosti kupelji za pranje. Jednakomjernost adsorbiranog sloja se može utvrditi vizualno nakon bojenja s bojilom Brom fenol plavo (BPB), slika 18.



Slika 18. Strukturna formula BPB, prije (plavo) i nakon (žuto)

PDMS nema supstantivnost prema tekstilijama, ali im daje cijenjen opip, poznat kao „*silikonski dodir*“, koji je posljedica fleksibilnosti siloksanskog glavnog polimernog lanca. Aminofunkcionalni PDMS ima nisku površinsku napetost, što se pripisuje metilnim skupinama koje nemaju međusobne povezanosti. Protonirani dušik u amino skupini ovih silikona omogućava vezanje s negativno nabijenom površinom tekstila elektrostatičkim interakcijama, dok su silikonske petlje udaljene od vlakana, slika 19.

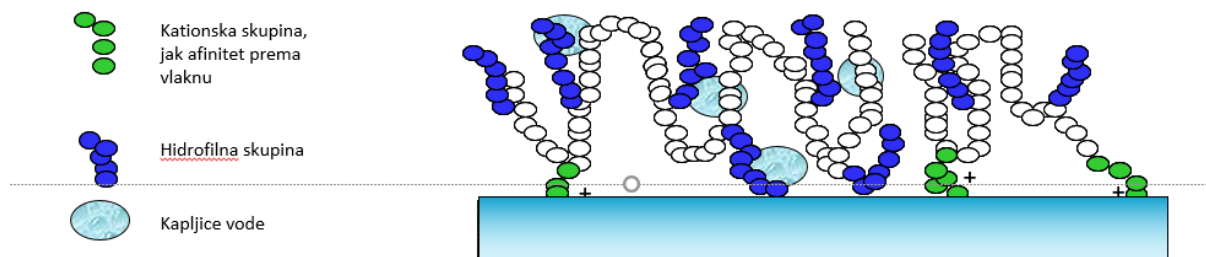


Slika 19. Interakcija amino funkcionalnog omekšivača s površinom tekstila [19]

PDMS pruža poseban, vrlo dobro cijenjen osjećaj upućivanja kao "silikonski dodir". To je zbog snažnog smanjenja koeficijenta trenja pamuka, što također olakšava klizanje glačala tijekom prešanja. Ti su učinci vjerojatno zbog fleksibilnosti okosnice siloksana i slobodne orijentacije metilnih skupina na površini polimera.

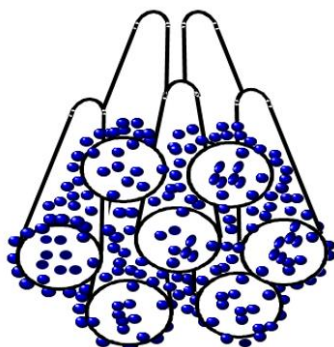
Hidrofilni silikonski omekšivač ima silikonske petlje s bočnim hidrofilnim skupinama koji se ponekad klasificiraju kao „hibridni silikoni“

- Visoka postojanost na pranje
- Ova mikroemulzija djeluje na površini i unutar vlakna, dajući mu mekoću, dobra hidrofilna svojstva i prijenos vlage

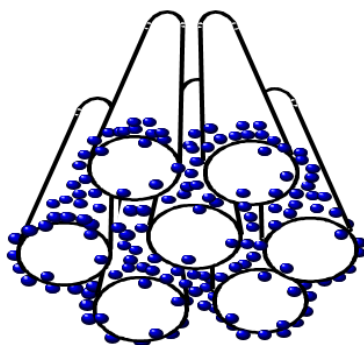


Slika 20. Hidrofilni silikonski omekšivač

Noviju generaciju omekšivača koji su samoemulgirajuća hidrofilna silikonska ulja sa supermikro česticama odlikuje dubinski prodor u amorfne (otvorene) strukture vlakna čime se povećava hidrofilnost i mekoća, srednje kvalitete i dobre postojanosti na pranje. Njihova orijentacija na prirodna i sintetska vlakna prikazana je na slikama 21 i 22. Na amorfnim (obično prirodna vlakna) penetriraju u strukturu vlakna, dajući dobar prijenos vlage, slika 21. Na kristalnim vlaknima (sintetska) više su površinski aktivni, slika 22.

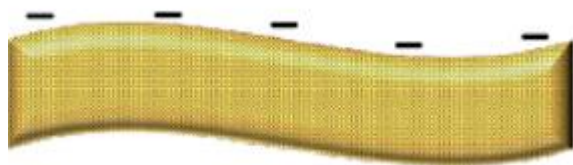


Slika 21. Djelovanje funkcionalnih hidrofilnih silikonskih omekšivača na prirodna vlakna

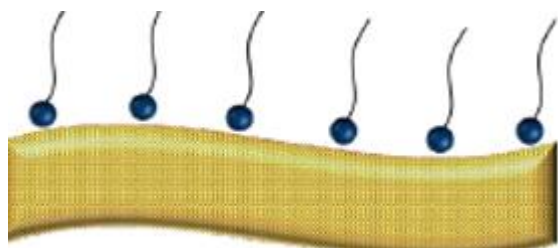


Slika 22. Djelovanje funkcionalnih hidrofilnih silikonskih omekšivača na sintetska vlakna

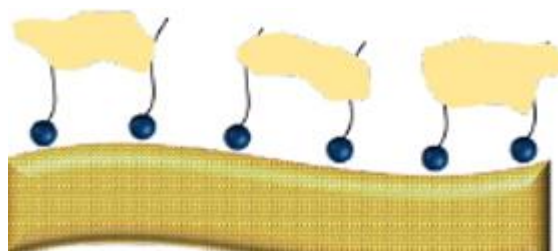
Na slici 23 prikazan je mehanizam djelovanja sredstva Oxisense koje zamjenjuje 20% kationskog omekšivača u formulaciji u odnosu na kationski omekšivač.



Negativno nabijeno vlakno



Kationski mekšivač orijentiran prema vlaknu



Mehanizam djelovanja Oxisense F 1100 temelji se na formiranju hidrofobnog sloja koje štiti vlakno. Ovaj sloj povećava supstantivnost kationskih tenzida, povećavaju njihovo djelovanje čime je moguće smanjenje njihovog udjela.

Slika 23. Naboj površine vlakna i orijentacija omekšivača [12]

2.3. Analiza funkcionalnih svojstava

Analiza svojstava tekstilija nakon omekšavanja objektivno se vrednuje različitim metodama manjeg ili višeg stupnja složenosti. U nastavku su navedene neke od njih.

2.3.1. Vrijeme kvašenja

Ovaj test se provodi najčešće na ručnicima, obzirom da je važno da nakon omekšavanja ručnik zadrži određenu hidrofилnost, slika 24.

Postupak

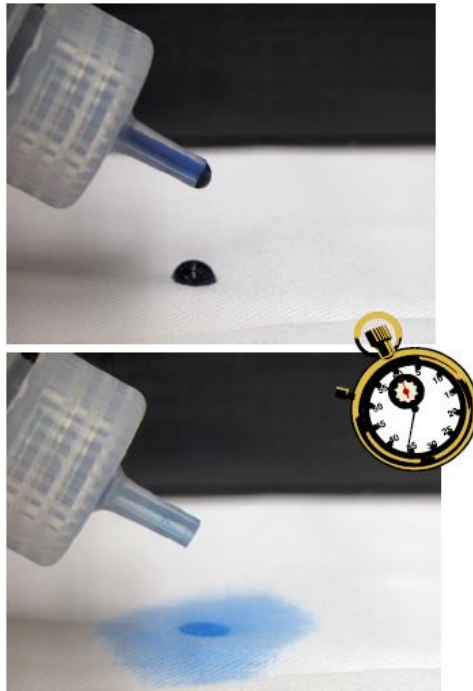
70 μ l deionizirane vode pažljivo se položi na tkaninu i pokrene zaporna ura.

Zaporna ura se zaustavi kad se kap se adsorbira i ugleda se struktura tkanine

Tri mjerenja se provode na različitim dijelovima tkanine (sredina, krajevi)

Ocjena

Prosječna vrijednost vremena kvašenja u sekundama



Slika 24. Test kvašenja tkanine

2.3.2. Hidrofilnost – Određivanje sposobnosti kvašenja tkanina

Naknadno kvašenje je važno svojstvo jer ukazuje na apsorpcijske karakteristike tkanine nakon obrade omekšivačem. Ukoliko se primijeni prevelika količina omekšivača moguće je postići i vodoodbojnost materijala. Ovo svojstvo se ispituje metodom kvašenja pomoću bojila Victoria plavo 4R.

Postupak:

Priredi se otopina (0,18%) Victoria plavo 4R i alikvot se prenese u graduiranu posudu aparature. Priređen uzorak neobrađene i omekšane tkanine u obliku trake širine 2,5 – 5 cm se urone u otopinu bojila u visini 3 cm. Zaporni sat se pokrene i nakon 5 minuta od početka uranjanja tkanine se mjeri visina prodora bojila u cm.

2.3.3. Samozaglađivanje tkanina nakon pranja i sušenja

Postupak:

Tkanine su:

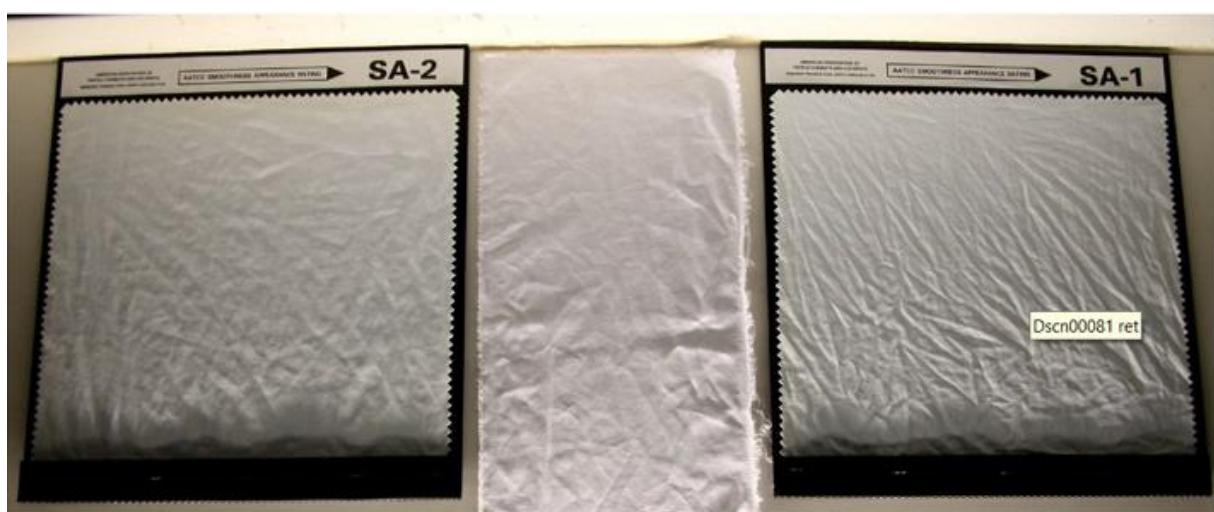
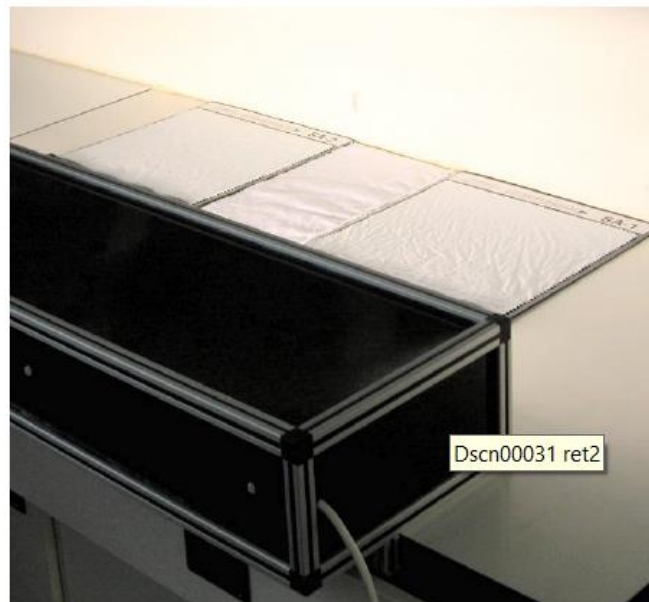
- Oprane
- Isprane i obrađene omekšivačem na bazi silikona
- Sušene na zraku
- Potom osvjetljene sa standardiziranom kutijom

- Tretirane tkanine se uspoređuju sa standardnim plastičnim replikama prema AATCC TM 124

AATCC TM 124:2018 (*Test Method for Smoothness Appearance of Fabrics after Home Laundering*) je metoda ispitivanja namijenjena za određivanje izgleda glatkoće tkanine nakon što su podvrgnute postupcima kućnog pranja. Nekoliko postupaka pranja i sušenja osigurava standardne parametre koji predstavljaju uobičajene mogućnosti kućne njege.

