

# UTJECAJ FIZIKALNO-KEMIJSKIH SVOJSTAVA INHIBITORA POSIVLJENJA NA ZETA POTENCIJAL OPRANIH PAMUČNIH MATERIJALA

---

Višić, Ksenija

Doctoral thesis / Disertacija

2023

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:201:896743>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#) / [Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-03**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

Tekstilno-tehnološki fakultet

Ksenija Višić

**UTJECAJ FIZIKALNO-KEMIJSKIH  
SVOJSTAVA INHIBITORA  
POSIVLJENJA NA ZETA POTENCIJAL  
OPRANIH PAMUČNIH MATERIJALA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2022.



Sveučilište u Zagrebu

Tekstilno-tehnološki fakultet

Ksenija Višić

**UTJECAJ FIZIKALNO-KEMIJSKIH  
SVOJSTAVA INHIBITORA  
POSIVLJENJA NA ZETA POTENCIJAL  
OPRANIH PAMUČNIH MATERIJALA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Tanja Pušić

Zagreb, 2022.



University of Zagreb

FACULTY OF TEXTILE TECHNOLOGY

Ksenija Višić

**IMPACT OF PHYSICO-CHEMICAL  
PROPERTIES OF ANTI-REDEPOSITION  
AGENTS ON THE ZETA POTENTIAL OF  
WASHED COTTON MATERIALS**

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisor: Professor Tanja Pušić, Ph. D.

Zagreb, 2022



UDK:

<u>Znanstveno područje:</u>	<b>2. Tehničke znanosti</b>
<u>Znanstveno polje:</u>	<b>2.13. Tekstilna tehnologija</b>
<u>Znanstvena grana:</u>	<b>2.13.02. Tekstilna kemija</b>
<u>Institucija:</u>	<b>Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet</b>
<u>Mentor:</u>	<b>prof. dr. sc. Tanja Pušić Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet</b>
<u>Broj stranica:</u>	<b>238</b>
<u>Broj slika:</u>	<b>85</b>
<u>Broj tablica:</u>	<b>38</b>
<u>Broj jednadžbi:</u>	<b>16</b>
<u>Broj literaturnih referenci:</u>	<b>138</b>
<u>Broj priloga:</u>	<b>9</b>
<u>Jezik sažetka:</u>	<b>hrvatski i engleski</b>
<u>Jezik teksta:</u>	<b>hrvatski</b>
<u>Datum obrane:</u>	<b>10. lipnja 2022.</b>

Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu doktorskog rada u sastavu:

- 1.** Prof. dr. sc. **Sandra Bischof**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, predsjednik
- 2.** Izv. prof. dr. sc. **Julija Volmajer Valh**, Univerza v Mariboru Fakulteta za strojništvo, član
- 3.** Prof. emeritus **Ivo Soljačić**, Sveučilište u Zagrebu, član
- 4.** Prof. dr. sc. **Mirjana Čurlin**, Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet, član
- 5.** Prof. dr. sc. **Tanja Pušić**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, član

Rad je pohranjen u:

Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, Ulica Hrvatske bratske zajednice 4, Zagreb  
Knjižnici Tekstilno-tehnološkog fakulteta, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb

Tema doktorskog rada „**Utjecaj fizikalno-kemijskih svojstava inhibitora posivljenja na zeta potencijal opranih pamučnih materijala**“ prihvaćena je na 5. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta održanoj 18. ožujka 2016. godine u akademskoj godini 2015./2016., te odobrena od Senata Sveučilišta u Zagrebu na 13. sjednici održanoj 13. rujna 2016. u 347. akademskoj godini (2015./2016.).

## ZAHVALA

Od srca veliko hvala svima koji su pomagali pri izradi ovog doktorskog rada, ali i na mnoge načine oblikovali mene i moj život proteklih godina.

Posebnu zahvalnost iskazujem prof. dr. sc. Tanji Pušić, mojoj dragoj mentorici, koja me uvela u sva područja znanstveno-istraživačkog rada i uvijek bila spremna pomoći. Hvala Vam na uloženom vremenu i nesebičnom prenošenju znanja. Hvala Vam što ste vjerovali u mene, poticali me i ohrabrivali prilikom realizacije ovoga rada. Uz Vaš topao i majčinski pristup puno sam naučila o vrijednostima u životu :)

Osobitu zahvalnost dugujem prof. emeritus Ivi Soljačiću jer je svojim bogatim znanstvenim i životnim iskustvom dijelio pozitivnu energiju i znanje, usmjeravao me i hrabrio.

Posebno se zahvaljujem i članovima Povjerenstva, prof. dr. sc. Sandri Bischof, izv. prof. dr. sc. Juliji Volmajer Valh i prof. dr. sc. Mirjani Čurlin na potpori i konstruktivnim komentarima koji su obogatili moj znanstveno-istraživački rad. Bilo je veliko zadovoljstvo surađivati s Vama!

Veliko hvala svim članovima Zavoda za tekstilnu kemiju i ekologiju. Volim misliti da sam stekla i kolege i prijatelje. Baš sam sretna što sam dio ove jedinstvene zajednice.

*Beskrajno hvala mojoj cijeloj obitelji i prijateljima na strpljenju, podršci i vjeri da ću jednog dana biti tu di jesam i što se iskreno radujete sa mnom. Baća Anka i deda Dragec, tu ste uz mene osjećam to, jako sam vas voljela i hvala vam za sve što ste činili za mene. Moji mama Marija i tata Zdravko, koji ste mi pokazali što je biti borben u životu, hvala vam za sve izrečene molitve, ljubav i razumijevanje. Moja braća Kruno i Karlo, seća Karolina hvala što ste bili uvijek uz mene i moje dvojbe proživljavali sa mnom, puno vas volim. Miro, ljubavi moja, hvala ti za bezgraničnu potporu i ljubav! Tvoja iskrenost i subjektivnost bile su moje druge oči. Mileni moji Antonio i Anabela, hvala što ste bili poslušni i strpljivi u turbulentnim situacijam. Mama vas voli do neba i natrag :)*

*Kad bih sve ljudske i anđeoske jezike govorio, a ljubavi ne bih imao,*

*bio bih poput mjedi što ječi ili cimbalu što zveči.*

## SAŽETAK

Derivati celuloze i škroba, natrijeva karboksimetil celuloza (CMC) i natrijev karboksimetil škrob (CMS) istraženi su kao modifikatori površine i inhibitori posivljenja u procesu pranja standardne pamučne tkanine u tvrdoj i mekoj vodi pri različitim temperaturama. Odabrani polimeri su karakterizirani određivanjem stupnja supstitucije (DS), viskoznosti i morfološkim značajkama. Istraživanje je koncipirano kroz analizu utjecaja mehanike, kemije i temperature kao čimbenika Sinner-ovog kruga procesa pranja pri temperaturama 40 °C, 60 °C i 90 °C na svojstva pamučne tkanine. Utjecaj mehanike je praćen u dva procesna sustava različitih hidrodinamičkih performansi, a kemijski utjecaj varijacijom sastava kupelji u tvrdoj i mekoj vodi, pri čemu su deterdžentu dodani CMC, CMS, njihova mješavina (CMC+CMS), CMC niske viskoznosti (CMC LV) i CMC visoke viskoznosti (CMC HV). Pamučne tkanine prije i nakon 10 ciklusa pranja su karakterizirane preko sadržaja rezidualnih tvari, primjenom skenirajuće elektronske mikroskopije (SEM), skenirajuće elektronske mikroskopije s elementarnom analizom (SEM-EDS) i infracrvene spektroskopije s Fourierovom transformacijom (FTIR). Primijenjeni polimeri u sastavu deterdženta analizirani su kroz potencijal modifikacije površine pamučne celuloze i inhibiranje prijelaza prljavštine sa standardnih donora zaprljanja na modificirane i nemodificirane pamučne tkanine.

Stupanj modifikacije pamučne tkanine u procesu pranja deterdžentom uz dodatak odabranih polimera dodanih deterdžentu u tvrdoj i mekoj vodi pri navedenim temperaturama praćen je mjerenjem potencijala strujanja u ovisnosti o pH kalijevog klorida iz kojeg je određen zeta potencijal.

Dobiveni rezultati zeta potencijala i sadržaja rezidualnih tvari standardnih pamučnih tkanina prije i nakon pranja ukazali su na razlike između pojedinih polimera, te na svrhovitost provedbe hijerarhijske klusterske analize u ocjeni potencijala primijenjenih polimera u modifikaciji površine obzirom na složenost procesa pranja i potrebu povezivanja pojedinih parametara Sinner-ovoga kruga. Odnos naboja površine pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju u tvrdoj i mekoj vodi pokazuje da CMC HV u svim analiziranim uvjetima tvrdoće vode i temperature ima najveći potencijal modifikacije, odnosno najviše povećava negativnu vrijednost zeta potencijala pamučne tkanine.

***Ključne riječi: pamučna tkanina, pranje, deterdžent, polimeri, karboksimetil celuloza, karboksimetil škrob, zeta potencijal, analitičke metode***

## **EXTENDED ABSTRACT**

Cellulose and starch derivatives, sodium carboxymethyl cellulose (CMC) and sodium carboxymethyl starch (CMS) were investigated in the washing process as surface modifiers of standard cotton fabric and antiredeposition agents in hard and soft water at 40 °C, 60 °C and 90 °C. Selected polymers were characterized by determining the degree of substitution (DS), viscosity and morphological characteristics.

The research was conceived through the analysis of the influence of mechanics, chemistry and temperature as factors of the Sinner cycle of the washing process at temperatures of 40 °C, 60 °C and 90 °C on the properties of cotton fabric. The influence of mechanics is monitored through two process systems of different hydrodynamic performances. The chemical effect was monitored through the largest number of variations in the composition of the bath in hard and soft water, CMC, CMS, their mixture (CMC + CMS), CMC low viscosity (CMC LV) and CMC high viscosity (CMC HV) added to the detergent.

The applied polymers were analyzed through the potential of modifying the surface of cotton cellulose and inhibiting the deposition of stain from standard donors to modified and unmodified cotton fabrics.

The degree of modification of cotton fabric in the washing process with detergent and selected polymers added to detergent in hard and soft water at selected temperatures was monitored by measuring the streaming potential from which the zeta potential was determined. The surface charge of cotton fabrics before and after modification in washing was measured in electrolyte solution, 0.001 mol / L KCl through a titration procedure from alkaline to acidic media.

The obtained results of zeta potential and residual matter content of standard cotton fabrics before and after washing indicated differences between individual polymers, and the expediency of hierarchical cluster analysis in assessing the potential of applied polymers in surface modification.

Cotton fabrics before and after 10 wash cycles were characterized by residual substance content, using scanning electron microscopy (SEM), scanning electron microscopy with energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS), Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy.

The ash values for cotton fabrics washed in hard water depend on the washing conditions, and generally are 6 to 10 times higher than the ash values of cotton fabrics washed in soft water. The generation of incrustations in hard water and deposition on the surface of cotton fabrics at 60 °C and 90 °C is higher compared to 40 °C, which confirms the insufficient potential of the builder to bind alkaline earth ions at 60 °C and 90 °C. A review of all results shows that the

high degree of water hardness and washing temperature have a dominant influence on the total ash content of washed cotton fabrics.

A comparison of the values of ash from fabrics washed with detergent of different composition in hard water at all temperatures with the values of ash from cotton fabrics washed only in hard water indicates that washing with detergent affected the additional incrustations on the fabric surface, generally six times at 40 °C, eight times at 60 °C and almost quadruple at 90 °C. This can be attributed to the conditions of washing standard cotton fabric without soiling for 10 cycles with detergent, whose ingredients were not act to remove stain. Some organic components (soap and anionic surfactants) in the detergent in interaction with ions of alkaline earth ions generated moderately soluble and / or insoluble deposits, which burdened the surface of cotton fabric and increased the content of residual substances (total ash).

Slightly lower values in total ash of cotton fabric washed in a laboratory washing machine compared to fabric washed in a laboratory device can be explained by a stronger mechanical and hydrodynamic effect when washed in a laboratory washing machine.

Based on the obtained spectrograms, FTIR spectroscopy is not a suitable method for characterization of such a modified cotton fabric in different washing procedures.

Washing with detergent in soft and hard water at different temperatures affects the changes in the zeta potential of cotton fabrics. The values were less negative compared to unwashed cotton fabric. Minor negative values may indicate the impossibility of complete dissociation of the active groups of cellulose. The detergent containing builders softened the water, while its other ingredients were not focused on the primary task – stain removal, but partly overloaded the cotton surface. The surface charge of a CMS-modified fabric in hard water at 60 °C is similar to the surface charge of a standard cotton fabric in a highly alkaline media. Based on the obtained ratios, it can be concluded that CMC as a modifier in detergent has a more favorable effect on increasing the negative charge of the surface of cotton fabric in soft water at 40 °C and 60 °C. Zeta potential curves indicate a dominant influence of CMC in the CMC + CMS mixture over the CMS. Following the differences between the curves and the values of the zeta potential, it can be seen that polymer-modified cotton fabrics in soft water have a more negative surface charge compared to polymer-modified fabrics in hard water. Based on the obtained ratios, CMC as a polymer had the effect of increasing the negative charge of the surface of cotton fabric modified in soft water at 40 °C, 60 °C and 90 °C. Cotton fabrics modified with a CMC at 90 °C in hard water had a less negative surface charge compared to almost all other polymer-modified cotton fabrics. This is related to the influence of elevated temperature (90 °C) on the weaker potential of CMC, and not to the degree of deposits, since their content on

the surface of detergent-modified fabrics with CMC at 40 °C, 60 °C and 90 °C in hard water is almost equal (0.84%; 1.01%; 1.49%), and soft water is low (from 0.20% to 0.27%).

The polymers, CMC HV and CMC LV added to the detergent in the wash at 40 °C had the effect of increasing the negative charge of the cotton fabric, thus showing the highest degree of modification. The degree of settling of residual substances on the surface of fabric washed at 40 °C and 90 °C did not affect the orientation of the CMC HV, which confirmed the more negative charge of the cotton fabric surface. Exceptionally, in these conditions, the CMC HV polymer has the greatest potential for reducing the zeta potential, ie lower values compared to unwashed cotton fabric.

The charge ratio of the surface of cotton fabrics washed in a laboratory device in hard and soft water showed that CMC HV in all analyzed conditions of water hardness and temperature had the greatest potential for modification, ie increased the negative value of the zeta potential of cotton fabric.

***Keywords: cotton fabric, washing, detergent, polymers, carboxymethyl cellulose, carboxymethyl starch, zeta potential, analytical methods***

# SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
2.	TEORIJSKA RAZMATRANJA.....	4
2.1	Proces pranja.....	6
2.1.1	Utjecaj vode.....	9
2.2	Primarni učinci u pranju .....	11
2.3	Sekundarni učinci u pranju.....	12
2.4	Odabrani polimeri – inhibitori posivljenja .....	15
2.4.1	Karboksimetil celuloza, CMC.....	15
2.4.2	Karboksimetil škrob, CMS.....	23
2.4.3	Specijalni polimeri, SRP .....	25
2.5	Zeta potencijal .....	25
2.5.1	Naboj površine polimera .....	29
2.5.2	Naboj površine celuloznih materijala.....	30
3.	EKSPERIMENTALNI DIO.....	35
3.1	Materijali .....	36
3.1.1	Standardna pamučna tkanina.....	36
3.1.2	Standardni donori zaprljanja .....	36
3.1.3	Deterdžent .....	37
3.1.4	Inhibitori posivljenja .....	38
3.1.4.1	Karboksimetil celuloza (CMC).....	38
3.1.4.2	Karboksimetil celuloza niske viskoznosti (CMC LV).....	39
3.1.4.3	Karboksimetil celuloza visoke viskoznosti (CMC HV) .....	39
3.1.4.4	Karboksimetil škrob (CMS).....	40
3.2	Postupci .....	41
3.2.1	Pranje u laboratorijskoj perilici (P) .....	41
3.2.2	Pranje u laboratorijskom uređaju (M) .....	42
3.3	Metode.....	45
3.3.1	Metoda određivanja tvrdoće vode .....	46
3.3.2	Metoda određivanja pH.....	46
3.3.3	Metoda za određivanje stupnja supstitucije inhibitora posivljenja .....	47
3.3.4	Metoda za određivanje viskoznosti otopina inhibitora posivljenja .....	48
3.3.5	Metoda za određivanje sadržaja vlage u inhibitorima posivljenja .....	49
3.3.6	Skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM).....	50
3.3.7	Metoda za određivanje rezidualnih tvari na pamučnim tkaninama.....	51



3.3.8	Remisijska spektrofotometrija.....	52
3.3.9	Metoda potencijala strujanja .....	54
3.3.10	FTIR spektroskopija .....	54
3.3.11	Hijerarhijska klaster analiza (HCA).....	56
4.	REZULTATI I RASPRAVA .....	58
4.1	Analiza svojstava referentnih uzoraka - I cjelina .....	59
4.2	Karakterizacija pamučne tkanine prije i nakon modifikacije polimerima (MP) - II cjelina67	
4.2.1	Rezidualne tvari – sadržaj pepela pamučne tkanine.....	67
4.2.2	Mikrostruktura pamučne tkanine i rezidualnih tvari - pepeo .....	73
4.2.3	FTIR spektri pamučnih tkanina prije i nakon pranja.....	78
4.2.4	Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon modifikacije u pranju .....	87
4.2.4.1	Analiza zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon modifikacije u pranju deterdžentom i odabranim polimerima na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskoj perilici (P) .....	97
4.2.4.2	Analiza zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon modifikacije u pranju deterdžentom i odabranim polimerima na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskom uređaju Polymat (M).....	103
4.2.4.3	Usporedba naboja površine pamučne tkanine u alkalnom području .....	109
4.2.5	Klaster analiza parametara u procesu pranja.....	112
4.2.6	Stupanj bjeline pamučnih tkanina prije i nakon modifikacije odabranim polimerima u pranju .....	122
4.3	Karakterizacija pamučne tkanine prije i nakon djelovanja odabranih polimera - inhibitora posivljenja (IP) u pranju – III cjelina.....	124
4.3.1	Primarni učinak – remisije sa standardnih donora zaprljanja (EMPA).....	125
4.3.2	Utjecaj modifikacije pamučne tkanine na inhibiranje posivljenja u pranju .....	132
5.	ZAKLJUČAK .....	137
6.	LITERATURA.....	142
7.	PRILOZI.....	156

# 1. UVOD

Pranjem se s tekstila uklanjaju prljavštine u vodenom mediju pri čemu važnu ulogu imaju čimbenici Sinner-ovog kruga: temperatura, vrijeme, mehaničko djelovanje i sredstvo za pranje. Vodotopive prljavštine i najveći dio sastojaka deterdženata u vodi se otapaju, a netopivi sastojci deterdženta i netopive prljavštine u vodi se fino dispergiraju. Kroz proces miješanja, turbulencije i zagrijavanja vode kao medija tijekom pranja dolazi do fenomena prijenosa topline i količine gibanja koji utječu na otkidanje čestica prljavština s vlakna i njihov prijenos u kupelj. Zadržavanje prljavština na slobodnoj površini vlakana uzrokovano je ponajviše elektrostatskim interakcijama. Za njihovo odvajanje potrebno je savladati Van der Waalove privlačne sile između vlakna i čestice prljavštine, pri čemu pomažu elektrostatske odbojne sile. U vodenom mediju čestice prljavštine i tekstilno vlakno negativno su nabijeni. Dodatkom alkalija raste negativni naboj vlakana, ali i čestica prljavštine, što povoljno utječe na učinak pranja. Anionski tenzidi adsorpcijom na tekstil i čestice prljavštine dodatno povećavaju negativni naboj i pomažu pri dispergiranju i zadržavanju prljavština u kupelji. Stvarajući površinski sloj na česticama skinute prljavštine i kapljicama masnoće djeluju kao stabilizatori nastale disperzije i emulzije. Na taj način sprečava se ponovno taloženje na vlakno, tim više što je i površina vlakna zasićena slojem tenzida. Taloženje sprečava i dodatno elektronegativno nabijanje prljavštine i vlakna, čemu doprinose i bilderi, koji omekšavaju vodu, reguliraju pH vrijednosti i tako pojačavaju učinak pranja. Deterdženti koji sadrže sapun u prisutnosti kalcijevih i magnezijevih iona tvore netopive soli ili sapunske taloge, čime se gubi moć pranja, a osim toga talože se na površinama tvoreći inkrustacije. Tekstilije koje sadrže anorganske i organske taloge generirane u pranju imaju sivi ton, neugodan miris, krut opip i povećan potencijal iritacije kože u nošenju. Tenzidi i bilderi ne mogu sve skinute prljavštine zadržati kroz vrijeme pranja u kupelji, pa je važno poboljšati njihovo suspendiranje i spriječiti redepoziciju. Specijalni polimeri u sinergiji s tenzidima, bilderima i enzimom celulazom mogu djelovati na redepoziciju i smanjenje posivljenja tekstilija u pranju. Najprimjenjiviji polimer kao inhibitor posivljenja celuloznih tekstilija je derivat celuloze - natrijeva karboksimetil celuloza, CMC. Ovaj anionski polielektrolit radi topivosti u vodi, netoksičnosti i biorazgradivosti ima široku primjenu, a područje primjene ovisi o tri najznačajnija parametra: molekulska masa, stupanj supstitucije i raspored karboksimetilnih supstituenata u polimernom lancu.

Mehanizam djelovanja ovog polimera je specifična adsorpcija na celulozu, čime se prljavštine skinute s tekstila ne mogu ponovno direktno vezati na tekstil. Njihova specifična orijentacija prema celulozi unutar nekoliko slojeva povećava broj i gustoću negativno nabijenih karboksilnih skupina i negativan naboj površine tekstila.

Modificirani škrobovi koji imaju unaprijeđena fizikalno-kemijska svojstva u odnosu na nativni škrob se također istražuju kao funkcionalni sastojci u brojnim aplikacijama. Karboksimetil škrob (CMS), eterificirani anionski derivat škroba, smatra se zelenim polimerom značajnih performansi u farmaciji, medicini, kozmetici, prehrambenoj industriji, zaštiti okoliša i brojnim drugim industrijskim aplikacijama. Ovaj polimer ima nisku temperaturu geliranja, bubrivost i topivost u hladnoj vodi, a stupanj supstitucije (DS), odnosno broj hidroksilnih skupina koje su zamijenjene karboksilnim skupinama određuje njegova svojstva. Za razliku od CMC, svojstva CMS u modifikaciji površine i inhibiranju posivljenja u pranju celuloznih tekstilija nisu istraživana. Stoga je ovo istraživanje fokusirano na usporedbu ova dva odabrana polimera, te njihovu mješavinu (CMC+CMS) u modifikaciji površine i inhibiciji posivljenja pamučne tkanine. Polimeri, CMC, CMS i njihova mješavina, te CMC HV i CMC LV dodani su deterdžentu za pranje standardnih pamučnih tkanina u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u dva laboratorijska sustava, perilicu i uređaj.

***Cilj rada je istražiti kako fizikalno-kemijska svojstva inhibitora posivljenja utječu na naboj površine celuloznih materijala opranih deterdžentom pri niskim temperaturama i malim omjerima kupelji kroz slijedeće hipoteze:***

H 1: Pretpostavlja se da morfologija inhibitora posivljenja utječe na naboj površine celuloznih materijala.

H 2: Pretpostavlja se da stupanj karboksimetilacije inhibitora posivljenja utječe na naboj površine celuloznih materijala.

H 3: Pretpostavlja se da je naboj površine celuloznih materijala opranih deterdžentom uz specijalne polimere povezan sa stupnjem inhibiranja prljavština u pranju.

H 4: Pretpostavlja se da tvrdoća vode djeluje na inhibiranje posivljenja u pranju celuloznih materijala.

H 5: Pretpostavlja se da sastav deterdženta djeluje na djelovanje inhibitora posivljenja u pranju  
U postavljenom konceptu istraživanja primijenjene su brojne metode analize polimera i standardne pamučne tkanine, pri čemu je potvrđena njihova veća ili manja svrsishodnost i prihvatljivost.

Istraživanja su provedena primjenom metoda analize kroz nekoliko cjelina:

### ***I cjelina – analiza svojstava referentnih uzoraka***

Analiza referentnih uzoraka obuhvaća deterdžent, odabrane polimere i standardnu pamučnu tkaninu kroz određivanje stupnja supstitucije, morfologije, reoloških značajki, sadržaja vlage i karakterističnih skupina.

### ***II cjelina – karakterizacija pamučne tkanine prije i nakon modifikacije polimerima (MP)***

U ovoj cjelini vrednovani su sekundarni učinci sagledani kroz stupanj modifikacije pamučne tkanine nakon 10 ciklusa pranja kroz varijaciju: sastava kupelji, temperature, tvrdoće vode, broja ciklusa pranja, vrste uređaja. Ocjena tako postignutih učinaka provedena je analizom sadržaja rezidualnih tvari, njihove morfologije i elementarnog sastava odabranih uzoraka rezidualnih tvari, zeta potencijala na temelju mjerenja naboja površine pamučne tkanine, analizom površine pamučne tkanine (SEM, SEM-EDS i FTIR) i stupnjem bjeline. Obzirom na složenost procesa pranja i uključenost velikog broja parametara, njihov utjecaj analiziran je i hijerarhijskom klaster analizom (HCA).

### ***III cjelina – karakterizacija pamučne tkanine prije i nakon djelovanja inhibitora posivljenja (IP) u pranju***

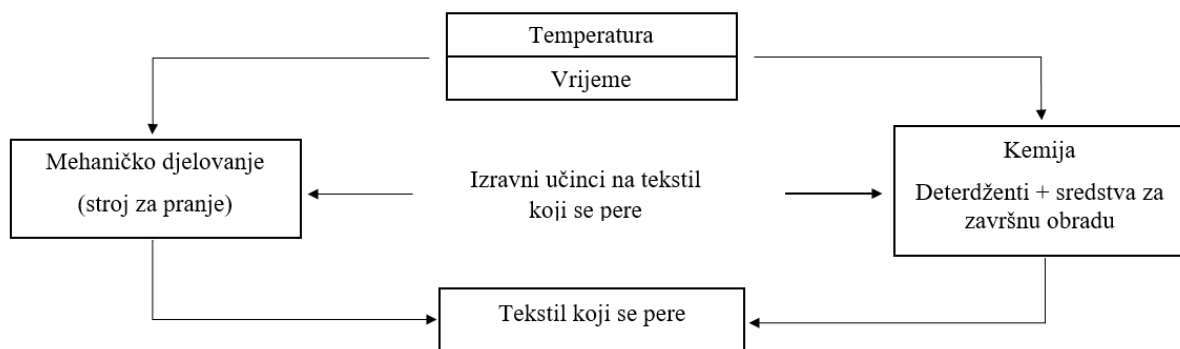
Primarni učinak je analiziran kroz spektralne parametre standardnih donora prljavštine i standardne pamučne tkanine u svrhu procjene inhibiranja prijelaza prljavštine sa standardnih donora na nepranu i modificiranu standardnu pamučnu tkaninu ovisno o prethodno navedenim parametrima. Stupanj inhibiranja posivljenja pamučne tkanine, prije i nakon modifikacije, oprane uz donore prljavštine analiziran je mjerenjem bjeline.

### ***Očekivani znanstveni doprinos istraživanja je:***

- *utvrđivanje mogućnosti primjene karboksimetil škroba kao inhibitora posivljenja u suvremenim uvjetima pranja na niskim temperaturama i malom omjeru kupelji*
- *utvrđivanje ključnih svojstava specijalnih polimera u inhibiranju posivljenja pamučnih materijala u pranju deterdžentima na niskim temperaturama i malim omjerima kupelji.*
- *klasifikacija inhibitora posivljenja ovisno o sastavu deterdženta i uvjetima pranja pamučnih materijala.*
- *unapređenje metodologije istraživanja promjena površine pamučnih materijala u pranju deterdžentom koji sadrži inhibitore posivljenja.*

## 2. TEORIJSKA RAZMATRANJA

U procesu pranja se s tekstilija uklanjaju prljavštine u vodenom mediju pri čemu prema teoriji koju je postavio dr. Herbert Sinner bitnu ulogu imaju četiri čimbenika: temperatura, vrijeme, mehanika i kemija [1]. Teorijski gledano udjeli sva četiri procesna čimbenika u Sinner-ovom krugu povezana preko vode su podjednaki. U realnom procesu smanjenjem jednoga povećava se udio jednoga ili više čimbenika u razmjeru smanjenja. Izravan učinak na tekstil koji se pere imaju mehanika i kemija, dok temperatura i trajanje postupka povećavaju ili smanjuju njihov učinak. Okolišne smjernice nametnule su povećanje udjela kemije, a smanjenje temperature i vremena. Povećan udio kemije u procesu pranja temelji se na dodatnom udjelu neionskih tenzida, enzima i aktivatora bijeljenja u deterdžentima [2, 3]. Interakcije između mehaničkog djelovanja i korištenih kemijskih supstanci shematski su prikazane na slici 1.



Slika 1 Shematski prikaz procesnih čimbenika u pranju [2]

Snižavanje temperature pranja, smanjenje potrošnje vode i električne energije u posljednjem desetljeću iziskuje učinkovite bioinovatore - enzime ili njihove komplekse koji specifično djeluju na određene primjese. U skladu s tim multienzimatski deterdžent sadrži amilaze, ugljikohidraze (karbohidrolaze), celulaze, lakaze, lipaze, proteaze, pektatne lijaze, mananaze, te enzime za izbjeljivanje kao što su oksidaze i peroksidaze [4].

Centralni dio Sinner-ovog kruga pripada vodi, čime se naglašava njen značaj u procesu pranja, posebice jer prenosi toplinsku energiju čime se olakšava uklanjanje tvari poput voskova i masti koje već na 40 °C prelaze u tekuću fazu [5]. Vodotopive prljavštine i najveći dio sastojaka deterdženata u vodi se otapaju, a netopivi sastojci deterdženta i netopive prljavštine fino dispergiraju. Obojeni pigmenti razgrađuju se oksidacijskim putem i prelaze u topive ili nebojene spojeve. Pojedini netopivi produkti u prljavštinama, npr. bjelančevine, škrobovi i manani pod utjecajem enzima kao biokatalizatora hidrolitički se razgrađuju i prelaze u topive

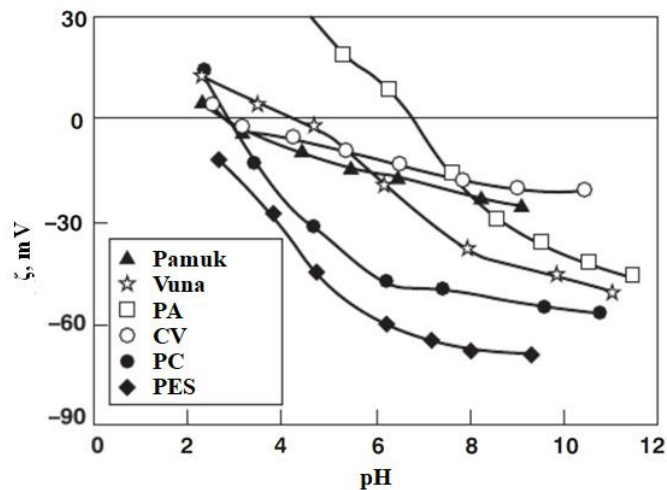
produkte. Fino dispergirane čestice mogu stvarati aglomerate, čime se povećava tendencija redepozicije [6, 7].

Zadržavanje prljavština na slobodnoj površini vlakana uzrokovano je ponajviše elektrostatskim interakcijama. Njihovo uklanjanje složen je fizikalno-kemijski proces, pri čemu je potrebno savladati Van der Waalove privlačne sile između vlakna i čestice prljavštine, čemu pomažu elektrostatske odbojne sile.

Fizikalno-kemijski učinci pranja pojačavaju se jačanjem hidrodinamičkih učinaka, čiji značaj u uklanjanju prljavština ovisi o veličini čestica. Ukoliko je ona manja od neke granične vrijednosti, strujanje vode neće ih zahvatiti i ostat će vezane na površini [8]. Prema nekim izvorima, čestice manje od 0,1 mm nije moguće odvojiti od površine samo mehaničkim putem, obzirom da je gradijent velike brzine protoka iz hidrodinamičkih razloga izuzet u neposrednoj blizini površine vlakna. Reverzibilnim radom perilice i naglim promjenama smjera postiže se odgovarajuća turbulencija u blizini površine vlakna [5]. Dodatno, kroz proces miješanja, turbulencije i zagrijavanja vode kao medija tijekom procesa pranja dolazi do fenomena prijenosa količine gibanja i topline koji utječu na otkidanje čestica prljavština s vlakna i njihov prijenos u kupelj.

U vodenom mediju čestice prljavštine i tekstilno vlakno su negativni, a njihovi naboji rastu dodatkom alkalija, što povoljno utječe na učinak pranja [9, 10]. Zeta potencijal ili elektroforetska pokretljivost čestice koristi se kao mjera površinskog naboja. Uz ove konvencionalne metode koriste se i druge metode za karakterizaciju tekstilija, npr. potencijal strujanja za određivanje zeta potencijala - naboja površine i WRV (*Water Retention Value*), vrijednost zadržavanja vode [11-15].

Na slici 2 prikazan je zeta potencijal tekstilnih materijala u ovisnosti o pH vodene otopine elektrolita, 0,001 mol/l KCl [12, 13].



Slika 2 Zeta potencijal standardnih tkanina u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl [12]

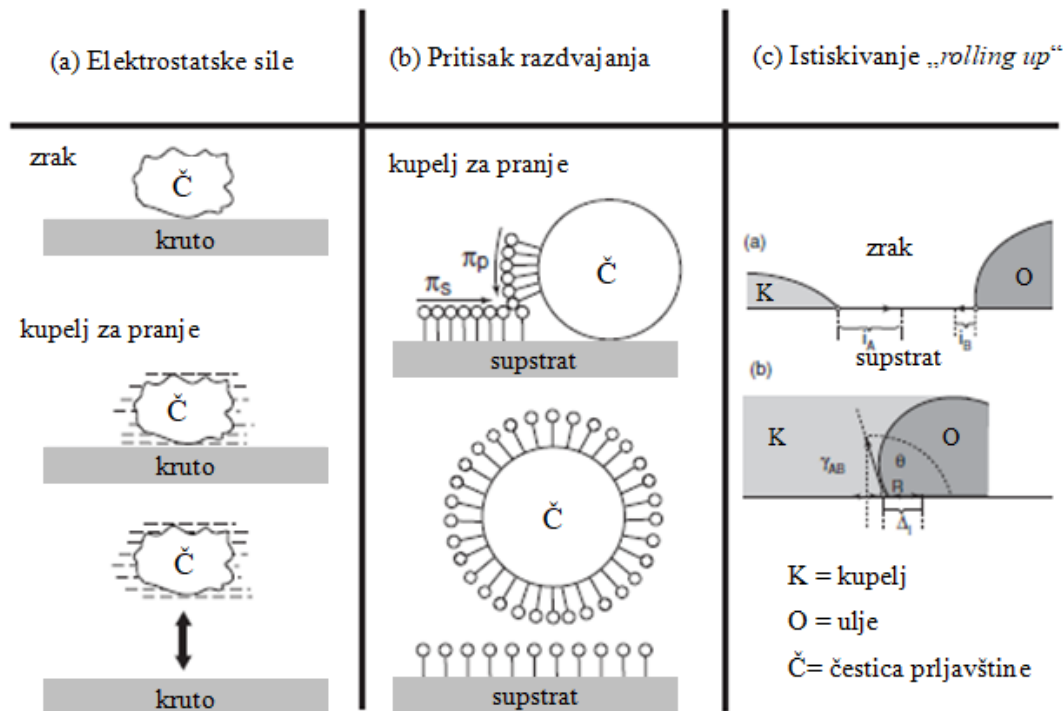
Krivulje zeta potencijala standardnih tkanina ukazuju na njihov negativan naboj u analiziranom pH području do postizanja izoelektrične točke (IEP- *isoelectric point*).

## 2.1 Proces pranja

Uklanjanje prljavština s tekstilija odvija se pri visokoj koncentraciji tenzida, koji utječu na promjenu naboja tkanine i prljavština. Nespecifična adsorpcija tenzida temelji se na interakcijama hidrofilne glave i hidrofobnog repa s pigmentom i površinom supstrata kao i otapalom. Hidrofobnim dijelom tenzidi se orijentiraju prema ne vodenoj fazi, a hidrofilnim dijelom prema vodenoj fazi, što smanjuje napetost površine i omogućuje odvajanje prljavštine od materijala. Uloga tenzida je otkidanje prljavštine s površine materijala, emulgiranje u kupelji i stabiliziranje nastale emulzije. Oni generiraju površinski sloj na česticama skinute prljavštine i kapljicama masnoće, djeluju kao stabilizatori nastale disperzije i emulzije te sprečavaju ponovno taloženje na vlakno. Anionski tenzidi adsorpcijom na vlakno i čestice prljavštine dodatno povećavaju negativni naboj, čime pomažu pri dispergiranju i zadržavanju prljavština u kupelji [8].

Fizikalno uklanjanje prljavština s tkanina temelji se na adsorpciji tenzida i iona na tekstilije i krute prljavštine, npr. pigmentne čije je odvajanje omogućeno elektrostatskim interakcijama, slika 3 a. Površina tekstilija i pigmenta su negativno nabijene radi adsorpcije  $\text{OH}^-$  iona i anionskih tenzida što dovodi do elektrostatskog odbijanja. Uz ovaj efekt prema slici 3 b i 3 c,

tenzidi koji se adsorbiraju na površinu tekstilija i površinu čestice prljavštine kroz pritisak razdvajanja potiču odvajanje prljavštine s površine.



Slika 3 Mehanizmi uklanjanja prljavština [16]

Za sferne čestice radijusa  $r$ , sila odvajanja se opisuje izrazom 1:

$$f_d = 2\pi \cdot r(\pi_s \cdot \pi_p) \quad (1)$$

gdje je:

$f_d$  – sila odvajanja,

$r$  – radijus,

$\pi_s$  – pritisak odvajanja u adsorpcijskom sloju supstrata,

$\pi_p$  – pritisak odvajanja u adsorpcijskom sloju čestice.

Ukoliko se između molekula anionskog tenzida ugrade molekule neionskog tenzida odbojne sile se smanjuju, a ukupna adsorpcija tenzida poveća. Mješavine anionskih i neionskih tenzida dovodi do većeg smanjenja površinske napetosti u odnosu na upotrebu jedne vrste tenzida. Optimalni omjer anionskog i neionskog tenzida u deterdžentu doprinosi sinergiji, a ova interakcija se tumači time što se kod prisutnosti samo anionskog tenzida negativno nabijene anionske skupine međusobno odbijaju i kod određene gustoće naboja zaustavlja se daljnja



adsorpcija [8]. Za adsorpciju tenzida razvijeni su modeli koji imaju utjecaj na različite tipove interakcija [16].

Osim tenzida, deterdžent sadrži bildere (engl. *builder*), sredstva za mekšanje vode, regulaciju pH kupelji za pranje i pojačavanje učinka pranja. Bilderi koji djeluju na bazi ionske izmjene u kombinaciji sa sredstvima za kompleksno vezanje iona zemnoalkalijskih elemenata i iona teških metala mogu iz čestica prljavština izvući metalne ione, čime čestice postaju šupljikave, lome se, a čvrstoća vezanja za vlakno slabi i čestica se lakše odvaja. Djelovanje bildera smanjuje rizik interferencije zemnoalkalijskih iona s tenzidima. Tenzidi i bilderi ne mogu zadržati sve prljavštine u kupelji, čime se proces pranja neko izvjesno vrijeme odvija u kontaminiranoj kupelji. Nakon uklanjanja zaprljanja emulziju je potrebno stabilizirati u kupelji za pranje jer ukoliko čestice prljavština u kupelji nisu stabilizirane, postoji opasnost njihovog taloženja odnosno redepozicije na površinu materijala [17, 18]. Većina dostupnih deterdženata su alkalni s vrijednostima u rasponu od pH 9 do pH 13, što je neophodno radi uklanjanja mrlja i drugih kontaminanata s tekstilija [19, 20].

U svrhu sprječavanja redepozicije (antiredepozicije) prljavština iz kupelji na tekstilije, odnosno inhibiranja njihovog posivljenja, u deterdžente se uz tenzide, bildere i alkalije dodaju specijalni polimeri, kojima se prema mehanizmu djelovanja pripisuju različiti nazivi, inhibitori posivljenja, nosioci prljavština, stabilizatori emulzije, modifikatori površine, reološki modifikatori, reološki aditivi, ugušćivači i dr., tablica 1 [16, 21].

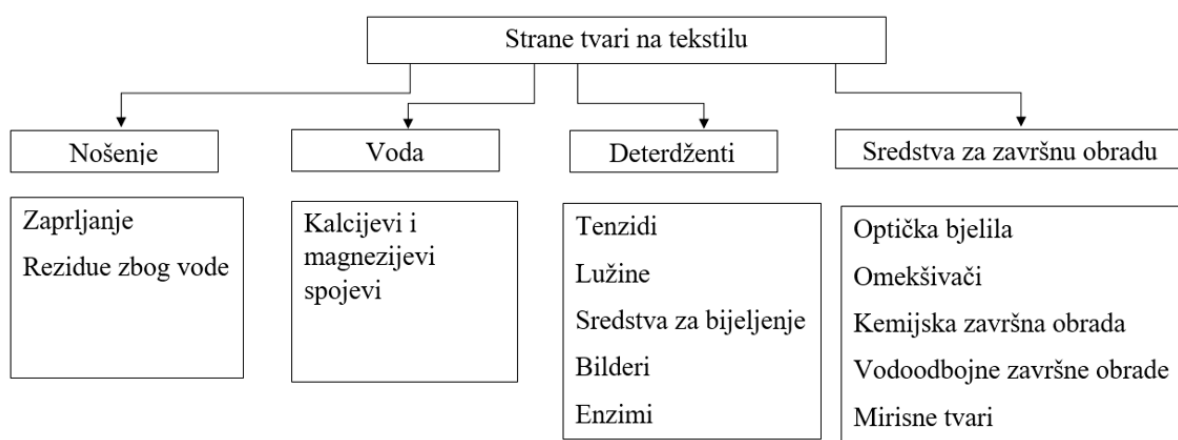
Tablica 1 Glavni sastojci praškastih deterdženata u svijetu [16]

Sastojci	SAD, Kanada, Australija	Južna Amerika, Bliski Istok	Europa	Japan
	w, %			
Tenzidi	8 - 20	17 - 32	8 - 20	19 - 25
Pojačivači pjene	0 - 2	-	0 - 3	-
Antipjeniči	-	-	0,3 - 5	1 - 4
Bilderi				
• Natrijev trifosfat	25 - 35	20 - 30	20 - 35	0 - 15
• Mješavina ili nefosfatni	15 - 30	25 - 30	20 - 45	0 - 20
• Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0 - 50	0 - 60	-	5 - 20
<b>Inhibitori posivljenja</b>	<b>0,1 - 0,9</b>	<b>0,2 - 1,0</b>	<b>0,4 - 1,5</b>	<b>1,0 - 2,0</b>
Inhibitori korozije	5 - 10	5 - 12	5 - 9	5 - 15
Optička bjelila	0,10 - 0,75	0,08 - 0,50	0,10 - 0,75	0,10 - 0,80
Bjelila	-	-	15 - 30	0 - 5
Enzimi	-	-	0 - 0,75	0 - 0,50
Voda	6 - 20	6 - 13	4 - 20	5 - 10
Punila	20 - 45	10 - 35	5 - 45	30 - 45

Ovi polimeri se adsorbiraju na supstrate pri čemu se generira zaštitni sloj koji sterički inhibira redepoziciju prethodno uklonjenih prljavština [5]. Oni mogu ostvariti interakcije s česticama prljavštine u kupelji za pranje (nosioci prljavština) ili se ireverzibilno adsorbirati na vlakna, čime odbijaju prljavštine ili daju *soil release* učinak, čime se sprječava i redepozicija [6]. Između ovih mehanizama nije moguće postaviti oštru granicu [9].

### 2.1.1 Utjecaj vode

Prema slici 4 je vidljivo da tekstil može sadržavati strane tvari, koje mogu potjecati iz različitih izvora. Obzirom da je predmetno istraživanje vezano za proces pranja, važno je sagledati interakcije vode s pojedinim komponentama u deterdžentu.



Slika 4 Izvori stranih tvari na tekstilu [2]

Voda može utjecati na svojstva tekstilija u pranju, posebice prisutnost iona koji daju tvrdoću. Negativan utjecaj kalcijevih iona iz tvrde vode može se objasniti pomoću teorije potencijalne energije, pri čemu se kompresija električnog dvosloja povećava kako raste valencija kationa, prema Schulze – Hardy pravilu [22].

Deterdženti sadrže brojne organske i anorganske tvari koje mogu ostaviti rezidue, što može imati za posljedicu začepljenje pora u tkanini. Anionski tenzidi s dvovalentnim kalcijevim ionima mogu tvoriti netopivi talog čime se smanjuje učinak deterdženta. Sapuni u prisutnosti kalcijevih i magnezijevih iona mogu tvoriti netopive soli ili sapunske taloge (eng. *soap scum*), čime sapuni gube moć pranja, a osim toga se talože na površini tekstilija tvoreći inkrustacije. Iako je tendencija generiranja teško topivih taloga sa sapunima češći problem, postoji opasnost taloženja Ca/Mg iona i s drugim tipovima tenzida. Taloženje kalcijevih i magnezijevih sapuna je prisutno u sustavima siromašnim bilderima, jer se sapuni i drugi anionski tenzidi ireverzibilno



## 2.2 Primarni učinci u pranju

Sinergijski učinak pojedinih čimbenika u pranju doprinosi postizanju primarnog učinka, koji se sagledava kroz moć uklanjanja mrlja ili zaprljanja (engl. *Soil removal*, S) nakon jednog do tri ciklusa pranja. Ovaj učinak se vrednuje kroz spektralne karakteristike, najčešće kroz tristimulusnu vrijednost  $\Delta Y$  (razlike Y vrijednosti prije i poslije pranja) ili remisiju  $\Delta R_{460}$  (razlika u remisiji,  $R_{460}$  pri valnoj duljini 460 nm prije i nakon pranja).

Mehanizmi uklanjanja prirodnih mrlja s tekstilija u procesu pranja odvijaju se kroz tri faze: 1) vlaženje i bubrenje vlakana i mrlja; 2) uklanjanje površinskog sloja mrlje i 3) postupno uklanjanje preostale mrlje [8, 26, 27].

Bubrivost tekstilija povećava se u alkalnom, a stupanj bubrenja ovisi o vrsti i jakosti primijenjenih alkalija u pranju, koje prodiru u unutrašnjost pojedinih vlakana, posebno u amorfni, lakše bubrivi dio [28]. Mrlje topive u vodi (soli, kiseline itd.) lako se uklanjaju djelovanjem vode, dok se masne i uljne mrlje emulgiraju tenzidima u deterdžentima. Pigmentne mrlje, mogu biti fini hidrofilni pigmenti (metalni oksidi, tlo, prašina s ceste itd.) i veći hidrofobni pigmenti (čađa itd.), koji se ovisno o veličini čestica mogu ukloniti: 1) mehaničkim putem, 2) disperzijom ili 3) desorpcijom. Ove mrlje su važne za analizu općeg učinka kako bi se sagledao sinergijski utjecaj svih parametara Sinner-ovog kruga u pranju. Proteinske mrlje (krv, mlijeko, gnoj itd.) teško je ukloniti, posebno u slučaju denaturacije toplinom i kemijskim utjecajima, npr. izbjeljivača. Važnost enzima u uklanjanju vodonetopivih mrlja se može sagledati na temelju prikaza u tablici 2 [6].

Tablica 2 Profil učinkovitosti enzima za deterdžente [6]

Enzimi	Supstrati	Razgradni produkti	Uklanjanje zaprljanja
Proteaze	albumin (proteini)	topivi peptidi, amino kiseline	jaja, krv, mlijeko, kakao, trava, špinat
Amilaze	škrob	saharidi, topivi šećeri	čokolada, zobena kaša, meso, sokovi, paradajz umak, mrkva, trava
Lipaze	masti i ulja	masne kiseline, glicerol	masna pri niskim temperaturama
Celulaze	oštećeni (amorfni) celulozni fibrili	saharidi, šećer	paperje
Mananaze	ugušćivač na bazi guara	monosaharidi	inhibiranje i privlačenja čestica
Peroksidaze	spojevi s konjugiranim dvostrukim vezama	topivi oksidacijski produkti	bojila

Mrlje od voća, povrća i boja uklanjaju se uglavnom bjelilom, koje razara dvostruke konjugirane veze kromofora. Mikroorganizmi (bakterije, gljivice, spore) su vrsta "mrlja" na tekstilu koje uzrokuju razgradnju prirodnih vlakana izlučujući enzime kao što su celulaze i proteaze. U vlažnim uvjetima množe se na zaprljanom tekstilu, a plijesan može uzrokovati vidljive pigmentne mrlje. Ovakve mrlje se uklanjaju sinergijskim učinkom tenzida, bjelila i mehaničkog djelovanja.

Osim povećanja pH, još jedan način za značajnu promjenu površine vlakana i pigmentne prljavštine je uvođenje tenzida. Tekstilna vlakna i čađa imaju negativan naboj u vodi, koji se dodatno povećavaju adsorpcijom anionskih tenzida, a predznak rezultirajućeg naboja ovisi o prirodi hidrofilne skupine tenzida [5]. Povećanje elektrostatskih odbojnih interakcija odgovorno je za poboljšanje učinka pranja. Moć dispergiranja pigmenata također se iz istog razloga povećava, a njihovo ponovno taloženje smanjuje. Za razliku od anionskih tenzida, kationski tenzidi smanjuju negativni površinski naboj.

Primarni učinak procesa pranja zaprljanih uzoraka ovisi i o temperaturi. Analiza učinka procesa pranja zaprljanih uzoraka na 40 °C i 30 °C prema EN 60456 (*Clothes washing machines for household use - Methods for measuring the performance*) preko vrijednosti remisije pokazala je neznatne razlike u remisiji, koje su u prosjeku za 1,9 % veće na 40 °C nego na 30 °C. Uz primarni učinak je važno istaknuti da je sniženjem temperature s 40 °C na 30 °C ostvaren energetska benefit i ušteda energije od 50 % do 65 % [29].

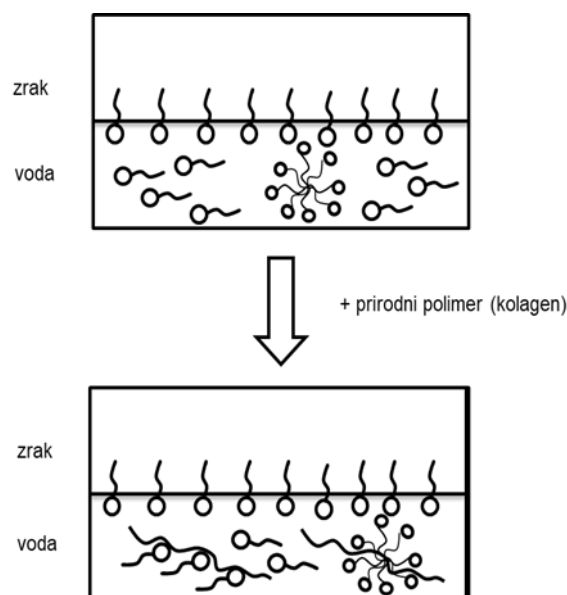
### **2.3 Sekundarni učinci u pranju**

Sekundarni učinak obuhvaća sinergiju svih čimbenika Sinner-ovog kruga u kumulativnom djelovanju, najčešće kroz 25 ili 50 ciklusa pranja. Ovaj učinak procesa pranja prema *Reichs-Ausschuss für Lieferbedingungen*, RAL-GZ 992, temelji se na vrednovanju mehaničkih svojstava (prekidna sila), kemijskog oštećenja, sadržaja depozita organskog i anorganskog podrijetla (pepela) i bjeline. Sva ispitivanja se provode pomoću standardne pamučne tkanine s utkanim obojenim nitima u smjeru osnove [30]. Uvidom u promjene svojstava standardne pamučne tkanine nakon 25 ili 50 ciklusa moguće je procijeniti kvalitetu procesa i utvrditi njegove kritične točke. Međutim, ovaj kontrolni sustav ne obuhvaća sve fenomene koji se mogu vezati uz fizikalno-kemijske utjecaje u procesu pranja. Stoga istraživači provode karakterizaciju

opranih tekstilija i efluenta čime se mogu povezati brojni čimbenici, npr. kompleksan sastav deterdženta, interakcije, konstrukcija strojeva za pranje, hidrodinamički i termički utjecaj, raznolikost tekstilija, održivost procesa, humano-ekološki aspekt itd.

Sekundarni učinak procesa pranja djelomično je uvjetovan stabilizacijom kupelji za pranje u kojoj su dispergirane i emulgirane prljavštine. Nužno je prljavštine zadržati u kupelji i spriječiti njihovo ponovno taloženje na čista mjesta (engl. *soil redeposition*). Taloženje sprječava i dodatno elektronegativno nabijanje prljavštine i vlakna čemu doprinose tenzidi i bilderi. Nespecifična adsorpcija tenzida i specifična adsorpcija sredstava za kompleksiranje pospješuju emulgiranje topivih prljavština, suspendiranje i dispergiranje čvrstih zaprljanja. Loše topive tvari se otapaju površinski aktivnim micelama kao molekularne disperzije. Čestice i molekule skinutih prljavština kao i bojila potrebno je zadržati u kupelji, što se postiže solubilizacijom. Nađeno je da brzina solubilizacije raste s temperaturom, a u otopinama neionskih tenzida najpovoljnije temperature za solubilizaciju su neposredno ispod točke zamućenja [31]. Veliku važnost za adsorpciju čestica bojila koje su migrirale s tekstilnog materijala u kupelj za pranje imaju bilderi na bazi zeolita A, što bilderi na bazi natrijevog trifosfata nemaju.

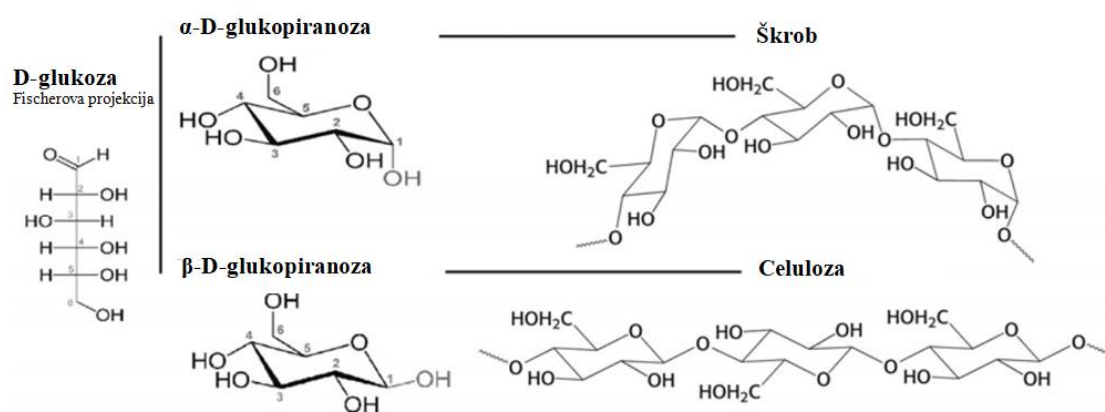
Interakcija biopolimera s molekulama tenzida kao i njihovim micelama može utjecati na nespecifičnu adsorpciju anionskih tenzida na površinu tekstilija. Specifično orijentiran polimer dodatno može smanjiti tendenciju taloženja anorganskih i organskih taloga, koji mogu utjecati na funkcionalna svojstva tekstilija [32, 33]. Djelovanje specijalnog polimera na bazi kolagena prikazano je shematski na slici 6.



Slika 6 Interakcija anionskog tenzida i biopolimera na bazi kolagena u otopini [33]

Zaštitni učinak kolagenskog dodatka prepoznat je i u drugim sredstvima, npr. za mokro čišćenje osjetljivih tekstilija, pri čemu ih ovakvi dodaci štite od bubrivosti u vodenom mediju [8]. Dodatkom specijalnih bio polimera na bazi kolagena može se umanjiti potencijalan iritirajući učinak tenzida i drugih komponenti. Inhibitori posivljenja ili nosioci prljavština imaju bitnu ulogu u sekundarnim učincima pranja jer uz anionske tenzide i bildere dodatno elektronegativno nabijaju prljavštine i vlakno, te fizički sprečavaju taloženje nečistoća na vlakno [8].

Važni polimeri u deterdžentima su karboksimetil celuloza i karboksimetil škrob, polimerni derivati D-glukoze u  $\alpha$  konfiguraciji (škrob) i  $\beta$  konfiguraciji (celuloza) prikazani na slici 7.



Slika 7 D-glukoza i kemijska struktura njenih polimernih derivata u  $\alpha$  i  $\beta$  konfiguraciji: škrob i celuloza [34]

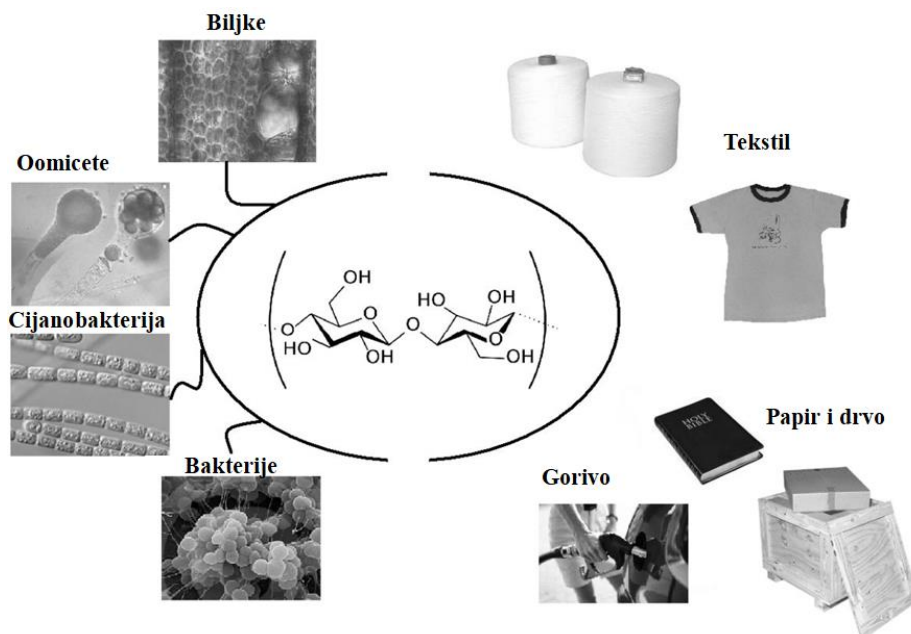
U deterdžentu se koriste i drugi sintetski produkti, poliakrilati, neke polikarboksilne kiseline, poput kopolimera etilena i maleinske kiseline ili specijalni polimeri (eng. *Soil Release Polymers*, SRP) koji mogu također inhibirati flokulaciju i taloženje prljavština na materijalu tijekom pranja [22]. Njihov učinak u pranju uobičajeno se prati posredno, određivanjem svojstava pamučnih materijala kroz stupnjeve bjeline i posivljenja, te sadržaj rezidualnih supstanci. Polimeri u pranju se mogu karakterizirati direktno ili posredno različitim metodama: određivanje stupnja supstitucije (DS) [35, 36] i jednog broja [37], kolorimetrijskim testovima [6], skenirajućom elektronskom mikroskopijom [38], plinskom kromatografijom [37], NIR spektroskopijom [39], FTIR spektroskopijom [40], termogravimetrijskom analizom, TGA [41] i potencijalom strujanja [42]. Iz rezultata dobivenih ovim analizama moguće je primjenom multivarijantne analize dobiti dodatne vrijedne informacije i međusobne odnose [42].

## 2.4 Odabrani polimeri – inhibitori posivljenja

Adsorpcija inhibitora posivljenja selektivan je proces koji ovisi o kemijskoj konstituciji vlakna i polimera. Najprimjenjivaniji polimer kao inhibitor posivljenja (eng. *anti redeposition agent*, ARA) celuloznih tekstilija je derivat celuloze - natrijeva karboksimetil celuloza (CMC prema IUPAC-u) [43] koji se ujedno najduže koristi u sastavu deterdženta [5, 8, 44, 45].

### 2.4.1 Karboksimetil celuloza, CMC

CMC je anionski vodotopivi derivat celuloze, čije ishodište i zastupljenost jasno prikazuje slika 8.



Slika 8 Primjeri nekih izvora i područja primjene celuloze [34]

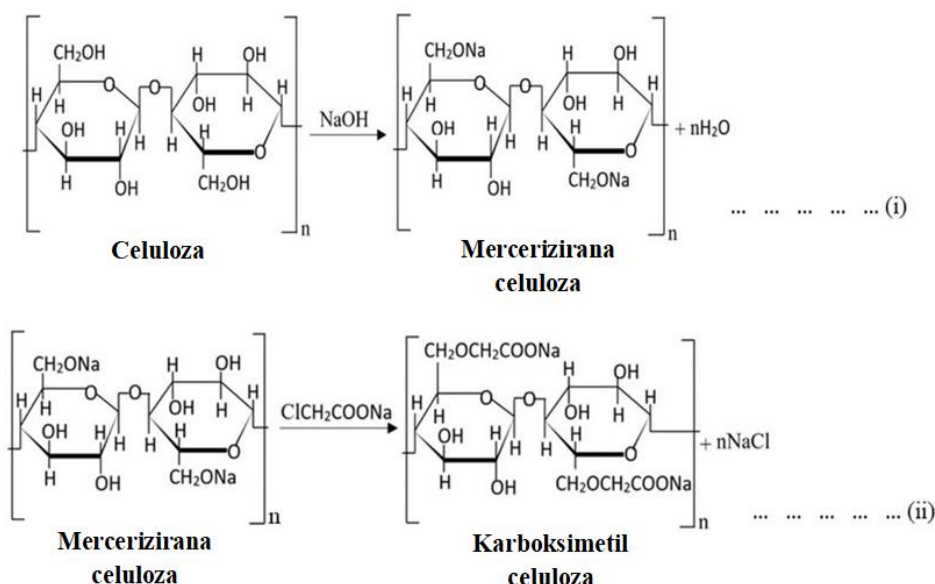
Celuloza je linearni polisaharid, koja reagira preko primarnih i sekundarnih hidroksilnih skupina i glukozidne veze kojom su monomeri povezani [22]. Tipične reakcije alkoholnih skupina su oksidacija, esterifikacija i eterifikacija. CMC se dobiva alkalno kataliziranom reakcijom celuloze i kloro-octene kiseline, slika 9 [17].

Karboksimetilacija čiste  $\alpha$ -celuloze izvodi se u osnovi u dva značajna koraka, slika 9. U prvom koraku (i), prethodno pročišćeni ekstrakti celuloze miješaju se s alkalnim reagensima (npr. NaOH) u reakcijskoj posudi kroz određeno vrijeme, pri čemu se čisti sadržaj celuloze



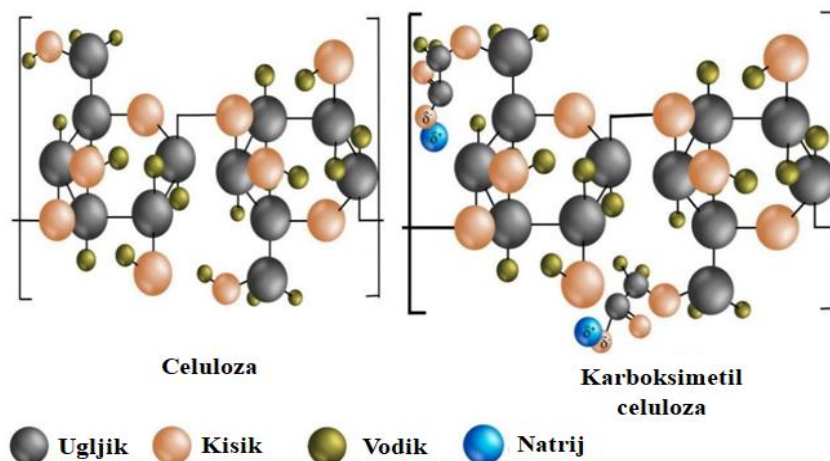
mercerizira. Nakon toga, iz funkcionalne  $-OH$  skupine svake anhidroglukozne jedinice (eng. *anhydroglucose unit*, AGU)  $H^+$  zamjenjuje se s  $Na^+$  ciljanim za stražnju supstituciju karboksimetilnom skupinom u koraku eterifikacije, reakcija (i). Potrebno je optimirati procesne parametre, koncentraciju lužine te omjer lužine i celuloze, a temperaturu reakcije održavati konstantnom. Neznatna promjena ovih parametara može značajno promijeniti vrijednost stupnja supstitucije (eng. *degree of substitution*, DS) konačnog proizvoda i druga fizikalno-kemijska svojstva. Inertna otapala, npr. etanol, 2-propanol ili izobutil alkohol dodaju se u ovom koraku kao razrjeđivač i sredstvo za bubrenje koje olakšava prodor reagensa u strukturu celuloze.

Mercerizirana celuloza, u slijedećem koraku (ii) dodaje se u reakcijsku posudu i miješa s reagensom (kloro-octena kiselina) određeno vrijeme pri optimalnoj i konstantnoj temperaturi. Neki istraživači su modificirali taj postupak koristeći druge reagense, poput diazometana.



Slika 9 Kemijska reakcija sinteze CMC iz celuloze [46]

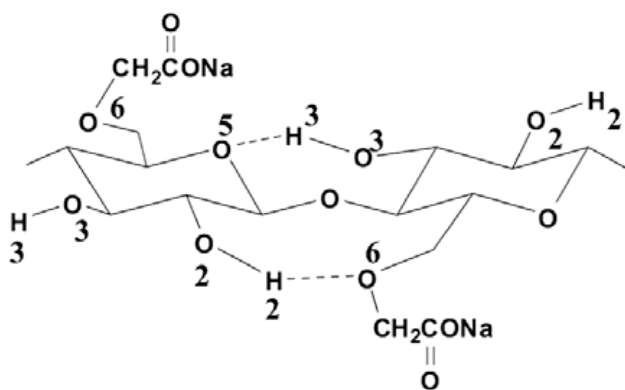
Na molekularnoj razini, glavna razlika između celuloze i CMC-e je anionska karboksimetilna skupina  $-CH_2COO^-$  u strukturi CMC-e, slika 10.



Slika 10 Strukturne razlike između celuloze i CMC-e [46]

Njihova fizikalna i kemijska svojstva, npr. topivost i broj vodikovih veza, su različita. Prva razlika se odnosi na uvođenje hidrofilne –  $\text{CH}_2\text{COONa}$  skupine koja utječe na smanjenje vodikovih veza, a druga se očituje u supstituciji –  $\text{CH}_2\text{COONa}$  skupina čime je povećana kompleksnost vodikovih veza.

Struktura CMC polimera na slici 11 pokazuje zamjene karboksimetilne skupine –  $\text{CH}_2\text{COONa}$  na ugljiku u položaju C6.



Slika 11 Shematski prikaz CMC [41]

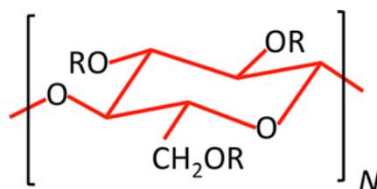
Iz shematskog prikaza strukture CMC filma vidi se prisutnost vodikovih veza u  $\text{O}_3\text{--H}_3$  . .  $\text{O}_5$  i  $\text{O}_2\text{--H}_2$  . .  $\text{O}_6$  [41].

Komercijalna proizvodnja ovih važnih polimernih materijala počela je 1920., dvije godine nakon prve sinteze [46].

CMC kao anionski polielektrolit radi vodotopivosti, netoksičnosti i biorazgradivosti ima široku primjenu u različitim granama industrije, umjesto škroba, dekstrina, želatine ili biljnih guma i sluzi, a glavna prednost pred spomenutim prirodnim produktima je manja osjetljivost prema

mikroorganizmima. Budući da je fiziološki inertna i neotrovna, upotrebljava se kao sredstvo za vezanje, emulgiranje, suspendiranje ili zgušnjavanje u industriji živežnih namirnica, lijekova i kozmetici. Otopinu CMC talože metalni ioni stvarajući soli. Zbog toga se u novije vrijeme u proizvodnji tekućih deterdženata i laštila za metale upotrebljavaju produkti u kojima je karboksimetilna grupa djelomično zamijenjena hidroksilnom (natrij-karboksimetil hidroksietilceluloza). Ona se adsorbira i pokazuje stupanj inhibicije u čistoj vodi. Taj učinak moguće je izgubiti u otopinama deterdženata, što je rezultat konkurentne adsorpcije i istiskivanja površinski aktivnim tvarima [47].

Svojstva CMC-e ovise o tri parametra: molekulska masa polimera, prosječni broj supstituiranih karboksimetilnih skupina (DS) i distribucija karboksimetilnih supstituenata duž polimernog lanca (eng. *degree of blockiness*, DB), slika 12 [48, 49].



Slika 12 Struktura CMC [50]

gdje je:

$R = H$  ili  $CH_2COONa$ ,

$N$  – stupanj polimerizacije; duljina monomera je  $b \sim 0,515$  nm.

Afinitet ugljikohidratnih derivata prema tekstilijama različite polarnosti je uglavnom vezan za kemijska svojstva supstituiranih skupina. DS je prosječan broj zamijenjenih  $-CH_2COONa$  skupina po monomeru, jedinici glukoze. Ukoliko CMC ima DS 0,6-0,9, to znači da od 10 jedinica anhidroglukoze karboksimetilni ostatak ima 6-9 jedinica [8].

DS utječe na njenu stabilnost i biorazgradivost, pa je CMC s višim DS stabilna u širokom rasponu pH i ionske jakosti [51], a brzina njene razgradnje obrnuto je proporcionalna DS [52-55].

Molekula CMC-e poput celuloze ima linearnu strukturu, čiji stupanj polimerizacije (eng. *degree of polymerization*, DP) indirektno pokazuje dužinu lanca celuloze. Što je duži lanac, to je veća početna viskoznost. Viskoznost ukazuje na međumolekulske interakcije i ovisi o tri parametra: koncentraciji otopine, temperaturi u trenutku mjerenja, kao i tipu korištenog viskozimetra. Otopine CMC-e nisu Njutnove tekućine, što znači da se njihova prividna viskoznost smanjuje kako se intenzitet sila smicanja povećava [56].

Nađeno je da dodatak elektrolita povoljno utječe na adsorpciju CMC-e [53]. Stabilna je u pH području od pH 4 do pH 9 i kompatibilna s anionskim i neionskim tenzidima, te monovalentnim i divalentnim solima, a nekompatibilna s kationskim tenzidima [6, 7].

Početa istraživanja CMC-e su najčešće bila vezana za formulacije koje su umjesto sapuna sadržavale anionski tenzid, natrij alkilarilsulfonat uz alkalne soli u svrhu postizanja visokog učinka pranja, primarno u uklanjanju pigmentnih prljavština, sprečavanja redepozicije i zadržavanje visokog stupnja bjeline pamučnih materijala. Učinak pranja tim deterdžentom bolji je nego deterdžentom s visokim sadržajem sapuna [44]. Potvrđen je sinergijski učinak deterdženta koji sadrže neionske tenzide i CMC-u u uklanjanju prljavština s pamučnog materijala i inhibiranju prljavština [57]. Dodatak niskih koncentracija inhibitora posivljenja sapunu i bilderu pokazao se svrsishodnim u inhibiranju prijelaza prljavština [58]. Istraživanja CMC-e u čistim sustavima u svrhu studiranja njenih svojstava pod utjecajem ultrazvuka frekvencije 40 kHz pokazala su da ultrazvučni medij razgrađuje polimerne lance CMC-e čime se mijenjaju njena adsorpcijska svojstva [59]. Razvoj i sve veća zastupljenost tekućih deterdženata na tržištu nametnuli su potrebu prilagodbe vrste inhibitora posivljenja. Rezultati istraživanja su pokazali da mikrokristalinična celuloza (MCC) ima povoljniji učinak u odnosu na CMC, te dodatno doprinosi povoljnijim reološkim svojstvima tekuće formulacije deterdženata [17].

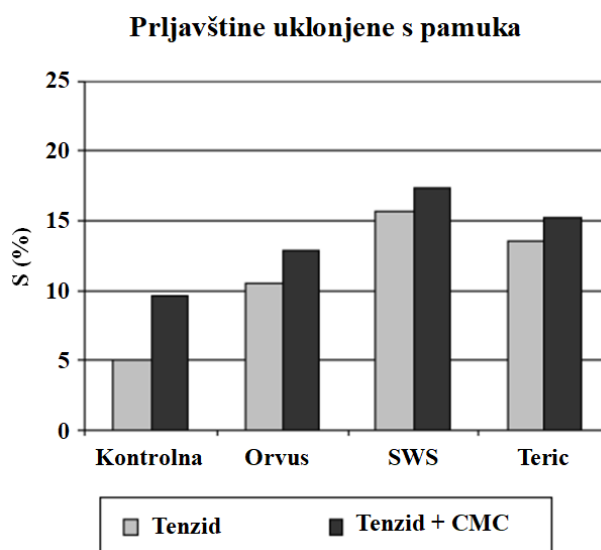
Važnost CMC-e u uklanjanju i inhibiranju redepozicije prljavština prepoznata je u postupcima čišćenja pri konzervaciji tekstila [60]. U tablici 3 su navedeni izvori za različite procedure za uklanjanje prljavština s tekstilija.

Tablica 3 Varijacije kupelji za pranje tekstilija u konzervaciji

Sastojci	Kupelj za pranje (g/l)		
	Australian War Memorial's Standard Wash Solution, prema [61]	Konzervacija tekstila, prema [62]	Standardna kupelj za pranje, prema [63]
Neionski	1,08	0,1 - 0,5	0,1
Anionski	0,55	0,5 - 1,0	-
<b>CMC</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>
Sekvestrant	1,08	0,5 -2,0	0,01

Procedure se razlikuju po sastavu komponenti čije su koncentracije, izuzev CMC, varijabilne. Tenzidi, neophodni sastojci za uklanjanje mrlja, su primijenjeni iznad kritične micelarne koncentracije (cmc), a koncentracija sekvestranata je varirana u svim kupeljima.

Dio rezultata istraživanja učinkovitosti anionskog tenzida (Orvus WA *paste*), neionskog tenzida (Teric G12A7) te njihove mješavine (SWS) i trifosfata bez i uz dodatak CMC-e niske viskoznosti sa stupnjem supstitucije DS 0,65-0,85 u uklanjanju prljavština (S) i inhibiranju redepozicije prirodnih (pamuk, vuna i svila) i sintetskih (poliester) tekstilija u pranju prikazan je na slici 13. Vidljiva je učinkovitost tenzida uz dodatak CMC-e u uklanjanju prljavština s pamučnih tekstilija u odnosu na čisti tenzid.



Slika 13 Uklanjanje standardnih prljavština (3M) s pamuka u kupelji analiziranog sastava [60]

gdje je:

**3M standardna prljavština:** treset (38,4 %), cement (18 %), kaolinska glina (18%), silicijev dioksid (18 %), mineralno ulje (6,25 %), čađa (1,5 %), željezov oksid (0,3 %),

**Orvus** - Orvus WA Paste (primarni alkil sulfat),

**SWS** - Australian War Memorial's (nonilfenol etoksilat i sekundarni alkil sulfati),

**Teric** -Teric G12A7 (etoksilirani masni C<sub>12</sub>-C<sub>15</sub> alkohol).

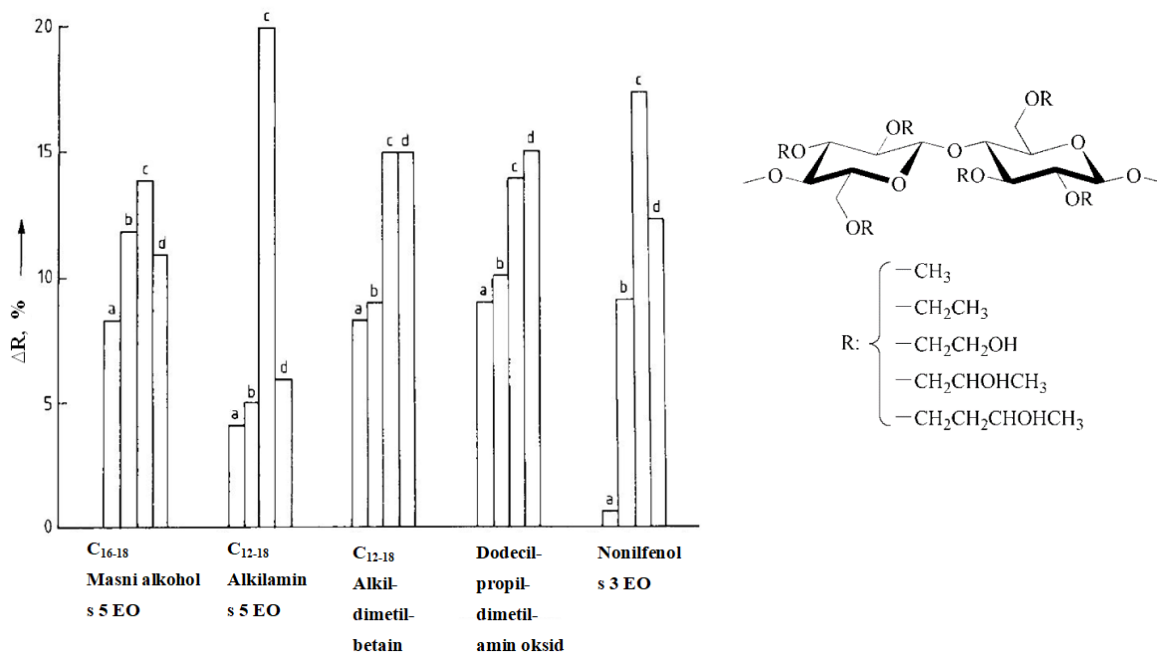
CMC poboljšava učinak tenzida i trifosfata u uklanjanju prljavština (S) s pamučnih tekstilija, slika 13. Pokazano je da mješavina tenzida u oba slučaja (SWS) ima najbolji učinak. Potvrđena je dobra sinergija CMC-e s neionskim tenzidom, etoksiliranim C<sub>12-15</sub> alkoholom (Teric), koji pokazuje dobra svojstva pranja i zadržavanja prljavština u suspenziji, čime preventivno sprečava redepoziciju prljavština [60].

Zaključno, tri mehanizma u djelovanju CMC-e doprinose inhibiranju posivljenja [64]:

1. Adsorpcija na pamučne supstrate i povećanje elektrostatskog naboja na površini i odbojnih sila između prljavštine i površine pamuka,

- Odbijanje između prljavštine i tkanine, ovisno o fizičkoj veličini prisutnog polimera na površini vlakna,
- Uklanjanje prljavštine s vanjske površine, zbog desorpcije CMC u svakom ciklusu pranja.

Prema svemu navedenom, klasična sredstva, CMC i CMS, učinkoviti su u inhibiranju posivljenja na celuloznim tekstilijama kao i njihovim mješavinama sa sintetskim vlaknima. Obzirom da se u primjeni već duže vrijeme povećava udio sintetskih vlakana na koje odabrani polimeri, CMC i CMS, nemaju učinak, javila se potreba uvođenja i razvoja drugih polimera. Potvrđeno je da neki tenzidi, npr. neionski celulozni eteri, imaju dobar učinak u inhibiranju posivljenja sintetskih tekstilija. Poboljšanje sposobnosti inhibiranja posivljenja tekstilija različitog sirovinskog sastava u pranju deterdžentom uz dodatak specifičnih tenzida kao aditiva prikazuje slika 14 [5].



Slika 14 Utjecaj specifičnih tenzida u deterdžentu na sposobnost inhibiranja posivljenja tekstilija [5]

gdje je:

$\Delta R$  (razlika remisije poslije i prije pranja) ukazuje na poboljšanje sposobnosti inhibiranja posivljenja određenih aditiva (5 g/l deterdženta; 0,2 g/l tenzida; broj ciklusa pranja: 3; vrijeme: 30 min), gdje je:

a - pamuk, 95 °C,

b – visoko oplemenjen pamuk, 95 °C,

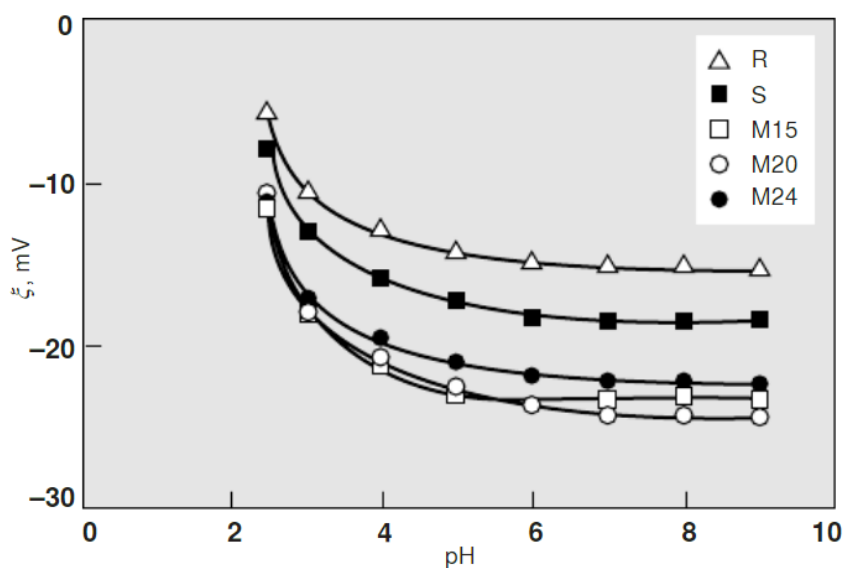
c - poliester, 60 °C,

d - poliester / pamuk, 60 °C.

Anionski derivati polimera iz tereftalne kiseline i polietilen glikola (SRP) pokazali su se vrlo učinkovitim inhibitorima posivljenja, osobito na poliesterskim vlaknima i njihovim mješavinama s pamukom, dajući im hidrofilna svojstva i na taj način snažno odbijanje prljavštine na bazi ulja i masti [5].

Proizvođači deterdženata ugradnjom CMC-e i njenih derivata u formulacije poboljšavaju profil suspenzije prljavština, kao i druge učinke, poput anti-abrazije. Smjernice u industriji praškastih deterdženata za pranje rublja optimalnog profila otapanja i učinkovitosti procesa na nižim temperaturama nametnule su potrebu poboljšanja performansi otapanja CMC i njenih derivata. Istraživanjem je utvrđeno da male čestice CMC-e imaju dobru topivost. Međutim, njihova prisutnost u deterdžentu može radi geliranja spriječiti topivost cjelokupnog sastava. Smatra se da nakon kontakta s vodom površina tih malih čestica karboksimetil celuloze postaje ljepljiva i kada su te male čestice u neposrednoj blizini s ostalim česticama, moguće je generiranje makromolekularnog gela, koji otežavaju otapanje. Jednom formirani takovi makromolekularni gelovi imaju loš profil otapanja. Provedena istraživanja su pokazala da predhidratacija CMC čestica pažljivo kontroliranom količinom vode smanjuje rizik od neželjenih pojava površinskog geliranja. Formulacije tih deterdženata sadrže anionske i neionske tenzide, bildere, alkalije, bjelila, enzime, specijalne polimere, inhibitore prijelaza bojila, mirise itd. Od anionskih tenzida navode se C<sub>10</sub>-C<sub>13</sub> linearni alkilbenzen sulfonati (LAS), C<sub>10</sub>-C<sub>20</sub> primarni alkil sulfati (AS) i C<sub>10</sub>-C<sub>18</sub> sekundarni alkil sulfati (SAS). Od neionskih tenzida mogu biti C<sub>8</sub>-C<sub>18</sub> alkil etoksilirani alkoholi prosječnog stupnja etoksilacije (EO) od 1 do 10, preferirano od 3 do 7 i alkil poliglukozidi (APG). Sadrže bjelila, perkarbonat i soli perborata kao posebno obloženi izvori vodikovog peroksida, te njihove aktivatore na bazi izokinolina i oksaziridinija, sekvestrante, optička bjelila i enzime. U sastavu su i pomoćna sredstva, poput dispergatora prljavština i inhibitora posivljenja: alkoksilirani poliamini, etoksilirani etilenamini; specijalni polimeri kao inhibitori posivljenja pamučnih i poliesterskih tekstilija, kopolimeri maleinske i akrilne kiseline; te ostali celulozni polimeri: metil celuloza, hidroksietil celuloza ili drugi derivate celuloze; sredstva za omekšavanje tkanina poput gline, silikona i / ili kvaternih amonijevih spojeva; flokulanti poput polietilen oksida; inhibitori prijenosa boje poput polivinilpirolidona, poli 4-vinilpiridin N-oksida i / ili ko-polimera vinilpirolidona i vinilimidazola; komponente za zaštitu tekstilija kao što su oligomeri proizvedeni kondenzacijom imidazola i epiklorhidrina; mikrokapsulirani parfemi; estetske čestice obojenih zrnaca; sustavi za reguliranje pjene na bazi silikona; punila kao što je natrijev sulfat (poželjno je da pripravak u osnovi ne sadrži punila); natrijev silikat ili natrijev metasilikat ili njihovu kombinaciju [4].

