

Utjecaj sastava kupelji na učinak uklanjanja masnoće s poliesterskih pletiva u procesu pranja

Šakota, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:201:657599>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO – TEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ SASTAVA KUPELJI NA UČINAK UKLANJANJA
MASNOĆE S POLIESTERSKIH PLETIVA U PROCESU
PRANJA**

IVA ŠAKOTA

Zagreb, rujan 2024.

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

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ SASTAVA KUPELJI NA UČINAK UKLANJANJA
MASNOĆE S POLIESTERSKIH PLETIVA U PROCESU
PRANJA**

Mentor:

Prof. dr. sc. Tanja Pušić

Izradila:

Iva Šakota

Zagreb, rujan 2024.

Broj stranica: 75

Broj tablica: 63

Broj slika: 27

Broj jednadžbi: 3

Broj literaturnih izvora: 34

Članovi povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. Izv. prof. dr. sc. Tihana Dekanić, predsjednica
2. Prof. dr. sc. Branka Vojnović, članica
3. Prof. dr. sc. Tanja Pušić, članica
4. Prof. dr. sc. Anita Tarbuk, zamjenica članice



Ovaj rad izrađen je na Zavodu za tekstilnu kemiju i ekologiju Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta u sklopu projekta Hrvatske zaklade za znanost,

HrZZ IP-2020-02-7575: Procjena otpuštanja čestica mikroplastike iz poliesterskih tekstilija u procesu pranja (InWaShed-MP).

SAŽETAK

Bućino ulje smatra se jednim od tvrdokornijih i heterogenijih zaprljanja koje se teško uklanja s tekstilija. Afinitet bućinog ulja prema tekstilijama ovisi o sirovinskom sastavu, strukturalnim značajkama i stupnju obrade. U ovom radu analiziran je afinitet vezanja bućinog ulja na pletiva od poliestera i poliester/pamuka kroz primarni učinak procesa pranja - uklanjanje zaprljanja karakteristične zeleno-crvene boje, koja potječe od karotenoidnog pigmenta, protoklorofila kroz. Proces pranja ovih poliesterskih pletiva prije i nakon prljanja bućinim uljem proveden je u pet različitih kupelji: tvrdoj vodi, otopini standardnog ECE A deterdženta (1,25 g/L), otopini standardnog ECE A deterdženta (2,5 g/L), otopini standardnog ECE A deterdženta (1,25 g/L) uz dodatak enzimskog kompleksa i otopini standardnog ECE A deterdženta (2,5 g/L) uz dodatak enzimskog kompleksa. Enzimski kompleks uz ostale vrste enzima, sadrži i enzim lipazu, koja je važna u procesu uklanjanja masnih zaprljanja. Uzimajući u obzir obojenost bućinoga ulja, te afinitet za hidrofobne tekstilije kao i afinitet prirodnih koloranata – karotenoida za celulozne tekstilije, moć uklanjanja bućinog ulja s poliesterskih pletiva i poliester/pamuk pletiva u procesu pranja vrednovan je mjerenjem spektralnih karakteristika materijala. Analizom početnih kupelji za pranje i procesnih efluenta (vrijednost pH, vodljivost, sadržaj anionskih i neionskih tenzida) praćen je utrošak površinski aktivne tvari u procesu pranja i stupanj opterećenja efluenta od procesa pranja.