Bilo koja tkanina koja se može prati (tkana, pletena ili netkana) može se procijeniti na izgled glatkoće pomoću ove metode.

Samozaglađivanje opisuje nabore nakon pranja, ispiranja/omekšavanja i sušenja na zraku [20].



a.

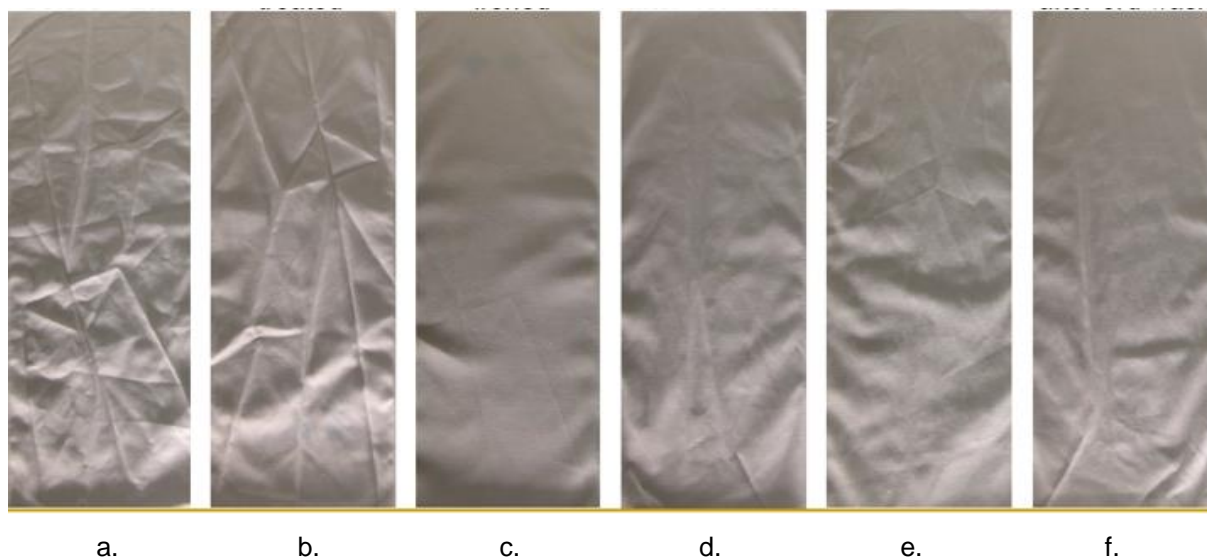
b.

c.

Slika 25. AATCC TM 124 replike: a. standardna replika SA-2; b. uzorak analizirane tkanine; c. standardna replika SA-1

Laboratorijska ocjena nabora tkanine u mješavini pamuka s poliesterom obrađene silikonskim proizvodom tvrtke Wacker.

Ocjena nabora je provedena na tkaninama prije obrade, nakon obrade silikonskim proizvodom, iste te nakon glačanja, te nakon 1., 2. i 3. ciklusa pranja, slika 26.



Slika 26. Nabori tkanina: a. prije pranja; b. nakon obrade; c. nakon obrade i glačanja; d. nakon 1.ciklusa pranja; e. nakon 2. ciklusa pranja; f. nakon 3. ciklusa pranja

Smanjenje nabora se zadržava i nakon 3 ciklusa pranja, slika 26f.

2.3.4. Objektivno vrednovanje opipa

Značajna tekstilna svojstva koja odgovaraju elementima opipa prikazana su u tablici 3 kroz prikaz objektivno mjerljivih svojstava preko veličina: hrapavost, krutost, kompaktnosti i toplinski karakter opipa [21].

Tablica 3. Značajna tekstilna svojstva koja odgovaraju elementima opipa [21]

Elementi tekture	Hrapavost	Krutost	Kompaktnost/ voluminoznost	Toplinska svojstva
Simbol poticajnog profila	S_R	S_S	S_C	S_r
Relevantna tekstilna svojstva	Površina <ul style="list-style-type: none"> • Reljefnost • Trenje 	Kohezivnost Pokretljivost <ul style="list-style-type: none"> • Fleksibilnost • Istezljivost • Elastičnost 	Dimenzije Količina Gustoća Debljina Masa	Toplinska vodljivost

		<ul style="list-style-type: none"> • Sloboda gibanja 		
Odabir objektivnog vrednovanja	Površinsko trenje	Krutost savijanja	<u>Masa</u> Debljina	Toplinska vodljivost

Svojstva materijala prikazana u tablici 3 mogu se određivati raznim uređajima, a u ovom radu je primijenjen uređaj kojeg je razvio SDL Atlas u suradnji sa znanstvenicima [22].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

U radu je analiziran utjecaj naknadne obrade kroz izbor omekšivača, materijala i procesnih faza obrađenih u odnosu na oprane, neoprane i neobrađene. Načinjene varijacije obuhvaćaju:




- tri poliesterske tkanine
- dvije vrste omekšivača
- slijed operacija: pranje i pranje uz omekšavanje
- broj ciklusa (0, 1, 3)

Opis svake navedene stavke razrađen je u ovom dijelu rada.

3.1. Materijal

Analize su provedene na tri različite poliesterske tkanine, čije su značajke istaknute u tablici 4.

Tablica 4. Značajke poliesterskih tkanina

Ton boje	BIJELA (B)	CRVENA (C)	PLAVA (P)
Površinska masa	156,0	187,0	189,2
Gustoća (niti/cm) osnova	27,7	23,2	22,8
potka	20	23,75	23,4
Debljina (mm)	0,35	0,45	0,448
Finoća pređe (tex) osnova	30,4	36,5	35,9
potka	31,9	37,0	35,0
Vez	platno	platno	platno
DINO Povećanje: 200 x			
Dobavljač (CFT)	PN-01	AISE-30	AISE-31

Iz podataka u tablici 4 vidljivo je da su sve analizirane tkanine u platno vezu, a razlikuju se po osnovnim konstrukcijskim značajkama (površinska masa, gustoća osnovnih/potkinih niti, debljina, finoća pređe) i tonu boje (bijelo, plavo i crveno).

3.2. Sredstva

Naknadnoj obradi tkanina silikonskim omekšivačima prethodilo je pranje standardnim deterdžentom ECE A, čiji je sastav prikazan u tablici 5.

Tablica 5. Sastav standardnog deterdženta ECE A

Sastojak	Komponenta	w (%)
Linearni natrijev alkilbenzensulfonat prosječne duljine lanca 11,5	Anionski tenzid	9,7
Etoksilirani masni alkohol, C 12-18 (7EO)	Neionski tenzid	5,2
Natrijev sapun (C 12-17: 46 %, C 18-20: 54%)	Anionski tenzid i antipjenič	3,6
Antipjenič (DC2-4248S)	Antipjenič	4,5
Natrijev alumosilikat (Zeolit 4A)	Bilder	32,5
Natrijev karbonat	Bilder Alkalija	11,8
Natrijeva sol kopolimera akrilne i maleinske kiseline (Sokalan CP5)	Kopolimer Kobilder	5,2
Natrijev silikat ($\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O} = 3,3:1$)	Stabilizator i protektor korozije	3,4
Karboksimetilceluloza	Polimer-inhibitor posivljenja	1,3
Dietilen triamin penta (metilen fosfonska kiselina), DTPMPA Na	Kobilder	0,8
Natrijev sulfat	Punilo	9,8
Voda		12,2
Σ		100,0

U radu su primijenjena dva silikonska produkta koji su označeni kao:

1. **OMEKŠIVAČ I:** Evo® Soft VSJ (**O_A**)
2. **OMEKŠIVAČ II:** Liosil® HC 603 E (**O_B**)

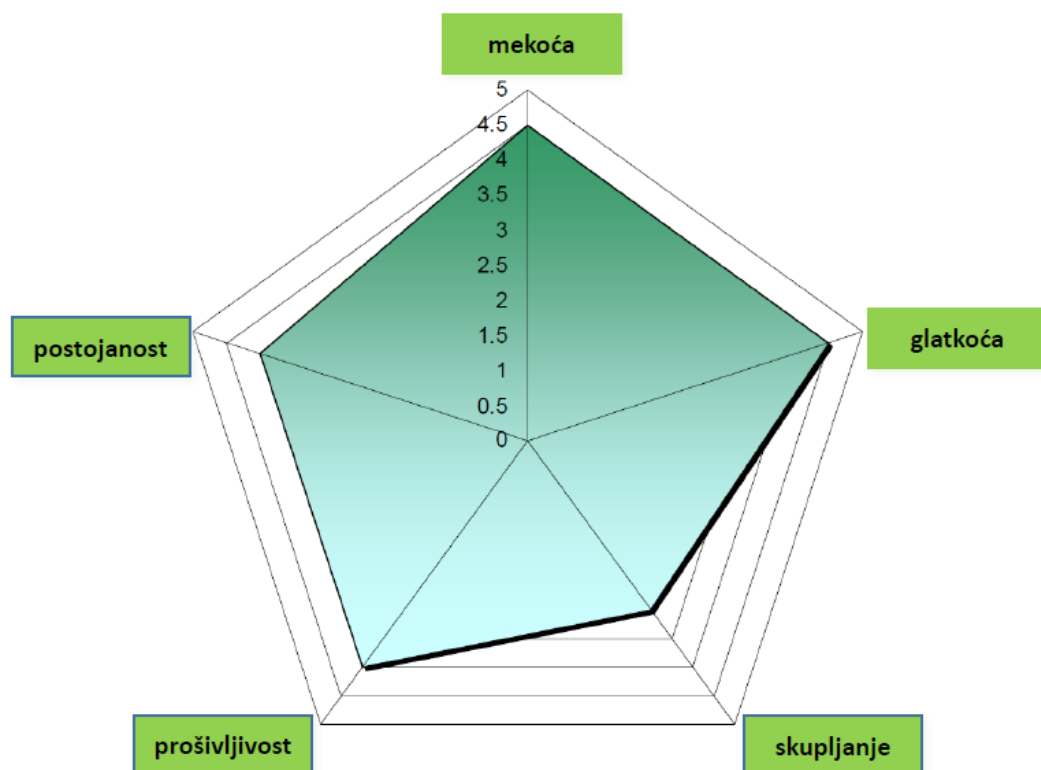
Evo ® Soft VSJ od tvrke DyStar je **silikonski omekšivač** (pH ~ 5) koji se može koristiti u naknadnoj obradi tijekom doradnih procesa i u njezi. Proizvođač ga klasificira kao stabilan proizvod za prirodna i sintetska vlakna, te njihove mješavine. Posebno se unutar skupine sintetskih materijala navodi poliester.

Dodatno se prema [16] navodi se da je ovaj proizvod:

- topiv super mikro silikonski omekšivač kojim se postiže mekan opip, daje visok stupanj mekoće
- polu-postojana obrada i visoka glatkoća
- potpuna stabilnost na posmična naprezanja
- nisko pjeneći

- ne narušava postojanost reaktivnih obojenja na trljanje
- ne izaziva migraciju bojila na poliesterskim tekstilijama
- ne narušava stupanj bjeline pri temperaturama 150 °C
- pogodan za vunene pređe
- prihvatljiv za pre-bojadisavanje većine vlakana.

Prema [16] graf prikazuje djelotvornost proizvoda, pri čemu je korištena skala od 1 do 5, pri čemu je 1 nizak, a 5 visok učinak.



Slika 27. Značajke u djelotvornosti proizvoda [16]

Liosil® HC 303 E od tvrtke Wacker kao fino dispergirana vodena silikonska emulzija (pH 4,5) primarno se koristi kao sredstvo za poliranje u kućanstvu. Proizvođač također navodi da je ovaj proizvod moguće primijeniti za impregnaciju prirodnih ili sintetskih materijala u stroju za pranje, pri čemu se dodaje u ciklus ispiranje. Navodi se kao učinkovit proizvod koji tekstilijama ne narušava propusnost zraka. Dodatna vrijednost ovog proizvoda je prikladnost za hidrofobiranje različitih materijala, poput tekstilija, kože, drveta, pluta, papira itd.