Opći značaj primjene CMC-e potvrđuju statistički pokazatelji iz 2012. te predviđanja za budućnost pri čemu se naglašava njen značaj u brojnim područjima primjene [65]. CMC se primjenjuje i u procesu oplemenjivanja pamučnih materijala, pa je analizom mehanizma vezanja i uklanjanja prljavština s merceriziranog pamučnog materijala, koji je ujedno karboksimetiliran, dokazano da ukoliko je CMC specifično orijentirana prema površini materijala i povećava se broj karboksilnih skupina koje sprečavaju dublji prodor prljavština u vlakno [65, 66]. Pamuk ima negativan zeta potencijal koji ovisi o stupnju obrade pamučnih vlakana i pH otopine elektrolita, slika 15.



Slika 15 Zeta potencijal sirovih (R), iskuhanih (S) i slobodno merceriziranih vlakana (M) u različitim koncentracijama NaOH (15%, 20% i 24%) u ovisnosti o pH 1 mmol/l KCl [67]

Tako obrađen materijal ujedno ima sposobnost zaštite kože od pesticida iz pamuka i potencijalne migracije čestica u pranju [67].

#### 2.4.2 Karboksimetil škrob, CMS

Škrob je poliglukozid koji se sastoji od dva polisaharida, amiloze i amilopektina. Amiloza je linearni polimer u kojem je oko 1000 glukozičnih jedinica međusobno povezanih  $\alpha(1-4)$ -glukozičnom vezom. Molekule amilopektina su veće od amiloze, izgrađene od oko 10000 glukozičnih jedinica. Amilopektin je razgranat, pa osim  $\alpha(1-4)$ -glukozične veze u linearnom dijelu ima i  $\alpha(1-6)$ -glukozične u razgranatom dijelu. Derivati škroba priređuju se na sličan način kao derivati celuloze i imaju iste supstituente [6].



Modificirani škrobovi su funkcionalni sastojci u brojnim aplikacijama, primarno radi unaprijeđenih fizikalno-kemijskih svojstava u odnosu na nativni škrob. Natrijev karboksimetil škrob (CMS), eterificirani anionski derivat škroba, primjenjuje se od 1924. [68], a danas predstavlja zeleni polimer značajnih performansi s primjenom u farmaciji, medicini, kozmetici, prehrambenoj industriji i brojnim drugim područjima. DS određuje njegova svojstva, ima nisku temperaturu geliranja, bubrivost i topivost u hladnoj vodi [69, 70].

Proces otapanja škroba naziva se želiranje i jedno je od najvažnijih fizikalnih svojstava škroba. Želiranje se provodi na način da se škrobna suspenzija zagrijava u vodi i time dolazi do narušavanja kristalne strukture unutar granule škroba. Sve to za posljedicu ima stvaranje ireverzibilnih promjena kao što su: otapanje granule, povećanje viskoznosti i stvaranje gela [71].

Želiranje škroba je složen proces koji se provodi u nekoliko faza. Prilikom početka zagrijavanja škrobne suspenzije dolazi do reverzibilne hidratacije u amorfnim dijelovima koji imaju staklastu strukturu i gdje su prisutne slabe vodikove veze. Dodatnim zagrijavanjem dolazi do narušavanja strukture i škrobna granula se dodatno puni vodom te bubri. U ovoj fazi dolazi do kidanja međumolekulskih vodikovih veza između škrobnih molekula te dolazi do stvaranja vodikovih mostova između molekula škroba i molekula vode. Ako se proces zagrijavanja nastavi, granule i dalje primaju vodu i dolazi do njihove nagle ekspanzije. Miješanjem dolazi do pucanja veza i u kristalnom području, potpune razgradnje granule i otapanja [72].

Škrob koji posjeduje visoki stupanj umrežavanja ima veću viskoznost paste u odnosu na nativni škrob, želira pri višim temperaturama, ali ne želira u autoklavu i kipućoj vodi. Škrob koji ima niži stupanj umrežavanja nema značajniju promjenu temperature želiranja, ali se odlikuje poprilično većom viskoznosti nakon želiranja u usporedbi s nativnim škrobom, te daje pastu stabilne viskoznosti pri visokoj temperaturi. Niska vrijednost kidanja nastaje zbog jačanja kovalentnih veza između molekula škroba što daje stabilniju strukturu granule. Niski stupanj umrežavanja osigurava da ljepljivost škrobnih pasti bude svedena na minimum. Proces umrežavanja čini škrob otpornijim na promjene koje se događaju tijekom zamrzavanja i odmrzavanja, te ga čini otpornijim na retrogradaciju. Umrežavanje škroba djeluje na viskoznost paste preko dva mehanizma suprotnog djelovanja [73-75].

### 2.4.3 Specijalni polimeri, SRP

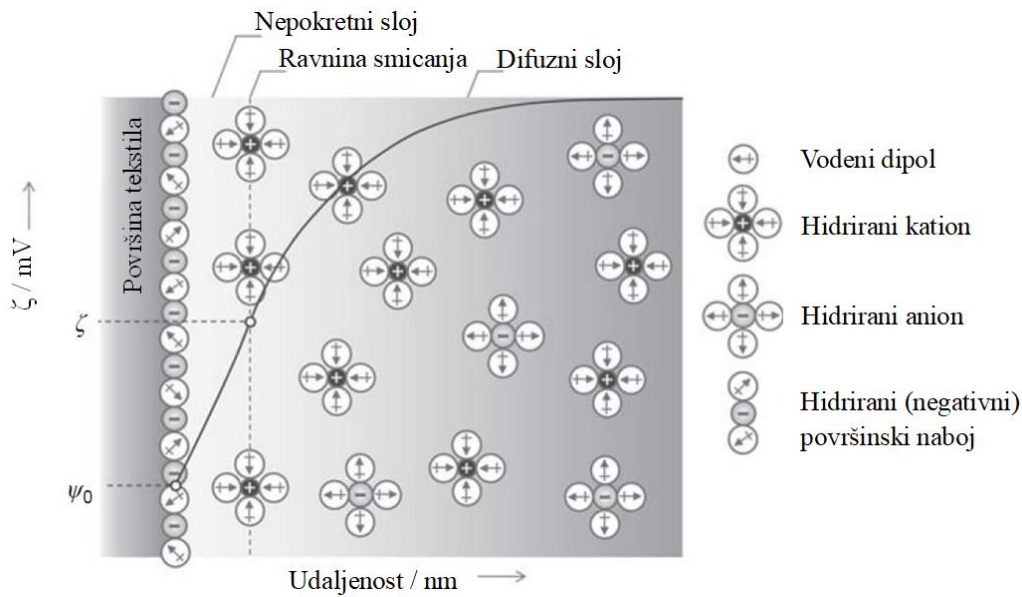
Skinute prljavštine se ne mogu ponovo direktno vezati na tekstilni materijal zbog primarno ciljane adsorpcije nosioca prljavštine na površinu materijala. CMC i CMS se snažno adsorbiraju na pamuk, a za sintetske tekstilije nemaju afinitet. Hidroksipropil celuloza ima inverzno ponašanje u odnosu na CMC [6].

Daljnja istraživanja problematike inhibiranja posivljenja u pranju temelje se na specijalnim polimerima i kopolimerima u deterdžentima [8, 38, 76, 77].

Obzirom da je CMC slabo djelotvorna u sprečavanju posivljenja sintetskih vlakana u pranju, uz deterdžent se dodaju hidrofilni oligomeri poliestera i poliamida (SRP), koji se za vrijeme procesa pranja adsorbiraju na površinu vlakna i čine film koji onemogućava redepoziciju prljavština skinutih s prljavih na čista mjesta. Polimeri tereftalne kiseline i polietilen glikola (SRP) učinkoviti su inhibitori posivljenja sintetskih tekstilija. Metilhidroksipropil celuloza ili SRP uzrokuju da površina poliestera postane znatno hidrofilnija. Nakon pranja ovi polimeri ostaju djelomično na vlaknu i ne dopuštaju masnim prljavštinama tijekom upotrebe čvrsto vezanje na vlakno [8, 78].

## 2.5 Zeta potencijal

Teorijska osnova zeta potencijala (eng. *zeta potential*, ZP,  $\zeta$ ) je primjenjiva za koloide i krutine, a temelji se na elektrokemijskom dvosloju (EDL) na granici kruto-tekuće. Raspodjela naboja na granici faza kruto-voda shematski je prikazana na slici 16. Naboj površine koji se generira, npr. interakcijom vode s funkcionalnim skupinama, djelomično se kompenzira u mirujućem sloju vode i suprotno nabijenih iona. Ovaj naboj supstrata ovisi o karakterističnim aktivnim površinskim skupinama koje disociraju u vodenim otopinama ili adsorbiraju  $\text{OH}^-/\text{H}^+$  ione, tenzide i polielektrolite na površinu, te dodatno o ionskoj jakosti i pH [78].



Slika 16 Model elektrokemijskog dvosloja (EDL model) na površini granice faza kruto-tekuće [79]

Raspodjela suprotno nabijenih iona (kationi) i ko-iona (anioni) u difuznom sloju razlikuje se od raspodjele iona u preostaloj tekućoj fazi. Potpuna kompenzacija naboja površine zahtijeva dodatne suprotno nabijene ione koji su akumulirani u difuznom sloju. Relativno gibanje između krute i tekuće faze dovodi do elektrokinetičkog efekta. Mjerenje prethodno spomenutih parametara, elektroforetske pokretljivosti ili potencijala strujanja, ubrajaju se u elektrokinetičke efekte. Potencijal strujanja nastaje kad tekućina prolazi kroz kapilaru načinjenu od krutog materijala. Razlika tlakova između krajeva takve kapilare je pokretač protoka tekućine kroz kapilaru. Preraspodjela naboja na granici faza dovodi do pomaka kompenzirajućih iona u difuznom sloju u smjeru protoka tekućine.

Višak određenog naboja čiji je predznak određen površinskim nabojem dovodi do razdvajanja naboja i generiranja električnog potencijala. Ovaj potencijal strujanja  $U_{str}$  je ovisan o razlici tlakova  $\Delta p$  prema jednadžbi 2 i o zeta potencijalu  $\zeta$  krute površine.

$$dU_{str} = \zeta \cdot \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{\eta \cdot \kappa_B} \cdot d\Delta p \quad (2)$$

gdje je:

$U_{str}$  – potencijal strujanja,

$\zeta$  – zeta potencijal u mV,

$\varepsilon_0$  – permitivnost vakuuma u F/m,

$\varepsilon$  – dielektrična konstanta,

$\eta$  – dinamička viskoznost otopine u Pas,

$\kappa_B$  – elektrovodljivost vodene otopine,

$\Delta p$  – razlika tlakova u Pa.

Prema EDL modelu, analiza potencijala strujanja je moguća na temelju nekoliko graničnih uvjeta. Unutar ove skupine potrebno je uvesti ravnu površinu s beskonačnim proširenjem, što za tekstilne materijale nije moguće. Drugo, krute površine moraju biti neporozne i nevodljive. Svojstva prirodnih vlakana su otvorena struktura i određeni stupanj bubrivosti, no ipak je moguća primjena zeta potencijala kao indikatora naboja površine i procesa na granici faza kruto-voda. Ograničenja EDL modela se uglavnom odnose na izračun zeta potencijala. Određena proširenja su dobivena Helmholtz - Smoluchowski teorijom, koja se temelji na mjerenju potencijala strujanja iz kojih se izračunava zeta potencijal.

Hidrodinamičko strujanje kapljevine uzrokuje preraspodjelu naboja na površini uzorka, čime se generira potencijal strujanja ( $U_p$ ) ili struja strujanja ( $I_p$ ). Površina celuloznih tekstilija je hrapava pa se mjeri i otpor unutar mjerne ćelije te se zeta potencijal izračunava ovim izrazom na temelju kojih se računa zeta potencijal prema Helmholtz - Smoluchowski jednadžbi 3, odnosno 4:

$$U_p = \frac{\zeta \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot Q \cdot R \cdot \Delta p}{\eta \cdot L} \Leftrightarrow \zeta = \frac{U_p \cdot \eta \cdot L}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot Q \cdot R \cdot \Delta p} \quad (3)$$

$$I_p = \frac{\zeta \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot Q \cdot \Delta p}{\eta \cdot L} \Leftrightarrow \zeta = \frac{I_p \cdot \eta \cdot L}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot Q \cdot \Delta p} \quad (4)$$

gdje je:

$U_p$  – potencijal strujanja u mV,

$I_p$  – struja strujanja u mA,

$\zeta$  – zeta potencijal u mV,

$\varepsilon_0$  – permitivnost vakuuma u F/m,

$\varepsilon$  – dielektrična konstanta,

$\eta$  – dinamička viskoznost otopine u Pas,

$R$  – električki otpor u  $\Omega$

$Q$  – površina presjeka kapilare u  $m^2$ ,

$L$  – duljina kapilare u m,

$\Delta p$  – razlika tlakova na krajevima kapilare u Pa.

Ovaj su model radi lakšeg proračuna obzirom na dimenzije kapilare doradili Fairbrother i

Mastin koji su izraz  $\frac{L}{Q}$  zamijenili izrazom  $R_p \chi_p$ , pa vrijedi jednačba 5, odnosno 6:

$$\Rightarrow \zeta = \frac{U_p \cdot \eta \cdot R_p \cdot \chi_p}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot R \cdot \Delta p} \quad (5)$$

$$\Rightarrow \zeta = \frac{I_p \cdot \eta \cdot R_p \cdot \chi_p}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \Delta p} \quad (6)$$

gdje je:

$R_p$  – električki otpor formiranog čepa u mjernoj ćeliji u  $\Omega$ ,

$\chi_p$  – poznata provodnost jakog elektrolita kojim je pri otporu  $R_p$  ispunjena ćelija u  $S/m^{-1}$  [80].

Za male čestice ili sitna vlakna u disperzijama, površinski naboj može se direktno odrediti potenciometrijskom titracijom ili pomoću detektora naboja čestica. U koloidnim disperzijama i emulzijama određuje se mjerenjem elektroforetske pokretljivosti ili elektroakustičnih efekata, radi ocjene stabilnosti takvih koloidnih sustava [81-83].

Za bilo koji drugi kruti materijal, analiza površinskog naboja je ograničena na indirektno određivanje zeta potencijala, koji se primjenjuje u različitim područjima temeljnih znanstvenih istraživanja u fizici, kemiji i biologiji kao i za istraživanja tehnoloških procesa. U okviru tih procesa primjenjuje se za karakterizaciju prirodnih i sintetskih vlakana [83, 84], membrana i filtera [85, 86], tekstilija [12], kože [87] i biomaterijala [87, 88].

Za tumačenje elektrokinetičkih efekata važno je poznavati aktivne skupine materijala i mehanizam u procesu modifikacije. Uobičajeni pristup je određivanje ovisnosti površinskog naboja o pH, što se postiže dodavanjem razrijeđene kiseline ili lužine u koncentraciji 0,05-0,1 mol/l u mjerenu otopinu. Smanjenje negativnog naboja snižavanjem pH dovodi do izoelektrične točke (IEP) na granici faza materijal-voda. To je pH vodene otopine pri kojoj materijal ima zeta potencijal jednak nuli,  $\zeta=0$  mV.

Zeta potencijal je svrsishodna veličina za karakterizaciju naboja površine i funkcionalnih skupina, koji uz ostale metode doprinosi praćenju učinkovitosti i optimiranju procesa obrade. Dodatno, postojanost obrade površina se može ocijeniti pomoću zeta potencijala površine. S druge strane, mogućnost praćenja uklanjanja depozita (čestica) s tekstilnog materijala je važna za procjenu učinkovitosti deterdženta u pranju.

Osim praćenja naboja površine i naboja na granici faza kruto-tekuće, zeta potencijal se može koristiti kao pokazatelj za interakcije između otopljenih tvari sadržanih u vodenoj otopini i krute površine. Takvi procesi su važni u tekstilu i obuhvaćaju fenomene adsorpcije tenzida (npr. omekšivači, sredstva za pranje), bojila, polielektrolita, pa i nanočestica [89, 90].

Određivanje elektrokinetičkih svojstava može se iskoristiti u analizi površinskih obrada, prevlačenja metala i adsorpcijskih svojstava materijala, karakteristika međupovršina i graničnih interakcija [91].

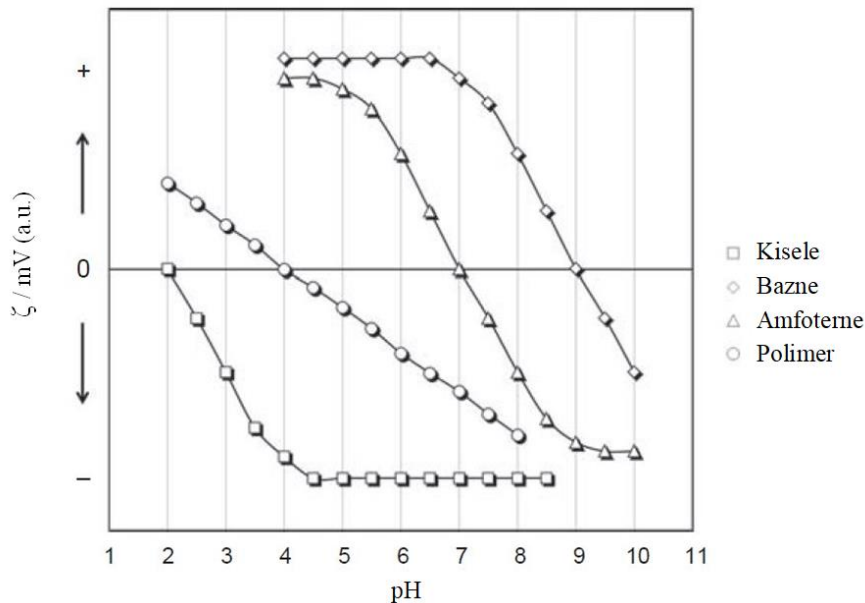
Mogućnosti i ograničenja elektrokinetičkih mjerenja su često vezani na određivanje i tumačenje zeta potencijala. Interpretacija zeta potencijala otežana je zbog hrapavosti, poroznosti, dlakavosti ili neujednačenosti efekata na površini materijala. U mnogim slučajevima dodatni podaci o analiziranoj međupovršini potrebni su za interpretaciju elektrokinetičkih fenomena [34, 92].

### **2.5.1 Naboj površine polimera**

Elektrokinetički fenomeni važni su za analizu promjene naboja površine u kontaktu s otopinama. Površinski naboj i naboj na granici faza kruto-voda generiraju se spontano kad su ove dvije faze u međusobnom dodiru/kontaktu. Raspodjela naboja na granici ovih faza pokreće elektrostatske interakcije između krute površine i u vodi otopljenih tvari. Većina polimera u neutralnim vodenim otopinama je negativno nabijena zbog disocijacije aktivnih skupina koje vrstom i brojem određuju zeta potencijal. Drugi doprinos naboja površine proizlazi iz adsorpcije molekula i iona koje su zastupljene u tekućoj fazi na površinu. Adsorpcija molekula koje su nabijene (čiji je naboj ovisan o pH) te akumulacija dominantnih molekula u otopini kao i vodi ne smije biti zanemarena prilikom interpretacije rezultata zeta potencijala [91, 93-95].

Na slici 17 prikazana je ovisnost zeta potencijala polimera bez disocirajućih skupina i površina gdje dominiraju kisele, bazne i amfoterne skupine o pH otopine. Površine bogate kiselim

funkcionalnim skupinama, npr. celulozna, generiraju negativno nabijene ostatke u kontaktu s vodom.



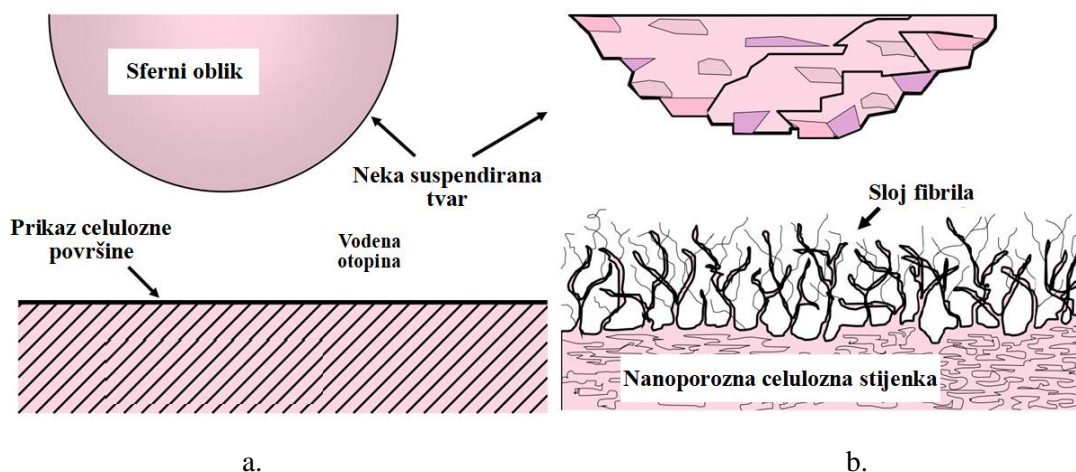
Slika 17 Ovisnost zeta potencijala polimera s kiselim, baznim i amfoternim funkcionalnim skupinama i polimernu površinu bez disocirajućih skupina o pH vodene otopine elektrolita [79]

Izoelektrična točka (IEP) je pH vrijednost gdje je površina elektroneutralna (zeta potencijal je 0) i ovisi o zastupljenim funkcionalnim skupinama. Površine s kiselim skupinama imaju IEP pomaknutu prema nižim pH vrijednostima, dok površine s baznim skupinama imaju IEP pomaknutu prema višim pH vrijednostima, slika 17.

### 2.5.2 Naboj površine celuloznih materijala

Električni naboj na površini ključan je u karakterizaciji i primjeni celuloznih polimera u industriji papira i tekstila [79].

Na slici 18 prikazane su dvije specifične celulozne površine i dvije morfološki različite suspendirane tvari u vodenoj otopini.



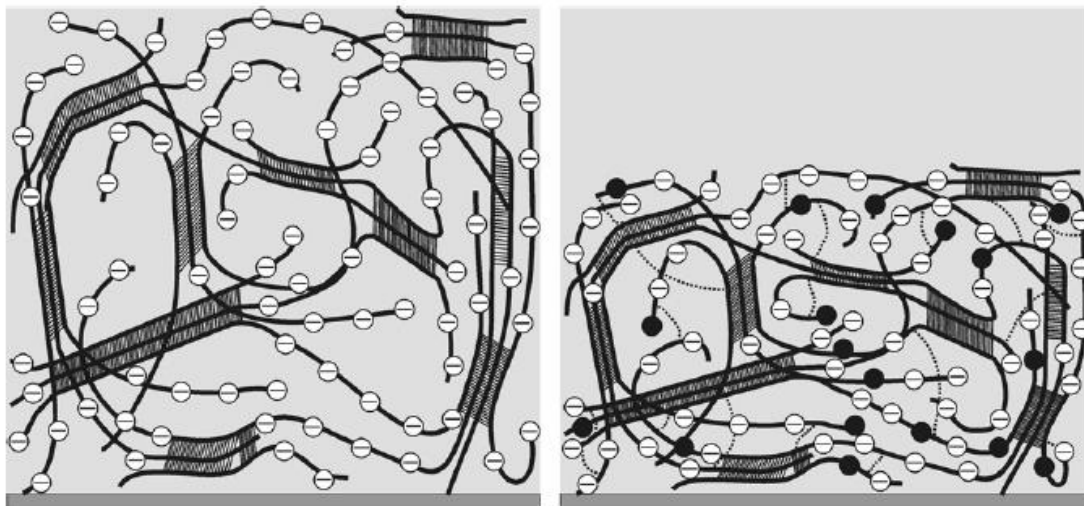
Slika 18 Celulozne površine: a) idealne geometrije; b) porozne [96]

U sustavu za procjenu interakcija kratkog doseg, celulozna površina je geometrijski idealizirana, a suspendirana čestica sfernog oblika (a). Druga površina je stvarna, nanoporozna celulozna površina s fibrilima koji se protežu prema vodenoj otopini gdje suspendirana čestica ima specifičnu morfologiju (b).

Analiza adsorpcije CMC-e na celuloznu pulpu u primjeru kada polielektrolit i celulozna podloga imaju isti predznak naboja pokazala je gotovo kvantitativno potpunu adsorpciju negativno nabijenog CMC na celulozu u uvjetima visoke temperature, dovoljnog vremena i koncentracije soli koja je smanjila elektrostatske odbojne sile [96].

Na slici 19 je shematski prikazana struktura i ionizacija native i umrežene celuloze. U desnom prikazu umrežene strukture, točkaste linije prikazuju umrežene segmente, a ispunjeni krugovi su nedisocirane karboksilne skupine. Kristalna područja označena su prugama, a suprotno nabijeni ioni izuzeti su iz prikaza radi jednostavnosti.



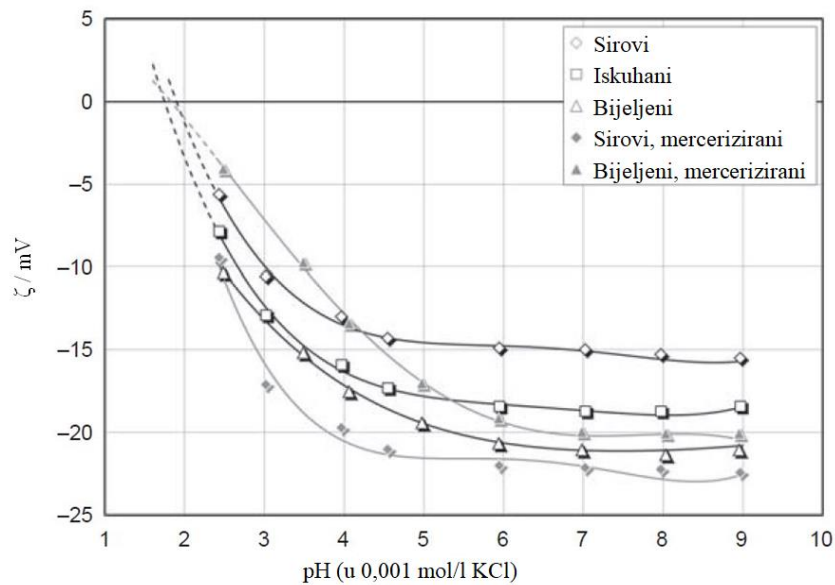


Slika 19 Shematski prikaz strukture i ionizacije nevezanih (lijevo) i umreženih (desno) slojeva celuloze [97]

Umrežena mjesta uzrokuju kompaktniju slojevituu strukturu bez promjena u sadržaju kiselih karboksilnih skupina (OH-reaktivni umreživač). Disocijacijom izoliranih karboksilnih skupina generira se zeta potencijal koji pruža informacije o kiselobaznom ponašanju celuloze.

U procesima predobrade (iskuhavanje s NaOH, bioiskuhavanje, ekstrakcije otapalima, oksidativno bijeljenje) uklanjaju se razne primjese s pamučnih tekstilija što utječe na reaktivnost i promjenu naboja površine [84]. Bijeljenjem se otvara struktura celuloznih tekstilija i povećava broj kiselih funkcionalnih skupina ( $-COOH$ ) [98], čime se povećava broj aktivnih skupina u celulozi (uz hidroksilne se povećava i broj karboksilnih skupina), što rezultira negativnijim zeta potencijalom.

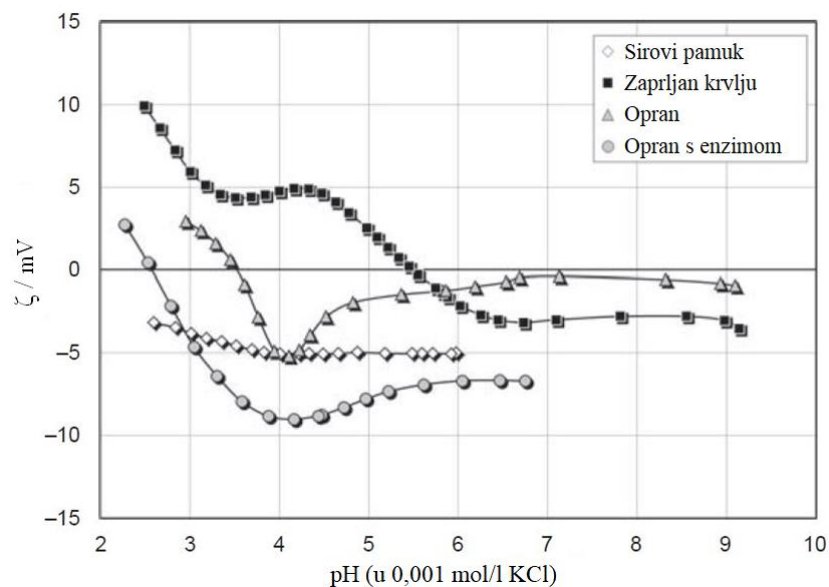
U procesima bojadisanja i oplemenjivanja postižu se ciljana svojstva pamučnih materijala. Slobodnom mercerizacijom vlakana u 24 % NaOH na temelju povećane dostupnosti  $-OH$  skupina povećava se adsorptivnost, čime se povećava i negativan ZP, slika 20 [99, 100].



Slika 20 Zeta potencijal pamučnih vlakana različitog stupnja obrade u ovisnosti o pH [79]

Proces adsorpcije i desorpcije pojedinih tvari se može analizirati pomoću zeta potencijala [12, 79, 98, 100].

Potencijal strujanja se pokazao svrsishodnim parametrom u karakterizaciji pamučnih tkanina zaprljanih proteinskim tvarima s ciljem određivanja učinkovitosti u pranju sa standardnim deterdžentom, slika 21.



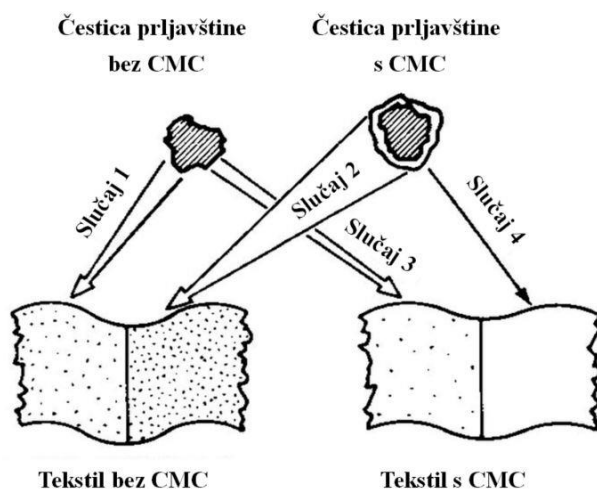
Slika 21 Zeta potencijal sirove, krvlju zaprljane i oprane standardne pamučne tkanine [79]

Topografska analiza tkanina opranih deterdžentom koji sadrži enzim celulazu i CMC, te analiza učinka u pranju potvrdile su da oba sastojka izazivaju promjene površine [101, 102]. Mehanizam specifične orijentacije CMC-e na celulozni polimer shematski je prikazan na slici 22.



Slika 22 Shematski prikaz adsorpcije CMC na površinu polimera [103]

CMC se orijentira prema celulozi unutar nekoliko slojeva, čime se povećava broj i gustoća negativno nabijenih karboksilnih skupina i negativan naboj površine tekstila. U prvoj fazi ispiranja uklanjaju se prljavštine, a potom, u drugoj fazi kada se veza nosilac prljavštine-vlakno. Takvom površinskom modifikacijom povećava se negativan naboj površine materijala i smanjuje stupanj fibrilacije pamučnih materijala u pranju [76].



Slika 23 Utjecaj sorpcije CMC na tkaninu i prljavštinu [9]

Adsorpcija CMC-e i njen učinak u inhibiciji posivljenja ograničen je na celulozne tekstilije, slika 23, pa se proces pranja pamučnih tkanina deterdžentom uz dodatak inhibitora može sagledati kao postupak modifikacije koji će ovisiti o čimbenicima Sinner-ovog kruga. U radu je korištenjem različitih vrsta odabranih polimera dodanih deterdžentu za pranje standardne pamučne tkanine u tvrdoj i mekoj vodi mjerenjem potencijala strujanja određen zeta potencijal i utvrđen stupanj modifikacije. Naboj površine pamučnih materijala prije i nakon modifikacije u pranju izmjeren je u otopini elektrolita, 0,001 mol/l KCl kroz titracijski postupak od lužnatog prema kiselom.

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

Istraživanje utjecaja fizikalno-kemijskih svojstava inhibitora posivljenja u pranju pamučnih tkanina provedeno je kroz nekoliko faza.

U prvoj fazi provedena je karakterizacija inhibitora posivljenja određivanjem:

- stupnja supstitucije,
- morfologije,
- reoloških karakteristika,
- sadržaja vlage,
- karakterističnih skupina.

U narednim fazama su istraženi učinci u pranju standardnih tkanina kroz varijaciju parametara:

- sastava kupelji,
- temperature,
- tvrdoće vode,
- broja ciklusa pranja,
- vrste uređaja,
- vrste materijala.

Vrednovanje postignutih učinaka uz varijaciju navedenih parametara u pranju provedeno je:

- analizom stupnja inhibicije vezanja prljavština na tkanine (primarni učinak),
- analizom stupnja bjeline pamučnih tkanina (sekundarni učinak),
- analizom sadržaja rezidualnih tvari (sekundarni učinak),
- analizom morfologije (SEM) i elementarnog sastava (SEM-EDS) odabranih uzoraka rezidualnih tvari,
- mjerenjem naboja površine pamučne tkanine (sekundarni učinak),
- analizom površine pamučne tkanine primjenom FTIR-a,
- analizom površine pamučne tkanine primjenom SEM-a,
- analizom elementarnog sastava (SEM-EDS) odabranih uzoraka pamučne tkanine.

Kao doprinos vrednovanju stupnja modifikacije pamučnih tkanina u pranju provedena je hijerarhijska klaster analiza.

U eksperimentalnom dijelu opisani su materijali, sredstva, postupci obrade, metodologija rada, primijenjeni uređaji i metode ispitivanja.

## 3.1 Materijali

### 3.1.1 Standardna pamučna tkanina

Utjecaj prethodno istaknutih parametara na sekundarne učinke u pranju istražen je izborom predbijeljene standardne pamučne tkanine bez optičkih bjelila i aperture (PT), što je usklađeno sa zahtjevima kontrolnog sustava RAL-GZ 992 koji je uveo RAL (*njem. Reichs-Ausschuss für Lieferbedingung*, Njemački institut za osiguranje kvalitete u kontroli roba i usluga) [104]. Tehničke karakteristike ove tkanine propisane su normom HRN ISO 2267: 2001, a odnose se na površinsku masu 170 g/m<sup>2</sup>, gustoću niti 25 niti/cm po osnovi i potki, finoću pređe osnovinih i potkinih niti 37 tex te uvojitost 700 uvoja/m.

### 3.1.2 Standardni donori zaprljanja

Primarni učinak analiziran je kroz varijaciju sastava kupelji, tvrdoće vode, temperature i uređaja izborom standardnih donora zaprljanja – tkanina, nosača specifičnih zaprljanja dobavljača EMPA (*njem. Eidgenössische Materialprüfungs-und Forschungsanstalt, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology*). Karakteristike korištenih EMPA donora zaprljanja - standardno zaprljanih tkanina prikazane su u tablici 4:

Tablica 4 EMPA donori zaprljanja - standardno zaprljane tkanine (E-101, E-104, E-114 i E-116)

Oznaka	Zaprljanje	Sirovinski sastav tkanine - nosača	Površinska masa, g/m <sup>2</sup>	Karakteristika učinka
E-101	čađa u maslinovom ulju	pamuk, 100 %	90	opći
E-104	čađa u maslinovom ulju	poliester/pamuk, 65 %/35 %	165	
E-114	crveno vino	pamuk, 100 %	200	izbjeljivanje
E-116	krv, mlijeko i tinta	pamuk, 100 %	200	proteolitički

### 3.1.3 Deterdžent

U istraživanju je primijenjen deterdžent kojem su dodani analizirani inhibitori posivljenja, a njegov sastav prikazan je u tablici 5.

Tablica 5 Sastav deterdženta

Sastojak	w*, %
anionski tenzid	3,0
sadržaj sapuna	1,04
natrijev perkarbonat	4,7
natrijev hidroksid (48 %)	0,7
vodeno staklo	11,0
zeolit	7,1
natrijev karbonat	30,0
natrijev sulfat	40,0
fosfonat	0,05
polikarboksilat	0,01
optičko bijelilo (Optiblanc 2MG/LT Extra)	0,09
enzimi (amilaza, proteaza)	0,01
voda i ostali dodaci	do 100

Fizikalna, fizikalno-kemijska i kemijska svojstva deterdženta preuzeta od proizvođača navedena su u tablici 6.

Tablica 6 Svojstva deterdženta

Parametri		Metoda
<b>Fizikalni</b>		
Nasipna masa, g/l	650 - 750	HRN ISO 697:1998
<b>Fizikalno-kemijski</b>		
pH vrijednost 1 % otopine	10,5 - 11,0	HRN ISO 4316:1997
Alkalitet, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , %	35,0 - 40,0	HRN ISO 4315:1997
<b>Kemijski</b>		
Ukupna aktivna tvar, %	3,0 - 3,5	ISO 6842-83
Sadržaj aktivnog kisika, %	0,75 - 0,85	ISO 4321-7
Isparljivo na 105 °C, %	5,0 - 8,0	HRN ISO 672:1997
Sadržaj slobodnih alkalija, NaOH, %	maks. 0,5	HRN ISO 684:1998

### 3.1.4 Inhibitori posivljenja

U radu su primijenjeni različiti inhibitori posivljenja, ovisno o fazi provedbe istraživanja. U preliminarnim istraživanjima primijenjeni su natrijeva karboksimetil celuloza (CMC), natrijev karboksimetil škrob (CMS) i njihova mješavina (CMC + CMS) kao dodatak deterdžentu u koncentraciji 0,4 %. U kasnijim fazama istraživanja deterdžentu su uz CMC, CMS i CMC + CMS u istoj koncentraciji dodani CMC HV i CMC LV.

Svojstva inhibitora posivljenja prikazana su prema podacima proizvođača, nomenklaturama IUPAC (engl. *International Union of Pure and Applied Chemistry*) i CAS (engl. *Chemical Active Substance*) te strukturom u 2D obliku.

#### 3.1.4.1 Karboksimetil celuloza (CMC)

**Ime prema IUPAC-u:** karboksimetil celuloza

**Skraćenica prema IUPAC-u:** CMC [43]

**CAS broj:** 9004-32-4

**Formula:**  $[C_6H_7O_2(OH)_x(OCH_2COONa)_y]_N$

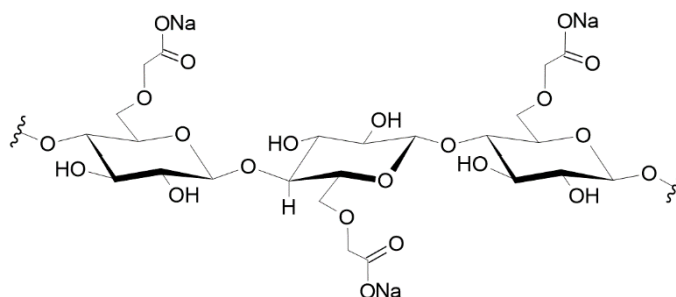
gdje je:

N - stupanj polimerizacije,

x – broj hidroksilnih skupina u AGU, x = 1,50 do 2,80,

y - stupanj supstitucije, y = 0,20 do 1,50, x + y = 3,00 [105] [106]

**Molekularna 2D struktura,** slika 24.



Slika 24 Molekularna 2D struktura CMC

U radu je korištena CMC, dobavljača Dencell iz Bugarske, čija su svojstva, te zahtjevi proizvođača deterdženta prikazani u tablici 7.

Tablica 7 Karakteristike karboksimetil celuloze, CMC

Parametri	Vrijednost
Izgled	-
Sadržaj aktivne tvari, %	5,5
Aktivna tvar, %	70,9
Stupanj supstitucije – DS*	0,54
Ukupne soli, %	29,1
pH vrijednost 1% otopina	10,2
Viskozitet 2% otopina, cP ili mPas <i>on dry basis</i> 25 °C na 100 RPM, vreteno 1	22
Gustoća, g/cm <sup>3</sup> kod 20 °C	-

\* unatoč prethodno korištenoj oznaci y za stupanj supstitucije, u tablici je korištena uvriježena kratica DS (engl. *degree of substitution*)

### 3.1.4.2 Karboksimetil celuloza niske viskoznosti (CMC LV)

Karakteristike natrijeve karboksimetil celuloze niske viskoznosti (engl. *Carboxymethylcellulose, Sodium Salt, Low Viscosity*) europskog dobavljača američke tvrtke Sigma – Aldrich, su prikazane u tablici 8 [107].

Tablica 8 Karakteristike natrijeve karboksimetil celuloze niske viskoznosti, CMC LV

Parametri	Vrijednost
Molekulska masa, kDa	90
Stupanj polimerizacije – DP*	400
Stupanj supstitucije – DS	0,65 - 0,90
Viskozitet 4 % otopine, 25 °C, cP ili mPas	50 - 200

\* unatoč prethodno korištenoj oznaci n za stupanj polimerizacije, u tablici je korištena uvriježena kratica DP (*degree of polymerization*)

### 3.1.4.3 Karboksimetil celuloza visoke viskoznosti (CMC HV)

Karakteristike natrijeve karboksimetil celuloze visoke viskoznosti (engl. *Carboxymethylcellulose, Sodium Salt, High Viscosity*) europskog dobavljača američke tvrtke Sigma – Aldrich, prikazane su u tablici 9 [107].

Tablica 9 Karakteristike natrijeve karboksimetil celuloze visoke viskoznosti, CMC HV

Parametri	Vrijednost
Molekulska masa, kDa	700
Stupanj polimerizacije - DP	3200
Stupanj supstitucije - DS	0,65 - 0,90
Viskozitet 1 % otopine, 25 °C, cP ili mPas	1500 - 3000



### 3.1.4.4 Karboksimetil škrob (CMS)

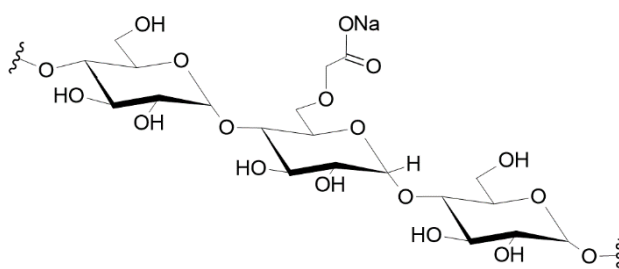
**Ime prema IUPAC-u:** karboksimetil škrob

Natrijev karboksimetil škrob, CMS (engl. *Sodium Starch Glycolate*) korišten je iz sredstva Linpak CMS, proizvođača Likval iz Bosne i Hercegovine, čija su svojstva i zahtjevi proizvođača deterdženta prikazani u tablici 10.

**CAS:** 9063-38-1

**Formula:**  $(C_2H_4O_3)_x \cdot (Na)_x$  [107]

Molekularna 2D struktura, slika 25.



Slika 25 Molekularna 2D struktura CMS

Tablica 10 Karakteristike proizvoda Linpak CMS

Parametri	Vrijednosti
Izgled	-
Aktivna tvar, %	32
Stupanj supstitucije - DS	0,82
Ukupne soli, %	-
pH vrijednost 1 % otopine	10,1
Viskozitet 100% otopine, cP ili mPas Brookfield, 20 °C, vreteno 3	2210
Gustoća kod 20 °C, g/cm <sup>3</sup>	1,197

## 3.2 Postupci

Istraživanja utjecaja inhibitora posivljenja u pranju pamučnih tkanina, provedena su u postupcima laboratorijskog pranja:

- u perilici (P)
- u uređaju Polymat (M).

### 3.2.1 Pranje u laboratorijskoj perilici (P)

Preliminarni dio istraživanja proveden je u laboratorijskoj perilici rublja Gorenje 605999 WA442 (Slika P6.1.). Standardne pamučne tkanine (PT), dimenzija 30 x 30 cm uz pamučni balast mase 4,5 kg oprane su deterdžentom mase 150 g kojem su dodani inhibitori posivljenja CMC, CMS, CMC + CMS kroz 10 ciklusa na temperaturama 40 °C, 60 °C i 90 °C. Za analizu primarnih učinaka u 1. ciklus uz PT i pamučni balast dodani su standardni donori zaprljanja - EMPA tkanine: E-101, E-104, E-114 i E-116, čije su mase prikazane u tablici 11.

Tablica 11 Masa EMPA donora zaprljanja

EMPA donori zaprljanja	
Oznaka	Masa, g
E-101	0,567
E-104	0,962
E-114	1,035
E-116	1,078

Uvjeti pranja, opisani su kroz konstantne i varijabilne parametre u tablici 12.

Tablica 12 Uvjeti pranja u laboratorijskoj perilici (P)

Konstantni parametri	Varijabilni parametri
Omjer kupelji, OK 1:12	Temperatura pranja: 40 °C, 60 °C i 90 °C
Volumen kupelji, $V_k = 54$ l	Tvrdoća vode: <ul style="list-style-type: none"> <li>• tvrda</li> <li>• meka</li> </ul>
Deterdžent*, doziranje 150 g CMC, CMS, CMC+CMS, w = 0,4 %	Sastav kupelji: <ul style="list-style-type: none"> <li>• deterdžent* + CMC</li> <li>• deterdžent* + CMS</li> <li>• deterdžent* + CMC+CMS</li> </ul>
	Ciklusi pranja: 1, 10
Ispiranje: prema programu, 3 ciklusa	Tvrdoća vode: <ul style="list-style-type: none"> <li>• tvrda</li> <li>• meka</li> </ul>
Sušenje: na zraku	

\*deterdžent bez inhibitora posivljenja

Uzorci standardne tkanine oprani su prema zahtjevima HRN EN ISO 6330:2012 koji predviđa upotrebu standardnog deterdženta i vode tvrdoće niže od 0,7 mmol/l  $\text{CaCO}_3$ , odnosno 12,50 ppm, analizirane prema HRN ISO 6059:1998. U ovom istraživanju se kroz izbor deterdženta i kvalitete vode odstupilo od navedenog standarda, jer je jedino na taj način bilo moguće istražiti utjecaj različitih inhibitora posivljenja u pranju pamučnih tkanina.

### 3.2.2 Pranje u laboratorijskom uređaju (M)

Za pranje standardnih tkanina korišten je i laboratorijski uređaj Polymat P 4502 (M), Mathis, Švicarska (Slika P6.2.) gdje je moguće podešavati procesne parametre, temperaturu, vrijeme obrade, gradijent zagrijavanja/hlađenja te smjer vrtnje uz mogućnost obrade u kivetama i bubnju. Proces pranja je proveden u kivetama u mekoj i tvrdoj vodi, kroz više varijacija u kupelji, uz dodatak deterdženta, deterdženta i inhibitora posivljenja CMC, CMS, CMC +CMS, CMC LV i CMC HV na temperaturama 40 °C, 60 °C i 90 °C. Novo uvedeni inhibitori posivljenja CMC LV i CMC HV u istoj koncentraciji 0,4 % dodani su u deterdžent, tablica 13.

Tablica 13 Uvjeti pranja u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

Konstantni parametri	Varijabilni parametri
Omjer kupelji, OK 1:4	Temperatura pranja: 40 °C, 60 °C i 90 °C
Volumen kupelji, $V_k = 100$ ml	Tvrdoća vode: <ul style="list-style-type: none"> <li>• tvrda</li> <li>• meka</li> </ul>
Vrijeme pranja, $t = 20$ min	
Deterdžent*, doziranje 5 g/l CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV, CMC HV $w = 0,4$ %	Sastav kupelji: <ul style="list-style-type: none"> <li>• tvrda voda</li> <li>• meka voda</li> <li>• deterdžent*</li> <li>• deterdžent* + CMC</li> <li>• deterdžent* + CMS</li> <li>• deterdžent* + CMC+CMS</li> <li>• deterdžent* + CMC LV</li> <li>• deterdžent* + CMC HV</li> </ul>
	Ciklusi pranja: 1, 10, 11
Ispiranje, 4 ciklusa: 200 ml vode	Tvrdoća vode: <ul style="list-style-type: none"> <li>• tvrda</li> <li>• meka</li> </ul>
Sušenje: na zraku	

\*deterdžent bez inhibitora posivljenja

Procesi pranja u ovom uređaju provedeni su kroz 11 ciklusa, što je razlika u odnosu na prethodno opisane postupke pranja u laboratorijskoj perilici (P). Odstupanje je uvjetovano spoznajama dobivenim analizom rezultata primarnog i sekundarnog učinka preliminarnih ciklusa pranja u laboratorijskoj perilici. Ovaj inovativniji i složeniji protokol u laboratorijskom uređaju (M) uključuje slijedeće varijacije pranja:

- 1) standardne pamučne tkanine kroz 1 i 10 ciklusa tvrdom i mekom vodom, deterdžentom i deterdžentom uz dodatak CMC, CMS, CMC + CMS, CMC LV i CMC HV.
- 2) EMPA donora zaprljanja kroz 1 ciklus tvrdom i mekom vodom, deterdžentom i deterdžentom uz dodatak CMC, CMS, CMC + CMS, CMC LV i CMC HV
- 3) standardne tkanine PT oprane kroz 10 ciklusa u postupcima P i M kroz 1 ciklus (kumulativno 11. ciklus) dodijeljena je oznaka PT\*. Uz tako označene PT\* tkanine u taj ciklus su dodani i uzorci standardne neoprane pamučne tkanine dimenzija 10 x 22 cm i mase cca 4 g (PT 1), te EMPA donori zaprljanja (E-101\*, E-104\*).

Na ovaj način je u 11. ciklusu pranja istražena inhibicija prijelaza prljavština skinutih s EMPA donora zaprljanja na 10 ciklusa opranu pamučnu tkaninu (PT\*) i neoprane pamučne tkanine (PT 1) koje su dodane s ciljem usporedne analize redepozicije prljavština na

različite površine. Svi navedeni uzorci u 11. ciklusu u laboratorijskom uređaju Polymat su oprani u istim uvjetima kako je opisano u tablici 13.

Šifriranje svih do sada opisanih uzoraka načinjeno je prema slijedećem numeričkom obrascu:

**1\_2\_3\_4\_5\_6**

gdje su:

- 1- stroj/uređaj (P, M)
- 2- tkanina (E, PT, PT\*, PT 1)
- 3- sredstvo za pranje (T, M, D, CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV, CMC HV)
- 4- temperatura (40 °C, 60 °C, 90 °C)
- 5- kvaliteta vode (T, M)
- 6- broj ciklusa (0, 1, 10, 11)

Opis uzoraka tkanina nakon pranja uz prethodno istaknute varijacije označene su u Prilogu 5, tablice P5.1.-P5.4.

### 3.3 Metode

Obzirom da inhibitori posivljenja sinergijski djeluju s tenzidima i bilderima, analizirana je tvrdoća vode a metodom kompleksometrijske titracije.

Za analizu inhibitora posivljenja primijenjene su:

- metoda za određivanje stupnja supstitucije,
- metoda za određivanje viskoznosti,
- metoda za određivanje sadržaja vlage,
- skenirajuća elektronska mikroskopija.

Karakterizacija standardne pamučne tkanine prije i nakon 10 ciklusa pranja načinjena je:

- metodama analize prema zahtjevima HRN ISO 4312: 2001 i RAL-GZ 992
  - određivanje sadržaja rezidualnih tvari i
  - određivanje stupnja bjeline.
- metodom potencijala strujanja,
- skenirajućom elektronskom mikroskopijom,
- FTIR spektroskopskom analizom.

Za definiranje međusobnih odnosa parametara provedbe procesa pranja u analiziranim uvjetima, temeljem baze podataka dobivene određivanjem sadržaja rezidualnih tvari i zeta potencijala primijenjena je :

- hijerarhijska klaster analiza (HCA).

Za karakterizaciju primarnog učinka, mjerenjem EMPA donora zaprljanja i pamučne tkanine oprane tkanine u 11. ciklusu (PT\*) primijenjena je:

- metoda remisijske spektrofotometrije.

### 3.3.1 Metoda određivanja tvrdoće vode

Ukupna tvrdoća vode određena je kompleksometrijskom titracijom prema HRN ISO 6059:1998. Titrand, komplekson III ( $K_{III}$ ) trivijalnog imena za dinatrijevu sol etilendiamintetraoctene kiseline ( $Na_2$ -EDTA) generira topivi kelatni kompleks s određenim metalnim kationima ( $Ca^{2+}$  i  $Mg^{2+}$ ). U Erlenmeyerovu tikvicu izdvoji se 100 ml uzorka, doda 2 ml pufera pH 10 ( $NH_4OH/NH_4Cl$ ) i indikator *Erio krom crno T* nakon čega otopina poprima ružičastu boju. Titracija se provodi otopinom  $K_{III}$  koncentracije 0,1 mol/l za vode visoke tvrdoće ili 0,01 mol/L za vode niske tvrdoće, do pojave plavog tona boje. Ukoliko pH otopine iznosi 10 može doći do taloženja  $CaCO_3$  pa se titracija mora izvesti do 5 minuta od dodatka pufera.

Tvrdoća vode se izračunava na temelju utrošenog volumena  $K_{III}$  i izražava se u mg  $CaCO_3/l$  prema jednadžbi 7.

$$^{\circ}dH = V(K_{III}) \cdot c(K_{III}) \cdot 56 \quad (7)$$

gdje je:

$^{\circ}dH$ - stupanj njemačke tvrdoće vode u mg  $CaO/l$ ,

$V(K_{III})$  - volumen utrošenog kompleksona,

$c(K_{III})$  - koncentracija kompleksona (0,1 mol/l ili 0,01 mol/l),

17,80 faktor za preračunavanje  $^{\circ}dH$  u ppm ( $1^{\circ}dH = 17,80$  mg  $CaCO_3/l$ ).

### 3.3.2 Metoda određivanja pH

Vodenim otopinama određen je pH prema HRN ISO 4315:1997. Koncentracija vodikovih iona određena je potenciometrijski, pH metrom MA 5736, Metrel, Slovenija (Slika P6.3.) koji koristi staklenu elektrodu sastavljenu od mjernog i referentnog dijela, te integriranog senzora za mjerenje temperature.

### 3.3.3 Metoda za određivanje stupnja supstitucije inhibitora posivljenja

Prema nacionalno dostupnoj *in house* metodi određen je stupanj supstitucije praškastih inhibitora posivljenja CMC, CMC LV i CMC HV. Početno je uzorak CMC osušen na 105 °C, nakon čega se u čašu od 250 ml važe apsolutno osušen uzorak mase 0,95 – 1,05 g s točnošću ± 0,0001 g (A). Na tako priređen uzorak biretom se dodaje 10 ml klorovodične kiseline (HCl, 1 mol/l) i miješa na magnetskoj miješalici 10 minuta. Potom se doda 20 ml destilirane vode koja je prethodno neutralizirana uz indikator fenolftalein do ružičaste boje, te miješa dodatnih 5 minuta. Tako dobivena otopina neutralizira se natrijevim hidroksidom (NaOH, 1 mol/l) uz dodatak fenolftaleina. CMC se taloži dodatkom 160 ml etanola (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, 96% prethodno neutraliziranog uz fenolftalein do ružičaste boje) iz birete na magnetskoj miješalici. Nakon dodatka cjelokupne količine etanola, nastavi se miješanje još 10 minuta, a potom se pokus nastavi stavljanjem čaše sa sadržajem u zagrijanu (do vrenja) vodenu kupelj 30 minuta. Nakon toga se suspenzija hladi na sobnu temperaturu pri čemu se talog slegne. Otopina se filtrira preko suhog i izvaganog lončića za filtraciju poroznosti G4. Dobiveni talog kvantitativno se prenese u lončić gdje se u 3 obroka doda po 50 ml etanola (ukupno 150 ml etanola, 80%). Talog u lončiću ispere se dodatno sa 150 ml etanola, 96%, a završno tako isprani talog dodatno ispere se s 50 ml apsolutnog etanola. Talog se suši na 105 °C, ohladi i vagne (C). Od te mase izuzme se 0,5 g (B) u prethodno očišćen platinski lončić. Uz blago zagrijavanje spali se sadržaj u platinskom lončiću i žari na 800 °C oko 10 minuta. Ostatak u lončiću se dodatkom destilirane vode u malim obrocima kvantitativno prenese u Erlenmeyerovu tikvicu od 250 ml. Otapanje ostatka se može pospješiti zagrijavanjem. Potom se doda par kapi indikatora metil crveno i titrira standardiziranom otopinom sumporne kiseline (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0,05 mol/l). Prije završetka titracije se prisutni CO<sub>2</sub> iskuhavanjem otplinjuje uz dodatak kamenčića za vrenje, a titracija dovrši i zabilježi utrošak H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (a). U otopinu se zatim doda 0,1 g čvrstog kalijeva kromata (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) i titrira otopinom srebrenog nitrata, AgNO<sub>3</sub> (0,1 mol/l). Ukoliko je utrošak otopine AgNO<sub>3</sub> veći od 3 kapi, onda je potrebno odrediti sadržaj NaCl (d) i to uzeti računski u obzir.

Izračun udjela CMC\* i DS inhibitora je prikazan u jednadžbama 8 i 9:

$$CMC^* = \frac{B-d}{A} \cdot 100 [\%] \quad (8)$$

gdje je:

CMC\* - udio karboksimetil celuloze (računa se na suhu tvar) u %,

A – odvaga uzorka suhe sirovine inhibitora (nakon sušenja do konstantne mase) u g,



B – masa taloga u g,

d – masa NaCl u g.

$$DS = \frac{0,162 \cdot S}{1 - (0,080 \cdot S)} \quad (9)$$

gdje je:

DS – stupanj supstitucije.

S – utrošak standardizirane sumporne kiseline (0,05 mol/l) u ml potrebne za 1 g CMC\* koji se dobije iz jednadžbe 10:

$$S = \frac{0,1 \cdot a}{c - d} \quad (10)$$

a – utrošak standardizirane sumporne kiseline (0,05 mol/l) u ml,

C – masa čistog CMC u g,

162 – molekularna masa anhidroglukozne jedinice u g/mol,

80 – čisti porast molekularne mase anhidroglukozne jedinice za svaku natrijkarboksil grupu (molekularna masa izazvana promjenom uslijed žarenja) u g/mol.

### 3.3.4 Metoda za određivanje viskoznosti otopina inhibitora posivljenja

Upotrebom norme HRN ISO 6388:1999 određena je viskoznost inhibitora posivljenja radi uvida u relativnu sposobnost zgušnjavanja polimera u vodi. Viskoznost otopina inhibitora posivljenja izmjerena je rotacijskim viskozimetrom Brookfield, model DV-II +, SAD (Slika P6.4. a), koji posjeduje kalibriranu spiralnu oprugu unutar instrumenta za mjerenje otpora koji daje vreteno uronjeno u uzorak. Radni parametri definirani su kroz odabir vretena, brzinu rotacije vretena, temperaturu i volumen čašice u kojoj se provodi mjerenje. Princip rada ovog viskozimetra temelji se na unaprijed postavljenoj brzini rotacije vretena (30 ili 60 RPM, eng. *rounds per minute*) uronjenog u čašu (volumena 150 ml) s uzorkom (volumena 100 ml), pri čemu se mjeri viskoznost i temperatura [108, 109].

Laboratorijska mjerenja reoloških svojstava tvrde i meke vode, otopina inhibitora posivljenja (1 % i 4 %), otopine deterdženta, otopine deterdženta s pojedinačnim inhibitorom posivljenja (0,5 %) su ispitana pri temperaturi od  $25 \pm 1$  °C. Korištena su 2 vretena cilindrične geometrije LVDV-II+ (Slika P6.4. b), koda S61 i S63, tablica 14. Za CMC, CMS, CMC+CMS i CMC LV korišteno je vreteno koda S61, a za CMC HV vreteno koda S63, koji se uz odgovarajuće konstante unose putem tipkovnice na viskozimetru [109, 110].

Tablica 14 Vretena i konstante viskozimetra

Vreteno	Kod	SMC	SRC	TK
LV1	S61	6,4	0	0,09373
LV3	S63	640	0	

TK (*Torque Constant*) – konstanta zakretnog momenta viskozimetra Brookfield DV-II+

SMC (*Spindle Multiplier Constant*) – konstanta vretena

SRC (*Shear Rate Constant*) – konstanta brzine smicanja

### 3.3.5 Metoda za određivanje sadržaja vlage u inhibitorima posivljenja

Sadržaj vlage u praškastim produktima, npr. deterdžentu, inhibitorima posivljenja i ostalim supstancama određuje se prema HRN ISO 672:1978.

Uzorak se dobro homogenizira miješanjem i vagne se 3 do 5 g ( $m_u$ ) u prethodno odvagano posudicu za vaganje, te suši na  $103 \pm 2$  °C kroz 2 sata. Nakon sušenja se posudica s uzorkom zatvori i stavi u eksikator sa silikagelom, a potom ohlađeni uzorak vagne. Nakon vaganja, uzorak se stavi ponovo u sušionik na  $103 \pm 2$  °C kroz 1 sat i ohladi do sobne temperature. Postupak se ponavlja dok razlika u masi ne bude manja od 5 mg kroz 30 minuta ( $m_{asu}$ ).

Nakon sušenja sadržaj vlage u uzorku se izračunava prema jednadžbi 11.

$$M = \frac{m_{asu}}{m_u} \cdot 100 [\%] \quad (11)$$

gdje su:

M - sadržaj vlage u %,

$m_{asu}$  – masa uzorka nakon sušenja u g,

$m_u$  – masa uzorka prije sušenja u g.

### 3.3.6 Skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM)

Karakterizacija površine uzoraka inhibitora posivljenja i standardnih tkanina pretražnom elektronskom mikroskopijom (eng. *Scanning electron microscope*, SEM) provedena je pomoću visokorezolucijskog skenirajućeg elektronskog mikroskopa FE-SEM, MIRA//LMU, *Tescan*, Češka (Slika P6.5. a).

Temelj metode je emisijski način rada, pomoću kojega se ispituje izgled površine uzorka uz povećanje do 1.000000x, a kao rezultat se dobije trodimenzionalna (topografska) slika površine promatranog uzorka što omogućuje njegovu morfološku karakterizaciju. Prednost SEM-a nad svjetlosnom mikroskopijom je veća dubinska oštrina, bolja rezolucija, lakša manipulacija, veće područje povećanja te mogućnost ispitivanja uzorka s različitih aspekata. Za promatranje uzorka važna je dobra priprema uzorka koja kasnije omogućuje bolju kvalitetu slike. Kako su tekstilni materijali slabi vodiči električnog naboja, prije mikroskopiranja ih je potrebno pripremiti "naparivanjem" odnosno naslojavanjem tankim slojem metalnih iona (krom) kako bi se stvorio stabilni film koji generira sekundarne elektrone i na taj način stvara i detaljnu sliku uzorka. Za naslojavanje uzoraka primijenjen je uređaj *Quorum Technologies*, Q150V Plus, Engleska (Slika P6.5. b) [111-114].

Precizno fokusiranim snopom elektrona pretražena je površina uzorka pri čemu se reflektiraju elektroni više energije (HV-*high vacuum*), koji se prikazuju kao varijacija svjetline na katodnoj cijevi. U svakom trenutku snop elektrona osvjetljava samo jednu točku na predlošku. Kako se snop elektrona pomiče od točke do točke, signali koji se stvaraju variraju snagom, reflektirajući na taj način različitosti u uzorku [114].

*Mikrografi* uzoraka inhibitora posivljenja i deterdženta u ovom radu snimljeni su na pri naponu od 5 kV, uz povećanje 200x, 1000x i 5000x kombinacijom detektora za sekundarne elektrone (SE) i detektora za povratno raspršene elektrone (BSE), a uzorci neoprane i oprane standardnih tkanina nakon 11 ciklusa pranja snimljeni su uz naslojavanje kromom u vremenu od 180 s, samo uz SE detektor pri istom naponu i povećanju.

Kemijski sastav površine neprane pamučne tkanine, odabrane oprane pamučne tkanine kroz 11 ciklusa (M\_PT\_CMC HV\_90\_T\_11X) i njihov pepeo istražen je elektronskim mikroskopom za skeniranje visoke razlučivosti energo-disperzivnim detektorom rendgenskih zraka (eng. *Energy Dispersive Spectrometry* – EDS). Uzorci nisu naslojeni prije mikroskopske analize te

su snimljeni uz napon ubrzanja 10 kV i povećanje 5000x, 10000x i 20000x korištenjem računalnog programa AZtec.

Spektrometar X – zraka prikuplja karakteristične X – zrake koje nastaju kada ubrzani elektron ( $e^-$ ) iz snopa elektrona izbije elektron iz unutarnje ljuske istog atoma prilikom čega  $e^-$  iz vanjske ljuske popunjava upražnjeno mjesto i prilikom toga zrači energiju u obliku X – zraka, broji ih i sortira s obzirom na energiju. Na okomitoj osi je energija. Na temelju dobivenih spektara možemo zaključiti koji kemijski elementi sačinjavaju uzorak, te njihov maseni udio u tom dijelu uzorka.

### 3.3.7 Metoda za određivanje rezidualnih tvari na pamučnim tkaninama

Određivanje anorganskih rezidua provedeno je gravimetrijskom analizom nakon žarenja pamučne tkanine prema normi HRN ISO 4312:2001. Postupak analize počinje vaganjem uzoraka PT tkanina mase 2 do 3 g (ili dimenzija 10x10 cm) koje se stavljaju u prethodno izvagane posudice za vaganje i suše na  $103 \pm 2$  °C kroz 24 sata. Nakon toga se posudice hlade u eksikatoru dok ne dosegnu sobnu temperaturu, a potom važu na analitičkoj vagi, čime se dobije apsolutno suha masa uzorka tkanine ( $m_0$ ). Uzorci se zatim ulože u prethodno žarene, ohlađene i izvagane porculanske lončiče, te žare na  $800 \pm 25$  °C u laboratorijskoj peći za žarenje tipa *Demiterm Easy 6*, Eshterm d.o.o. (Slika P6.6.) u vremenu od jednog sata. Lončiči za žarenje se ohlade u eksikatoru do sobne temperature i važu da bi se iz razlike mase lončića sa sadržajem i mase lončića dobila masa pepela ( $m_1$ ).

Udio sadržaja pepela (A) računa se prema jednadžbi 12:

$$A[\%] = \frac{m_1}{m_0} \cdot 100 \quad (12)$$

gdje je:

A – sadržaj pepela u %,

$m_1$  - masa pepela u g,

$m_0$  – masa apsolutno suhe standardne tkanine u g.

Dobivene vrijednosti sadržaja pepela prema jednadžbi 12 zaokružuju na jedno decimalno mjesto.

### 3.3.8 Remisijska spektrofotometrija

Mjerenje spektralnih karakteristika pamučnih tkanina prije i nakon pranja provedeno je na remisijskom spektrofotometru Spectraflash SF 300, tt. Datacolor, Švicarska (Slika P6.7.) uz podršku računalnog programa *DataMatch* i programske opreme za metriku boja prema HRN EN ISO 105-J02:2003 i RAL-GZ 992. Prije mjerenja se vrši kalibracija crnim, bijelim i zelenim standardom. Uvjeti kalibracije i mjerenja vezani su za promjer mjernog otvora (2,2 cm), mjerenje bez prisutnosti UV dijela spektra, bljesak izvora (*flash*) 4 i isključena spekularna komponenta (*excluded*). Izvor svjetlosti unutar instrumenta je ksenonska žarulja s dodatnim filterima za simulaciju standardnog dnevnog svjetla oznake  $D_{65}/10^\circ$  [115].

Na osnovu mjerenja razlike između upadne i od uzorka odbijene svjetlosti određuje se vrijednost remisije, a obzirom na veličinu uzorka standardne pamučne tkanine (PT) je načinjeno 5 mjerenja i 3 mjerenja na EMPA tkaninama (E).

Primarni učinak ( $\Delta R_{460}$ ) u pranju ocijenjen je kroz razliku izmjerenih remisija svjetla s EMPA donorskih tkanina prethodno opisanih u poglavlju 3.1.2. prije ( $R_0$ ) i nakon pranja ( $R_w$ ) u određenim uvjetima pri valnoj duljini 460 nm, prema jednadžbi 13.

$$\Delta R_{460} = R_{w\ 460} - R_{0\ 460} \quad (13)$$

gdje je:

$\Delta R_{460}$  – primarni učinak vrednovan na valnoj duljini 460 nm,

$R_{w\ 460}$  – remisija uzorka nakon pranja vrednovan na valnoj duljini 460 nm,

$R_{0\ 460}$  – remisija uzorka prije pranja vrednovan na valnoj duljini 460 nm.

Njihova suma ( $\Sigma \Delta R_{460}$ ) predstavlja ukupnu promjenu remisije s donorskih zaprljanja (E-101, E-104, E-114, E-116) vrednovane pri 460 nm prema jednadžbi 14.

$$\Sigma \Delta R_{460} = \Delta R_{460} E - 101 + \Delta R_{460} E - 104 + \Delta R_{460} E - 114 + \Delta R_{460} E - 116 \quad (14)$$

Ovom metodom utvrđene su promjene spektralnih karakteristika pamučnih tkanina pomoću parametra bjeline vrednovane preko stupnja bjeline  $W_{GG}$  (*Ganz Griesser Whiteness Method*) [116]. Na spektrofotometru izmjerene vrijednosti boje Y - tristimulus vrijednosti prema *Commission Internationale de l'éclairage* (CIE) i x, y – koordinate kromatičnosti uz svjetlo  $D_{65}/10^\circ$  korištene su za izračun stupnja bjeline prema jednadžbi 15 [117]:

$$W_{GG} = D \cdot Y + P \cdot x + Q \cdot y + C \quad (15)$$

gdje su:

$W_{GG}$  – stupanj bjeline po Ganz Griesser-u,

$D = \delta W / \delta Y = 1$  – udio svjetline u bjelini,

$Y$  – tristimulusna vrijednost prema CIE,

$x$  i  $y$  – koordinate akromatične točke.

$D, P, Q, C$  – numerički parametri ovisni o tipu instrumenta određeni kalibracijom prema Ganz-Griesser-ovoj metodi, uz postavke  $\varphi = 10^\circ$  i udio zasićenosti u bjelini podešen na 4000.

$$D = (\delta W / \delta Y) = 1$$

$$P = (-\delta W / \delta Y) \cdot (\cos(\varphi + \eta) / \cos(\varphi)) = -1868,322$$

$$Q = (-\delta W / \delta S) \cdot (\sin(\varphi + \eta) / \cos(\varphi)) = -3695,690$$

$$C = [W_0 \cdot (1 - \delta W / \delta S)] - (P \cdot x_n) - (Q \cdot y_n) = 1809,441$$

### 3.3.9 Metoda potencijala strujanja

Potencijal strujanja pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja je mjereno u elektrokinetičkom analizatoru (*Electrokinetic Analyser*, EKA) koji je konstruiran istraživačkom suradnjom Instituta za tehnologiju polimera iz Dresdena, Instituta za fizikalnu kemiju iz Graza i tvrtke Anton Paar iz Graza (Slika P6.7. a). Zeta potencijal ( $\zeta$ ) pamučnih tkanina izračunava se iz izmjerenog potencijala strujanja, jednadžba 5, odn. 6, pri čemu je čvrsta faza stacionirana (tekstilni materijal), a kapljevina pokretna (elektrolit, KCl).

Mjerenja potencijala strujanja provedena su u ovisnosti o pH vrijednosti 0,001 mol/l otopine KCl:

- $c_{(KCl)} = 0,001 \text{ mol/l}$ ,
- $V_{(KCl)} = 500 \text{ ml}$ ,
- $p = 400 \text{ mbar}$ ,
- područje od pH 2,5 do pH 10,0.

Uzorak pamučne tkanine dimenzija 10 x 20 mm učvrsti se dvostranom ljepljivom trakom na nosač (Slika P6.7. c). Ovako priređen nosivi element ili nosač je sastavni dio podesive ćelije „*adjustable gap cell*“ (Slika P6.7. b), koja se stavlja u predviđeno ležište na kućištu instrumenta i spaja s dvije Ag/AgCl elektrode. Ovako priređena ćelija s uzorkom se spaja cjevčicama koje služe za protok otopine elektrolita.

Početna pH vrijednost elektrolita se podešava dodatkom 0,01 mol/l NaOH, a promjene pH vrijednosti tijekom mjerenja podešavaju se automatski putem titracijske jedinice koja dodaje 0,01 mol/l HCl prema unaprijed odabranom protokolu doziranja. Instrument je računalno povezan, a na monitoru se prati svaki korak mjerenja potencijala strujanja ovisno o tlaku, temperaturi, pH i vodljivosti. Iz izmjerenih vrijednosti se prema jednadžbi (5) izračunava zeta potencijal koji je prikazan tablično (Prilog 5, tablica od P7.31 do P7.40) i grafički u prikazanim rezultatima i raspravi.

### 3.3.10 FTIR spektroskopija

Fourier-ova transformacija infracrvenog spektra (eng. *Fourier transform infrared*, FTIR) spektroskopija je tehnika kojom se mjeri spektar unutar IR područja zračenja. Poznato je da se elektromagnetsko infracrveno (IR) zračenje dijeli u tri područja: daleko ( $400 - 0 \text{ cm}^{-1}$ ), srednje

(4000 - 400  $\text{cm}^{-1}$ ), i blisko (14285 - 4000  $\text{cm}^{-1}$ ). Kod FTIR spektroskopije sve frekvencije koje dolaze iz infracrvenog izvora padaju istovremeno na detektor i tijekom mjerenja cijelo spektralno područje doprinosi signalu. Rezultirajući signal se zove interferogram i nosi informacije o svakoj frekvenciji IR zračenja iz izvora. Interferogram se uporabom matematičke tehnike zvane Fourier-ova transformacija prevodi u IR spektar. Ova transformacija se izvodi pomoću računala te osigurava spektar podataka potrebnih za analizu. Ova tehnika ima izuzetnu točnost valnih brojeva od 0,01  $\text{cm}^{-1}$ , što ima za posljedicu utvrđivanje niskih koncentracija pojedinih funkcionalnih skupina i veza [118-120].

FTIR spektroskopija je brza i nedestruktivna tehnika za kemijsku identifikaciju, za kvalitativno i kvantitativno određivanje komponenata uzorka. Sve kemijske veze apsorbiraju zračenje valnog broja u srednjem infracrvenom području (4000 - 400  $\text{cm}^{-1}$ ), te se u njima odvijaju temeljne molekulske vibracijske adsorpcije koje su povezane s brojem atoma u molekuli i brojem veza koje on sadrži. *Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared* (ATR-FTIR) spektroskopija je namijenjena za krute površine i omogućuje mjerenje pasta, praha, tekstila i sl. Budući da su karakteristične vibracijske vrpce za većinu organskih spojeva pri valnim dužinama IR dijela spektra nepromjenjive, odsutnost nekih od njih ukazuje na promjenu, tj. na nedostatak neke od funkcionalnih skupina. Upravo to svojstvo je iskorišteno za utvrđivanje promjena pamučne tkanine u pranju.

Analiza IR spektra izvodi se postupkom asignacije prisutnih vibracijskih vrpce različitih molekula, odnosno spojeva. Svaki IR spektar dijeli se na područje funkcionalnih skupina u analiziranoj molekuli (4000 – 1400  $\text{cm}^{-1}$ ) i područje otiska prsta (engl. *fingerprint region*) koje obuhvaća veći broj vrpce deformacijskih vibracija, tj. područje korisno za identifikaciju uzorka koje se u potpunosti podudara (ispod 140  $\text{cm}^{-1}$ ). Razlike u količini određenih funkcionalnih grupa koriste se za razdvajanje materijala prema sličnosti u sastavu.

Uzorci deterdženta, inhibitora posivljenja (CMC, CMC LV i CMC HV) i standardnih tkanina prije i nakon 1 i 10 ciklusa pranja karakterizirani su Fourier-ovom transformacijom infracrvene spektroskopije s prigušenjem totalne refleksije *Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared* (ATR FTIR) koristeći Spectrum 100S FT-IR UATR + TG/IR Interface TL8000 (RedShift), Perkin Elmer, SAD (Slika P6.8.), računalnog programa Spectrum 100, snimanjem u rasponu od 4000  $\text{cm}^{-1}$  do 450  $\text{cm}^{-1}$  i rezolucijom od 4  $\text{cm}^{-1}$ .



### 3.3.11 Hijerarhijska klaster analiza (HCA)

Ova metoda pripada području multivarijantne analize podataka, MVDA (engl. *Multivariate data analysis*). Multivarijantne tehnike uglavnom su empirijske, a njihov je zadatak predstaviti analizu složenih skupova podataka i njihovih međusobnih odnosa na jednostavniji način. Osnovna ideja ove analize je da istovremeno promatra više međusobno povezanih varijabli, pri čemu je svaka pojedina varijabla, najčešće u početku analize, jednako važna. Ove metode omogućavaju proučavanje međusobnih odnosa te značajnosti brojnih međusobno kompleksno povezanih zavisnih ili nezavisnih, mjerenih ili kategorijskih varijabli.

Primjenjuje se u mnogim područjima spektralne analize podataka (NIR, FTIR) [121] i modelima vremenskih serija za praćenje parametara u zaštiti okoliša [122].

Obzirom da su setovi podataka najčešće sačinjeni iz varijabli različitih skala i mjernih jedinica potrebno je standardizirati varijable na način da im je srednja vrijednost 0, a varijanca 1, čime se ostvaruje jednaka razina svih varijabli u analizi.

Hijerarhijska klaster analiza je multivarijantna tehnika kojoj je primarna zadaća klasificiranje odnosno klasteriranje opažaja u skupine, grupe ili klasterne. Pri tome, svi motreni u jednoj grupi slični su jedni drugima, te je svaka grupa ili klaster homogena (kompaktna) obzirom na određene varijable (svojstva). Nadalje, opažaji u jednoj grupi moraju se razlikovati od opažaja u drugoj grupi, te je svaka grupa različita od druge obzirom na te iste varijable (svojstva) [123]. Drugim riječima, stvaranje grupa postiže se maksimiziranjem homogenosti opažaja unutar klastera i maksimiziranje heterogenosti između klastera.

Obzirom da je cilj klaster analize grupirati slične objekte, prvi korak u provođenju ove analize je izbor mjera sličnosti odnosno udaljenosti.

Udaljenost,  $d$ , između dviju točaka u  $n$ -dimenzionalnom prostoru s koordinatama  $x_j$  i  $y_j$  obično se uzima kao Euklidska udaljenost definirana jednadžbom 16.

$$d_{x,y} = \sqrt{\sum_{j=1}^J (x_j - y_j)^2} \quad (16)$$

gdje je:

$d_{x,y}$  – udaljenost između točaka,

$x_j$  i  $y_j$  – koordinate  $j$ -te točke.

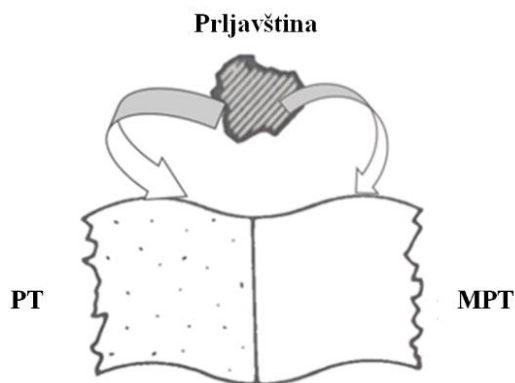
Hijerarhijska analiza klastera u osnovi je iterativni postupak spajanja objekata u skupine. Klaster analiza nije tehnika statističkog zaključivanja u smislu pretpostavki, nego objektivna metodologija za klasificiranje, na jakoj matematičkoj podlozi. Metoda se temelji na stvaranju

klastera u hijerarhiji, tako da se na svakoj sljedećoj razini broj klastera smanjuje za jedan, bez mogućnosti prijelaza iz jedne skupine u drugu. Ovu metodu karakterizira nepoznat broj klastera utvrđenih na temelju dendrograma. Dendrogram je grafički prikaz postupne kombinacije objekata u klastere na kojima se mogu promatrati udaljenosti između pojedinih razina.

Baza podataka dobivena određivanjem sadržaja rezidualnih tvari te zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon pranja korištena je za provedbu hijerarhijske klaster analize (HCA) pomoću programskog paketa TIBCO Statistics. Odnos pojedinih parametara, grupiranja odnosno utvrđivanja međusobnih sličnosti i razlika u analiziranim uvjetima prikazani su dendrogramima pri čemu vrijednost na ordinati pokazuje udaljenost objekta odnosno sličnosti uzoraka. Hijerarhijska klaster analiza primijenjena je za procjenu CMC-e, CMS-a, njihove smjese, CMC-e LV i CMC-e HV, analizom sadržaja depozita i zeta potencijala nakon modifikacije u pranju deterdžentom u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C.

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

Istraženi su odabrani polimeri, CMC u tri varijacije i CMS, za praškaste formulacije deterdženata namijenjene pranju celuloznih tekstilija. Djelovanje ovih polimera u pranju pamučne tkanine sagledano je kroz inhibiranje posivljenja (IP) i modifikaciju površine (MP), što je shematski prikazano na slici 26 [9].



Slika 26 Shematski prikaz deponiranja prljavštine na pamučnu tkaninu prije i nakon modifikacije odabranim polimerima

MPT – modificirana pamučna tkanina

PT – pamučna tkanina

Svi prikazani rezultati i rasprava provedeni su po cjelinama:

***I cjelina – analiza svojstava referentnih uzoraka: deterdžent, odabrani polimeri za deterdžente i pamučna tkanina***

***II cjelina – karakterizacija pamučne tkanine prije i nakon modifikacije polimerima (MP)***

***III cjelina – karakterizacija pamučne tkanine prije i nakon djelovanja inhibitora posivljenja (IP) u pranju***

## 4.1 Analiza svojstava referentnih uzoraka - I cjelina

U prvoj cjelini prikazani su rezultati **analize referentnih uzoraka koji obuhvaćaju deterdžent, odabrane polimere** za deterdžent i **pamučnu tkaninu**, koji su važni za analizu rezultata istraživanja u drugoj i trećoj cjelini.

Unatoč specifikacijama korištenih polimera za deterdžente od dobavljača, prikazanih u eksperimentalnom dijelu rada, načinjena je analiza stupnja supstitucije (DS) i viskoziteta, tablica 15.

Tablica 15 Svojstva polimera

Značajke	CMC	CMS	CMC LV	CMC HV
Stupanj supstitucije – DS	0,57	0,75	0,61	0,56
Viskozitet, mPas 1 % otopina, 25 °C	2,8 – 3,4	2,2 – 2,6	21,0 – 26,6	1156,0 – 1444,0

### Sadržaj vlage u referentnim uzorcima

U tablici 16 su prikazani rezultati sadržaja vlage u deterdžentu i odabranim polimerima.

Tablica 16 Sadržaj vlage referentnih uzoraka

Uzorak	M, %
D	15,5
CMC	7,5
CMS	68,0
CMC LV	7,4
CMC HV	7,9

Deterdžent je višefazna smjesa [124] koja se sastoji od vodene faze zasićene anorganskim solima, u kojoj su dispergirani kristalni oblici anionskog tenzida (NLS) i mjehurići vode čiji je maseni udio 15,5 % u analiziranom uzorku deterdženta. Odabrani polimeri imaju različite udjele vlage, a CMS najveći, što je očekivano obzirom na tekuće agregatno stanje.

### pH otopina referentnih uzoraka

U tablici 17 prikazani su rezultati pH otopina referentnih uzoraka.

Tablica 17 pH otopina referentnih uzoraka

Uzorak	w, %	pH	T, °C
D	0,5	10,29	24,0
CMC+D		10,90	24,1
CMS+D		10,87	25,0
CMC+CMS+D		11,04	24,1
CMC LV+D		10,72	24,0
CMC HV+D		10,82	24,4
T	-	6,99	25,0
M	-	6,72	25,0

Otopina deterdženta je alkalna (pH 10,3), što je očekivano uzimajući u obzir sastojke u tablici 5. Dodatak odabranih polimera u deterdžent povećava njegov pH, a dobivene vrijednosti odgovaraju formulaciji univerzalnog praškastog deterdženta [8].