Zaključno, rezultati analiziranih pojava pokazali su značajniji utjecaj tekstilnog supstrata u odnosu na sastav kupelji. Enzimski preparat u sinergiji s deterdžentom nije dao očekivano poboljšanje primarnog učinka.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. TEKSTILIJE.....	3
2.2. ZAPRLJANJA	6
2.3. SREDSTVA ZA PRANJE – DETERDŽENTI.....	10
2.3.1. Površinsko aktivne tvari u deterdžentima	13
2.3.2. Bilderi	15
2.3.3. Enzimi	15
2.4. UVJETI PROCESA PRANJA	21
2.4.1. Voda u procesu pranja	21
2.4.2. Temperatura u procesu pranja	21
2.4.3. Mehanika u procesu pranja	23
2.5. UČINCI U PROCESU PRANJA.....	24
2.5.1. Primarni učinak.....	26
2.5.2. Sekundarni učinak.....	27
2.6. OTPADNE VODE OD PROCESA PRANJA	27
3. EKSPERIMENTALNI DIO	30
3.1. MATERIJALI.....	30
3.1.1. Pletiva	30
3.1.2. Bućino ulje – izvor zaprljanja	32
3.1.3. Deterdžent	35
3.1.4. Multienzimski preparat.....	37
3.2. POSTUPAK PRANJA	38
3.3. METODE	41
3.3.1. Remisijska spektrofotometrija	41
3.3.2. Metoda određivanja tvrdoće vode.....	42
3.3.3. Određivanje vrijednosti pH i vodljivosti	43
3.3.4. Potenciometrijsko određivanje površinski aktivnih tvari u kupelji za pranje i efluentu	44

4. REZULTATI	48
4.1. PRIMARNI UČINAK PROCESA PRANJA	48
4.1.1. Stupanj redepozicije.....	53
4.2. ANALIZA KUPELJI ZA PRANJE	55
4.3. ODREĐIVANJE POVRŠINSKE AKTIVNE TVARI U EFLUENTU OD PROCESA PRANJA	57
4.3.1. Proces pranja pletiva bez mrlja	58
4.3.2. Proces pranja pletiva zaprljanih bućinim uljem.....	61
4.4. ANALIZA POVRŠINSKI AKTIVNE TVARI	65
4.4.1. Analiza anionski površinski aktivne tvari – poliestersko pletivo ...	65
4.4.2. Analiza anionske površinski aktivne tvari – poliester/pamuk pletivo	66
4.4.3. Analiza neionske površinski aktivne tvari – poliestersko pletivo	67
4.4.4. Analiza neionske površinski aktivne tvari – poliester/pamuk pletivo	68
4.5. SINTEZA REZULTATA - VRIJEDNOSTI pH I VODLJIVOSTI – kupelj za pranje.....	69
5. ZAKLJUČAK.....	70
6. LITERATURA.....	72

“Sve mogu u Onome koji me jača.” (Fil 4, 13)

ZAHVALA

Diplomski rad je izrađen pod stručnim vođenjem prof. dr. sc. Tanje Pušić. Veliku zahvalnost dugujem svojoj mentorici Tanji, koja je uz savjete i veliku pomoć imala strpljenja i vremena za moje brojne upite.

Za savjete i pomoć u laboratoriju, zahvaljujem se njezinim suradnicama dr. sc. Kristini Šimić i dipl. ing. Branki Brkić, bez čije bi pomoći rad bio znatno otežan.

Veliko hvala mojoj obitelji na strpljenju i podršci te povjerenju koje su mi ukazali tijekom studija, posebno mojim roditeljima.

Dio zahvale želim uputiti sestri Ireni i prijateljicama koje su me podsjećale, motivirale i poticale na završetak formalnog akademskog obrazovanja.

Iva Šakota

1. UVOD

Proces pranja opisuje se čimbenicima Sinnerovoga kruga, koji uključuje kemiju (deterdžent), temperaturu, mehaniku i vrijeme, koje objedinjuje voda kao medij u kojem se proces provodi. Uključenost ovih temeljnih čimbenika i niza njihovih podvarijabli pokazuje da je proces moguće provoditi na različite načine. Uz navedene čimbenike neophodno je sagledati ostale partnere u procesu pranja: tekstilije, prljavštine, zaprljanje, te ostale uvjete koji su uključeni kroz sinergiju i međudjelovanja pojedinih čimbenika.