3.3. Postupak rada

Postupak rada uključuje različite operacije:

- pranje
- pranje i naknadna obrada

Odabrani uzorci bijele, plave i crvene poliesterske tkanine dimenzija 31 x 11 mm uz balast u mješavini PES/pamuk mase 900 g oprani su uz OK 1:8 standardnim deterdžentom ECE A (1,25 g/L; ukupno 10 g deterdženta) kroz 3 ciklusa, pri čemu je već nakon 1. ciklusa izuzet po jedan uzorak od svake tkanine.

Proces pranja proveden je u stroju Wascator FOM 71 CLS, slika 28 prema normi ISO 6330, program 2A pri temperaturi od 60 °C. U pranju je korištena meka voda.



Slika 28. Stroj za pranje Wascator FOM 71, CLS

Wascator FOM71 CLS, Electrolux, Danska

Tehničke karakteristike: WPM (Wash Program Manager) preko Win OS

Volumen bubnja: 61 l

Promjer bubnja: 520 mm

Ekstrakcija, max: 1100 o/min

G-faktor, max: 350

Snaga grijanja: 5,4 kW

Godina proizvodnje: 2009.

Druga skupina uzoraka oprana je u istim uvjetima (program 2A) te naknadno obrađena u zadnjem ispiranju (OK 1:7) - (1:7) omekšivačima:

Evo® Soft VSJ (O_A) i Liosil® HC 603 E (O_B), koji su primijenjeni u koncentracijama 40 g na ciklus (5,7 g/l).

Tkanine su nakon 1. i 3. ciklusa pranja i pranja uz naknadnu obradu sušene strojno, Lagoon TD6-7, Electrolux, program Sintetika mix srednje, slika 29.



Slika 29. Stroj za sušenje Lagoon TD6-7, Electrolux

Nazivni kapacitet, faktor punjenja 1:22

Nazivni kapacitet, faktor punjenja 1:18

Volumen bubnja: 135 l

Oznake i opis referentnih uzoraka, obrada i poliesterskih tkanina strukturiran je u tablici 6.

Tablica 6. Oznake i opis uzoraka

Referentni uzorci	
D	Standardni deterdžent
O _A	Omekšivač EVO SOFT VSJ
O _B	Omekšivač LIOSIL
Obrade	
1	Prvi ciklus pranja i sušenja
3	Treći ciklus pranja i sušenja
Tkanine	
N	Neoprana
D1	Oprana standardnim deterdžentom i osušena, prvi ciklus
D3	Oprana standardnim deterdžentom i osušena, treći ciklus

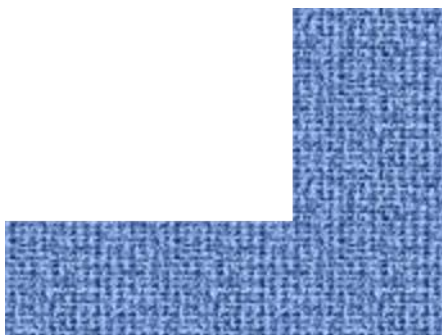
O _{A1}	Oprana standardnim deterdžentom i naknadno omekšana EVO SOFT, prvi ciklus pranja i sušenja
O _{A3}	Oprana standardnim deterdžentom i naknadno omekšana EVO SOFT, treći ciklus pranja i sušenja
O _{B1}	Oprana standardnim deterdžentom i naknadno omekšana LIOSIL, prvi ciklus pranja i sušenja
O _{B3}	Oprana standardnim deterdžentom i naknadno omekšana LIOSIL, treći ciklus pranja i sušenja

3.4. Metode i uređaji

Uzorci neobrađenih, opranih, opranih i omekšanih tkanine bijelog, plavog i crvenog tona su karakterizirane kroz analizu opipa, površine (pH) i spektralnih karakteristika.

3.4.1. Vrednovanje opipa

Uzorci dimenzijski prilagođeni (31 x 31 cm) uvjetima mjerenja, slika 30, primjenom uređaja za ocjenu opipa, *Fabric Touch Tester* - FTT M293 od SDL Atlasa, slika 31 kondicionirani su standardnim uvjetima.



Slika 30. Oblik epruvete za FTT analizu



Slika 31. Uređaj za mjerenje opipa, FTT

Tehničke značajke FTTa:

Struja: 115/230 V, jednofazna, 60/50 Hz, 2.5 A

Dimenzije uzorka: „L“ oblik

Maksimalna debljina uzorka: 5 mm

Pritisak: 70 g/cm²

Trajanje testa: 10 min

FTT softver za analizu podataka

Ovaj uređaj mjeri opip računanjem fizikalnih svojstava lica i naličja tkanine. Ukupna udobnost (glatkoća, mekoća i toplina) se također vrednuje. FTT omogućava objektivno vrednovanje kvalitete tkanine i 18 indeksa mjerenjem slijedećih svojstava:

- debljina
- kompresija
- savijanje/krutost
- površinska hrapavost *Surface roughness*
- površinsko trenje
- toplinska svojstva.

Sveobuhvatni, sofisticirani dizajn FTT-a omogućuje mu mjerenje svih mehaničkih i površinskih svojstava tkanine jednim jednostavnim testom, a to su glatkoća, mekoća, toplina, ukupni osjećaj dodira ruke, slika 32.



Slika 32. Subjektivna ocjena opipa [23]

Tablica 7. FTT ispitni parametri

Nr	Svojstva	Indeks	Opis	Jedinica - FFT softver	SI jedinica	Značenje
1	Savijanje	BAR	<i>Prosječna krutost pri savijanju</i>	gf mm rad ⁻¹	N m rad ⁻¹	Sile potrebne za savijanje po radijanu
2		BW	<i>Rad pri savijanju</i>	gf mm rad	N m rad	Radovi potrebni za savijanje uzorka
3	Površinsko trenje	SFC	<i>Koeficijent površinskog trenja</i>	-	-	Koeficijent trenja na površini
4	Površinska hrapavost	SRA	<i>Amplituda hrapavosti površine</i>	μm	m	Hrapavost nepravilne amplitude vala
5		SRW	<i>Valna duljina površinske hrapavosti</i>	mm	m	Hrapavost nepravilne valne duljine
6	Kompresija	CW	<i>Rad pri kompresiji</i>	gf mm	N m	Radovi potrebni za kompresiju uzorka
7		CRR	<i>Stopa oporavka kompresije</i>	-	-	Postotak promjene debljine nakon kompresije
8		CAR	<i>Prosječna krutost pri kompresije</i>	gf mm ⁻³	N m ⁻³	Sile potrebne za kompresiju po mm
9		RAR	<i>Prosječna krutost pri oporavku</i>	gf mm ⁻³	N m ⁻³	Reflektirane sile prilikom oporavka po mm
10		T	<i>Debljina</i>	mm	m	Debljina materijala
11	Toplinska vodljivost	TCC	<i>Toplinska vodljivost pri kompresijom</i>	10 ⁻³ W m ⁻¹ °C ⁻¹	W m ⁻¹ °C ⁻¹	Energija koja se prenosi po stupnju po mm kada se uzorak tlači
12		TCR	<i>Toplinska vodljivost pri oporavku</i>	10 ⁻³ W m ⁻¹ °C ⁻¹	W m ⁻¹ °C ⁻¹	Energija koja se prenosi po stupnju po m po sekundi kada se uzorak oporavi
13		Qmax	<i>Toplinski maksimalni fluks</i>	W mm ⁻²	W m ⁻²	Maksimalna energija koja je prenesena tijekom kompresije

3.4.2. Karakterizacija površine – pH

Površina analiziranih uzoraka karakterizirana je mjerenjem pH pomoću multimetra SevenCompact™ Duo S213, Mettler Toledo, slika 33.



Slika 33. Multimetar SevenCompact™ Duo S213

Tehničke značajke:

Snaga struje: 2,5 W

Radni uvjeti: T = 5-40 °C, RH = 5-80 %

Dimenzije: 204 mm, širina: 174 mm, visina: 74 mm

Elektrode: InLab Expert Pro-ISM®, InLab Surface Pro-ISM®, InLab® 731-ISM (steel), InLab® 741-ISM (steel)

Područje mjerenja:

pH: -2,000 – 20,000

Vodljivost: 0,001 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 1000 mS/cm

Temperature: -30,0 – 130,0 °C

3.4.3. Određivanje spektralnih karakteristika

Mjerenje spektralnih vrijednosti tekstilnih materijala provedeno je pomoću remisijskog spektrofotometra Spectraflash SF 300, DataColor, slika 34.



Slika 34. Remisijski spektrofotometar Spectraflash SF 300

Ovaj računalno vođen uređaj namijenjen je mjerenju boje sa plošnih površina (tekstil, papir, plastika, drvo, metal, itd.), mjerenju bjeline i fluorescentnih obojenja i računalnom receptiranju. Uzorak se postavlja i učvršćuje posebnim držačem na mjerni otvor instrumenta i osvjetljava se iz izvora svjetlosti ugrađenog u instrument. Instrument mjeri valne duljine reflektiranog i apsorbiranog dijela upadne svjetlosti. Mjerni podaci pohranjuju se u računalnu bazu podataka iz koje se pomoću specijaliziranog računalnog programa izračunavaju daljnji parametri potrebni za definiranje boje, bjeline ili potrebni za provođenje postupka računalnog receptiranja. Na temelju spektralnih karakteristika izračunava se ukupna razlika u boji, ΔE , prema jednadžbama 1 i 2:

$$\Delta E * \sqrt{(\Delta L *)^2 + (\Delta a *)^2 + (\Delta b *)^2} \quad (1)$$

$$\Delta E * \sqrt{(\Delta L *)^2 + (\Delta C *)^2 + (\Delta H *)^2} \quad (2)$$

gdje je:

Δa^* - razlika na osi crveno/zeleno ($\Delta a^* = a^*_{uzorak} - a^*_{standard}$)

Δb^* - razlika na osi žuto/plavo ($\Delta b^* = b^*_{uzorak} - b^*_{standard}$)

ΔL^* - razlika u svjetlini ($\Delta L^* = L^*_{uzorak} - L^*_{standard}$)

ΔC^* - razlika u zasićenju ($\Delta C^* = C^*_{uzorak} - C^*_{standard}$)

ΔH^* - razlika u tonu

Dodatno je provedeno vrednovanje postojanosti putem ocjene prema AATCC i ISO A05.

Bijeli uzorci su vrednovani preko stupnja bjeline (W_{CIE}), temeljne bjeline (Y) i promjena u tonu (TV, TD).

4. REZULTATI I RASPRAVA

Rezultati analize poliesterskih tkanina čije su karakteristike prikazane u tablici 4 su strukturirani kroz:

FTT svojstva

- **Savijanje**
BAR - Prosječna krutost pri savijanju
BW - Rad pri savijanju
- **Površinsko trenje**
SFC - Koeficijent površinskog trenja
- **Površinsku hrapavost**
SRA - Amplituda hrapavosti površine
SRW - Valna duljina površinske hrapavosti
- **Kompresiju**
CW - Rad pri kompresiji
CRR - Stopa oporavka kompresije
CAR - Prosječna krutost pri kompresiji
RAR - Prosječna krutost pri oporavku
T - Debljina
- **Toplinsku vodljivost**
TCC - Toplinska vodljivost pri kompresiji
TCR - Toplinska vodljivost pri oporavku
Qmax - Toplinski maksimalni fluks

pH površine uzorka

Spektralne karakteristike (boja, bjelina).

Lice uzoraka poliesterskih tkanina vrednovani su na uređaju FTT, a rezultati su prikazani kroz zasebna svojstva, temeljem kojih se računa opis.