### Viskoznost referentnih otopina

Reološka svojstva referentnih otopina (deterdženta, deterdženta uz dodatak odabranih polimera, tvrda i meka voda) određena preko mjerenja viskoznosti pri sobnoj temperaturi (~ 25 °C), pri dvije brzine vrtnje vretena (30 i 60 RPM) su prikazana u tablici 18.

Tablica 18 Viskoznost referentnih otopina

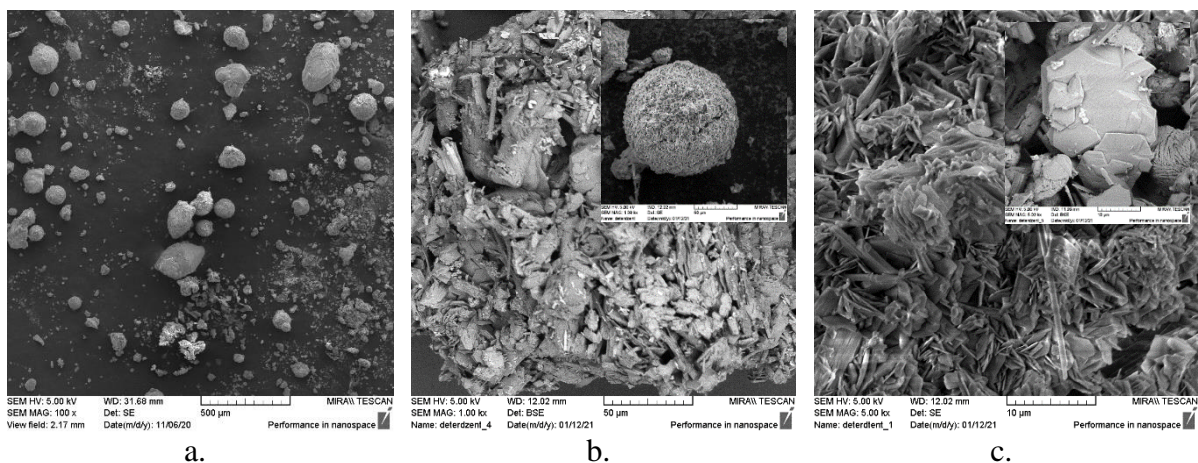
Uzorak	w, %	$\eta$ , mPas	T, °C	$\tau$ , %	Broj okretaja, min <sup>-1</sup>
M	-	0,80	25,0	0,4	30
		1,40	25,0	1,4	60
T	-	1,60	24,8	0,8	30
		2,60	24,8	2,6	60
D	0,5	2,40	25,1	1,2	30
		2,30	25,1	2,3	60
CMC+D	0,5	0,60	24,9	0,3	30
		0,90	25,0	0,9	60
CMS+D	0,5	1,00	25,0	0,5	30
		1,80	25,1	1,8	60
CMC+CMS+D	0,5	0,80	25,1	0,4	30
		1,10	25,1	1,1	60
CMC LV+D	0,5	0,80	25,0	0,4	30
		1,40	25,0	1,3	60
CMC HV+D	0,5	2,50	24,9	2,5	30
		4,80	24,9	2,4	60

Prema dostupnim navodima viskoznost vode smanjuje se s povećanjem temperature [125]. Viskozitet vode nedefiniranog stupnja tvrdoće pri 20 °C je 1,0016 mPas, pri 25 °C je 0,89 mPas, pri 40 °C je 0,6527 mPas, pri 60 °C je 0,466 mPas, a kod 90 °C iznosi 0,3145 mPas [126]. Viskoznost analiziranog uzorka meke vode korištene u istraživanju pri 25 °C ovisno o brzini vrtnje iznosi 0,80-1,40 mPas, a uzorka tvrde vode 1,60-2,60 mPas.

Viskoznost otopine deterdženta (0,5 %) priređene u mekoj vodi ima slične vrijednosti kod obadviije brzine (~ 2,40 mPas), a dodatak odabranih polimera u deterdžent nema jednoznačan utjecaj na viskoznost u odnosu na otopinu deterdženta. Dodatak CMC, CMS, njihove mješavine i CMC LV smanjuje viskoznost, a CMC HV povećava viskoznost otopine deterdženta (2,50-4,80 mPas) pri temperaturi 25 °C.

### Morfološke značajke referentnih uzoraka

Morfološke značajke uzorka odabranih polimera i korištenog deterdženta analizirane su pomoću SE, BSE i SE+BSE detektora uz povećanja 100x, 1000x i 5000x bez naslojavanja, slike 27-31. Međutim, princip izbora svih detektora nije poštivan kod svih analiza obzirom da slike nisu davale jasna morfološka obilježja.

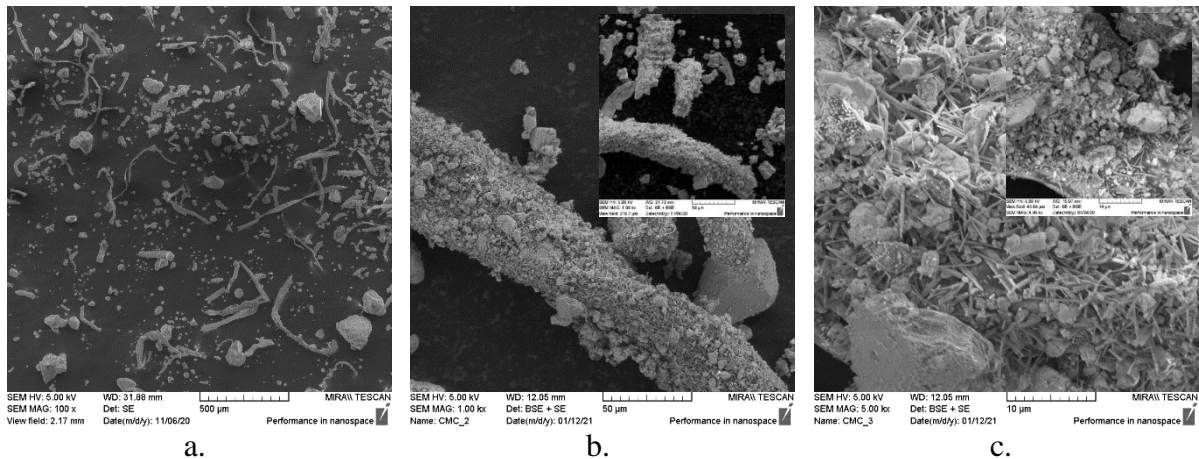


Slika 27 Mikrografi deterdženta snimljeni uz povećanje a. 100x, b. 1000x i c. 5000x

Mikrografi deterdženta snimljeni uz različita povećanja, potvrđuju višefazno stanje raspršene smjese. Slika 27 uz povećanje 100x, upućuje na granule prilično ujednačenog oblika; pri povećanju 1000x, slika 27 b, uočavaju se različiti oblici (sferni, štapičasto laminarni i gusto pakirani) i izdvojeni sferni oblik u kutu. Mikrostrukture pri povećanju 5000x, slika 27 c, upućuju na kompaktne i nepravilno posložene oblike, koji se morfološki mogu povezati sa

sastavom deterdženta [124]. Slike potvrđuju prethodno istaknutu kompleksnu strukturu deterdženta, koju čine tenzidi, sub-mikronski kristaliti natrijevog sulfata i vakuole u poroznom matriksu.

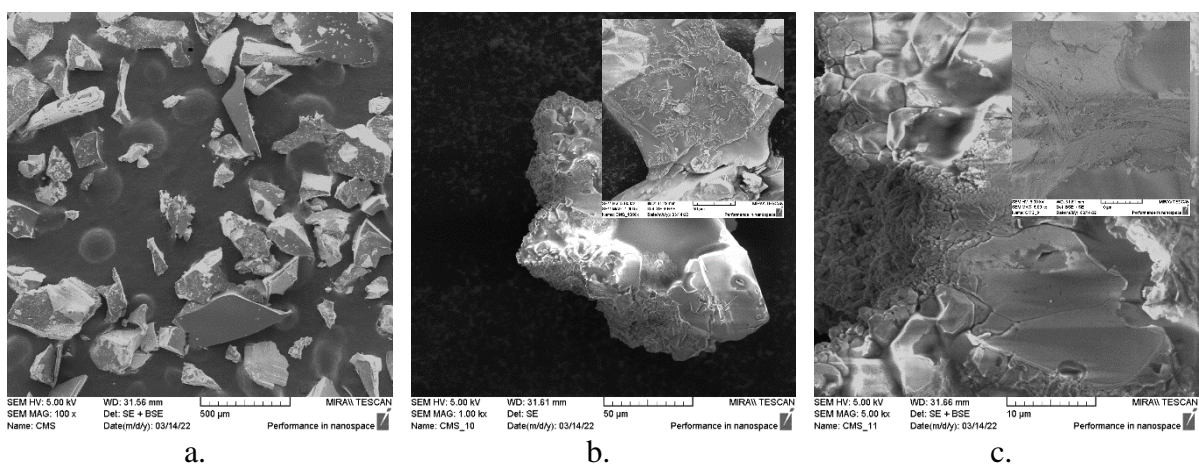
Mikrostrukture CMC-e također su prikazane uz ista povećanja na slici 28.



Slika 28 Mikrografi CMC uz povećanje a. 100x, b. 1000x i c. 5000x

Mikrostrukturu karboksimetil celuloze, CMC, uz povećanje 100x prikazanu na slici 28 a karakterizira fibrilni karakter i pokoji kristalit. Povećanje 1000x, slika 28 b, upućuje na zasićenu fibrilnu strukturu koja na površini ima slabo orijentirane mikro štapićaste formacije i sferno formirane kristalite. Mikrostruktura uz povećanje 5000x, slika 28 c, upućuje na značajan udio kristalita različitih dimenzija između kojih su gusto raspoređene štapićaste formacije.

Mikrostrukture CMS-a prikazane su uz ista povećanja na slici 29.

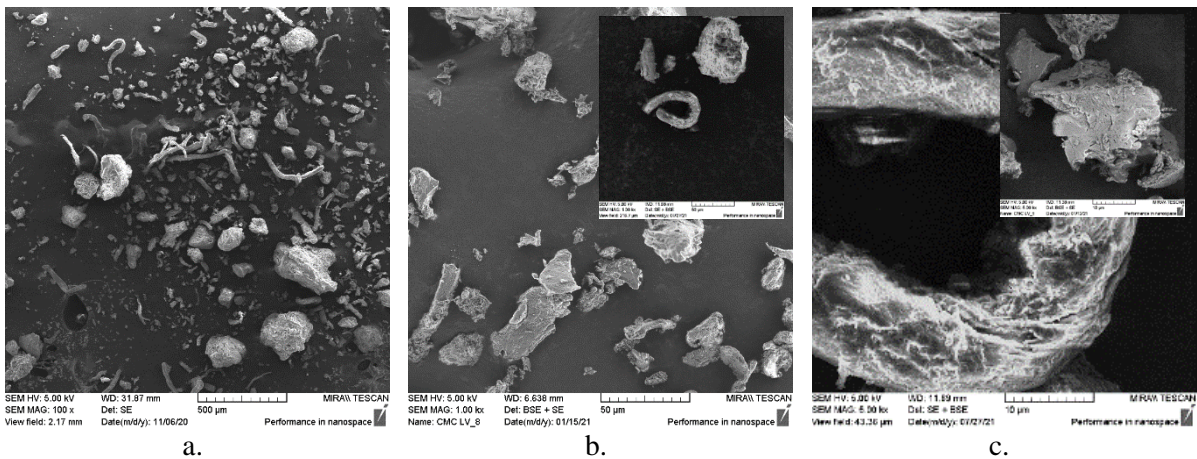


Slika 29 Mikrograf CMS s visokim stupnjem bubrivosti, uz povećanja a. 100x, b. 1000x i c. 5000x

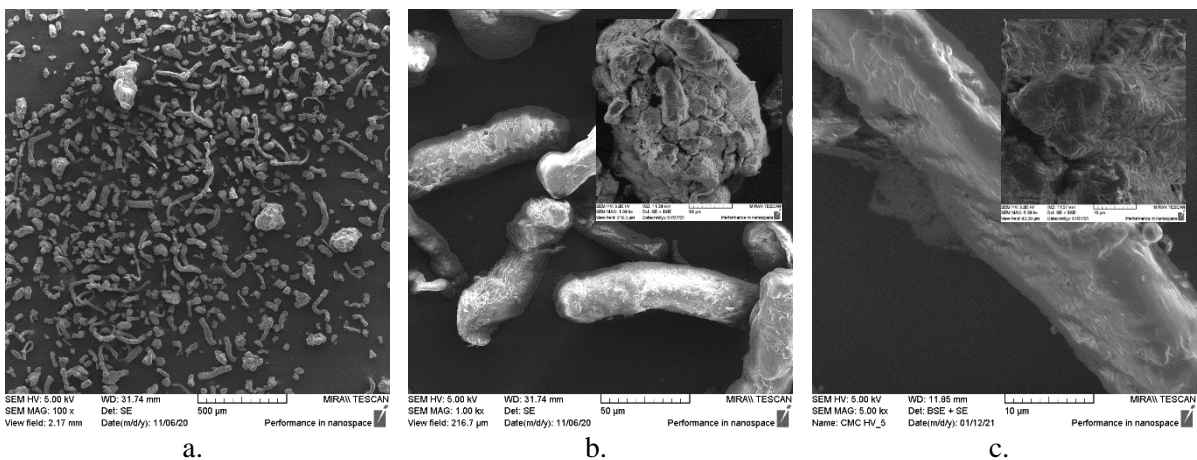


Temeljem pregleda prikazane mikrostrukture CMS na slici 29 uočava se određeni integritet različito dimenzioniranih granula kristalne strukture i nazubljene površine što je u skladu s literaturnim podacima [127].

Mikrostrukture karboksimetil celuloza, CMC LV i CMC HV, prikazane su na slikama 30 i 31 uz povećanja 100x, 1000x i 5000x.



Slika 30 Mikrografi CMC LV uz povećanja a. 100x, b. 1000x i c. 5000x



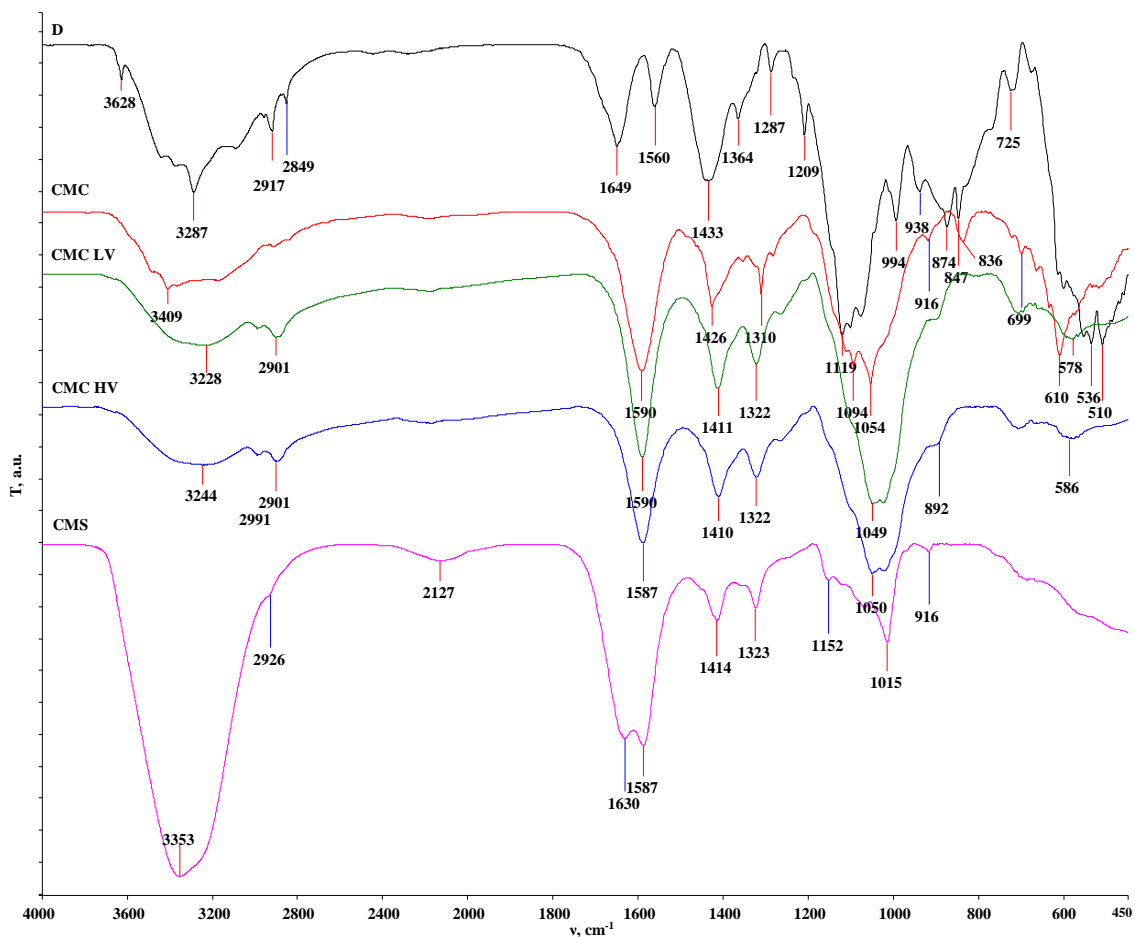
Slika 31 Mikrografi CMC HV uz povećanja a. 100x, b. 1000x i c. 5000x

Analizirani uzorci CMC LV i CMC HV razlikuju se morfološki primarno po gustoći fibrilnih oblika. CMC HV, slika 31 a, b i c, karakterizira veći broj koncentrirano raspoređenih fibrila u vidnom polju, dok CMC LV ima manji broj fibrila i veći udio granula, slika 30 a, b i c.



## FTIR spektrogrami referentnih uzoraka

Identifikacija vrpci deterdženta i odabranih polimera pomoću FTIR-a prikazana je na slici 32. Uočeni signali u rasponu valnih brojeva od 3660 - 2900  $\text{cm}^{-1}$  karakteristični su za istežanje vibracija O-H i C-H veza u polisaharidima. Široki signal na 3331  $\text{cm}^{-1}$  karakterističan je za istežanje vibracija hidroksilne (-OH) skupine u polisaharidima. Ovaj vrhunac uključuje također među-molekularne i unutar-molekularne vibracije vodikove veze u celulozi. Područje na 2898  $\text{cm}^{-1}$  pripisuje se vibraciji rastezanja C-H svih sastojaka ugljikovodika u polisaharidima. Tipične veze opažene su u području od 1630 - 900  $\text{cm}^{-1}$  mogu se povezati s celulozom. Signali na 1635  $\text{cm}^{-1}$  odgovaraju vibraciji molekula vode apsorbirane u celulozi. Signali na 1425, 1359, 1332, 1027  $\text{cm}^{-1}$  i 897  $\text{cm}^{-1}$  pripadaju vibracijama istežanja i savijanja -CH<sub>2</sub> i -CH, -OH i C-O veze u celulozi. Područje 1420 - 1430  $\text{cm}^{-1}$  povezano je s količinom kristalne strukture celuloze, dok je signal od 897  $\text{cm}^{-1}$  dodijeljen amorfnom području u celulozi.

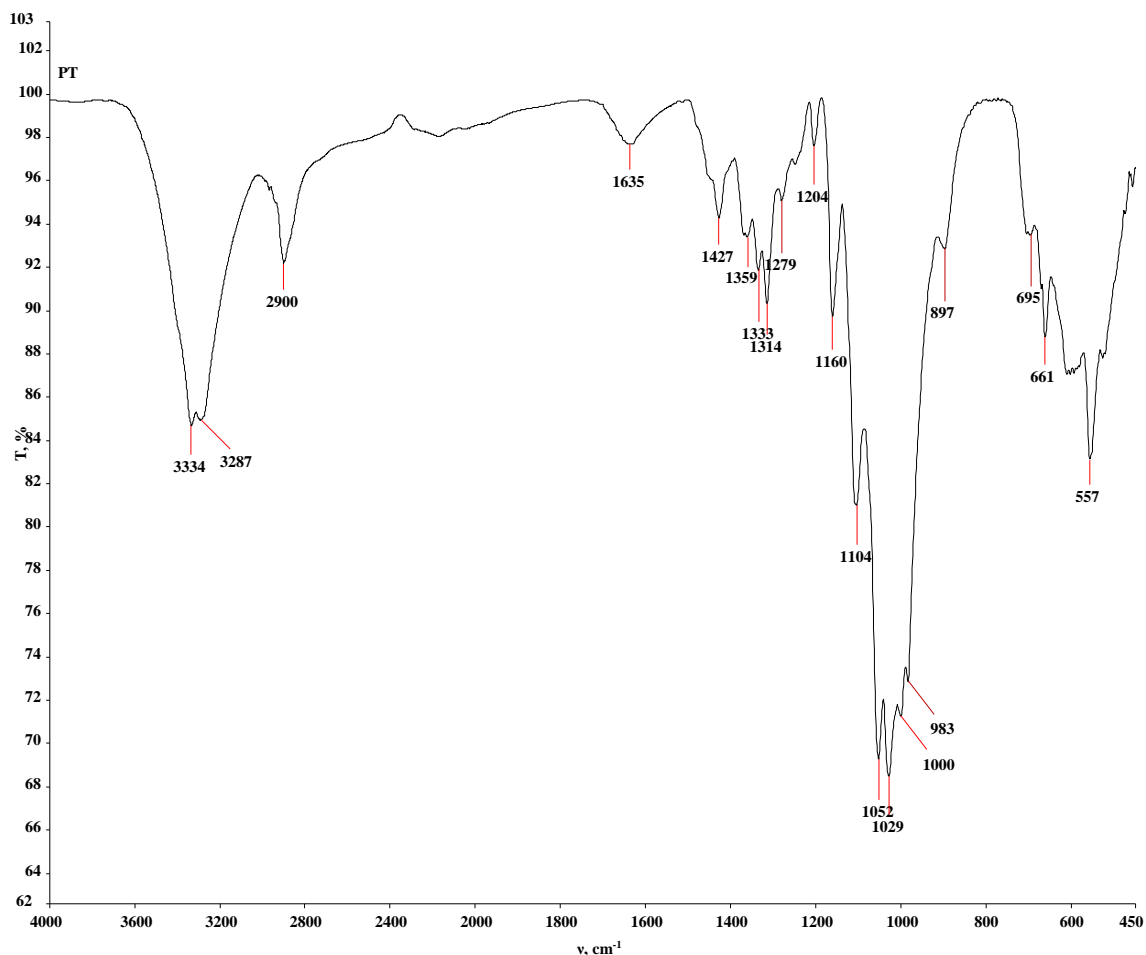


Slika 32 FTIR spektar odabranih referentnih uzoraka

## Pamučna tkanina

Odabrana pamučna tkanina prije pranja se može također smatrati referentnim uzorkom, koji je analiziran metodama FTIR, SEM i potencijal strujanja.

FTIR spektrogram neprane tkanine prikazan je na slici 33.



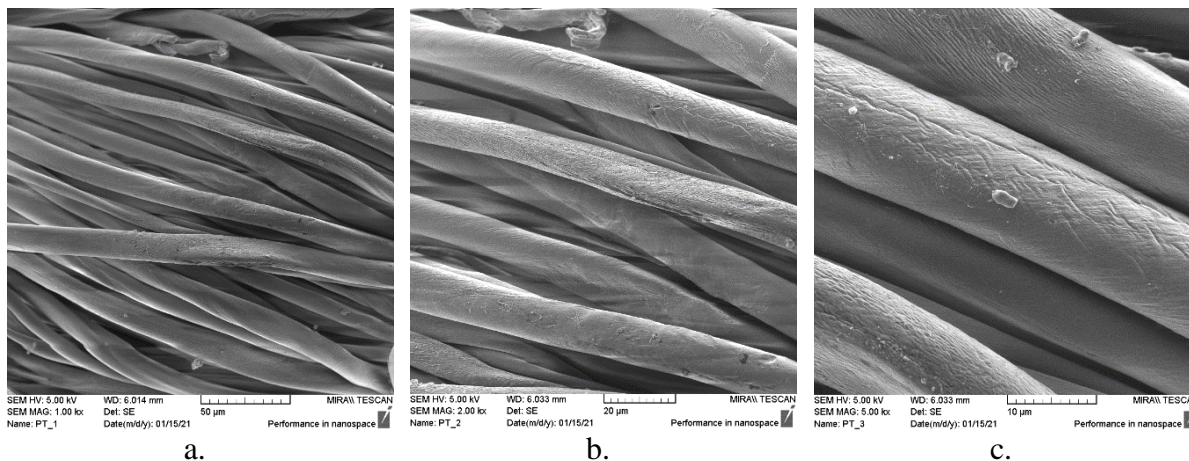
Slika 33 FTIR spektar neprane pamučne tkanine

Karakteristični signali opažaju se u dva područja s valnim brojevima od 3330 - 2800  $\text{cm}^{-1}$  i 1630 - 500  $\text{cm}^{-1}$ . Uočeni signal u rasponu valnih brojeva od 3330 - 3287  $\text{cm}^{-1}$  karakterističan je za istezanje vibracija O-H, a široki signal na 3334  $\text{cm}^{-1}$  je karakterističan za istezanje vibracija hidroksilne (-OH) skupine. Ovaj signal uključuje također među-molekularne i unutar-molekularne vibracije vodikove veze u celuloznoj strukturi. Signal na 2900  $\text{cm}^{-1}$  pripisuje se vibraciji rastezanja C-H veze u celuloznoj strukturi. Signal na 1635  $\text{cm}^{-1}$  odgovara vibraciji molekula vode apsorbirane u celulozi. U području od 1400 - 890  $\text{cm}^{-1}$  opaženi je niz tipičnih signala za celulozu. Signali na 1427, 1359, 1333, 1029  $\text{cm}^{-1}$  i 897  $\text{cm}^{-1}$  pripadaju vibracijama istezanja i savijanja -CH<sub>2</sub> i -CH, -OH i C-O veze u celulozi. Područje oko 1420 - 1430  $\text{cm}^{-1}$

povezano je s količinom kristalne strukture celuloze, dok se signal od  $897\text{ cm}^{-1}$  dodjeljuje amorfnom području u celulozi [128].

SEM slike površine pamučne tkanine prethodno naslojene kromom uz povećanja 1000x, 2000x i 5000x prikazane su na slici 34.

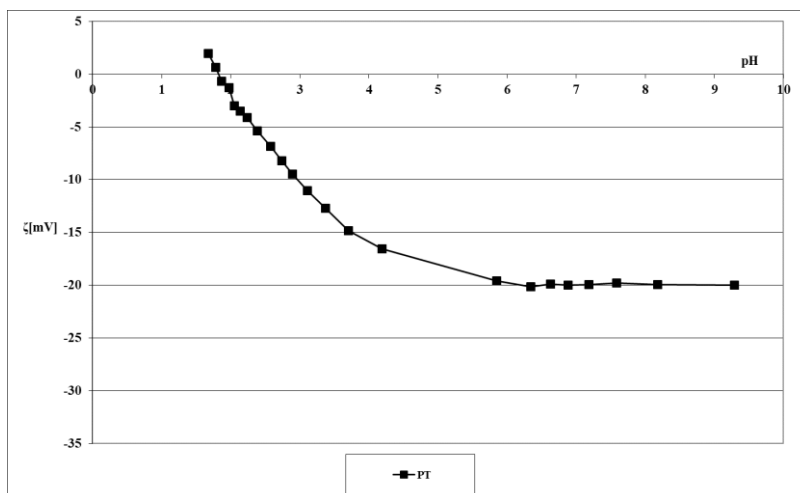
PT



Slika 34 Mikrografi standardne pamučne tkanine uz povećanja a. 1000x, b. 2000x i c. 5000x

SEM slike pokazuju tipične morfološke značajke neoprane pamučne tkanine [129], čija su vlakna pravilno orijentirana i neoštećena. Na slici 34 c vidljiva je hrapavost površine koja je uzrokovana mikro fibrilima.

Analiza površine pamučne tkanine (PT) kroz zeta potencijal u ovisnosti o pH otopine KCl prikazana je na slici 35.



Slika 35 Zeta potencijal standardne pamučne tkanine (PT) u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl

Krivulja zeta potencijala standardne pamučne tkanine u ovisnosti o pH karakteristična je za bijeljenu pamučnu celulozu koja posjeduje hidroksilne (-OH) skupine i manji broj karboksilnih (-COOH) skupina. Krivulja je u području od pH 9 do pH 6 nepromijenjena, a na nižim pH vrijednostima ima karakterističan oblik, što upućuje na postepenu neutralizaciju negativnog naboja do postizanja izoelektrične točke (IEP), pH 1,8.

## **4.2 Karakterizacija pamučne tkanine prije i nakon modifikacije polimerima (MP) - II cjelina**

Odabrani polimeri, CMC i CMS, analizirani su kao modifikatori površine u kumulativnim ciklusima pranja standardne pamučne tkanine u prethodno istaknutim varijacijama parametara, tablica 12 i 13.

Kumulativne promjene svojstava oprane pamučne tkanine vrednovane su određivanjem rezidualnih tvari – sadržaja pepela, potencijala strujanja, morfoloških značajki mikrostrukture i FTIR spektrograma u odnosu na neoprano.

### **4.2.1 Rezidualne tvari – sadržaj pepela pamučne tkanine**

Obzirom na mehanizam djelovanja odabranih polimera – modifikatora površine bilo je neophodno sagledati stanje površine pamučne tkanine nakon pranja u usporedbi s neoprano. Jedna od primijenjenih metoda je određivanje ostatka nakon spaljivanja pamučne tkanine (ukupni pepeo) obzirom da prije spaljivanja nije uklonjen organski talog prema ISO 4312. Ukupni pepeo se sastoji od ostatka mineralnih soli kao takvih odnosno mineralnih soli koje su pretrpjele određene kemijske promjene kao rezultat kalcinacije i ostatka od spaljivanja organskih soli. Međutim, količina mineralnog pepela je točniji indeks prisutnosti mineralnih taloga, koji ukazuju na nezadovoljavajuće djelovanje vode ili deterdženata ili njihove interakcije. Ciklusi pranja pamučnih tkanina deterdžentom kojem su dodani odabrani polimeri su provedeni u tvrdoj i mekoj vodi. Rezultati analize vode pokazali su tvrdoću analiziranih uzoraka; 404,1 ppm  $\text{CaCO}_3$  u tvrdoj vodi i 44,5 ppm  $\text{CaCO}_3$  u mekoj vodi.

U sastav deterdženta ugrađuje se bilder koji ima zadaću omekšavati vodu tijekom pranja [8]. Bilderi u formulaciji analiziranog deterdženta su zeolit i natrijev karbonat, a prema tablici 5

zeolit u udjelu od 5,6 % do 6,3 %, a natrijev karbonat od 35,0 % do 40,0 %. Mehanizmi djelovanja ovih bildera u vezanju zemnoalkalijskih iona  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Mg}^{2+}$  su različiti. Ionska izmjena je mehanizam zeolitnih bildera, a taloženje je karakteristično za natrijev karbonat.

Stupanj opterećenja pamučne tkanine rezidualnim tvarima prikazan je kroz prosječne vrijednosti tri pojedinačna mjerenja sadržaja pepela ( $\bar{X}$ ) i statističke pokazatelje, standardnu devijaciju (s) i koeficijent varijacije (CV), tablice 19 i 20.

Tablica 19 Sadržaj pepela (A) nakon žarenja pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom različitog sastava u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskoj perilici (P)

uzorak	A, %		
	$\bar{X}$	s	CV
PT	0,2	0,0051	2,38
P_PT_CMC_40_T_10x	<b>1,2</b>	0,0581	4,9
P_PT_CMC_60_T_10x	<b>1,1</b>	0,0305	2,76
P_PT_CMC_90_T_10x	<b>1,2</b>	0,0376	3,03
P_PT_CMC_40_M_10x	0,2	0,0037	1,86
P_PT_CMC_60_M_10x	0,1	0,0100	6,50
P_PT_CMC_90_M_10x	0,3	0,0091	3,28
P_PT_CMS_40_T_10x	0,6	0,0037	0,63
P_PT_CMS_60_T_10x	0,7	0,0089	1,33
P_PT_CMS_90_T_10x	<b>2,0</b>	0,0215	1,05
P_PT_CMS_40_M_10x	0,1	0,0181	11,83
P_PT_CMS_60_M_10x	0,2	0,0155	6,31
P_PT_CMS_90_M_10x	0,2	0,0104	4,18
P_PT_CMC+CMS_T_40_10x	0,6	0,0058	0,99
P_PT_CMC+CMS_T_60_10x	<b>1,4</b>	0,0225	1,56
P_PT_CMC+CMS_T_90_10x	<b>1,4</b>	0,0232	1,60
P_PT_CMC+CMS_40_M_10x	0,1	0,0153	9,77
P_PT_CMC+CMS_60_M_10x	0,2	0,0065	3,51
P_PT_CMC+CMS_90_M_10x	0,2	0,0008	0,35

Tablica 20 Sadržaj pepela nakon žarenja pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja u tvrdoj i mekoj vodi, deterdžentu različitog sastava na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

uzorak	A, %		
	$\bar{X}$	s	CV
PT	0,2	0,0013	0,64%
M_PT_40_T_10x	0,2	0,0098	5,42%
M_PT_60_T_10x	0,2	0,0081	3,99%
M_PT_90_T_10x	0,5	0,0155	3,22%
M_PT_40_M_10x	0,1	0,0146	9,56%
M_PT_60_M_10x	0,1	0,0081	5,31%
M_PT_90_M_10x	0,2	0,0127	5,78%
M_PT_D_40_T_10x	<b>1,2</b>	0,0153	1,25%
M_PT_D_60_T_10x	<b>1,6</b>	0,0095	0,61%
M_PT_D_90_T_10x	<b>1,8</b>	0,0154	0,86%
M_PT_D_40_M_10x	0,1	0,0028	2,11%
M_PT_D_60_M_10x	0,1	0,0054	4,23%
M_PT_D_90_M_10x	0,1	0,0006	0,40%
M_PT_CMC_40_T_10x	0,8	0,0254	3,02%
M_PT_CMC_60_T_10x	<b>1,0</b>	0,0213	2,11%
M_PT_CMC_90_T_10x	<b>1,5</b>	0,0045	0,30%
M_PT_CMC_40_M_10x	0,2	0,0027	1,12%
M_PT_CMC_60_M_10x	0,2	0,0150	7,70%
M_PT_CMC_90_M_10x	0,3	0,0085	3,10%
M_PT_CMS_40_T_10x	1,0	0,0088	0,89%
M_PT_CMS_60_T_10x	<b>1,1</b>	0,0175	1,55%
M_PT_CMS_90_T_10x	<b>1,5</b>	0,0095	0,64%
M_PT_CMS_40_M_10x	0,2	0,0017	0,80%
M_PT_CMS_60_M_10x	0,1	0,0034	2,30%
M_PT_CMS_90_M_10x	0,3	0,0082	3,03%
M_PT_CMC+CMS_40_T_10x	0,9	0,0042	0,48%
M_PT_CMC+CMS_60_T_10x	<b>1,1</b>	0,0396	3,48%
M_PT_CMC+CMS_90_T_10x	<b>1,5</b>	0,0091	0,60%
M_PT_CMC+CMS_40_M_10x	0,2	0,0029	1,41%
M_PT_CMC+CMS_60_M_10x	0,2	0,0065	3,95%
M_PT_CMC+CMS_90_M_10x	0,3	0,0083	2,89%
M_PT_CMC LV_40_T_10x	<b>1,2</b>	0,0058	0,48%
M_PT_CMC LV_60_T_10x	<b>1,6</b>	0,0279	1,75%
M_PT_CMC LV_90_T_10x	<b>1,8</b>	0,0084	0,46%
M_PT_CMC LV_40_M_10x	0,1	0,0091	7,44%
M_PT_CMC LV_60_M_10x	0,1	0,0070	5,26%
M_PT_CMC LV_90_M_10x	0,1	0,0002	0,14%
M_PT_CMC HV_40_T_10x	<b>1,2</b>	0,0404	3,38%
M_PT_CMC HV_60_T_10x	<b>1,7</b>	0,0242	1,43%
M_PT_CMC HV_90_T_10x	<b>2,0</b>	0,0366	1,81%
M_PT_CMC HV_40_M_10x	0,1	0,0040	3,22%
M_PT_CMC HV_60_M_10x	0,1	0,0166	11,70%
M_PT_CMC HV_90_M_10x	0,1	0,0030	1,95%

U tablici 21 prikazan je sadržaj pepela pamučnih tkanina opranih uz varijaciju sastava deterđženta (CMC, CMS, CMC+CMS), vode (tvrda, meka) i temperature (40 °C, 60 °C i 90 °C) u laboratorijskoj perilici (P).

Tablica 21 Sadržaj pepela (A) nakon žarenja pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterđžentom različitog sastava u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskoj perilici (P)

uzorak	voda	A, %		
		40 °C	60 °C	90 °C
PT	-	0,2		
P_PT_CMC	T	1,2	1,1	1,2
P_PT_CMS		0,6	0,7	2,0
P_PT_CMC+CMS		0,6	1,4	1,5
P_PT_CMC	M	0,2	0,2	0,3
P_PT_CMS		0,2	0,3	0,3
P_PT_CMC+CMS		0,2	0,2	0,2

Standardna pamučna tkanina sadrži 0,2 % pepela što je uobičajena vrijednost za ovu kontrolnu tkaninu. Iz rezultata prikazanih u tablici 21 razvidno je da tvrdoća vode i temperatura pranja utječu na vrijednosti pepela opranih pamučnih tkanina. Ove vrijednosti za oprane pamučne tkanine u mekoj vodi gotovo su podjednake vrijednosti za neoprano pamučnu tkaninu. Kod pranja u mekoj vodi nema dodatnih reakcija niti taloženja soli na tkaninu te se vrijednost rezidualnih tvari mogu usporediti s neoprano tkaninom, što potvrđuje da komponente deterđženta i temperatura pranja u mekoj vodi nemaju utjecaj na opterećenje tkanine rezidualnim tvarima.

Vrijednosti pepela za pamučne tkanine oprane u tvrdoj vodi ovise o uvjetima pranja, a u pravilu su veće od 6 do 10 puta u odnosu na vrijednosti pepela pamučnih tkanina opranih u mekoj vodi. Generiranje taloga u tvrdoj vodi i taloženje na površinu pamučnih tkanina pri 60 °C i 90 °C je veće u odnosu na 40 °C, što potvrđuje nedostatan potencijal bildera za vezanje iona zemnoalkalijskih elemenata pri temperaturama 60 °C i 90 °C. Iz pregleda svih rezultata u tablici 21 vidljivo je da visoki stupanj tvrdoće vode i temperatura pranja imaju dominantan utjecaj na sadržaj ukupnog pepela na opranim pamučnim tkaninama.

U tablici 22 prikazan je sadržaj pepela pamučnih tkanina opranih uz varijaciju sastava deterđženta (CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV, CMC HV), vode (tvrda, meka) i temperature (40 °C, 60 °C i 90 °C) u laboratorijskom uređaju Polymat (M).

Tablica 22 Sadržaj pepela nakon žarenja pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja u tvrdoj i mekoj vodi, deterdžentu različitog sastava na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

uzorak	voda	A, %		
		40 °C	60 °C	90 °C
PT	-	0,2		
M_PT	T	0,2	0,2	0,5
M_PT_D		<b>1,2</b>	<b>1,6</b>	<b>1,8</b>
M_PT CMC		0,8	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>
M_PT_CMS		<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>
M_PT_CMC+CMS		0,9	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>
M_PT_CMC LV		<b>1,2</b>	<b>1,6</b>	<b>1,8</b>
M_PT_CMC HV		<b>1,2</b>	<b>1,7</b>	<b>2,0</b>
M_PT		M	0,2	0,2
M_PT_D	0,1		0,1	0,2
M_PT CMC	0,2		0,2	0,3
M_PT_CMS	0,2		0,2	0,3
M_PT_CMC+CMS	0,2		0,2	0,3
M_PT_CMC LV	0,1		0,1	0,2
M_PT_CMC HV	0,1		0,1	0,2

Pamučne tkanine (M\_PT) su oprane u **tvrdoj i mekoj vodi bez dodatka deterdženta** kroz 10 ciklusa. Vrijednosti pepela na tkaninama opranim u tvrdoj vodi su veće osobito nakon pranja na 90 °C.

Sadržaj pepela pamučnih tkanina opranih **deterdžentom** s odabranim polimerima u mekoj vodi kroz 10 ciklusa na svim temperaturama je gotovo identičan. Međutim, ove vrijednosti na tkanina opranih u tvrdoj vodi ovise o temperaturi pranja, pri čemu povećanje temperature s 40 °C na 60 °C povećava ukupan pepeo za oko 20 %, a povećanje temperature sa 60 °C na 90 °C do 35 %. Utjecaj tvrdoće vode očituje se kroz povećane vrijednosti pepela pamučnih tkanina opranih deterdžentom u tvrdoj vodi u odnosu na vrijednosti pepela pamučnih tkanina opranih deterdžentom u mekoj vodi, pri čemu šesterostruko pri 40 °C do deseterostruko pri 90 °C. Usporedba vrijednosti pepela od tkanina opranih deterdžentom različitog sastava u tvrdoj vodi na svim temperaturama s vrijednostima pepela od pamučnih tkanina opranih samo u tvrdoj vodi ukazuje da je pranje deterdžentom utjecalo na dodatno opterećenje površine tkanine, u pravilu šesterostruko pri 40 °C, osmostruko pri 60 °C i gotovo deseterostruko pri 90 °C. To se može pripisati uvjetima pranja standardne pamučne tkanine bez zaprljanja kroz 10 ciklusa pranja



deterdžentom, čiji se sastojci nisu fenomenološki orijentirali na uklanjanje prljavština. Neke organske komponente (sapun i anionski tenzidi) u deterdžentu u interakciji s ionima zemnoalkalijskih elemenata generirale su teško topive i/ili netopive taloge, koji su opteretili površinu pamučne tkanine i povećali sadržaj rezidualnih tvari (ukupan pepeo).

Obzirom da je proces pranja neophodno promatrati kao kompleksan disperzni sustav, u kojem se odvijaju interakcije i sinergijsko djelovanje svih čimbenika Sinner-ovog kruga, načinjena je usporedba vrijednosti pepela pamučnih tkanina opranih u tvrdoj vodi uz varijaciju sastava kupelji u laboratorijskoj perilici (P) i laboratorijskom uređaju (M), gdje su uz prethodno navedene inhibitore uvedena još dva dodatna, CMC LV i CMC HV. U analizi rezidualnih tvari na opranim pamučnim tkaninama, važno je razlikovati promjenjive i nepromjenjive čimbenike u ova dva sustava. Isti čimbenici su pamučna tkanina, sastav deterdženta, temperatura, dok su mehanika i vrijeme promjenjivi, što se očituje kroz razlike u omjeru kupelji i omjeru punjenja, reverzibilnom okretanju, međucentrifugiranju, cikličkom ispiranju i hidrodinamici laboratorijske perilice i laboratorijskog uređaja. Proces pranja u laboratorijskoj perilici (P) karakterizira kontinuiran rad, nizak omjer kupelji (1:5), visok omjer punjenja (1:12), reverzibilno okretanje, brzina od 40 do 50  $\text{min}^{-1}$ , a ispiranje uz rotiranje bubnja istom brzinom i cikličko centrifugiranje brzinom 1400  $\text{min}^{-1}$ . Proces pranja u laboratorijskom uređaju (M) odvijao se uz viši omjer kupelji (1:20), reverzibilno, minutu lijevo i minutu desno, brzinom 40  $\text{min}^{-1}$  i 4 ciklusa ručnog ispiranja.

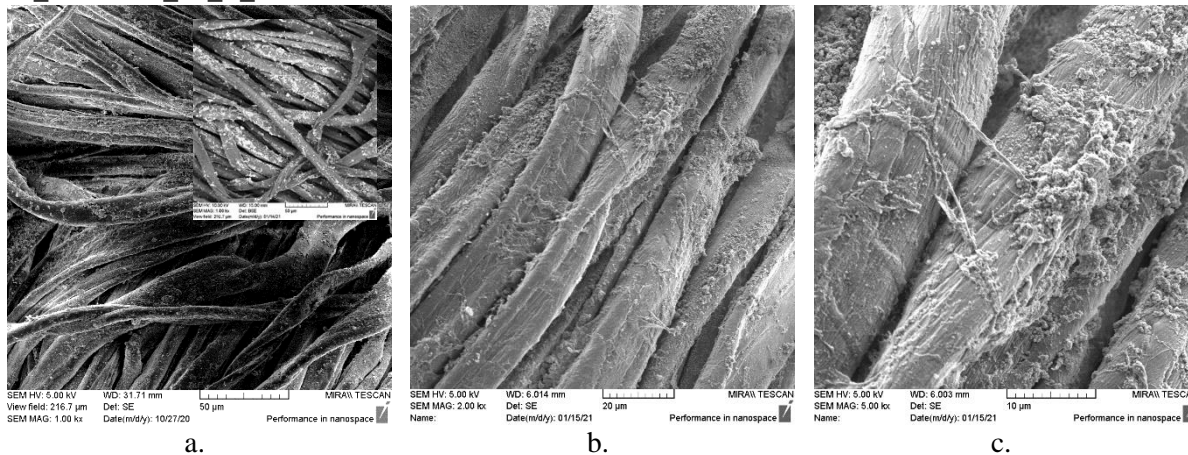
Nešto niže vrijednosti ukupnog pepela pamučne tkanine oprane u laboratorijskoj perilici u odnosu na tkaninu opranu u laboratorijskom uređaju moguće je rastumačiti jačim mehaničkim i hidrodinamičkim učinkom pri pranju u laboratorijskoj perilici.

## 4.2.2 Mikrostruktura pamučne tkanine i rezidualnih tvari - pepeo

Analiza pamučne tkanine pokazala je sadržaj rezidualnih tvari neprane u iznosu 0,24 %, te najviši ostatak pepela tkanine oprane deterdžentom uz CMC HV u tvrdoj vodi kroz 11 ciklusa, M\_CMC HV\_90\_T\_11x. Vrijednost 2,19 % je gotovo deseterostruko više od pepela neoprane tkanine (PT), što potvrđuje da je površina oprane tkanine opterećena anorganskim tvarima. U nastavku su prikazani mikrografi površine prethodno izdvojene oprane tkanine, a nakon toga mikrografi pepela ove tkanine u odnosu na pepeo neoprane pamučnu tkanine. Na istim uzorcima provedena je EDS analiza s ciljem uvida u zastupljenost i maseni udio pojedinih elemenata. Mikrografi preostalih opranih tkanina su prikazani u Prilogu 7 na slikama od P7.1 do P7.30.

SEM analiza površine modificiranih tkanina kroz sve varijacije nakon 11. ciklusa pranja uz povećanja 1000x, 2000x i 5000x potvrđuje pretpostavku da kakvoća vode ima veliki utjecaj na taloženje rezidualnih tvari na površinu pamučne tkanine PT. Mikrografi tkanina snimljeni kod povećanja 1000x, 2000x i 5000x prikazani na slici 36 pokazuju povećanu fibrilaciju na temperaturi pranja 90 °C.

M\_CMC HV\_90\_T\_11x

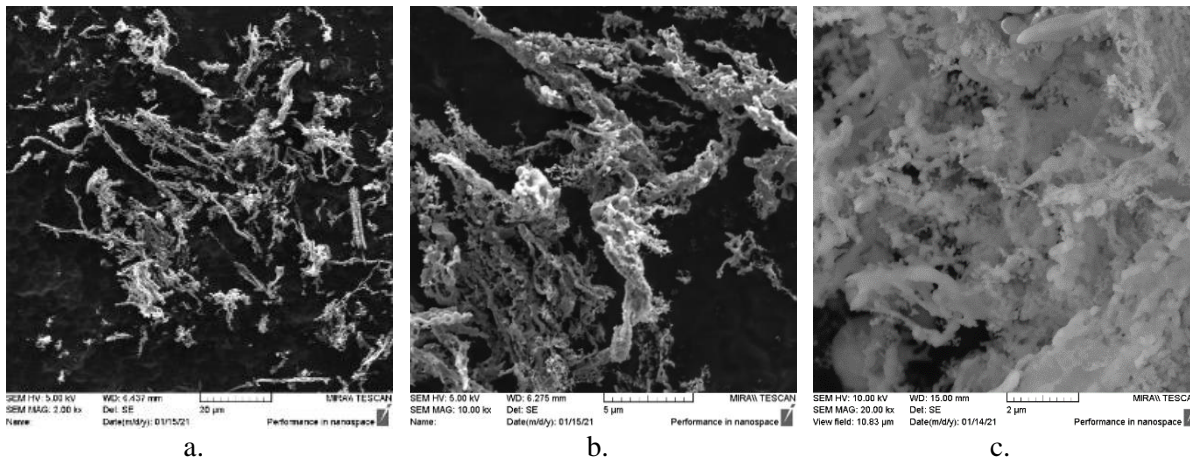


Slika 36 Mikrografi oprane PT tkanine nakon 11 ciklusa (M\_CMC HV\_90\_T\_11x) uz povećanja a. 1000x, b. 2000x i c. 5000x

Mikrografi oprane tkanine uz sva tri povećanja ukazuju na blagu dezorjentiranost površine oprane pamučne tkanine u odnosu na neopranu pamučnu tkanine (PT). Površina je dodatno opterećena tvarima koje se mogu povezati s reziduama, čija se neravnomjerna distribucija očituje kroz hrapavost i mjestimičnu poroznost. Sadržaj pepela je potvrdio da su rezidualne tvari uglavnom anorganskog podrijetla.

Ostatni pepeo neoprane (PT) i oprane pamučne tkanine (M\_CMC HV\_90\_T\_11x) bez naslojavanja su također analizirani uz povećanje 2000x, 10000x i 20000x, a njihove morfološke karakteristike prikazane na slici 37 i 38.

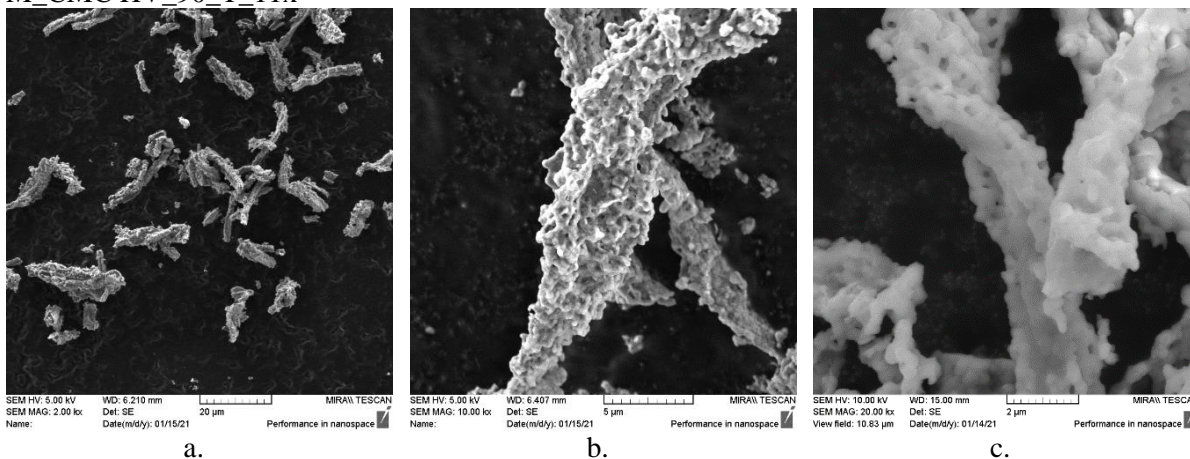
PT



Slika 37 Mikrografi pepela neoprane pamučne tkanine (PT) uz povećanja a. 2000x, b. 10000x i c. 20000x

Mikrograf pepela neprane tkanine uz povećanje 2000x upućuje na veće ili manje štapičaste i nepravilne oblike, te ponešto aglomeriranih formacija. Uz povećanje 10000x nazire se ostatak reljefne fibrilne strukture izduženog oblika, a povećanje 20000x prikazuje nemirnu i blago poroznu strukturu pepela, slika 37 a, b i c.

M\_CMC HV\_90\_T\_11x

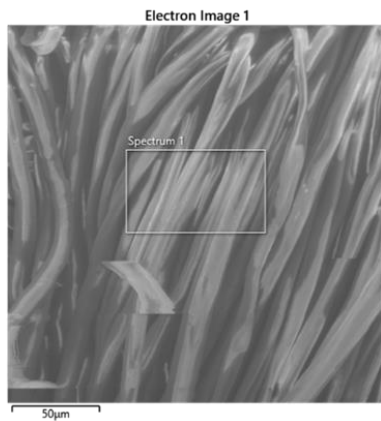


Slika 38 Mikrografi pepela oprane pamučne tkanine (M\_CMC HV\_90\_T\_11x) uz povećanja a. 2000x, b. 10000 i; c. 20000x

Mikrografe pepela oprane tkanine deterdžentom uz dodatak CMC HV u tvrdoj vodi pri 90 °C uz različita povećanja prikazani na slici 38 a, b i c karakterizira veća grupiranost i voluminozniji oblici koji upućuju na izražajni fibrilni karakter ostatka obavijen reziduama, što je posljedica taloženja anorganskih tvari oko pojedinih niti pamučne tkanine.

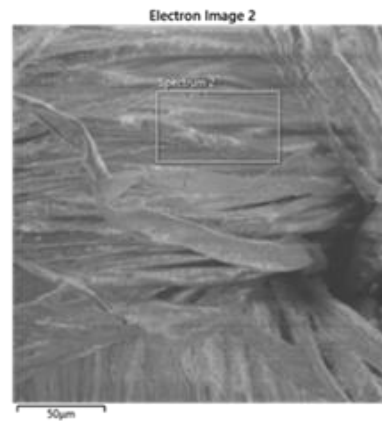
Dodatan doprinos u karakterizaciji prethodno analiziranih uzoraka tkanine i njenog pepela – anorganskog ostatka nakon žarenja dobiven je kroz SEM-EDS mikroanalizu. Na slici 39 a prikazana je ova analiza neoprane tkanine te na slici 39 b analiza oprane pamučne tkanine nakon 11 ciklusa pranja deterdžentom i inhibitorom CMC HV u tvrdoj vodi na 90 °C. Uzorci su analizirani kao fragmenti (*Spectrum*) što je i naznačeno na svakoj pojedinoj slici. Vrijeme akvizicije za sve uspoređene spektre je identično. Na slici 39 c prikazana je usporedba snimljenih spektara. Spektar 2 detektira nove elemente odnosno prisutnost rezidualnih tvari koji su uočeni na mikrografima, SEM analizi površine.

PT  
Fragment

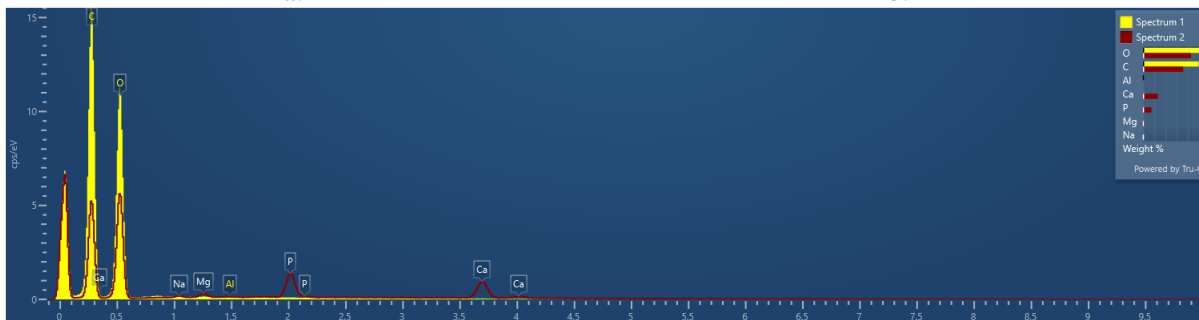


a.

M\_CMC HV\_90\_T\_11x  
Fragment



b.

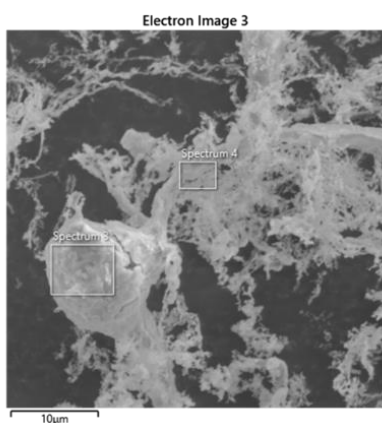


c.

Slika 39 SEM-EDS analiza a. standardne pamučne tkanine, b. oprane pamučne tkanine M\_CMC HV\_90\_T\_11x i c. usporedba spektara (Spectrum 1 odnosi se na PT a Spectum 2 na M\_CMC HV\_90\_T\_11x)

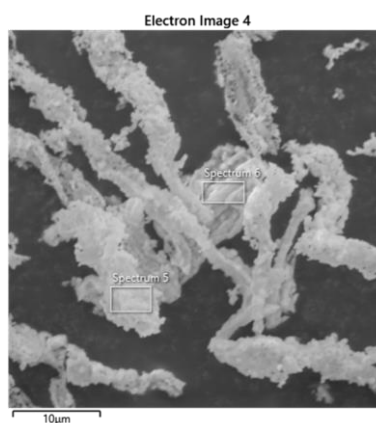
Dodatna SEM-EDS analiza ostatka nakon žarenja (pepeo) provedena je na neopranoj pamučnoj tkanini, slika 40 te opranoj pamučnoj tkanini nakon 11 ciklusa pranja deterdžentom i inhibitorom CMC HV u tvrdoj vodi na 90 °C, slika 40 b.

PT pepeo  
Fragment

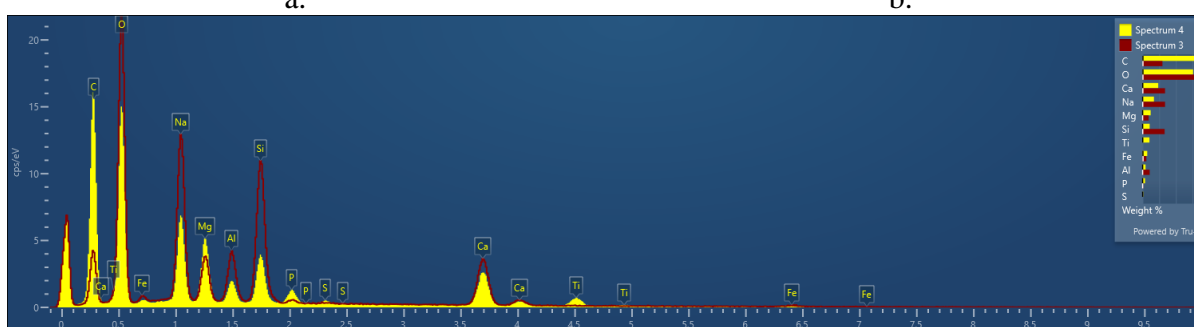


a.

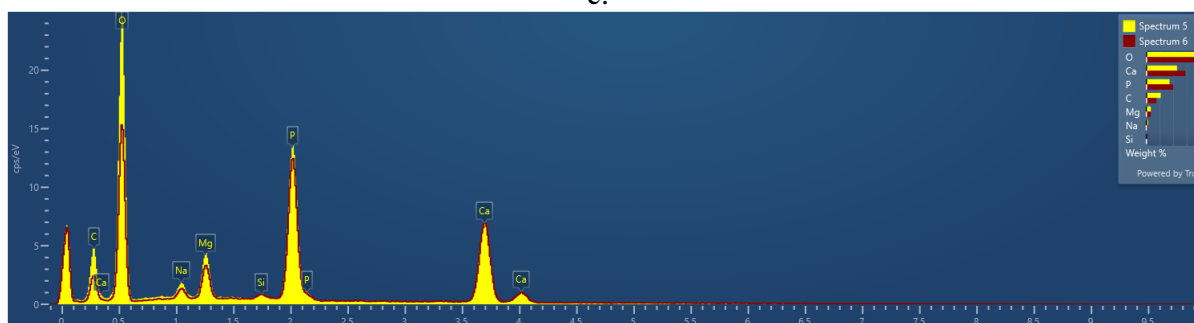
M\_CMC HV\_90\_T\_11x pepeo  
Fragment



b.



c.



d.

Slika 40 SEM-EDS analiza ostatnog pepela nakon žarenja a. standardne pamučne tkanine, b. oprane M\_CMC HV\_90\_T\_11x, c. spektar pepela standardne pamučne tkanine (Spectrum 3 i 4) i d. spektar pepela oprane M\_CMC HV\_90\_T\_11x (Spectrum 5 i 6)

Sumarni prikaz površine pojedinih elemenata u analiziranim uzorcima tkanine i pepela prikazana je u tablici 23. Za pojedine elemente od interesa uspoređena je površina njihovih karakterističnih linija ( $K\alpha_1$  i  $K\alpha_2$ ).

Tablica 23 Površina ili područje pojedinih elemenata u analiziranim uzorcima tkanine i pepela

Uzorci	Površina, cps*										
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Ti	Fe
PT Spectrum 1	139151,1	111321,2			684,1						
M_CMC HV_90_T_11x Spectrum 2	68278,8	79511,7	1358,5	3816,4			27175,9		23039,4		
PT pepeo Spectrum 3	1255,1	73368,2	47678,2	13420,0	15794,5	48148,3	1316,1		21617,9		601,7
PT pepeo Spectrum 4	60102,4	59853,1	28355,1	22033,3	8037,4	18932,1	5791,4	1538,7	18182,8	4724,5	877,1
M_CMC HV_90_T_11x pepeo Spectrum 5	12890,9	79682,0	4386,6	14549,7		1401,1	64177,6		41029,7		
M_CMC HV_90_T_11x pepeo Spectrum 6	7927,8	60215,9	3884,5	13498,2		1887,8	72152,2		50442,7		

cps\* - Counts Per Second

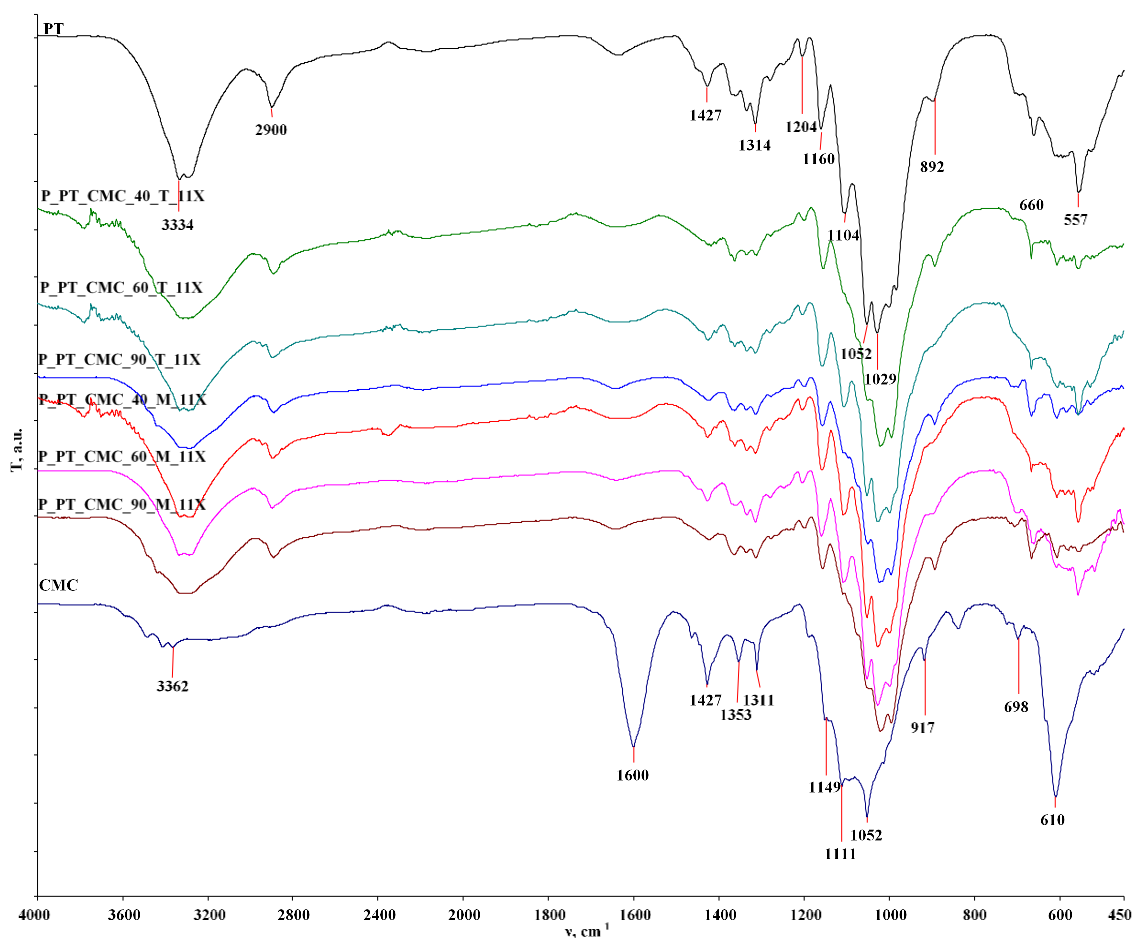
Rezultati elementarne analize neoprane pamučne tkanine odgovaraju dostupnim podacima [130]. Fragmentna i cjelokupna analiza neoprane pamučne tkanine (PT) upućuje na iste elemente (C, O i Al) uz razlike u površini elemenata C i O. Broj elemenata (C, O, Ca, Na, Mg, Si, Ti, Fe, Al, P, S) u pepelu ove tkanine je znatno veći pri čemu i dalje elementima C i O pripada oko 63%. Prisutnost ostalih elemenata može se vezati za doradne procese u proizvodnji.

SEM-EDS analiza oprane tkanine je potvrdila veći broj elemenata (O, Ca, C, P, Mg, Na, te manji udio Si, Sr, Cl, Al i S). Njihova površina značajno ovisi o analiziranom fragmentu, što je i očekivano obzirom na neravnomjernost rezidualnih tvari na hrapavoj i poroznoj površini. Sve isto karakterizira i ostatak pepela.

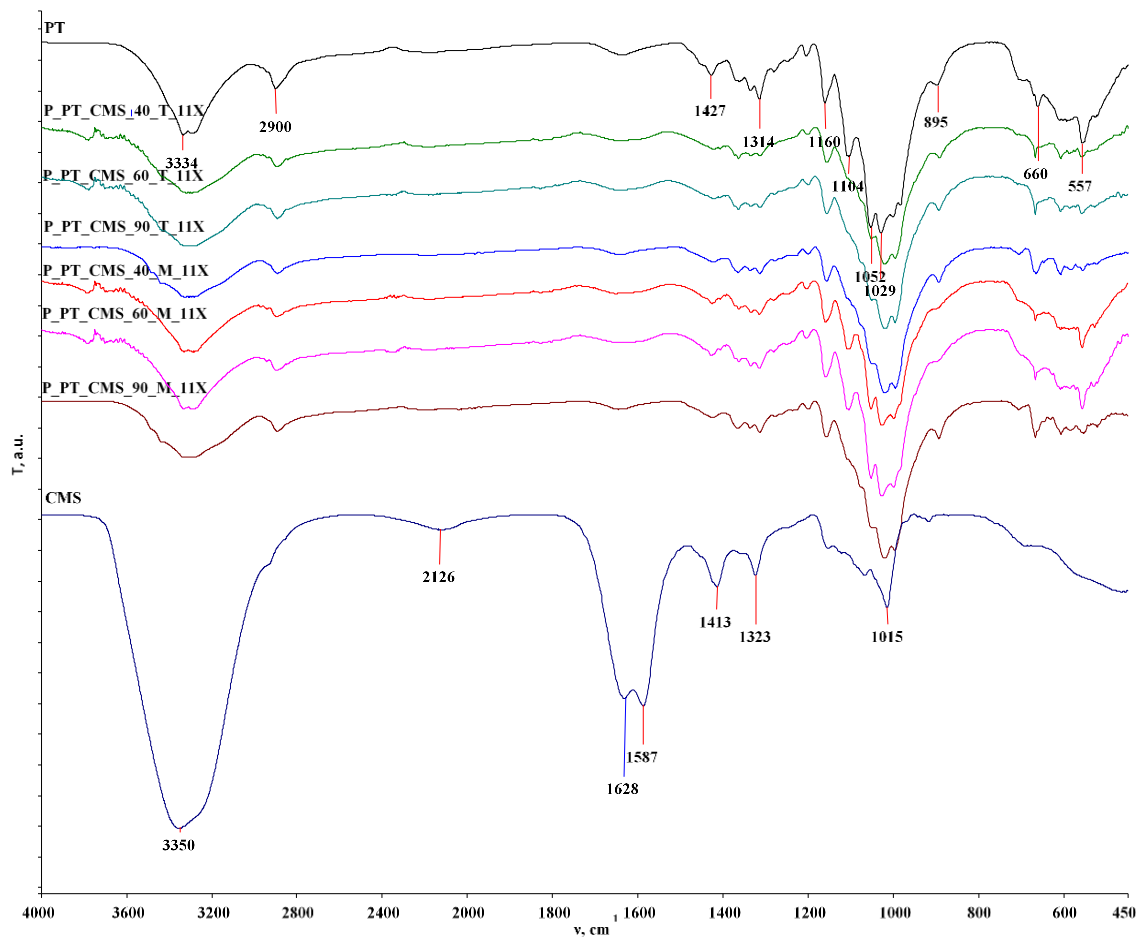
### 4.2.3 FTIR spektri pamučnih tkanina prije i nakon pranja

U ovom poglavlju prikazani su FTIR spektri svih uzoraka pamučnih tkanina nakon pranja u odnosu na neoprano pamučnu tkaninu i odgovarajući inhibitor posivljenja kao modifikator površine, slike 41-49.

Prva klasifikacija odnosi se na uređaj u kojem se pranje odvijalo (P ili M), a druga na sastav kupelji za pranje.

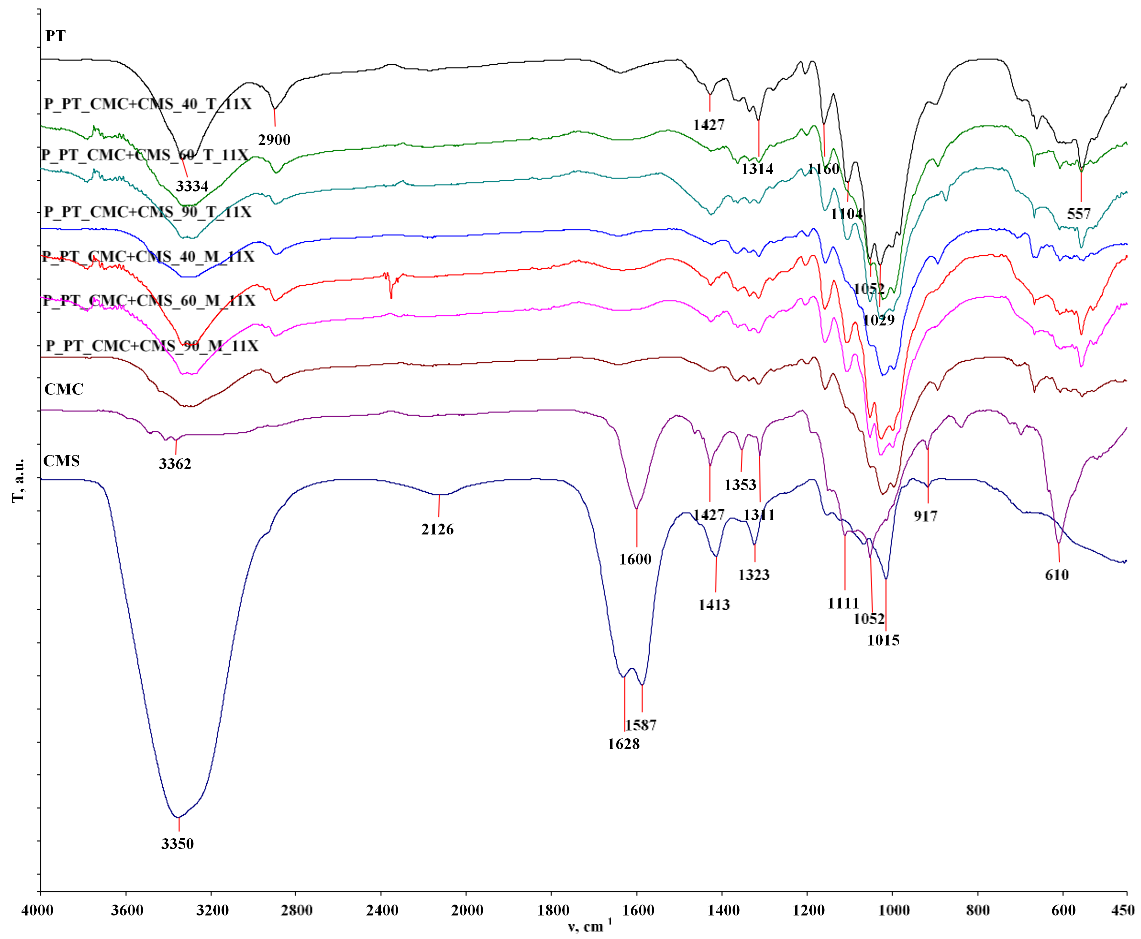


Slika 41 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskoj perilici (P) deterdžentom u koji je dodan CMC na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklusa uspoređeni sa spektrima pamučne tkanine (PT) i CMC-e kao modifikator površine

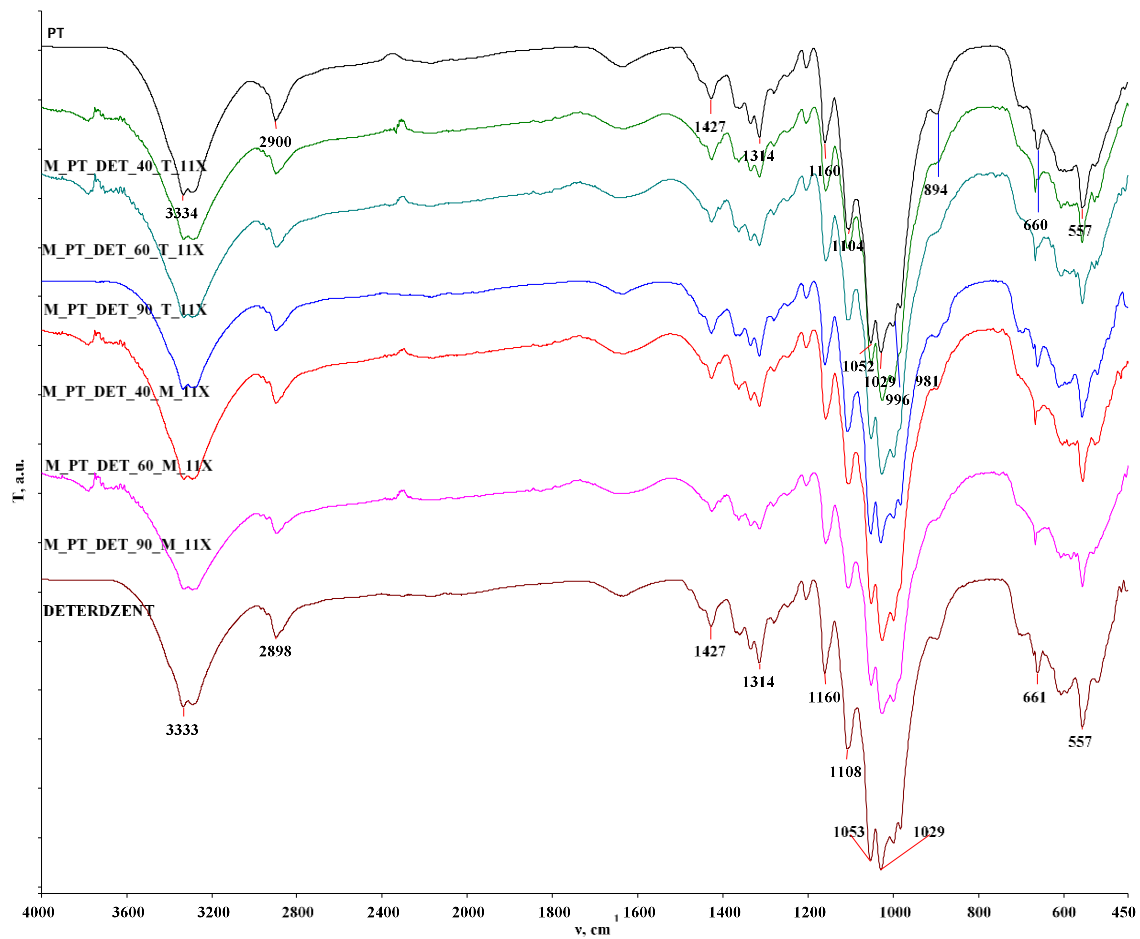


Slika 42 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskoj perilici (P) deterdžentom u koji je dodan CMS na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklusa uspoređeni sa spektrima pamučne tkanine (PT) i CMS-a kao modifikator površine

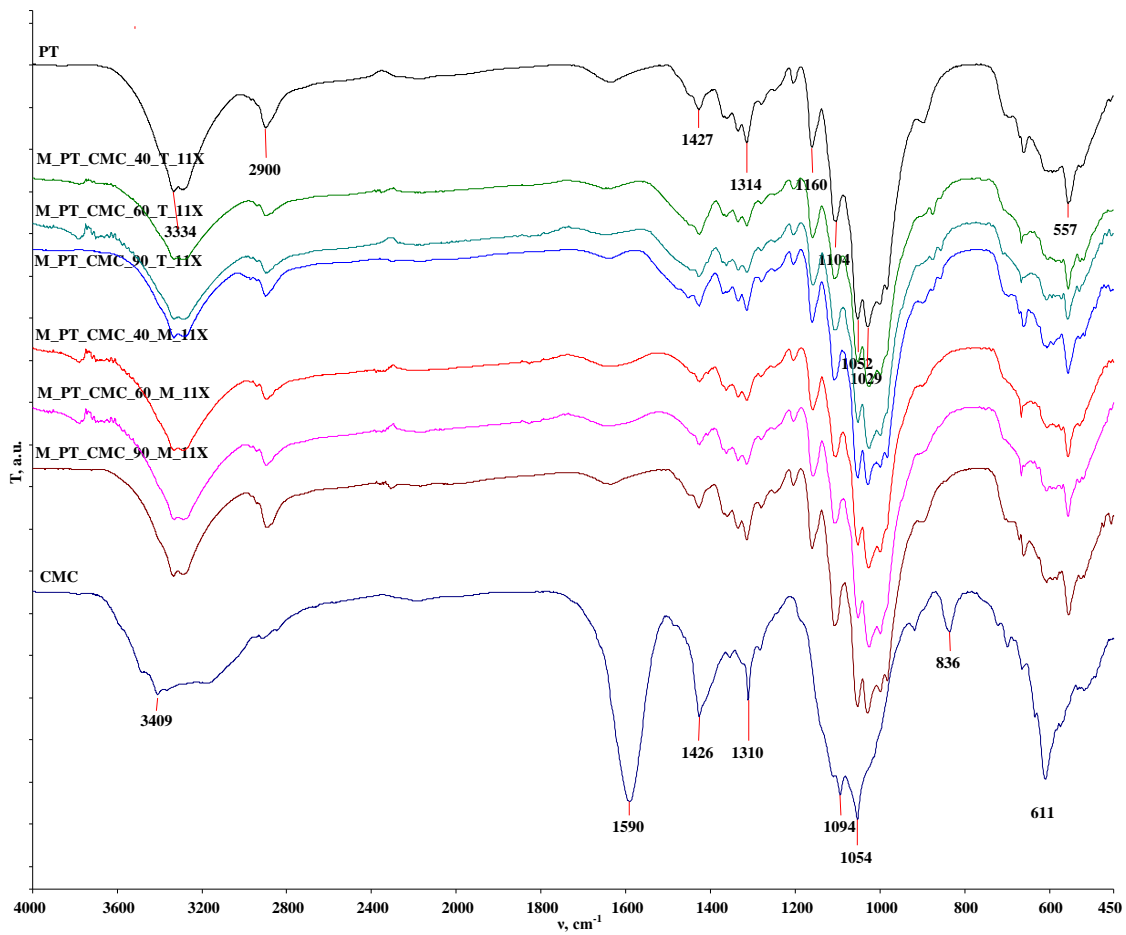




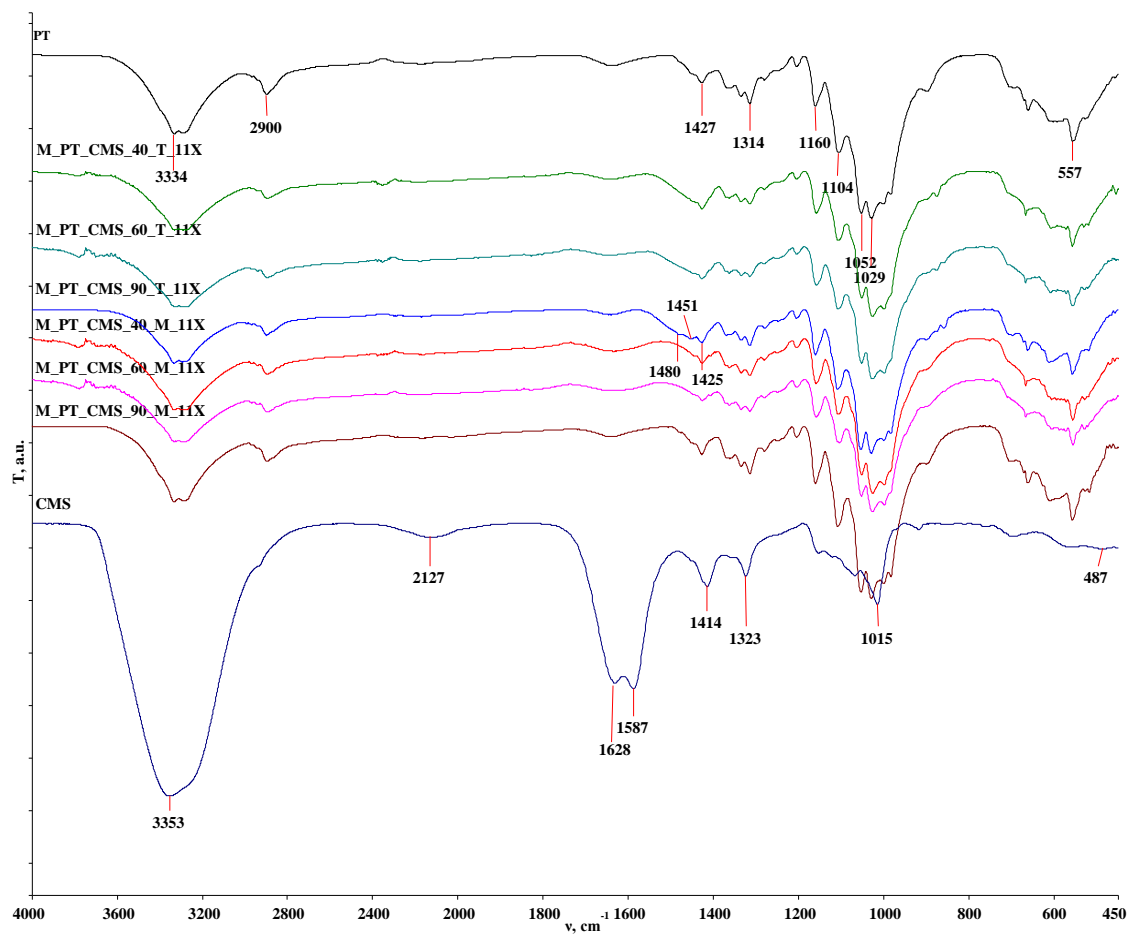
Slika 43 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskoj perilici (P) deterdžentom u koji je dodan CMC i CMS na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklusa uspoređeni sa spektrima pamučne tkanine (PT) i kombinacije CMC-e i CMS-a kao modifikator površine



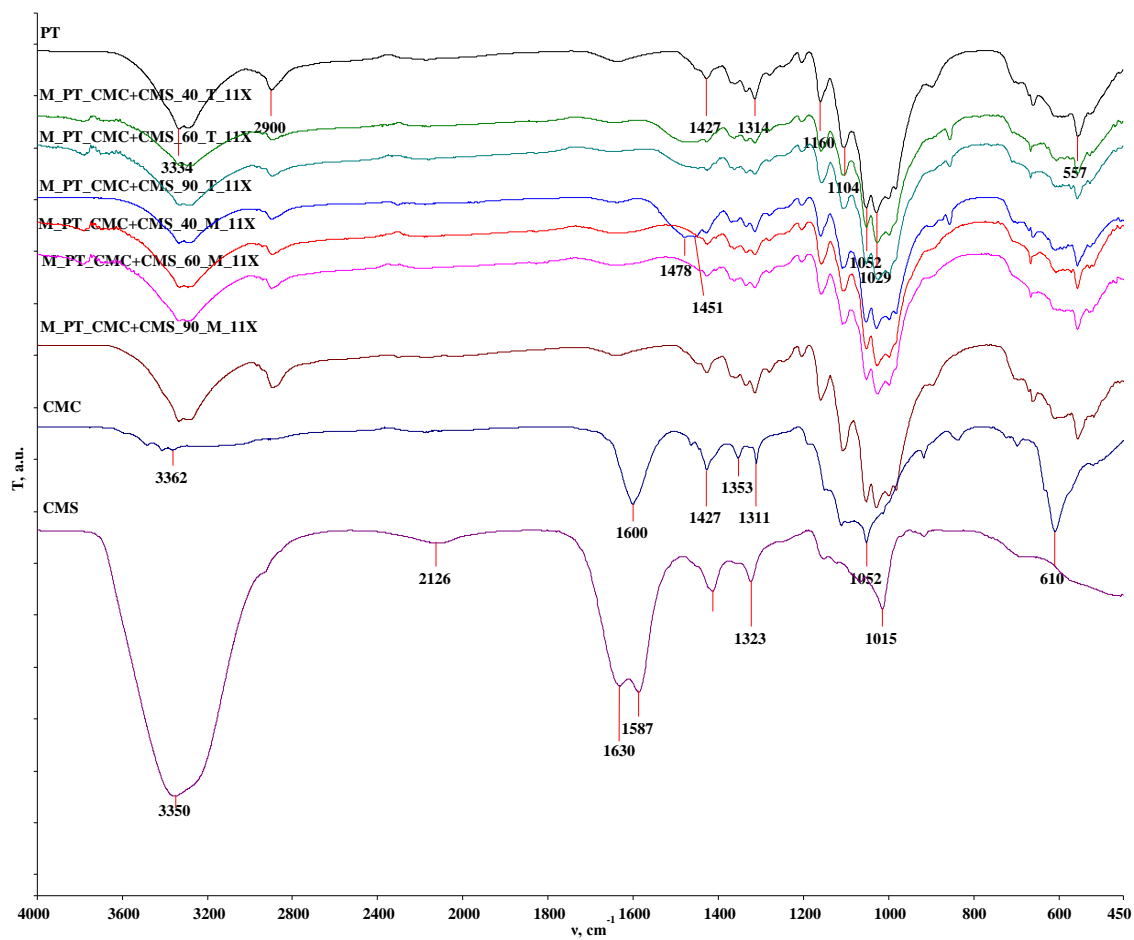
Slika 44 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju Polymat (M) deterdžentom bez inhibitora posivljenja na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklusa uspoređeni sa spektrima pamučne tkanine (PT) i deterdžentom



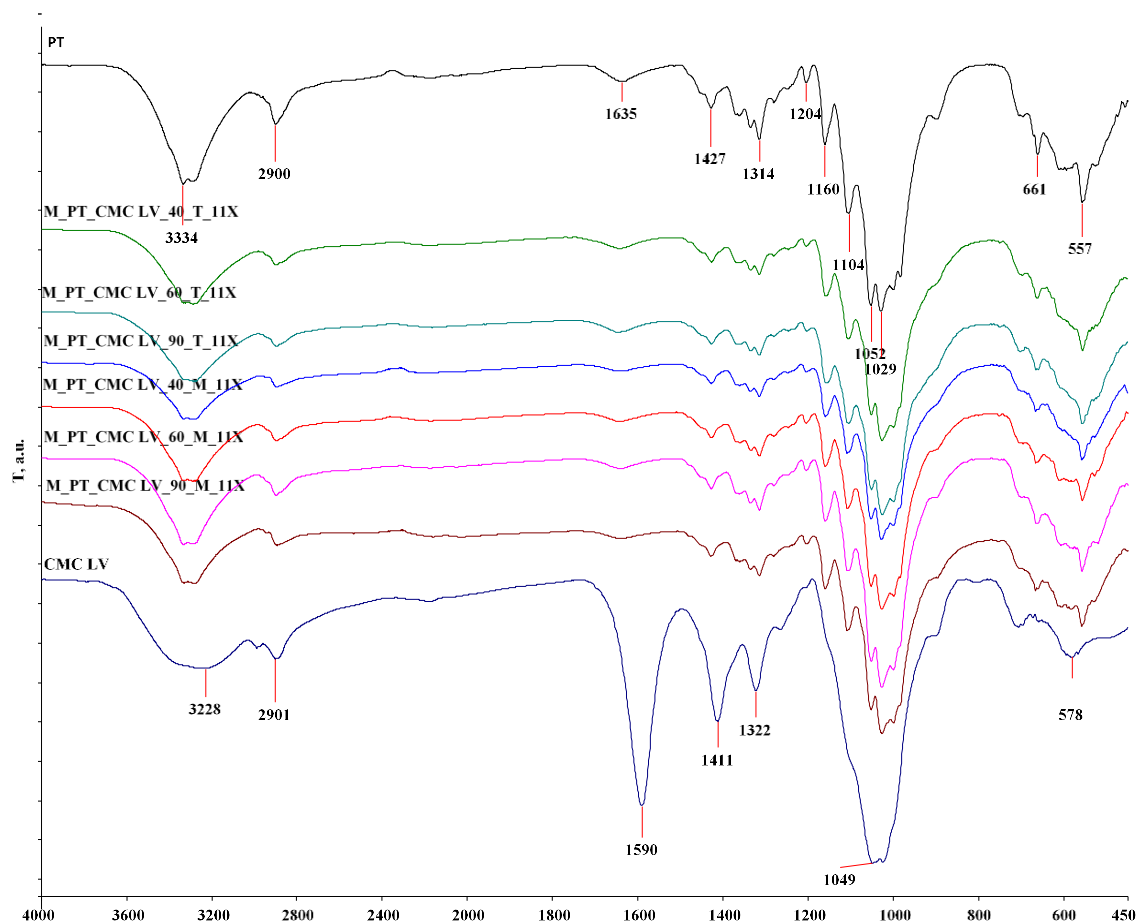
Slika 45 FTIR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju Polymat (M) deterdžentom u koji je dodan CMC na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklusa uspoređeni sa spektrima neprane pamučne tkanine (PT) i CMC-e kao modifikator površine



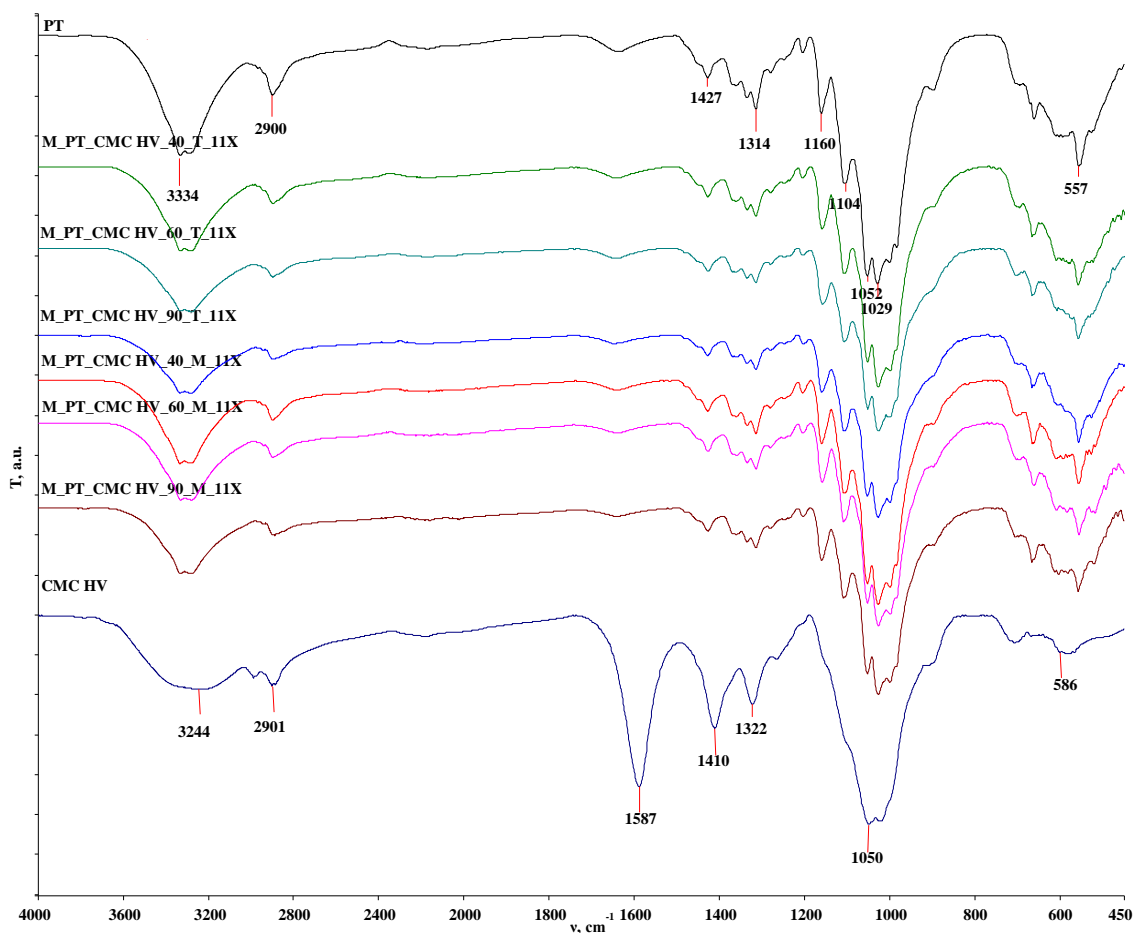
Slika 46 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju Polymat (M) deterdžentom u koji je dodan CMS na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklus uspoređeni sa spektrima neprane pamučne tkanine (PT) i CMS kao modifikator površine



Slika 47 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju Polymat (M) deterdžentom u koji je dodana kombinacija CMC i CMS, na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklusa uspoređeni sa spektrima neprane pamučne tkanine (PT) i mješavine CMC i CMS kao modifikatorima površine



Slika 48 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju Polymat (M) deterdžentom u koji je dodan CMC LV na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklus uspoređeni sa spektrima pamučne tkanine (PT) i CMC LV kao modifikator površine



Slika 49 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju Polymat (M) deterđentom u koji je dodan HV CMC, na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklus uspoređeni sa spektrima neprane pamučne tkanine (PT) i CMC HV kao modifikator površine

Male razlike nakon pranja vidljive su u području oko  $1475\text{ cm}^{-1}$  i između valnog broja  $875 - 712\text{ cm}^{-1}$ . Nakon pretraživanja literature vibracije CO veze u čistom  $\text{CaCO}_3$  vidljive su kod  $1475\text{ cm}^{-1}$ , signali na  $875$  i  $712\text{ cm}^{-1}$  pripadaju vezama C=O u karbonatnom anionu. Oko područja  $1480\text{ cm}^{-1}$  vidljive su promjene kod uzorka opranih u tvrdoj vodi u odnosu na neprani uzorak i opranih u mekoj vodi [131-133].