Tablica 8. Savijanje **crvene** poliesterske tkanine

uzorak	Savijanje			
	BARa	BARe	BWa	BWe
	gF mm/rad			
N	128,392	38,313	919,553	177,638
D1	0,000	162,325	0,000	1006,655
D3	0,000	246,080	0,000	1333,637
O _A 1	0,000	71,215	0,000	446,502
O _A 3	0,000	55,567	0,000	360,236
O _B 1	0,704	387,7878	2,367	282,270
O _B 3	0,000	95,071	0,000	802,340

a-smjer osnove
e-smjer potke

Savijanje

Početni uzorak prema parametrima u tablici 8 posjeduje krutost pri savijanju, što se pranjem i naknadnom obradom mijenja. U smjeru osnove-a prosječne vrijednosti pri savijanju (BARa) su 0. Iznimku čini uzorak kroz 1 ciklus opran i naknadno omekšan (O_A). U smjeru potke-e (BARe) vrijednosti se pranjem povećavaju s brojem ciklusa. Omekšavanjem (O_A) kroz 1 i 3 ciklusa te vrijednosti padaju, a njihova promjena nije jednoznačna za obadva omekšivača.

Analiza BW, rad pri savijanju, u obadva smjera osnova i potka (a i e) numerički je varijabilan. BW u smjeru potke-e pranjem se povećava, a omekšavanjem se smanjuje.

Tablica 9. Kompresija **crvene** poliesterske tkanine

uzorak	Kompresija				
	T	CW	CRR	CAR	RAR
	mm	gf mm		gf/(cm ² mm)	
N	0,265	282,470	0,584	1752,693	3235,106
D1	0,447	600,235	0,529	449,829	1598,787
D3	0,555	1410,681	0,383	184,721	654,844
O _A 1	0,393	432,216	0,614	708,982	1686,992
O _A 3	0,393	511,723	0,556	611,318	1591,096
O _B 1	0,401	376,123	0,676	803,120	1949,277
O _B 3	0,417	601,497	0,501	534,639	1622,240

Debljina (T)

Kompresija se vrednuje veličinama: CW - rad pri kompresiji; CRR - stopa oporavka kompresije; CAR - prosječna krutost pri kompresiji; RAR - prosječna krutost pri oporavku i T – debljina. Debljina (T) neprane poliesterske tkanine (0,265 mm) se povećava s brojem ciklusa pranja, što se može pripisati taloženju sastojaka deterdženta koja nisu utrošena na uklanjanje zaprljanja. Omekšivač (Evo Soft VSJ, O_A) smanjuje vrijednost oprane tkanine, koja je ista nakon 1 i 3 ciklusa (0,393 mm), a omekšivačem (Liosil HC, O_B) tretiran ima nešto nižu debljinu u odnosu na 1 x opran uzorak (D1). Interesantna vrijednost CRR-stopa oporavka kompresije se pranjem smanjuje. Prvi ciklus omekšavanja (O_A i O_B) povećava ove vrijednosti, dok se ona nakon 3 ciklusa pranja i omekšavanja smanjuje i doseže vrijednost nižu od početne.

Tablica 10. Toplinska svojstva **crvene** poliesterske tkanine

uzorak	Toplinska svojstva		
	TCC	TCR	Qmax
	W/(m ² C)		W/(m ²)
N	27,104	27,532	1049,671
D1	46,374	45,557	1070,886
D3	52,238	49,757	1009,029
O _A 1	43,719	43,069	1134,690
O _A 3	42,450	42,916	1109,214
O _B 1	42,596	43,221	1094,967
O _B 3	44,947	43,660	1099,119

Toplinska vodljivost karakterizira se parametrima: TCC - toplinska vodljivost pri kompresiji; TCR - toplinska vodljivost pri oporavku i Qmax - toplinski maksimalni fluks.

Početne vrijednosti ovih parametara pranjem se povećavaju, a naknadnim omekšavanjem smanjuju. Analizirani omekšivači nisu značajno različiti, a broj ciklusa pranja/omekšavanja ne povećava ove vrijednosti.

Površinsko trenje vrednuje se veličinom SFC - koeficijent površinskog trenja, tablica 11.

Tablica 11. Trenje crvene poliesterske tkanine

uzorak	Trenje	
	SFCa	SFCe
N	0,343	0,222
D1	0,000	0,356
D3	0,000	0,382
OA1	0,000	0,275
OA3	0,000	0,271
OB1	0,000	0,278
OB3	0,000	0,285

Površinsko trenje početne tkanine u obadva smjera se pranjem i pranjem/omekšavanjem smanjuje. U smjeru osnove (a) doseže vrijednost 0, dok se u smjeru potke-e pranjem povećava, a pranjem i omekšavanjem (O_A i O_B) smanjuje. Međutim, ta vrijednost nakon 3 ciklusa je nešto viša od početne (0,222). Na temelju SFCe parametra bi se reklo da početna tkanina ima neke preparacije na površini.

Površinska hrapavost vrednuje se veličinama SRA - amplituda hrapavosti površine i SRW - valna duljina površinske hrapavosti.

Tablica 12. Hrapavost crvene poliesterske tkanine

Uzorak	Hrapavost			
	SRAa	SRAe	SRWa	SRWe
	μm		Mm	
N	41,965	51,749	1,379	1,037
D1	0,000	60,741	0,000	2,033
D3	0,000	68,464	0,000	1,773
OA1	0,000	47,769	0,000	1,493
OA3	0,000	55,830	0,000	2,167
OB1	0,000	51,918	0,000	1,265
OB3	0,000	67,765	0,000	1,888

Neobrađena tkanina u obadva smjera, osnova i potka (a i e), brojčano je opisana u tablici 12. Početna vrijednost neobrađene (N) tkanine u smjeru osnove (a) se smanjuje na 0 (SRA i SRW), dok u smjeru potke (e) pranje ove vrijednosti povećava, a pranje i omekšavanje kroz 3 ciklusa povećava. Omekšivači ne pokazuju jednoznačne promjene kroz usporedbu SRQe i SRWe.



Tablica 13. Savijanje **plave** poliesterske tkanine

uzorak	Savijanje			
	BARa	BARe	BWa	BWe
	gF mm/rad			
N	105,292	37,080	751,389	215,196
D1	0,619	109,798	0,440	812,963
D3	0,000	97,482	0,000	735,674
O _A 1	0,000	89,401	0,000	663,817
O _A 3	0,000	88,247	0,000	638,247
O _B 1	1,439	96,498	7,120	62,277
O _B 3	2,333	91,504	1,376	716,780

Savijanje

Početni uzorak prema parametrima u tablici 13 posjeduje krutost pri savijanju, što se pranjem i naknadnom obradom mijenja. U smjeru osnove-a prosječne vrijednosti opranih i opranih/omekšanih uzoraka pri savijanju (BARa) su 0. Iznimku čini uzorak kroz 1 ciklus opran (D1). U smjeru potke-e, vrijednosti BARe se s brojem ciklusa pranja povećavaju. Omekšavanjem kroz 1 i 3 ciklusa te vrijednosti padaju, a njihova promjena nije jednoznačna za obadva omeškivača.

Analiza BW, rad pri savijanju u obadva smjera (a i e) numerički je varijabilan. BW u smjeru e pranjem se povećava, a omekšavanjem se smanjuje.

Tablica 14. Kompresija **plave** poliesterske tkanine

uzorak	Kompresija				
	T	CW	CRR	CAR	RAR
	Mm	gf mm		gf/(cm ² mm)	
N	0,271	203,246	0,663	1769,337	3452,135
D1	0,439	740,301	0,457	342,838	1329,936
D3	0,433	835,101	0,457	301,505	1344,569
O _A 1	0,417	575,703	0,562	543,770	1478,957
O _A 3	0,437	659,387	0,535	533,522	1318,816
O _B 1	0,402	476,244	0,566	619,393	1697,770
O _B 3	0,412	531,273	0,537	602,210	1787,782

Debljina (T)

Kompresija se vrednuje veličinama: CW - rad pri kompresiji; CRR - stopa oporavka kompresije; CAR - prosječna krutost pri kompresiji; RAR - prosječna krutost pri oporavku i T – debljina. Debljina (T) neprane plave poliesterske tkanine (0,271 mm) povećava se s brojem ciklusa pranja. To se može pripisati taloženju sastojaka deterdženta koja nisu utrošena na uklanjanje zaprljanja. Omekšivač (Evo Soft VSJ, O_A) smanjuje vrijednost oprane tkanine, koja je nakon 3 ciklusa (0,437 mm) veća od omekšivača (Liosil HC, O_B) ima nešto nižu debljinu u odnosu na prane/omekšane (O_A). Interesantna vrijednost CRR-stopa oporavka kompresije se pranjem smanjuje. Prvi ciklus omekšavanja (O_A i O_B) povećava ove vrijednosti, dok se ona nakon 3 ciklusa pranja i omekšavanja smanjuje i doseže vrijednost nižu od početne. Ovdje se ne uočavaju razlike između omekšivača O_A i O_B.

Tablica 15. Toplinska svojstva plave poliesterske tkanine

uzorak	Toplinska svojstva		
	TCC	TCR	Qmax
	W/(m ² C)		W/(m ²)
N	28,655	28,742	1082,729
D1	45,544	45,310	1067,667
D3	42,999	42,449	1041,229
O _A 1	45,506	44,759	1119,629
O _A 3	47,296	44,950	1111,271
O _B 1	45,066	43,827	1149,776
O _B 3	44,657	44,285	1116,186

Toplinska vodljivost karakterizira se parametrima: TCC - toplinska vodljivost pri kompresiji; TCR - toplinska vodljivost pri oporavku i Qmax - toplinski maksimalni fluks.

Početne vrijednosti ovih parametara se pranjem povećavaju, a naknadnim omekšavanjem povećavaju. Analizirani omekšivači pokazuju male razlike u djelovanju kroz broj ciklusa.

Tablica 16. Trenje plave poliesterske tkanine

uzorak	Trenje	
	SFCa	SFCe
N	0,317	0,210
D1	0,000	0,430
D3	0,000	0,430
O _A 1	0,000	0,268
O _A 3	0,000	0,258

O _B 1	0,000	0,281
O _B 3	0,000	0,282

Površinsko trenje početne tkanine u smjeru osnove se pranjem i pranjem/omekšavanjem smanjuje, odnosno doseže vrijednost 0. U smjeru potke-e pranjem se povećava, a pranjem/omekšavanjem (O_A i O_B) se smanjuje. Međutim, ta vrijednost nakon 3 ciklusa je nešto ipak ponešto viša od početne (0,222).

Površinska hrapavost vrednuje se veličinama SRA - amplituda hrapavosti površine i SRW - valna duljina površinske hrapavosti.

Tablica 17. Hrapavost **plave** poliesterske tkanine

uzorak	Hrapavost			
	SRAa	SRAe	SRWa	SRWe
	µm		mm	
N	39,259	47,006	1,380	1,914
D1	0,000	56,434	0,000	0,992
D3	0,000	50,696	0,000	1,182
O _A 1	0,000	39,203	0,000	1,310
O _A 3	0,000	81,346	0,000	2,285
O _B 1	0,000	46,898	0,000	1,765
O _B 3	0,000	39,400	0,000	1,407

Neobrađena tkanina u obadva smjera (a i e) brojčano je opisana u tablici 17. Početna vrijednost neobrađene (N) tkanine u smjeru a se smanjuje na 0 (SRA i SRW), dok u smjeru e pranje ove vrijednosti povećava, a pranje/omekšavanje kroz 3 ciklusa povećava. Omekšivači ne pokazuju jednoznačne promjene usporedbom SRAe i SRWe.



Tablica 18. Savijanje bijele poliesterske tkanine

uzorak	Savijanje			
	BARa	BARe	BWa	BWe
	gF mm/rad			
N	118,003	118,783	767,597	810,392
D1	0,000	227,961	0,000	1172,876
D3	0,000	169,373	0,000	1006,126
O _A 1	0,000	65,578	0,000	348,399
O _A 3	0,000	4496,204	0,000	4559,700
O _B 1	1,066	135,169	7,255	806,408
O _B 3	0,000	2690,760	0,000	6186,144

Savijanje

Početni uzorak prema parametrima u tablici 18 posjeduje krutost pri savijanju, što se pranjem i naknadnom obradom mijenja. U smjeru osnove-a prosječne vrijednosti opranih i opranih/omekšanih uzoraka pri savijanju (BARa) su 0. Iznimku čini uzorak opran/omekšan O_B1 ciklus opran. U smjeru potke-e (BARe) vrijednosti se pranjem povećavaju u 1., a smanjuju u 3. ciklusu pranja. Pranj/omekšavanjem kroz 1 ciklus te vrijednosti padaju, a nakon 3 ciklusa se višestruko povećavaju i dosežu ekstremno visoke vrijednosti, pri čemu O_A kroz 3 ciklusa ima jači utjecaj na savijanje.