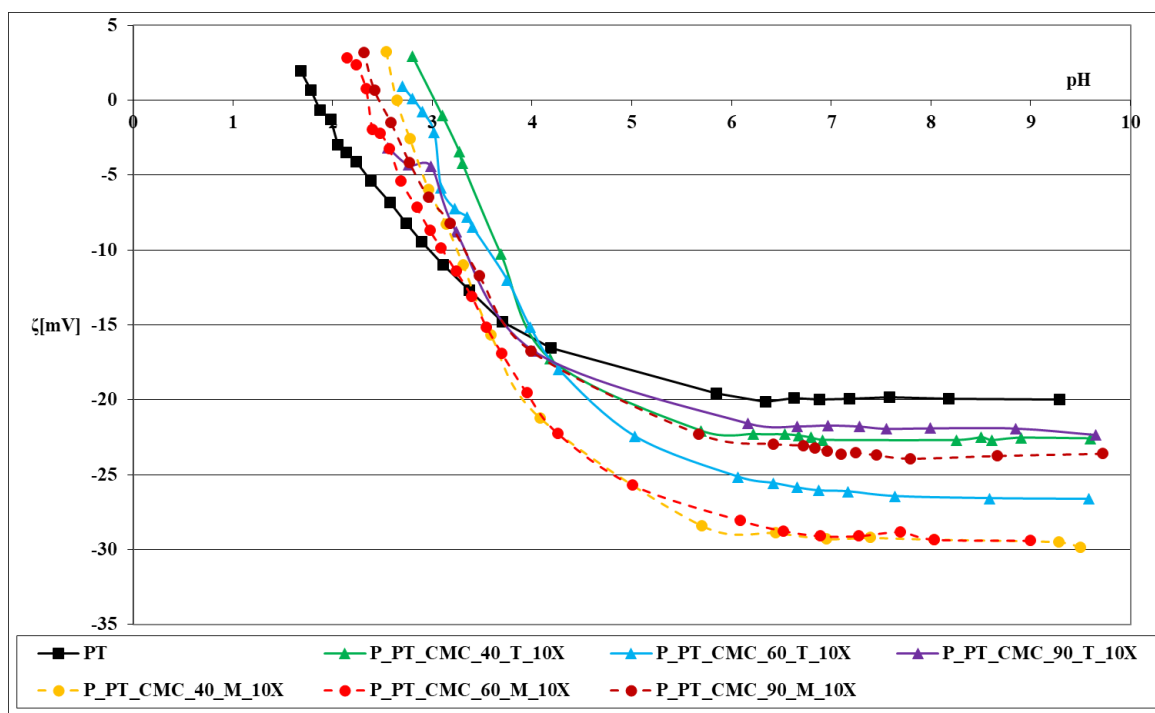
Na temelju prikazanih spektrograma može se utvrditi da FTIR spektroskopija nije prikladna metoda za karakterizaciju ovako modificirane pamučne tkanine u različitim postupcima pranja.

#### 4.2.4 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon modifikacije u pranju

Utjecaj odabranih polimera – modifikatora površine (MP): CMC, CMS, CMC + CMS, CMC LV i CMC HV dodanih deterdžentu na naboj površine standardne pamučne tkanine (PT) nakon 10 ciklusa pranja (P\_PT i M\_PT) analiziran je mjerenjem potencijala strujanja i izračunatog zeta potencijala titracijskim krivuljama u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl.

Utjecaj pojedinih parametara procesa u odnosu na nepranu pamučnu tkaninu razvidan je iz rezultata zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon dodatka CMC, CMS i njihove mješavine u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl u laboratorijskoj perilici (P) može se pratiti iz slika 50-52. Tablični prikaz svih mjernih parametara je dat u prilogu, tablice P7.1 do P7.3.

Na slici 50 prikazani su rezultati zeta potencijala standardnih pamučnih tkanina prije i nakon dodatka modifikatora CMC deterdžentu pri varijaciji temperature i tvrdoće vode.



Slika 50 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMC u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl

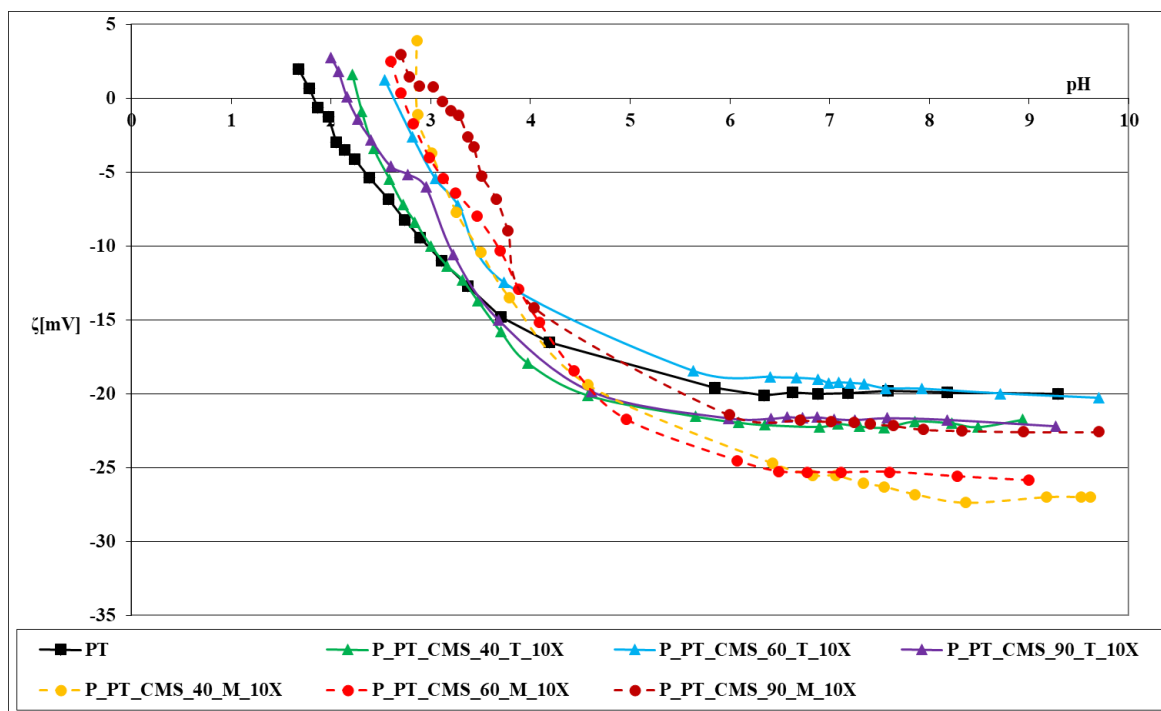
Vrijednosti zeta potencijala modificiranih pamučnih tkanina (P\_PT) u svim variranim uvjetima u području pH 9 do pH 4 su negativnije u odnosu na vrijednosti zeta potencijala neprane standardne pamučne tkanine (PT). Prateći razlike između krivulja i vrijednosti ne može se postaviti jednoznačan model ponašanja, ali u pravilu polimerom modificirane pamučne tkanine u mekoj vodi imaju negativniji naboj površine u odnosu na tkanine polimerom modificirane u



tvrdj vodi. Na temelju dobivenih odnosa, CMC kao polimer utječe na povećanje negativnog naboja površine pamučne tkanine oprane u mekoj vodi na 40 °C i 60 °C. Manje negativan naboj površine imaju pamučne tkanine modificirane u pranju deterdžentom s CMC na 90 °C u tvrdj i mekoj vodi u odnosu na gotovo sve preostale polimerom modificirane pamučne tkanine. To se povezuje s utjecajem povišene temperature (90°C) na slabiji potencijal modifikacije CMC-om, a ne sa stupnjem opterećenja površine depositima, obzirom da je njihov sadržaj na površini tkanina modificiranih deterdžentom uz CMC na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdj vodi gotovo podjednak, dok su ove vrijednosti nakon pranja u mekoj vodi niske.

Zaključno, prema dobivenim rezultatima zeta potencijala pamučnih tkanina modificiranih uz CMC na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdj vodi, a uzimajući u obzir stanje površine kroz sadržaj depozita u stupnju modifikacije na 40 °C i 60 °C prevladava orijentacija CMC-a, a na 90 °C su dominantnije promjene strukturalnih parametara uvjetovane visokom temperaturom procesa pranja.

Na slici 51 prikazane su krivulje zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon pranja uz dodatak CMS deterdžentu pri varijaciji temperature i tvrdoće vode.

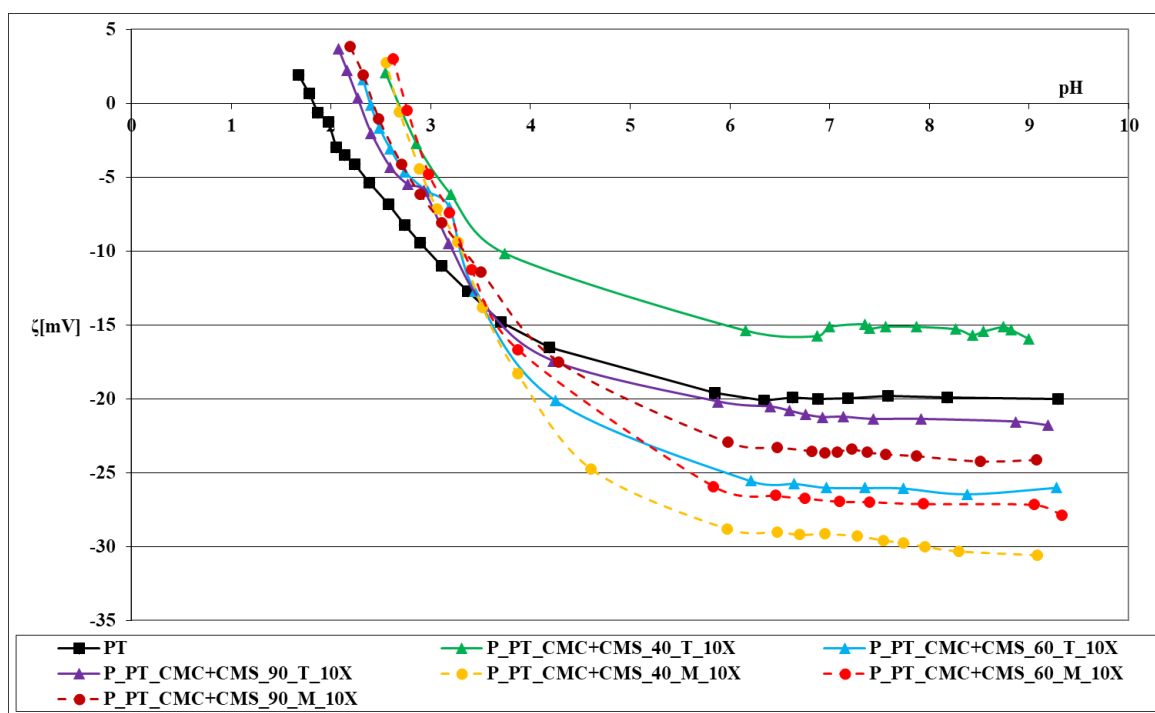


Slika 51 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMS u tvrdj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl

Vrijednosti zeta potencijala svih pamučnih tkanina modificiranih u pranju deterdžentom s CMS manje su negativne u odnosu na vrijednosti pamučnih tkanina opranih deterdžentom s CMC. Krivulje karakterizira grupiranost: prva grupa – najniži naboj površine pamučnih tkanina modificiranih s CMS u mekoj vodi na 40 °C i 60 °C; druga grupa - manje negativan triplet su tkanine modificirane s CMS u tvrdoj vodi na 40 °C i 90 °C, te na 90 °C u mekoj vodi.

Naboj površine tkanine modificirane u pranju deterdžentom s CMS u tvrdoj vodi na 60 °C sličan je naboju površine standardne pamučne tkanine (PT) u visoko alkalnom području. Na temelju dobivenih odnosa, može se zaključiti da CMC kao modifikator djeluje povoljnije na povećanje negativnog naboja površine pamučne tkanine oprane u mekoj vodi na 40 °C i 60 °C.

Krivulje na slici 52 prikazuju ovisnost zeta potencijala pamučnih tkanina modificiranih kombinacijom polimera, CMC+CMS, na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi u odnosu na neoprano tkaninu.



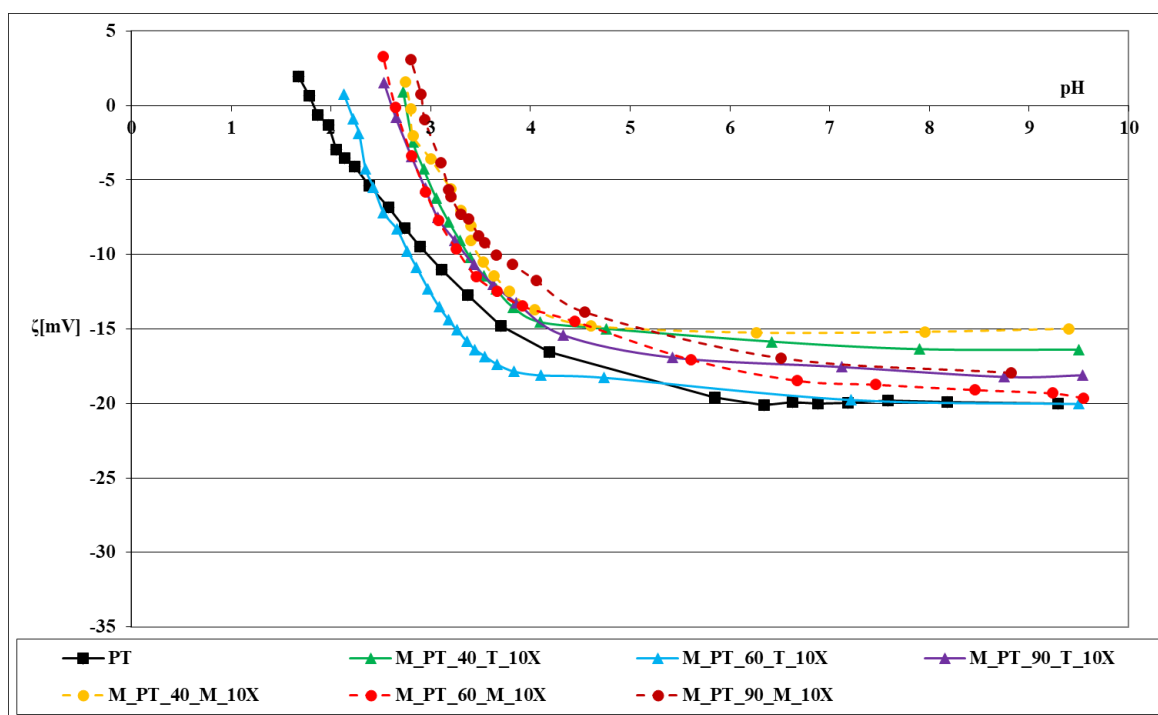
Slika 52 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMC+CMS u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl

Krivulje zeta potencijala nisu grupirane, te su slične krivuljama tkanina modificiranih deterdžentom s CMC, čime se potvrđuje dominantan utjecaj CMC u mješavini CMC+CMS u odnosu na CMS, koji je specifičan po grupiranosti i nižem naboju površine modificirane pamučne tkanine.

Rezultati zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon pranja u laboratorijskom uređaju Polymat (M) grupirani su kroz utjecaj slijedećih parametara:

1. grupa (voda, temperatura i tvrdoća vode)
2. grupa (deterdžent, temperatura i tvrdoća vode)
3. grupa (deterdžent i CMC, temperatura i tvrdoća vode)
4. grupa (deterdžent i CMS, temperatura i tvrdoća vode)
5. grupa (deterdžent i CMC+CMS, temperatura i tvrdoća vode)
6. grupa (deterdžent i CMC LV, temperatura i tvrdoća vode)
7. grupa (deterdžent i CMC HV, temperatura i tvrdoća vode).

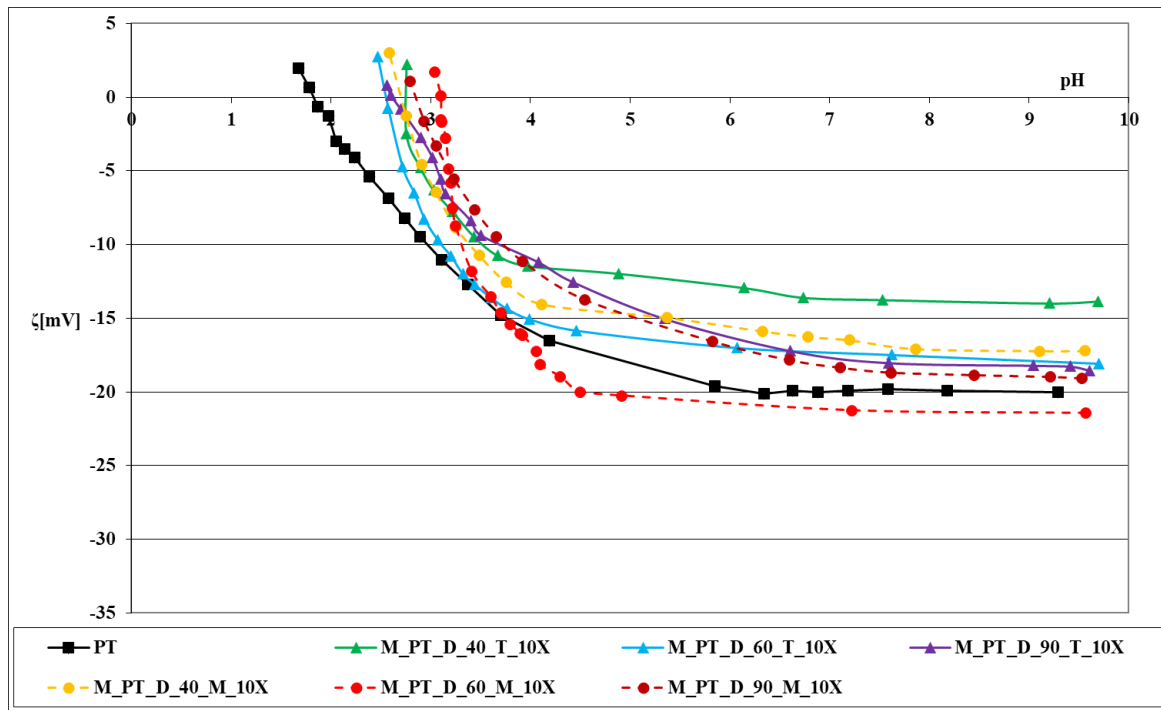
Ovako grupirani uzorci analizirani u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl prikazani su grafički na slikama 53-59, a detaljniji prikaz mjernih parametara u u prilogu, tablice P7.4 do P7.10.



Slika 53 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl

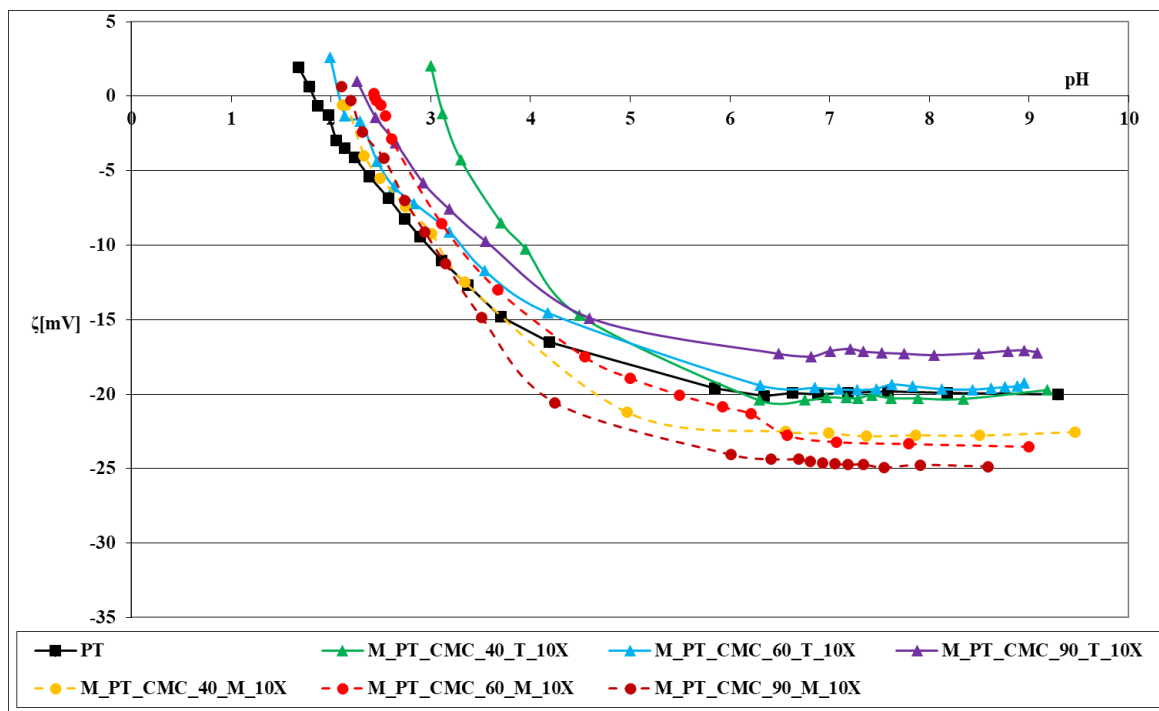
Zeta potencijal pamučnih tkanina opranih u tvrdoj i mekoj vodi pri različitim temperaturama je u pravilu manje negativan u odnosu na neoprano pamučnu tkaninu, slika 53. Dobivene razlike se mogu pripisati mogućim strukturalnim promjenama, pri čemu utjecaj tvrdoće vode nije jednoznačan.

Pranje deterdžentom u mekoj i tvrdoj vodi pri različitim temperaturama utječe na promjene zeta potencijala pamučnih tkanina. U pravilu vrijednosti su manje negativne u odnosu na neoprano pamučnu tkaninu, slika 54. Manje negativne vrijednosti mogu upućivati na nemogućnost potpune disocijacije aktivnih skupina celuloze. Deterdžent s ugrađenim bilderima je omekšao vodu, dok se njegovi ostali sastojci nisu utrošili na primarni zadatak - uklanjanje zaprljanja već su se dijelom istaložili na površinu pamučne tkanine.



Slika 54 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom (D) bez modifikatora u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl

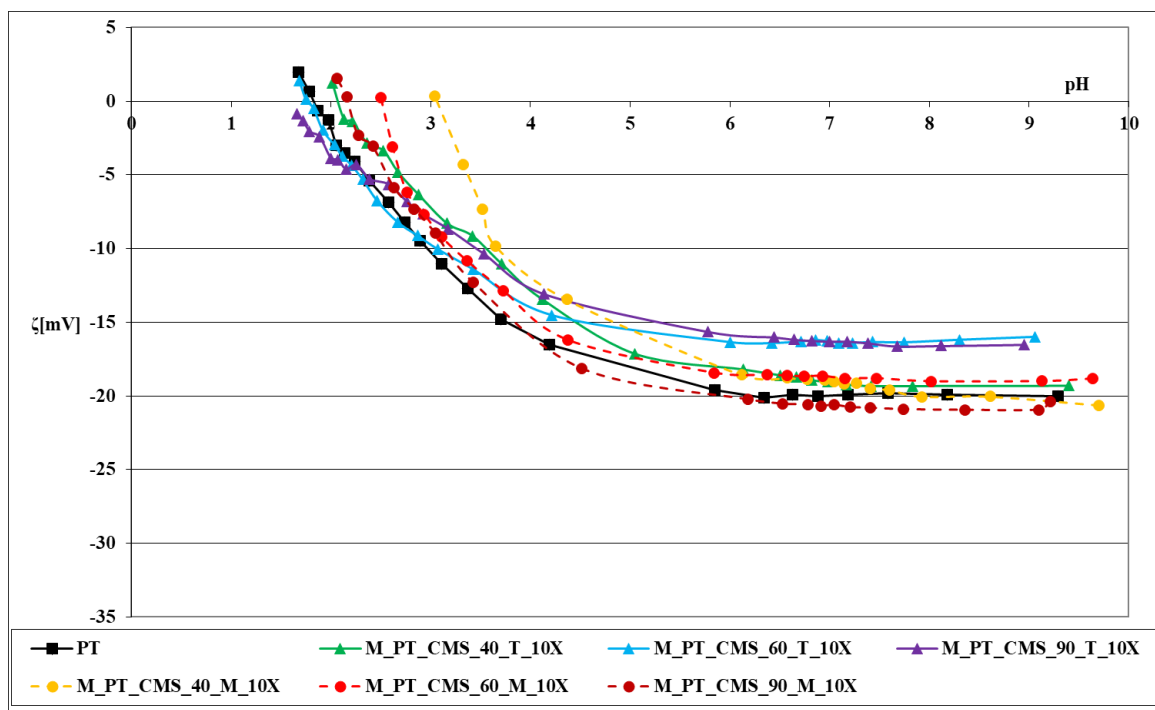
Prisutnost modifikatora CMC u deterdžentu pri analiziranim uvjetima tvrdoće vode i temperature utjecao je na zeta potencijal pamučne tkanine, slika 55.



Slika 55 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMC u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl

Vrijednosti zeta potencijala modificiranih pamučnih tkanina (M\_PT) u variranim uvjetima u području pH 9 do pH 4 strukturirane su u dvije grupe koje su negativnije u odnosu na vrijednosti zeta potencijala standardne pamučne tkanine (PT). Prateći razlike između krivulja i vrijednosti zeta potencijala vidi se da polimerom modificirane pamučne tkanine u mekoj vodi imaju negativniji naboj površine u odnosu na tkanine polimerom modificirane u tvrdoj vodi. Na temelju dobivenih odnosa, CMC kao polimer utječe na povećanje negativnog naboja površine pamučne tkanine modificirane u mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C. Manje negativan naboj površine imaju pamučne tkanine modificirane deterdžentom s CMC na 90 °C u tvrdoj vodi u odnosu na gotovo sve preostale polimerom modificirane pamučne tkanine. To se povezuje s utjecajem povišene temperature (90°C) na slabiji potencijal CMC, a ne sa stupnjem opterećenja površine depositima, obzirom da je njihov sadržaj na površini tkanina modificiranih deterdžentom uz CMC na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj vodi gotovo podjednak (0,84; 1,01; 1,49 %), a u mekoj je nizak (od 0,20 – 0,27 %).

Krivulje na slici 56 prikazuju ovisnost zeta potencijala pamučnih tkanina modificiranih deterdžentom s CMS na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi u odnosu na neoprano tkaninu.

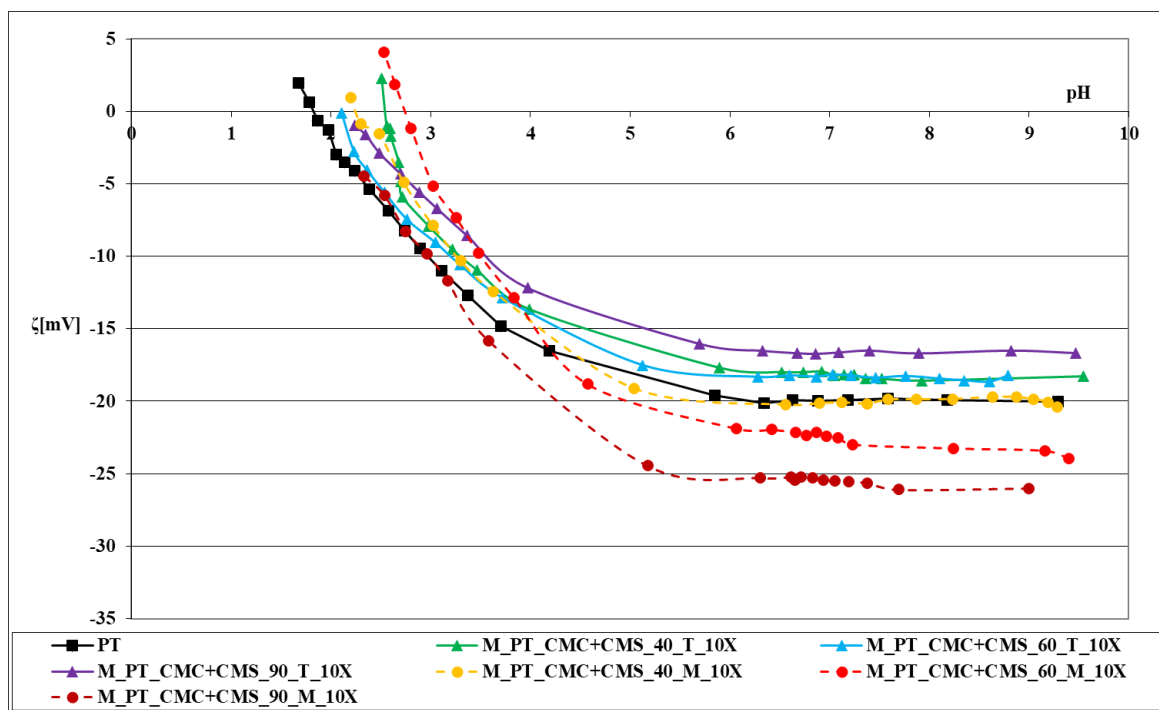


Slika 56 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMS u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl

Vrijednosti zeta potencijala svih pamučnih tkanina modificiranih deterdžentom s CMS manje su negativne u odnosu na vrijednosti pamučnih tkanina s CMC. Karakterizira ih grupiranost: prvi par – najniži naboj površine pamučnih tkanina modificiranih s CMS u mekoj vodi na 60 °C i 90 °C; drugi - manje negativan triplet su tkanine modificirane s CMS u tvrdoj vodi na 40 °C i 60 °C, te na 40 °C u mekoj vodi. Naboj površine tkanine modificirane s CMS u tvrdoj vodi na 40 °C je sličan naboju površine standardne pamučne tkanine (PT) u visoko alkalnom području.

Na temelju dobivenih odnosa, može se zaključiti da CMC kao modifikator u deterdžentu djeluje nešto povoljnije na povećanje negativnog naboja površine pamučne tkanine oprane u mekoj vodi na 90 °C u odnosu na preostale varijacije.

Krivulje na slici 57 prikazuju ovisnost zeta potencijala pamučnih tkanina modificiranih kombinacijom polimera, CMC + CMS na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi u odnosu na neoprano tkaninu.

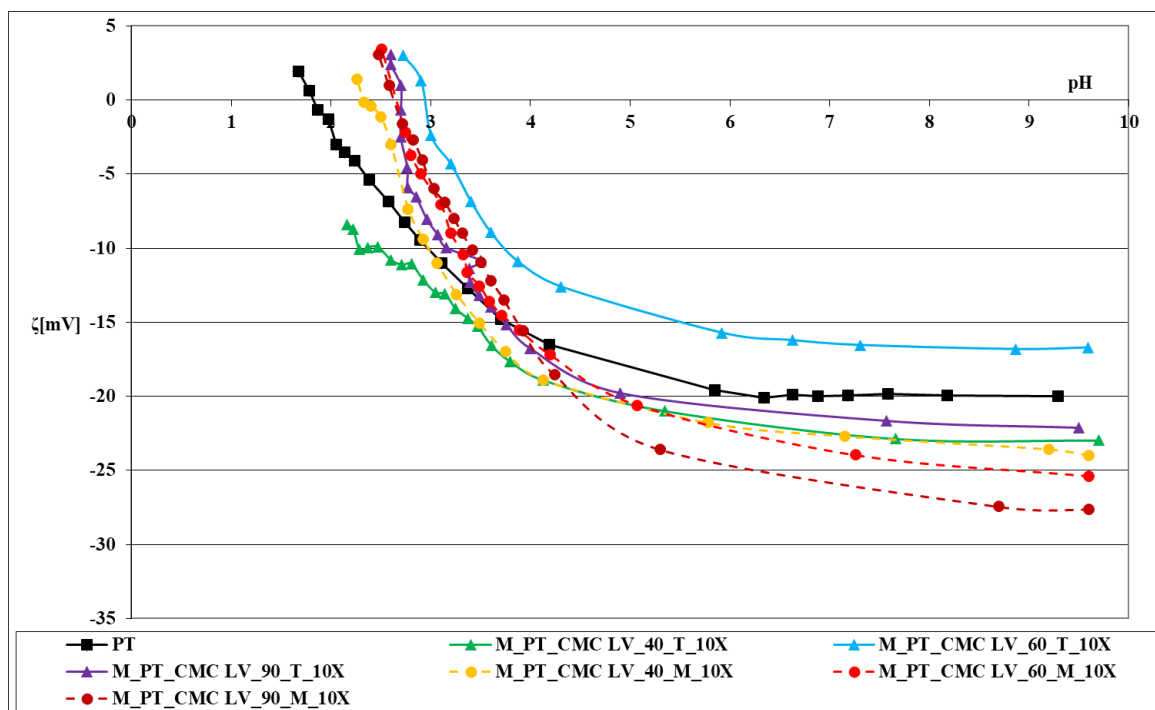


Slika 57 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMC+CMS u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl

Krivulje na slici 57 ukazuju na elektrokinetičko ponašanje opranih pamučnih tkanina deterdžentom s CMC+CMS na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi u odnosu na neoprano tkaninu. Krivulje nisu grupirane, te su sličnije krivuljama zeta potencijala tkanina opranih deterdžentom s CMC u mekoj vodi, što ponovno potvrđuje dominantan utjecaj CMC u mješavini CMC+CMS u odnosu na CMS.

Pamučne tkanine oprane s CMC+CMS u tvrdoj vodi, na 40 °C i 60 °C imaju negativniji naboj površine u odnosu na opranu na 90 °C, a manje negativniji u odnosu na nepranu.

Krivulje na slici 58 prikazuju ovisnost zeta potencijala pamučnih tkanina modificiranih deterdžentom s CMC LV na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi u odnosu na neoprano tkaninu.

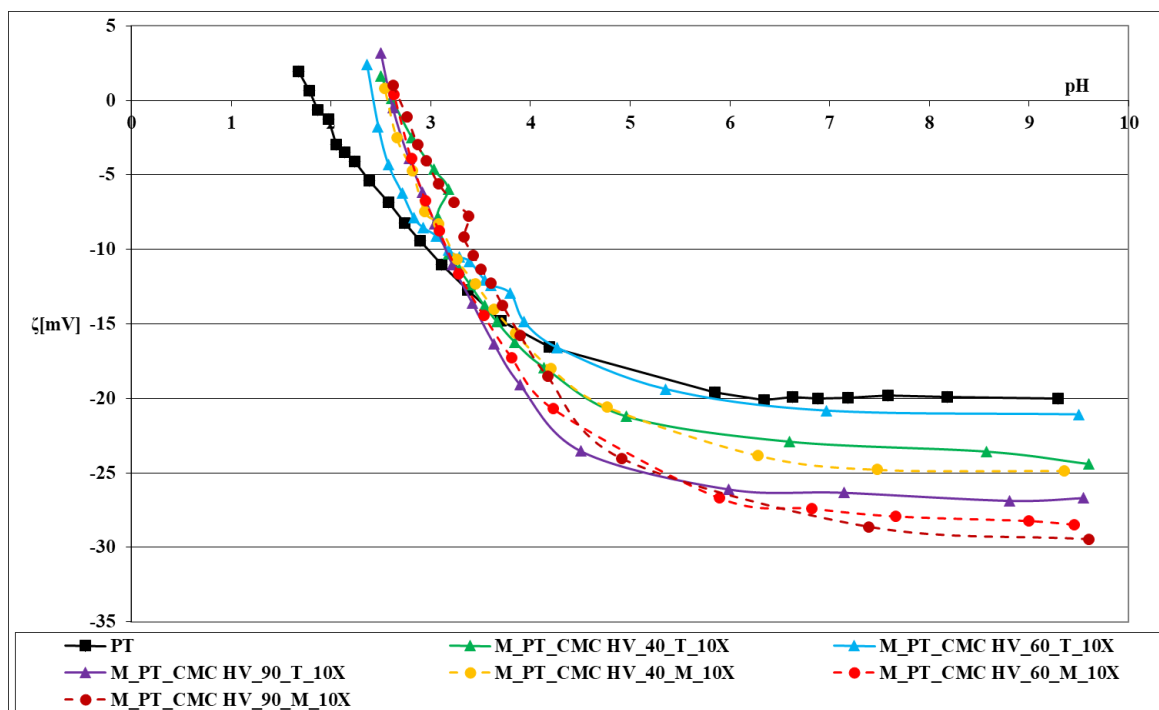


Slika 58 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMC LV u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl

Gotovo sve pamučne tkanine oprane deterdžentom s CMC LV imaju negativniji naboj površine od neoprane. Iznimku čini tkanina oprana s CMC LV u tvrdoj vodi na 60 °C, koja je manje negativna od neoprane, slika 58. Pamučne tkanine oprane u tvrdoj vodi imaju sadržaj rezidualnih tvari viši od 1,0 %, pri čemu 1,2 % (40 °C), 1,6 % (60 °C) i 1,8 % (90 °C). Visok stupanj opterećenja površine tkanine oprane na 40 °C i 90 °C rezidualnim tvarima nije jednoznačno utjecao na orijentaciju CMC LV u pranju. Tkanina oprana deterdžentom s CMC LV na 40 °C i 90 °C je negativnija u odnosu na nepranu. Odnos zeta potencijala tkanine oprane s CMC LV na 60 °C i neoprane je suprotan, što znači da se pranjem na ovoj temperaturi smanjuje negativan naboj površine pamučne tkanine. Zaključno kod pranja deterdžentom s CMC LV u tvrdoj vodi su uočene razlike u reološkim značajkama ovog modifikatora ovisno o temperaturi, čime pri temperaturi 60 °C prevladava tvrdoća vode u odnosu na stupanj modifikacije kroz orijentaciju CMC LV.



Krivulje na slici 59 prikazuju ovisnost zeta potencijala pamučnih tkanina modificiranih deterdžentom s CMC HV na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi u odnosu na neoprano tkaninu.



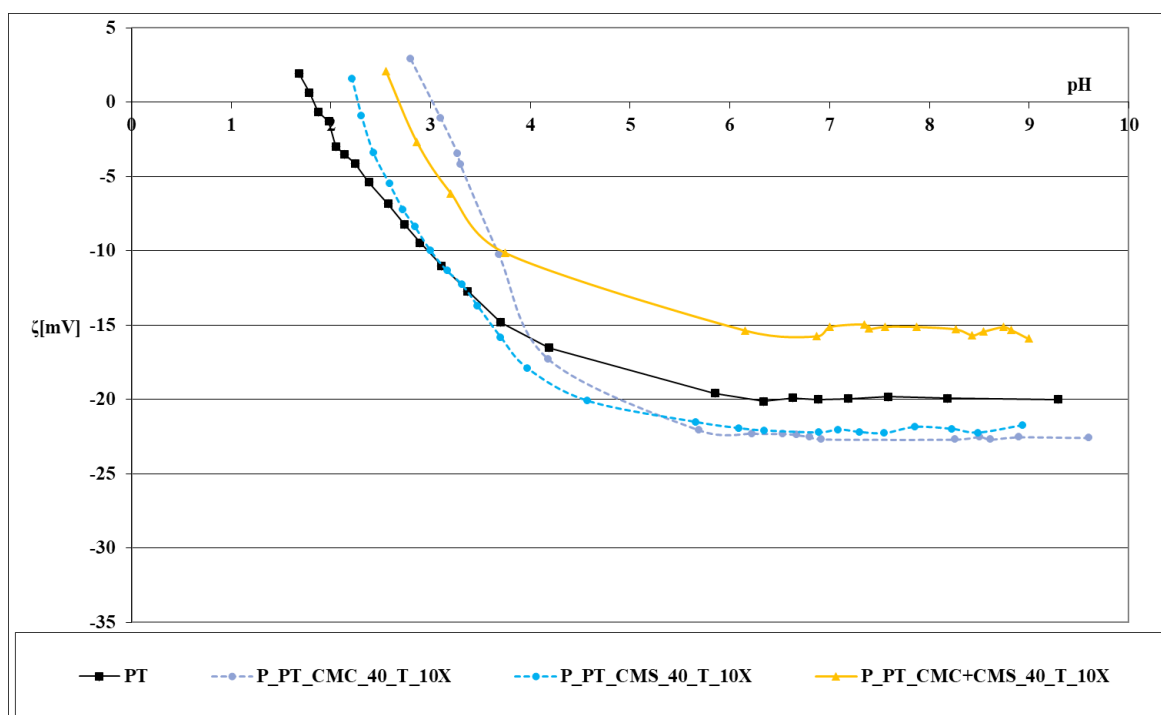
Slika 59 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMC HV u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl

Sve pamučne tkanine oprane deterdžentom s CMC HV imaju negativniji naboj površine od neoprane, slika 59. Pamučne tkanine oprane u tvrdoj vodi imaju sadržaj rezidualnih tvari viši od 1,0 %, pri čemu 1,2 % (40 °C), 1,7 % (60 °C) i 2,0 % (90 °C). Tako visok stupanj opterećenja rezidualnih tvari na površini tkanine oprane na 40 °C i 90 °C nije utjecao na orijentaciju CMC HV, što dokazuje negativniji naboj površine oprane pamučne tkanine.

#### 4.2.4.1 Analiza zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon modifikacije u pranju deterdžentom i odabranim polimerima na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskoj perilici (P)

U ovoj analizi su uspoređeni polimeri, CMC, CMS i CMC+CMS, dodani deterdžentu kroz 10 ciklusa pranja u preliminarnoj fazi provedbe istraživanja. Pranje u perilici i uređaju ima različitu mehaniku, kako je razjašnjeno u poglavlju 4.2.1, što je interesantno sagledati kroz karakterizaciju površine pamučne tkanine.

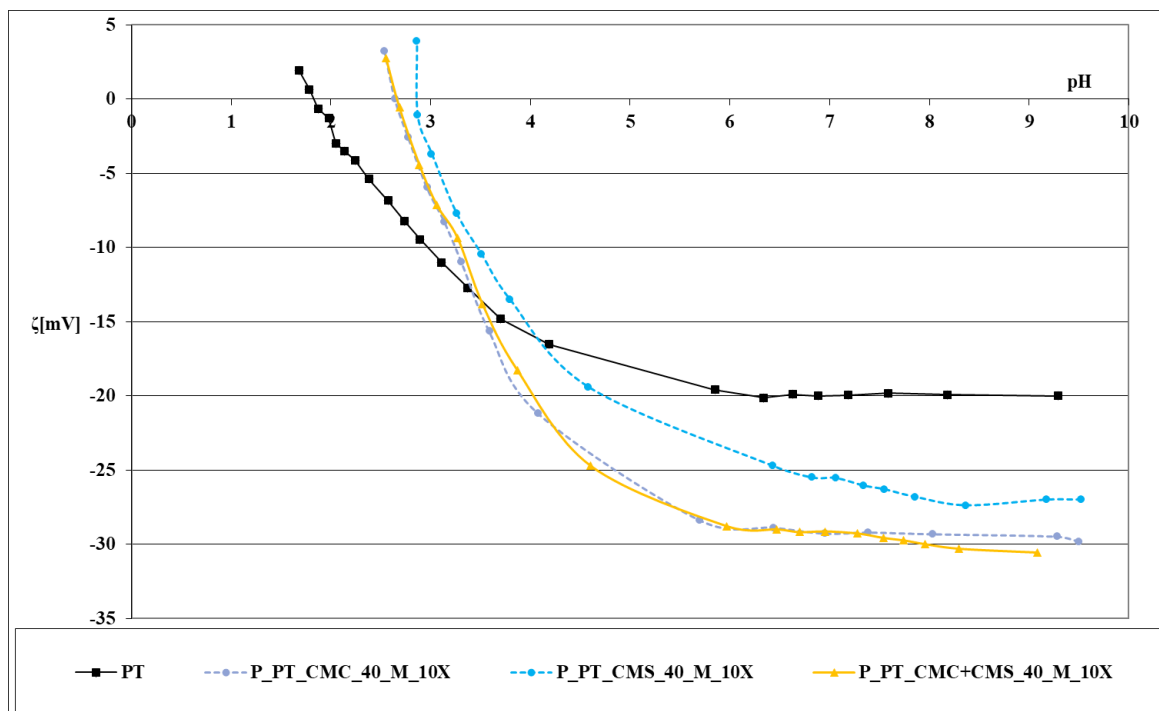
- **tvrda voda, 40 °C**



Slika 60 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 40 °C uz varijaciju uvjeta u tvrdoj vodi u laboratorijskoj perilici u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl

Polimeri CMC i CMS dodani deterdžentu kroz 10 ciklusa pranja u tvrdoj vodi na 40 °C su utjecali na smanjenje negativnog naboja u odnosu na nepranu pamučnu tkaninu, a dobivene vrijednosti su slične. Mješavina polimera, CMC+CMS dodanih deterdžentu ima različit stupanj modifikacije u odnosu na pojedinačno dodane polimere, slika 60.

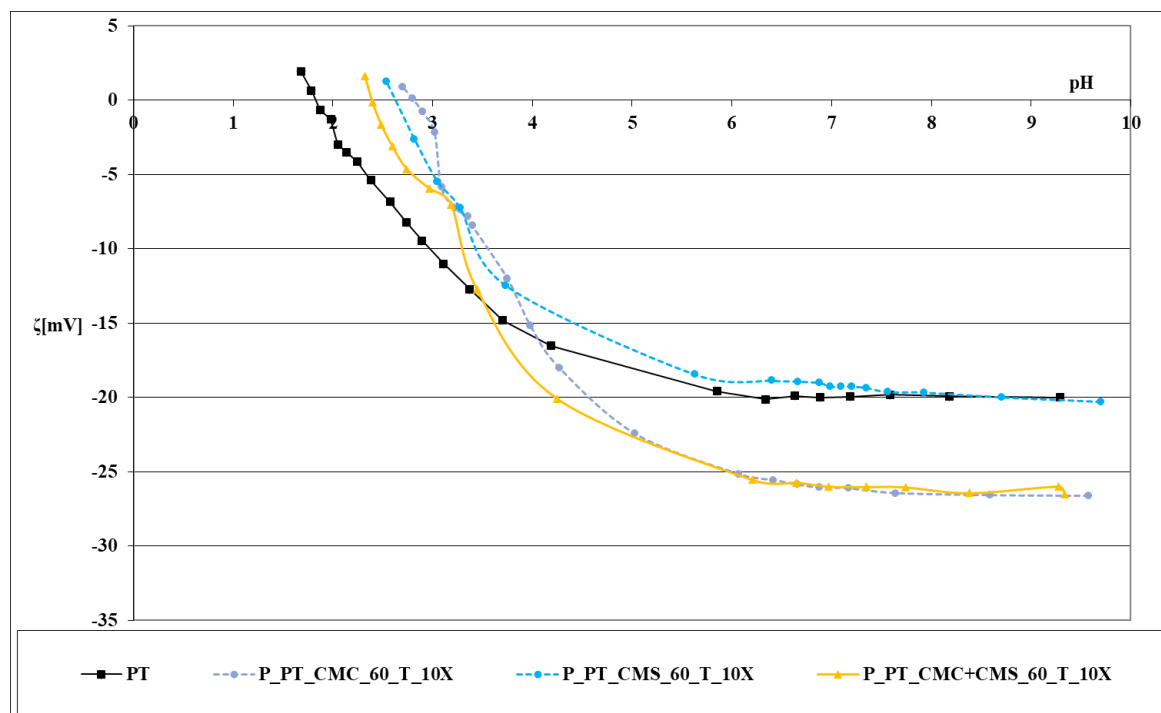
- meka voda, 40 °C



Slika 61 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 40 °C uz varijaciju uvjeta u mekoj vodi u laboratorijskoj perilici u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl

Polimeri CMC, CMS i CMC+CMS dodani deterdžentu u pranju pri 40 °C kroz 10 ciklusa u mekoj vodi su djelovali na povećanje negativnog naboja pamučne tkanine, pri čemu je CMC pokazala jači stupanj modifikacije u odnosu na CMS. Dominantan utjecaj CMC je vidljiv i u mješavini s CMS. Odnos krivulja zeta potencijala pamučne tkanine oprane na 40 °C u mekoj vodi, slika 61 i tvrdoj vodi, slika 60 ukazuje na utjecaj tvrdoće vode na naboj površine oprane pamučne tkanine, naročito u deterdžentu s CMC+CMS.

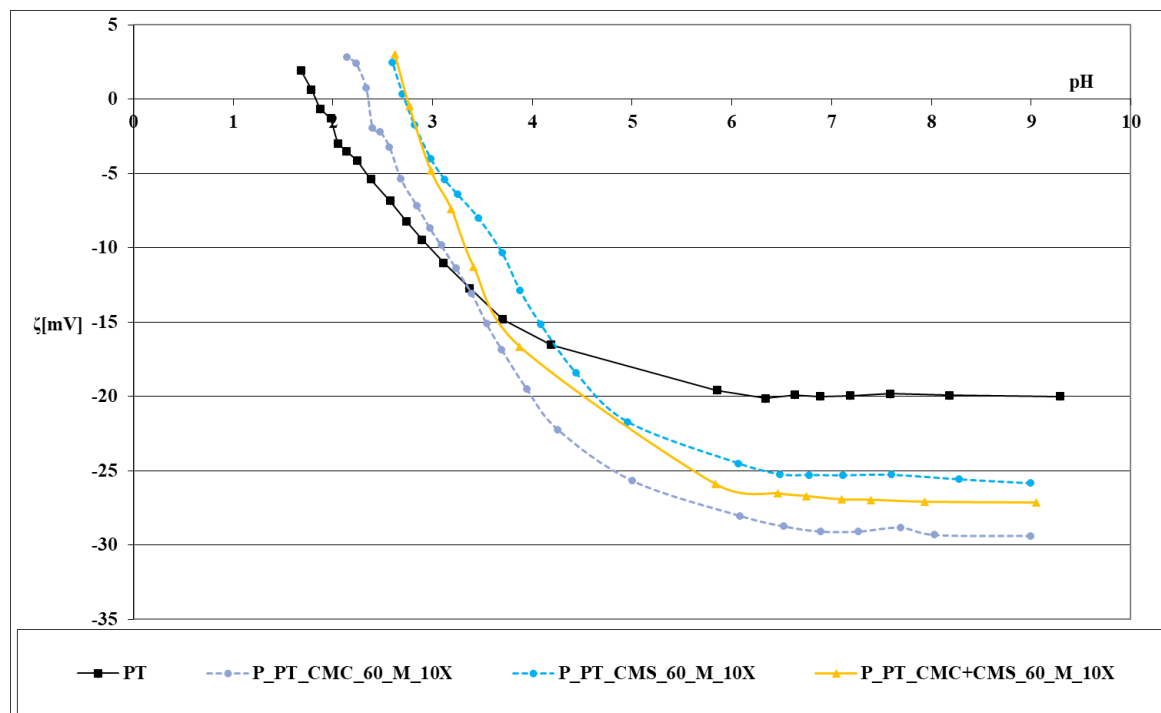
- tvrda voda, 60 °C



Slika 62 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 60 °C uz varijaciju uvjeta u tvrdoj vodi u laboratorijskoj perilici u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl

Zeta potencijal pamučne tkanine oprane deterdžentom s polimerima, CMC, CMS i CMC+CMS, u tvrdoj vodi kroz 10 ciklusa na 60 °C pokazuje da CMC i CMC+CMS utječu na povećanje negativnog naboja pamučne tkanine, a CMS smanjuje u odnosu na neopranu pamučnu tkaninu, što je prethodno obrazloženo reološkim značajkama, slika 62.

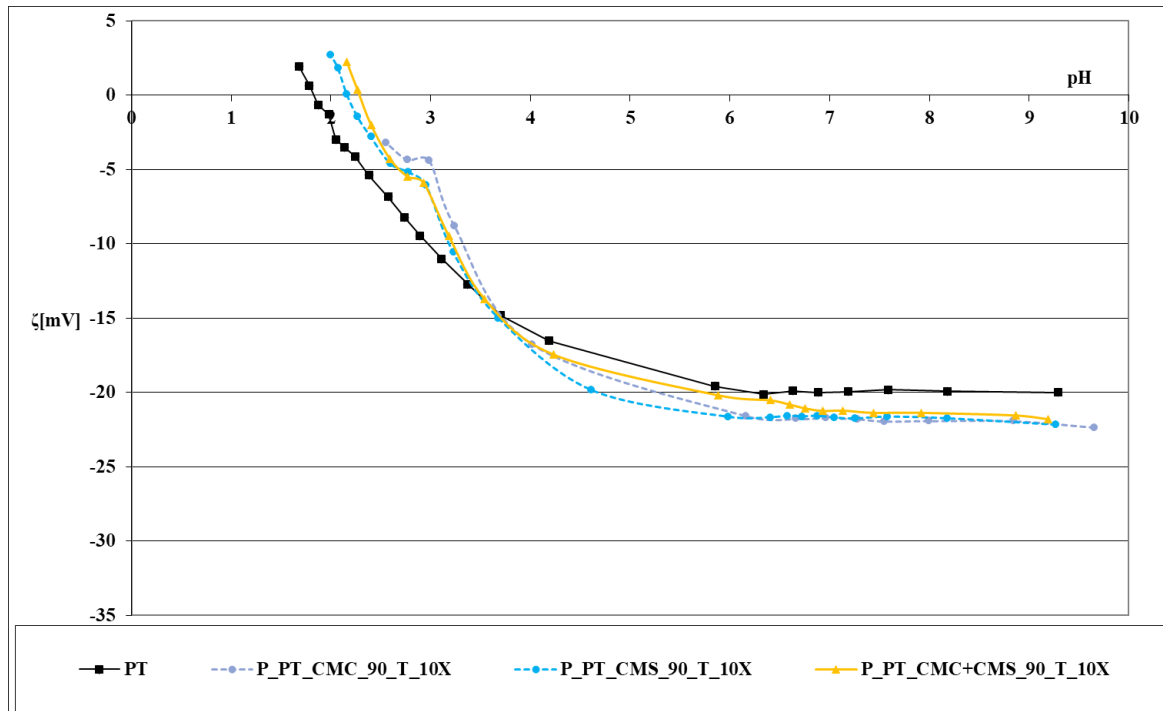
- meka voda, 60 °C



Slika 63 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 60 °C uz varijaciju uvjeta u mekoj vodi u laboratorijskoj perilici u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl

Krivulje zeta potencijala pamučne tkanine oprane deterdžentom s polimerima, CMC, CMS i CMC+CMS, u mekoj vodi kroz 10 ciklusa na 60 °C pokazuju da svi polimeri utječu na povećanje negativnog naboja pamučne tkanine, u odnosu na neoprano pamučnu tkaninu. CMS ima manji potencijal smanjenja naboja pamučne tkanine u odnosu na CMC, čime se potvrđuje prethodno istaknut dominantan utjecaj CMC u odnosu na CMS. To potvrđuje i krivulja zeta potencijala pamučne tkanine oprane deterdžentom s CMC+CMS, slika 63.

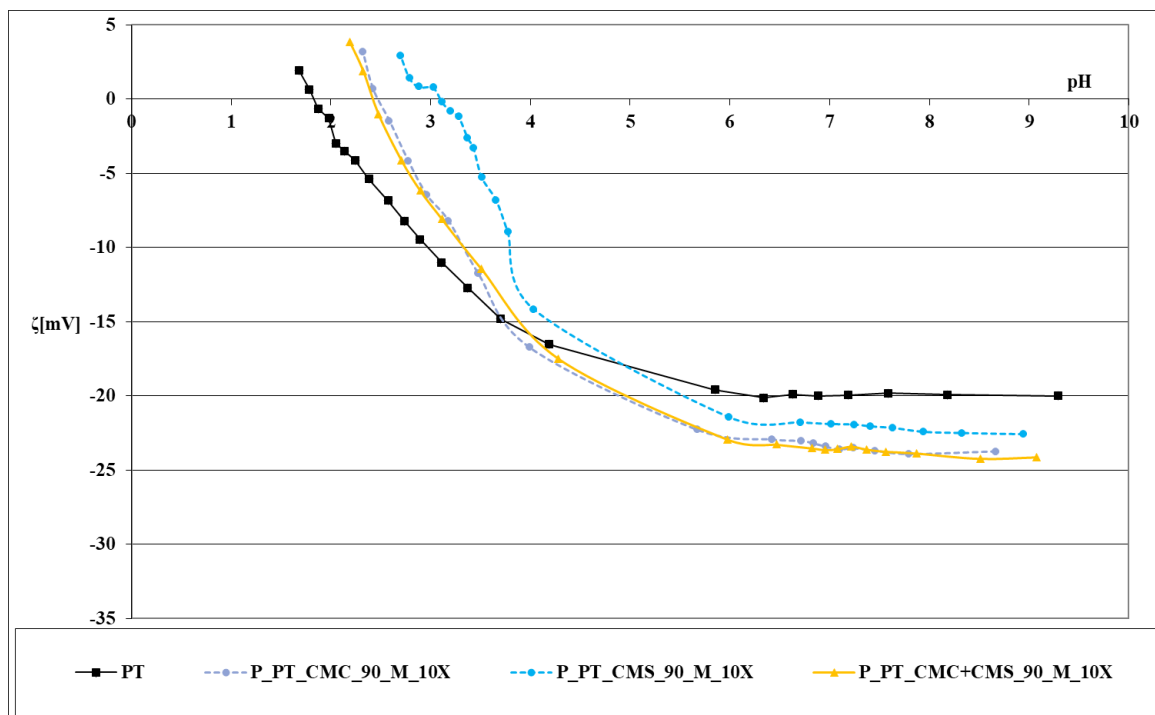
- tvrda voda, 90 °C



Slika 64 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 90 °C uz varijaciju uvjeta u tvrdoj vodi u laboratorijskoj perilici u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl

Zeta potencijal kroz 10 ciklusa pranja pamučne tkanine deterdžentom s polimerima, CMC, CMS i CMC+CMS, u tvrdoj vodi na 90 °C pokazuje da je djelovanje polimera na povećanje negativnog naboja pamučne tkanine neznatno u odnosu na nepranu pamučnu tkaninu, slika 64. Niži potencijal smanjenja naboja pamučne tkanine oprane deterdžentom s polimerima je blokiran tvrdoćom vode na 90 °C.

- meka voda, 90 °C



Slika 65 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 90 °C uz varijaciju uvjeta u mekoj vodi u laboratorijskoj perilici u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl

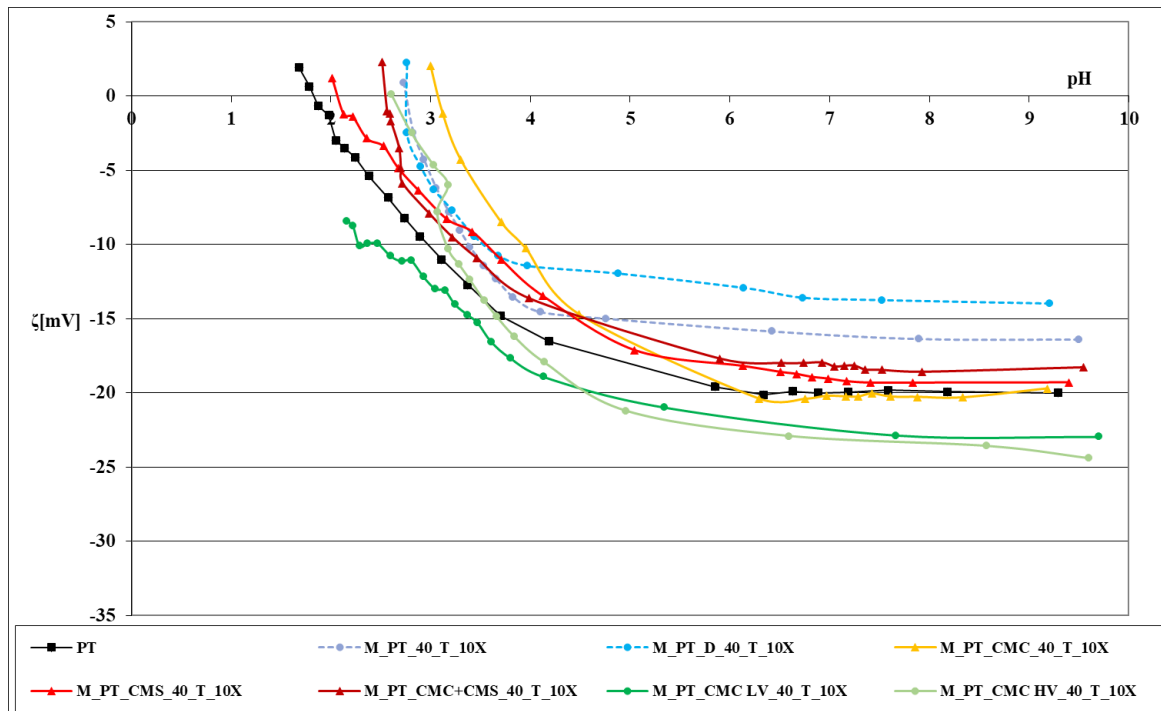
Zeta potencijal pamučne tkanine oprane deterdžentom s polimerima, CMC, CMS i CMC+CMS, u mekoj vodi kroz 10 ciklusa na 90 °C pokazuje djelovanje polimera na povećanje negativnog naboja pamučne tkanine u odnosu na neoprano pamučnu tkaninu, slika 65. Potencijal smanjenja naboja pamučne tkanine u mekoj vodi na 90 °C je niži u odnosu na 60 °C, što se vidi usporedbom sa slikom 63. Kao i u prethodno analiziranim uvjetima, CMS ima slabiji potencijal u odnosu na CMC.

Temperatura pranja 90 °C utječe i na strukturalne promjene pamučne tkanine, čime je njen zeta potencijal nakon modifikacije polimerima niži u odnosu na 60 °C i 40 °C.

#### 4.2.4.2 Analiza zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon modifikacije u pranju deterdžentom i odabranim polimerima na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

U ovom poglavlju je načinjena usporedba djelovanja polimera u odnosu na pranje u vodi i deterdžentom ovisno o pojedinim parametrima:

- **tvrda voda, 40 °C**

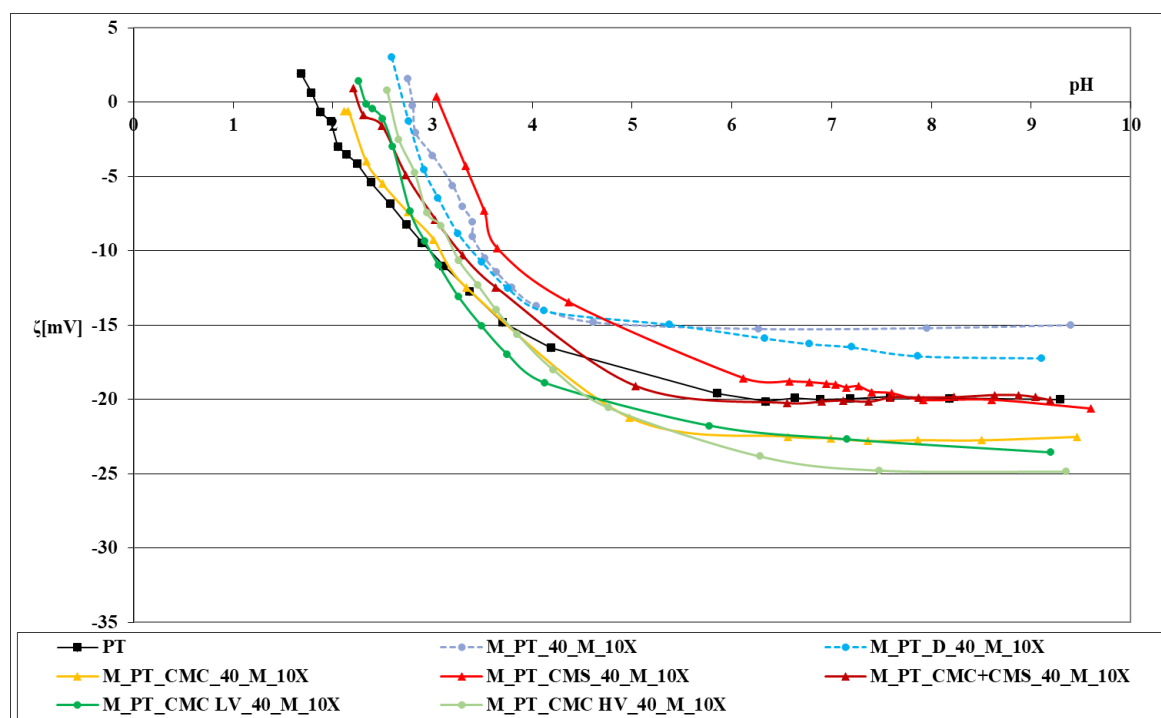


Slika 66 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s inhibitorima u tvrdoj vodi u Polymatu na 40 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl

Odabrani polimeri, CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV i CMC HV, dodani deterdžentu u pranju u tvrdoj vodi na 40 °C kroz 10 ciklusa su utjecali na promjenu zeta potencijala oprane tkanine u odnosu na neoprano tkaninu (PT). Posebno je interesantno usporediti djelovanje deterdženta bez polimera i deterdžent koji ima različite vrste polimera. Unutar odabranih polimera uočavaju se razlike, na način da polimeri CMS, CMC+CMS dodani deterdžentu utječu na smanjenje negativnog naboja tako oprane pamučne tkanine. Polimeri, CMC HV i CMC LV dodani deterdžentu u pranju na 40 °C djelovali su na povećanje negativnog naboja pamučne tkanine, čime su pokazali najveći stupanj modifikacije, slika 66.



- meka voda, 40 °C

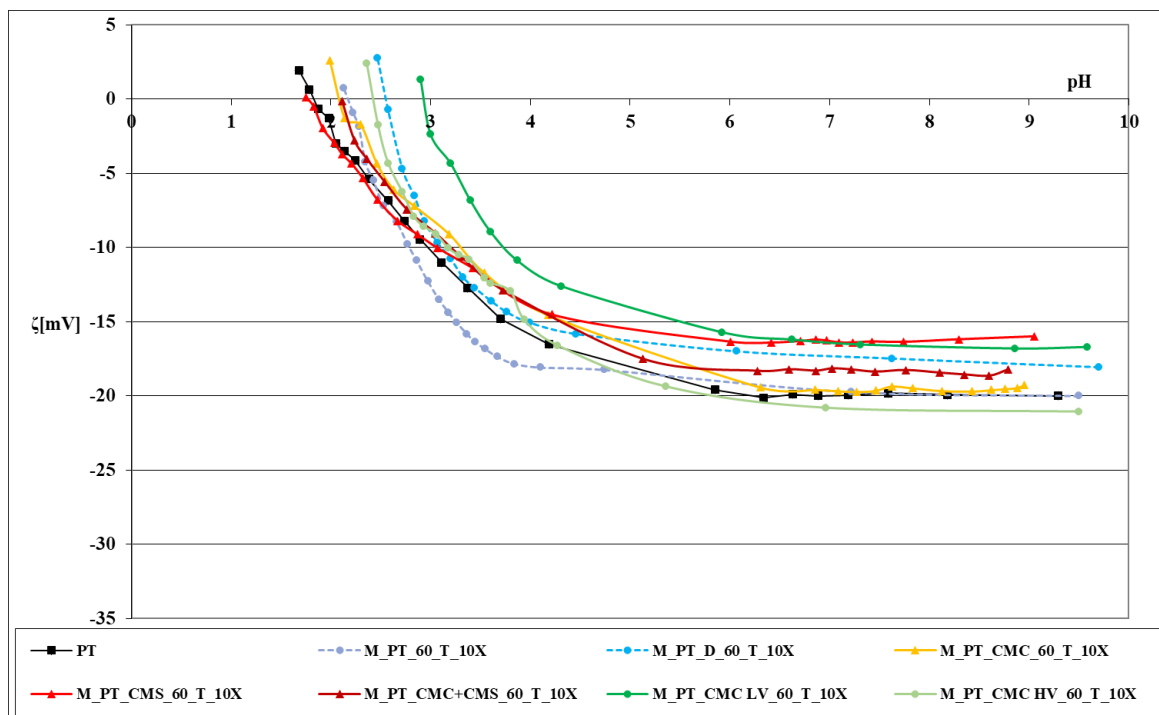


Slika 67 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 40 °C uz varijaciju uvjeta u mekoj vodi u Polymatu u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl

Odabrani polimeri, CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV i CMC HV, dodani deterdžentu u pranju u mekoj vodi na 40 °C kroz 10 ciklusa su utjecali na promjenu zeta potencijala oprane tkanine u odnosu na neopranu tkaninu (PT). Unutar odabranih polimera uočavaju se razlike, na način da polimeri CMS, CMC+CMS dodani deterdžentu utječu na smanjenje negativnog naboja tako oprane pamučne tkanine. Polimeri CMC, CMC HV i CMC LV dodani deterdžentu djelovali su na povećanje negativnog naboja i bolji stupanj modifikacije u mekoj vodi na 40 °C, slika 67.

Zaključno, pri temperaturi pranja 40 °C u laboratorijskom uređaju utjecaj tvrdoće vode na promjenu zeta potencijala pamučne tkanine je neznatan.

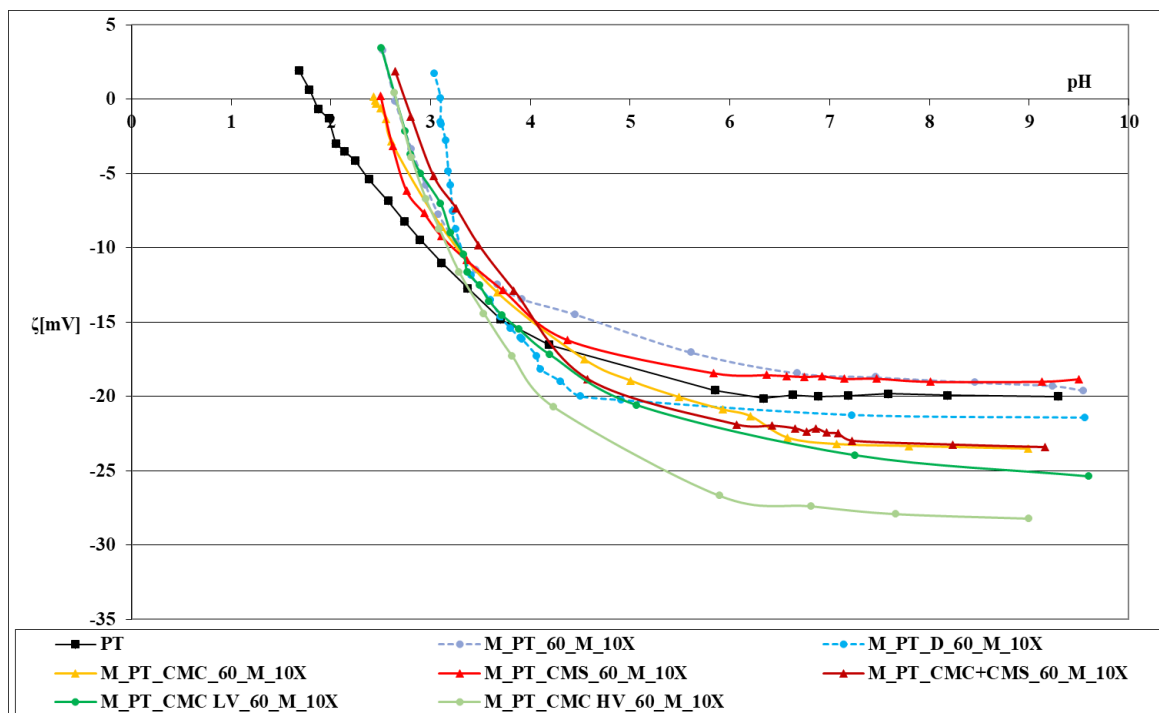
- tvrda voda, 60 °C



Slika 68 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 60 °C uz varijaciju uvjeta u tvrdoj vodi u Polymatu u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl

Pranje pamučne tkanine (PT) u tvrdoj vodi, deterdžentom i deterdžentom s polimerima (CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV i CMC HV) na 60 °C u tvrdoj vodi kroz 10 ciklusa utjecalo je na manji stupanj povećanja negativnog zeta potencijala u odnosu na 40 °C. Iznimno, polimer CMC HV i u ovim uvjetima ima najveći potencijal smanjenja zeta potencijala, odnosno niže vrijednosti u odnosu na neopranoj tkaninu PT, slika 68. Rezultati su potvrdili da pranje u tvrdoj vodi pri 60 °C ima utjecaj na djelovanje polimera.