Analiza BW, rad pri savijanju, u obadva smjera (a i e) numerički je varijabilan. BW u smjeru potke-e pranjem se povećava, a omekšavanjem nakon 3 ciklusa ekstremno se povećava.

Tablica 19. Kompresija bijele poliesterske tkanine

uzorak	Kompresija				
	T	CW	CRR	CAR	RAR
	Mm	gf mm		gf/(cm ² mm)	
N	0,304	307,638	0,650	1858,302	4791,213
D1	0,384	741,218	0,458	391,207	1647,854
D3	0,427	833,254	0,453	294,340	1217,206
O _A 1	0,331	699,096	0,452	383,776	2123,964
O _A 3	0,268	705,831	0,522	369,032	1259,700
O _B 1	0,339	521,469	0,475	485,984	2225,569
O _B 3	0,000	841,190	0,468	435,961	1491,003

Debljina (T)

Kompresija se vrednuje veličinama: CW - rad pri kompresiji; CRR - stopa oporavka kompresije; CAR - prosječna krutost pri kompresiji; RAR - prosječna krutost pri oporavku i T – debljina. Debljina (T) neprane plave poliesterske tkanine (0,304 mm) povećava se s brojem ciklusa pranja. To se može pripisati taloženju sastojaka deterdženta koja nisu utrošena na uklanjanje zaprljanja. Omekšivač (Evo Soft VSJ, O_A) smanjuje vrijednost debljine oprane tkanine, koja je nakon 3 ciklusa (0,267 mm) manja od debljine omekšane (Liosil HC, O_B) tkanine.

Tablica 20. Toplinska svojstva bijele poliesterske tkanine

uzorak	Toplinska svojstva		
	TCC	TCR	Qmax
	W/(m ² C)		W/(m ²)
N	34,518	34,893	1149,595
D1	40,020	38,640	1083,614
D3	40,593	39,798	1011,852
O _A 1	37,495	37,992	1163,238
O _A 3	28,973	27,353	1124,105
O _B 1	35,062	35,263	1077,224
O _B 3	0,000	-17,785	1144,119

Toplinska vodljivost karakterizira se parametrima: TCC - toplinska vodljivost pri kompresiji; TCR - toplinska vodljivost pri oporavku i Qmax - toplinski maksimalni fluks.

Početne vrijednosti ovih parametara pranjem se povećavaju, a naknadnim omekšavanjem smanjuju. Analizirani omekšivači pokazuju razlike u djelovanju kroz broj ciklusa.

Površinska hrapavost vrednuje se veličinama SRA - amplituda hrapavosti površine i SRW - valna duljina površinske hrapavosti.

Tablica 21. Hrapavost bijele poliesterske tkanine

uzorak	Hrapavost			
	SRAa	SRAe	SRWa	SRWe
	µm		Mm	
N	47,831	44,855	1,914	0,872
D1	0,000	44,173	0,000	0,971
D3	0,000	34,985	0,000	1,234
O _A 1	0,000	43,895	0,000	1,309
O _A 3	0,000	41,528	0,000	1,089
O _B 1	0,000	44,383	0,000	1,741
O _B 3	0,000	49,646	0,000	1,474

Neobrađena tkanina u obadva smjera (a i e) bročano je opisana u tablici 21. Početna vrijednost neobrađene (N) tkanine u smjeru osnove-a se smanjuje na 0 (SRA i SRW), dok u smjeru potke-e povećan broj ciklusa pranja ove vrijednosti smanjuje, a pranje/omekšavanje kroz 3 ciklusa ovisi o vrsti omeškivača. Omeškivači ne pokazuju jednoznačne promjene usporedbom SRAe i SRWe.

Tablica 22. Rezultati FTT-a za crvenu poliestersku tkaninu

Uzorak	Glatkoća	Mekoća	Toplina	Potpuni aktivni osjećaj dodira
N	3,0	3,0	3,0	3,0
D1	3,0	3,0	4,0	3,0
D3	3,0	3,0	4,0	4,0
O _A 1	3,0	4,0	4,0	3,0
O _A 3	3,0	4,0	4,0	3,0
O _B 1	3,0	4,0	4,0	3,0
O _B 3	3,0	3,0	4,0	3,0

Na temelju vrijednosti u tablici 22 mekoća crvene tkanine se poboljšava nakon pranja/omekšavanja. Omeškivač O_A je pokazao bolja svojstva mekoće u odnosu na O_B.

Tablica 23. Rezultati FTT-a za **plavu** poliestersku tkaninu

Uzorak	Glatkoća	Mekoća	Toplina	Potpuni aktivni osjećaj dodira
N	3,0	3,0	3,0	3,0
D1	3,0	3,0	4,0	3,0
D3	3,0	3,0	4,0	3,0
O _A 1	3,0	3,0	4,0	3,0
O _A 3	3,0	4,0	4,0	3,0
O _B 1	3,0	3,0	4,0	3,0
O _B 3	3,0	3,0	4,0	3,0

Na temelju vrijednosti u tablici 23 mekoća plave tkanine je gotovo nepromijenjena s brojem ciklusa pranja i pranja/omekšavanja. Poboľšanje mekoće se očituje samo nakon 3 ciklusa pranja/omekšavanja (O_A3).

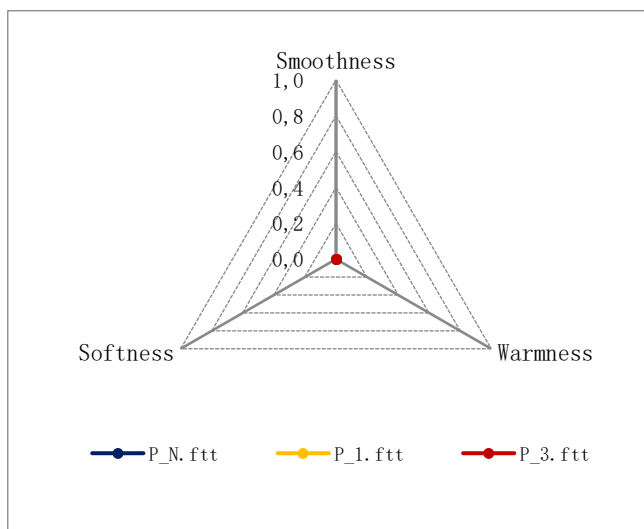
Tablica 24. Rezultati FTT-a za **bijelu** poliestersku tkaninu

Uzorak	Glatkoća	Mekoća	Toplina	Potpuni aktivni osjećaj dodira
N	4,0	2,0	3,0	3,0
D1	3,0	3,0	4,0	3,0
D3	3,0	3,0	4,0	3,0
O _A 1	3,0	4,0	4,0	3,0
O _A 3	5,0	1,0	4,0	4,0
O _B 1	3,0	3,0	4,0	3,0
O _B 3	5,0	1,0	4,0	2,0

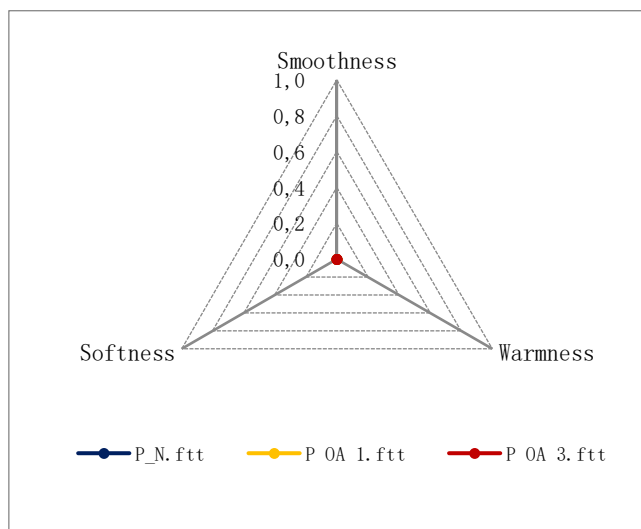
Na temelju vrijednosti u tablici 24 FTT svojstva bijele tkanine razlikuju se u odnosu na plavu i crvenu. Jedan od razloga za ove razlike su moguće preparacije na bijeloj poliesterskoj tkanini. Glatkoća varira i doseže maksimalnu razinu (5,0) nakon 3 ciklusa pranja/omekšavanja s O_A i O_B, a mekoća ovih uzoraka se smanjuje (1,0). Potpun osjećaj dodira tkanina nakon 3 ciklusa pranja/omekšavanja (O_A3) se povećava (ocjena 4,0), a smanjuje nakon pranja/omekšavanja O_B3 (ocjena 2,0).

Na slikama 35-37 su grafički prikazane glatkoća i mekoća analiziranih bijelih, plavih i crvenih tkanina. Na temelju ovih prikaza je vidljiv smjer promjena, koje su izražajnije u smjeru potke.

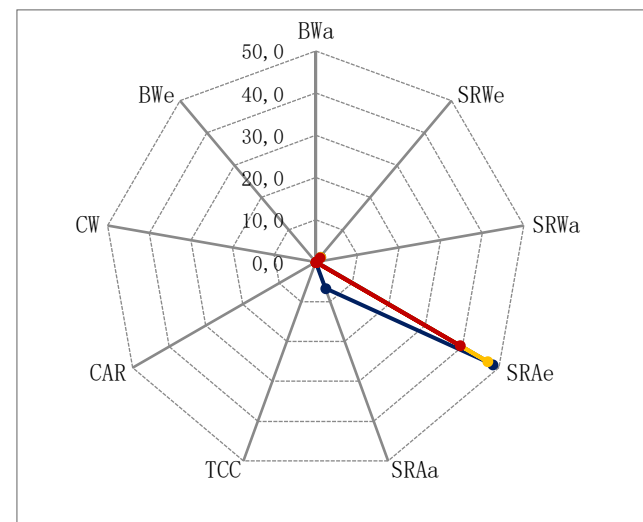
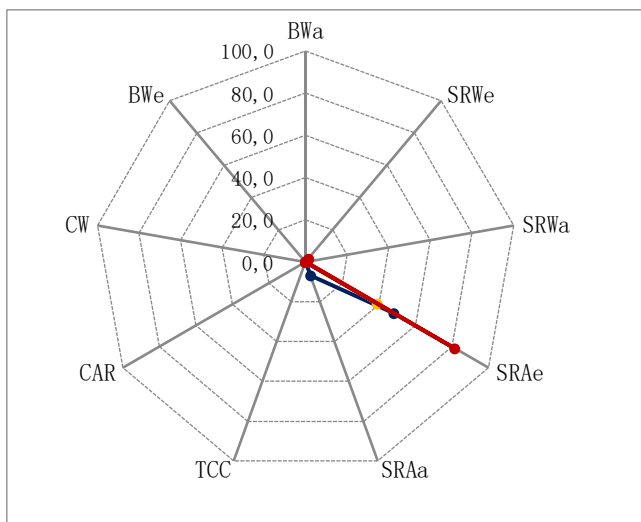
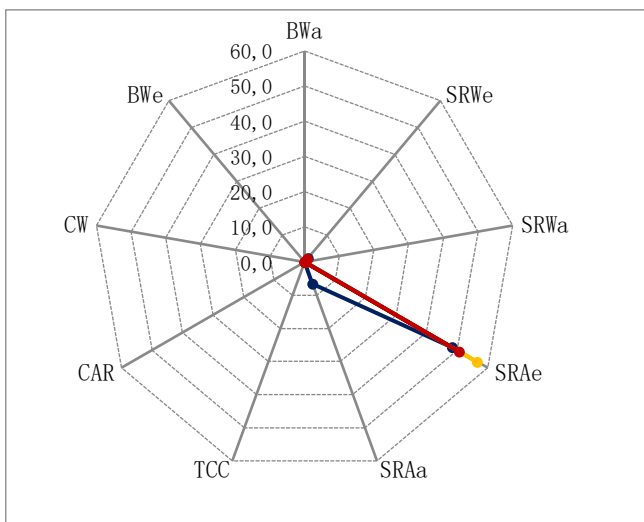
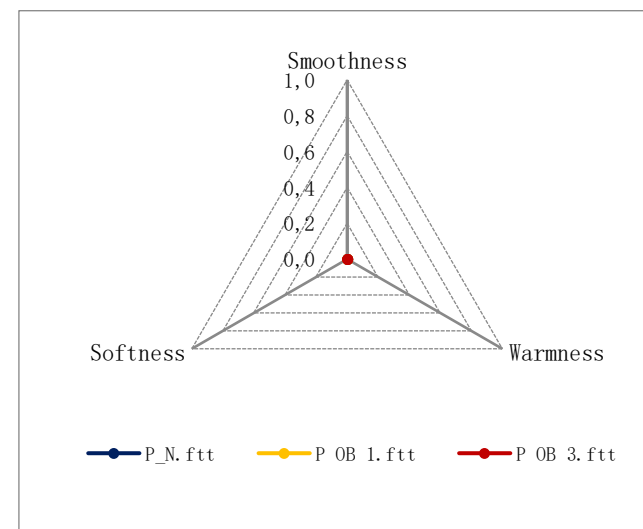
N-D1-D3



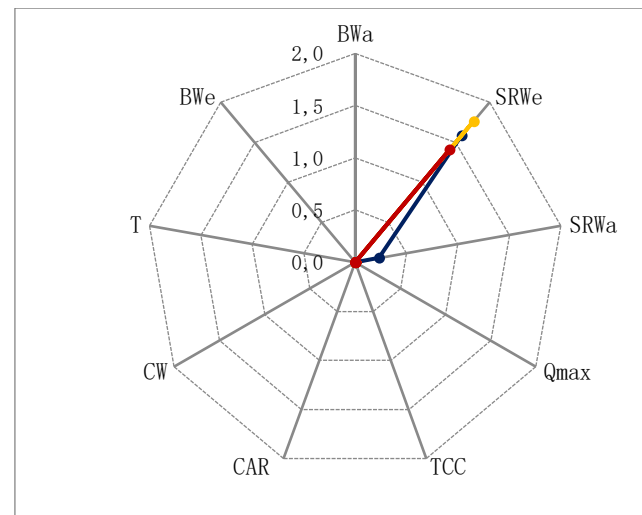
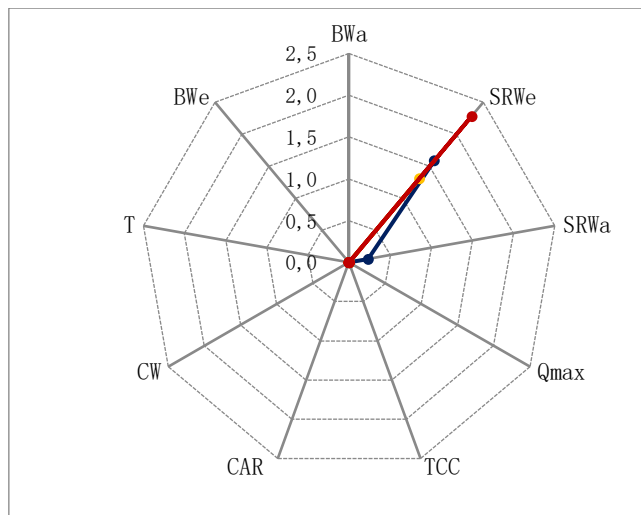
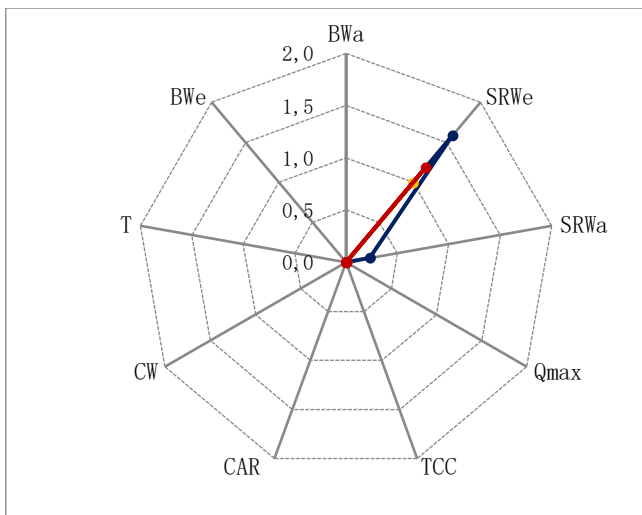
N-O_A1-O_A3



N-O_B1-O_B3



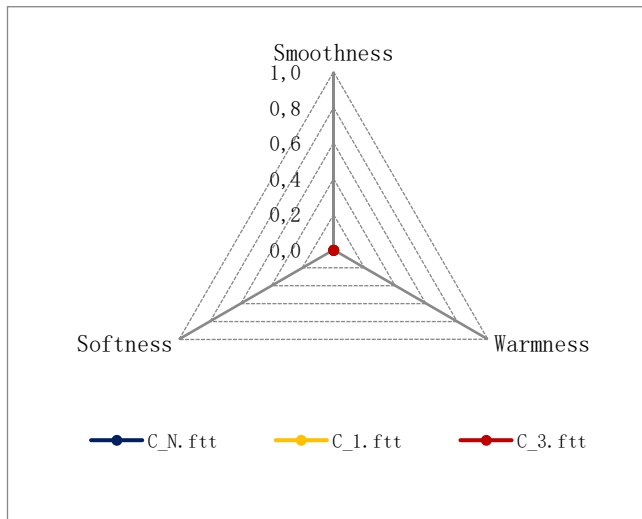
MEKOĆA



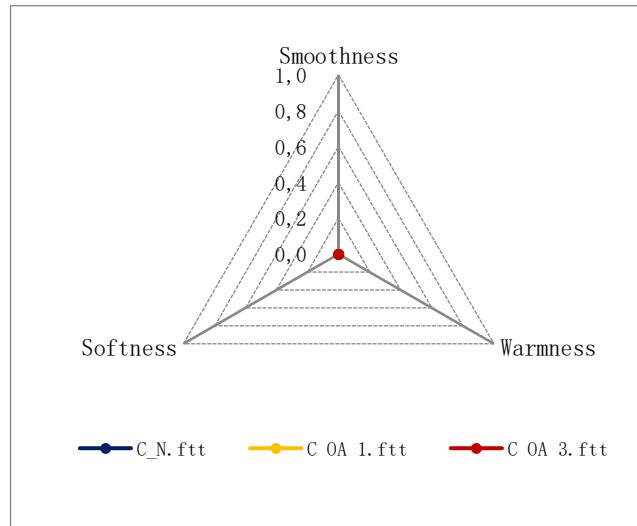
GLATKOĆA

Slika 35. Glatkoća i mekoća plave tkanine ovisno o načinu njege

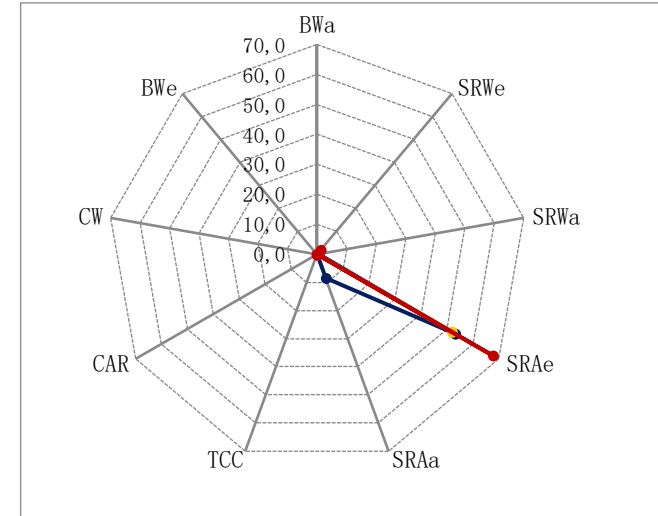
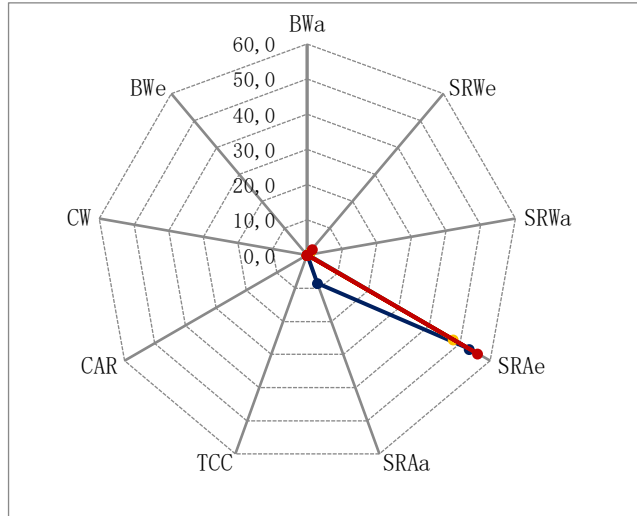
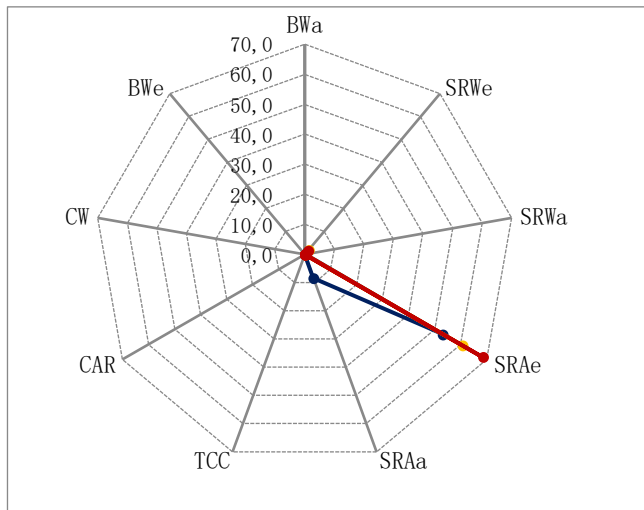
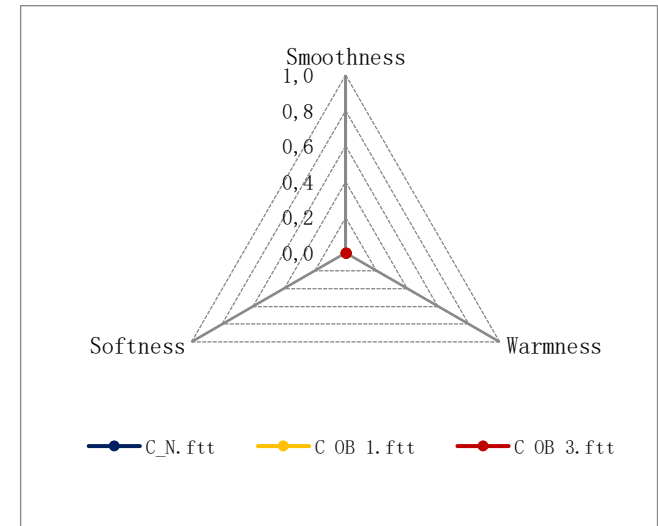
N-D1-D3



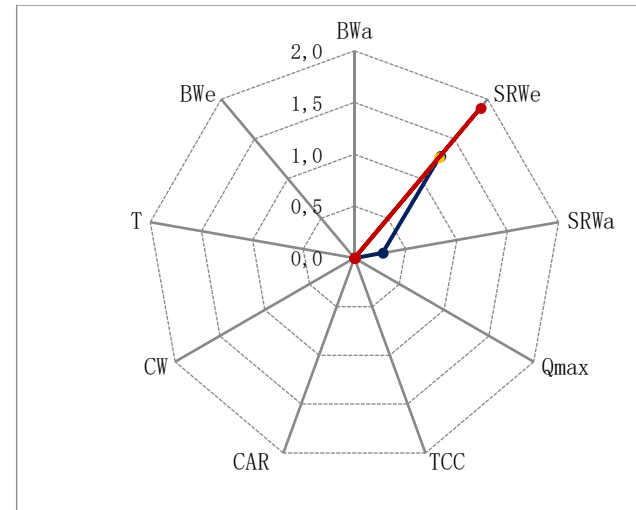
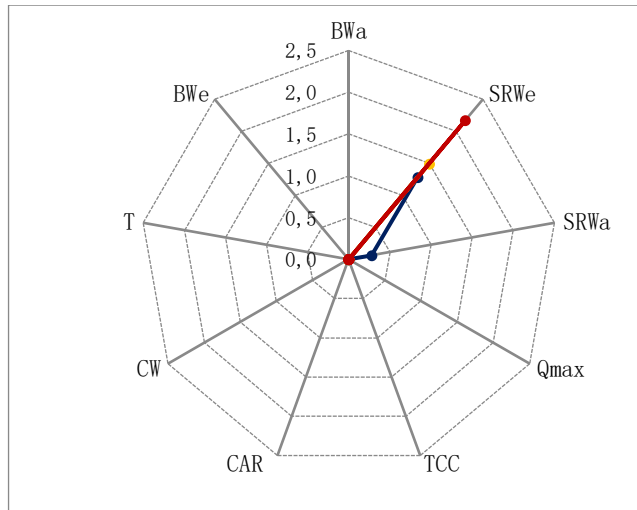
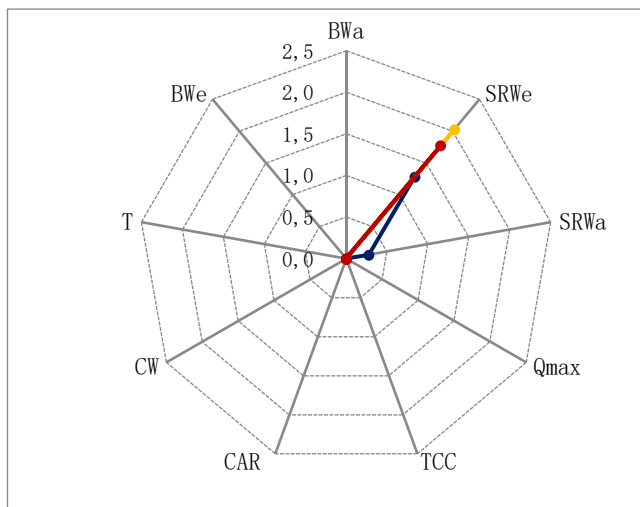
N-O_A1-O_A3