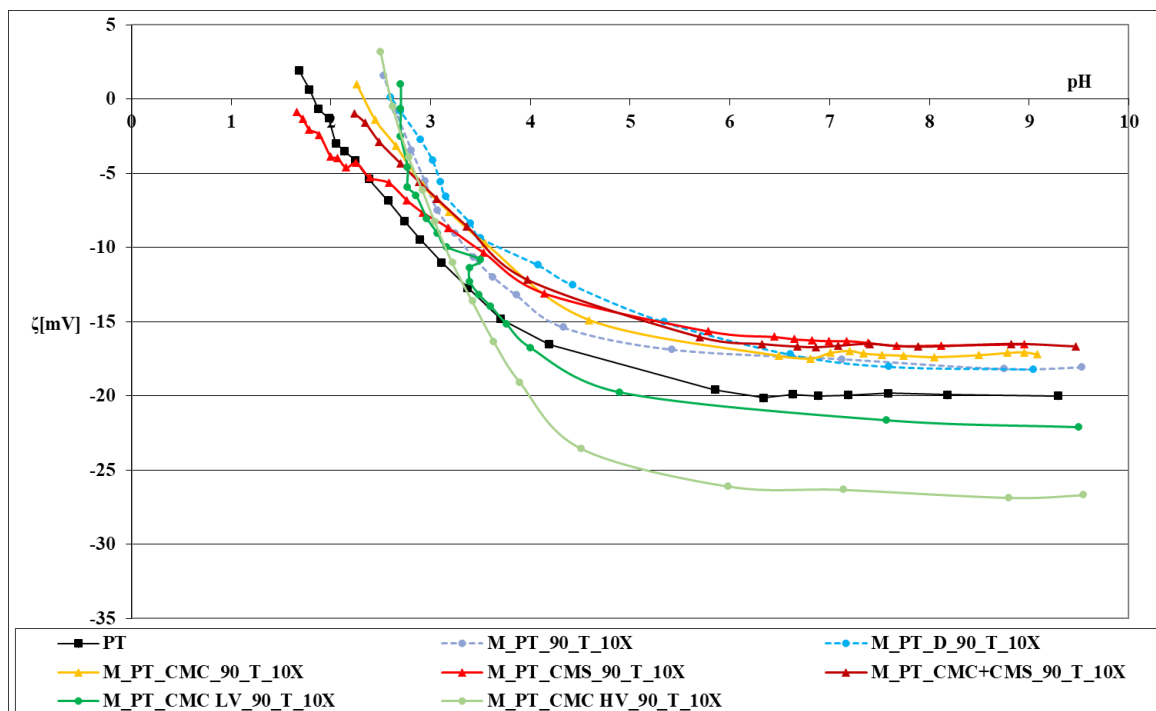
- meka voda, 60 °C



Slika 69 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 60 °C uz varijaciju uvjeta u mekoj vodi u Polymatu u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl

Pranje pamučne tkanine (PT) u mekoj vodi, deterdžentom i deterdžentom s polimerima (CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV i CMC HV) na 60 °C kroz 10 ciklusa, slika 69, utjecalo je na povećanje negativnog zeta potencijala pamučnih tkanina u odnosu na oprane u tvrdoj vodi pri 60 °C. Iznimno, polimer CMS je utjecao na smanjenje negativnog naboja pamučne tkanine u odnosu na nepranu. U ovim uvjetima najveći potencijal smanjenja zeta potencijala ima CMC HV.

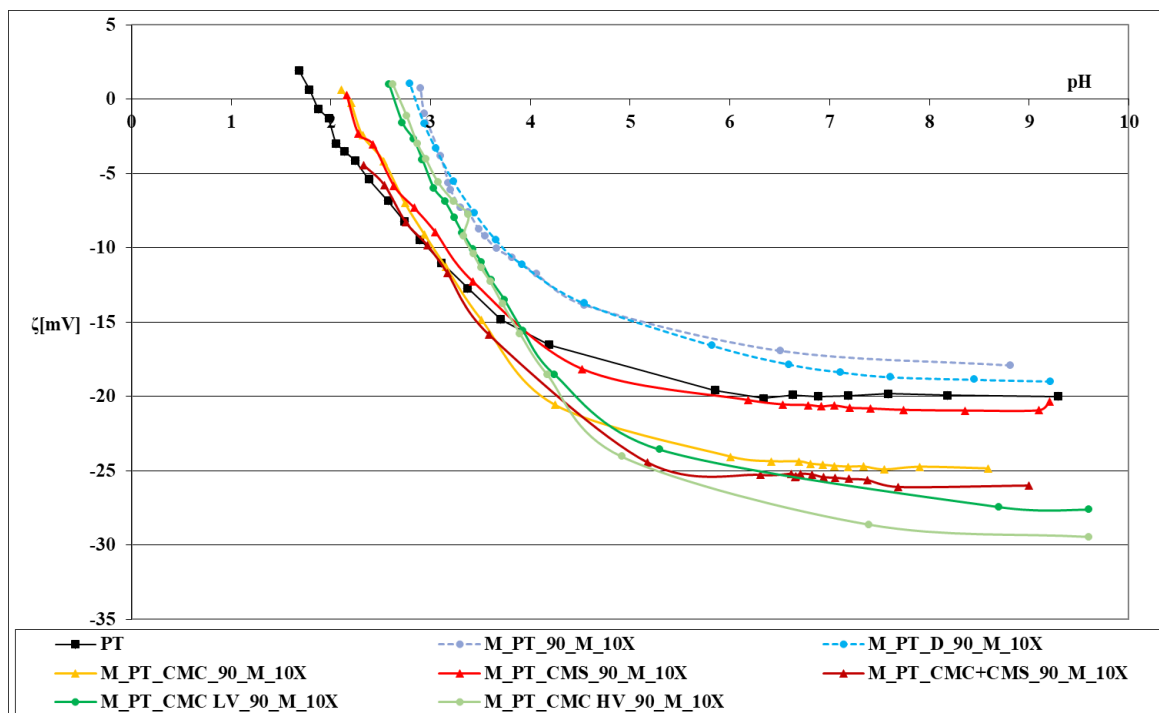
- tvrda voda, 90 °C



Slika 70 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 90 °C uz varijaciju uvjeta u tvrdoj vodi u Polymatu u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl

Pranje pamučne tkanine u tvrdoj vodi, deterdžentom i deterdžentom s polimerima (CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV i CMC HV) na 90 °C kroz 10 ciklusa utjecalo je na promjene vrijednosti zeta potencijala, slika 70. Uočavaju se znatne razlike u djelovanju polimera, tako CMC LV i CMC HV utječu na povećanje negativnog zeta potencijala, dok ostali polimeri (CMC, CMS i CMC+CMS) smanjuju negativan naboj u odnosu na nepranu pamučnu tkaninu. CMC HV i u ovim uvjetima ima najveći potencijal smanjenja zeta potencijala, odnosno niže vrijednosti u odnosu na PT. Tvrda voda prilikom pranja pri 90 °C u ovom sustavu ima utjecaj na djelovanje polimera.

- meka voda, 90 °C



Slika 71 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 90 °C uz varijaciju uvjeta u mekoj vodi u Polymatu u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl

Pranje pamučne tkanine u mekoj vodi, deterdžentom i deterdžentom s polimerima (CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV i CMC HV) na 90 °C kroz 10 ciklusa utjecalo je na promjene negativnog zeta potencijala tkanine, slika 71. Uočava se da pranje pamučne tkanine vodom i deterdžentom (bez polimera) smanjuje naboj površine oprane u odnosu na neoprano tkaninu. Djelovanje svih polimera CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV i CMC HV je nesmetano u mekoj vodi, pa utječu na povećanje negativnog zeta potencijala. Najslabiji učinak ima CMS, a najbolji CMC HV. Meka voda u pranju pri 90 °C u ovom sustavu nema utjecaj na djelovanje polimera.

#### 4.2.4.3 Usporedba naboja površine pamučne tkanine u alkalnom području

Zeta potencijal pamučnih tkanina razrađen u prethodnom poglavlju pokazao je razlike uvjetovane čimbenicima Sinner-ovog kruga u procesu pranja. Krivulje zeta potencijala opranih pamučnih tkanina uz dodatak modifikatora u odnosu na neoprano su u različitim odnosima ovisno o uvjetima pranja. Da bi se jasnije ukazalo na različit utjecaj modifikatora izdvojene su vrijednosti zeta potencijala u alkalnom području pri pH 9 te su usporedbe prikazane u tablicama od 24 do 27. Numerički su karakterizirani uzorci pamučnih tkanina, pri čemu je iskazan međusobni odnos opranih pamučnih tkanina (tablica 24 i 26) i njihov odnos prema neopranoj tkanini, koja je ovdje uzeta kao bazna (tablice 25 i 27).

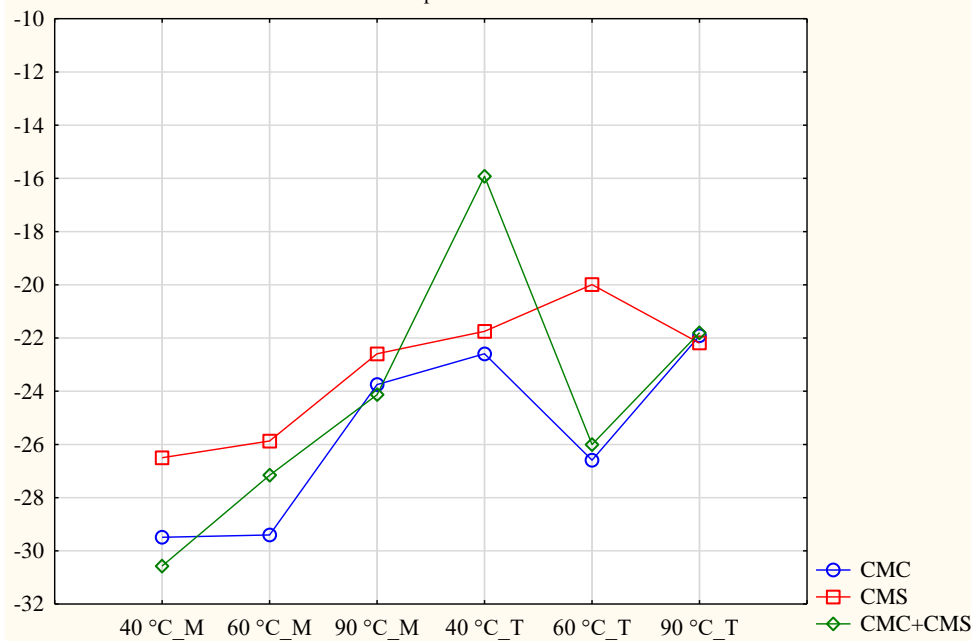
Tablica 24 Odnos naboja površine opranih pamučnih tkanina u laboratorijskoj perilici P u odnosu na nepranu

Obrada	T			M		
	40 °C	60 °C	90 °C	40 °C	60 °C	90 °C
CMC	-3	-3	-3	-2	-3	-2
CMS	-2	-1	-2	-1	-1	-1
CMC+CMS	-1	-2	-1	-3	-2	-3

-1 (najmanje negativna površina),

-3 (najviše negativna površina).

Zeta potencijal pamučnih tkanina opranih u laboratorijskoj perilici ovisno o temperaturi i tvrdoći vode kod pH9  
Spreadsheet1 6v\*3c



Slika 72 Zeta potencijal pamučnih tkanina opranih u laboratorijskoj perilici ovisno o temperaturi i tvrdoći vode kod pH 9

Tablica 25 Odnos naboja površine pamučnih tkanina opranih u laboratorijskoj perilici P u odnosu na baznu neoprano tkaninu (- negativniji od bazne, + pozitivniji od bazne)

Obrada	T			M		
	40 °C	60 °C	90 °C	40 °C	60 °C	90 °C
PT	bazni					
CMC	-2	-2	-3	-2	-3	-2
CMS	-1	1	-2	-1	-1	-1
CMC+CMS	1	-1	-1	-3	-2	-3

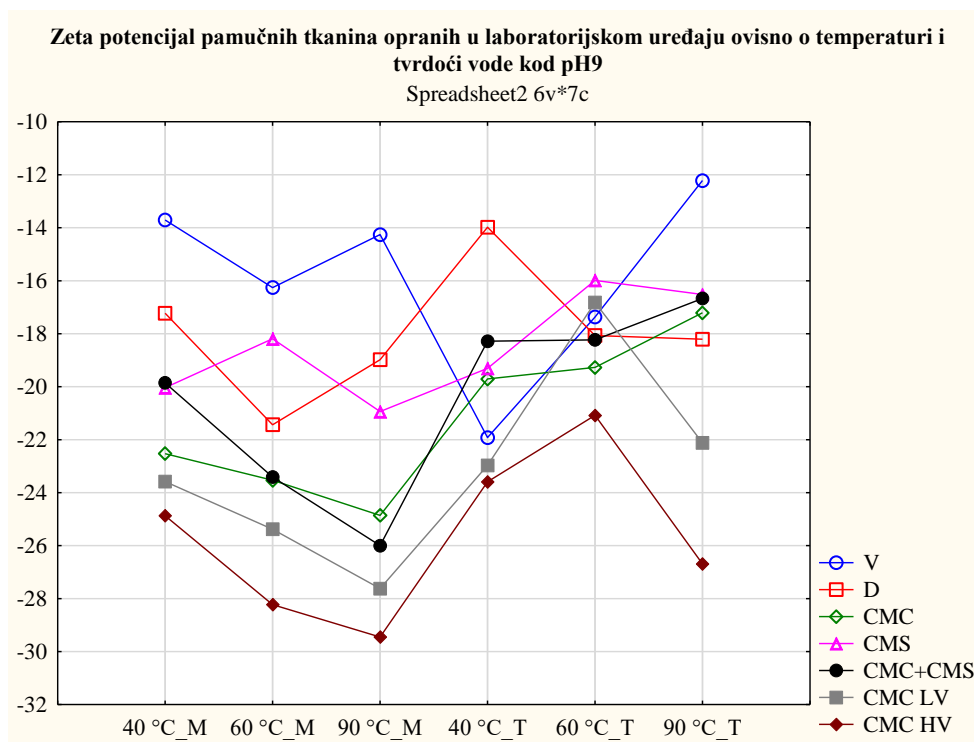
Vrijednosti u tablicama 24 i 25 su izdvojene kako bi se prikazale razlike u stupnju modifikacije pamučne tkanine u pranju deterdžentom s polimerima u laboratorijskoj perilici u odnosu na neoprano. Najjači utjecaj ima CMC u tvrdoj vodi dok se u mekoj vodi ovisno o temperaturi izmjenjuju CMC i CMC+CMS.

Tablica 26 Odnos naboja površine pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju M

Obrada	T			M		
	40 °C	60 °C	90 °C	40 °C	60 °C	90 °C
V	-2	-6	-5	-1	-2	-1
D	-1	-3	-4	-2	-3	-2
CMC	-5	-5	-3	-5	-4	-4
CMS	-4	-1	-1	-3	-1	-3
CMC+CMS	-3	-4	-2	-4	-4	-5
CMC LV	-6	-2	-6	-6	-6	-6
CMC HV	-7	-7	-7	-7	-7	-7

-1 (najmanje negativna površina),

-7 (najviše negativna površina).



Slika 73 Zeta potencijal pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju ovisno o temperaturi i tvrdoći vode kod pH 9

Tablica 27 Odnos naboja površine pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju M u odnosu na baznu neopranu tkaninu (- negativniji od bazne)

Obrada	T			M		
	40 °C	60 °C	90 °C	40 °C	60 °C	90 °C
PT	bazni					
V	3	0	1	1	1	2
D	4	3	1	2	-1	1
CMC	0	1	2	-2	-3	-2
CMS	1	5	3	-1	2	-1
CMC+CMS	2	2	3	1	-2	-3
CMC LV	-1	4	-1	-3	-4	-4
CMC HV	-2	-1	-2	-4	-5	-5

U tablicama 26 i 27 je prikazan odnos naboja površine tkanina opranih u laboratorijskom uređaju. Odnos naboja površine pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju (M) u tvrdoj i mekoj vodi pokazuje da CMC HV u svim analiziranim uvjetima tvrdoće vode i temperature ima najveći potencijal modifikacije, odnosno najviše povećava negativnu vrijednost zeta potencijala pamučne tkanine što je i osjenčavanjem naglašeno.



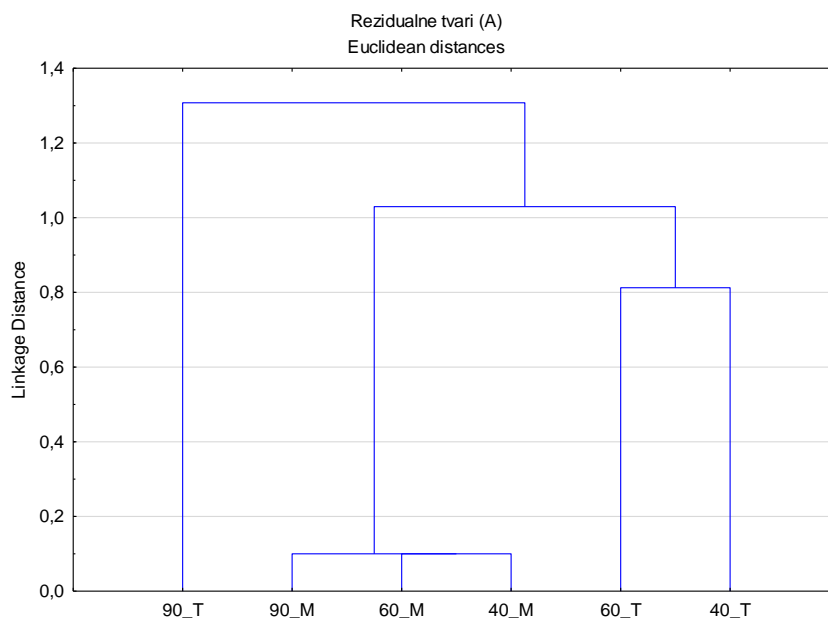
#### 4.2.5 Klaster analiza parametara u procesu pranja

Na osnovi baze podataka dobivene određivanjem sadržaja rezidualnih tvari te zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon pranja provedena je hijerarhijska klaster analiza (HCA) kako bi se definirao odnos pojedinih parametara, grupiranje odnosno utvrđivanje međusobnih sličnosti i razlika pri analiziranim uvjetima. Ova analiza uobičajeno se provodi u svrhu smanjenja dimenzionalnosti podataka bez gubitka važnih informacija. Za promatrani proces pranja u laboratorijskoj perilici i laboratorijskom uređaju identificiranje grupa sa sličnim karakteristikama doprinos je razumijevanju procesa pranja te smjernica za daljnje analize na tim grupama.

U skladu s tim prikazana je grupiranost prema tipu provedenog postupka u laboratorijskoj perilici (P) i laboratorijskom uređaju (M).

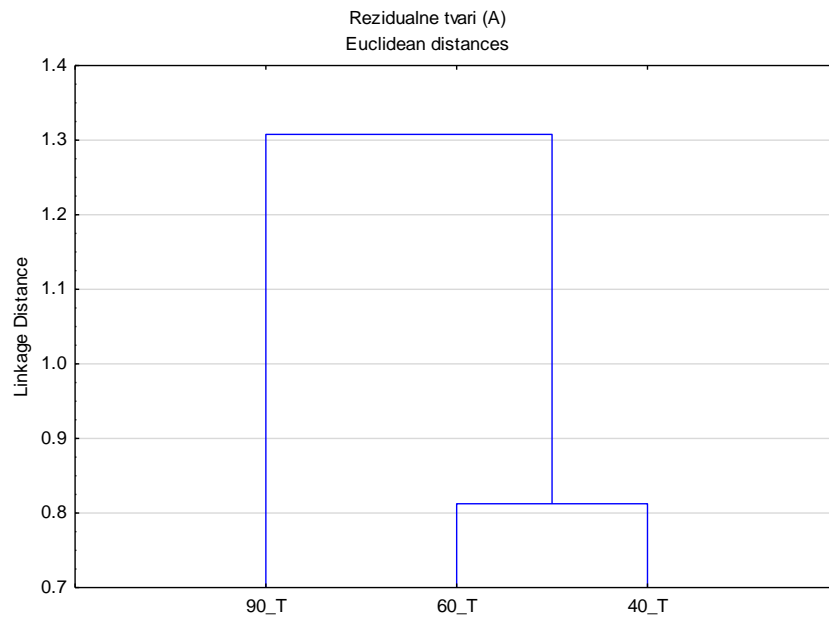
##### Laboratorijska perilica (P)

Međusobni utjecaj svih parametara u procesu pranja u laboratorijskoj perilici na sadržaj rezidualnih tvari nije moguće jednoznačno odrediti te je stoga provedena HCA. Dendrogram na slici 36 prikazuje međusobne odnose parametara tvrdoće vode i temperature te njihovo grupiranje u skupine prema homogenosti.

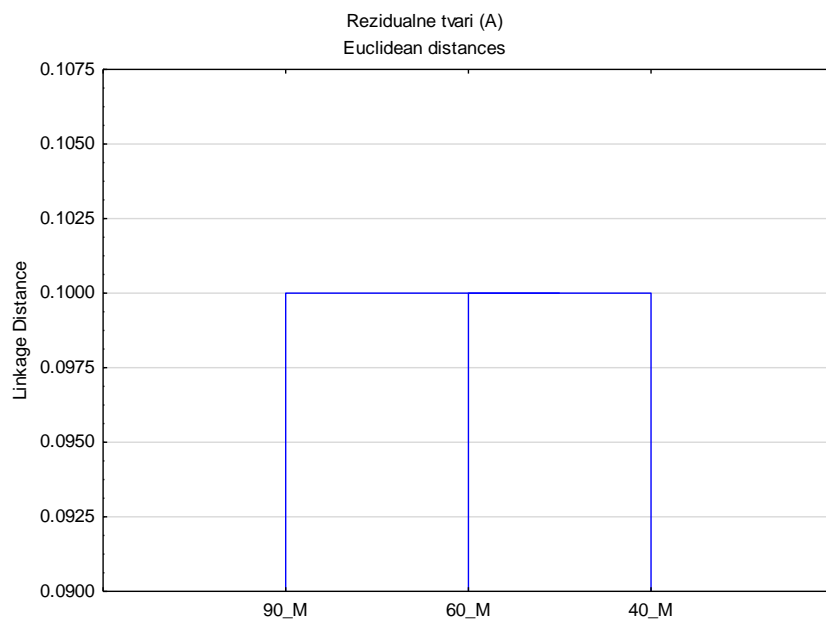


Slika 74 Dendrogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u laboratorijskoj perilici (P) ovisno o temperaturi i tvrdoći vode

Na dendrogramu prikazanom na slici 74 vidljiva je maksimalna homogenost unutar skupine parametara pranja u mekoj vodi te homogenost kod pranja u tvrdoj vodi na temperaturama 40 °C i 60 °C. Uočava se također i značajna razlika kod pranja u tvrdoj i mekoj vodi pri čemu je vidljivo izdvajanje parametara koji se odnose na pranje na 90 °C u tvrdoj vodi. Dobiveni rezultati ukazuju na značajan utjecaj temperature pranja na sadržaj rezidualnih tvari u tvrdoj vodi. Daljnjom hijerarhijskom klaster analizom obuhvaćeni su zasebno parametri pranja u tvrdoj vodi, slika 75 i mekoj vodi, slika 76.



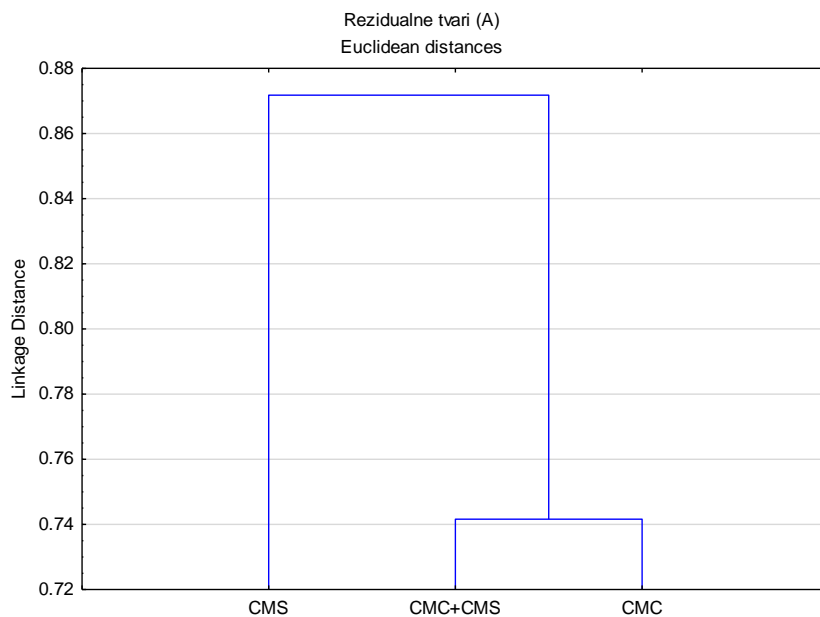
Slika 75 Dendrogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u tvrdoj vodi u laboratorijskoj perilici (P) ovisno o temperaturi



Slika 76 Dendrogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u mekoj vodi u laboratorijskoj perilici (P) ovisno o temperaturi

Dobiveni rezultati potvrđuju utjecaj temperature pranja u laboratorijskoj perilici na sadržaj rezidualnih tvari samo u kupelji za pranje pripremljenoj s tvrdom vodom, a posebice je istaknut utjecaj temperature od 90 °C.

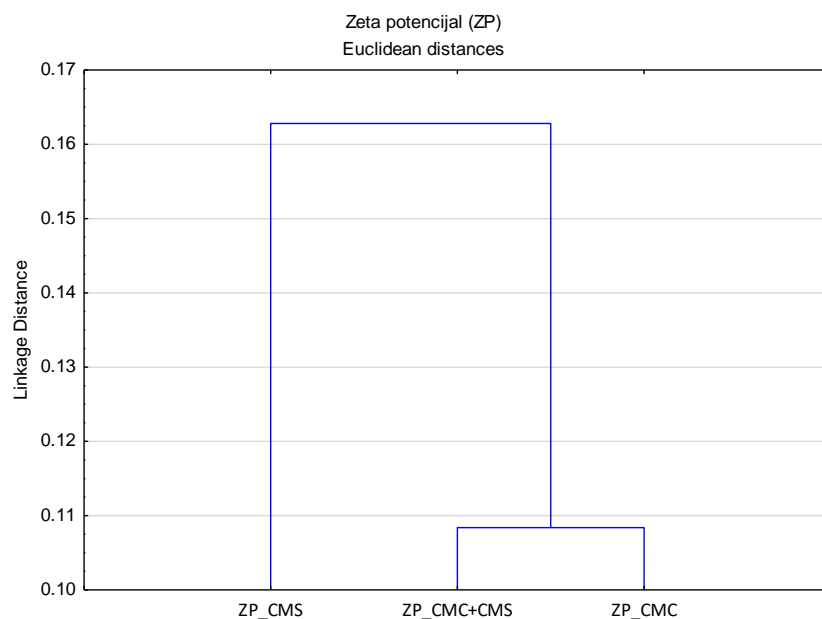
U svrhu definiranja utjecaja sastava deterdženta na sadržaj rezidualnih tvari oprane pamučne tkanine u laboratorijskoj perilici pri različitim temperaturama u mekoj i tvrdoj vodi provedena je HCA, a rezultati su prikazani dendogramom na slici 77.



Slika 77 Dendrogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u laboratorijskoj perilici (P) kao funkcija sastava kupelji

Dobiveno grupiranje prikazuje homogenost unutar skupine kojoj pripadaju CMC i mješavina CMC i CMS. Dodatak CMS u deterdžent za pranje pokazuje razlike u odnosu na mješavinu CMC i CMS kao dodatak deterdžentu što potvrđuje da je utjecaj CMC u mješavini dominantniji.

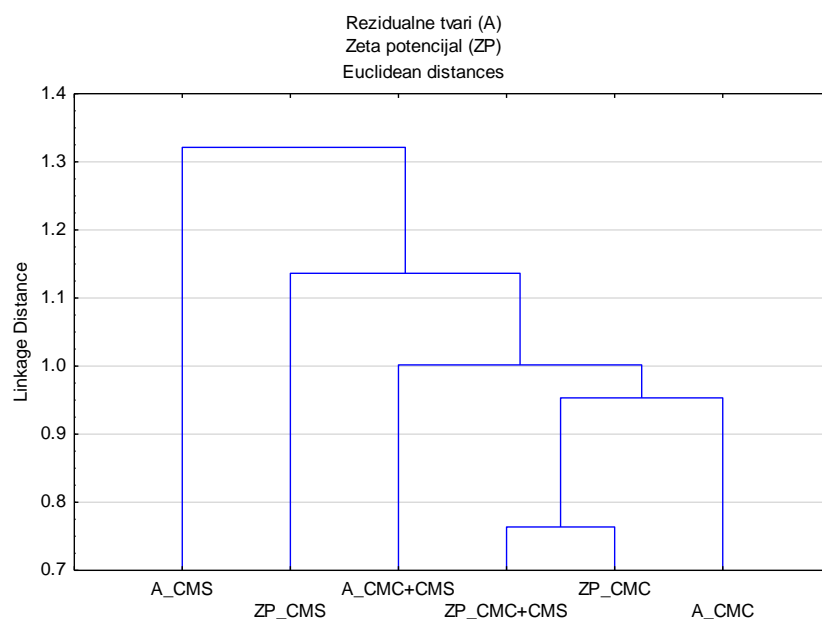
Međusobni utjecaj svih parametara pranja u mekoj i tvrdoj vodi, temperature i sastava deterdženta u procesu pranja u laboratorijskoj perilici na zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon pranja promatran je na osnovi rezultata HCA koji su prikazani dendogramom na slici 78.



Slika 78 Dendrogram zeta potencijala (ZP) pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) u mekoj i tvrdoj vodi pri različitim temperaturama kao funkcija sastava kupelji

Dobiveno grupiranje vidljivo na slici 78 prikazuje kao i kod sadržaja rezidualnih tvari homogenost unutar skupine kojoj pripadaju CMC i mješavina CMC i CMS te je i rezultatima zeta potencijala (ZP) potvrđen isti učinak dodatka CMC u deterdžent kao i dodatak mješavine CMC i CMS.

Nadalje je provedena HCA uzimajući u obzir istovremeno i sadržaj rezidualnih tvari i zeta potencijal, a rezultati su prikazani dendrogramom na slici 79.



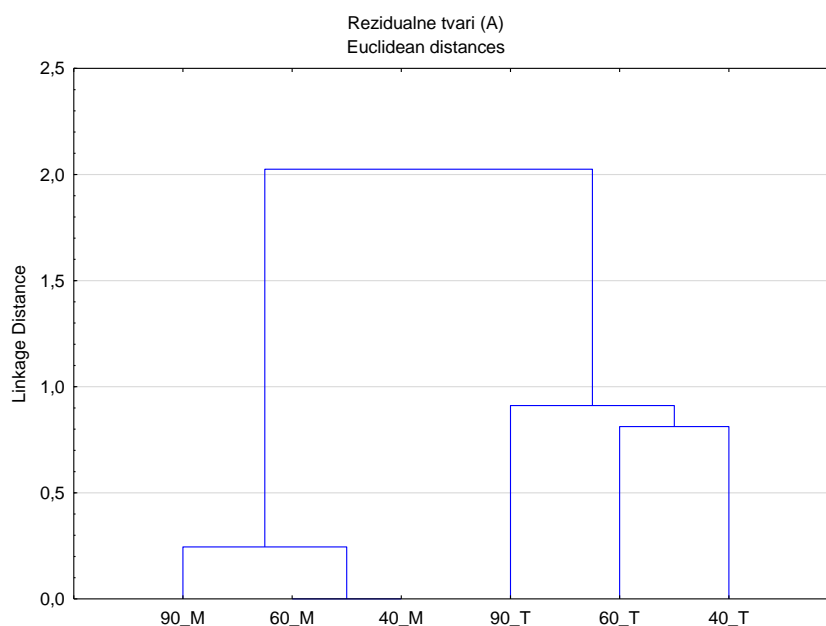
Slika 79 Dendrogram sadržaja rezidualnih tvari i zeta potencijala pri pH 9 pamučne tkanine oprane u laboratorijskoj perilici ovisno o sastavu deterdženta

Hijerarhijsko grupiranje na slici 79 prikazuje homogenost unutar skupine kojoj pripadaju podaci zeta potencijala (ZP) pamučne tkanine oprane s CMC i ZP pamučne tkanine oprane s CMC+CMS. Daljnje formiranje skupina sadržava podatke sadržaja rezidualnih tvari (A) također za tkanine oprane s CMC i CMC+CMS, što ukazuje na određenu sličnost. Zasebno izdvajanje CMS kao dodatka deterdžentu kod rezultata ZP i sadržaja rezidualnih tvari (A) ukazuje na postojanje razlika. Skupnim promatranjem utjecaja parametara, ranije spomenuto djelovanje dodatka CMS u deterdžentu u odnosu na dodatak CMC, ovime je potvrđeno. Utjecaj dodatka CMC deterdžentu sličniji je utjecaju mješavine CMC i CMS u deterdžentu u odnosu na CMS.

### Laboratorijski uređaj Polymat (M)

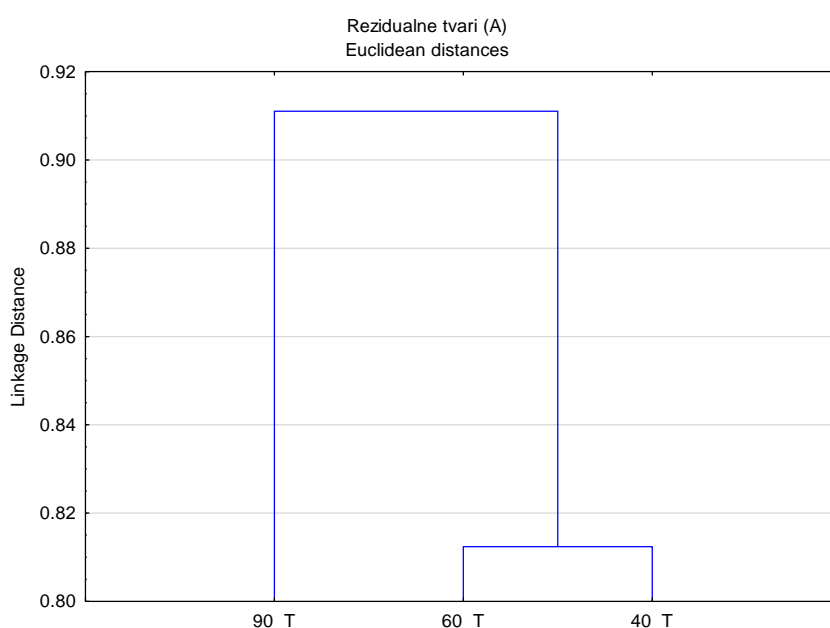
Međusobni utjecaj svih parametara u procesu pranja pamučne tkanine u laboratorijskom uređaju Polymat (M) prikazan je rezultatima grupiranja parametara procesa pranja nakon provedene HCA uzimajući u obzir i sadržaj rezidualnih tvari i zeta potencijal oprane pamučne tkanine određen pri pH 9.

Na temelju podataka o sadržaju rezidualnih tvari kao funkciji tvrdoće vode, temperature i sastava deterdženta u laboratorijskom uređaju (M) dobiveni su međusobni odnosi prikazani dendrogramom na slici 80.

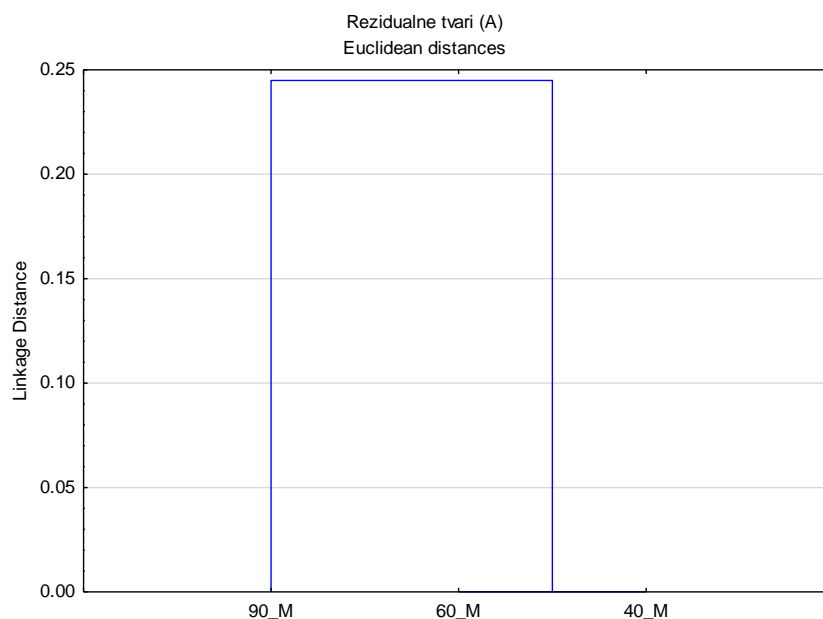


Slika 80 Dendrogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) ovisno o temperaturi i tvrdoći vode

Kao i kod pranja u laboratorijskoj perilici tako i kod pranja u laboratorijskom uređaju na dendogramu prikazanom na slici 80 vidljiva je razlika kod pranja u tvrdoj i mekoj vodi, maksimalna homogenost unutar skupine parametara pranja u mekoj vodi te homogenost kod pranja u tvrdoj vodi na temperaturama 40 °C i 60 °C. S obzirom na vidljivo izdvajanje temperature od 90 °C dobiveni rezultati ukazuju na značajan utjecaj temperature pranja na sadržaj rezidualnih tvari u tvrdoj vodi. Daljnjom hijerarhijskom klaster analizom obuhvaćeni su zasebno parametri pranja u laboratorijskom uređaju u tvrdoj vodi, slika 81 i mekoj vodi, slika 82.



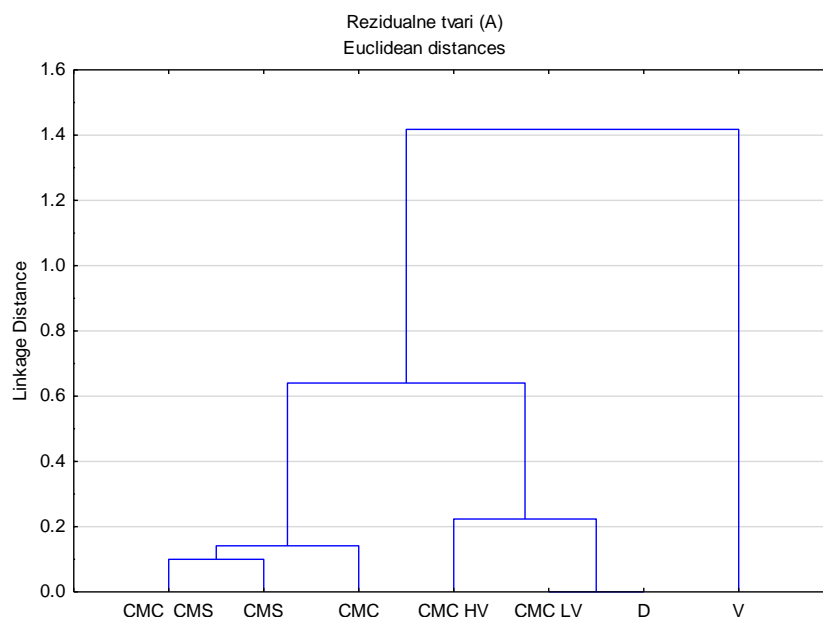
Slika 81 Dendrogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) u tvrdoj vodi kao funkcija temperature i sastava deterdženta



Slika 82 Dendrogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) u mekoj vodi kao funkcija temperature i sastava deterdženta

Prikazani rezultati na slikama 81 i 82 potvrđuju utjecaj temperature pranja od 90 °C na sadržaj rezidualnih tvari oprane pamučne tkanine u (M) samo pri pranju u tvrdoj vodi. Vidljiv je isti trend kao i kod pranja u laboratorijskoj perilici, ali je potrebno naglasiti manji utjecaj temperature na što ukazuju dobivene manje vrijednosti udaljenosti u odnosu na pranje u laboratorijskoj perilici (P).

U svrhu definiranja utjecaja sastava deterdženta na sadržaj rezidualnih tvari oprane pamučne tkanine u laboratorijskom uređaju (M) pri različitim temperaturama u mekoj i tvrdoj vodi provedena je HCA, a rezultati su prikazani dendrogramom na slici 83.



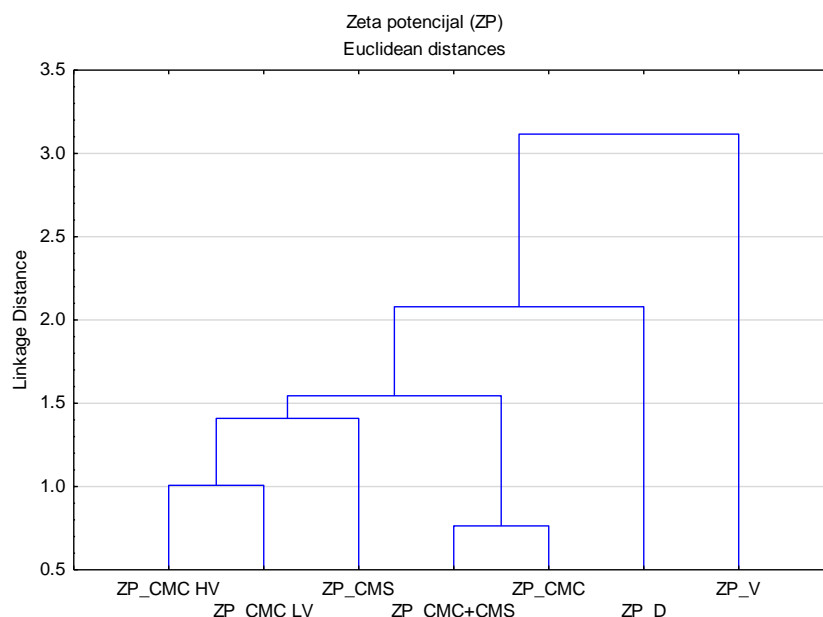
Slika 83 Dendrogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) u mekoj i tvrdoj vodi kao funkcija sastava kupelji

Rezultati HCA pokazuju homogenost unutar skupina deterdženta s dodatkom CMC, CMC+CMS i CMS te homogenost unutar skupine CMC HV, CMC LV i deterdženta. Međutim, zasebnu skupinu čini V (pamučna tkanina oprana u vodi), koja se izdvaja u odnosu na prethodno spomenute skupine.

Dobiveni rezultati ukazuju na značajan utjecaj dodatka deterdženta na sadržaj rezidualnih tvari pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) u odnosu na pranje u vodi bez deterdženta. Pripadnost istim skupinama deterdženta i deterdženta s dodatkom CMC polimera visoke i niske viskoznosti, mala razlika u odnosu na skupinu deterdženta s dodatkom CMC i CMS te njihove mješavine potvrđuju značajniji učinak CMC u odnosu na CMS u njihovoj smjesi kao i kod pranja u laboratorijskoj perilici.

Provedenom HCA na temelju podataka određivanja zeta potencijala oprane pamučne tkanine određenog pri pH 9 kao funkciji tvrdoće vode, temperature i sastava deterdženta u laboratorijskom uređaju (M) dobiveni su međusobni odnosi prikazani dendogramom na slici 84.





Slika 84 Dendrogram zeta potencijala (ZP) pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) u mekoj i tvrdoj vodi pri različitim temperaturama kao funkcija sastava kupelji

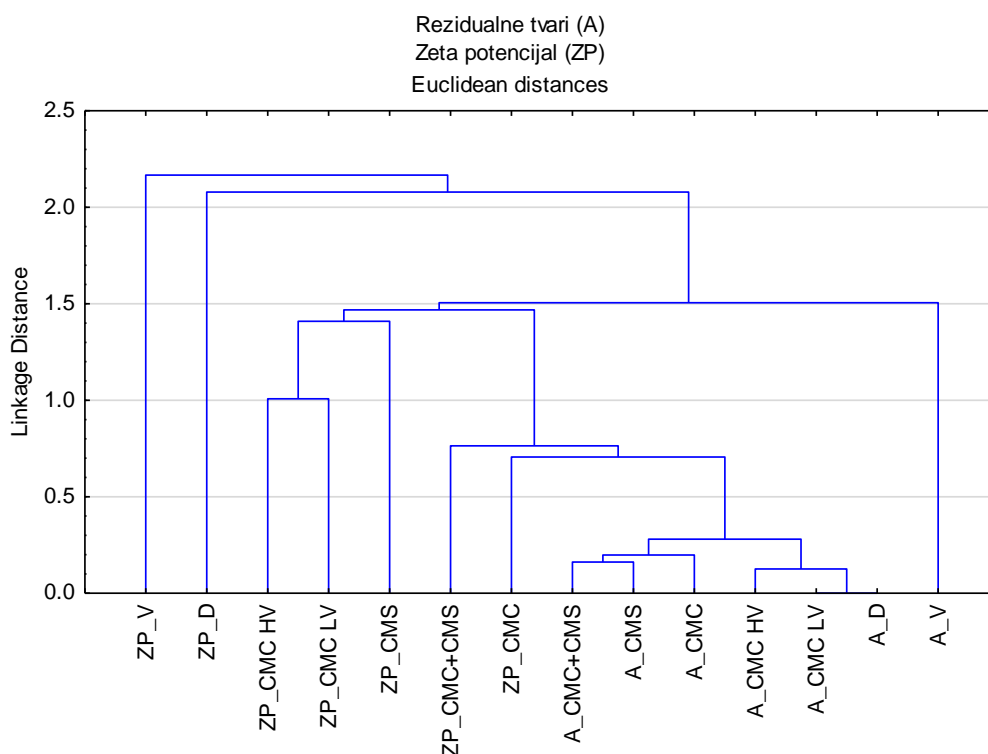
Rezultati hijerarhijskog grupiranja na slici 84 pokazuju homogenost unutar skupina deterdženta s dodatkom CMC i mješavine CMC+CMS te homogenost unutar skupine CMC HV, CMC LV na koju se u slijedećoj hijerarhijskoj razini grupira CMS. A u slijedećim razinama dolaze deterdžent i nakon toga podaci zeta potencijala (ZP) za pamučnu tkaninu opranu u vodi.

Dobiveni rezultati ukazuju na značajan utjecaj dodatka deterdženta i deterdženta s polimerima na zeta potencijal pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) u odnosu na pranje u vodi bez deterdženta.

Značajniji učinak CMC u odnosu na CMS u njihovoj smjesi dobiven ranije na osnovi podataka sadržaja rezidualnih tvari (A) i u laboratorijskom uređaju (P) i u laboratorijskoj perilici (M) ovdje se uzimajući u obzir rezultate ZP ne može potvrditi.

Pripadnost istoj skupini deterdženta s dodatkom CMC HV i CMC LV te povezivanje CMS na slijedećoj razini ukazuje na promjene stanja površine nastale na pamučnoj tkanini pri pranju deterdžentom uz dodatak CMS. Na slijedećoj hijerarhijskoj razini ove skupine povezane su s homogenom skupinom koju sačinjavaju CMC i smjesa CMC i CMS te nije moguće u potpunosti odbaciti ranije iznesene tvrdnje (kod sadržaja rezidualnih tvari i kod pranja u laboratorijskoj perilici) o utjecaju CMC u njihovoj smjesi.

Za daljnje potvrđivanje međusobnih odnosa parametara pri pranju pamučne tkanine provedena je HCA uzimajući u obzir istovremeno i sadržaj rezidualnih tvari (A) i zeta potencijal (ZP), a rezultati su prikazani dendogramom na slici 85.



Slika 85 Dendogram sadržaja rezidualnih tvari i zeta potencijala pri pH 9 pamučne tkanine oprane u laboratorijskoj uređaju ovisno o sastavu deterdženta

Hijerarhijsko grupiranje na slici 85 prikazuje homogenosti unutar istih skupina dobivenih zasebno na podacima sadržaja rezidualnih tvari i podacima zeta potencijala, ali je važno istaknuti različite hijerarhijske razine pri formiranju skupina te dobivene udaljenosti odnosno sličnosti među skupinama. Nakon formiranja svih skupina koje se odnose na sadržaj rezidualnih tvari formira se slijedeća hijerarhijska razina s podacima ZP CMC i nakon toga ZP CMC+CMS. Slijedeću hijerarhijsku skupinu tvore s homogenom skupinom ZP CMC HV i ZP CMC LV i ZP CMS. Sadržaj rezidualnih tvari pamučne tkanine oprane vodom, ZP pamučne tkanine oprane deterdžentom te ZP pamučne tkanine oprane u vodi su slijedeće tri hijerarhijske razine na većim vrijednostima udaljenosti u odnosu na udaljenost dobivenu za sadržaj rezidualnih tvari.

Ovdje je potrebno još jednom ukazati na svrhu provedbe HCA te naglasiti da se koristi za identificiranje grupa sa sličnim karakteristikama. Nadalje, važno je napomenuti da će se primjenom metode HCA uvijek naći struktura u podacima pa nije moguće svako dobiveno

grupiranje objasniti i procijeniti opravdanost grupiranja jer je ova metoda deskriptivna i ne teorijska te ne postoji statistička osnova za zaključivanje sa uzorka na populaciju i ne postoji garancija jedinstvenog rješenja.

#### 4.2.6 Stupanj bjeline pamučnih tkanina prije i nakon modifikacije odabranim polimerima u pranju

Zadatak optičkog bjelila kao sastojka deterdženata je kumulativno povećanje bjeline opranih tekstilija i nadoknađivanje gubitka optičkog bjelila tijekom uporabnog ciklusa, njege i nošenja [134, 135].

Optičko bjelilo stilbenskog tipa namijenjeno celuloznim materijalima i njihovim mješavinama u širokom temperaturnom rasponu ugrađeno je u analizirani deterdžent koji u svom sastavu ima natrijev perkarbonat kao kemijsko bijelilo. Specifičan cilj ovog rada nije analiza i vrednovanje stupnja bjeline opranih pamučnih materijala, ali unatoč tome ovaj parametar bitan je za praćenje stupnja inhibiranja prjelaza prljavština na standardne pamučne tkanine prije i nakon modifikacije.

Modifikacija tkanina provedena je kroz sekundarni protokol pranja pamučnih tkanina deterdžentom u koji su dodani različiti polimeri (CMC, CMS, CMC LV i CMC HV) u tvrdoj i mekoj vodi na temperaturama 40 °C, 60 °C i 90 °C kroz 10 ciklusa. U tablicama 28 i 29 prikazan je ovaj sekundarni učinak u pranju - stupanj bjeline ( $W_{GG}$ ) modificiranih pamučnih tkanina uz varijaciju uvjeta pranja: sastav kupelji, voda (tvrda i meka), temperatura (40 °C, 60 °C i 90 °C) i uređaja: laboratorijska perilica (P) i laboratorijski uređaj (M) u odnosu na nepranu.

Tablica 28 Stupanj bjeline pamučnih tkanina (PT) prije i nakon 10. ciklusa pranja baznim deterdžentom različitog sastava (CMC, CMS, CMC i CMS) na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdj i mekoj vodi u laboratorijskoj perilici, P

Laboratorijska perilica, P	voda	$W_{GG}$		
		40 °C	60 °C	90 °C
Uzorak				
PT	-	45,90		
P_PT_CMC_T_10x	T	200,60	219,60	219,40
P_PT_CMS_T_10x		197,40	211,20	221,60
P_PT_CMC+CMS_T_10x		195,60	208,40	224,40
P_PT_CMC_M_10x	M	205,40	231,40	231,80
P_PT_CMS_M_10x		211,80	213,00	232,40
P_PT_CMC+CMS_M_10x		210,60	218,80	233,80

Neoprana pamučna tkanina predbijeljena je i ima nizak stupanj bjeline ( $W_{GG}=45,9$ ). Bjeline modificiranih pamučnih tkanina nakon 10. ciklusa pranja deterdžentom uz inhibitore CMC, CMS i CMC+CMS u tvrdoj vodi u laboratorijskoj perilici znatno su povećane u odnosu na stupanj bjeline neoprane tkanine. Visoke vrijednosti stupnja bjeline pamučnih tkanina potvrđuju dobar učinak kemijskog bjelila i kumulativno djelovanje optičkog bjelila kroz 10 ciklusa pranja u tvrdoj vodi, a indeks rasta bjeline opranih tkanina povećava se s porastom temperature. Učinak deterdženta s CMS sličan je učinku deterdženta s CMC, a njihova mješavina kroz 10 ciklusa djeluje po istom principu.

Vrijednosti stupnja bjeline pamučnih tkanina opranih u mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C nakon 10 ciklusa u laboratorijskoj perilici (P) nešto su više u odnosu na oprane u tvrdoj vodi. Povoljan utjecaj meke vode očituje se kroz stupnjeve bjeline tkanine oprane na 40 °C (> 200,0) kao i na 60 °C i 90 °C. To je očekivano obzirom da pranje u nedovoljno omekšanoj vodi radi rezidualnih anorganskih supstanci može na površini tekstilija dovesti do promjena svojstava tekstilnih materijala, pri čemu je bjelina gotovo redovito smanjena [25, 136, 137].

Tablica 29 Stupanj bjeline pamučnih tkanina (PT) prije i nakon 10. ciklusa pranja u vodi, baznim deterdžentom bez i uz dodatak inhibitora posivljenja (CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV i CMC HV) na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdj i mekoj vodi u laboratorijskom uređaju, M

Laboratorijski uređaj, M	voda	W <sub>GG</sub>		
		40 °C	60 °C	90 °C
Uzorak				
PT	-	45,90		
M_PT_T_10X	T	46,20	33,20	26,60
M_PT_D_T_10x		130,60	135,60	140,40
M_PT_CMC_T_10x		89,80	93,00	92,80
M_PT_CMS_T_10x		91,80	89,80	96,20
M_PT_CMC+CMS_T_10x		90,60	87,80	100,60
M_PT_CMC LV_T_10x		131,20	135,00	143,80
M_PT_CMC HV_T_10x		126,40	126,00	141,60
M_PT_M_10X	M	34,20	34,80	26,00
M_PT_D_M_10x		135,20	143,20	155,00
M_PT_CMC_M_10x		86,40	90,60	101,20
M_PT_CMS_M_10x		80,00	93,40	96,40
M_PT_CMC+CMS_M_10x		79,60	92,60	89,00
M_PT_CMC LV_M_10x		134,80	136,00	162,00
M_PT_CMC HV_M_10x		137,40	138,40	155,20

Pranje pamučne tkanine u tvrdoj vodi bez dodatka deterdženta dovelo je do pada stupnja bjeline, koji je naglašeniji na povišenim temperaturama. To se može vezati uz utjecaj rezidualnih tvari koje se generiraju na visokim temperaturama u tvrdoj vodi.

Pranje pamučnih tkanina deterdžentom u tvrdoj vodi na povišenim temperaturama utjecalo je na porast stupnja bjeline, što se veže uz kemijsko bjelilo i stilbenski derivat u deterdžentu. Dodatak CMC, CMS i CMC + CMS u i deterdžent za pranje pamučne tkanine utjecao je na blagi pad stupnja bjeline u odnosu na deterdžent bez inhibitora posivljenja. Sveukupno gledajući vrijednosti bjeline opranih pamučnih tkanina, CMC LV i CMC HV povoljniji su u odnosu na CMC i CMS.

Stupnjevi bjeline pamučne tkanine oprane deterdžentom i deterdžentom s CMC, CMS i njihovom kombinacijom u mekoj vodi nakon 10. ciklusa slični su vrijednostima bjeline pamučnih tkanina opranih u tvrdoj vodi. Najviši stupanj bjeline imaju pamučne tkanine oprane deterdžentom s CMC LV i CMC HV na 90 °C u laboratorijskom uređaju (M).

Utjecaj temperature i uvjeta pranja na promjene stupnja bjeline pamučne tkanine oprane kroz 10 ciklusa u laboratorijskom uređaju (M) niže su u odnosu na bjeline u laboratorijskoj perilici (P). Ovakav odnos moguće je rastumačiti kontaminacijom pojedinih uzoraka u nekom od ciklusa pranja u laboratorijskom uređaju (M).

### **4.3 Karakterizacija pamučne tkanine prije i nakon djelovanja odabranih polimera - inhibitora posivljenja (IP) u pranju – III cjelina**

EMPA standardne tkanine kao donori prljavština oprane su u svim uvjetima pranja s ciljem vrednovanja primarnog učinka kroz sastav kupelji, temperature pranja, kvalitete vode i laboratorijskih sustava.

Tablica 30 Specifikacija EMPA standardnih tkanina - donori zaprljanja

Oznaka	Zaprljanje	Sirovinski sastav tkanine - nosača	Karakteristika učinka
E-101	čađa u maslinovom ulju	pamuk, 100 %	opći
E-104	čađa u maslinovom ulju	poliester/pamuk 65 %/35 %	
E-114	crveno vino	pamuk, 100 %	izbjeljivanje
E-116	krv, mlijeko i tinta	pamuk, 100 %	proteolitički

Donori prljavština specificirani u tablici 30 pripadaju različitim skupinama prljavština: E-101 i E-104 pripadaju skupini pigmentnih i masnih, E-114 taninskom zaprljanju, a E-116 proteinskom.

#### 4.3.1 Primarni učinak – remisije sa standardnih donora zaprljanja (EMPA)

Primaran učinak u pranju predstavlja moć uklanjanja prljavština, a vrednuje se najčešće unutar 1-3 ciklusa [138]. Moć uklanjanja pigmenta u masnoći predstavlja opći učinak u pranju i iziskuje sinergiju svih čimbenika Sinner-ovog kruga. Taninska se uklanjaju fizikalno-kemijskim djelovanjem bjelila i njihovih aktivatora, a proteinska zaprljanja djelovanjem enzima proteaze. U uklanjanju ovih prljavština temperatura pranja i mehanika uz navedene sastojke predstavljaju značajne čimbenike procesa. Bjelila razvijaju bolji oksidacijski potencijal na višim temperaturama, a proteinska zaprljanja se djelovanjem enzima proteaze razgrađuju pri nižim temperaturama [5].

U tablici 31 prikazani su rezultati mjerenja remisije ( $R_{460}$ ) neopranih standardno zaprljanih donora.

Tablica 31 Rezultati remisije standardno zaprljanih tkanina – donora zaprljanja

EMPA standardni donori zaprljanja	E-101	E-104	E-114	E-116
$R_{460}$	16,62	11,91	45,44	13,20

Remisije s tkanina E-101, E-104 i E-116 su slične, a njihova vrijednost upućuje na tamnija zaprljanja. Donor E-114, zaprljanje od crvenog vina, ima znatno višu remisiju, odnosno slabiji intenzitet obojenja u odnosu na prethodno tri opisana donora.

Svi donori prljavština uz pamučni balast su oprani u 1. ciklusu pranja u laboratorijskoj perilici (P) u varijacijama kupelji, tablica 32. Dobivene razlike u vrijednostima remisije na 460 nm sa standardno zaprljanih tkanina prije i nakon pranja ( $\Delta R_{460}$ ) i suma razlika remisije ( $\Sigma \Delta R_{460}$ ) namijenjene su vrednovanju ukupnog učinka u pranju.

Tablica 32 Rezultati remisije standardno zaprljanih tkanina (E- 101, E-104, E-114 i E-116) nakon pranja u 1. ciklusu deterdžentom različitog sastava u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskoj perilici (P)

Laboratorijska perilica, P			$\Delta R_{460}$ standardna zaprljanja, EMPA (1. ciklus)				
IP	voda	T [°C]	E-101	E-104	E-114	E-116	$\Sigma \Delta R_{460}$
CMC	T	40	9,09	12,92	10,98	0,88	33,87
		60	10,17	11,90	13,54	1,11	36,71
		90	10,92	13,25	12,29	1,88	38,35
	M	40	16,80	14,36	18,62	2,49	52,27
		60	27,32	25,70	33,89	4,09	91,00
		90	20,50	16,50	17,50	3,22	57,72
CMS	T	40	18,67	17,84	22,23	2,81	61,55
		60	16,49	16,84	17,26	2,56	53,15
		90	15,59	17,37	26,67	2,85	62,49
	M	40	16,19	20,37	19,42	4,95	60,92
		60	15,50	23,67	21,50	1,92	62,60
		90	20,60	16,27	19,95	3,32	60,15
CMC+CMS	T	40	22,96	23,04	27,17	2,85	76,02
		60	18,49	20,63	30,62	5,38	75,11
		90	24,75	18,95	32,42	2,70	78,83
	M	40	21,06	21,14	21,19	3,31	66,70
		60	18,17	18,81	15,61	2,41	55,00
		90	22,46	21,46	21,56	2,25	67,73

Vrijednosti razlika u remisiji ( $\Delta R_{460}$ ) donora pigmenta u masnoći s pamučne (E-101) i PES/pamučne tkanine (E-104) više su u mekoj nego u tvrdoj vodi. Uz povoljno djelovanje meke vode, povećanje temperature pranja također povoljno utječe na uklanjanje prljavština u pranju deterdžentom s CMC, CMS i CMC+CMS. Utjecaj tvrdoće vode na uklanjanje crvenog vina s pamučne tkanine (E-114) je neznatan, a u skladu s prethodno istaknutim djelovanjem bjelila, nešto slabiji učinak postignut je na temperaturi 40 °C. Deterdžent ne sadrži enzim proteazu, pa se niske razlike u remisiji tkanine E-116 mogu pripisati slabijem sinergijskom učinku svih čimbenika u procesu.

Pranje u laboratorijskom uređaju, M, provedeno je kroz veći broj parametara: tvrda i meka voda, deterdžent, te deterdžent i inhibitor posivljenja (CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV i CMC HV), tablica 33.

Tablica 33 Rezultati remisije EMPA tkanina nakon pranja u 1. ciklusu s varijacijom sastava kupelji i temperature u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

Laboratorijski uređaj, M			$\Delta R_{460}$ standardna zaprljanja, EMPA (1. ciklus)				
IP	voda	T [°C]	E-101	E-104	E-114	E-116	$\Sigma \Delta R_{460}$
-	T	40	2,04	0,74	11,08	2,01	15,88
		60	0,71	1,74	13,20	2,01	17,67
		90	2,35	1,97	8,81	3,31	16,44
	M	40	2,20	1,71	15,17	1,15	20,24
		60	1,69	3,21	20,20	2,85	27,95
		90	2,78	3,23	20,35	6,50	32,85
D	T	40	2,07	0,98	18,65	9,83	31,53
		60	2,93	2,72	20,94	15,09	41,69
		90	2,37	2,75	22,19	17,35	44,66
	M	40	4,62	2,03	21,32	10,78	38,75
		60	4,01	2,31	24,66	16,81	47,79
		90	2,59	2,98	26,64	18,05	50,26
CMC	T	40	9,09	12,92	10,98	0,88	33,87
		60	18,67	17,84	22,23	2,81	61,55
		90	22,96	23,04	27,17	2,85	76,02
	M	40	15,98	13,12	13,16	4,61	46,87
		60	24,08	24,03	30,78	3,38	82,28
		90	21,47	22,82	23,20	2,81	70,29
CMS	T	40	10,17	11,90	30,62	1,11	53,79
		60	16,49	16,84	17,26	2,56	53,15
		90	18,49	20,63	30,62	5,38	75,11
	M	40	10,63	16,32	26,70	4,99	58,65
		60	14,49	19,84	18,97	2,03	55,33
		90	21,07	17,34	14,04	2,56	55,01
CMC+CMS	T	40	10,92	13,25	12,29	1,88	38,35
		60	15,59	17,37	26,67	2,85	62,49
		90	24,75	18,95	32,42	2,70	78,83
	M	40	12,97	18,57	19,56	2,89	53,98
		60	17,33	17,51	22,35	2,39	59,58
		90	23,04	19,76	27,79	2,85	73,45
CMC LV	T	40	2,81	0,96	19,54	12,73	36,04
		60	1,70	2,79	21,36	18,36	44,21
		90	0,25	1,12	22,48	18,41	42,26
	M	40	2,40	1,09	21,79	11,35	36,63



Laboratorijski uređaj, M			$\Delta R_{460}$ standardna zaprljanja, EMPA (1. ciklus)				
IP	voda	T [°C]	E-101	E-104	E-114	E-116	$\Sigma \Delta R_{460}$
		60	4,62	0,68	24,08	16,47	45,84
		90	5,14	2,09	26,53	16,91	50,66
CMC HV	T	40	1,28	1,17	18,89	12,40	33,74
		60	2,76	3,47	20,45	16,63	43,31
		90	2,48	2,54	21,46	18,52	44,99
	M	40	3,34	1,03	22,21	9,20	35,78
		60	3,85	2,85	24,61	12,13	43,43
		90	4,49	2,95	26,47	17,87	51,78

Učinak u pranju svih donora (E-101, E-104, E-114 i E-116) deterdžentom uz dodatak CMC, CMS i CMC+CMS u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskom uređaju (M) slabiji je nego u laboratorijskoj perilici. Ovaj rezultat može biti uvjetovan slabijom mehanikom uređaja u odnosu na perilicu.

Razlike u remisiji svjetla s donora E-114 i E-116 opranih deterdžentom s CMC LV i CMC HV su veće nego u pranju deterdžentom s CMC i CMS na svim temperaturama. Ovo povećanje je utjecalo na bolji opći učinak u pranju s CMC LV i CMC HV u odnosu na CMC i CMS.

Primarni učinak je ponovljen u 11. ciklusu pri čemu su se spektralne vrijednosti EMPA donora vrednovale ovisno o sastavu kupelji, temperaturi, tvrdoći vode u laboratorijskom uređaju (M), tablica 34.

Tablica 34 Rezultati remisije EMPA tkanina nakon pranja u 11. ciklusu deterdžentom različitog sastava u tvrdoj i mekoj vodi

Laboratorijski uređaj, M			$\Delta R_{460}$ (11. ciklus)				
IP	voda	T [°C]	E-101	E-104	E-114	E-116	$\Sigma \Delta R_{460}$
CMC	T	40	4,98	3,31	9,59	9,23	27,10
		60	5,84	2,90	11,42	13,09	33,26
		90	9,52	4,90	18,99	22,70	56,12
	M	40	5,31	3,34	11,57	11,06	31,28
		60	7,56	2,74	12,82	14,18	37,30
		90	9,12	6,75	27,76	30,08	73,71
CMS	T	40	3,94	2,41	9,66	9,65	25,66
		60	5,69	2,21	10,41	13,73	32,03
		90	5,36	5,11	17,98	21,89	50,34
	M	40	5,43	3,28	9,40	8,55	26,65
		60	5,40	3,15	12,99	13,78	35,32
		90	10,04	3,61	28,25	28,70	70,60
CMC+CMS	T	40	3,38	2,36	10,13	8,41	24,28
		60	6,02	1,83	10,88	12,86	31,59
		90	5,81	4,66	18,96	22,07	51,50
	M	40	5,81	3,74	9,80	10,14	29,49
		60	5,94	3,63	11,55	14,44	35,56
		90	11,62	4,53	27,28	28,49	71,92

Opći učinak u 11. ciklusu pranja u laboratorijskom uređaju, M, slabiji je u odnosu na 1. ciklus pranja u laboratorijskoj perilici, P, tablica 32. Obzirom da je čimbenik sastava kupelji isti, ove razlike se može tumačiti utjecajem mehanike u pranju.

Tablica 35 Rezultati remisije EMPA tkanina nakon pranja u 11. ciklusu deterdžentom različitog sastava u tvrdoj i mekoj vodi

Laboratorijski uređaj, M			$\Delta R_{460}$ (11. ciklus)				$\Sigma \Delta R_{460}$
IP	voda	T [°C]	E-101	E-104	E-114	E-116	
voda	T	40	1,72	0,33	8,79	0,70	11,54
		60	1,15	0,76	8,64	0,95	11,50
		90	1,45	-3,64	4,99	0,40	3,20
	M	40	2,61	-0,65	14,39	2,11	18,46
		60	2,02	1,37	16,90	2,52	22,81
		90	2,45	2,09	15,69	0,64	20,87
D	T	40	2,98	1,24	17,73	12,50	34,45
		60	3,97	1,31	20,70	15,35	41,33
		90	2,23	1,10	22,41	16,10	41,83
	M	40	3,93	2,28	21,18	10,14	37,53
		60	5,07	2,03	24,10	14,12	45,31

Laboratorijski uređaj, M			$\Delta R_{460}$ (11. ciklus)				$\Sigma \Delta R_{460}$
IP	voda	T [°C]	E-101	E-104	E-114	E-116	
		90	6,19	3,19	28,98	18,46	56,81
D_CMC	T	40	2,25	1,10	9,01	7,10	19,45
		60	3,03	2,84	7,94	10,89	24,70
		90	3,28	1,06	12,70	12,54	29,57
	M	40	4,47	2,93	8,03	8,87	24,30
		60	4,42	3,30	8,44	11,01	27,16
		90	6,76	4,28	15,91	20,51	47,47
D_CMS	T	40	2,96	1,82	8,19	7,47	20,44
		60	3,59	2,16	8,96	11,51	26,22
		90	4,81	1,77	12,00	13,22	31,81
	M	40	3,30	2,44	5,10	7,03	17,87
		60	5,09	3,17	5,70	10,99	24,94
		90	4,41	3,69	15,62	20,62	44,34
D_CMC+CMS	T	40	3,43	2,02	7,50	7,23	20,17
		60	3,24	1,87	8,01	9,65	22,77
		90	4,68	2,22	13,62	13,89	34,41
	M	40	5,56	3,28	5,75	6,67	21,26
		60	5,43	2,67	7,04	12,21	27,36
		90	6,70	3,01	17,43	20,92	48,05
D_CMC LV	T	40	2,64	0,51	17,57	10,46	31,18
		60	2,19	1,02	20,71	12,18	36,11
		90	3,56	2,52	23,92	15,89	45,90
	M	40	4,22	2,57	21,22	13,76	41,76
		60	5,96	2,15	23,12	15,24	46,47
		90	5,41	2,27	26,35	19,45	53,48
D_CMC HV	T	40	2,35	0,16	17,57	12,00	32,08
		60	2,57	1,34	19,64	13,55	37,10
		90	1,89	2,96	24,15	17,20	46,20
	M	40	6,46	1,63	21,09	12,93	42,11
		60	7,04	2,45	23,17	14,15	46,81
		90	8,37	3,66	27,64	17,23	56,90

Usporedba primarnog učinka u pranju standardnih donora prljavština u 1. i 11. ciklusu načinjena je kroz vrijednosti  $\Sigma \Delta R_{460}$ , tablica 36.

Tablica 36 Usporedba ukupnog učinka u pranju ( $\Sigma \Delta R_{460}$ ) donora prljavština u 1. ciklusu i 11. ciklusu

Laboratorijski uređaj, M		$\Sigma \Delta R_{460}$		
IP	voda	T [°C]	1. ciklus	11. ciklus
voda	T	40	15,88	11,54
		60	17,67	11,50
		90	16,44	3,20

Laboratorijski uređaj, M			$\Sigma\Delta R_{460}$	
IP	voda	T [°C]	1. ciklus	11. ciklus
	M	40	20,24	18,46
		60	27,95	22,81
		90	32,85	20,87
D	T	40	31,53	34,45
		60	41,69	41,33
		90	44,66	41,83
	M	40	38,75	37,53
		60	47,79	45,31
		90	50,26	56,81
D_CMC	T	40	11,87	19,45
		60	17,52	24,70
		90	19,40	29,57
	M	40	10,95	24,30
		60	16,67	27,16
		90	26,96	47,47
D_CMS	T	40	11,73	20,44
		60	14,88	26,22
		90	22,26	31,81
	M	40	10,76	17,87
		60	17,60	24,94
		90	23,53	44,34
D_CMC+CMS	T	40	10,09	20,17
		60	16,68	22,77
		90	19,77	34,41
	M	40	9,37	21,26
		60	16,63	27,36
		90	24,72	48,05
D_CMC LV	T	40	36,04	31,18
		60	44,21	36,11
		90	42,26	45,90
	M	40	36,63	41,76
		60	45,84	46,47
		90	50,66	53,48
D_CMC HV	T	40	33,74	32,08
		60	43,31	37,10
		90	44,99	46,20
	M	40	35,78	42,11
		60	43,43	46,81
		90	51,78	56,90

Ukupan učinak u pranju donora (E-101, E-104, E-114 i E-116) u tvrdoj i mekoj vodi je veći u 1. ciklusu nego u 11. ciklusu pranja.

Međutim, ukupan učinak u pranju donora (E-101, E-104, E-114 i E-116) deterdžentom uz dodatak CMC, CMS i CMC+CMS, CMC LV i CMC HV u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u 11. ciklusu je gotovo u svim uvjetima veći u odnosu na 1. ciklus pranja, tablica 36.

#### **4.3.2 Utjecaj modifikacije pamučne tkanine na inhibiranje posivljenja u pranju**

Nakon modifikacije pamučnih tkanina kroz provedenih 10 ciklusa pranja u laboratorijskoj perilici (P) i laboratorijskom uređaju (M) nastavljen je protokol pranja u 11. ciklusu pri čemu su u kupelj uz modificiranu tkaninu (10 ciklusa oprana standardna pamučna tkanina) i nepranu standardnu pamučnu tkaninu (PT) dodani donori prljavština (EMPA standardne tkanine).

Ovaj složeni protokol analize spektralnih vrijednosti dizajniran je u svrhu vrednovanja:

- utjecaja sastava deterdženta u mekoj i tvrdoj vodi pri 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskoj perilici (P) i uređaju (M) na primarni učinak
- utjecaja sastava deterdženta na stupanj bjeline pamučne tkanine nakon 1., 10. i 11. ciklusa pranja
- utjecaja tvrdoće vode na stupanj bjeline pamučne tkanine nakon 1., 10. i 11. ciklusa pranja
- utjecaja temperature pranja na stupanj bjeline pamučne tkanine nakon 1., 10. i 11. ciklusa pranja
- utjecaja površine modificirane i neoprane pamučne tkanine na inhibiranje redepozicije prljavština od standardnih donora u 11. ciklusu pranja
- utjecaja temperature pranja na inhibiranje redepozicije prljavština od standardnih donora u 11. ciklusu pranja na modificirane tkanine i neopranu tkaninu.

Ukoliko se razmatra inhibiranje prijelaza prljavštine ili redepozicija, važno je razlikovati vrste prljavština, pri čemu je pigment u masnoći (E-101 i E-104) relevantnije u odnosu na taninsko i proteinsko zaprljanje, koja se u pranju djelomično razaraju.

Anliziran je i stupanj inhibiranja redepozicije prljavština u 11. ciklusu pranja kroz stupanj bjeline neoprane pamučne tkanine (PT1) i modificirane pamučne tkanine (PT\* 11X) u odnosu na neopranu (PT) i modificiranu (PT 10X), tablica 37.

Tablica 37 Stupanj bjeline standardnih pamučnih tkanina prije pranja (PT) i opranih uz varijaciju uvjeta pranja: nakon 1. (PT 1), 10. (PT 10X) i 11. ciklusa (PT\* 11X) i razlika u bjelini između 10. i 11. ciklusa

Laboratorijski uređaj, M			W <sub>GG</sub>				
IP	voda	T [°C]	PT	PT 1	PT 10X	PT* 11X	PT <sub>10</sub> -PT* <sub>11</sub>
D_CMC	T	40	45,90	53,00	200,60	171,00	29,60
		60		76,67	219,60	183,33	36,27
		90		145,33	219,40	201,67	17,73
	M	40		47,67	205,40	192,00	13,40
		60		73,00	231,40	204,00	27,40
		90		150,33	231,80	215,33	16,47
D_CMS	T	40		56,67	197,40	175,33	22,07
		60		68,33	211,20	183,00	28,20
		90		128,00	221,60	201,33	20,27
	M	40		44,00	211,80	196,67	15,13
		60		77,33	213,00	188,67	24,33
		90		147,00	232,40	215,67	16,73
D_CMC+CMS	T	40	54,00	195,60	173,67	21,93	
		60	81,00	208,40	170,67	37,73	
		90	134,00	224,40	207,00	17,40	
	M	40	44,33	210,60	189,67	20,93	
		60	71,33	218,80	193,67	25,13	
		90	151,00	233,80	219,00	14,80	

Stupanj bjeline standardne pamučne tkanine (PT 1) oprane u 11. ciklusu uz donore prljavština u svim varijacijama uvjeta pranja je viši u odnosu na početni neprani uzorak (PT, W<sub>GG</sub> = 45,90). Utjecaj temperature pranja je zamjetan, blagi je porast bjeline tkanina opranih baznim deterdžentom uz inhibitore CMC, CMS i CMC+CMS na 40 °C. Povećanje temperature pranja s 40 °C na 60 °C utječe na viši stupanj bjeline PT 1 tkanine u pravilu za oko 20 jedinica, a pranje na temperaturi 90 °C značajno povećava bjelinu tkanina, koje dosežu vrijednosti od 128,00 do 151,00. Bolji učinak po kriteriju bjeline u svim kupeljima postiže se u mekoj vodi. Na temelju ovih vrijednosti može se zaključiti da je mehanizam fizikalnog učinka optičkog bijelila dominantniji nego redepozicija prljavština na predbijeljenju standardnu tkaninu (PT 1), posebno na temperaturi pranja 90 °C. U prilog toj činjenici ide prethodno istaknut sinergijski učinak kemijskog i optičkog bijelila.

Standardna tkanina oprana kroz 10 ciklusa (PT 10X) baznim deterdžentom uz dodatak inhibitora ima visoke stupnjeve bjeline. Utjecaj temperatura pranja 40 °C, 60 °C i 90 °C kao i tvrdoće vode u 11. ciklusu na međusobne razlike stupnja bjeline pamučnih tkanina prethodno opranih kroz 10 ciklusa (PT 10 X) je manje izražen u odnosu na PT 1. Razlog tome je

kumulativan učinak kemijskog i optičkog bjelila ugrađenog u deterdžent kroz 10 ciklusa, te sinergija svih komponenti u istaknutim uvjetima pranja deterdžentom uz CMC, CMS i CMS+CMS.

Stupanj bjeline postignut kroz 10 ciklusa pranja deterdžentom s CMC, CMS, te njihovom kombinacijom na svim temperaturama pranja u 11. ciklusu pranja je smanjen, što potvrđuje da redepozicija prljavština nije potpuno, već samo djelomično inhibirana. Rezultati pokazuju da je redepozicija prljavština manja u mekoj vodi, što je uvjetovano i manjom količinom rezidualnih tvari.

Najveći pad stupnja bjeline ( $PT_{10}-PT^*_{11}$ ), neovisno o tvrdoći vode, dobiven je u pranju na 60 °C.

U tablici 38 prikazan je stupanj bjeline standardnih pamučnih tkanina prije i nakon 1., 10. i 11. ciklusa pranja u vodi (bez dodatka sredstva za pranje), deterdžentom i deterdžentom uz inhibitore posivljenja (CMC, CMS, CMC i CMS, CMC LV i CMC HV), u tvrdoj i mekoj vodi na temperaturama (40 °C, 60 °C i 90 °C) u laboratorijskom uređaju, M.

Tablica 38 Stupanj bjeline pamučnih tkanina (PT) prije i nakon 1., 10. i 11. ciklusa pranja u vodi, deterdžentu i deterdžentu s inhibitorom posivljenja (CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV, CMC HV) na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskom uređaju (M)

Laboratorijski uređaj, M			$W_{GG}$				
IP	voda	T [°C]	PT	PT 1	PT 10X	PT* 11X	$PT_{10}-PT^*_{11}$
voda	T	40	45,90	21,00	46,20	39,00	7,2
		60		19,00	33,20	21,00	12,2
		90		10,00	26,60	17,00	9,6
	M	40		27,00	34,20	33,00	1,2
		60		26,00	34,80	31,00	3,8
		90		20,00	26,00	17,00	9,0
D	T	40		67,00	130,60	127,00	3,6
		60		76,00	135,60	136,00	-0,4
		90		88,00	140,40	124,00	16,4
	M	40		72,00	135,20	131,00	4,2
		60		75,00	143,20	135,00	8,2
		90		98,00	155,00	146,00	9,0
D_CMC	T	40		28,00	89,80	85,00	4,8
		60		28,00	93,00	63,00	30,0
		90		35,00	92,80	80,00	12,8
	M	40		34,00	86,40	72,00	14,4
		60		28,00	90,60	77,00	13,6
		90		34,00	101,20	96,00	5,2

Laboratorijski uređaj, M			W <sub>GG</sub>				
IP	voda	T [°C]	PT	PT 1	PT 10X	PT* 11X	PT <sub>10</sub> -PT* <sub>11</sub>
D_CMS	T	40		36,00	91,80	73,00	18,8
		60		38,00	89,80	69,00	20,8
		90		36,00	96,20	87,00	9,2
	M	40		28,00	80,00	79,00	1,0
		60		28,00	93,40	85,00	8,4
		90		36,00	96,40	95,00	1,4
D_CMC+CMS	T	40		38,00	90,60	78,00	12,6
		60		36,00	87,80	64,00	23,8
		90		44,00	100,60	82,00	18,6
	M	40		30,00	79,60	82,00	-2,4
		60		28,00	92,60	76,00	16,6
		90		43,00	89,00	89,00	0,0
D_CMC LV	T	40		51,00	131,20	125,00	6,2
		60		72,00	135,00	130,00	5,0
		90		95,00	143,80	137,00	6,8
	M	40		61,00	134,80	137,00	-2,2
		60		78,00	136,00	132,00	4,0
		90		101,00	162,00	156,00	6,0
D_CMC HV	T	40		67,00	126,40	120,00	6,4
		60		73,00	126,00	122,00	4,0
		90		93,00	141,60	135,00	6,6
	M	40		68,00	137,40	135,00	2,4
		60		80,00	138,40	137,00	1,4
		90		98,00	155,20	154,00	1,2

Pranje pamučne tkanine (PT 1) u tvrdoj i mekoj vodi (bez deterđenta) u 11. ciklusu u laboratorijskom uređaju Polymat (M) na svim temperaturama utječe na pad stupnja bjeline u odnosu na nepranu pamučnu tkaninu, a bjeline se smanjuju s povećanjem temperature. Na temelju ovih odnosa se zaključuje da su se prljavštine skinute s donora redeponirale odnosno transferirale na pamučnu tkaninu (PT 1). Pranjem ove tkanine deterđentom u tvrdoj i mekoj vodi povećava se bjelina s porastom temperature. Dodatak inhibitora posivljenja, CMC, CMS i CMC+CMS u bazni deterđent utječe na pad bjeline PT 1 tkanine u odnosu na nepranu, pa se može zaključiti da inhibitori posivljenja nisu spriječili redepoziciju skinutih prljavština na ovim temperaturama pranja. Bjeline pamučnih tkanina opranih baznim deterđentom s CMC LV i CMC HV povećavaju se s porastom temperature pranja, a uočen je nepovoljniji utjecaj meke vode.



Pranje pamučne tkanine uz varijaciju uvjeta pranja prema tablici 38 kroz 10 ciklusa utječe na porast bjeline u svim uvjetima izuzev pranja u tvrdoj i mekoj vodi (bez deterdženta). Ostali uvjeti pranja baznim deterdžentom uz inhibitore posivljenja CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV i CMC HV imaju povoljan utjecaj na porast bjeline pamučne tkanine oprane kroz 10 ciklusa. Zapaža se povoljan utjecaj povišene temperature pranja i inhibitora, CMC LV i CMC HV, dodanih u deterdžent. Međutim, stupanj bjeline modificiranih standardnih tkanina kroz 10 ciklusa u 11. ciklusu pranja uz donor se uglavnom smanjuju. Indeks smanjenja (PT10-PT\*11) je manji nego kod uzoraka prethodno opranih u laboratorijskoj perilici. Inhibitori posivljenja, CMC LV i CMC HV, su na svim temperaturama pranja pokazali bolji učinak inhibiranja redepozicije skinutih prljavština nego CMC i CMS, te njihova kombinacija. Iz svega analiziranog može se zaključiti da su primijenjeni inhibitori dodani deterdžentu s ciljem smanjivanja redepozicije učinkovitiji u mekoj vodi u odnosu na tvrdu vodu.

## 5. ZAKLJUČAK

Odabrani polimeri, karboksimetil celuloza (CMC) u tri varijacije (CMC, CMC LV, CMC HV) i karboksimetil škrob (CMS) dodani su deterdžentu u svrhu praćenja stupnja modifikacije standardne pamučne tkanine i inhibiranja redeponiranja prljavština u procesu pranja pri 40 °C, 60 °C i 90 °C kroz 10 ciklusa, odnosno 11 ciklusa pranja.

Obzirom da je proces pranja neophodno promatrati kao kompleksan disperzni sustav, u kojem se odvijaju interakcije i sinergijsko djelovanje svih čimbenika Sinner-ovog kruga sustavno je praćen utjecaj temperature, mehanike i kemije. Utjecaj mehanike u pranju pamučnih tkanina opranih u tvrdoj i mekoj vodi analiziran je laboratorijskoj perilici i uređaju.

Pamučne tkanine prije i nakon 10 ciklusa pranja su karakterizirane određivanjem sadržaja rezidualnih tvari, stupnja bjeline, pregledom površine (SEM, FTIR) i zeta potencijalom u ovisnosti o pH otopine elektrolita.

Analiza sadržaja rezidualnih tvari - pepela na pamučnim tkaninama ukazala je na niže vrijednosti ukupnog pepela od pamučne tkanine oprane u laboratorijskoj perilici u odnosu na tkaninu opranu u laboratorijskom uređaju, što se može obrazložiti jačim mehaničkim i hidrodinamičkim učincima u procesu pranja u perilici.