N-O_B1-O_B3



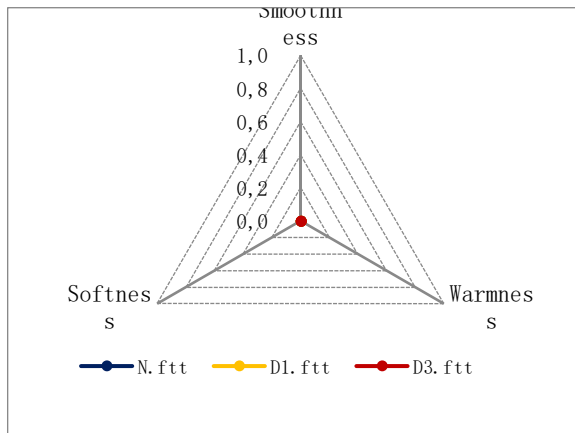
MEKOĆA



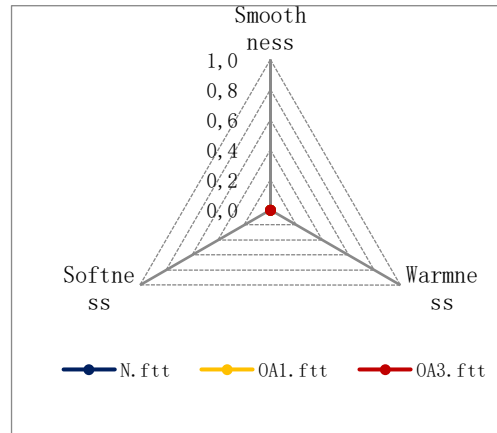
GLATKOĆA

Slika 36. Glatkoća i mekoća crvene tkanine ovisno o načinu njege

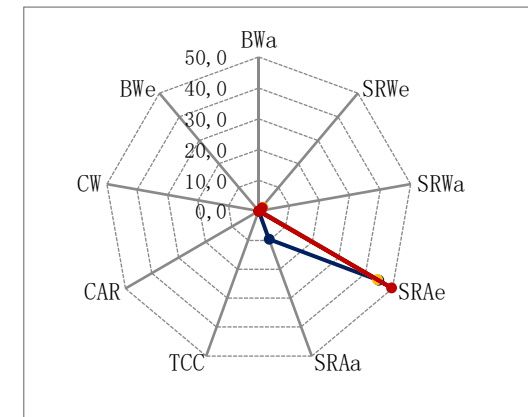
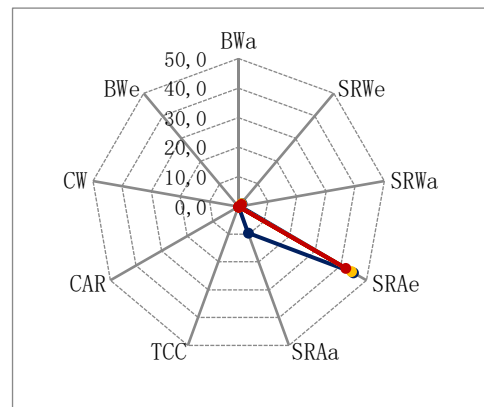
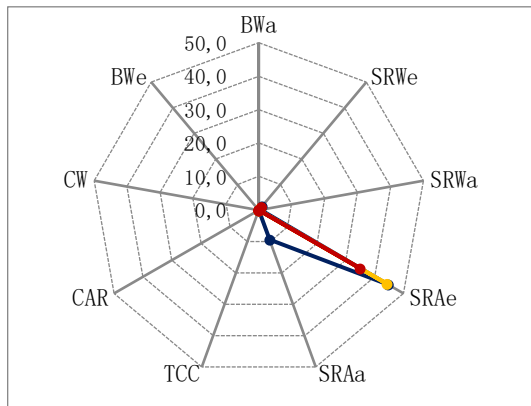
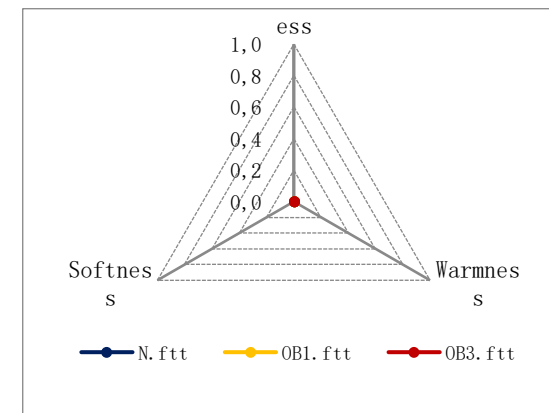
BIJELA N-D1-D3



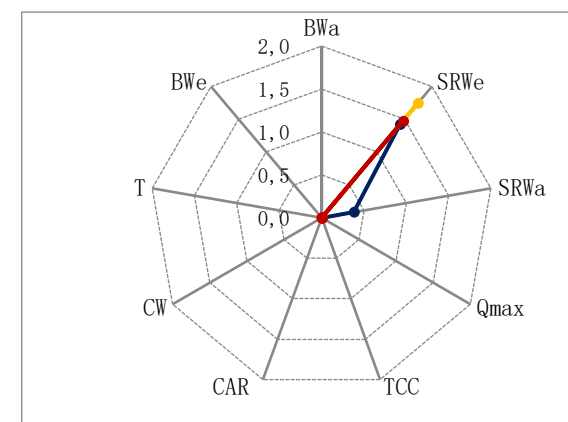
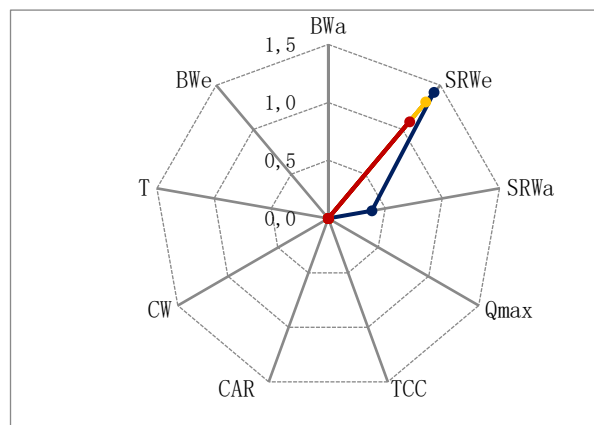
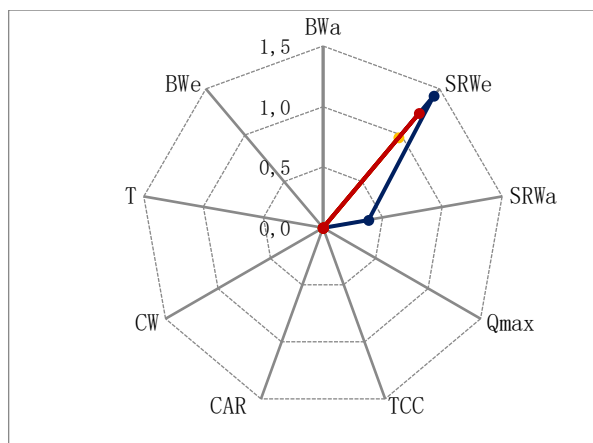
N-O_A1-O_A3



N-O_B1-O_B3



MEKOĆA



GLATKOĆA

Slika 37. Glatkoća i mekoća bijele tkanine ovisno o načinu njege

Površina analiziranih tkanina vrednovana je parametrom pH primjenom kontaktne metode. tablica 25-27.

Tablica 25. pH površine poliesterskih tkanina **crvenog tona**

Uzorak	pH	Temperatura/ °C
N	6,00	23,6
D1	4,88	24,7
D3	6,72	22,4
O _A 1	6,89	22,0
O _A 3	5,52	24,6
O _B 1	5,77	25,3
O _B 3	4,96	25,0

Tablica 26. pH površine poliesterskih tkanina **plavog tona**

Uzorak	pH	Temperatura/ °C
N	6,01	23,9
D1	4,89	24,5
D3	6,68	22,4
O _A 1	7,09	22,0
O _A 3	5,59	24,7
O _B 1	5,76	25,2
O _B 3	4,88	24,7

Tablica 27. pH površine poliesterskih tkanina **bijelog tona**

Uzorak	pH	Temperatura/ °C
N	5,99	23,1
D1	4,91	24,6
D3	6,73	22,5
O _A 1	6,78	22,2
O _A 3	5,54	24,9
O _B 1	5,81	25,4
O _B 3	5,0	25,0

Izmjerene pH vrijednosti površine tkanine smanjuju se u pranju i pranju/omekšavanju u odnosu na neobrađene (N). Ne može se postaviti jednoznačan model za analizirane uzorke. Promjene pH opranih i opranih/omekšanih uzoraka ukazuju na rezidualne supstance na površini.

Spektralne vrijednosti opranih i opranih/omekšanih u odnosu na neobrađene su prikazane u tablicama 28-31. U parnim brojevima tablica su izražene pojedinačne vrijednosti mjerenja, a u neparnim brojevima su iskazane prosječne vrijednosti.

Tablica 28. Spektralne vrijednosti poliesterske tkanine crvenog tona

Uzorak	dL*	dC*	dH*	dE	ISOA05	AATCC
D1	-0,318	0,148	0,190	0,399	5	5
	-0,157	0,121	0,084	0,215	5	5
	-0,280	-0,027	0,110	0,302	5	5
Srednja vrijednost	-0,2517	0,0807	0,128	0,3053	5	5
D3	-0,218	-0,038	-0,089	0,235	5	5
	-0,263	-0,115	-0,081	0,298	5	5
	-0,152	-0,059	-0,150	1,222	5	5
Srednja vrijednost	-0,211	-0,0707	-0,1067	0,585	5	5
O _A 1	-0,564	1,389	0,420	1,557	4-5	4
	-0,626	1,306	0,394	1,501	4-5	4
	-0,673	1,320	0,551	1,581	4-5	4
Srednja vrijednost	-0,621	1,3383	0,455	1,5463	4-5	4
O _A 3	-0,592	1,652	0,671	1,879	4-5	4
	-0,760	1,535	0,760	1,874	4-5	4
	-0,870	1,619	0,864	2,031	4-5	4
Srednja vrijednost	-0,7407	1,602	0,765	1,928	4-5	4
O _B 1	-1,074	2,424	1,164	2,896	4	3-4
	-1,129	2,503	1,138	2,972	4	3
	-1,051	2,522	1,139	2,960	4	3
Srednja vrijednost	-1,0847	2,483	1,147	2,9427	4	3
O _B 3	-1,443	2,847	0,745	3,2789	4	3
	-0,993	3,328	0,792	3,562	4	3
	-1,308	3,261	1,048	3,667	4	3
Srednja vrijednost	-1,248	3,1453	0,8617	3,5026	4	3

Tablica 29. Spektralne vrijednosti poliesterske tkanine **crvenog** tona

Uzorak	dL*	dC*	dH*	dE	ISOA05	AATCC
D1	-0,2517	0,0807	0,128	0,3053	5	5
D3	-0,211	-0,0707	-0,1067	0,585	5	5
O _A 1	-0,621	1,3383	0,455	1,5463	4-5	4
O _A 3	-0,7407	1,602	0,765	1,928	4-5	4
O _B 1	-1,0847	2,483	1,147	2,9427	4	3
O _B 3	-1,248	3,1453	0,8617	3,5026	4	3

Vidljivo je da pranje kroz 1 i 3 ciklusa utječe na neznatnu ukupnu razliku u boji u odnosu na neobrađenu (ocjena postojanost 5). Pranje/omekšavanje utječe na veće promjene spektralnih veličina, a omekšivač O_A ima bolji profil u odnosu na O_B.

Tablica 30. Spektralne vrijednosti poliesterske tkanine **plavog** tona

Uzorak	dL*	dC*	dH*	dE	ISOA05	AATCC
D1	-0,462	-0,107	-0,007	0,475	4-5	4-5
	-0,394	-0,061	0,003	0,398	5	5
	-0,378	0,024	-0,0039	0,381	5	5
Srednja vrijednost	-0,4113	-0,048	-0,0026	0,418	5	5
D3	-0,635	0,113	0,0017	0,645	4-5	4-5
	-0,699	-0,005	0,108	0,708	4-5	4-5
	-0,581	0,015	0,036	0,582	4-5	4-5
Srednja vrijednost	-0,6383	0,041	0,0485	0,645	4-5	4-5
O _A 1	-2,036	0,758	0,150	2,178	3-4	3-4
	-2,023	0,765	0,111	2,166	4	3-4
	-1,808	0,667	0,143	1,933	4	4
Srednja vrijednost	-1,9557	0,73	0,1347	2,0923	4	3-4
O _A 3	-2,466	0,803	0,222	2,603	3-4	3-4
	-2,382	0,897	0,154	2,550	3-4	3-4
	-2,121	0,713	0,100	2,240	3-4	3-4
Srednja vrijednost	-2,323	0,8043	0,1587	2,4643	3-4	3-4
O _B 1	-3,398	1,370	0,290	3,675	3	3
	-3,023	1,142	0,300	3,246	3	3
	-2,910	1,086	0,233	3,115	3	3

Srednja vrijednost	-3,1103	1,1993	0,2743	3,453	3	3
O _{B3}	-3,880	1,803	0,307	4,289	3	2-3
	-3,881	1,887	0,359	4,331	3	2-3
	-3,719	1,538	0,366	4,041	3	3
Srednja vrijednost	-3,8267	1,7427	0,344	4,2203	3	2-3

Tablica 31. Prosječne spektralne vrijednosti poliesterske tkanine **plavog tona**

Uzorak	dL*	dC*	dH*	dE	ISOA05	AATCC
D1	-0,4113	-0,048	-0,0026	0,418	5	5
D3	-0,6383	0,041	0,0485	0,645	4-5	4-5
O _{A1}	-1,9557	0,73	0,1347	2,0923	4	3-4
O _{A3}	-2,323	0,8043	0,1587	2,4643	3-4	3-4
O _{B1}	-3,1103	1,1993	0,2743	3,453	3	3
O _{B3}	-3,8267	1,7427	0,344	4,2203	3	2-3

Vidljivo je da pranje kroz 1 i 3 ciklusa utječe na ukupnu razliku u boji u odnosu na neobrađenu, pri čemu je postojanost obojenja vrednovana nakon 1 ciklusa pranja ocjenom 5, a nakon 3 ciklusa ocjenom postojanosti 4-5.

Pranje/omekšavanje utječe na veće promjene spektralnih veličina, a omekšivač O_A ima bolji profil u odnosu na O_B.

Stupanj bjeline poliesterske tkanine prije i nakon pranja i pranja/omekšavanja prikazan je u tablici 32 i 33.

Tablica 32. Stupanj bjeline poliesterske tkanine

Uzorak	W _{CIE}	TV	TD
D1	65,5	-0,5	/
	65,7	-0,5	/
	65,9	-0,5	/
Srednje vrijednosti	65,7	-0,5	/
D3	66,3	-0,6	R1
	66,1	-0,5	R1
	65,7	-0,6	R1
Srednja vrijednost	66,0	-0,6	R1
O _{A1}	66,5	-0,5	R1
	67,1	-0,6	R1

	66,5	-0,5	R1
Srednja vrijednost	66,7	-0,5	R1
O _{A3}	66,9	-0,6	R1
	67,2	-0,6	R1
	67,1	-0,6	R1
Srednja vrijednost	67,1	-0,6	R1
O _{B1}	68,1	-0,4	/
	67,5	-0,4	/
	68,0	-0,4	/
Srednja vrijednost	67,9	-0,4	/
O _{B3}	70,2	-0,4	/
	70,4	-0,4	/
	70,5	-0,4	/
Srednja vrijednost	70,4	-0,4	/
N	66,0	-0,4	/
	66,2	-0,4	/
	67,2	-0,4	/
Srednja vrijednost	66,5	-0,4	/

Tablica 33. Prosječne vrijednosti stupnjeva bjeline poliesterske tkanine bijelog tona

Uzorak	W _{CIE}	TV	TD
N	66,5	-0,4	/
D1	65,7	-0,5	/
D3	66,0	-0,6	R1
O _{A1}	66,7	-0,5	R1
O _{A3}	67,1	-0,6	R1
O _{B1}	67,9	-0,4	/
O _{B3}	70,4	-0,4	/

Iz rezultata prikazanih u tablici 33 vidljivo je da pranje/omekšavanje ne utječe na pad bjeline, što se može smatrati povoljnim utjecajem omekšivača.

5. ZAKLJUČAK

U radu je načinjena analiza 3 ciklusa pranja i 3 ciklusa naknadne obrade s dva silikonska omekšivača na svojstva poliesterske tkanine crvenog, plavog i bijelog tona. Silikonski omekšivači dodani su nakon 1., 2. i 3. ciklusa pranja. Učinak naknadne obrade omekšivačima ocijenjen je kroz usporedbu FTT (*Fabric Touch Tester*) svojstava oprane i omekšane poliesterske tkanine u odnosu na opranu i neopranu.

Vrednovana FTT svojstva:

- **plave poliesterske tkanine** neznatno se mijenjaju s brojem ciklusa pranja i pranja/omekšavanja.
- **crvene poliesterske tkanine** poboljšavaju se nakon pranja/omekšavanja, pri čemu je mekoća tkanine omekšane s O_A bolja u odnosu na O_B .
- **bijele poliesterske tkanine** razlikuju se u odnosu na plavu i crvenu, a jedan od razloga su moguće preparacije na bijeloj poliesterskoj tkanini. Glatkoća uzoraka varira, a maksimalnu razinu (5,0) imaju tkanine nakon 3 ciklusa pranja/omekšavanja s O_A i O_B . Mekoća ovih uzoraka se smanjuje i ocijenjena je minimalnom razinom (1,0).

Pranje/omekšavanje plave poliesterske tkanine utječe na veće promjene spektralnih veličina u odnosu na pranje. Omekšivač O_A ima bolji profil u odnosu na O_B .

Pranje crvene poliesterske tkanine kroz 1 i 3 ciklusa utječe na neznatnu ukupnu razliku u boji u odnosu na neobrađenu. Pranje/omekšavanje utječe na veće promjene spektralnih veličina, a omekšivač O_A ima bolji profil u odnosu na O_B .

Ciklusi pranja i pranja/omekšavanja ne utječu na pad bjeline **bijele** tkanine, što se može smatrati povoljnim svojstvima analiziranih omekšivača.

Svojstva analiziranih svojstava bijelih, plavih i crvenih poliesterskih tkanina na temelju FTT parametara nisu jednoznačno promijenjena. Omekšivač **Evo® Soft VSJ (O_A)** je u analiziranim uvjetima pokazao bolji učinak na opip nego omekšivač **Liosil® HC 603 E (O_B)**.

Konačan učinak ovih obrada će se procijeniti kroz analizu otpuštenih čestica s poliesterskih tkanina u efluent od procesa pranja, što je slijedeća faza istraživanja.

6. LITERATURA

- [1] De Falco F., Cocc M.C., Avella M., Thompson R.C.: Microfiber release to water, via laundering, and to air, via everyday use: a comparison between polyester clothing with different textile parameters, *Environmental Science Technology* 54 (2020) 6, 3288-3296
- [2] Tralić-Kulenović V., Karaman B., Fišer-Jakić L.: Uvod u organsku kemiju, Sveučilište u Zagrebu (2004.)
- [3] Čorak I., Pušić T., Tarbuk A.: Enzimi za hidrolizu poliestera, *Tekstil* 68 (2019) 7-9, 142-151
- [4] Nayak R., Ratnapandian S.: Care and Maintenance of Textile Products Including Apparel and Protective Clothing, Textile Institute Professional Publications 1st Edition, Kindle Edition, Taylor & Francis Group (2018)
- [5] Palacios-Mateo C., van der Meer Y., Seide G.: Analysis of the polyester clothing value chain to identify key intervention points for sustainability, *Environmental Sciences Europe* 33 (2021) 2, 1-25
- [6] Elsner P., Hatch K. : Textiles and the Skin, Karger, 2003
- [7] Čurlin M., Pušić T., Vojnović B., Vinčić A.: Karakterizacija efluenata od pranja tekstilija metodom raspodjele čestica, 18. Ružičkine dani, Danas znanost-sutra industrija, (16.-18.9.2021.)
- [8] Marčac-Škrtić B., Soljačić, I.: Sredstva za omekšavanje tekstilnih materijala, *Tekstil* 50 (2001) 2, 63-71
- [9] Levinson M.I.: Rinse-Added Fabric Softener Technology at the Close of the twentieth century, *Journal of Surfactants and Detergents* (1999) 2, 223-235
- [10] Crutzen A.: Fabric softeners, u *Liquid Detergents*, Lai K.Y., 2nd edition, CRC Press, SAD, 2006
- [11] Schröder U.: Fabric Softener Market Development Worldwide, Proceedings of the 4th World Conference on Detergents: Strategies for the 21 Century, Cahn A., ed, October 4-8, (1998), Montreux, Švicarska, 142-148
- [12] Baretto E. A., Innovative Technology for Fabric Softeners. New benefits in a Traditional Category, Book of Proceedings of the International Detergency Conference, IDC, Duesseldorf 4.-6. 4. 2017., 284-301
- [13] Oikonomou E.K., Mousseau F., Christov N., Cristobal G., Vacher A., Airiau M., Bourgaux C., Heux L., Berret J.F.: Fabric Softener/Cellulose Nanocrystal Interaction: A Model For Assessing Surfactant Deposition On Cotton, *J. Phys. Chem. B* 121 (2017) 10, 2299–2307

- [14] Aragwal, G. : Interaction of textile parameters, wash-ageing and use of fabric softener during the laundry with mechanical properties of the knitted fabrics and correlation with textile hand, doktorski rad, University of Lille, 2011
- [15] Hoyt-Lalli J.K.: Synthesis of functionalized polysiloxanes and investigation of highly filled thermally conductive microcomposites, disertacija, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 2002
- [16] DySTAR, Company brochure
- [17] Henault, B., Elms, R.: A Fresh Look at Fabric Softeners – Silicone Technologies Offer Formulating Opportunities for a Sophisticated Marketplace, Soap and Cosmetics, 77 (2001) 6, 34-40.
- [18] Pušić T., Soljačić I., Grancarić A.M., Tarbuk A.: Adsorption of surfactants on textile fibres, 3rd Central European Conference, 10-12 September 2003, Portorose
- [19] Bereck, A. et al., Textilveredelung (1997) 158-163
- [20] Wacker, Company brochure
- [21] Geršak J.: Objektivno vrednovanje plošnih tekstilija i odjeće, Sveučilište u Zagrebu, 2014
- [22] Musa A. B. H., Malengier B., Vasile S., Langenhove L., De Raeve A.: Analysis and Comparison of Thickness and Bending Measurements from Fabric Touch Tester (FTT) and Standard Methods, AUTEX Research Journal, 18 (2018), 51-60
- [23] Dakin S.: Comfort Properties of Textile Fabrics, prezentacija Portfolio SDL Atlas, 2021