Vrijednosti pepela za pamučne tkanine oprane u tvrdoj vodi ovise o uvjetima pranja, a u pravilu su veće od 6 do 10 puta u odnosu na vrijednosti pepela pamučnih tkanina opranih u mekoj vodi. Generiranje taloga u tvrdoj vodi i taloženje na površinu pamučnih tkanina pri 60 °C i 90 °C je veće u odnosu na 40 °C, što potvrđuje nedostatan potencijal bildera za vezanje iona zemnoalkalijskih elemenata pri temperaturama 60 °C i 90 °C. Iz pregleda svih rezultata vidljivo je da visoki stupanj tvrdoće vode i temperatura pranja imaju dominantan utjecaj na sadržaj ukupnog pepela na opranim pamučnim tkaninama.

Usporedba vrijednosti pepela od tkanina opranih deterdžentom različitog sastava u tvrdoj vodi na svim temperaturama s vrijednostima pepela od pamučnih tkanina opranih samo u tvrdoj vodi ukazuje da je pranje deterdžentom utjecalo na dodatno opterećenje površine tkanine, u pravilu šesterostruko pri 40 °C, osmostruko pri 60 °C i gotovo deseterostruko pri 90 °C. To se može pripisati uvjetima pranja standardne pamučne tkanine bez zaprljanja kroz 10 ciklusa deterdžentom, čiji se sastojci nisu fenomenološki orijentirali na uklanjanje prljavština. Neke organske komponente, npr. sapun i anionski tenzidi u deterdžentu u interakciji s ionima

zemnoalkalijskih elemenata generirale su teško topive i/ili netopive taloge, koji su opteretili površinu pamučne tkanine i povećali sadržaj rezidualnih tvari (ukupan pepeo).

Na temelju dobivenih spektrograma FTIR spektroskopija pokazala se neprikladnom metodom za karakterizaciju ovako modificirane pamučne tkanine u različitim postupcima pranja.

Pranje deterdžentom u mekoj i tvrdoj vodi pri različitim temperaturama utjecalo je na promjene zeta potencijala pamučnih tkanina u ovisnosti o pH otopine elektrolita. U pravilu te vrijednosti su manje negativne u odnosu na neoprano pamučnu tkaninu. Manje negativne vrijednosti mogu upućivati na nemogućnost potpune disocijacije aktivnih skupina celuloze. Deterdžent s ugrađenim bilderima je omekšao vodu, dok se njegovi ostali sastojci nisu utrošili na primarni zadatak - uklanjanje zaprljanja već su dijelom prekrili površinu pamučne tkanine.

Naboj površine tkanine modificirane s CMS u tvrdoj vodi na 60 °C sličan je naboju površine neoprane standardne pamučne tkanine u visoko alkalnom području. Na temelju dobivenih odnosa, CMC kao modifikator u deterdžentu djeluje povoljnije na povećanje negativnog naboja površine pamučne tkanine u odnosu na CMS u mekoj vodi na 40 °C i 60 °C. Krivulje zeta potencijala potvrđuju dominantan utjecaj CMC u mješavini CMC+CMS u odnosu na CMS. Prateći razlike između krivulja i vrijednosti zeta potencijala vidi se da polimerom modificirane pamučne tkanine u mekoj vodi imaju negativniji naboj površine u odnosu na polimerom modificirane tkanine u tvrdoj vodi. Na temelju dobivenih odnosa, CMC kao polimer utječe na povećanje negativnog naboja površine pamučne tkanine modificirane u mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C. Manje negativan naboj površine imaju pamučne tkanine modificirane deterdžentom s CMC na 90 °C u tvrdoj vodi u odnosu na gotovo sve preostale polimerom modificirane pamučne tkanine. To se može povezati s utjecajem povišene temperature (90°C) na slabiji potencijal CMC, a ne sa stupnjem opterećenja površine depozitima, obzirom da je sadržaj rezidualnih tvari na površini tkanina modificiranih deterdžentom uz CMC na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj vodi gotovo podjednak (0,84; 1,01; 1,49 %), a u mekoj nizak (od 0,20 – 0,27 %).

Polimeri, CMC HV i CMC LV dodani deterdžentu u pranju djelovali su na povećanje negativnog naboja pamučne tkanine, čime su pokazali najveći stupanj modifikacije. Stupanj opterećenja površine tkanine oprane na 40 °C i 90 °C rezidualnim tvarima nije utjecao na orijentaciju CMC HV, što potvrđuje negativniji naboj površine pamučne tkanine.

Utemeljenost koncepta istraživanja utjecaja fizikalno-kemijskih svojstava inhibitora posivljenja na naboj površine pamučnih materijala opranih deterdžentom sustavno je provjeren kroz rezultate istraživanja, koji su podijeljeni u tri cjeline:

*I cjelina – svojstava referentnih uzoraka: deterdžent, odabrani polimeri za deterdžente i pamučna tkanina*

*II cjelina – svojstva pamučne tkanine prije i nakon modifikacije u pranju deterdžentom s polimerima (MP)*

*III cjelina – svojstva pamučne tkanine prije i nakon djelovanja inhibitora posivljenja (IP) u pranju*

U istraživanju su primijenjene brojne metode karakterizacije polimera i standardne pamučne tkanine, pri čemu je potvrđena njihova veća ili manja svrsishodnost i prihvatljivost.

Za utvrđivanje značajki polimera potvrđena je opravdanost metoda:

- Skenirajuće elektronske mikroskopije za morfološke značajke polimera
- Određivanja reoloških značajki, primarno viskoznosti otopine deterdženta s dodatkom polimera
- Određivanja stupnja supstitucije.

Za karakterizaciju stupnja modifikacije standardne pamučne tkanine nakon cikličkih pranja potvrđena je opravdanost provedbe metoda:

- Skenirajuće elektronske mikroskopije za morfološke značajke površine pamučne tkanine
- Potencijala strujanja za određivanje zeta potencijala pamučne tkanine
- Određivanja rezidualnih tvari na pamučnoj tkanini
- Skenirajuće elektronske mikroskopije za morfološke značajke rezidualnih tvari.

Hijerarhijska klaster analiza pokazala se svrsishodnom za utvrđivanje sličnosti i razlika posebice za rezultate sadržaja rezidualnih tvari i zeta potencijala oprane pamučne tkanine, kao funkcije tvrdoće vode, temperature i sastava deterdženta u laboratorijskim uvjetima pranja u perilici i uređaju.

Uzimajući u obzir sve rezultate u provedenim varijacijama temperature, kvalitete vode, sastava deterdženta potvrđeno je da karboksimetil celuloza visoke viskoznosti (CMC HV), unutar skupine odabranih polimera, ima najveći utjecaj na povećanje negativnog naboja površine standardne pamučne tkanine. Ovaj istaknuti potencijal modifikacije površine rezultat je stupnja

orijentacije polimera prema površini pamučne celuloze u procesu pranja na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi.

Značajke CMC HV u usporedbi s ostalim polimerima su najmanji stupanj supstitucije (DS), najveće povećanje viskoznosti otopine deterdženta, specifične morfološke značajke – štapićaste formacije i gotovo podjednaka stabilnost u tvrdoj i mekoj vodi.

Sustavnom analizom dobivenih rezultata istraživanja potvrđene su postavljene hipoteze (H1-H5).

*H 1: Pretpostavlja se da morfologija inhibitora posivljenja utječe na naboj površine pamučnih materijala.*

Fibrilarna morfologija polimera ima bolji potencijal modifikacije površine standardne pamučne tkanine u pranju nego granulirani oblici.

*H 2: Pretpostavlja se da stupanj karboksimetilacije inhibitora posivljenja utječe na naboj površine pamučnih materijala.*

Stupanj karboksimetilacije utječe na svojstva odabranih polimera, karboksimetil celuloze i karboksimetil škroba. U provedenim uvjetima istraživanja, potvrđeno je da niži stupanj karboksimetilacije polimera povoljnije utječe na negativan naboj površine pamučne tkanine u odnosu na viši. Karboksimetil celuloza je pokazala bolja svojstva u modifikaciji površine pamučne tkanine u pranju u odnosu na karboksimetil škrob pri svim varijacijama parametara.

*H 3: Pretpostavlja se da je naboj površine pamučnih materijala opranih deterdžentom uz specijalne polimere povezan sa stupnjem inhibiranja prljavština u pranju.*

Potencijal inhibiranja prljavština može se u provedenim uvjetima procesa pranja djelomično povezati s djelovanjem specijalnih polimera.

*H 4: Pretpostavlja se da tvrdoća vode djeluje na inhibiranje posivljenja u pranju pamučnih materijala.*

Tvrdoća vode djeluje na potencijal polimera u inhibiranju posivljenja što se očituje kroz dobivene vrijednosti većeg stupnja bjeline pamučne tkanine oprane u mekoj vodi.

*H 5: Pretpostavlja se da sastav deterdženta utječe na djelovanje inhibitora posivljenja u pranju.*

Stupanj bjeline opranih pamučnih tkanina potvrđuje važnost sastava deterdženta u analiziranim uvjetima procesa pranja. Potvrđeno je da primijenjeni inhibitori posivljenja imaju različit potencijal u istim uvjetima pranja.

**Znanstveni doprinos** ovog sustavnog istraživanja očituje se kroz slijedeće značajke:

- utvrđena su ključna svojstva polimera za deterdžente s ciljem modifikacije površine pamučne tkanine u kumulativnim ciklusima procesa pranja,
- klasificirani su polimeri za određene uvjete procesa pranja,
- potvrđen je značaj i utjecaj bildera u sastavu deterdženta na promatrane fenomene modifikacije površine i inhibiranje posivljenja pamučne tkanine u pranju,
- unaprijeđena je metodologija istraživanja promjena površine pamučnih materijala u pranju deterdžentom u koji su ugrađeni polimeri.

## 6. LITERATURA

- [1] Sinner, H.: Über das waschen mit haushaltwaschmaschinen : in welchem umfange erleichtern haushaltwaschmaschinen und -geräte das wäschehaben im haushalt?, (1960) Hamburg: Haus-+-Heim-Verl.
- [2] Elsner, P., Hatch, K., Wigger-Alberti, W.: Textiles and the skin, Current problems in dermatology, (2003) Karger, ISBN 978-3805574389
- [3] Soljačić, I, Čavara, L.: Deterdženti za pranje tekstila, Tekstil 48 (1999) 10, 498–504
- [4] Lant, N. J.: Laundry detergent composition comprising a highly water-soluble carboxymethyl cellulose particle, (2009) US-2011034365-A1, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/patent/US-2011034365-A1> (pristupljeno 14.3.2021.)
- [5] Smulders, E: Laundry Detergents, (2002) Weinheim: Wiley-VCH, ISBN: 978-3-527-30520-9
- [6] Waldhoff, H., Spilker, R.: Handbook of detergents, Part C: Analysis, surfactant science, 123 (2004) New York: CRC Press, ISBN 9780824703516
- [7] Zoller, U., Sosis, P.: Handbook of detergents, Part F: Production, surfactant science, 142 (2008) New York: CRC Press, ISBN 9780824703493
- [8] Soljačić, I., Pušić, T.: Njega tekstila: čišćenje u vodenim medijima, (2005) Zagreb: Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, ISBN 953-7105-08-3
- [9] Cutler, W.G., Davis, R.C.: Detergency: Theory and test methods, (1972) Marcel Dekker, New York, doi: 10.1002/aic.690180649
- [10] Diener, H.: Fleckenentfernung aber richtig (1983) Leipzig: VEB Fachbuchverlag, M25033
- [11] Ribitsch, V., Stana-Kleinschek, K., Kreze, T., Strnad, S.: The significance of surface charge and structure on the accessibility of cellulose fibres, Macromolecular Materials and Engineering 286 (2001) 648–654, doi:10.1002/1439-2054(20011001)286:10<648::AID-MAME648>3.0.CO;2-6
- [12] Grancaric, A.M., Tarbuk, A., T. Pusic, T.: Electrokinetic properties of textile fabrics, Coloration Technology 121 (2005) 4, 221–227, doi: 10.1111/j.1478-4408.2005.tb00277.x

- [13] Bellmann, C., Caspari, A., Albrecht, V., Doan, T. T., Mäder, E., Luxbacher, T., Kohl, R.: Electrokinetic properties of natural fibres, *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects* 267 (2005) 1-3, 19-23, doi: 10.1016/j.colsurfa.2005.06.033
- [14] Chen, Y., Kampen, W. H., Collier, B. J.: Evaluation of CPI starch for laundry application, *Textile chemist and colorist* 30 (1998) 11, 25–30
- [15] Jaturapiree, A., Ehrhardt, A., Groner, S., Öztürk, H. B., Siroka, B., Bechtold, T.: Treatment in swelling solutions modifying cellulose fiber reactivity - Part 1: Accessibility and sorption, *Macromol Symposia* 262 (2008) 1, 39–49, doi: 10.1002/masy.200850205
- [16] Farn, R. J.: *Chemistry and technology of surfactants*, (2006) Blackwell Publishing, ISBN 9781405126960
- [17] Agarwal, C., Ilindra, A., Karadbhajne, V.: Carboxymethyl cellulose versus microcrystalline cellulose in the manufacturing of liquid detergents, *Indian Journal of Chemical Technology* 19 (2012) 2, 149–151
- [18] Calvimontes, A., Lant, N. J., Dutschk, V.: Cooperative action of cellulase enzyme and carboxymethyl cellulose on cotton fabric cleanability from a topographical standpoint, *Journal of Surfactants and Detergents* 14 (2011) 3, 307–316, doi: 10.1007/s11743-011-1248-5.
- [19] Arild, A.-H., Brusdal, R., Gunnasen, J. T. H., Kessel, I. A. C., Terpste, P. M. J.: An investigation of domestic laundry in Europe: habits, hygiene and technical performance, (2003) Oslo, <https://www.yumpu.com/en/document/read/49023046/an-investigation-of-domestic-laundry-in-europe-habits-sifo> (pristupljeno 14.1.2021)
- [20] Soljačić, I, Pušić, T.: Tekstil i ekologija, *Zbornik radova 4. međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo*, Zagreb, (2011) 3–12
- [21] Showell, M. S.: *Handbook of detergents, Part D: Formulation, surfactant science*, 128 (2006) Cincinnati, Ohio, CRC Press, ISBN 978-0-8247-0350-9
- [22] Carr, C. M.: *Chemistry of the textiles industry*, (1995) Blackie Academic & Professional, ISBN 0751400548
- [23] Gruber, M.: Die Neutralisation nach alkalischer Wäsche-ein oft vernachlässigt Aspect.”



- [24] Cameron, B.A.: Detergent considerations for consumers: Laundering in hard water-how much extra detergent is required?, *The Journal of Extension* 49 (2011) 4, 1–11, 2011
- [25] Danby, S.G., Brown, K., Wigley, A.M., Chittock, J., Pyae, P.K., Flohr, C., Cork, M.J.: The effect of water hardness on surfactant deposition after washing and subsequent skin irritation in atopic dermatitis patients and healthy control subjects, *The Journal of investigative dermatology* 138 (2018) 1, 68–77, doi: 10.1016/j.jid.2017.08.037
- [26] Fijan, S., Šostar-Turk, S., Pušić, T.: Primerjava primarnih učinkov pranja pri uporabi različnih postopkov pranja bolnišničnih tekstilij, *Tekstilec* 49 (2006) 4–6, 72–80
- [27] Pušić, T., Šostar-Turk, S., Soljačić, I., Tarbuk, A., Fijan, R., Arnuš, S.: Primarni učinak praškastog i tekućeg deterdženta u pranju, *Tekstil* 55 (2006) 1, 11–18
- [28] Soljačić, I., Pušić, T.: Utjecaj neutralizacije i sušenja na učinke pranja, *Tekstil* 57 (2008) 8, 414–417
- [29] The American Cleaning Institute (ACI) <https://www.cleaninginstitute.org/> (pristupljeno 14.7.2021)
- [30] Fijan, S., Šostar-Turk, S., Neral, B., Pušić, T.: The influence of industrial laundering of hospital textiles on the properties of cotton fabrics, *Textile Research Journal* 77 (2007) 4, 247–255, doi: 10.1177/0040517507077476
- [31] Schwuger, M.J., Rybinski, W.: Zadržavanje prelaženja bojila u pranju tekstila, *Tekstil* 51 (2002) 12, 561–569
- [32] Seweryn, A.: Interactions between surfactants and the skin – Theory and practice, *Advances in colloid and interface science* 256 (2018) 242–255, doi: 10.1016/j.cis.2018.04.002
- [33] Klimaszewska, E., Seweryn, A., Ogorzałek, M., Nizioł-Łukaszewska, Z., Wasilewski, T.: Reduction of irritation potential caused by anionic surfactants in the use of various forms of collagen derived from marine sources in cosmetics for children, *Tenside Surfactants Detergents* 56 (2019) 3, 180 - 187, doi: 10.3139/113.110616
- [34] Rajangam, A. S.: Discovery and characterization of a novel microtubule associated

- protein involved in cellulose biosynthesis, KTH – Royal Institute of Technology, AlbaNova University Center, Stockholm, doctoral thesis (2008), ISBN 978-91-7178-980-8
- [35] Capitani, D., Porro, F., Segre, A. L.: High field NMR analysis of the degree of substitution in carboxymethyl cellulose sodium salt, *Carbohydrate polymers* 42 (2009) 3, 283-286, doi: 10.1016/S0144-8617(99)00173-3
- [36] Stigsson, V., Kloow, G., Germgård, U.: The influence of the solvent system used during manufacturing of CMC, *Cellulose* 13 (2006) 705–712, doi: 10.1007/s10570-006-9083-y
- [37] Rácz, I., Borsa, J.: Swelling of carboxymethylated cellulose fibres, *Cellulose* 4 (1997) 4, 293–303, doi: 10.1023/A:1018400226052.
- [38] Uner, A., Yilmaz, F.: Efficiency of laundry polymers containing liquid detergents for hard surface cleaning, *Journal of Surfactants and Detergents* 18 (2015) 2, 213–224, doi: 10.1007/s11743-014-1634-x
- [39] Berthold, J., Olsson, R.J.O., Salmén, L.: Water sorption to hydroxyl and carboxylic acid groups in Carboxymethylcellulose (CMC) studied with NIR-spectroscopy, *Cellulose* 5 (1998) 4, 281–298, doi: 10.1023/A:1009298907734
- [40] Mondal, I. H., Rahman, S., Yeasmin, S., Sayeed, A.: Synthesis of carboxymethyl cellulose from corn leaves based on particle size – a new aspect, *Cellulose and celluloses derivatives*, Nova Science Publishers, Inc., (2015) Chapter 11, 205–226, ISBN: 978-1-63483-127-7
- [41] Sun, W., Li, B., Wu, P.: Study on hydrogen bonds of carboxymethyl cellulose sodium film with two-dimensional correlation infrared spectroscopy, *Carbohydrate Polymers* 78 (2009) 3, 454–461, doi: 10.1016/j.carbpol.2009.05.002
- [42] Višić, K., Pušić, T., Čurlin, M.: Carboxymethyl cellulose and carboxymethyl starch as surface modifiers and greying inhibitors in washing of cotton fabrics, *Polymers* 13 (2021) 7, 1174, 16, doi:10.3390/polym13071174
- [43] Jarm, V.: Nomenklatura i terminologija iz područja polimera i polimernih materijala, *Kemija u industriji* 65 (2016) 1–2, 39–50, doi: 10.15255/KUI.2014.021.
- [44] Vaughn, T. H., Smith, C. E.: The effect of sodium carboxymethyl cellulose on

- synthetic detergent systems, *Journal of the American Oil Chemists' Society* 2 (1948) 25, 44–51, doi:10.1007/BF02593188
- [45] Keshwani, A., Malhotra, B., Kharkwal, H.: Natural polymer based detergents for stain removal, *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 4 (2015) 4, 490–508  
[https://www.researchgate.net/publication/273063825\\_Natural\\_polymer\\_based\\_detergents\\_for\\_stain\\_removal](https://www.researchgate.net/publication/273063825_Natural_polymer_based_detergents_for_stain_removal) (pristupljeno 17.7.2021.)
- [46] Rahman, M. S., Hasan, M. S., Nitai, A. S., Nam, S., Karmakar, A. K., Ahsan, M. S., Shiddiky, M., Ahmed, M. B.: Recent developments of carboxymethyl cellulose. *Polymers* 13 (2021) 8, 1345, doi: 10.3390/polym13081345
- [47] Celuloza-celulozni derivati  
[https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/celulozni\\_derivati.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/celulozni_derivati.pdf) (pristupljeno 14.7.2021.)
- [48] Feller, R. L., Wilt, M.: Evaluation of cellulose ethers for conservation, *Research in Conservation* 3 (1990) ISBN 0-89236-099-2
- [49] Gu, H., He, J., Huang, Y., Guo, Z.: Water soluble carboxymethylcellulose fibers derived from alkalization-etherification of viscose fibers, *Fibers and Polymers* 13 (2012) 6, 748–753, 2012, doi: 10.1007/s12221-012-0748-x
- [50] Lopez, C. G., Colby, R. H., Cabral, J. T.: Electrostatic and hydrophobic interactions in NaCMC aqueous solutions: Effect of degree of substitution, *Macromolecules* 51 (2018) 8, 3165–3175, doi: 10.1021/acs.macromol.8b00178.
- [51] Larsson, H.: The rheological behavior of weak gels made with a blocky CMC and salt, *Materials Science*, 16 (2008), Annual Transactions Of The Nordic Rheology Society, Rheology of Food Hydrocolloids, Nordic Rheology Conference,  
<https://nrs.blob.core.windows.net/pdfs/nrspdf-4703eca0-fbef-4731-8f59-9549fa7f4235.pdf> (pristupljeno 14.07.2021.)
- [52] Koch, R.: O. Hutzinger (Ed.): The handbook of environmental chemistry 3, Part D: Anthropogenic compounds, Berlin – Heidelberg – New York – Tokyo, Springer Verlag, 1986, 248 S, (1987) 403, doi:10.1002/aheh.19870150315
- [53] Junka, K., Filpponen, I., Johansson, L., Kontturi, E., Rojas, O.J., & Laine, J.: A method

- for the heterogeneous modification of nanofibrillar cellulose in aqueous media, *Carbohydrate polymers* 100 (2014) 107-115, doi: 10.1016/j.carbpol.2012.11.063
- [54] Fras-Zemljič, L., Stenius, P.I., Laine, J., & Stana-Kleinschek, K.: The effect of adsorbed carboxymethyl cellulose on the cotton fibre adsorption capacity for surfactant, *Cellulose* 13 (2006) 655-663, doi: 10.1007/s10570-006-9071-2
- [55] Fakrul Alam, A. B. M., Mondal, Md. Ibrahim H.: Utilization of cellulosic wastes in textile and garment industries. I. Synthesis and grafting characterization of carboxymethyl cellulose from knitted rag, *Journal of Applied Polymer Science* 128 (2013) 2, 1206–1212, <https://doi.org/10.1002/app.38446>
- [56] Radivojević, T.: Ispitivanje osobina kompozita karboksimetil celuloza-glina (fizičko-kemijska karakterizacija), Univerzitet u Nišu Prirodno-matematički fakultet, Department za hemiju, magistarski rad (2016)
- [57] Feuell, A. J.: Desoiling properties of carboxymethyl cellulose, *Journal of The Textile Institute Transactions* 40 (1949) T523–T525, doi: 10.1080/19447024908659835.
- [58] Vaughn, T. H., Kramer, M. G.: Detergency properties of sodium carboxymethyl cellulose-soap-builder systems, *Journal of the American Oil Chemists' Society* 28 (1951) 7, 317–319, doi: 10.1007/BF02648656.
- [59] Al-Bermany, A. J., Obiad, R. M.: Structural study of rheological and mechanical properties of polyvinyl alcohol by ultrasonic, *Materials Science* 21 (2013) 3, 968-977
- [60] Wild, J.: Experimental work comparing the performance of wash bath additives used in the aqueous immersion cleaning of a series of standard soiled fabrics, *AICCM Textile Symposium* (2006) 19–30, [https://aiccm.org.au/wp-content/uploads/2013/09/Wild\\_TSIG2006.pdf](https://aiccm.org.au/wp-content/uploads/2013/09/Wild_TSIG2006.pdf) (pristupljeno 14.7.2021.)
- [61] Australian/New Zealand Standard™ – Laundry practice, AS/NZS 4146:2000 <https://www.saiglobal.com/PDFTemp/Previews/OSH/as/as4000/4100/4146.pdf> (pristupljeno 14.7.2021)
- [62] Timar-Balazsy, A., Eastop, D.: *Chemical principles of textile conservation*, London: Routledge (1998) ISBN 9780080501048
- [63] Shashoua, Y.: Investigation into the effects of cleaning old, dyed, naturally soiled textiles by aqueous immersion, *International Council of Museums, ICOM Committee*

for Conservation (1996) 714-720, ISBN 1873936508

<https://www.tib.eu/de/suchen/id/BLCP%3ACN018351745> (pristupljeno 14.7.2021)

- [64] Johnson, G. A., Foster, F. G.: Mechanism for the anti-redeposition action of sodium carboxy-methyl cellulose with cotton, *Journal of Applied Chemistry* 18 (1968) 8, 235–239
- [65] Obendorf, S. K., Borsa, J.: Lipid soil removal from cotton fabric after mercerization and carboxymethylation finishing, *Journal of Surfactants and Detergents* 4 (2001) 3, 247–256, doi:10.1007/S11743-001-0176-2
- [66] Jovic, D., Tourrette, A., Glampedaki, P. Warmoeskerken, M. M.: Application of temperature and pH responsive microhydrogels for functional finishing of cotton fabric, *Materials technology* 24 (2009) 1) 14-23
- [67] Pušić, T., Grancarić, A., Soljačić, I., Ribitsch, V.: The effect of mercerisation on the electrokinetic potential of cotton, *Coloration Technology* 115 (1999) 121-124, doi: 10.1111/j.1478-4408.1999.tb00308.x
- [68] Heinze, T., Koschella, A.: Carboxymethyl ethers of cellulose and starch - A review, *Macromolecular Symposia* 223 (2005) 13–29, doi: 10.1002/masy.200550502
- [69] Sychaj, T., Zdanowicz, M., Kujawa, J., Schmidt, B.: Carboxymethyl starch with high degree of substitution: Synthesis, properties and application, *Polimery/Polymers* 58 (2013) 7–8, 503–511, doi:10.14314/polimery.2013.503
- [70] Lefnaoui, S., Moulai-Mostefa, N.: Synthesis and evaluation of the structural and physicochemical properties of carboxymethyl pregelatinized starch as a pharmaceutical excipient, *Saudi Pharmaceutical Journal* 23 (2015) 6, 698–711, doi: 10.1016/J.JSPS.2015.01.021
- [71] Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S., Gill, B. S: Morphological, thermal, and rheological properties of starches from different botanical sources, *Food Chemistry* 81 (2003) 219-231
- [72] Rao, M.A., Tattiyakul, J.: Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions, *Carbohydrate Polymers* 38 (1999) 2, 123–132
- [73] Šubarić, D., Babić, J., Ačkar, Đ., Piližota, V., Kopjar, M., Ljubas, I., Ivanovska, S.: Effect of galactomannan hydrocolloids on gelatinization and retrogradation of tapioca

- and corn starch, *Croatian Journal of Food Science and Technology* 3 (2011) 1, 26–31
- [74] Ačkar, Đ.: Izoliranje, modificiranje i karakteriziranje škroba pšenice, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet, disertacija (2010)
- [75] Yang, X.: Viscosity properties of sodium carboxymethylcellulose solutions, *Cellulose* 14 (2007) 409–417, doi: 10.1007/s10570-007-9137-9
- [76] Bertleff, W., Neumann, P., Baur, R., Kiessling, D.: Aspects of polymer use in detergents, *Journal of Surfactants and Detergents* 1 (1998) 419–424, doi: 10.1007/S11743-998-0045-Z
- [77] Nuber, M., Soljačić, I., Čavara, L.: Noviji razvoj deterdženata za kućanstva, *Tekstil* 49 (2000) 4, 167–173
- [78] O'Lenick, A.J.: Soil release polymers, *Journal of Surfactants and Detergents* 2 (1999) 4, 553–557, doi: 10.1007/s11743-999-0105-4
- [79] Luxbacher, T.: Electrokinetic properties of natural fibres, *Handbook of natural fibres (Second Edition)* Woodhead Publishing 2 (2020) 323–353, 2020, ISBN 9780128187821, doi: 10.1016/B978-0-12-818782-1.00009-2
- [80] Instruction Manual, VisioLab for EKA, Control and evaluation software for EKA, Anton Par GmbH, A-8054 Austria, Graz
- [81] Višić, K., Pušić, T.: The influence physico-chemical properties of anti-redeposition agents on the zeta potential of washed cotton fabrics, *Book of proceedings 13th International Scientific – Professional Symposium Textile Science & Economy, Zagreb, (2020)* 248-251
- [82] Pušić, T., Višić, K., Soljačić, I.: Surface characterization of multiple washed textiles, *Book of Proceedings of 11th World textile Conference Autex 2011 Mulhouse (2011)* 1004–1008
- [83] Pušić, T., Lant, N., Soljačić, I., Patterson, S., Višić, K.: Surface modifications of cotton with carboxymethyl cellulose in washing processes, *Book of proceedings, 5th International Textile, Clothing & Design Conference (2010)* 365–369
- [84] Stana-Kleinschek, K., Ribitsch, V.: Electrokinetic properties of processed cellulose fibers, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 140 (1998)

- 1-3, 127-138, doi: 10.1016/S0927-7757(97)00301-4
- [85] Elimelech, M., Chen, W. H., Waypa, J. J.: Measuring the zeta (electrokinetic) potential of reverse osmosis membranes by a streaming potential analyzer, *Desalination* 95 (1994) 3, 269-286, doi: 10.1016/0011-9164(94)00064-6.
- [86] Childress, A. E., Elimelech, M.: Effect of solution chemistry on the surface charge of polymeric reverse osmosis and nanofiltration membranes, *Journal of Membrane Science* 119 (1996) 2, 253-268, doi: 10.1016/0376-7388(96)00127-5
- [87] Jachowicz, J., Berthiaume, M., Garcia, M.: The effect of the amphiprotic nature of human hair keratin on the adsorption of high charge density cationic polyelectrolytes. *Colloid and Polymer Science* 263 (1985) 10, 847-858, doi: 10.1007/BF01412964.
- [88] Werner, C., König, U., Augsburg, A., Arnhold, C., Körber, H., Zimmermann, R., Jacobasch, H. J.: Electrokinetic surface characterization of biomedical polymers - a survey, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 159 (1999) 2-3, 519-529
- [89] Kumar, A., Dahl, V., Kleinen, J., Gambaryan-Roisman, T., Venzmer, J.: Influence of lipid bilayer phase behavior and substrate roughness on the pathways of intact vesicle deposition: A streaming potential study, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 521 (2017) 302-311, doi: 10.1016/j.colsurfa.2016.07.066
- [90] Oikonomou, E. K., F. Mousseau, N. Christov, G. Cristobal, A. Vacher, M. Airiau, C. Bourgaux, L. Heux, J-F. Berret.: Fabric softener–cellulose nanocrystal interaction: A model for assessing surfactant deposition on cotton, *The Journal of Physical Chemistry B* 121 (2017) 10, 2299-2307, doi: 10.1021/ACS.JPCB.7B00191
- [91] Luxbacher, T., Pušić, T., Bukšek, H., Petrinić, I.: ZETA potencijal tekstilnih materijala: pregled, *Tekstil* 65 (2016) 9–10, 340–345
- [92] Rahmesh Kumar, A., Teli, M. D.: Electrokinetic studies of modified cellulosic fibres, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 301 (2007) 1-3, 462-468
- [93] Luxbacher, T.: *The Zeta Potential for solid surface analysis - A practical guide to streaming potential measurement*, Anton Paar GmbH (2014) Austria, Graz
- [94] Luxbacher, T., Pušić, T., Bukšek, H., Petrinić, I.: The zeta potential of textile fabrics: A

- review, Proceedings of the 8th International Textile, Clothing & Design Conference – Magic World of Textiles (2016) 1–6
- [95] Luxbacher, T., Bukšek, H., Petrinić, I., Pušić, T.: Zeta potential determination of flat solid surfaces using a SurPASS electrokinetic analyzer, *Tekstil* 58 (2009) 8, 401–409
- [96] Hubbe, A. M., Rojas, O. J.: Colloidal stability and aggregation of lignocellulosic materials in aqueous suspension: a review, *BioResources* 3 (2008) 4, 1419–1491  
[https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_03\\_4\\_1419\\_Hubbe\\_Rojas\\_Colloidal\\_Stabil\\_Cellulosics\\_Review/1123](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_03_4_1419_Hubbe_Rojas_Colloidal_Stabil_Cellulosics_Review/1123) (pristupljeno 15.7.2021.)
- [97] Freudenberg, U., Zimmermann, R., Schmidt, K., Behrens, S. H., Werner, C.: Charging and swelling of cellulose films, *Journal of colloid and interface science* 309 (2007) 2, 360-365, doi: 10.1016/J.JCIS.2007.02.047
- [98] Petrinić, I., Bukšek, H., Luxbacher, T., Pušić, T., Bischof, S.: Influence of the structure of polymer fiber composites on the analysis of the zeta potential, *Journal of Applied Polymer Science* 135 (2018) 46227
- [99] Pušić, T., Grancarić, A. M., Soljačić, I., Ribitsch, V.: The effect of mercerisation on the electrokinetic potential of cotton, *Coloration Technology* 115 (1999) 4, 121-124, doi: 10.1111/J.1478-4408.1999.TB00308.X
- [100] Tarbuk, A., Grancarić, A.M., Pušić, T., Soljačić, I.: Adsorption properties of cationized cotton, Proceedings of the 5th World Textile Conference, AUTEX (2005) 255-260
- [101] Luxbacher, T., Pušić, T., Petrinić, I.: Monitoring the washing efficiency of stained cotton fabrics by streaming potential measurement, Proceedings of the 4th International Textile, Clothing & Design Conference – Magic World of Textiles (2008) 825-830
- [102] Calvimontes, A., Lant, N. J., Dutschk, V.: Cooperative action of cellulase enzyme and carboxymethyl cellulose on cotton fabric cleanability from a topographical standpoint, *Journal of Surfactants and Detergents* 14 (2011) 3, 307-316, doi: 10.1007/S11743-011-1248-5
- [103] Kargl, R., Mohan, T., Bracic, M., Kulterer, M., Doliska, A., Stana-Kleinschek, K., Ribitsch, V.: Adsorption of carboxymethyl cellulose on polymer surfaces: evidence of a specific interaction with cellulose, *Langmuir* 28 (2012) 31, 11440-11447, doi: 10.1021/LA302110A



- [104] Pušić, T., Soljačić, I.: Kontrola kvalitete pranja prema RAL-GZ 992, *Tekstil* 57 (2008) 6, 296-302
- [105] Kukrety, A., Singh, R.K., Singh, P., Ray, S.S.: Comprehension on the Synthesis of Carboxymethylcellulose (CMC) utilizing various cellulose rich waste biomass resources, *Waste and Biomass Valorization* 9 (2018) 9, 1587–1595, doi:10.1007/s12649-017-9903-3
- [106] Sodium carboxymethyl cellulose (CMC) - Sunray International, <https://sites.google.com/site/sunrayinternational/products/sodium-carboxy-methyl-cellulose-cmc> (pristupljeno 15.7.2021.)
- [107] Merck, <https://www.sigmaaldrich.com/HR/en> (pristupljeno 15.7.2021)
- [108] More solutions for sticky problems, A guide to getting more from your Brookfield viscometer & rheometer from the world leader in viscosity measurement and control, Brookfield Ametek (2017)
- [109] Mezger, T. G.: Applied rheology - With Joe Flow on Rheology Road: Anton Paar GmbH (2019)
- [110] Priručnik br. M/97-164, Brookfield DV-II+ Programmable viscometer, Operating Instructions (1997)
- [111] Oatley, C.W.: Advances in imaging and electron physics, Sir Charls Oatley and the Scanning Electron Microscope, Elsevier Academic Press 133 (2004), ISBN 0-12-014775-0, Chapter: Stewart, A.D.G.: Investigation of the topography of ion bombarded surfaces with a scanning electron microscope, *Advances in Imaging and Electron Physics*, 175-178
- [112] Malinauskas, A.: Chemical deposition of conducting polymers, *Polymer* 42 (2001) 9, 3957-3972, doi: 10.1016/S0032-3861(00)00800-4
- [113] Hossaini, S.H., Aref Azar, A., Aminifar, A., Esfandiari, A.H.: Preparation of conducting acrylic and polyester fibers by polypyrrole, Polyaniline and polythiophene using coating and blending methods, 6th Iranian Seminar on Polymer Science and Technology, Tehran, Iran (2003) 354, [https://www.researchgate.net/publication/318852383\\_Preparation\\_of\\_Conducting\\_Acrylic\\_and\\_Polyester\\_Fibres\\_by\\_Polypyrrole\\_Polyaniline\\_and\\_Polythiophene\\_Using\\_C](https://www.researchgate.net/publication/318852383_Preparation_of_Conducting_Acrylic_and_Polyester_Fibres_by_Polypyrrole_Polyaniline_and_Polythiophene_Using_C)

oating\_and\_Blending\_Methods (pristupljeno 15.7.2021)

- [114] Turalija, M., Bischof Vukušić, S., Katović, D.: Primjena skenirajućeg elektronskog mikroskopa za tekstil, *Tekstil* 58 (2009) 12, 640–649
- [115] Parac-Osterman, Đ.: Osnove o boji i sustavi vrjednovanja, Zagreb (2007)
- [116] Choudhury, A.K.R.: Principles of colour and appearance measurement, *Object Appearance, Colour Perception and Instrumental Measurement* (2014) ISBN: 9780857099242, Chapter: Griesser, R.: 9 Assessment of whiteness and tint of fluorescent substrates with good interinstrument correlation, *Color Research & Application* 19 (1994) 6, 446-460, doi:10.1533/9780857099242.344
- [117] Choudhury, A.K.R.: Instrumental measures of whiteness, *Principles of Colour and Appearance Measurement* (2014) 344–374, doi: 10.1533/9780857099242.344.
- [118] Giinzler, H., Gremlich, H-U.: Uvod u infracrvenu spektroskopiju, Zagreb, Školska knjiga, (2006) ISBN 953-0-30913-9
- [119] Ismail, A. A., van de Voort, F. R., Sedman, J.: Fourier transform infrared spectroscopy: principles and applications, In *Techniques and instrumentation in analytical chemistry, Instrumental Methods in Food Analysis*, 18 (1997) Chapter 4, 93-139
- [120] Xu, F., Yu, J., Tesso, T., Dowell, F., Wang, D.: Qualitative and quantitative analysis of lignocellulosic biomass using infrared techniques: a mini-review, *Applied Energy* 104, (2013) 801-809, doi: 10.1016/J.APENERGY.2012.12.019.
- [121] Lankmayr, E., Mocak, J., Serdt, K., Balla, B., Wenzl, T., Bandoniene, D., Wagner, S.: Chemometrical classification of pumpkin seed oils using UV–Vis, NIR and FTIR spectra, *Journal of Biochemical and Biophysical Methods* 61 (2004) 1-2, 95-106, doi: 10.1016/S0165-022X(04)00063-6
- [122] Vončina, E., Vončina, D. B., Mirkvič, N., Novič, M.: Chemometric characterisation of the quality of ground waters from different wells in Slovenia, *Acta Chimica Slovenica* 54 (2007) 1, 119-125
- [123] Miller, J.M., Miller, J.C.: *Statistics and chemometrics for analytical chemistry* (2005), ISBN 0-131-29192-0
- [124] Farshchi, A., Hassanpour, A., Bayly, A. E.: The structure of spray-dried detergent

- powders, *Powder Technology* 355 (2019) 738-754, doi:  
10.1016/J.POWTEC.2019.06.049
- [125] Viscosity of water – viscosity table and viscosity chart: Anton Paar Wiki,  
<https://wiki.anton-paar.com/en/water/> (pristupljeno 02.12.2021.)
- [126] Kulicke, W. M., Clasen, C.: *Viscosimetry of polymers and polyelectrolytes*, Springer  
Science & Business Media, New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2004)
- [127] Bhandari, P. N.: *Chemical modification of polysaccharides using reactive extrusion*.  
The University of Nebraska-Lincoln, A dissertation (2012)
- [128] Volmajer Valh, J., Peršin, Z., Vončina, B., Vrezner, K., Tušek, L., Fras Zemljič, L.:  
Microencapsulation of cannabidiol in liposomes as coating for cellulose for potential  
advanced sanitary material, *Coatings* 11 (2021), doi: 10.3390/COATINGS11010003
- [129] Makowski, T.: Hydrophobization of cotton fabric with silanes with different  
substituents, *Cellulose* 27 (2020) 1, 1-9, doi: 10.1007/S10570-019-02776-  
4/FIGURES/7.
- [130] Sun, L., Xie, Y., Wu, J., Wang, H., Wang, S., Li, W., Zhang, J., Zhang, Z., Zhu, P., Lu,  
Z., Dong, C.: A novel P/N-based flame retardant synthesized by one-step method  
toward cotton materials and its flame-retardant mechanism, *Cellulose* 28 (2021) 5,  
3249-3264, doi: 10.1007/S10570-021-03728-7
- [131] Hospodarova, V., Singovszka, E., Stevulova, N.: Characterization of cellulosic fibers  
by FTIR spectroscopy for their further implementation to building materials, *American  
Journal of Analytical Chemistry* 9 (2018) 6, 303-310, doi: 10.4236/ajac.2018.96023
- [132] Mondal, M., Ibrahim, H., Alam, A. B. M.: Utilization of cellulosic wastes in textile and  
garment industries: 2. Synthesis and characterization of cellulose acetate from knitted  
rag, *Journal of Polymers and the Environment* 21 (2013) 1, 280-285, doi:  
10.1002/APP.38446
- [133] Peets, P., Kaupmees, K., Vahur, S., Leito, I.: Reflectance FT-IR spectroscopy as a  
viable option for textile fiber identification, *Heritage Science* 7 (2019) 1, 1-10, doi:  
10.1186/s40494-019-0337-z
- [134] Soljačić, I.: O optičkim bjelilima, *Tekstil* 21(1972) 5, 377–398

- [135] Dekanić, T., Soljačić, I., Pušić, T.: Impact of artificial UV-light on optical and protective effects of cotton after washing with detergent containing fluorescent compounds, *Tenside Surfactants Detergents* 51 (2014) 5, 451-459, doi: 10.3139/113.110329
- [136] Brown, D. M., Cameron, B. A., Meyer, S. S., Umber, J.J.: The effects of water hardness level on washing quality using commercial laundry detergents, *Journal of Consumer Studies & Home Economics* 15 (1991) 3, 215-222
- [137] Young, S. L., Matijević, E.: Precipitation phenomena of heavy metal soaps in aqueous solutions: III. Metal laurates, *Journal of Colloid and Interface Science* 61 (1977) 2, 287-301
- [138] Pušić, T., Jeličić, J., Nuber, M., I. Soljačić, I.: Istraživanje sredstava za kemijsko bijeljenje u pranju, *Tekstil* 56 (2007) 7, 412-417

## 7. PRILOZI

### Prilog 1: Popis simbola

$f_d$  – sila odvajanja

$r$  - radijus

$\pi_s$  – pritisak u adsorpcijskom sloju supstrata

$\pi_p$  – pritisak u adsorpcijskom sloju čestice

$\pi$  – 3,14159

$^{\circ}\text{dH}$  – njemački stupanj tvrdoće vode u mg CaO/l

$V$  – volumen

$c$  – koncentracija

pH – kiselost odnosno lužnatost

CMC\* - udio karboksimetil celuloze

$A^*$  – odvaga uzorka suhe sirovine inhibitora

$B$  – masa taloga

$d$  – masa NaCl

DS – stupanj supstitucije

$a$  – utrošak standardizirane 0,05 mol/l sumporne kiseline

$C$  – masa čistog CMC

$S$  – utrošak standardizirane 0,05 mol/l sumporne kiseline u ml potrebne za 1 g CMC

$M$  - sadržaj vlage

$m_{\text{asu}}$  – masa apsolutno suhog uzorka

$m_u$  – masa uzorka prije sušenja

$A$  – sadržaj pepela

$m_1$  - masa pepela

$m_0$  – masa apsolutno suhe tkanine

$\Delta R_{460}$  – promjena u remisiji svjetla na valnoj duljini 460 nm

$R_{W 460}$  – remisija svjetla s oprane pamučne tkanine na valnoj duljini 460 nm

$R_{0 460}$  – remisija svjetla s neoprane pamučne tkanine na valnoj duljini 460 nm

$\Sigma \Delta R_{460}$  – suma svih promjena remisija na valnoj duljini 460 nm

$c$  – koncentracija otopine

$p$  – tlak

$U_{str}$  – potencijal strujanja

$U_p$  – potencijal strujanja

$I_p$  – struja strujanja

$\zeta$  – zeta potencijal

$\varepsilon_0$  – permitivnost vakuumu

$\varepsilon$  – dielektrična konstanta

$\eta$  – dinamička viskoznost otopine

$R$  – električki otpor

$Q$  – površina presjeka kapilare

$L$  – duljina kapilare

$\Delta p$  – razlika tlakova na krajevima kapilare

$R_p$  – električki otpor formiranog čepa u mjernoj ćeliji

$\chi_p$  – poznata provodnost jakog elektrolita kojim je pri otporu  $R_p$  ispunjena ćelija

OK – omjer kupelji

$V_k$  – volumen kupelji

$t$  – vrijeme

$T$  – temperatura

$W_{GG}$  – stupanj bjeline prema Ganz-Grisseru

$\gamma$  - masena koncentracija deterdženta

$w$  – maseni udio tvari

$d_{x,y}$  – udaljenost između točaka

$x_j$  i  $y_j$  – koordinate j-te točke

cps - Counts Per Second

## Prilog 2: Popis tablica

Tablica 1 Glavni sastojci praškastih deterdženata u svijetu [16] .....	8
Tablica 2 Profil učinkovitosti enzima za deterdžente [6].....	11
Tablica 3 Varijacije kupelji za pranje tekstilija u konzervaciji .....	19
Tablica 4 EMPA donori zaprljanja - standardno zaprljane tkanine (E-101, E-104, E-114 i E-116).....	36
Tablica 5 Sastav deterdženta .....	37
Tablica 6 Svojstva deterdženta.....	37
Tablica 7 Karakteristike karboksimetil celuloze, CMC .....	39
Tablica 8 Karakteristike natrijeve karboksimetil celuloze niske viskoznosti, CMC LV .....	39
Tablica 9 Karakteristike natrijeve karboksimetil celuloze visoke viskoznosti, CMC HV.....	39
Tablica 10 Karakteristike proizvoda Linpak CMS .....	40
Tablica 11 Masa EMPA donora zaprljanja .....	41
Tablica 12 Uvjeti pranja u laboratorijskoj perilici (P) .....	42
Tablica 13 Uvjeti pranja u laboratorijskom uređaju Polymat (M).....	43
Tablica 14 Vretna i konstante viskozimetra .....	49
Tablica 15 Svojstva polimera.....	59
Tablica 16 Sadržaj vlage referentnih uzoraka .....	59
Tablica 17 pH otopina referentnih uzoraka.....	60
Tablica 18 Viskoznost referentnih otopina .....	60
Tablica 19 Sadržaj pepela (A) nakon žarenja pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom različitog sastava u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskoj perilici (P) .....	68
Tablica 20 Sadržaj pepela nakon žarenja pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja u tvrdoj i mekoj vodi, deterdžentu različitog sastava na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskom uređaju Polymat (M).....	69
Tablica 21 Sadržaj pepela (A) nakon žarenja pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom različitog sastava u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskoj perilici (P) .....	70
Tablica 22 Sadržaj pepela nakon žarenja pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja u tvrdoj i mekoj vodi, deterdžentu različitog sastava na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskom uređaju Polymat (M).....	71
Tablica 23 Površina ili područje pojedinih elemenata u analiziranim uzorcima tkanine i pepela .....	77
Tablica 24 Odnos naboja površine opranih pamučnih tkanina u laboratorijskoj perilici P u odnosu na nepranu.....	109
Tablica 25 Odnos naboja površine pamučnih tkanina opranih u laboratorijskoj perilici P u odnosu na baznu neoprano tkaninu (- negativniji od bazne, + pozitivniji od bazne).....	110
Tablica 26 Odnos naboja površine pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju M .....	110
Tablica 27 Odnos naboja površine pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju M u odnosu na baznu neoprano tkaninu (- negativniji od bazne).....	111
Tablica 28 Stupanj bjeline pamučnih tkanina (PT) prije i nakon 10. ciklusa pranja baznim deterdžentom različitog sastava (CMC, CMS, CMC i CMS) na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskoj perilici, P .....	122
Tablica 29 Stupanj bjeline pamučnih tkanina (PT) prije i nakon 10. ciklusa pranja u vodi, baznim deterdžentom bez i uz dodatak inhibitora posivljenja (CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV i CMC HV) na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskom uređaju, M .....	123
Tablica 30 Specifikacija EMPA standardnih tkanina - donori zaprljanja.....	125



Tablica 31 Rezultati remisije standardno zaprljanih tkanina – donora zaprljanja .....	125
Tablica 32 Rezultati remisije standardno zaprljanih tkanina (E- 101, E-104, E-114 i E-116) nakon pranja u 1. ciklusu deterdžentom različitog sastava u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskoj perilici (P) .....	126
Tablica 33 Rezultati remisije EMPA tkanina nakon pranja u 1. ciklusu s varijacijom sastava kupelji i temperature u laboratorijskom uređaju Polymat (M).....	127
Tablica 34 Rezultati remisije EMPA tkanina nakon pranja u 11. ciklusu deterdžentom različitog sastava u tvrdoj i mekoj vodi .....	129
Tablica 35 Rezultati remisije EMPA tkanina nakon pranja u 11. ciklusu deterdžentom različitog sastava u tvrdoj i mekoj vodi .....	129
Tablica 36 Usporedba ukupnog učinka u pranju ( $\sum \Delta R_{460}$ ) donora prljavština u 1. ciklusu i 11. ciklusu .....	130
Tablica 37 Stupanj bjeline standardnih pamučnih tkanina prije pranja (PT) i opranih uz varijaciju uvjeta pranja: nakon 1. (PT 1), 10. (PT 10X) i 11. ciklusa (PT* 11X) i razlika u bjelini između 10. i 11. ciklusa .....	133
Tablica 38 Stupanj bjeline pamučnih tkanina (PT) prije i nakon 1., 10. i 11. ciklusa pranja u vodi, deterdžentu i deterdžentu s inhibitorom posivljenja (CMC, CMS, CMC+CMS, CMC LV, CMC HV) na 40 °C, 60 °C i 90 °C u tvrdoj i mekoj vodi u laboratorijskom uređaju (M) .....	134

### Prilog 3: Popis slika

Slika 1 Shematski prikaz procesnih čimbenika u pranju [2] .....	4
Slika 2 Zeta potencijal standardnih tkanina u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl [12] .....	6
Slika 3 Mehanizmi uklanjanja prljavština [16] .....	7
Slika 4 Izvori stranih tvari na tekstilu [2].....	9
Slika 5 REM snimke mikrokristala kalcija i magnezija na tekstilnom materijalu, povećanje 1000 X [23] .....	10
Slika 6 Interakcija anionskog tenzida i biopolimera na bazi kolagena u otopini [33] .....	13
Slika 7 D-glukoza i kemijska struktura njenih polimernih derivata u $\alpha$ i $\beta$ konfiguraciji: škrob i celuloza [34].....	14
Slika 8 Primjeri nekih izvora i područja primjene celuloze [34] .....	15
Slika 9 Kemijska reakcija sinteze CMC iz celuloze [46].....	16
Slika 10 Strukturne razlike između celuloze i CMC-e [46] .....	17
Slika 11 Shematski prikaz CMC [41] .....	17
Slika 12 Struktura CMC [50] .....	18
Slika 13 Uklanjanje standardnih prljavština (3M) s pamuka u kupelji analiziranog sastava [60] .....	20
Slika 14 Utjecaj specifičnih tenzida u deterdžentu na sposobnost inhibiranja posivljenja tekstilija [5] .....	21
Slika 15 Zeta potencijal sirovih (R), iskuhanih (S) i slobodno merceriziranih vlakana (M) u različitim koncentracijama NaOH (15%, 20% i 24%) u ovisnosti o pH 1 mmol/l KCl [67]...	23
Slika 16 Model elektrokemijskog dvosloja (EDL model) na površini granice faza kruto-tekuće [79] .....	26
Slika 17 Ovisnost zeta potencijala polimera s kiselim, baznim i amfoternim funkcionalnim skupinama i polimernu površinu bez disocirajućih skupina o pH vodene otopine elektrolita [79] .....	30
Slika 18 Celulozne površine: a) idealne geometrije; b) porozne [96].....	31
Slika 19 Shematski prikaz strukture i ionizacije nevezanih (lijevo) i umreženih (desno) slojeva celuloze [97].....	32
Slika 20 Zeta potencijal pamučnih vlakana različitog stupnja obrade u ovisnosti o pH [79] ..	33
Slika 21 Zeta potencijal sirove, krvlju zaprljane i oprane standardne pamučne tkanine [79]..	33
Slika 22 Shematski prikaz adsorpcije CMC na površinu polimera [103] .....	34
Slika 23 Utjecaj sorpcije CMC na tkaninu i prljavštinu [9].....	34
Slika 24 Molekularna 2D struktura CMC .....	38
Slika 25 Molekularna 2D struktura CMS.....	40
Slika 26 Shematski prikaz depozicije prljavštine na pamučnu tkaninu prije i nakon modifikacije odabranim polimerima .....	58
Slika 27 Mikrografi deterdženta snimljeni uz povećanje a. 100x, b. 1000x i c. 5000x .....	61
Slika 28 Mikrografi CMC uz povećanje a. 100x, b. 1000x i c. 5000x.....	62
Slika 29 Mikrograf CMS s visokim stupnjem bubrivosti, uz povećanja a. 100x, b. 1000x i c. 5000x.....	62
Slika 30 Mikrografi CMC LV uz povećanja a. 100x, b. 1000x i c. 5000x .....	63
Slika 31 Mikrografi CMC HV uz povećanja a. 100x, b. 1000x i c. 5000x.....	63
Slika 32 FTIR spektar odabranih referentnih uzoraka .....	64
Slika 33 FTIR spektar neoprane pamučne tkanine.....	65
Slika 34 Mikrografi standardne pamučne tkanine uz povećanja a. 1000x, b. 2000x i c. 5000x .....	66
Slika 35 Zeta potencijal standardne pamučne tkanine (PT) u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl .....	66

Slika 36 Mikrografi oprane PT tkanine nakon 11 ciklusa (M_CMC HV_90_T_11x) uz povećanja.....	73
Slika 37 Mikrografi pepela neoprane pamučne tkanine (PT) uz povećanja a. 2000x, b. 10000x i c. 20000x.....	74
Slika 38 Mikrografi pepela oprane pamučne tkanine (M_CMC HV_90_T_11x) uz povećanja a. 2000x, b. 10000 i; c. 20000x.....	74
Slika 39 SEM-EDS analiza a. standardne pamučne tkanine, b. oprane pamučne tkanine M_CMC HV_90_T_11x i c. usporedba spektara (Spectrum 1 odnosi se na PT a Spectum 2 na M_CMC HV_90_T_11x).....	75
Slika 40 SEM-EDS analiza ostatnog pepela nakon žarenja a. standardne pamučne tkanine, b. oprane M_CMC HV_90_T_11x, c. spektar pepala standardne pamučne tkanine (Spectrum 3 i 4) i d. spektar pepala oprane M_CMC HV_90_T_11x (Spectrum 5 i 6).....	76
Slika 41 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskoj perilici (P) deterdžentom u koji je dodan CMC na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklusa uspoređeni sa spektrima pamučne tkanine (PT) i CMC-e kao modifikator površine.....	78
Slika 42 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskoj perilici (P) deterdžentom u koji je dodan CMS na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklusa uspoređeni sa spektrima pamučne tkanine (PT) i CMS-a kao modifikator površine.....	79
Slika 43 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskoj perilici (P) deterdžentom u koji je dodan CMC i CMS na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklusa uspoređeni sa spektrima pamučne tkanine (PT) i kombinacije CMC-e i CMS-a kao modifikator površine.....	80
Slika 44 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju Polymat (M) deterdžentom bez inhibitora posivljenja na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklusa uspoređeni sa spektrima pamučne tkanine (PT) i deterdžentom.....	81
Slika 45 FTIR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju Polymat (M) deterdžentom u koji je dodan CMC na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklusa uspoređeni sa spektrima neprane pamučne tkanine (PT) i CMC-e kao modifikator površine.....	82
Slika 46 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju Polymat (M) deterdžentom u koji je dodan CMS na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklus uspoređeni sa spektrima neprane pamučne tkanine (PT) i CMS kao modifikator površine.....	83
Slika 47 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju Polymat (M) deterdžentom u koji je dodana kombinacija CMC i CMS, na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklus uspoređeni sa spektrima neprane pamučne tkanine (PT) i mješavine CMC i CMS kao modifikatorima površine.....	84
Slika 48 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju Polymat (M) deterdžentom u koji je dodan CMC LV na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklus uspoređeni sa spektrima pamučne tkanine (PT) i CMC LV kao modifikator površine.....	85
Slika 49 FT-IR spektri pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju Polymat (M) deterdžentom u koji je dodan HV CMC, na 40 °C, 60 °C i 90 °C u mekoj i tvrdoj vodi kroz 11 ciklus uspoređeni sa spektrima neprane pamučne tkanine (PT) i CMC HV kao modifikator površine.....	86
Slika 50 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMC u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl.....	87
Slika 51 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMS u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl....	88

Slika 52 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMC+CMS u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl .....	89
Slika 53 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl.....	90
Slika 54 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom (D) bez modifikatora u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl .....	91
Slika 55 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMC u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl ...	92
Slika 56 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMS u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl....	93
Slika 57 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMC+CMS u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl .....	94
Slika 58 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMC LV u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl .....	95
Slika 59 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s CMC HV u tvrdoj i mekoj vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl .....	96
Slika 60 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 40 °C uz varijaciju uvjeta u tvrdoj vodi u laboratorijskoj perilici u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl.....	97
Slika 61 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 40 °C uz varijaciju uvjeta u mekoj vodi u laboratorijskoj perilici u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl.....	98
Slika 62 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 60 °C uz varijaciju uvjeta u tvrdoj vodi u laboratorijskoj perilici u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl.....	99
Slika 63 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 60 °C uz varijaciju uvjeta u mekoj vodi u laboratorijskoj perilici u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl.....	100
Slika 64 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 90 °C uz varijaciju uvjeta u tvrdoj vodi u laboratorijskoj perilici u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl.....	101
Slika 65 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 90 °C uz varijaciju uvjeta u mekoj vodi u laboratorijskoj perilici u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl.....	102
Slika 66 Zeta potencijal pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa modifikacije deterdžentom s inhibitorima u tvrdoj vodi u Polymatu na 40 °C u ovisnosti o pH 0,001 mmol/l KCl.....	103
Slika 67 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 40 °C uz varijaciju uvjeta u mekoj vodi u Polymatu u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl .....	104
Slika 68 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 60 °C uz varijaciju uvjeta u tvrdoj vodi u Polymatu u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl .....	105
Slika 69 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 60 °C uz varijaciju uvjeta u mekoj vodi u Polymatu u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl .....	106
Slika 70 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 90 °C uz varijaciju uvjeta u tvrdoj vodi u Polymatu u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl .....	107
Slika 71 Zeta potencijal pamučne tkanine oprane na 90 °C uz varijaciju uvjeta u mekoj vodi u Polymatu u ovisnosti o pH 0,001 mol/l KCl .....	108
Slika 72 Zeta potencijal pamučnih tkanina opranih u laboratorijskoj perilici ovisno o temperaturi i tvrdoći vode kod pH 9 .....	109
Slika 73 Zeta potencijal pamučnih tkanina opranih u laboratorijskom uređaju ovisno o temperaturi i tvrdoći vode kod pH 9 .....	111

Slika 74 Dendogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u laboratorijskoj perilici (P) ovisno o temperaturi i tvrdoći vode .....	112
Slika 75 Dendogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u tvrdoj vodi u laboratorijskoj perilici (P) ovisno o temperaturi .....	113
Slika 76 Dendogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u mekoj vodi u laboratorijskoj perilici (P) ovisno o temperaturi .....	113
Slika 77 Dendogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u laboratorijskoj perilici (P) kao funkcija sastava kupelji .....	114
Slika 78 Dendogram zeta potencijala (ZP) pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) u mekoj i tvrdoj vodi pri različitim temperaturama kao funkcija sastava kupelji.....	115
Slika 79 Dendogram sadržaja rezidualnih tvari i zeta potencijala pri pH 9 pamučne tkanine oprane u laboratorijskoj perilici ovisno o sastavu deterdženta .....	115
Slika 80 Dendogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) ovisno o temperaturi i tvrdoći vode .....	116
Slika 81 Dendogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) u tvrdoj vodi kao funkcija temperature i sastava deterdženta .....	117
Slika 82 Dendogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) u mekoj vodi kao funkcija temperature i sastava deterdženta .....	118
Slika 83 Dendogram sadržaja rezidualnih tvari (A) pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) u mekoj i tvrdoj vodi kao funkcija sastava kupelji .....	119
Slika 84 Dendogram zeta potencijala (ZP) pamučne tkanine oprane u laboratorijskom uređaju (M) u mekoj i tvrdoj vodi pri različitim temperaturama kao funkcija sastava kupelji.....	120
Slika 85 Dendogram sadržaja rezidualnih tvari i zeta potencijala pri pH 9 pamučne tkanine oprane u laboratorijskoj uređaju ovisno o sastavu deterdženta.....	121

## Prilog 4: Popis korištenih normi

1. HRN ISO 672:1997 - Sapuni -- Određivanje sadržaja vlage i hlapljivih tvari - Metoda sušenja (ISO 672:1978)
2. HRN ISO 4312:2001 - Površinski aktivne tvari -- Procjena određenih učinaka pranja – Metoda analize i ispitivanja za čistu kontrolnu pamučnu tkaninu (ISO 4312:1989)
3. HRN ISO 4315:1997 - Površinski aktivne tvari -- Određivanje alkaliteta - Titrimetrijska metoda (ISO 4315:1977)
4. HRN ISO 6059:1998 - Kakvoća vode -- Određivanje sume kalcija i magnezija -- Volumetrijska metoda s EDTA (ISO 6059:1984)
5. ISO 6388:1999 - Surface active agents -- Determination of flow properties using a rotational viscometer
6. HRN EN ISO 105-J02:2003 - Tekstil -- Ispitivanje postojanosti obojenja -- Dio J02: Instrumentalno određivanje relativne bjeline (ISO 105-J02:1997, uključujući Cor 1:1998; EN ISO 105-J02:1999)
7. RAL-GZ 992 - Sicherheit durch professionellen wäscheservice

## Prilog 5: Oznake uzoraka

**Tablica P5.1.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u deterdžentu i CMC u laboratorijskoj perilici (P) kroz 1. ciklus

Oznaka	Opis
P_E-101_CMC_40_T P_E-101_CMC_60_T P_E-101_CMC_90_T	perilica, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-101_CMC_40_M P_E-101_CMC_60_M P_E-101_CMC_90_M	perilica, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-104_CMC_40_T P_E-104_CMC_60_T P_E-104_CMC_90_T	perilica, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-104_CMC_40_M P_E-104_CMC_60_M P_E-104_CMC_90_M	perilica, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-114_CMC_40_T P_E-114_CMC_60_T P_E-114_CMC_90_T	perilica, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-114_CMC_40_M P_E-114_CMC_60_M P_E-114_CMC_90_M	perilica, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-116_CMC_40_T P_E-116_CMC_60_T P_E-116_CMC_90_T	perilica, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžentu i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-116_CMC_40_M P_E-116_CMC_60_M P_E-116_CMC_90_M	perilica, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.2** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u deterdžentu i CMS u laboratorijskoj perilici rublja (P) kroz 1. ciklus

Oznaka	Opis
P_E-101_CMS_40_T P_E-101_CMS_60_T P_E-101_CMS_90_T	perilica, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-101_CMS_40_M P_E-101_CMS_60_M P_E-101_CMS_90_M	perilica, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-104_CMS_40_T P_E-104_CMS_60_T P_E-104_CMS_90_T	perilica, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-104_CMS_40_M P_E-104_CMS_60_M P_E-104_CMS_90_M	perilica, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-114_CMS_40_T P_E-114_CMS_60_T P_E-114_CMS_90_T	perilica, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-114_CMS_40_M P_E-114_CMS_60_M P_E-114_CMS_90_M	perilica, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-116_CMS_40_T P_E-116_CMS_60_T P_E-116_CMS_90_T	perilica, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-116_CMS_40_M P_E-116_CMS_60_M P_E-116_CMS_90_M	perilica, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi



**Tablica P5.3** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u raspršenoj smjesi deterdženta i CMC+CMS u laboratorijskoj perilici rublja (P) kroz 1. ciklus

Oznaka	Opis
P_E-101_CMC+CMS_40_T P_E-101_CMC+CMS_60_T P_E-101_CMC+CMS_90_T	perilica, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-101_CMC+CMS_40_M P_E-101_CMC+CMS_60_M P_E-101_CMC+CMS_90_M	perilica, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-104_CMC+CMS_40_T P_E-104_CMC+CMS_60_T P_E-104_CMC+CMS_90_T	perilica, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-104_CMC+CMS_40_M P_E-104_CMC+CMS_60_M P_E-104_CMC+CMS_90_M	perilica, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-114_CMC+CMS_40_T P_E-114_CMC+CMS_60_T P_E-114_CMC+CMS_90_T	perilica, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-114_CMC+CMS_40_M P_E-114_CMC+CMS_60_M P_E-114_CMC+CMS_90_M	perilica, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-116_CMC+CMS_40_T P_E-116_CMC+CMS_60_T P_E-116_CMC+CMS_90_T	perilica, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-116_CMC+CMS_40_M P_E-116_CMC+CMS_60_M P_E-116_CMC+CMS_90_M	perilica, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.4** Oznake i opis uzoraka **standardnih tkanina, PT** opranih u laboratorijskoj perilici rublja (P) kroz 10 ciklusa

Oznaka	Opis
P_PT_CMC_40_T_10x P_PT_CMC_60_T_10x P_PT_CMC_90_T_10x	perilica, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, oprano u tvrdoj vodi, 10 ciklusa
P_PT_CMS_40_T_10x P_PT_CMS_60_T_10x P_PT_CMS_90_T_10x	perilica, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 10 ciklusa
P_PT_CMC+CMS_40_T_10x P_PT_CMC+CMS_60_T_10x P_PT_CMC+CMS_90_T_10x	perilica, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 10 ciklusa
P_PT_CMC_40_M_10x P_PT_CMC_60_M_10x P_PT_CMC_90_M_10x	perilica, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 10 ciklusa
P_PT_CMS_40_M_10x P_PT_CMS_60_M_10x P_PT_CMS_90_M_10x	perilica, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 10 ciklusa
P_PT_CMC+CMS_40_M_10x P_PT_CMC+CMS_60_M_10x P_PT_CMC+CMS_90_M_10x	perilica, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 10 ciklusa

**Tablica P5.5.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u tvrdoj/mekoj vodi u laboratorijskom uređaju Polymat (M) kroz 1. ciklus

Oznaka	Opis
M_E-101_40_T M_E-101_60_T M_E-101_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-101_40_M M_E-101_60_M M_E-101_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104_40_T M_E-104_60_T M_E-104_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-104_40_M M_E-104_60_M M_E-104_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114_40_T M_E-114_60_T M_E-114_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-114_40_M M_E-114_60_M M_E-114_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116_40_T M_E-116_60_T M_E-116_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, temperatura pranja 40, 60, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-116_40_M M_E-116_60_M M_E-116_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.6.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u deterdžentu bez inhibitora posivljenja u laboratorijskom uređaju Polymat (M) kroz 1. ciklus

Oznaka	Opis
M_E-101_D_40_T M_E-101_D_60_T M_E-101_D_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-101_D_40_M M_E-101_D_60_M M_E-101_D_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104_D_40_T M_E-104_D_60_T M_E-104_D_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-104_D_40_M M_E-104_D_60_M M_E-104_D_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114_D_40_T M_E-114_D_60_T M_E-114_D_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-114_D_40_M M_E-114_D_60_M M_E-114_D_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116_D_40_T M_E-116_D_60_T M_E-116_D_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-116_D_40_M M_E-116_D_60_M M_E-116_D_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.7.** Opis i oznake uzoraka **EMPA** tkanina opranih u deterdžentu i CMC u laboratorijskom uređaju Polymat (M) kroz 1. ciklus

<b>Oznaka</b>	<b>Opis</b>
M_E-101_CMC_40_T M_E-101_CMC_60_T M_E-101_CMC_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-101_CMC_40_M M_E-101_CMC_60_M M_E-101_CMC_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104_CMC_40_T M_E-104_CMC_60_T M_E-104_CMC_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-104_CMC_40_M M_E-104_CMC_60_M M_E-104_CMC_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114_CMC_40_T M_E-114_CMC_60_T M_E-114_CMC_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-114_CMC_40_M M_E-114_CMC_60_M M_E-114_CMC_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116_CMC_40_T M_E-116_CMC_60_T M_E-116_CMC_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-116_CMC_40_M M_E-116_CMC_60_M M_E-116_CMC_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.8.** Oznake i opis **EMPA** tkanina opranih u deterdžentu i CMS u laboratorijskom uređaju Polymat (M) kroz 1 ciklus

<b>Oznaka</b>	<b>Opis</b>
M_E-101_CMS_40_T M_E-101_CMS_60_T M_E-101_CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-101_CMS_40_M M_E-101_CMS_60_M M_E-101_CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104_CMS_40_T M_E-104_CMS_60_T M_E-104_CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-104_CMS_40_M M_E-104_CMS_60_M M_E-104_CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114_CMS_40_T M_E-114_CMS_60_T M_E-114_CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-114_CMS_40_M M_E-114_CMS_60_M M_E-114_CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116_CMS_40_T M_E-116_CMS_60_T M_E-116_CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-116_CMS_40_M M_E-116_CMS_60_M M_E-116_CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.9.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u deterdžentu i CMC+CMS opranih u laboratorijskom uređaju Polymat (M) kroz 1 ciklus

Oznaka	Opis
M_E-101_CMC+CMS_40_T M_E-101_CMC+CMS_60_T M_E-101_CMC+CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC+CMS temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-101_CMC+CMS_40_M M_E-101_CMC+CMS_60_M M_E-101_CMC+CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104_CMC+CMS_40_T M_E-104_CMC+CMS_60_T M_E-104_CMC+CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-104_CMC+CMS_40_M M_E-104_CMC+CMS_60_M M_E-104_CMC+CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114_CMC+CMS_40_T M_E-114_CMC+CMS_60_T M_E-114_CMC+CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-114_CMC+CMS_40_M M_E-114_CMC+CMS_60_M M_E-114_CMC+CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116_CMC+CMS_40_T M_E-116_CMC+CMS_60_T M_E-116_CMC+CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-116_CMC+CMS_40_M M_E-116_CMC+CMS_60_M M_E-116_CMC+CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.10.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u deterdžentu i CMC LV u laboratorijskom uređaju Polymat (M) kroz 1. ciklus

Oznaka	Opis
M_E-101_CMC LV_40_T M_E-101_CMC LV_60_T M_E-101_CMC LV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-101_CMC LV_40_M M_E-101_CMC LV_60_M M_E-101_CMC LV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104_CMC LV_40_T M_E-104_CMC LV_60_T M_E-104_CMC LV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-104_CMC LV_40_M M_E-104_CMC LV_60_M M_E-104_CMC LV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114_CMC LV_40_T M_E-114_CMC LV_60_T M_E-114_CMC LV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-114_CMC LV_40_M M_E-114_CMC LV_60_M M_E-114_CMC LV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116_CMC LV_40_T M_E-116_CMC LV_60_T M_E-116_CMC LV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-116_CMC LV_40_M M_E-116_CMC LV_60_M M_E-116_CMC LV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi



**Tablica P5.11.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u deterdžentu i CMC HV u laboratorijskom uređaju Polymat (M) kroz 1. ciklus

Oznaka	Opis
M_E-101_CMC HV_40_T M_E-101_CMC HV_60_T M_E-101_CMC HV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-101_CMC HV_40_M M_E-101_CMC HV_60_M M_E-101_CMC HV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104_CMC HV_40_T M_E-104_CMC HV_60_T M_E-104_CMC HV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-104_CMC HV_40_M M_E-104_CMC HV_60_M M_E-104_CMC HV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114_CMC HV_40_T M_E-114_CMC HV_60_T M_E-114_CMC HV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-114_CMC HV_40_M M_E-114_CMC HV_60_M M_E-114_CMC HV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116_CMC HV_40_T M_E-116_CMC HV_60_T M_E-116_CMC HV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-116_CMC HV_40_M M_E-116_CMC HV_60_M M_E-116_CMC HV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.12.** Oznake i opis uzoraka pamučnih tkanina, **PT** opranih u tvrdj/mekoj vodi, deterdžent i deterdžent i CMC/CMS/ CMC+CMS/CMC LV/CMC HV opranih laboratorijskom uređaju Polymat (M) kroz 10 ciklusa

Oznaka	Opis
M_PT_40_T_10x M_PT_60_T_10x M_PT_90_T_10x	Polymat, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdj vodi, 10 ciklusa
M_PT_40_M_10x M_PT_60_M_10x M_PT_90_M_10x	Polymat, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 10 ciklusa
M_PT_D_40_T_10x M_PT_D_60_T_10x M_PT_D_90_T_10x	Polymat, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdj vodi, 10 ciklusa
M_PT_D_40_M_10x M_PT_D_60_M_10x M_PT_D_90_M_10x	Polymat, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 10 ciklusa
M_PT_CMC_40_T_10x M_PT_CMC_60_T_10x M_PT_CMC_90_T_10x	Polymat, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdj vodi, 10 ciklusa
M_PT_CMC_40_M_10x M_PT_CMC_60_M_10x M_PT_CMC_90_M_10x	Polymat, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 10 ciklusa
M_PT_CMS_40_T_10x M_PT_CMS_60_T_10x M_PT_CMS_90_T_10x	Polymat, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdj vodi, 10 ciklusa
M_PT_CMS_40_M_10x M_PT_CMS_60_M_10x M_PT_CMS_90_M_10x	Polymat, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 10 ciklusa
M_PT_CMC+CMS_40_T_10x M_PT_CMC+CMS_60_T_10x M_PT_CMC+CMS_90_T_10x	Polymat, deterdžentu i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdj vodi, 10 ciklusa
M_PT_CMC+CMS_40_M_10x M_PT_CMC+CMS_60_M_10x M_PT_CMC+CMS_90_M_10x	Polymat, deterdžentu i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 10 ciklusa
M_PT_CMC LV_40_T_10x M_PT_CMC LV_60_T_10x M_PT_CMC LV_90_T_10x	Polymat, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdj vodi, 10 ciklusa
M_PT_CMC LV_40_M_10x M_PT_CMC LV_60_M_10x M_PT_CMC LV_90_M_10x	Polymat, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 10 ciklusa
M_PT_CMC HV_40_T_10x M_PT_CMC HV_60_T_10x M_PT_CMC HV_90_T_10x	Polymat, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdj vodi, 10 ciklusa
M_PT_CMC HV_40_M_10x M_PT_CMC HV_60_M_10x M_PT_CMC HV_90_M_10x	Polymat, deterdžentu i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 10 ciklusa

**Tablica P5.13.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u deterdžentu i CMC u 11. ciklusu u laboratorijskom uređaju Polymat (M) s tkaninama prethodno opranim kroz 10 ciklusa u P

Oznaka	Opis
P_E-101*_CMC_40_T P_E-101*_CMC_60_T P_E-101*_CMC_90_T	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-101*_CMC_40_M P_E-101*_CMC_60_M P_E-101*_CMC_90_M	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-104*_CMC_40_T P_E-104*_CMC_60_T P_E-104*_CMC_90_T	Polymat, P standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-104*_CMC_40_M P_E-104*_CMC_60_M P_E-104*_CMC_90_M	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-114*_CMC_40_T P_E-114*_CMC_60_T P_E-114*_CMC_90_T	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-114*_CMC_40_M P_E-114*_CMC_60_M P_E-114*_CMC_90_M	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-116*_CMC_40_T P_E-116*_CMC_60_T P_E-116*_CMC_90_T	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-116*_CMC_40_M P_E-116*_CMC_60_M P_E-116*_CMC_90_M	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.14.** Opis i oznake uzoraka **EMPA** tkanina opranih u deterdžentu i CMS u 11. ciklusu u laboratorijskom uređaju Polymat (M) s tkaninama prethodno opranim kroz 10 ciklusa u P

<b>Oznaka</b>	<b>Opis</b>
P_E-101*_CMS_40_T P_E-101*_CMS_60_T P_E-101*_CMS_90_T	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-101*_CMS_40_M P_E-101*_CMS_60_M P_E-101*_CMS_90_M	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-104*_CMS_40_T P_E-104*_CMS_60_T P_E-104*_CMS_90_T	aparat Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-104*_CMS_40_M P_E-104*_CMS_60_M P_E-104*_CMS_90_M	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-114*_CMS_40_T P_E-114*_CMS_60_T P_E-114*_CMS_90_T	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-114*_CMS_40_M P_E-114*_CMS_60_M P_E-114*_CMS_90_M	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-116*_CMS_40_T P_E-116*_CMS_60_T P_E-116*_CMS_90_T	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-116*_CMS_40_M P_E-116*_CMS_60_M P_E-116*_CMS_90_M	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.15.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u deterdžentu i CMC+CMS u 11. ciklusu u laboratorijskom uređaju Polymat (M) s tkaninama prethodno opranim kroz 10 ciklusa u P

Oznaka	Opis
P_E-101*_CMC+CMS_40_T P_E-101*_CMC+CMS_60_T P_E-101*_CMC+CMS_90_T	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-101*_CMC+CMS_40_M P_E-101*_CMC+CMS_60_M P_E-101*_CMC+CMS_90_M	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-104*_CMC+CMS_40_T P_E-104*_CMC+CMS_60_T P_E-104*_CMC+CMS_90_T	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-104*_CMC+CMS_40_M P_E-104*_CMC+CMS_60_M P_E-104*_CMC+CMS_90_M	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-114*_CMC+CMS_40_T P_E-114*_CMC+CMS_60_T P_E-114*_CMC+CMS_90_T	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-114*_CMC+CMS_40_M P_E-114*_CMC+CMS_60_M P_E-114*_CMC+CMS_90_M	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
P_E-116*_CMC+CMS_40_T P_E-116*_CMC+CMS_60_T P_E-116*_CMC+CMS_90_T	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
P_E-116*_CMC+CMS_40_M P_E-116*_CMC+CMS_60_M P_E-116*_CMC+CMS_90_M	Polymat, P, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.16.** Oznake i opis uzoraka **PT\*** tkanina prethodno opranih u P kroz 10 ciklusa, te naknadni 11. ciklus u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

Oznaka	Opis
P_PT*_CMC_40_T_11x P_PT*_CMC_60_T_11x P_PT*_CMC_90_T_11x	Polymat, P, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 11 ciklusa
P_PT*_CMC_40_M_11x P_PT*_CMC_60_M_11x P_PT*_CMC_90_M_11x	Polymat, P, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 11 ciklusa
P_PT*_CMS_40_T_11x P_PT*_CMS_60_T_11x P_PT*_CMS_90_T_11x	Polymat, P, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 11 ciklusa
P_PT*_CMS_40_M_11x P_PT*_CMS_60_M_11x P_PT*_CMS_90_M_11x	Polymat, P, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 11 ciklusa
P_PT*_CMC+CMS_40_T_11x P_PT*_CMC+CMS_60_T_11x P_PT*_CMC+CMS_90_T_11x	Polymat, P, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 11 ciklusa
P_PT*_CMC+CMS_40_M_11x P_PT*_CMC+CMS_60_M_11x P_PT*_CMC+CMS_90_M_11x	Polymat, P, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 11 ciklusa

**Tablica P5.17.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u 11. ciklusu u tvrdjoj/mekoj vodi u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

Oznaka	Opis
M_E-101*_40_T M_E-101*_60_T M_E-101*_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdjoj vodi
M_E-101*_40_M M_E-101*_60_M M_E-101*_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104*_40_T M_E-104*_60_T M_E-104*_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdjoj vodi
M_E-104*_40_M M_E-104*_60_M M_E-104*_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114*_40_T M_E-114*_60_T M_E-114*_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdjoj vodi
M_E-114*_40_M M_E-114*_60_M M_E-114*_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116*_40_T M_E-116*_60_T M_E-116*_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdjoj vodi
M_E-116*_40_M M_E-116*_60_M M_E-116*_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.18.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u 11. ciklusu u deterdžentu bez inhibitora posivljenja u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

Oznaka	Opis
M_E-101*_D_40_T M_E-101*_D_60_T M_E-101*_D_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-101*_D_40_M M_E-101*_D_60_M M_E-101*_D_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104*_D_40_T M_E-104*_D_60_T M_E-104*_D_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-104*_D_40_M M_E-104*_D_60_M M_E-104*_D_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114*_D_40_T M_E-114*_D_60_T M_E-114*_D_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-114*_D_40_M M_E-114*_D_60_M M_E-114*_D_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116*_D_40_T M_E-116*_D_60_T M_E-116*_D_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-116*_D_40_M M_E-116*_D_60_M M_E-116*_D_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi



**Tablica P5.19.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u 11. ciklusu deterdženta i CMC u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

Oznaka	Opis
M_E-101*_CMC_40_T M_E-101*_CMC_60_T M_E-101*_CMC_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-101*_CMC_40_M M_E-101*_CMC_60_M M_E-101*_CMC_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104*_CMC_40_T M_E-104*_CMC_60_T M_E-104*_CMC_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-104*_CMC_40_M M_E-104*_CMC_60_M M_E-104*_CMC_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114*_CMC_40_T M_E-114*_CMC_60_T M_E-114*_CMC_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-114*_CMC_40_M M_E-114*_CMC_60_M M_E-114*_CMC_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116*_CMC_40_T M_E-116*_CMC_60_T M_E-116*_CMC_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-116*_CMC_40_M M_E-116*_CMC_60_M M_E-116*_CMC_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.20.** Opis i oznake uzoraka **EMPA** tkanina opranih u 11. ciklusu u deterdžentu i CMS u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

Oznaka	Opis
M_E-101*_CMS_40_T M_E-101*_CMS_60_T M_E-101*_CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-101*_CMS_40_M M_E-101*_CMS_60_M M_E-101*_CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104*_CMS_40_T M_E-104*_CMS_60_T M_E-104*_CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-104*_CMS_40_M M_E-104*_CMS_60_M M_E-104*_CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114*_CMS_40_T M_E-114*_CMS_60_T M_E-114*_CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-114*_CMS_40_M M_E-114*_CMS_60_M M_E-114*_CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116*_CMS_40_T M_E-116*_CMS_60_T M_E-116*_CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-116*_CMS_40_M M_E-116*_CMS_60_M M_E-116*_CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.21.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u 11. ciklusu u deterdžentu i CMC+CMS u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

Oznaka	Opis
M_E-101*_CMC+CMS_40_T M_E-101*_CMC+CMS_60_T M_E-101*_CMC+CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-101*_CMC+CMS_40_M M_E-101*_CMC+CMS_60_M M_E-101*_CMC+CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104*_CMC+CMS_40_T M_E-104*_CMC+CMS_60_T M_E-104*_CMC+CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-104*_CMC+CMS_40_M M_E-104*_CMC+CMS_60_M M_E-104*_CMC+CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114*_CMC+CMS_40_T M_E-114*_CMC+CMS_60_T M_E-114*_CMC+CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-114*_CMC+CMS_40_M M_E-114*_CMC+CMS_60_M M_E-114*_CMC+CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116*_CMC+CMS_40_T M_E-116*_CMC+CMS_60_T M_E-116*_CMC+CMS_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-116*_CMC+CMS_40_M M_E-116*_CMC+CMS_60_M M_E-116*_CMC+CMS_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.22.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u 11. ciklusu u deterdžentu i CMC LV u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

Oznaka	Opis
M_E-101*_CMC LV_40_T M_E-101*_CMC LV_60_T M_E-101*_CMC LV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-101*_CMC LV_40_M M_E-101*_CMC LV_60_M M_E-101*_CMC LV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104*_CMC LV_40_T M_E-104*_CMC LV_60_T M_E-104*_CMC LV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-104*_CMC LV_40_M M_E-104*_CMC LV_60_M M_E-104*_CMC LV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114*_CMC LV_40_T M_E-114*_CMC LV_60_T M_E-114*_CMC LV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-114*_CMC LV_40_M M_E-114*_CMC LV_60_M M_E-114*_CMC LV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116*_CMC LV_40_T M_E-116*_CMC LV_60_T M_E-116*_CMC LV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-116*_CMC LV_40_M M_E-116*_CMC LV_60_M M_E-116*_CMC LV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.23.** Oznake i opis uzoraka **EMPA** tkanina opranih u 11. ciklusu u deterdžentu i CMC HV u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

Oznaka	Opis
M_E-101*_CMC HV_40_T M_E-101*_CMC HV_60_T M_E-101*_CMC HV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-101*_CMC HV_40_M M_E-101*_CMC HV_60_M M_E-101*_CMC HV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-101, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-104*_CMC HV_40_T M_E-104*_CMC HV_60_T M_E-104*_CMC HV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-104*_CMC HV_40_M M_E-104*_CMC HV_60_M M_E-104*_CMC HV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-104, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-114*_CMC HV_40_T M_E-114*_CMC HV_60_T M_E-114*_CMC HV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-114*_CMC HV_40_M M_E-114*_CMC HV_60_M M_E-114*_CMC HV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-114, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi
M_E-116*_CMC HV_40_T M_E-116*_CMC HV_60_T M_E-116*_CMC HV_90_T	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi
M_E-116*_CMC HV_40_M M_E-116*_CMC HV_60_M M_E-116*_CMC HV_90_M	Polymat, standardno zaprljana tkanina E-116, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi

**Tablica P5.24.** Oznake i opis **PT\*** tkanina opranih kroz 11 ciklusa u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

Oznaka	Opis
M_PT*_40_T_11x M_PT*_60_T_11x M_PT*_90_T_11x	Polymat, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 11 ciklusa
M_PT*_40_M_11x M_PT*_60_M_11x M_PT*_90_M_11x	Polymat, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 11 ciklusa
M_PT*_D_40_T_11x M_PT*_D_60_T_11x M_PT*_D_90_T_11x	Polymat, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 11 ciklusa
M_PT*_D_40_M_11x M_PT*_D_60_M_11x M_PT*_D_90_M_11x	Polymat, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 11 ciklusa
M_PT*_CMC_40_T_11x M_PT*_CMC_60_T_11x M_PT*_CMC_90_T_11x	Polymat, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 11 ciklusa
M_PT*_CMC_40_M_11x M_PT*_CMC_60_M_11x M_PT*_CMC_90_M_11x	Polymat, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 11 ciklusa
M_PT*_CMS_40_T_11x M_PT*_CMS_60_T_11x M_PT*_CMS_90_T_11x	Polymat, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 11 ciklusa
M_PT*_CMS_40_M_11x M_PT*_CMS_60_M_11x M_PT*_CMS_90_M_11x	Polymat, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 11 ciklusa
M_PT*_CMC+CMS_40_T_11x M_PT*_CMC+CMS_60_T_11x M_PT*_CMC+CMS_90_T_11x	Polymat, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 11 ciklusa
M_PT*_CMC+CMS_40_M_11x M_PT*_CMC+CMS_60_M_11x M_PT*_CMC+CMS_90_M_11x	Polymat, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 11 ciklusa
M_PT*_CMC LV_40_T_11x M_PT*_CMC LV_60_T_11x M_PT*_CMC LV_90_T_11x	Polymat, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 11 ciklusa
M_PT*_CMC LV_40_M_11x M_PT*_CMC LV_60_M_11x M_PT*_CMC LV_90_M_11x	Polymat, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 11 ciklusa
M_PT*_CMC HV_40_T_11x M_PT*_CMC HV_60_T_11x M_PT*_CMC HV_90_T_11x	Polymat, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 11 ciklusa
M_PT*_CMC HV_40_M_11x M_PT*_CMC HV_60_M_11x M_PT*_CMC HV_90_M_11x	Polymat, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 11 ciklusa

**Tablica P5.25.** Oznake i opis uzoraka **PT 1** tkanina 1x opranih u 11. ciklusu pranja u laboratorijskom uređaju Polymat, tvrda/meka voda, deterdžentu i CMC/CMS/CMC+CMS

Oznaka	Opis
P_PT 1_CMC_40_T_1x P_PT 1_CMC_60_T_1x P_PT 1_CMC_90_T_1x	Polymat, P, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, oprano u tvrdoj vodi, 10 ciklusa
P_PT 1_CMC_40_M_1x P_PT 1_CMC_60_M_1x P_PT 1_CMC_90_M_1x	Polymat, P, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 10 ciklusa
P_PT 1_CMS_40_T_1x P_PT 1_CMS_60_T_1x P_PT 1_CMS_90_T_1x	Polymat, P, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 10 ciklusa
P_PT 1_CMS_40_M_1x P_PT 1_CMS_60_M_1x P_PT 1_CMS_90_M_1x	Polymat, P, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 10 ciklusa
P_PT 1_CMC+CMS_40_T_1x P_PT 1_CMC+CMS_60_T_1x P_PT 1_CMC+CMS_90_T_1x	Polymat, P, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 10 ciklusa
P_PT 1_CMC+CMS_40_M_1x P_PT 1_CMC+CMS_60_M_1x P_PT 1_CMC+CMS_90_M_1x	Polymat, P, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 10 ciklusa

**Tablica P5.26.** Oznake i opis **PT 1** tkanina 1x opranih u 11. ciklusu u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

Oznaka	Opis
M_PT 1_40_T_1x M_PT 1_60_T_1x M_PT 1_90_T_1x	Polymat, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 1 ciklus
M_PT 1_40_M_1x M_PT 1_60_M_1x M_PT 1_90_M_1x	Polymat, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 1 ciklus
M_PT 1_D_40_T_1x M_PT 1_D_60_T_1x M_PT 1_D_90_T_1x	Polymat, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 1 ciklus
M_PT 1_D_40_M_1x M_PT 1_D_60_M_1x M_PT 1_D_90_M_1x	Polymat, deterdžent, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 1 ciklus
M_PT 1_CMC_40_T_1x M_PT 1_CMC_60_T_1x M_PT 1_CMC_90_T_1x	Polymat, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 1 ciklusa
M_PT 1_CMC_40_M_1x M_PT 1_CMC_60_M_1x M_PT 1_CMC_90_M_1x	Polymat, deterdžent i CMC, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 1 ciklusa
M_PT 1_CMS_40_T_1x M_PT 1_CMS_60_T_1x M_PT 1_CMS_90_T_1x	Polymat, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 1 ciklusa
M_PT 1_CMS_40_M_1x M_PT 1_CMS_60_M_1x M_PT 1_CMS_90_M_1x	Polymat, deterdžent i CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 1 ciklusa
M_PT 1_CMC+CMS_40_T_1x M_PT 1_CMC+CMS_60_T_1x M_PT 1_CMC+CMS_90_T_1x	Polymat, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 1 ciklusa
M_PT 1_CMC+CMS_40_M_1x M_PT 1_CMC+CMS_60_M_1x M_PT 1_CMC+CMS_90_M_1x	Polymat, deterdžent i CMC+CMS, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 1 ciklusa
M_PT 1_CMC LV_40_T_1x M_PT 1_CMC LV_60_T_1x M_PT 1_CMC LV_90_T_1x	Polymat, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 1 ciklus
M_PT 1_CMC LV_40_M_1x M_PT 1_CMC LV_60_M_1x M_PT 1_CMC LV_90_M_1x	Polymat, deterdžent i CMC LV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 1 ciklus
M_PT 1_CMC HV_40_T_1x M_PT 1_CMC HV_60_T_1x M_PT 1_CMC HV_90_T_1x	Polymat, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u tvrdoj vodi, 1 ciklus
M_PT 1_CMC HV_40_M_1x M_PT 1_CMC HV_60_M_1x M_PT 1_CMC HV_90_M_1x	Polymat, deterdžent i CMC HV, temperatura: 40 °C, 60 °C, 90 °C, prano u mekoj vodi, 1 ciklus



## Prilog 6 Prikaz korištenih aparata, uređaja i instrumenata



**Slika P6.1.** Laboratorijska perilica rublja Gorenje 605999 WA442



**Slika P6.2.** Laboratorijski uređaj za obradu materijala Polymat, Mathis



**Slika P6.3.** pH metar, Metrel



a.

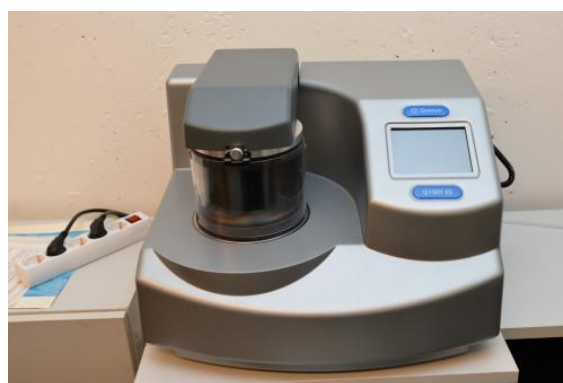


b.

**Slika P6.4.** a. Rotacijski viskozimetar Brookfield DV-II +; b. set vretena LVDV-II+



a.

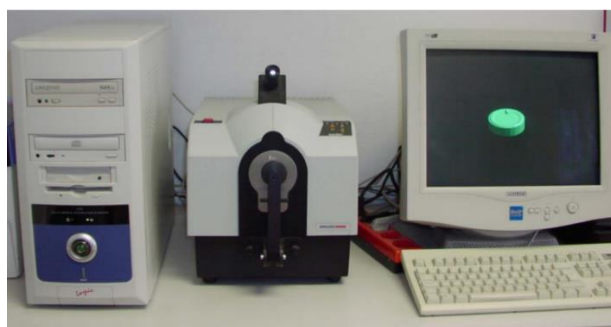


b.

**Slika P6.5.** a. visokorezolucijski skenirajući mikroskop FE-SEM, MIRA//LMU, Tescan, Češka i b. Naparivač Q 150T ES, Quorum, U



**Slika P6.6.** Peć za žarenje, tip Demiterm Easy 6



**Slika P6.7.** Remisijski spektrofotometar Spectraflash SF 300



a.

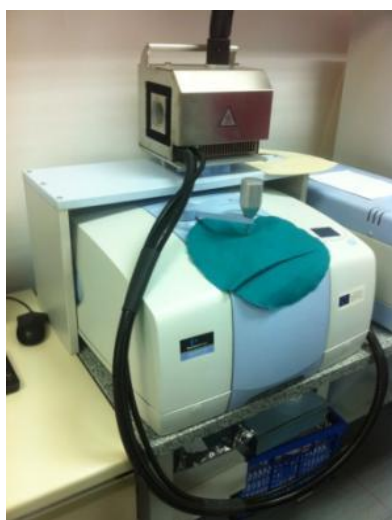


b.



c.

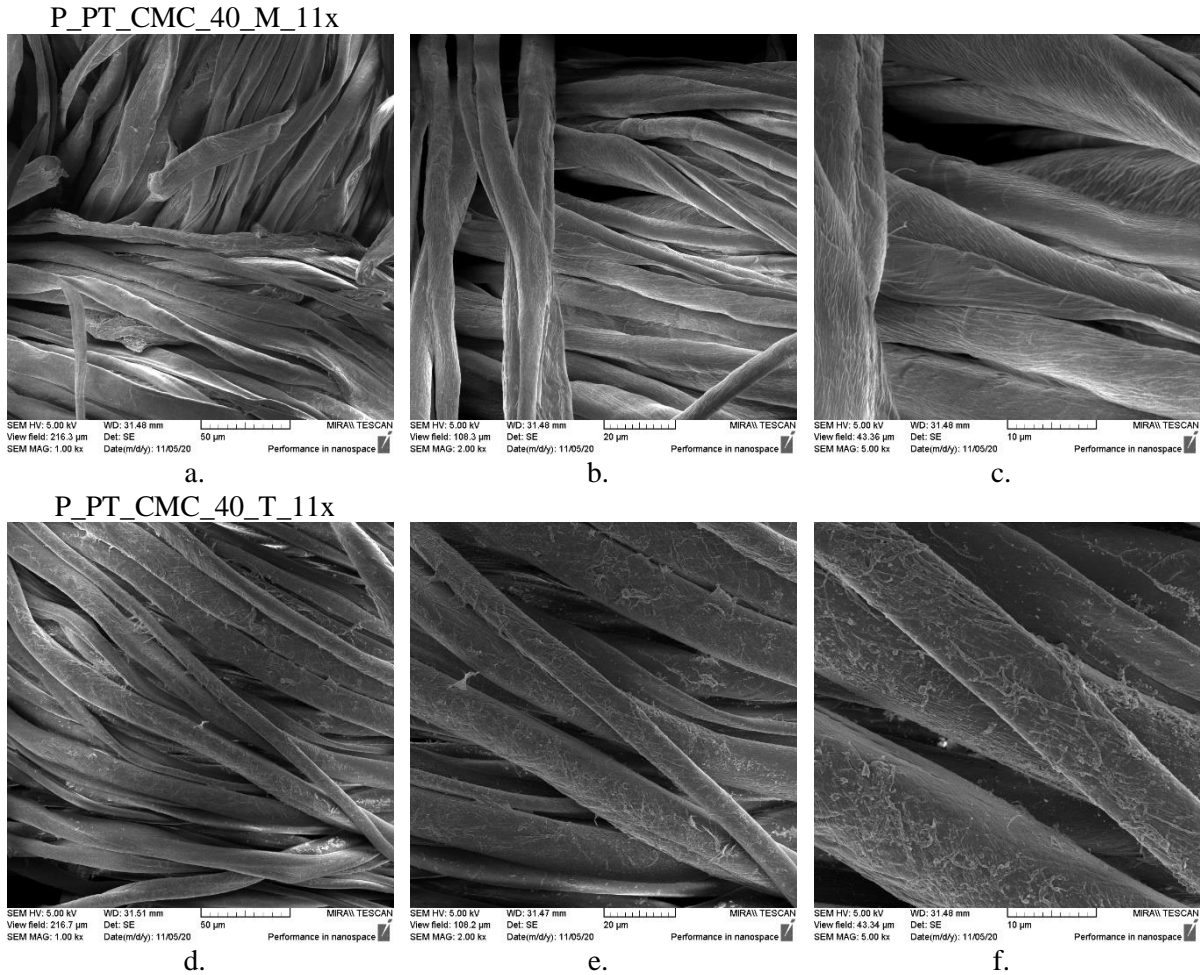
**Slika P6.7.** Elektrokinetički analizator EKA, Anton Paar: a. instrument; b. podesiva ćelija; c. nosači uzoraka



**Slika P6.8.** Spectrum 100S FT-IR UATR + TG/IR Interface TL8000 (RedShift), Perkin Elmer

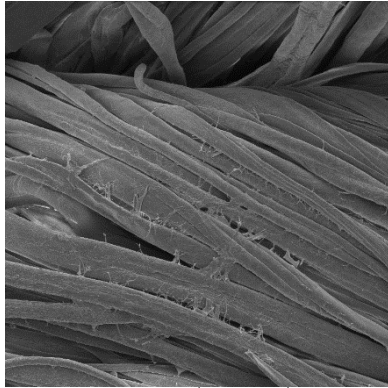
## Prilog 7 Dopuna rezultata prikazanih u poglavlju 4.

### P7.1 Sekcija mikrografa opranih PT tkanina kroz 11 ciklusa snimljenih na SEM-u (poglavlje 4.2.2)

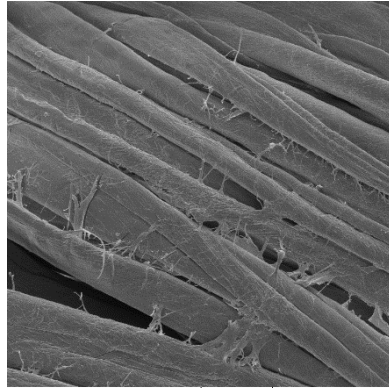


Slika P7.1 Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj perilici s deterđentom uz dodatak CMC, u mekoj i tvrdoj vodi na 40 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

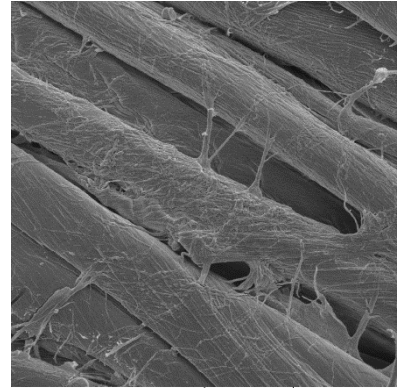
P\_PT\_CMC\_60\_M\_11x



a.

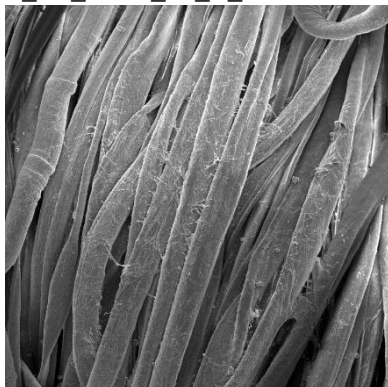


b.

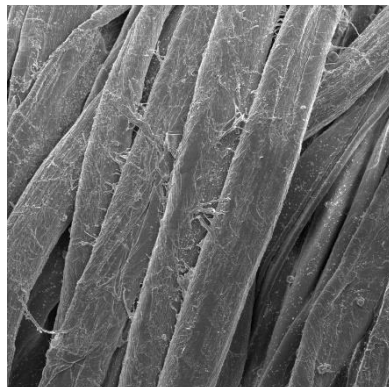


c.

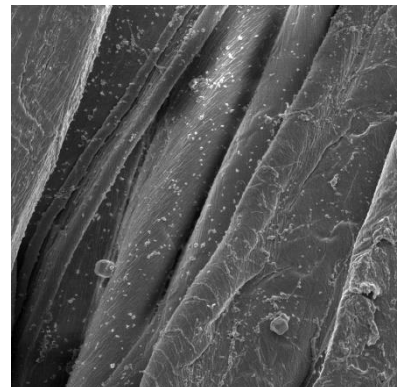
P\_PT\_CMC\_60\_T\_11x



d.



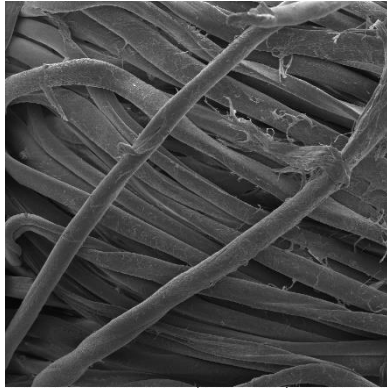
e.



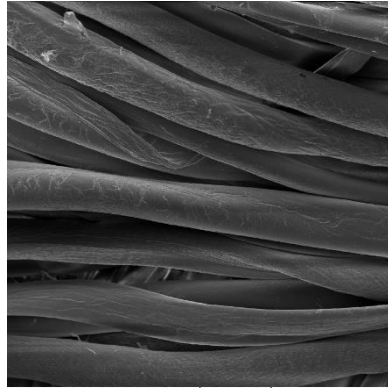
f.

**Slika P7.2** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj perilici s deterđentom uz dodatak CMC, u mekoj i tvrdoj vodi na 60 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

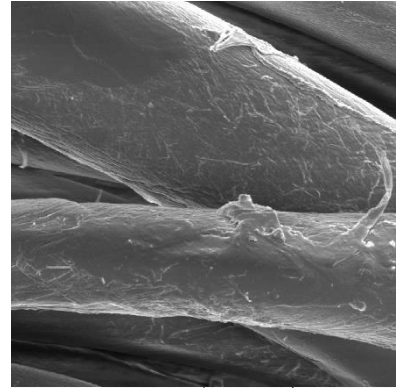
P\_PT\_CMC\_90\_M\_11x



a.

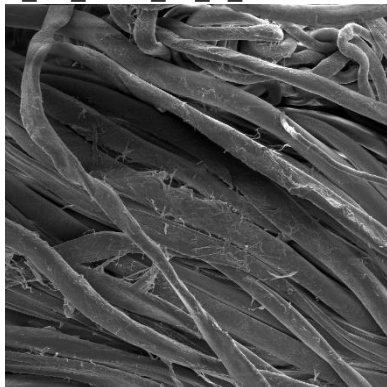


b.

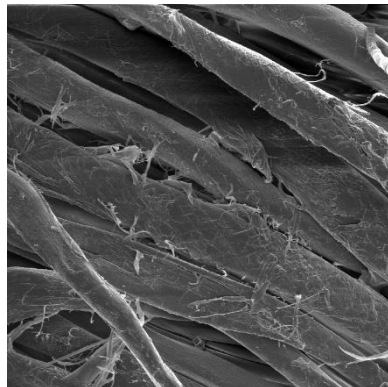


c.

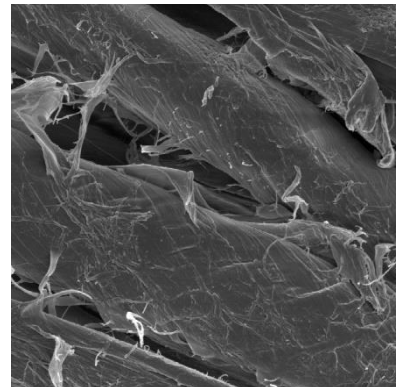
P\_PT\_CMC\_90\_T\_11x



d.



e.

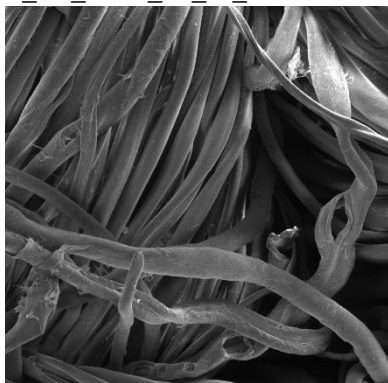


f.

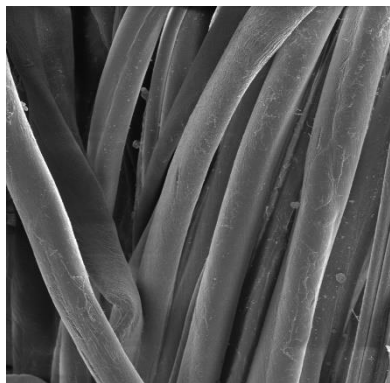
Slika P7.3 Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj perilici s deterđentom uz dodatak CMC, u mekoj i tvrdoj vodi na 90 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x



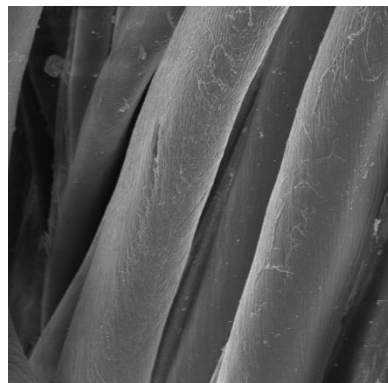
P\_PT\_CMS\_40\_M\_11x



a.

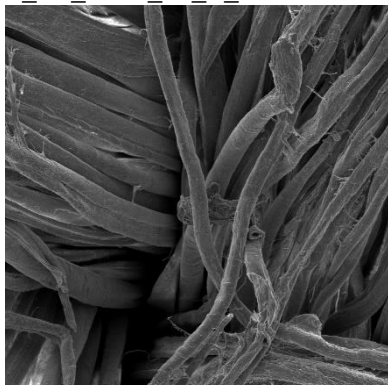


b.

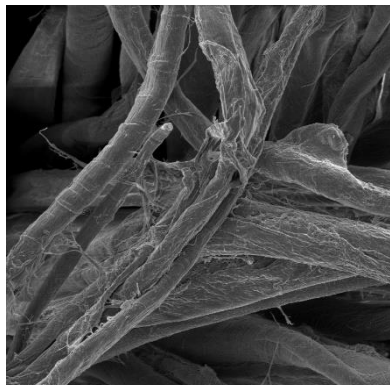


c.

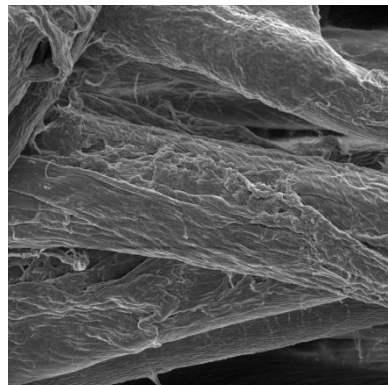
P\_PT\_CMS\_40\_T\_11x



d.



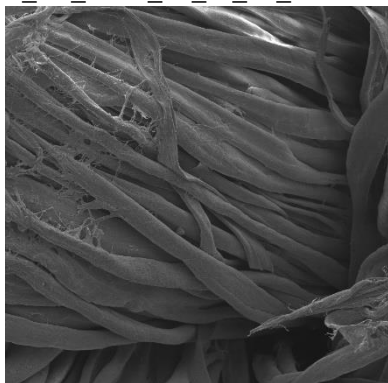
e.



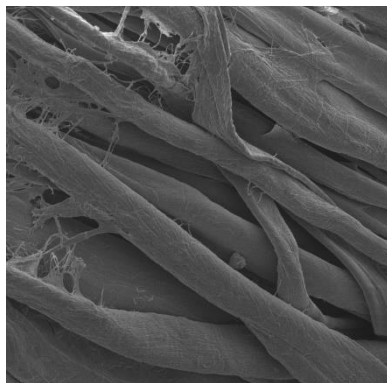
f.

Slika P7.4 Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj perilici s deterdžentom uz dodatak CMS, u mekoj i tvrdoj vodi na 40 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

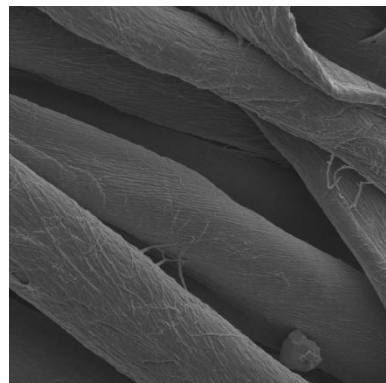
P\_PT\_CMS\_60\_M\_11\_x



a.

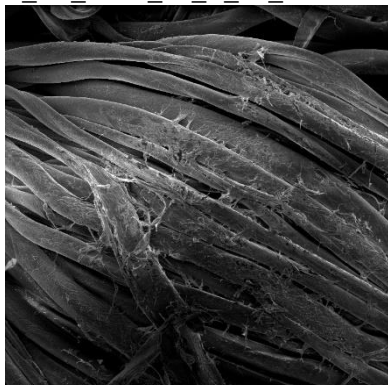


b.

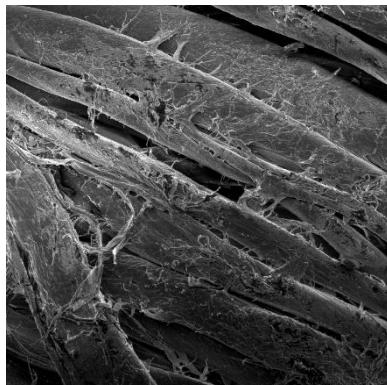


c.

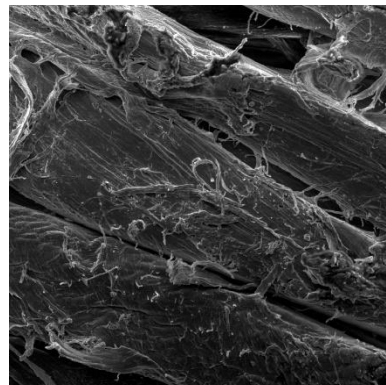
P\_PT\_CMS\_60\_T\_11\_x



d.



e.

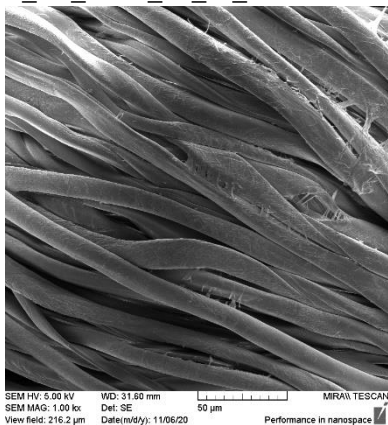


f.

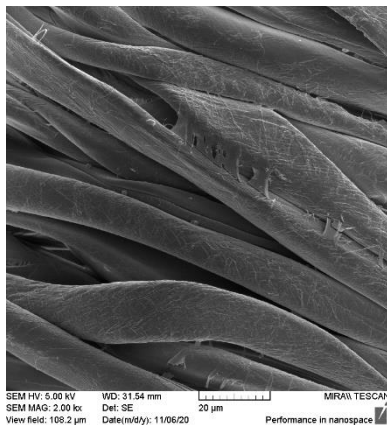
Slika P7.5 Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj perilici s deterdžentom uz dodatak CMS, u mekoj i tvrdoj vodi na 60 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x



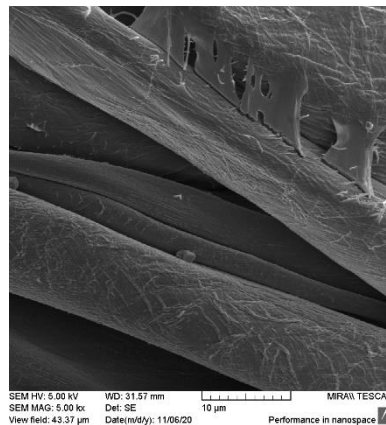
P\_PT\_CMS\_90\_M\_11x



a.

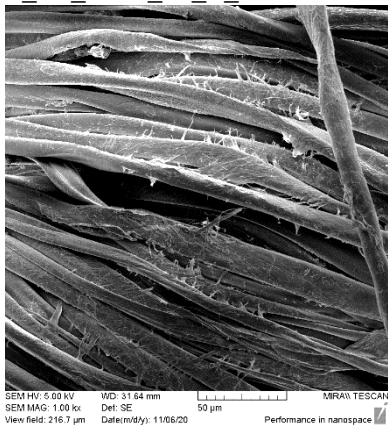


b.

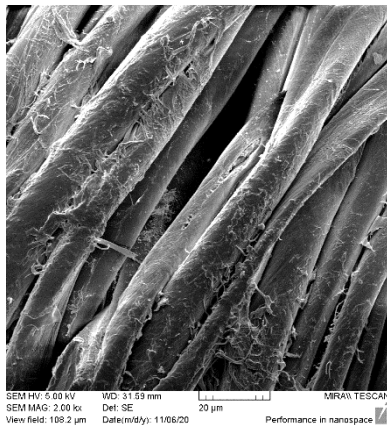


c.

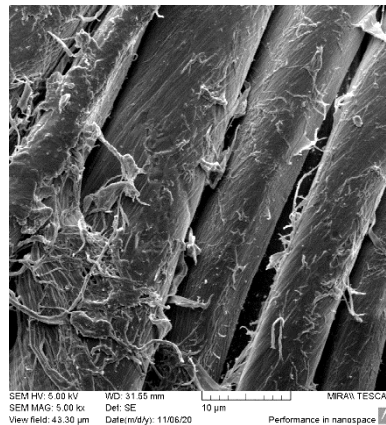
P\_PT\_CMS\_90\_T\_11x



d.



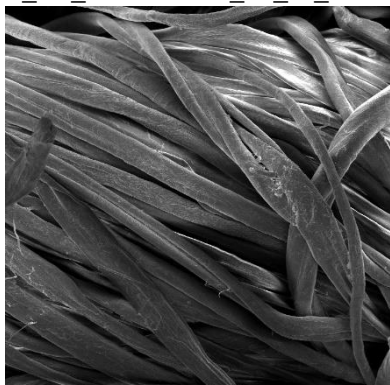
e.



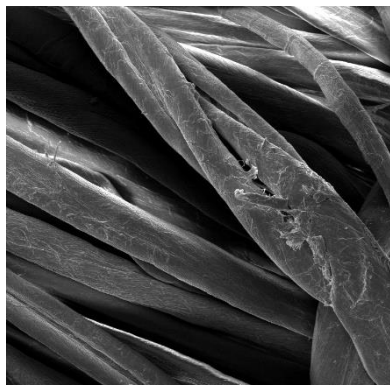
f.

Slika P7.6 Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj perilici s deterdžentom uz dodatak CMS, u mekoj i tvrdoj vodi na 90 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

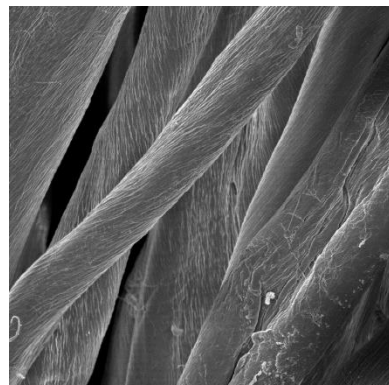
P\_PT\_CMC+CMS\_40\_M\_11x



a.

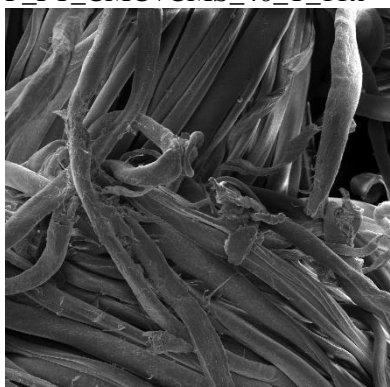


b.

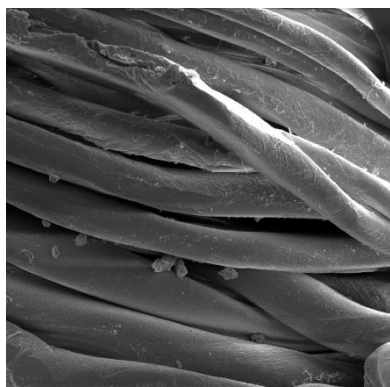


c.

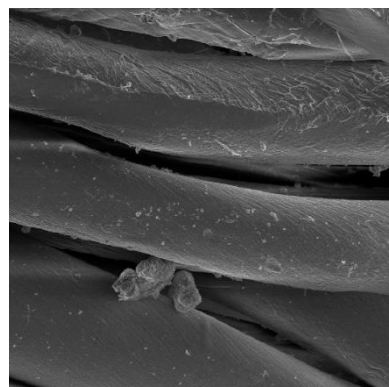
P\_PT\_CMC+CMS\_40\_T\_11x



d.



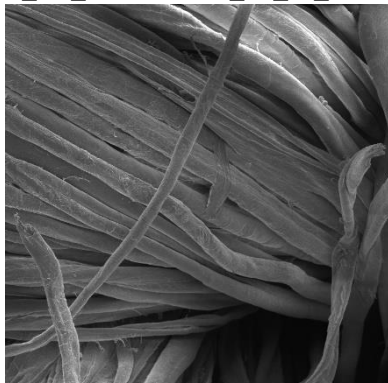
e.



f.

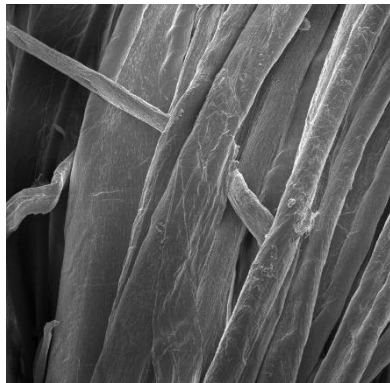
**Slika P7.7** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj perilici s deterdžentom uz dodatak kombinacije CMC+CMS, u mekoj i tvrdoj vodi na 40 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

P\_PT\_CMC+CMS\_60\_M\_11x



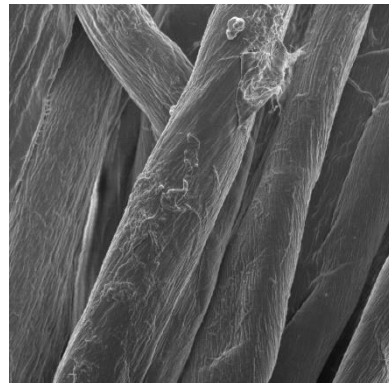
SEM HV: 5.00 kV WD: 31.37 mm  
View field: 216.0  $\mu$ m Det: SE  
SEM MAG: 1.00 kx Date(m/d/y): 11/05/20

a.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.41 mm  
View field: 108.4  $\mu$ m Det: SE  
SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 11/05/20

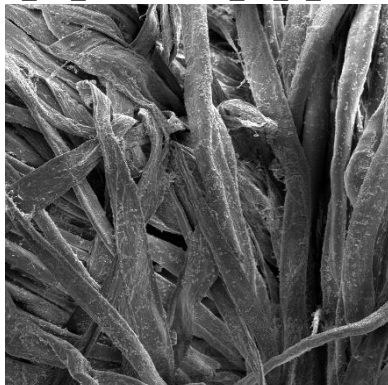
b.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.36 mm  
View field: 43.34  $\mu$ m Det: SE  
SEM MAG: 5.00 kx Date(m/d/y): 11/05/20

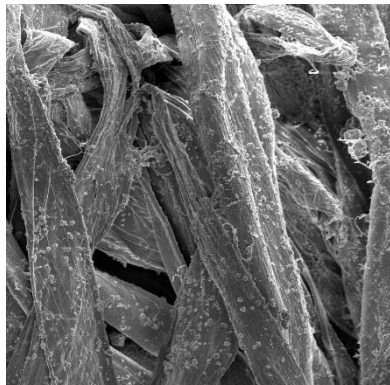
c.

P\_PT\_CMC+CMS\_60\_T\_11x



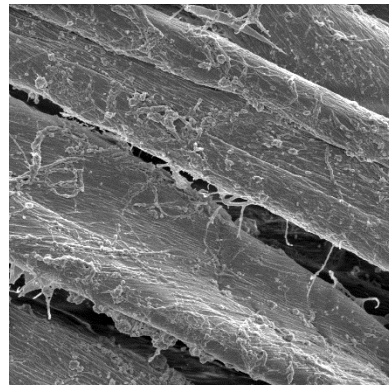
SEM HV: 5.00 kV WD: 31.49 mm  
View field: 216.7  $\mu$ m Det: SE  
SEM MAG: 1.00 kx Date(m/d/y): 11/05/20

d.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.49 mm  
View field: 109.2  $\mu$ m Det: SE  
SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 11/05/20

e.

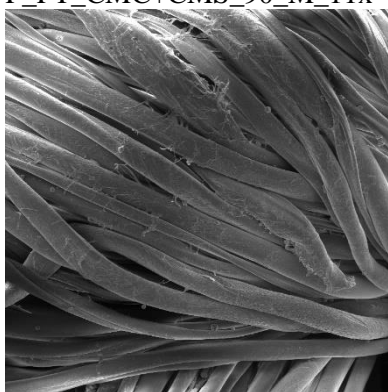


SEM HV: 5.00 kV WD: 31.49 mm  
View field: 43.34  $\mu$ m Det: SE  
SEM MAG: 5.00 kx Date(m/d/y): 11/05/20

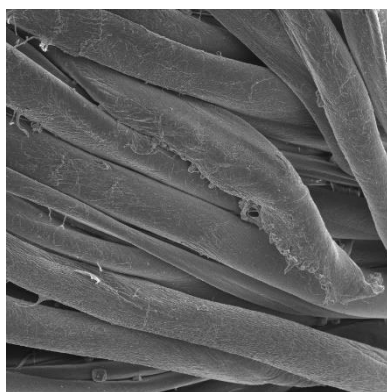
f.

**Slika P7.8** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj perilici s deterdžentom uz dodatak kombinacije CMC+CMS, u mekoj i tvrdoj vodi na 60 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

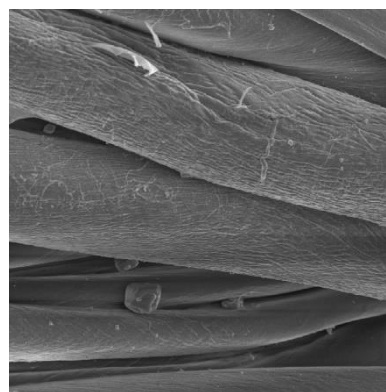
P\_PT\_CMC+CMS\_90\_M\_11x



a.

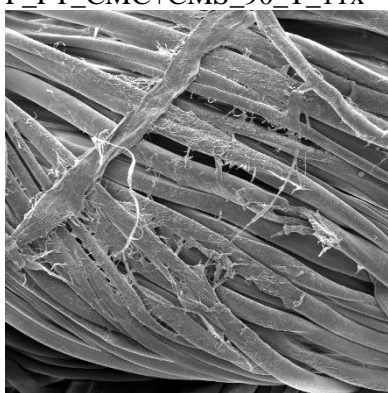


b.

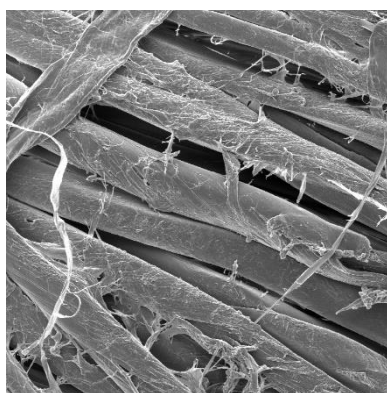


c.

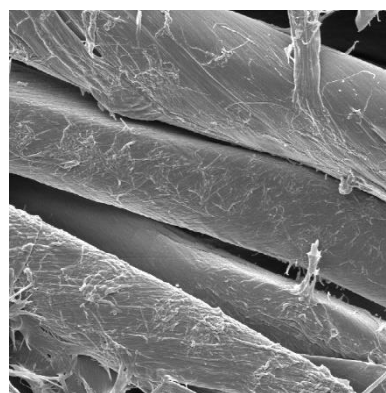
P\_PT\_CMC+CMS\_90\_T\_11x



d.



e.



f.

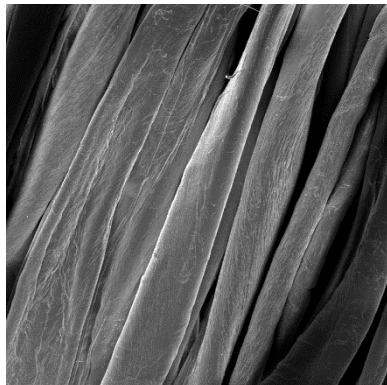
**Slika P7.9** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj perilici s deterdžentom uz dodatak kombinacije CMC+CMS, u mekoj i tvrdoj vodi na 90 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

M\_PT\_40\_M\_11x



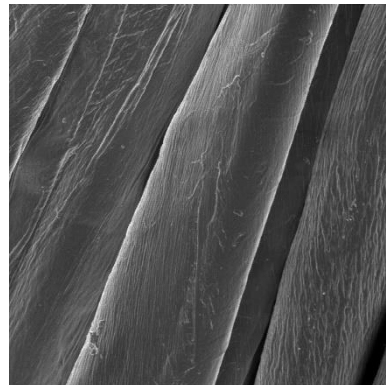
SEM HV: 5.00 kV WD: 31.74 mm MIRA// TESCAN  
View field: 216.7 µm Det: SE  
SEM MAG: 1.00 kx Date(m/d/y): 10/23/20 Performance in nanospace

a.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.74 mm MIRA// TESCAN  
View field: 108.3 µm Det: SE  
SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/23/20 Performance in nanospace

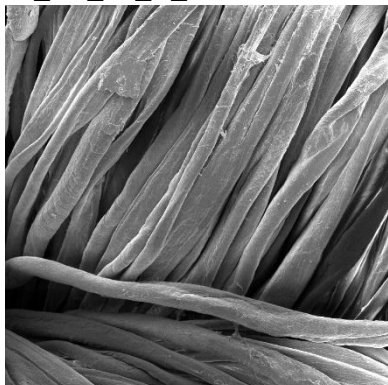
b.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.74 mm MIRA// TESCAN  
View field: 43.34 µm Det: SE  
SEM MAG: 5.00 kx Date(m/d/y): 10/23/20 Performance in nanospace

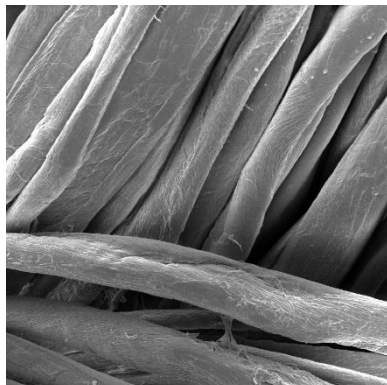
c.

M\_PT\_40\_T\_11x



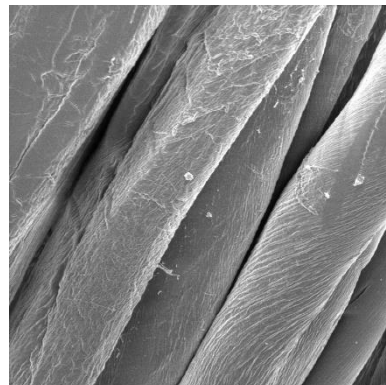
SEM HV: 5.00 kV WD: 31.53 mm MIRA// TESCAN  
View field: 216.7 µm Det: SE  
SEM MAG: 1.00 kx Date(m/d/y): 10/23/20 Performance in nanospace

d.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.62 mm MIRA// TESCAN  
View field: 108.6 µm Det: SE  
SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/23/20 Performance in nanospace

e.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.58 mm MIRA// TESCAN  
View field: 43.34 µm Det: SE  
SEM MAG: 5.00 kx Date(m/d/y): 10/23/20 Performance in nanospace

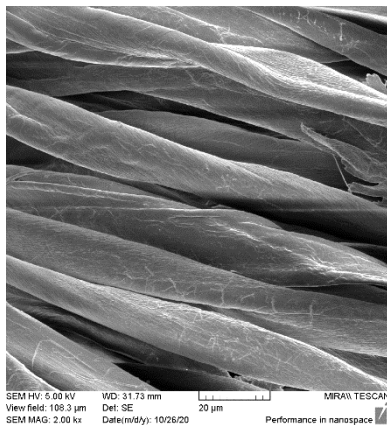
f.

**Slika P7.10** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđžentom u mekoj i tvrdjoj vodi na 40 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

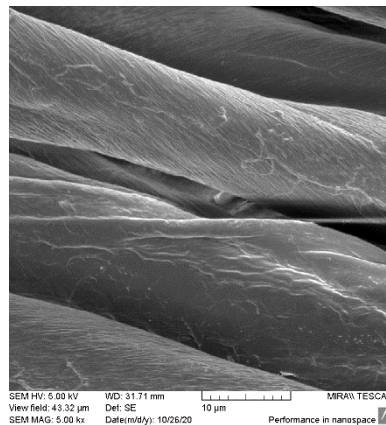
M\_PT\_60\_M\_11x



a.

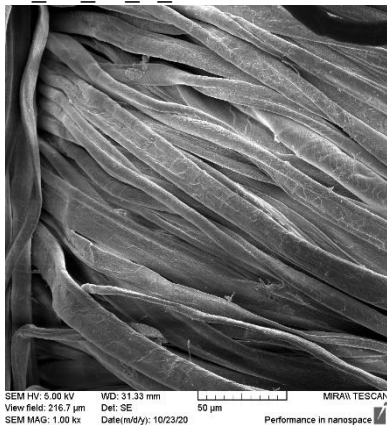


b.

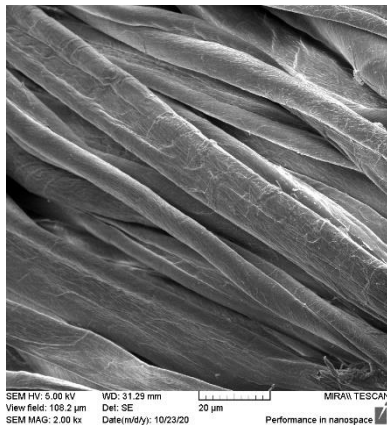


c.

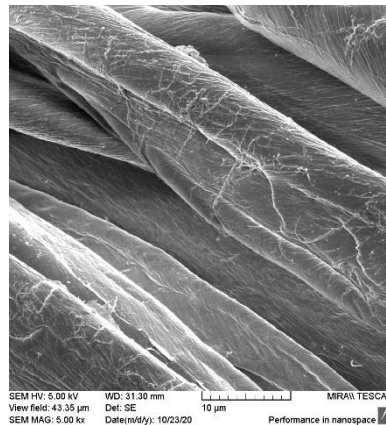
M\_PT\_60\_T\_11x



d.



e.

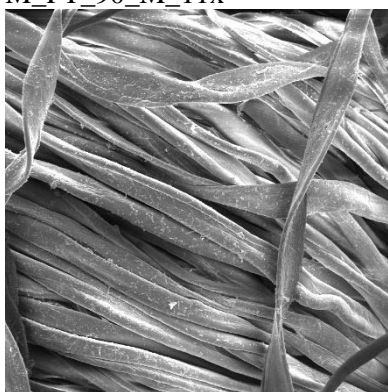


f.

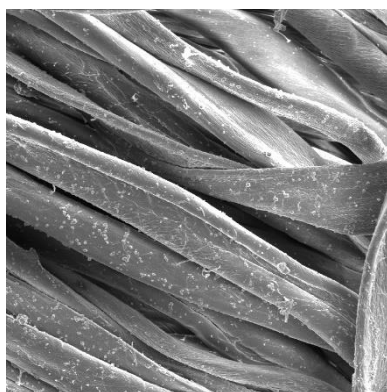
**Slika P7.11** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđentom u mekoj i tvrdoj vodi na 60 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x



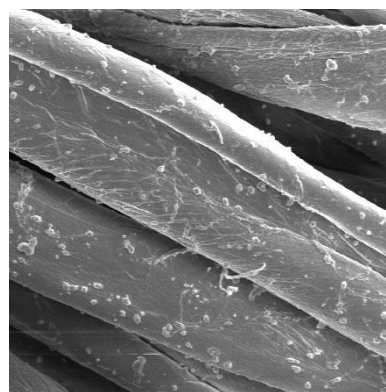
M\_PT\_90\_M\_11x



a.

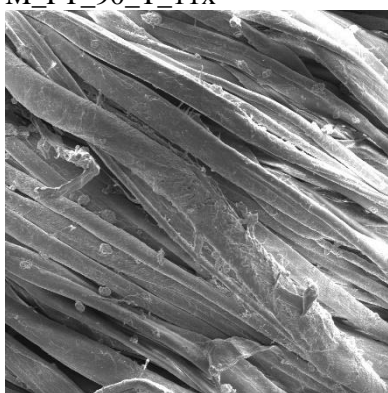


b.

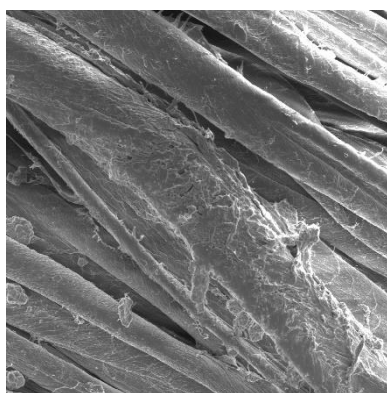


c.

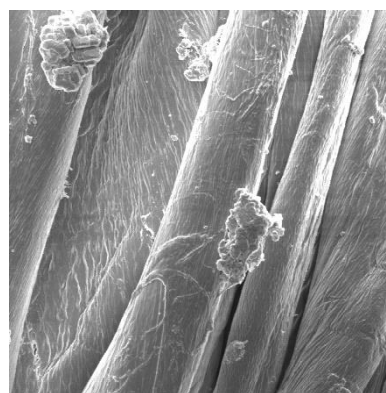
M\_PT\_90\_T\_11x



d.



e.



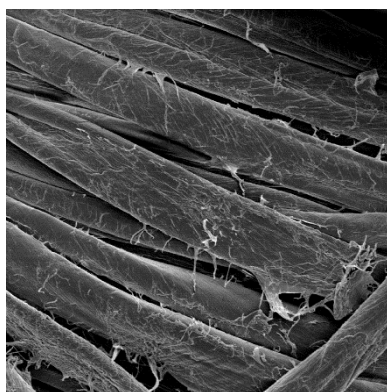
f.

**Slika P7.12** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđžentom u mekoj i tvrdjoi vodi na 90 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

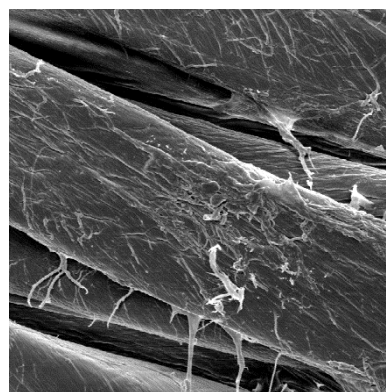
M\_PT\_D\_40\_M\_11x



a.

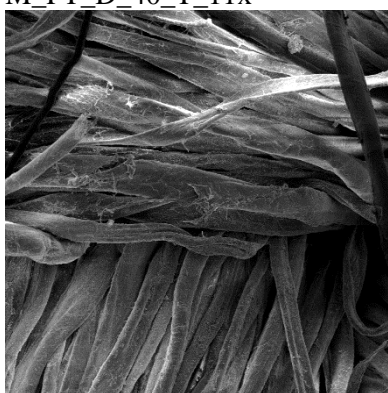


b.

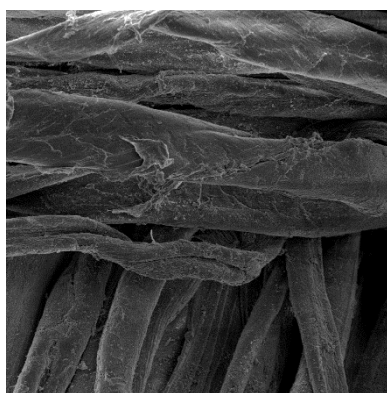


c.

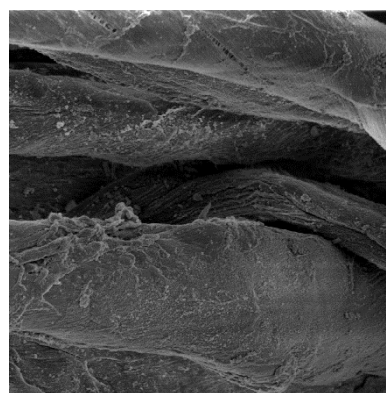
M\_PT\_D\_40\_T\_11x



d.



e.



f.

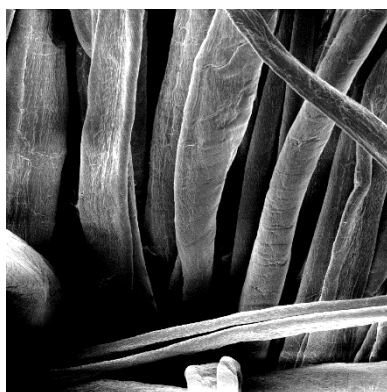
**Slika P7.13** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđžentom u mekoj i tvrdoj vodi na 40 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x



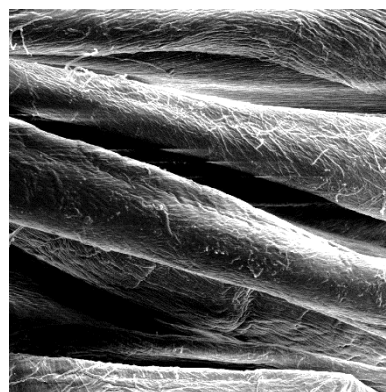
M\_PT\_D\_60\_M\_11x



a.

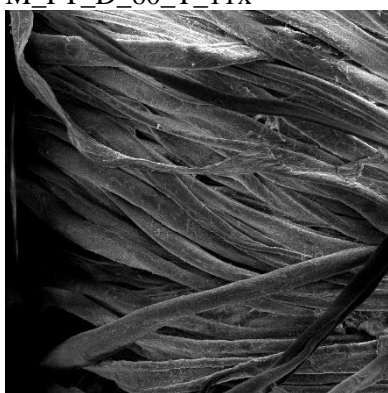


b.

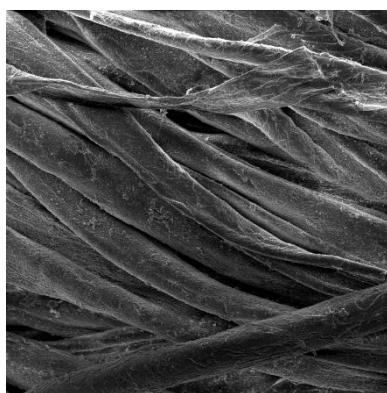


c.

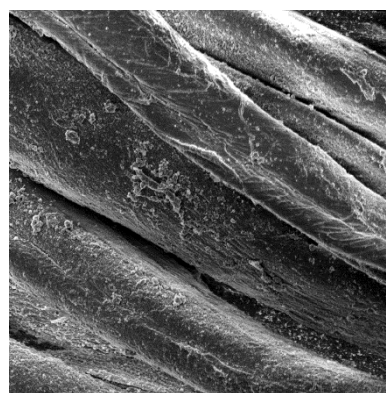
M\_PT\_D\_60\_T\_11x



d.



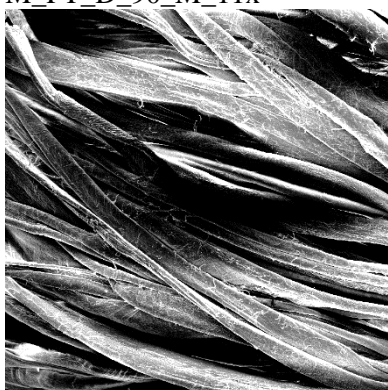
e.



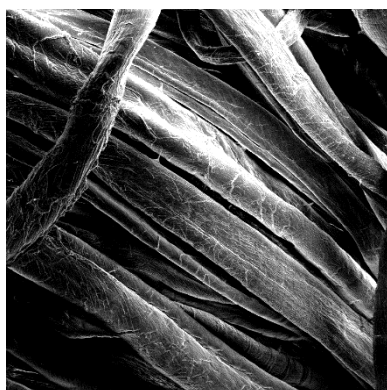
f.

**Slika P7.14** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđžentom u mekoj i tvrdjoj vodi na 60 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

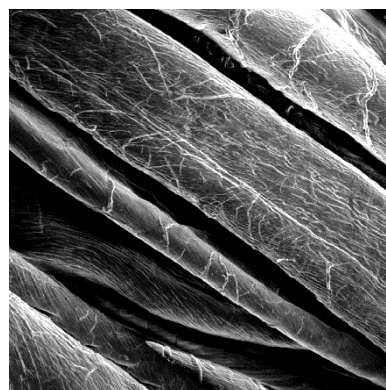
M\_PT\_D\_90\_M\_11x



a.

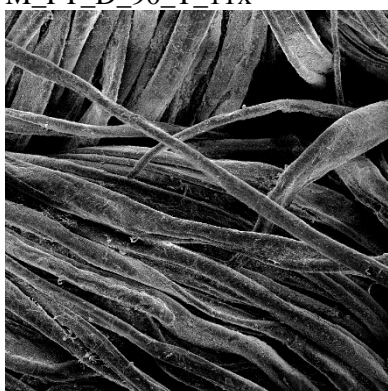


b.

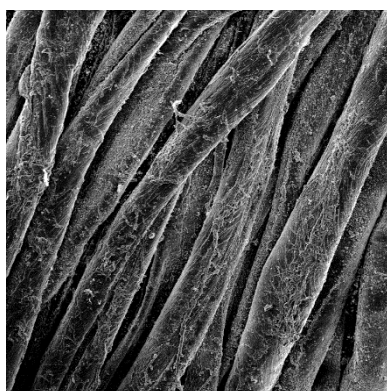


c.

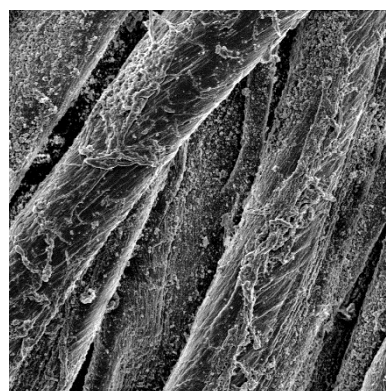
M\_PT\_D\_90\_T\_11x



d.



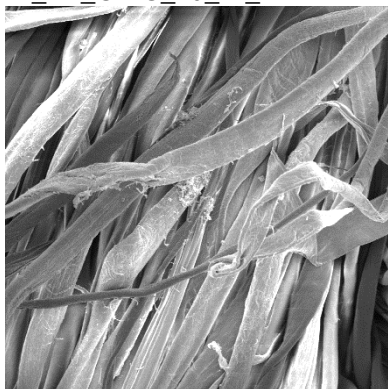
e.



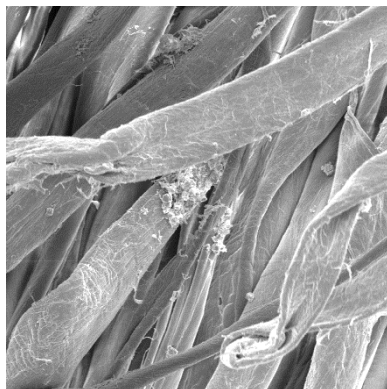
f.

**Slika P7.15** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđžentom u mekoj i tvrdjoj vodi na 90 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

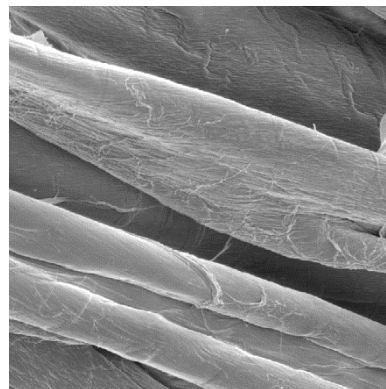
M\_PT\_CMC\_40\_M\_11x



a.

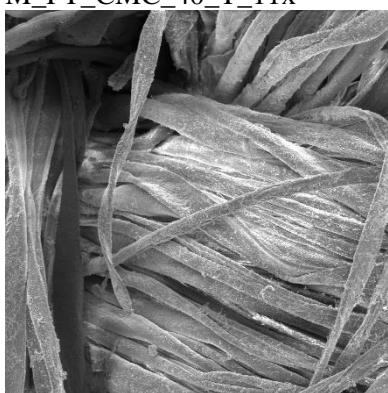


b.

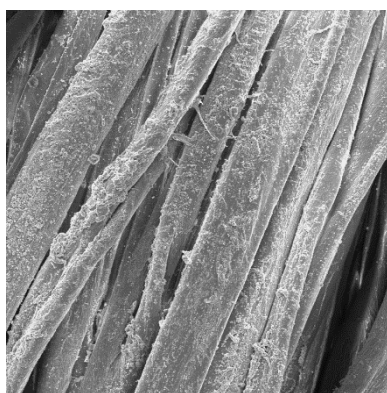


c.

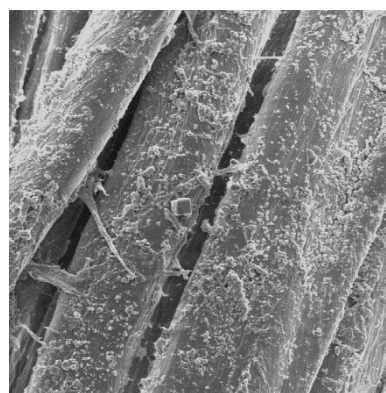
M\_PT\_CMC\_40\_T\_11x



d.



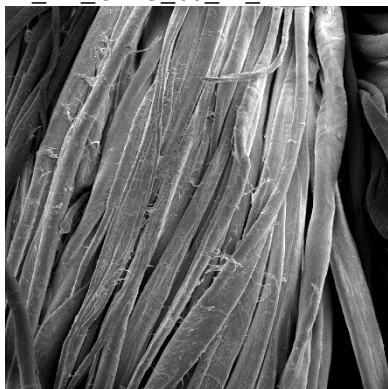
e.



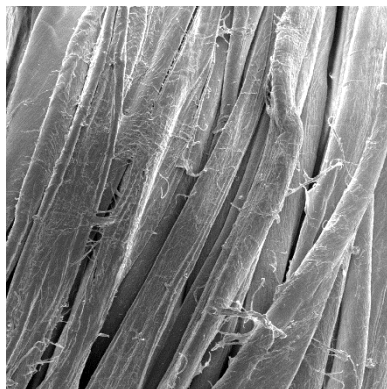
f.

**Slika P7.16** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđentom uz dodatak CMC, u mekoj i tvrdoj vodi na 40 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

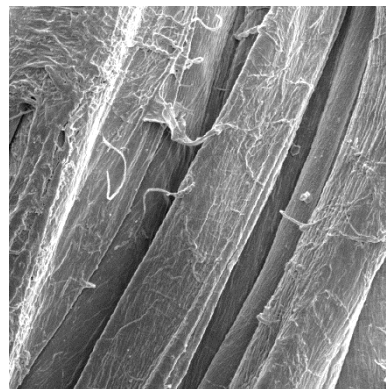
M\_PT\_CMC\_60\_M\_11x



a.

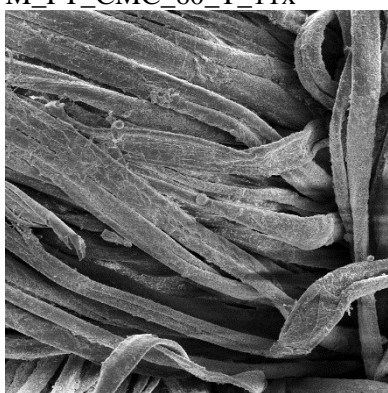


b.

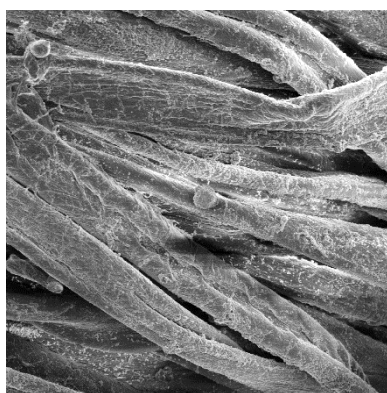


c.

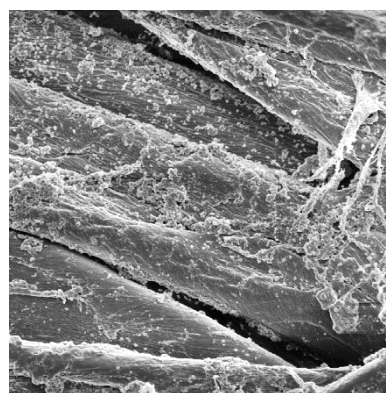
M\_PT\_CMC\_60\_T\_11x



d.



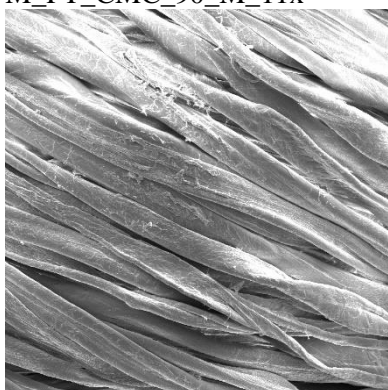
e.



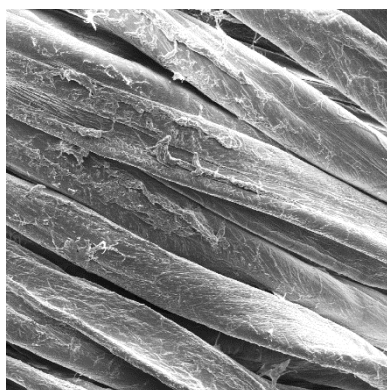
f.

**Slika P7.17** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterdžentom uz dodatak CMC, u mekoj i tvrdoj vodi na 60 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

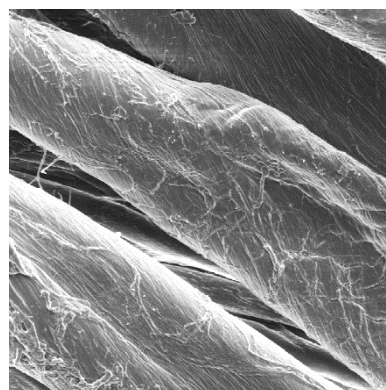
M\_PT\_CMC\_90\_M\_11x



a.

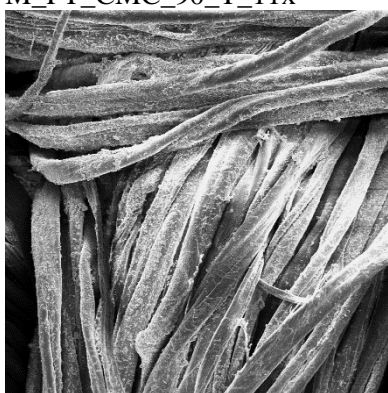


b.



c.

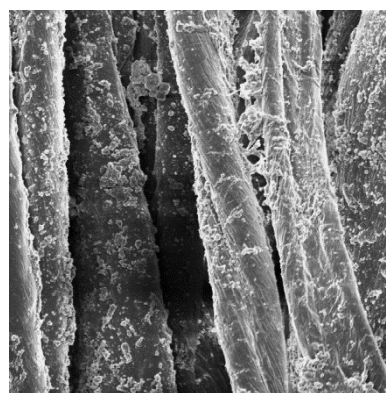
M\_PT\_CMC\_90\_T\_11x



d.



e.



f.

**Slika P7.18** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđentom uz dodatak CMC, u mekoj i tvrdoj vodi na 90 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x



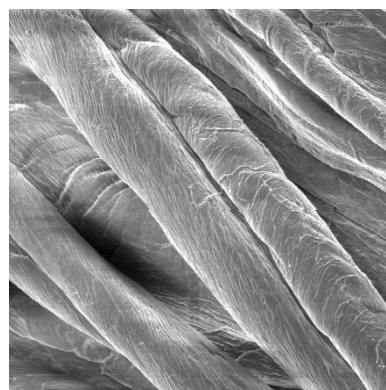
M\_PT\_CMS\_40\_M\_11x



a.

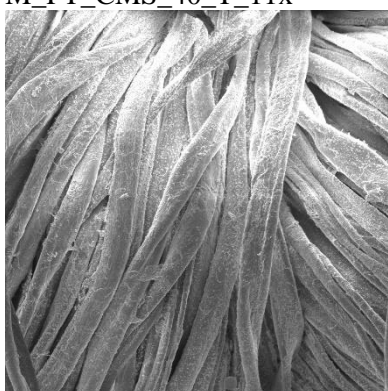


b.

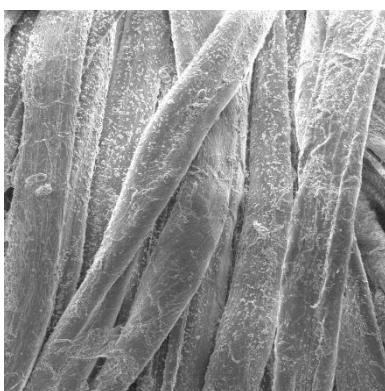


c.

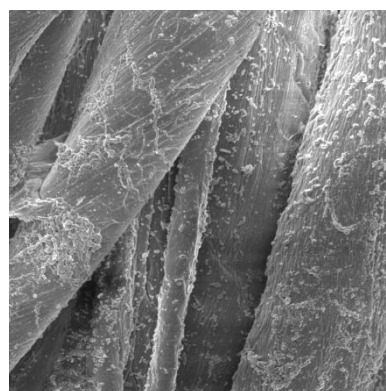
M\_PT\_CMS\_40\_T\_11x



d.



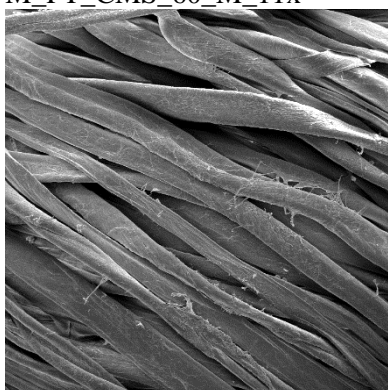
e.



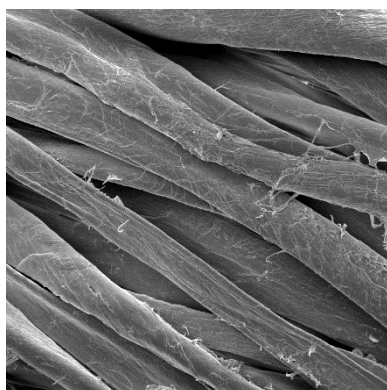
f.

**Slika P7.19** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterdžentom uz dodatak CMS, u mekoj i tvrdoj vodi na 40 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

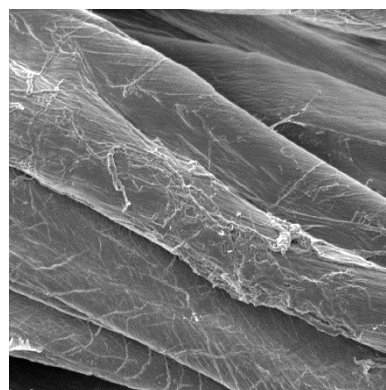
M\_PT\_CMS\_60\_M\_11x



a.

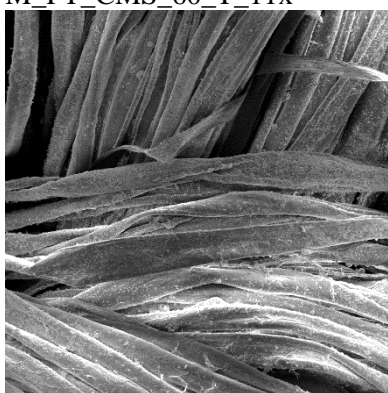


b.



c.

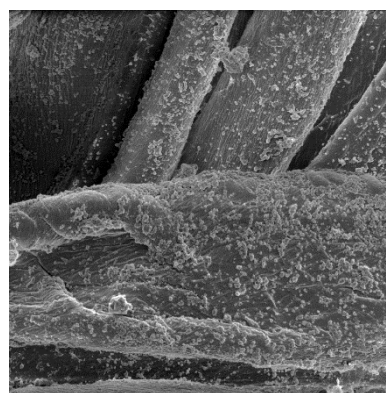
M\_PT\_CMS\_60\_T\_11x



d.



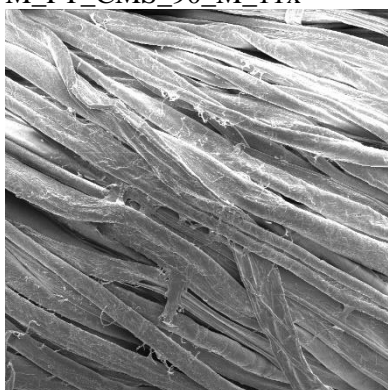
e.



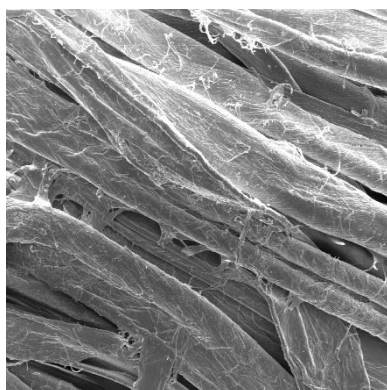
f.

**Slika P7.20** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđentom uz dodatak CMS, u mekoj i tvrdoj vodi na 60 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

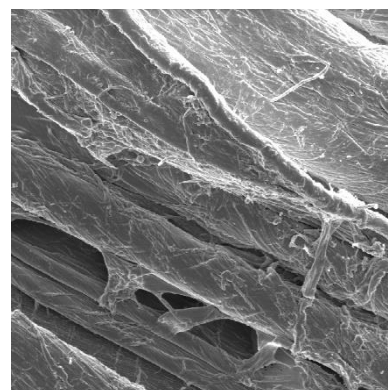
M\_PT\_CMS\_90\_M\_11x



a.

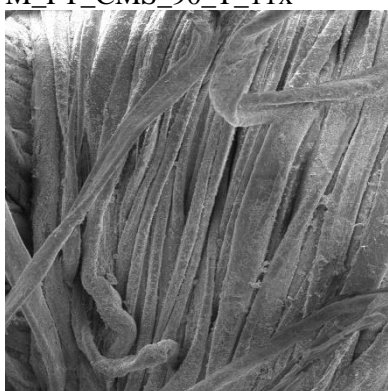


b.

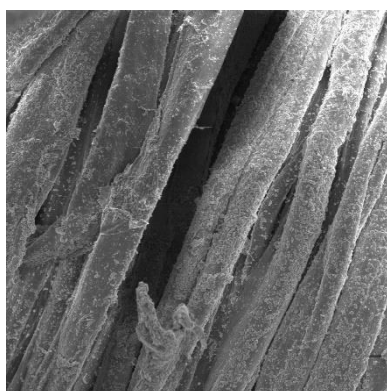


c.

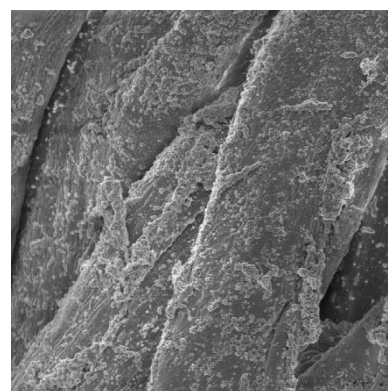
M\_PT\_CMS\_90\_T\_11x



d.



e.



f.

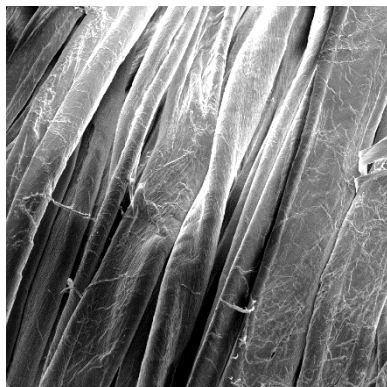
**Slika P7.21** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterdžentom uz dodatak CMS, u mekoj i tvrdoj vodi na 90 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x



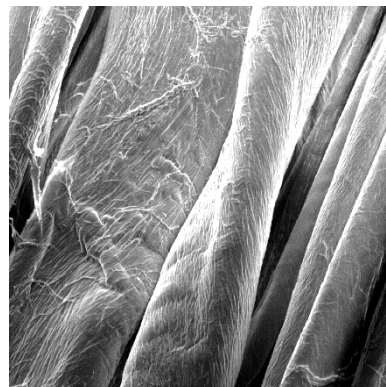
M\_PT\_CMC+CMS\_40\_M\_11x



a.

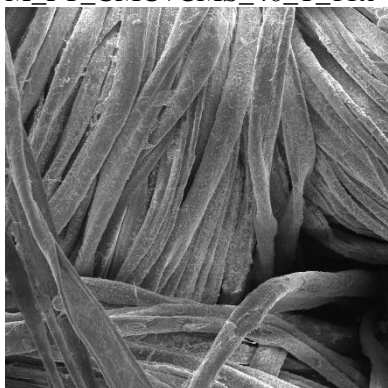


b.

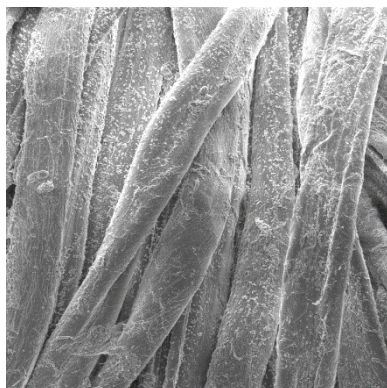


c.

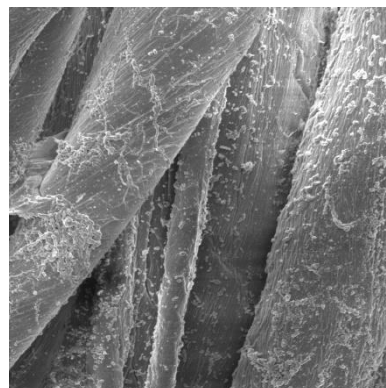
M\_PT\_CMC+CMS\_40\_T\_11x



d.



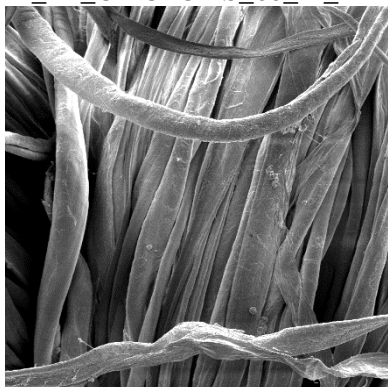
e.



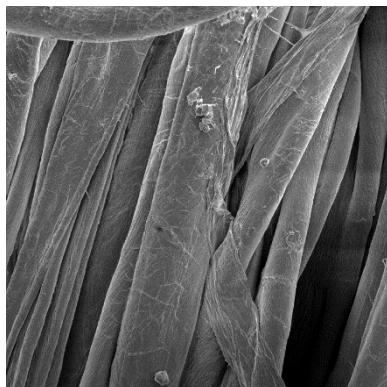
f.

**Slika P7.22** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterdžentom uz dodatak kombinacije CMC+CMS, u mekoj i tvrdoj vodi na 40 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

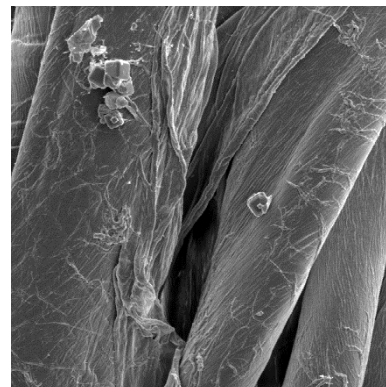
M\_PT\_CMC+CMS\_60\_M\_11x



a.

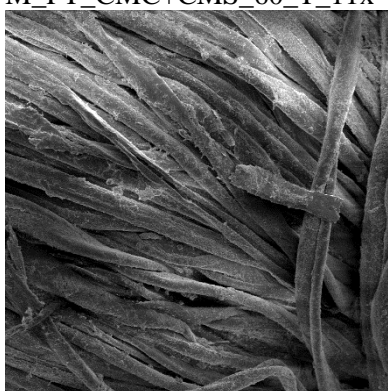


b.

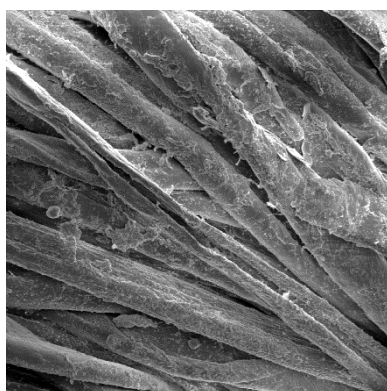


c.

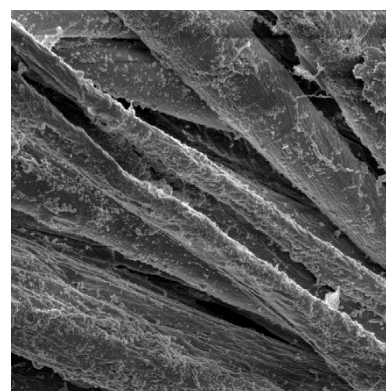
M\_PT\_CMC+CMS\_60\_T\_11x



d.



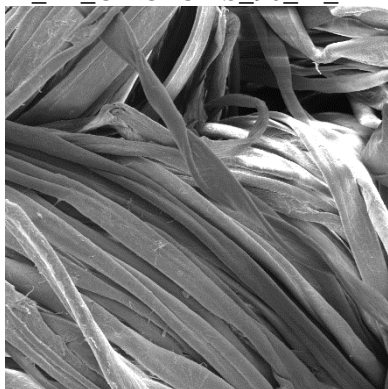
e.



f.

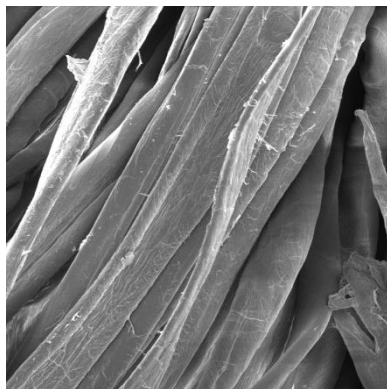
**Slika P7.23** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđentom uz dodatak kombinacije CMC+CMS, u mekoj i tvrdoj vodi na 60 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

M\_PT\_CMC+CMS\_90\_M\_11x



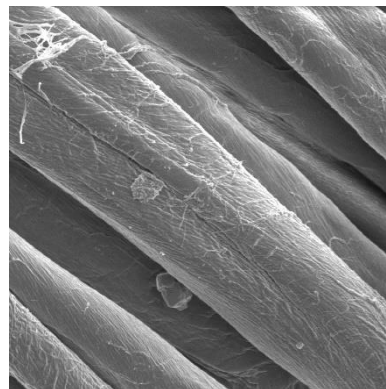
SEM HV: 5.00 kV WD: 31.62 mm  
View field: 216.7 µm Det: SE  
SEM MAG: 1.00 kx Date(m/d/y): 10/23/20 Performance in nanospace

a.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.61 mm  
View field: 108.3 µm Det: SE  
SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/23/20 Performance in nanospace

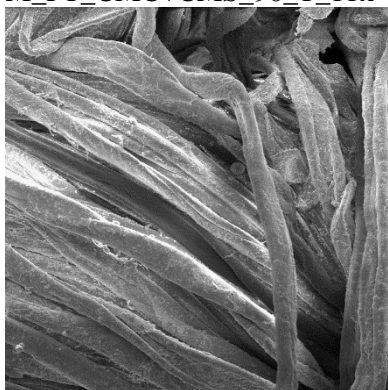
b.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.58 mm  
View field: 43.29 µm Det: SE  
SEM MAG: 5.01 kx Date(m/d/y): 10/23/20 Performance in nanospace

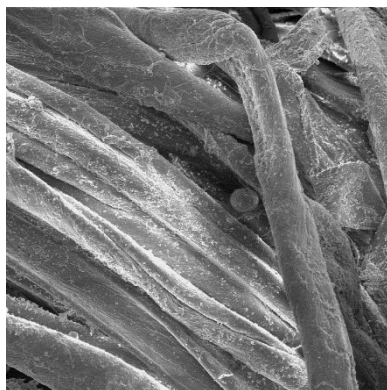
c.

M\_PT\_CMC+CMS\_90\_T\_11x



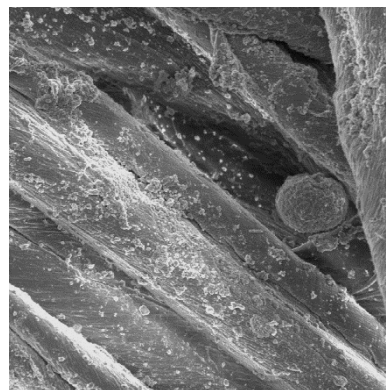
SEM HV: 5.00 kV WD: 31.58 mm  
View field: 216.5 µm Det: SE  
SEM MAG: 1.00 kx Date(m/d/y): 10/22/20 Performance in nanospace

d.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.53 mm  
View field: 108.2 µm Det: SE  
SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/22/20 Performance in nanospace

e.

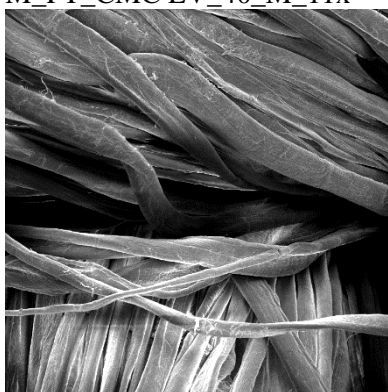


SEM HV: 5.00 kV WD: 31.52 mm  
View field: 43.33 µm Det: SE  
SEM MAG: 5.00 kx Date(m/d/y): 10/22/20 Performance in nanospace

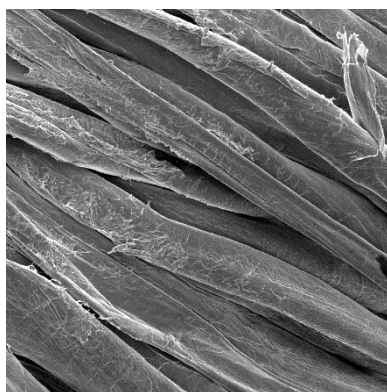
f.

**Slika P7.24** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđentom uz dodatak kombinacije CMC+CMS, u mekoj i tvrđoj vodi na 90 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

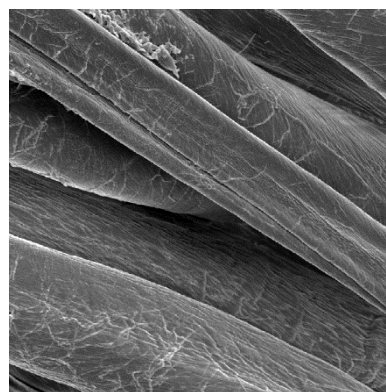
M\_PT\_CMC LV\_40\_M\_11x



a.

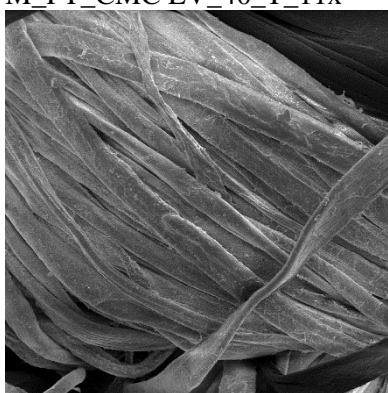


b.

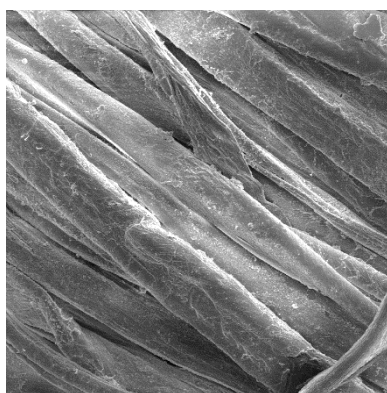


c.

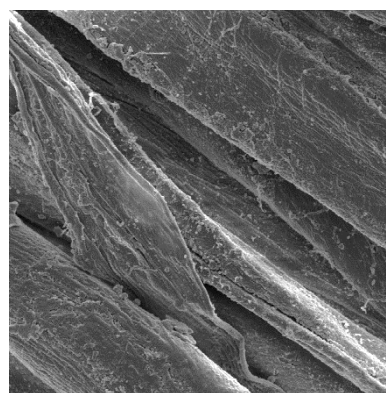
M\_PT\_CMC LV\_40\_T\_11x



d.



e.

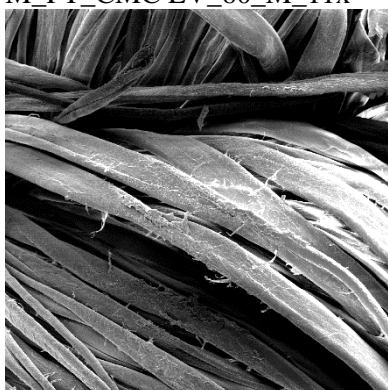


f.

**Slika P7.25** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterdžentom uz dodatak CMC LV, u mekoj i tvrdoj vodi na 40 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

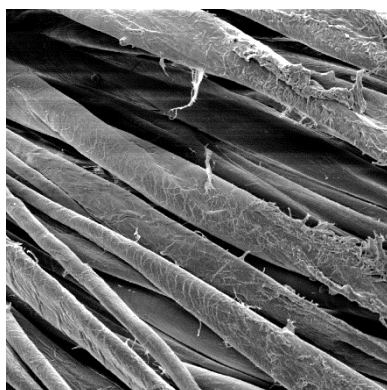


M\_PT\_CMC LV\_60\_M\_11x



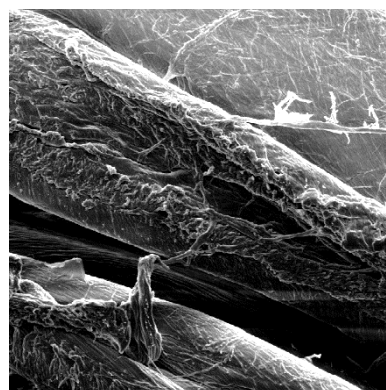
SEM HV: 5.00 kV WD: 31.65 mm MIRA// TESCAN  
View field: 216.7 µm Det: SE  
SEM MAG: 1.00 kx Date(m/d/y): 10/27/20 Performance in nanospace

a.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.67 mm MIRA// TESCAN  
View field: 108.3 µm Det: SE  
SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/27/20 Performance in nanospace

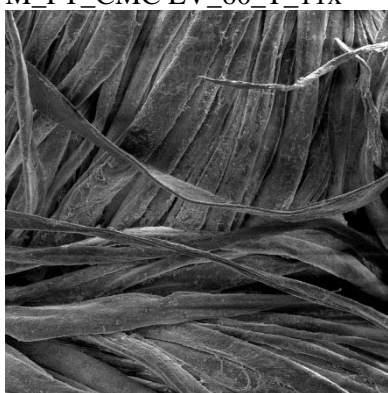
b.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.65 mm MIRA// TESCAN  
View field: 43.34 µm Det: SE  
SEM MAG: 5.00 kx Date(m/d/y): 10/27/20 Performance in nanospace

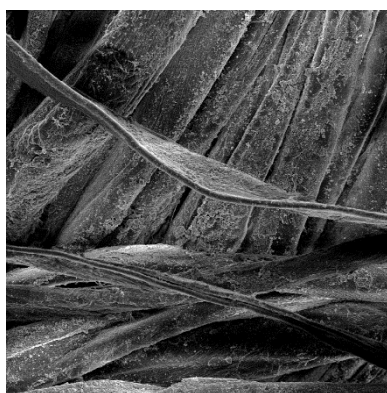
c.

M\_PT\_CMC LV\_60\_T\_11x



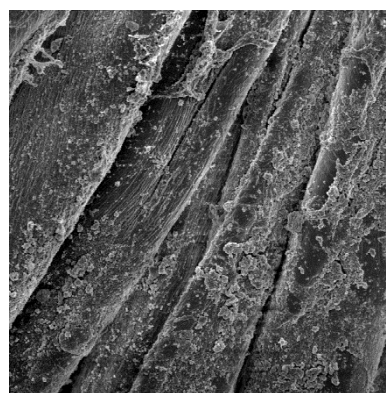
SEM HV: 5.00 kV WD: 31.86 mm MIRA// TESCAN  
View field: 216.3 µm Det: SE  
SEM MAG: 1.00 kx Date(m/d/y): 10/27/20 Performance in nanospace

d.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.87 mm MIRA// TESCAN  
View field: 108.3 µm Det: SE  
SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/27/20 Performance in nanospace

e.

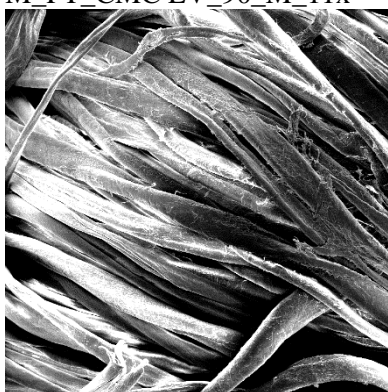


SEM HV: 5.00 kV WD: 31.87 mm MIRA// TESCAN  
View field: 43.31 µm Det: SE  
SEM MAG: 5.00 kx Date(m/d/y): 10/27/20 Performance in nanospace

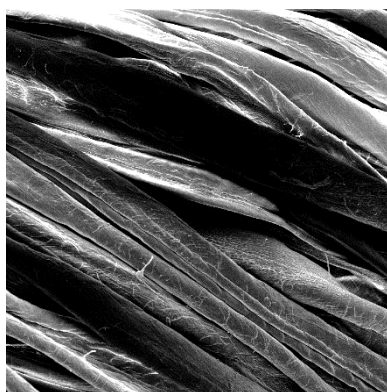
f.

**Slika P7.26** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđentom uz dodatak CMC LV, u mekoj i tvrdoj vodi na 60 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

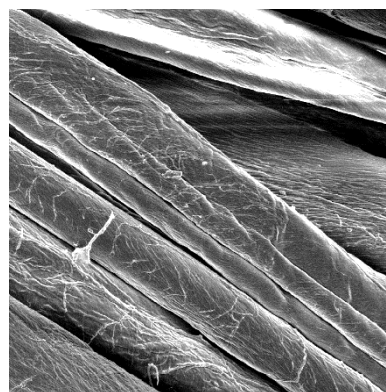
M\_PT\_CMC LV\_90\_M\_11x



a.



b.

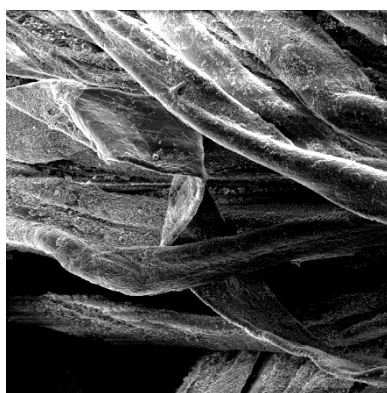


c.

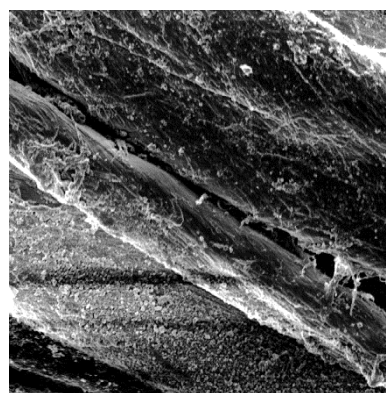
M\_PT\_CMC LV\_90\_T\_11x



d.



e.



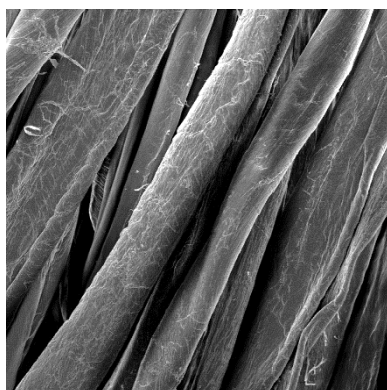
f.

**Slika P7.27** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđentom uz dodatak CMC LV, u mekoj i tvrdoj vodi na 90 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

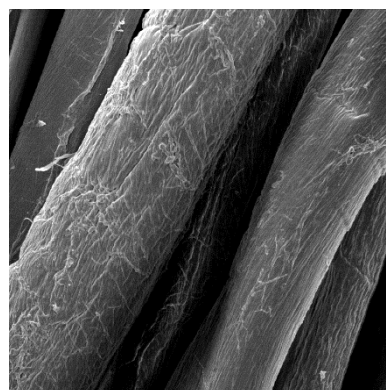
M\_PT\_CMC HV\_40\_M\_11x



a.

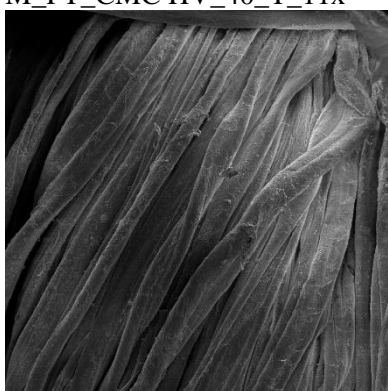


b.



c.

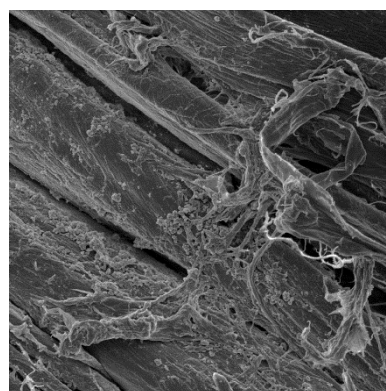
M\_PT\_CMC HV\_40\_T\_11x



d.



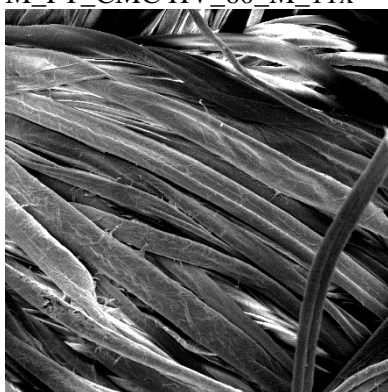
e.



f.

**Slika P7.28** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterdžentom uz dodatak CMC HV, u mekoj i tvrdoj vodi na 40 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

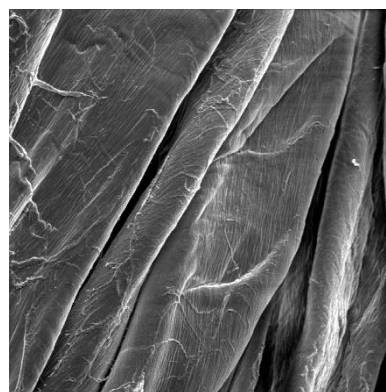
M\_PT\_CMC HV\_60\_M\_11x



a.

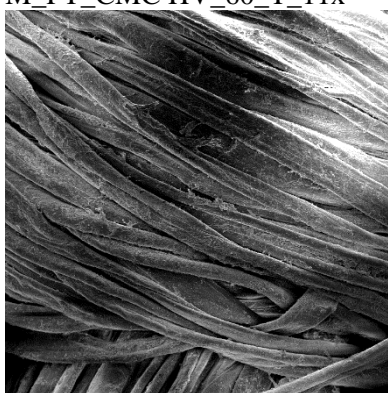


b.

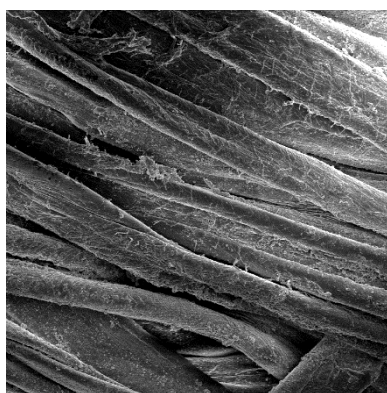


c.

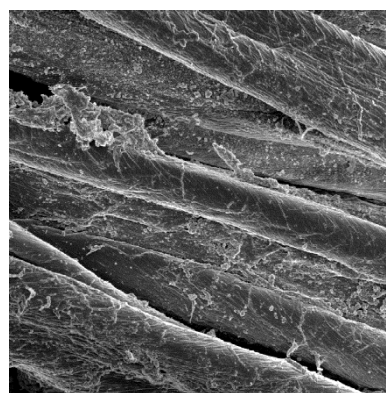
M\_PT\_CMC HV\_60\_T\_11x



d.



e.



f.

**Slika P7.29** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterdžentom uz dodatak CMC HV, u mekoj i tvrdoj vodi na 60 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x



M\_PT\_CMC HV\_90\_M\_11x



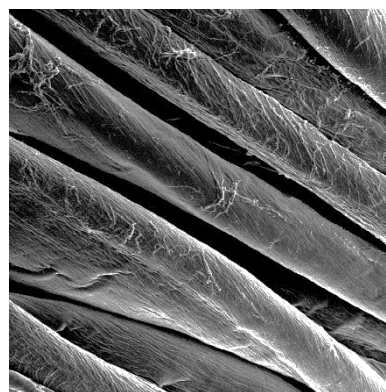
SEM HV: 5.00 kV WD: 31.43 mm  
View field: 216.5 μm Det: SE  
SEM MAG: 1.00 kx Date(m/d/y): 10/27/20

a.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.40 mm  
View field: 108.3 μm Det: SE  
SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/27/20

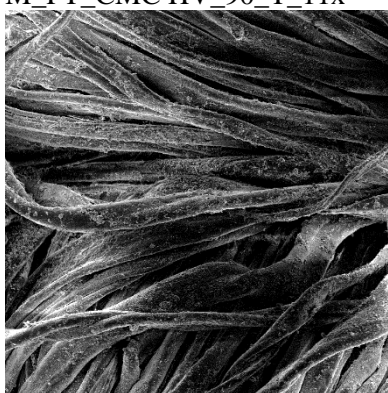
b.



SEM HV: 5.00 kV WD: 31.37 mm  
View field: 43.30 μm Det: SE  
SEM MAG: 5.00 kx Date(m/d/y): 10/27/20

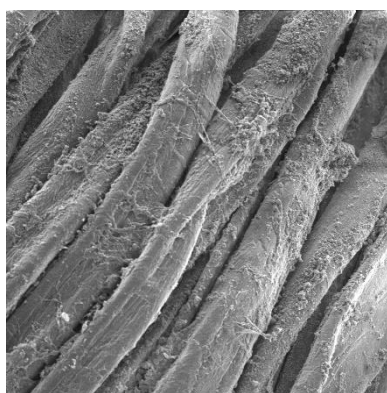
c.

M\_PT\_CMC HV\_90\_T\_11x



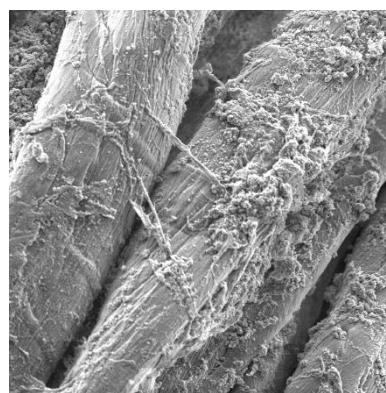
SEM HV: 5.00 kV WD: 31.71 mm  
View field: 216.7 μm Det: SE  
SEM MAG: 1.00 kx Date(m/d/y): 10/27/20

d.



SEM HV: 5.00 kV WD: 6.014 mm  
View field: 108.3 μm Det: SE  
SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 01/15/21

e.



SEM HV: 5.00 kV WD: 6.003 mm  
View field: 43.30 μm Det: SE  
SEM MAG: 5.00 kx Date(m/d/y): 01/15/21

f.

**Slika P7.30** Mikrografi oprane PT tkanine u laboratorijskoj uređaju Polymat s deterđentom uz dodatak CMC HV, u mekoj i tvrdoj vodi na 90 °C kroz 11 ciklusa uz povećanja a. i d. 1000x, b. i e. 2000x te c. i f. 5000x

**Tablica 7.1** Skupni prikaz rezultata mjerenja zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom s CMC u T i M vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskoj perilici (P)

	PT			P_PT_CMC_40_T_10X			P_PT_CMC_60_T_10X			P_PT_CMC_90_T_10X			P_PT_CMC_40_M_10X			P_PT_CMC_60_M_10X			P_PT_CMC_90_M_10X		
	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]
1	9,71	-21,57	25,76	9,60	-22,59	29,78	9,58	-26,64	22,11	10,47	-24,26	36,48	10,83	-29,33	23,37	9,00	-29,40		9,72	-23,60	30,11
2	9,29	-20,01	26,12	8,90	-22,55	30,37	8,59	-26,59	22,56	10,37	-24,00	36,49	9,86	-30,29	23,63	8,03	-29,33	18,76	8,67	-23,75	31,28
3	8,18	-19,92	26,71	8,61	-22,70	30,89	7,64	-26,45	23,31	10,21	-23,31	36,54	9,61	-30,09	23,90	7,69	-28,83	19,19	7,80	-23,93	32,23
4	7,59	-19,81	27,38	8,50	-22,52	31,37	7,17	-26,13	24,06	10,00	-22,75	36,60	9,56	-29,90	24,19	7,27	-29,10	19,83	7,46	-23,70	33,00
5	7,19	-19,94	27,99	8,26	-22,70	31,81	6,88	-26,07	24,78	9,65	-22,35	36,70	9,50	-29,83	24,50	6,89	-29,10	20,53	7,24	-23,54	33,68
6	6,88	-20,00	28,47	6,91	-22,69	32,32	6,66	-25,87	25,46	8,85	-21,92	36,98	9,28	-29,49	24,74	6,52	-28,75	21,28	7,10	-23,62	34,28
7	6,63	-19,91	28,50	6,80	-22,53	32,88	6,42	-25,57	26,10	7,99	-21,91	37,62	8,03	-29,32	25,10	6,09	-28,05	22,07	6,96	-23,43	34,83
8	6,34	-20,12	28,54	6,67	-22,40	33,39	6,07	-25,16	26,73	7,55	-21,94	38,13	7,39	-29,21	25,70	5,00	-25,68	23,47	6,84	-23,21	35,39
9	5,85	-19,60	28,59	6,53	-22,32	33,87	5,03	-22,45	28,19	7,28	-21,79	38,62	6,95	-29,28	26,29	4,26	-22,25	26,86	6,72	-23,05	35,91
10	4,19	-16,53	32,06	6,22	-22,30	34,44	4,27	-18,00	34,05	6,97	-21,72	39,21	6,44	-28,88	27,06	3,95	-19,52	30,42	6,42	-22,95	36,53
11	3,70	-14,81	37,80	5,69	-22,07	35,07	3,98	-15,16	40,27	6,66	-21,77	39,83	5,70	-28,39	27,95	3,70	-16,88	35,89	5,67	-22,29	37,18
12	3,37	-12,71	45,60	4,18	-17,28	40,10	3,75	-12,00	48,62	6,16	-21,58	40,64	4,08	-21,20	34,38	3,54	-15,14	41,47	3,99	-16,75	44,81
13	3,11	-11,02	57,30	3,69	-10,26	51,68	3,40	-8,45	61,17	4,02	-16,76	46,66	3,59	-15,66	46,99	3,40	-13,11	48,99	3,47	-11,74	58,69
14	2,89	-9,45	73,19	3,30	-4,21	67,12	3,35	-7,81	82,07	3,24	-8,80	64,02	3,31	-10,99	63,94	3,24	-11,41	60,30	3,18	-8,21	77,16
15	2,74	-8,23	89,33	3,27	-3,44	82,63	3,22	-7,25	100,50	2,99	-4,41	81,63	3,14	-8,25	80,81	3,09	-9,85	75,34	2,96	-6,48	95,81
16	2,57	-6,84	113,20	3,10	-1,05	106,00	3,09	-5,83	128,00	2,76	-4,33	108,20	2,97	-5,96	106,10	2,97	-8,69	90,32	2,77	-4,17	123,50
17	2,38	-5,39	152,50	2,80	2,92	144,40	3,02	-2,18	170,70	2,55	-3,18	151,90	2,78	-2,55	147,70	2,84	-7,16	112,90	2,59	-1,47	168,60
18	2,24	-4,12	191,70	2,70	8,30	182,00	2,90	-0,79	217,90				2,64	0,00	188,50	2,69	-5,40	150,30	2,42	0,68	212,80
19	2,14	-3,51	237,90	3,31	8,58	219,00	2,80	0,12	260,40				2,54	3,25	228,40	2,57	-3,24	187,10	2,32	3,19	256,10
20	2,05	-2,99	291,50	3,65	13,87	255,40	2,70	0,91	301,70				2,46	6,11	267,50	2,48	-2,21	223,40	2,23	4,57	298,20
21	1,98	-1,28	333,30	3,04	15,43	291,00							2,38	7,70	306,20	2,40	-1,93	259,50	2,16	6,40	339,60
22	1,87	-0,65	411,40	3,54	23,11	359,00							2,27	13,05	381,50	2,34	0,76	294,60	2,04	11,30	419,90
23	1,78	0,65	485,90	3,52	28,14	425,90							2,18	15,89	454,40	2,24	2,38	361,50	1,93	10,54	497,60
24	1,68	1,94	557,60	3,35	32,44	490,60										2,15	2,82	425,80			
25	1,65	5,05	626,20	2,09	35,34	553,60															

**Tablica P7.2** Skupni prikaz rezultata mjerenja zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom s CMS u T i M vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskoj perilici (P)

	PT			P_PT_CMS_40_T_10X			P_PT_CMS_60_T_10X			P_PT_CMS_90_T_10X			P_PT_CMS_40_M_10X			P_PT_CMS_60_M_10X			P_PT_CMS_90_M_10X		
	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]
1	9,71	-21,57	25,76	8,94	-21,75	27,90	9,70	-20,29	28,01	9,27	-22,19	26,52	11,08	-24,25	27,39	9,00	-25,87	19,26	11,04	-23,51	32,77
2	9,29	-20,01	26,12	8,49	-22,25	28,81	8,71	-19,99	28,68	8,18	-21,76	27,19	11,02	-24,67	27,81	8,28	-25,60	19,71	10,72	-22,90	33,55
3	8,18	-19,92	26,71	8,22	-22,00	29,21	7,92	-19,67	29,48	7,58	-21,65	27,87	9,61	-27,00	28,10	7,60	-25,30	20,43	9,70	-22,59	34,19
4	7,59	-19,81	27,38	7,86	-21,87	29,67	7,57	-19,64	30,35	7,26	-21,77	28,46	9,52	-27,00	28,26	7,11	-25,33	21,12	8,94	-22,59	34,82
5	7,19	-19,94	27,99	7,55	-22,29	30,15	7,35	-19,35	31,12	7,05	-21,71	29,01	9,17	-27,00	28,22	6,78	-25,31	21,72	8,33	-22,51	35,50
6	6,88	-20,00	28,47	7,30	-22,21	30,63	7,20	-19,28	31,84	6,88	-21,59	29,50	8,37	-27,38	28,77	6,49	-25,26	22,28	7,94	-22,43	36,04
7	6,63	-19,91	28,50	7,09	-22,04	31,09	7,09	-19,24	32,51	6,73	-21,63	30,06	7,86	-26,81	29,30	6,07	-24,53	22,82	7,64	-22,17	36,50
8	6,34	-20,12	28,54	6,90	-22,24	31,70	6,99	-19,28	33,13	6,58	-21,58	30,53	7,55	-26,30	29,80	4,96	-21,74	24,43	7,41	-22,06	36,91
9	5,85	-19,60	28,59	6,35	-22,11	32,75	6,88	-19,03	33,69	6,41	-21,68	31,12	7,34	-26,05	30,25	4,44	-18,43	27,95	7,25	-21,94	37,36
10	4,19	-16,53	32,06	6,09	-21,95	33,25	6,66	-18,93	34,40	5,99	-21,66	31,78	7,06	-25,54	30,82	4,09	-15,17	33,73	7,02	-21,90	37,89
11	3,70	-14,81	37,80	5,66	-21,54	33,82	6,40	-18,87	35,08	4,61	-19,86	33,77	6,83	-25,51	31,37	3,88	-12,91	39,52	6,71	-21,79	38,46
12	3,37	-12,71	45,60	4,57	-20,11	35,48	5,63	-18,46	36,00	3,68	-15,00	41,47	6,43	-24,72	31,79	3,70	-10,35	47,22	5,99	-21,44	39,23
13	3,11	-11,02	57,30	3,97	-17,92	39,26	3,73	-12,47	45,86	3,23	-10,57	53,96	4,58	-19,40	36,50	3,46	-8,01	58,91	4,03	-14,16	49,29
14	2,89	-9,45	73,19	3,70	-15,82	43,18	3,27	-7,25	61,74	2,95	-6,02	70,71	3,79	-13,49	51,65	3,25	-6,40	74,59	3,77	-8,97	66,89
15	2,74	-8,23	89,33	3,47	-13,70	49,15	3,05	-5,46	77,60	2,77	-5,16	89,38	3,51	-10,43	66,69	3,13	-5,44	90,16	3,66	-6,82	84,42
16	2,57	-6,84	113,20	3,32	-12,29	55,09	2,82	-2,62	101,30	2,60	-4,60	115,40	3,26	-7,71	90,46	2,99	-4,04	113,60	3,51	-5,27	110,60
17	2,38	-5,39	152,50	3,17	-11,35	63,06	2,54	1,26	140,30	2,40	-2,81	157,60	3,01	-3,69	129,30	2,82	-1,75	151,90	3,43	-3,29	153,40
18	2,24	-4,12	191,70	3,00	-10,00	75,13	2,33	4,76	178,40	2,27	-1,44	199,00	2,87	-1,09	167,50	2,70	0,34	189,70	3,37	-2,61	195,50
19	2,14	-3,51	237,90	2,84	-8,38	91,26	2,19	8,29	216,10	2,16	0,07	239,20	2,86	3,90	204,80	2,60	2,47	227,10	3,28	-1,18	236,60
20	2,05	-2,99	291,50	2,72	-7,21	107,50	2,10	10,55	252,80	2,07	1,82	278,70	2,63	6,57	242,00	2,51	4,27	263,70	3,20	-0,83	276,80
21	1,98	-1,28	333,30	2,59	-5,49	131,60	2,01	13,50	300,80	2,00	2,73	317,40	3,92	9,13	278,60	2,40	4,35	299,70	3,12	-0,20	316,20
22	1,87	-0,65	411,40	2,43	-3,41	171,10	1,89	20,42	391,70	1,89	6,07	392,40	3,45	14,03	351,00	2,27	7,78	369,20	3,03	0,78	392,60
23	1,78	0,65	485,90	2,31	-0,90	209,80	1,79	28,80	466,10	1,79	9,07	464,70	2,57	17,42	421,80	2,18	11,08	436,20	2,89	0,82	466,50
24	1,68	1,94	557,60	2,21	1,58	247,70	1,72	33,17	537,90	1,66	13,52	534,20	3,13	18,06	490,50	2,12	12,74	500,40	2,79	1,43	537,40
25	1,65	5,05	626,20	2,13	5,37	284,80	1,65	40,86	606,40	1,51	18,28	601,00	3,14	23,48	560,70	2,06	15,55	562,50	2,70	2,94	605,70

**Tablica P7.3** Skupni prikaz rezultata mjerenja zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom s CMC+CMS u T i M vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskoj perilici (P)

	PT			P_PT_CMC+CMS_40_T_10X			P_PT_CMC+CMS_60_T_10X			P_PT_CMC+CMS_90_T_10X			P_PT_CMC+CMS_40_M_10X			P_PT_CMC+CMS_60_M_10X			P_PT_CMC+CMS_90_M_10X		
	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]
1	9,71	-21,57	25,76	9,00	-15,92	33,71	9,27	-27,11	23,42	9,19	-21,80	25,39	9,08	-30,57	22,97	9,52	-28,73	23,71	9,08	-24,13	28,77
2	9,29	-20,01	26,12	8,82	-15,31	34,92	9,36	-27,06	23,75	8,87	-21,55	25,87	8,30	-30,31	23,33	9,54	-29,11	24,05	8,51	-24,23	29,89
3	8,18	-19,92	26,71	8,74	-15,12	35,94	9,40	-27,21	24,08	7,92	-21,37	26,44	7,96	-30,00	23,73	9,48	-28,67	24,34	7,87	-23,87	30,72
4	7,59	-19,81	27,38	8,54	-15,44	36,82	9,37	-26,62	24,41	7,44	-21,37	27,06	7,74	-29,75	24,18	9,39	-28,25	24,59	7,57	-23,75	31,71
5	7,19	-19,94	27,99	8,43	-15,67	37,75	9,34	-26,51	24,72	7,14	-21,22	27,63	7,54	-29,58	24,67	9,33	-27,85	24,78	7,38	-23,61	32,48
6	6,88	-20,00	28,47	8,26	-15,27	38,45	9,28	-26,00	24,99	6,93	-21,24	28,16	7,28	-29,28	25,23	9,05	-27,16	24,88	7,22	-23,41	33,13
7	6,63	-19,91	28,50	7,87	-15,11	39,44	8,38	-26,44	25,22	6,76	-21,07	28,66	6,95	-29,14	25,88	7,94	-27,10	25,16	7,08	-23,59	33,80
8	6,34	-20,12	28,54	7,56	-15,10	40,24	7,74	-26,05	25,72	6,60	-20,81	29,15	6,70	-29,19	26,51	7,40	-26,97	25,61	6,95	-23,64	34,44
9	5,85	-19,60	28,59	7,40	-15,24	40,92	7,35	-26,02	26,24	6,41	-20,53	29,60	6,47	-29,00	27,07	7,10	-26,94	26,13	6,82	-23,53	34,94
10	4,19	-16,53	32,06	7,35	-14,94	41,31	6,97	-26,00	26,93	5,88	-20,19	30,22	5,97	-28,79	27,83	6,75	-26,72	26,63	6,47	-23,28	35,59
11	3,70	-14,81	37,80	7,00	-15,11	41,53	6,65	-25,73	27,61	4,23	-17,45	32,79	4,61	-24,73	30,63	6,46	-26,54	27,18	5,98	-22,94	36,29
12	3,37	-12,71	45,60	6,87	-15,74	42,08	6,21	-25,55	28,43	3,54	-13,70	40,49	3,87	-18,29	39,08	5,84	-25,92	28,07	4,28	-17,49	42,03
13	3,11	-11,02	57,30	6,16	-15,36	43,36	4,25	-20,11	32,47	3,18	-9,47	52,20	3,52	-13,80	52,14	3,87	-16,65	36,40	3,51	-11,42	54,96
14	2,89	-9,45	73,19	3,74	-10,14	52,68	3,45	-12,74	47,13	2,93	-5,91	67,80	3,27	-9,37	69,59	3,41	-11,26	54,91	3,11	-8,07	73,81
15	2,74	-8,23	89,33	3,20	-6,14	68,94	3,19	-7,02	61,73	2,77	-5,49	83,33	3,06	-7,14	86,91	3,19	-7,40	72,85	2,90	-6,16	91,87
16	2,57	-6,84	113,20	2,86	-2,69	93,31	2,97	-5,95	83,59	2,59	-4,31	106,60	2,89	-4,43	112,90	2,98	-4,80	101,00	2,71	-4,11	118,80
17	2,38	-5,39	152,50	2,55	2,07	133,60	2,74	-4,63	119,90	2,40	-2,01	145,00	2,69	-0,57	155,80	2,76	-0,45	146,00	2,48	-1,03	163,90
18	2,24	-4,12	191,70	2,36	5,55	173,60	2,60	-3,09	155,80	2,27	0,35	182,90	2,55	2,77	197,80	2,62	3,02	189,60	2,32	1,90	207,60
19	2,14	-3,51	237,90	2,22	7,90	212,40	2,49	-1,66	191,20	2,16	2,23	220,00	2,45	5,92	239,10	2,51	5,34	232,30	2,19	3,85	250,40
20	2,05	-2,99	291,50	2,21	9,30	250,30	2,40	-0,13	241,60	2,07	3,70	256,60	2,37	8,58	279,40	2,42	8,57	273,50	2,10	5,93	292,40
21	1,98	-1,28	333,30	2,47	15,76	286,80	2,32	1,60	279,90	2,00	4,89	292,20	0,00	0,00	0,00	2,35	10,71	314,00	2,02	9,14	333,90
22	1,87	-0,65	411,40	2,98	15,04	379,70	0,00	0,00	0,00	1,82	8,96	360,80	0,00	0,00	0,00	2,24	16,00	392,90	1,90	12,31	413,90
23	1,78	0,65	485,90	3,11	20,63	465,30	0,00	0,00	0,00	1,57	15,05	464,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,81	15,17	490,10
24	1,68	1,94	557,60	1,69	22,56	538,70	0,00	0,00	0,00	1,72	14,18	536,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73	18,86	563,20
25	1,65	5,05	626,20	1,65	27,15	609,20	0,00	0,00	0,00	1,68	15,47	604,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,66	21,74	633,40

**Tablica P7.4** Skupni prikaz rezultata mjerenja zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja u T i M vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

	PT			M_PT_40_T_10X			M_PT_60_T_10X			M_PT_90_T_10X			M_PT_40_M_10X			M_PT_60_M_10X			M_PT_90_M_10X		
	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]
1	9,71	-21,57	25,76	10,40	-17,10	22,28	9,50	-20,01	27,93	11,26	-17,90	20,65	11,44	-15	22,76	11,27	-19,23	19,77	10,48	-18,29	18,20
2	9,29	-20,01	26,12	9,50	-16,40	21,95	7,22	-19,74	29,01	11,27	-18,60	20,64	9,4	-15	22,27	9,99	-19,60	19,89	8,82	-17,93	18,12
3	8,18	-19,92	26,71	7,90	-16,36	21,83	4,74	-18,25	31,34	11,14	-18,22	20,64	7,955	-15,2	22,05	9,55	-19,62	20,01	6,51	-16,95	18,85
4	7,59	-19,81	27,38	6,42	-15,85	22,50	4,10	-18,09	35,36	9,84	-18,40	20,63	6,266	-15,26	22,48	9,24	-19,30	20,17	4,54	-13,86	20,99
5	7,19	-19,94	27,99	4,76	-14,99	24,00	3,84	-17,84	39,43	9,53	-18,08	20,58	4,609	-14,81	24,7	8,46	-19,07	20,38	4,06	-11,76	24,36
6	6,88	-20,00	28,47	4,10	-14,54	27,53	3,67	-17,37	43,50	8,75	-18,19	20,46	4,042	-13,73	28,35	7,46	-18,72	20,79	3,82	-10,67	27,75
7	6,63	-19,91	28,50	3,83	-13,54	31,23	3,55	-16,83	47,58	7,12	-17,53	20,76	3,791	-12,47	32,05	6,68	-18,45	21,29	3,66	-10,06	31,07
8	6,34	-20,12	28,54	3,65	-12,32	34,93	3,45	-16,37	51,69	5,42	-16,89	21,36	3,636	-11,42	35,67	5,61	-17,05	21,98	3,54	-9,22	34,33
9	5,85	-19,60	28,59	3,53	-11,44	38,56	3,36	-15,83	55,74	4,33	-15,39	24,16	3,523	-10,49	39,2	4,45	-14,48	24,40	3,48	-8,75	37,49
10	4,19	-16,53	32,06	3,40	-10,18	44,19	3,26	-15,06	61,63	3,86	-13,22	29,41	3,399	-9,062	44,63	3,92	-13,46	29,50	3,38	-7,62	42,34
11	3,70	-14,81	37,80	3,29	-9,03	49,78	3,18	-14,37	67,49	3,63	-11,99	34,84	3,4	-8,061	50,06	3,67	-12,47	34,86	3,30	-7,31	47,17
12	3,37	-12,71	45,60	3,18	-7,79	57,36	3,08	-13,51	75,27	3,43	-10,68	42,14	3,3	-7,019	57,42	3,46	-11,49	42,11	3,20	-6,09	53,75
13	3,11	-11,02	57,30	3,06	-6,20	68,90	2,97	-12,29	87,07	3,24	-9,04	53,21	3,2	-5,608	68,61	3,25	-9,62	53,11	3,18	-5,63	63,79
14	2,89	-9,45	73,19	2,93	-4,28	84,39	2,86	-10,86	102,40	3,07	-7,52	68,05	3	-3,593	83,67	3,08	-7,74	67,87	3,10	-3,82	77,23
15	2,74	-8,23	89,33	2,83	-2,46	99,81	2,77	-9,76	117,60	2,94	-5,53	82,89	2,826	-2,044	98,54	2,95	-5,79	82,50	2,94	-0,97	90,61
16	2,57	-6,84	113,20	2,73	0,89	122,90	2,66	-8,30	140,30	2,81	-3,44	105,10	2,8	-0,2246	120,8	2,81	-3,37	104,50	2,90	0,76	110,70
17	2,38	-5,39	152,50	2,70	5,67	161,00	2,53	-7,20	177,50	2,65	-0,79	141,50	2,75	1,57	157,6	2,64	-0,13	140,80	2,80	3,08	143,80
18	2,24	-4,12	191,70	3,56	8,79	198,40	2,43	-5,50	214,20	2,53	1,56	177,50	2,74	4,798	193,7	2,52	3,29	176,60	3,22	5,86	176,40
19	2,14	-3,51	237,90	3,69	13,27	235,00	2,35	-4,26	250,30	2,44	3,79	212,80	3,702	6,577	229,2				3,77	8,38	208,40
20	2,05	-2,99	291,50	3,64	16,71	270,70	2,28	-1,87	285,90	2,36	7,64	247,60	3,587	9,651	263,9						
21	1,98	-1,28	333,30	3,54	21,04	305,90	2,22	-0,90	320,70				3,535	12,4	298						
22	1,87	-0,65	411,40	3,38	28,08	374,60	2,13	0,76	388,70				3,402	17,16	364,7						
23	1,78	0,65	485,90	3,22	33,99	441,10	2,05	4,99	454,40				3,225	19,73	429,1						
24	1,68	1,94	557,60	3,07	40,22	505,10	2,00	7,13	517,70				2,84	21,89	491,3						
25	1,65	5,05	626,20	2,95	48,74	567,10							2,272	25,61	551,5						

**Tablica P7.5** Skupni prikaz rezultata mjerenja zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom u T i M vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

	PT			M_PT_D_40_T_10X			M_PT_D_60_T_10X			M_PT_D_90_T_10X			M_PT_D_40_M_10X			M_PT_D_60_M_10X			M_PT_D_90_M_10X		
	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]
1	9,71	-21,57	25,76	10,24	-13,89	22,26	11,34	-18,24	21,14	9,77	-18,34	24,65	10,42	-17,41	19,70	9,57	-21,44	20,02	10,38	-19,47	18,83
2	9,29	-20,01	26,12	10,09	-13,66	22,66	10,02	-18,42	21,18	9,61	-18,54	26,31	9,81	-17,30	19,92	7,22	-21,26	20,29	9,53	-19,08	19,13
3	8,18	-19,92	26,71	9,93	-13,85	22,96	9,70	-18,07	21,05	9,42	-18,27	27,46	9,56	-17,22	20,28	4,92	-20,26	21,72	9,21	-18,98	19,58
4	7,59	-19,81	27,38	9,69	-13,85	23,21	7,62	-17,48	21,09	9,04	-18,21	28,34	9,11	-17,23	20,70	4,50	-20,00	25,41	8,45	-18,86	20,08
5	7,19	-19,94	27,99	9,20	-13,98	23,30	6,07	-17,00	21,82	7,59	-18,03	29,24	7,87	-17,09	21,24	4,30	-18,98	29,30	7,61	-18,69	20,70
6	6,88	-20,00	28,47	7,53	-13,75	23,61	4,46	-15,83	24,14	6,61	-17,21	30,20	7,20	-16,49	21,93	4,10	-18,16	33,22	7,11	-18,36	21,36
7	6,63	-19,91	28,50	6,73	-13,59	24,03	3,99	-15,06	27,88	5,34	-15,03	31,33	6,78	-16,27	22,57	4,06	-17,27	37,07	6,60	-17,84	22,06
8	6,34	-20,12	28,54	6,14	-12,93	24,52	3,76	-14,35	31,69	4,43	-12,54	34,09	6,33	-15,89	23,19	3,92	-16,17	40,84	5,82	-16,57	22,73
9	5,85	-19,60	28,59	4,88	-11,96	25,70	3,61	-13,62	35,54	4,08	-11,20	37,24	5,37	-14,97	24,00	3,90	-16,07	44,56	4,54	-13,74	24,74
10	4,19	-16,53	32,06	3,97	-11,45	31,12	3,44	-12,72	41,33	3,50	-9,35	42,03	4,12	-14,05	28,84	3,80	-15,42	50,16	3,92	-11,14	29,74
11	3,70	-14,81	37,80	3,67	-10,75	36,87	3,32	-12,00	47,10	3,40	-8,36	46,70	3,76	-12,55	34,79	3,70	-14,63	55,71	3,65	-9,47	35,16
12	3,37	-12,71	45,60	3,44	-9,45	44,70	3,20	-10,79	54,74	3,15	-6,54	53,14	3,49	-10,75	43,02	3,60	-13,53	63,17	3,44	-7,63	42,60
13	3,11	-11,02	57,30	3,22	-7,73	56,58	3,07	-9,68	66,19	3,10	-5,58	63,14	3,25	-8,83	55,73	3,41	-11,84	74,46	3,23	-5,55	53,87
14	2,89	-9,45	73,19	3,03	-6,30	72,39	2,94	-8,25	81,37	3,02	-4,12	76,73	3,06	-6,47	72,44	3,25	-8,75	89,34	3,05	-3,32	68,87
15	2,74	-8,23	89,33	2,90	-4,78	88,14	2,83	-6,52	96,47	2,90	-2,73	90,13	2,91	-4,56	88,79	3,22	-7,54	103,90	2,93	-1,63	83,72
16	2,57	-6,84	113,20	2,76	-2,47	111,70	2,72	-4,73	119,00	2,70	-0,81	110,40	2,76	-1,30	113,40	3,20	-5,80	126,10	2,79	1,05	105,90
17	2,38	-5,39	152,50	2,76	2,24	150,10	2,57	-0,73	156,10	2,60	0,14	144,70	2,59	3,02	154,10	3,18	-4,86	162,70	2,61	4,51	142,70
18	2,24	-4,12	191,70	2,75	4,10	187,60	2,47	2,76	192,50	2,56	0,81	178,80				3,15	-2,78	198,70			
19	2,14	-3,51	237,90	2,74	8,15	224,20	2,38	5,05	228,30	2,47	3,48	213,10				3,11	-1,70	233,80			
20	2,05	-2,99	291,50				2,31	8,94	263,40	2,39	4,94	247,20				3,10	-1,52	268,40			
21	1,98	-1,28	333,30				2,24	11,14	298,10	2,32	4,73	280,60				3,10	0,07	302,60			
22	1,87	-0,65	411,40							2,22	5,41	344,90				3,04	1,70	369,20			
23	1,78	0,65	485,90							2,14	41,67	407,10						433,40			
24	1,68	1,94	557,60							2,07	28,18	467,10						496,40			
25	1,65	5,05	626,20							2,03	15,13	525,40						556,60			

**Tablica P7.6** Skupni prikaz rezultata mjerenja zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom s CMC u T i M vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

	PT			M_PT_CMC_40_T_10X			M_PT_CMC_60_T_10X			M_PT_CMC_90_T_10X			M_PT_CMC_40_M_10X			M_PT_CMC_60_M_10X			M_PT_CMC_90_M_10X		
	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]
1	9,71	-21,57	25,76	10,64	-21,11	32,42	8,95	-19,27	32,09	9,08	-17,21	26,97	9,93	-24,27	28,53	8,99	-23,53	17,93	8,59	-24,86	28,93
2	9,29	-20,01	26,12	10,11	-20,52	32,93	8,88	-19,46	32,69	8,95	-17,07	27,46	9,92	-23,82	29,03	7,79	-23,35	18,05	7,91	-24,75	29,98
3	8,18	-19,92	26,71	9,18	-19,71	33,48	8,76	-19,53	33,17	8,79	-17,11	27,82	9,90	-23,21	29,71	7,07	-23,22	18,33	7,55	-24,93	31,74
4	7,59	-19,81	27,38	8,34	-20,31	34,36	8,62	-19,60	33,57	8,50	-17,26	28,18	9,87	-23,17	30,34	6,58	-22,78	18,68	7,34	-24,73	32,51
5	7,19	-19,94	27,99	7,88	-20,28	35,39	8,43	-19,69	33,94	8,05	-17,39	28,62	9,84	-22,75	30,77	6,21	-21,33	18,15	7,19	-24,74	33,17
6	6,88	-20,00	28,47	7,61	-20,26	36,45	8,13	-19,66	34,30	7,75	-17,30	29,12	9,81	-22,85	31,82	5,93	-20,87	18,39	7,05	-24,69	33,86
7	6,63	-19,91	28,50	7,43	-20,05	37,37	7,83	-19,47	34,75	7,52	-17,24	29,58	9,46	-22,53	32,36	5,49	-20,05	18,64	6,93	-24,61	34,35
8	6,34	-20,12	28,54	7,29	-20,26	38,20	7,62	-19,35	35,21	7,34	-17,15	30,06	8,51	-22,76	33,05	5,00	-18,93	19,04	6,81	-24,54	34,93
9	5,85	-19,60	28,59	7,17	-20,25	38,92	7,47	-19,64	35,67	7,20	-16,98	30,53	7,86	-22,75	33,89	4,54	-17,50	19,86	6,69	-24,38	35,43
10	4,19	-16,53	32,06	6,97	-20,21	39,67	7,27	-19,72	36,36	7,01	-17,11	31,16	7,37	-22,81	34,82	3,67	-13,01	26,84	6,42	-24,37	36,11
11	3,70	-14,81	37,80	6,75	-20,41	40,43	7,09	-19,67	36,97	6,81	-17,49	32,07	6,99	-22,62	35,74	3,11	-8,56	46,96	6,01	-24,07	36,63
12	3,37	-12,71	45,60	6,29	-20,40	41,41	6,86	-19,58	37,73	6,49	-17,31	32,93	6,56	-22,52	36,78	2,61	-2,85	105,03	4,25	-20,58	40,79
13	3,11	-11,02	57,30	4,49	-14,72	49,85	6,31	-19,42	38,86	4,59	-14,89	36,55	4,97	-21,23	38,71	2,55	-1,33	166,92	3,51	-14,85	53,88
14	2,89	-9,45	73,19	3,95	-10,27	67,14	4,18	-14,55	48,11	3,55	-9,73	52,48	3,34	-12,50	55,10	2,50	-0,61	226,34	3,15	-11,26	71,40
15	2,74	-8,23	89,33	3,71	-8,49	84,34	3,54	-11,71	65,36	3,18	-7,59	68,64	3,01	-9,24	72,31	2,45	-0,29	283,80	2,94	-9,13	88,84
16	2,57	-6,84	113,20	3,30	-4,28	109,90	3,19	-9,11	91,38	2,92	-5,80	94,56	2,75	-7,42	97,99	2,44	-0,11	371,00	2,74	-6,99	114,90
17	2,38	-5,39	152,50	3,12	-1,16	152,10	2,83	-7,20	134,20	2,65	-3,16	135,50	2,50	-5,50	140,10	2,43	0,18	430,03	2,53	-4,17	157,60
18	2,24	-4,12	191,70	3,00	2,02	193,20	2,63	-6,10	176,20	2,44	-1,40	175,60	2,33	-3,99	181,30				2,32	-2,43	199,40
19	2,14	-3,51	237,90	2,80	3,55	233,40	2,46	-4,36	217,30	2,26	0,99	215,00	2,15	-0,58	221,70				2,20	-0,27	240,10
20	2,05	-2,99	291,50	2,70	5,26	272,80	2,30	-1,70	257,80				2,11	-0,61	261,30				2,11	0,63	279,80
21	1,98	-1,28	333,30	4,33	7,01	311,70	2,14	-1,30	297,50										2,03	2,08	318,60
22	1,87	-0,65	411,40	4,09	10,60	387,40	1,99	2,61	374,40										1,91	3,77	393,90
23	1,78	0,65	485,90	3,82	14,18	460,00	1,86	4,96	448,50										1,79	7,51	466,10
24	1,68	1,94	557,60	2,87	19,44	530,30													1,75	8,69	535,90
25	1,65	5,05	626,20	3,16	18,58	597,60													1,64	11,29	603,80

**Tablica P7.7** Skupni prikaz rezultata mjerenja zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom s CMS u T i M vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

	PT			M_PT_CMS_40_T_10X			M_PT_CMS_60_T_10X			M_PT_CMS_90_T_10X			M_PT_CMS_40_M_10X			M_PT_CMS_60_M_10X			M_PT_CMS_90_M_10X		
	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]
1	9,71	-21,57	25,76	10,48	-19,00	27,34	9,06	-15,99	30,27	8,95	-16,52	26,76	9,60	-20,63	31,02	9,50	-18,83	30,36	9,21	-20,37	27,52
2	9,29	-20,01	26,12	9,40	-19,31	27,99	8,30	-16,19	30,70	8,12	-16,60	27,65	8,61	-20,04	31,70	9,13	-19,00	31,41	9,10	-20,94	27,98
3	8,18	-19,92	26,71	7,83	-19,33	28,66	7,75	-16,36	31,37	7,67	-16,63	28,44	7,92	-20,05	32,51	8,02	-19,01	32,50	8,36	-20,96	28,52
4	7,59	-19,81	27,38	7,41	-19,33	29,33	7,43	-16,34	31,92	7,39	-16,42	29,09	7,60	-19,59	33,24	7,47	-18,80	33,46	7,74	-20,91	29,18
5	7,19	-19,94	27,99	7,17	-19,23	29,96	7,23	-16,40	32,46	7,17	-16,30	29,67	7,40	-19,50	33,87	7,15	-18,81	34,28	7,41	-20,82	29,81
6	6,88	-20,00	28,47	6,98	-19,05	30,61	7,09	-16,40	33,09	7,00	-16,31	30,27	7,27	-19,13	34,55	6,93	-18,64	34,96	7,20	-20,77	30,44
7	6,63	-19,91	28,50	6,82	-18,94	31,21	6,97	-16,28	33,50	6,82	-16,25	30,84	7,14	-19,19	35,23	6,75	-18,68	35,51	7,05	-20,62	31,02
8	6,34	-20,12	28,54	6,67	-18,74	31,81	6,86	-16,21	34,01	6,65	-16,18	31,37	7,04	-19,01	35,80	6,57	-18,62	36,04	6,92	-20,68	31,55
9	5,85	-19,60	28,59	6,51	-18,60	32,40	6,71	-16,30	34,50	6,44	-16,02	31,87	6,95	-18,95	36,25	6,37	-18,56	36,52	6,79	-20,59	32,06
10	4,19	-16,53	32,06	6,13	-18,20	33,13	6,42	-16,41	35,22	5,78	-15,65	32,57	6,78	-18,85	36,86	5,84	-18,43	37,22	6,53	-20,54	32,69
11	3,70	-14,81	37,80	5,04	-17,13	34,66	6,00	-16,35	35,94	4,14	-13,09	36,19	6,58	-18,79	37,49	4,38	-16,21	40,42	6,18	-20,25	33,26
12	3,37	-12,71	45,60	4,12	-13,46	42,13	4,22	-14,52	39,53	3,53	-10,36	44,43	6,12	-18,58	38,46	3,72	-12,85	49,18	4,52	-18,16	35,17
13	3,11	-11,02	57,30	3,71	-11,04	53,90	3,42	-11,39	52,70	3,17	-8,67	56,95	4,36	-13,46	46,82	3,36	-10,83	62,61	3,43	-12,29	47,47
14	2,89	-9,45	73,19	3,42	-9,14	69,59	3,07	-10,03	70,41	2,92	-7,67	73,71	3,65	-9,84	63,28	3,11	-9,20	80,51	3,05	-8,94	64,19
15	2,74	-8,23	89,33	3,16	-8,30	85,22	2,87	-9,11	88,92	2,76	-6,82	90,43	3,52	-7,32	79,81	2,93	-7,67	98,34	2,83	-7,31	80,85
16	2,57	-6,84	113,20	2,88	-6,35	108,40	2,67	-8,21	117,20	2,58	-5,65	115,30	3,33	-4,28	104,30	2,76	-6,17	125,10	2,63	-5,85	105,70
17	2,38	-5,39	152,50	2,67	-4,84	146,60	2,46	-6,75	163,50	2,39	-5,29	156,10	3,04	0,36	144,90	2,62	-3,12	168,80	2,42	-3,04	146,10
18	2,24	-4,12	191,70	2,53	-3,37	184,00	2,32	-5,32	208,20	2,25	-4,31	196,10	2,82	3,42	184,60	2,50	0,23	211,10	2,27	-2,31	186,20
19	2,14	-3,51	237,90	2,36	-2,86	220,80	2,21	-4,34	251,70	2,15	-4,62	235,20	3,05	7,29	223,50	2,60	1,35	252,50	2,16	0,28	225,70
20	2,05	-2,99	291,50	2,22	-1,37	257,10	2,11	-3,71	294,00	2,07	-3,97	273,20	2,84	8,55	261,60	2,40	2,65	293,30	2,06	1,54	264,30
21	1,98	-1,28	333,30	2,13	-1,22	292,60	2,04	-2,96	335,50	2,00	-3,86	310,60	3,60	9,87	298,90	2,35	3,30	333,40	1,99	2,82	302,20
22	1,87	-0,65	411,40	2,01	1,22	361,30	1,92	-1,95	415,80	1,88	-2,43	414,60	3,74	15,62	371,80	2,30	5,67	411,20	1,87	4,87	375,30
23	1,78	0,65	485,90	1,92	1,23	427,10	1,83	-0,48	492,80	1,78	-2,07	494,40	2,24	19,71	442,60	1,96	8,93	486,00			
24	1,68	1,94	557,60				1,75	0,14	566,60	1,72	-1,35	567,80	2,94	25,04	511,30	1,87	12,63	557,90			
25	1,65	5,05	626,20				1,68	1,41	637,90	1,66	-0,87	638,20	2,02	26,87	577,60	1,86	17,22	627,40			



**Tablica P7.8** Skupni prikaz rezultata mjerenja zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom s CMC+CMS u T i M vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

	PT			M_PT_CMC+CMS_40_T_10X			M_PT_CMC+CMS_60_T_10X			M_PT_CMC+CMS_90_T_10X			M_PT_CMC+CMS_40_M_10X			M_PT_CMC+CMS_60_M_10X			M_PT_CMC+CMS_90_M_10X		
	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]
1	9,71	-21,57	25,76	10,25	-17,25	31,33	8,79	-18,23	27,93	9,65	-16,52	25,71	9,28	-20,40	28,38	9,40	-23,94	29,48	9,00	-26,00	26,56
2	9,29	-20,01	26,12	9,54	-18,28	32,13	8,60	-18,66	28,40	9,63	-17,07	26,28	9,19	-20,06	29,38	9,16	-23,41	30,29	7,69	-26,10	26,56
3	8,18	-19,92	26,71	7,93	-18,58	32,91	8,35	-18,57	28,90	9,47	-16,67	26,73	9,05	-19,86	30,22	8,24	-23,24	30,98	7,38	-25,63	27,43
4	7,59	-19,81	27,38	7,53	-18,46	33,55	8,11	-18,45	29,30	8,82	-16,50	27,19	8,87	-19,72	30,87	7,23	-22,98	31,60	7,19	-25,56	28,40
5	7,19	-19,94	27,99	7,36	-18,43	34,10	7,76	-18,27	29,73	7,89	-16,69	27,89	8,63	-19,71	31,39	7,09	-22,50	32,14	7,05	-25,47	29,39
6	6,88	-20,00	28,47	7,25	-18,16	34,62	7,46	-18,38	30,25	7,40	-16,50	28,55	8,23	-19,85	31,84	6,97	-22,44	32,65	6,94	-25,44	30,39
7	6,63	-19,91	28,50	7,15	-18,18	35,13	7,22	-18,23	30,76	7,09	-16,63	29,17	7,87	-19,87	32,40	6,87	-22,16	33,15	6,83	-25,26	31,36
8	6,34	-20,12	28,54	7,05	-18,22	35,54	7,03	-18,16	31,29	6,86	-16,72	29,74	7,59	-19,89	33,07	6,77	-22,36	33,60	6,71	-25,21	32,29
9	5,85	-19,60	28,59	6,92	-17,95	35,94	6,86	-18,31	32,00	6,68	-16,68	30,30	7,37	-20,16	33,72	6,66	-22,15	34,00	6,65	-25,43	33,08
10	4,19	-16,53	32,06	6,74	-17,99	36,41	6,59	-18,22	32,75	6,33	-16,51	30,99	7,12	-20,08	34,50	6,42	-21,96	34,58	6,66	-25,38	33,86
11	3,70	-14,81	37,80	6,52	-17,99	36,87	6,28	-18,33	33,43	5,70	-16,04	31,69	6,90	-20,14	35,24	6,07	-21,89	35,14	6,61	-25,21	34,55
12	3,37	-12,71	45,60	5,90	-17,69	37,56	5,13	-17,52	34,77	3,97	-12,18	37,10	6,56	-20,25	36,31	4,57	-18,83	38,46	6,31	-25,29	35,44
13	3,11	-11,02	57,30	3,99	-13,64	46,39	3,72	-12,87	47,20	3,36	-8,57	49,40	5,04	-19,11	38,57	3,84	-12,88	50,84	5,18	-24,45	36,79
14	2,89	-9,45	73,19	3,46	-10,94	62,86	3,30	-10,60	64,95	3,06	-6,71	65,96	3,63	-12,45	54,82	3,48	-9,81	67,72	3,58	-15,83	47,94
15	2,74	-8,23	89,33	3,22	-9,53	79,24	3,05	-9,05	82,74	2,88	-5,56	82,49	3,30	-10,32	72,84	3,26	-7,35	84,36	3,17	-11,71	63,90
16	2,57	-6,84	113,20	2,98	-7,92	103,90	2,76	-7,46	109,40	2,70	-4,34	106,90	3,03	-7,89	102,60	3,03	-5,18	109,30	2,97	-9,83	79,85
17	2,38	-5,39	152,50	2,72	-5,88	144,10	2,54	-5,57	153,10	2,49	-2,89	147,10	2,73	-4,90	148,40	2,80	-1,16	150,40	2,75	-8,27	103,50
18	2,24	-4,12	191,70	2,70	-4,87	183,40	2,36	-4,04	196,00	2,35	-1,61	186,50	2,49	-1,57	192,50	2,64	1,87	190,70	2,54	-5,77	142,30
19	2,14	-3,51	237,90	2,68	-3,50	221,70	2,23	-2,78	237,90	2,23	-0,95	225,60	2,30	-0,86	235,30	2,53	4,10	230,00	2,33	-4,46	180,30
20	2,05	-2,99	291,50	2,60	-1,71	259,40	2,11	-0,13	278,60				2,20	0,94	277,00	2,43	6,12	268,50			
21	1,98	-1,28	333,30	2,59	-1,18	296,50										2,35	8,35	306,30			
22	1,87	-0,65	411,40	2,56	-1,02	368,50										2,32	13,32	379,80			
23	1,78	0,65	485,90	2,51	2,27	437,60										2,66	17,51	450,50			
24	1,68	1,94	557,60	2,49	-0,41	504,30										2,90	19,56	518,50			
25	1,65	5,05	626,20	2,48	-0,06	568,60										2,85	22,03	584,30			

**Tablica P7.9** Skupni prikaz rezultata mjerenja zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom s CMC LV u T i M vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

	PT			M_PT CMC LV 40 T_10X			M_PT CMC LV 60 T_10X			M_PT CMC LV 90 T_10X			M_PT CMC LV 40 M_10X			M_PT CMC LV 60 M_10X			M_PT CMC LV 90 M_10X		
	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]
1	9,71	-21,57	25,76	10,36	-23,42	21,66	10,53	-16,31	20,98	9,50	-22,12	19,18	10,60	-24,13	22,12	11,18	-25,69	21,36	9,60	-27,62	24,24
2	9,29	-20,01	26,12	9,70	-22,97	21,21	10,16	-17,08	22,06	7,57	-21,65	19,67	10,35	-24,04	22,18	9,60	-25,38	20,86	8,70	-27,44	24,55
3	8,18	-19,92	26,71	7,67	-22,87	21,12	10,02	-16,49	22,21	4,90	-19,77	22,27	10,27	-23,97	22,30	7,26	-23,96	20,83	5,30	-23,58	25,78
4	7,59	-19,81	27,38	5,35	-20,99	22,22	9,85	-16,56	22,44	4,00	-16,76	26,14	10,19	-23,63	22,44	5,07	-20,59	22,05	4,24	-18,52	29,39
5	7,19	-19,94	27,99	4,13	-18,92	25,93	9,59	-16,72	22,68	3,76	-15,18	30,23	10,07	-23,72	22,53	4,20	-17,19	25,58	3,93	-15,60	33,27
6	6,88	-20,00	28,47	3,80	-17,66	30,05	8,86	-16,82	22,85	3,60	-13,99	34,44	9,60	-23,99	22,50	3,89	-15,50	29,32	3,74	-13,49	37,21
7	6,63	-19,91	28,50	3,61	-16,56	34,22	7,31	-16,55	23,41	3,48	-13,19	38,61	9,20	-23,58	22,31	3,72	-14,53	33,01	3,61	-12,18	41,09
8	6,34	-20,12	28,54	3,47	-15,29	38,40	6,63	-16,22	24,04	3,39	-12,31	42,66	7,16	-22,70	22,65	3,59	-13,59	36,67	3,51	-10,96	44,92
9	5,85	-19,60	28,59	3,37	-14,73	42,56	5,92	-15,72	24,75	3,39	-11,38	46,53	5,78	-21,78	23,34	3,49	-12,55	40,24	3,42	-10,11	48,73
10	4,19	-16,53	32,06	3,25	-14,05	48,76	4,31	-12,61	28,69	3,50	-10,84	52,26	4,13	-18,90	27,74	3,37	-11,64	45,67	3,32	-9,00	54,37
11	3,70	-14,81	37,80	3,14	-13,10	54,95	3,87	-10,89	34,33	3,16	-9,97	58,12	3,75	-16,98	33,27	3,33	-10,46	51,14	3,24	-7,98	59,93
12	3,37	-12,71	45,60	3,05	-12,98	63,12	3,60	-8,94	41,90	3,07	-9,06	66,09	3,49	-15,07	40,75	3,20	-9,00	58,33	3,14	-6,89	67,33
13	3,11	-11,02	57,30	2,93	-12,15	75,39	3,40	-6,85	52,79	2,96	-8,05	78,19	3,26	-13,11	52,22	3,10	-7,05	69,02	3,03	-5,97	78,39
14	2,89	-9,45	73,19	2,81	-11,07	91,71	3,20	-4,33	67,73	2,85	-6,52	94,39	3,06	-10,99	67,40	2,90	-5,00	83,48	2,92	-4,07	93,12
15	2,74	-8,23	89,33	2,71	-11,12	107,90	3,00	-2,39	82,73	2,77	-5,92	110,50	2,92	-9,39	82,59	2,80	-3,71	97,95	2,83	-2,68	107,70
16	2,57	-6,84	113,20	2,60	-10,79	132,00	2,90	1,32	104,90	2,77	-4,58	134,50	2,77	-7,37	105,30	2,74	-2,18	119,90	2,72	-1,58	129,60
17	2,38	-5,39	152,50	2,47	-9,91	171,60	2,72	3,03	142,80	2,70	-2,50	174,10	2,60	-3,01	141,50	2,51	3,43	156,30	2,58	1,00	165,80
18	2,24	-4,12	191,70	2,37	-9,96	210,50	2,52	8,86	180,70	2,70	-0,65	212,70	2,50	-1,15	175,90	2,47	5,88	192,10	2,48	3,07	201,40
19	2,14	-3,51	237,90	2,29	-10,09	248,70	2,41	13,93	218,40	2,70	0,98	250,70	2,40	-0,44	211,00	2,39	8,80	227,40			
20	2,05	-2,99	291,50	2,22	-8,73	286,20				2,60	2,40	287,90	2,33	-0,13	246,50	2,60	10,97	261,90			
21	1,98	-1,28	333,30	2,16	-8,42	323,00				2,60	3,08	324,40	2,26	1,42	281,50	2,49	13,27	295,90			
22	1,87	-0,65	411,40	2,07	-9,42	394,70				3,21	6,52	395,70	2,15	6,20	349,90	3,12	19,85	362,30			
23	1,78	0,65	485,90	2,00	-10,91	464,00				3,20	6,36	464,40				2,36	21,98	426,50			
24	1,68	1,94	557,60	1,93	-11,07	531,10				3,02	10,93	530,70				2,03	27,00	488,60			
25	1,65	5,05	626,20	1,88	-10,03	596,40				2,96	16,02	594,80				1,94	31,51	548,90			

**Tablica P7.10** Skupni prikaz rezultata mjerenja zeta potencijala pamučnih tkanina prije i nakon 10 ciklusa pranja deterdžentom s CMC HV u T i M vodi na 40 °C, 60 °C i 90 °C u laboratorijskom uređaju Polymat (M)

	PT			M_PT_CMC HV_40_T_10X			M_PT_CMC HV_60_T_10X			M_PT_CMC HV_90_T_10X			M_PT_CMC HV_40_M_10X			M_PT_CMC HV_60_M_10X			M_PT_CMC HV_90_M_10X		
	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]	pH	ζ [mV]	æ [mS/m]
1	9,71	-21,57	25,76	11,25	-25,44	22,12	11,17	-21,52	21,69	9,59	-25,29	21,29	11,19	-25,54	21,45	11,20	-28,87	20,39	9,60	-29,45	19,14
2	9,29	-20,01	26,12	9,60	-24,42	21,70	9,50	-21,08	21,19	9,78	-26,02	21,37	10,12	-25,84	21,48	9,97	-29,28	20,45	7,39	-28,62	19,30
3	8,18	-19,92	26,71	8,57	-23,59	21,46	6,96	-20,82	21,28	9,88	-26,52	21,46	9,99	-25,98	21,58	9,85	-29,00	20,63	4,92	-24,05	20,70
4	7,59	-19,81	27,38	6,59	-22,92	22,17	5,36	-19,38	21,95	9,77	-26,76	21,60	9,81	-25,43	21,68	9,69	-28,72	20,89	4,17	-18,54	24,16
5	7,19	-19,94	27,99	4,96	-21,22	23,34	4,27	-16,60	24,79	9,55	-26,69	21,73	9,35	-24,87	21,68	9,45	-28,48	21,21	3,90	-15,77	27,61
6	6,88	-20,00	28,47	4,14	-17,94	26,76	3,94	-14,87	27,95	8,80	-26,87	21,81	7,48	-24,79	21,92	9,00	-28,23	21,55	3,72	-13,79	31,04
7	6,63	-19,91	28,50	3,84	-16,22	30,37	3,80	-12,96	31,11	7,14	-26,33	22,35	6,28	-23,84	22,51	7,66	-27,92	22,04	3,60	-12,29	34,43
8	6,34	-20,12	28,54	3,66	-14,86	33,97	3,60	-12,40	34,27	5,99	-26,10	23,01	4,77	-20,57	24,45	6,82	-27,40	22,63	3,51	-11,34	37,77
9	5,85	-19,60	28,59	3,54	-13,78	37,56	3,54	-12,07	37,51	4,51	-23,55	25,21	4,21	-18,00	28,05	5,90	-26,69	23,29	3,43	-10,41	41,05
10	4,19	-16,53	32,06	3,40	-12,38	43,09	3,39	-10,80	42,78	3,90	-19,09	30,65	3,85	-15,64	33,76	4,23	-20,71	26,99	3,33	-9,19	46,10
11	3,70	-14,81	37,80	3,29	-11,34	48,62	3,29	-10,51	48,13	3,64	-16,34	36,33	3,64	-14,00	39,59	3,81	-17,27	32,13	3,38	-7,78	51,02
12	3,37	-12,71	45,60	3,18	-10,32	56,10	3,18	-10,06	55,38	3,42	-13,63	44,01	3,45	-12,30	47,41	3,53	-14,44	39,38	3,23	-6,86	57,67
13	3,11	-11,02	57,30	3,07	-7,82	67,45	3,05	-9,10	66,45	3,22	-11,04	55,52	3,26	-10,68	59,44	3,28	-11,63	50,43	3,08	-5,59	67,77
14	2,89	-9,45	73,19	3,18	-5,97	82,66	2,93	-8,56	81,24	3,04	-8,28	70,83	3,08	-8,31	75,17	3,09	-8,75	65,27	2,95	-4,03	81,34
15	2,74	-8,23	89,33	3,03	-4,63	97,83	2,83	-7,89	95,98	2,92	-6,16	85,94	2,94	-7,47	90,92	2,95	-6,75	80,08	2,87	-2,98	94,88
16	2,57	-6,84	113,20	2,81	-2,49	120,50	2,71	-6,24	117,90	2,78	-3,92	108,60	2,82	-4,75	114,50	2,81	-3,91	102,30	2,76	-1,13	115,10
17	2,38	-5,39	152,50	2,61	0,14	158,00	2,57	-4,32	154,40	2,62	-0,50	145,90	2,66	-2,51	153,50	2,63	0,41	138,90	2,62	1,03	148,70
18	2,24	-4,12	191,70	2,50	1,61	194,80	2,47	-1,76	190,10	2,50	3,19	182,80	2,54	0,80	191,90	2,51	4,04	175,10	2,54	3,43	181,70
19	2,14	-3,51	237,90	2,45	5,14	230,80	2,36	2,40	225,30				2,45	3,18	229,70				2,45	4,37	214,00
20	2,05	-2,99	291,50	2,63	7,34	266,20	2,30	3,37	259,70										2,50	5,75	245,70
21	1,98	-1,28	333,30	2,92	9,79	300,70	2,29	5,14	293,60										3,01	9,00	276,80
22	1,87	-0,65	411,40	2,17	12,45	368,60	2,28	8,43	360,00										3,13	10,55	338,10
23	1,78	0,65	485,90	2,74	21,42	433,90	3,04	14,89	424,00										3,19	12,02	397,40
24	1,68	1,94	557,60	2,96	22,49	497,00	3,04	14,40	486,00										2,30	13,76	455,00
25	1,65	5,05	626,20	2,93	28,20	558,00	2,97	19,34	546,20										1,95	17,60	510,70

## Prilog 9 Životopis

Ksenija Višić (djevojačko Košić) rođena 20. rujna 1983. godine u Varaždinu, nakon završetka dodiplomskog studija na Sveučilištu u Zagrebu na Tekstilno-tehnološkom fakultetu 2009. godine stječe titulu diplomiranog inženjera tekstilne tehnologije. Po završetku diplomskog studija se zapošljava na Tekstilno tehnološkom fakultetu u Zavodu za tekstilnu kemiju i ekologiju kao stručni suradnik na projektima FP7-SME-2: 217809, SMILES, „*SUSTAINABLE MEASUREs for INDUSTRIAL Laundry EXPANSION STRATEGIES: SMART Laundry-2015*“ i EUREKA projektu E! 5785 FLAMEBLEND „*Improvement in the flame retardant properties of cotton and wool blends*“. Na istom fakultetu upisuje sveučilišni poslijediplomski studij Tekstilna znanost i tehnologija i dodjeljuje joj se matični broj znanstvenika: 326890. Aktivno sudjeluje na domaćim i međunarodnim znanstvenim i stručnim skupovima, znanstveno istraživačkim projektima te kreativnim radionicama. Nakon završetka projekata, zapošljava se u IT tvrtki gdje kao voditelj marketinga obavlja poslove kroz savjetodavne usluge vezano za široku paletu programskih rješenja za brzu digitalnu transformaciju. Na Tekstilno-tehnološki fakultet 2015. i 2018. godine ponovno se zapošljava u kraćim razdobljima kao asistent na zamjeni za rodiljni dopust. Od 2020. godine zapošljava se kao doktorand na projektu K.K.01.1.1.04.0091 “*Dizajn naprednih biokompozita iz energetski održivih izvora*” BOKOMPOZITI.

## Prilog 9 Popis javno objavljenih radova autora

### RADOVI U ČASOPISIMA

#### Znanstveni i pregledni radovi (5)

Čorak, Ivana; Tarbuk, Anita; Đorđević, Dragan; Višić, Ksenija; Botteri Lea: Sustainable Alkaline Hydrolysis of Polyester Fabric at Low Temperature. // *Materials*, 15 (2022), 4; 1530, 17 doi:10.3390/ma15041530 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

Višić, Ksenija; Pušić, Tanja; Čurlin, Mirjana: Carboxymethyl Cellulose and Carboxymethyl Starch as Surface Modifiers and Greying Inhibitors in Washing of Cotton Fabrics. // *Polymers*, 13 (2021), 7; 1174, 16 doi:https://.org/10.3390/polym13071174 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

Rijavec, Tatjana; Jevšnik, Simona; Soljačić, Ivo; Tomljenović, Antoneta; Višić, Ksenija; Pušić, Tanja: Physical and Chemical Effects of Washing and Wet Cleaning on Durable Press Finished Cotton Fabrics. // *Textile research journal*, 85 (2015), 6; 632-645 doi:10.1177/0040517514547212 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

Višić, Ksenija; Vojnović, Branka; Pušić, Tanja: Problematika zbrinjavanja i pročišćavanja otpadnih voda - zakonski propisi. // *Tekstil : časopis za tekstilnu tehnologiju i konfekciju*, 64 (2015), 3-4; 109-121 (međunarodna recenzija, pregledni rad, znanstveni)

Pušić, Tanja; Višić, Ksenija; Grgić, Katia; Dekanić, Tihana; Jelačić, Marko; Soljačić, Ivo: Istraživanje primarnog i sekundarnog učinka biokugle za pranje. // *Tekstil : časopis za tekstilnu tehnologiju i konfekciju*, 60 (2011), 12; 622-629 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

### RADOVI U ZBORNICIMA SKUPOVA

#### Znanstveni radovi u zbornicima skupova (11)

Flinčec Grgac, Sandra; Vrbić, Ana; Krivec, Tanja; Višić, Ksenija; Dekanić, Tihana: Monitoring the influence of temperature on the crosslinking of inclusion complexes  $\beta$ -cyclodextrin-essential oil with cellulose. // *Proceedings 14th Symposium „Novel Technologies And Economic Development“ / Lazić, Miodrag (ur.)*.

Leskovac: Faculty of Technology, 2021. str. 74-81 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

Pušić, Tanja; Vojnović, Branka; Dimitrov, Nino; Čurlin, Mirjana; Višić, Ksenija: Generiranje i otpuštanje fibrila i funkcionalnih čestica u procesu pranja. // *Book of Proceedings 2nd International Conference The Holistic Approach to Environment / Štrkalj, Anita ; Glavaš, Zoran (ur.)*.

Sisak: Association for Promotion of Holistic Approach to Environment, 2021. str. 512-520 (ostalo, recenziran, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

Flinčec Grgac, Sandra; Višić, Ksenija; Sutlović, Ana; Strmo, Iva: Investigating Possibilities Of Applying Environmentally-Friendly Flame Retardant Agent In The Process Of Textile Printing. // *16th World Textile Conference Autex 2016 8-10 June 2016, Ljubljana, Slovenia / Barbara Simončič, Brigita Tomšič, Marija Gorjanc (ur.)*.

Ljubljana: University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Textiles, Graphic Arts and Design, 2016. str. 1-7 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

---

Višić, Ksenija; Grgić, Katia; Tarbuk, Anita; Pušić, Tanja: Ionic Surfactant Adsorption on Cationized Lyocell Fibers. // Book of Proceedings of the 8th Central European Conference on Fiber-grade Polymers, Chemical Fibers and Special Textiles / Dekanić, Tihana ; Tarbuk, Anita (ur.).

Zagreb: University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, 2015. str. 103-108 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

---

Rijavec, Tatjana; Jevšnik, Simona; Soljačić, Ivo; Višić, Ksenija; Tomljenović, Antoneta; Pušić, Tanja: Modification of Fine Cotton Fabric with Floated Yarns in Washing and Wet Cleaning. // Book of Proceedings of the 8th Central European Conference on Fiber-grade Polymers, Chemical Fibers and Special Textiles / Dekanić, Tihana ; Tarbuk, Anita (ur.).

Zagreb: University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, 2015. str. 127-132 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

---

Flinčec Grgac, Sandra; Katović, Andrea; Pušić, Tanja; Katović Drago; Višić, Ksenija: Influence of cationized cotton on the stability of cellulose-aluminosilicate composite. // Book of Proceedings of the 7th International Textile, Clothing & Design Conference / Dragčević, Zvonko (ur.).

Zagreb: Faculty of Textile Technology, 2014. str. 195-200 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

---

Pušić, Tanja; Višić, Ksenija; Soljačić, Ivo: Biowashball - an alternative to detergents?. // Proceedings 2011, 45th International Detergency Conference / Bohnen, Jurgen (ur.).

Dusseldorf, 2011. str. 864-870 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

---

Pušić, Tanja; Soljačić, Ivo; Višić, Ksenija; Simončić, Barbara; Kert, Mateja: Učinkovitost pranja z alkilpoliglikozidi. // Zbornik prispevkov 42. simpozij o novostih v tekstilstvu "Nove tehnologije-da ili ne?" / Simončić, Barbara ; Forte-Tavčer, Petra ; Gregor-Svetec, Dijana (ur.).

Ljubljana, 2011. str. 125-131 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

---

Pušić, Tanja; Višić, Ksenija; Soljačić, Ivo: Surface characterization of multiple washed textiles. // Book of Proceedings of 11th World textile Conference Autex 2011 / Adolphe, Dominique ; Schacher, Laurence (ur.).

Mulhouse, 2011. str. 1004-1008 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

---

Pušić, Tanja; Lant, Neil; Soljačić, Ivo; Patterson, Steven; Višić, Ksenija: Surface Modifications Of Cotton With Carboxymethyl Cellulose In Washing Processes. // Book of proceedings of the 5th International textile, clothing & design conference / Dragčević, Zvonko (ur.).

Zagreb: Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, 2010. str. 365-369 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

---

Pušić, Tanja; Tomljenović, Antoneta; Višić, Ksenija; Rijavec, Tatjana: Svojstva funkcionalnih tekstilija nakon profesionalne njege. // Zbornik radova 3. međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo / Ujević, Darko ; Penava, Željko (ur.).

Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, 2010. str. 203-206 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

---

## SAŽECI SA SKUPOVA

### Sažeci u zbornicima i časopisima (2)

Pušić, Tanja; Višić, Ksenija; Soljačić, Ivo; Dekanić, Tihana: Alternativni postupci pranja - Biowashball®. // Zbornik sažetaka savjetovanja "Tekstilni dani Zagreb 2011"

Zagreb, Hrvatska, 2011. (predavanje, sažetak, znanstveni)

---

Višić, Ksenija; Pušić, Tanja; Tomljenović, Antoneta: Funkcionalizacija pamučnih tekstilija. // Knjiga sažetaka VIII. susreta mladih kemijskih inženjera, Book of Abstracts / Bolf, Nenad ; Šoljić Jerbić, Ivana (ur.).

Zagreb: Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, 2010. str. 140-140 (poster, domaća recenzija, sažetak, znanstveni)

---

## OCJENSKI RADOVI

### Diplomski radovi (1)

Strmo, Iva: Istraživanje utjecaja otiska na smanjenje gorivosti celuloznih materijala uz primjenu bez halogenidnog organofosfornog spoja., 2016., diplomski rad, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb

---

## OSTALE VRSTE RADOVA (1)

Pušić, Tanja; Višić, Ksenija: Učinkovitost sredstava za obezbojavanje., 2020. (elaborat).

---