Uz osiguravanje čistoće važno je očuvati svojstva tekstilija, što je temeljno načelo održivosti. Ove postavke važno je uskladiti, jer ostvarenje jedne ne smije dovesti do pogoršanja druge.

U ovom diplomskom radu analiziran je utjecaj sastava kupelji na učinak uklanjanja bućinog ulja - tvrdokornog i heterogenog sastava zaprljanja s poliesterskog pletiva i poliester/pamuk pletiva pri 60 °C nakon 1 ciklusa pranja. Bućino ulje karakteristične je zeleno-crvene boje, koja potječe od karotenoidnog pigmenta, protoklorofila.

Proces pranja dvije vrste poliesterskih pletiva zaprljanih bućinim uljem proveden je u pet različitih kupelji: tvrdoj vodi, otopini standardnog ECE A deterdženta (1,25 g/L), otopini standardnog ECE A deterdženta (2,5 g/L), otopini standardnog ECE A deterdženta (1,25 g/L) uz dodatak enzimskog kompleksa, otopini standardnog ECE A deterdženta (2,5 g/L) uz dodatak enzimskog kompleksa. Enzimski kompleks sadrži i lipazu, koja je važna u procesu uklanjanja masnih zaprljanja.

Učinak procesa pranja u variranim uvjetima analiziran je dvojako:

- A) Moć uklanjanja bućinog ulja s pletiva
- B) Analiza otpadne vode od procesa pranja – određivanje površinskih aktivnih tvari, vrijednost pH i vodljivost.

Uzimajući u obzir heterogenost analiziranoga zaprljanja, afinitet ulja za hidrofobne tekstilije i afinitet prirodnih koloranata – karotenoidi za celulozne tekstilije, moć uklanjanja bućinog ulja s poliesterskih pletiva i poliester/pamuk pletiva u procesu pranja vrednovan je mjerenjem spektralnih karakteristika materijala.

Analizom početnih kupelji za pranje i procesnih efluenata (vrijednost pH, vodljivost, sadržaj anionskih i neionskih tenzida) praćen je utrošak površinski aktivne tvari u procesu pranja i njihovu količinu u efluentu.

2. TEORIJSKI DIO

Proces pranja složen je proces koji iziskuje sinergiju čimbenika Sinnerovoga kruga (temperatura, vrijeme, deterdžent, mehaničko djelovanje), poznavanje tekstilija (struktura i svojstva, obojenje, tisak, apreture), fizikalno – kemijska svojstva prljavština i poznavanje međusobnih djelovanja i interakcija.

Uz određene vrste tekstilija i njihova svojstva veže se njihov uporabni ciklus, koji može iznositi od nekoliko do više stotina ciklusa. Zadaća procesa pranja je održavati tekstilije što je moguće dulje [1], a da bi se to omogućilo važno je promišljati o svakom partneru uključenom u sliku 1.

Prašina, atmosfersko zagađenje, fiziološke prljavštine (npr. znoj i prirodne masti i ulja), mrlje od hrane, masnoće, ulja, slučajna zaprljanja, škrob, plijesan, naslage-rezidualne supstance loše podešenih uvjeta procesa pranja čine odjeću nečistom, te ju je potrebno očistiti.

Na slici 1 prikazani su partneri u procesu pranja.



Slika 1: Partneri u procesu pranja (prilagodila I. Šakota)

Svaki partner predstavlja složenu cjelinu, pa će se u nastavku obraditi ključne značajke.

2.1. TEKSTILIJE

Razvoj tekstilija veže se uz raznolikost i funkcionalnost, a najčešće se prate kroz sirovinski sastav, udio prirodnih i sintetskih vlakana, te njihovih mješavina u različitim udjelima. U prikazu na slici 1, dvije sirovine, poliester udjela 52 % i pamuk u udjelu 24 % dominiraju zbog svojstava, relativno niske cijene, njihovih izvanrednih značajki i komplementarnih uporabnih svojstava [2].

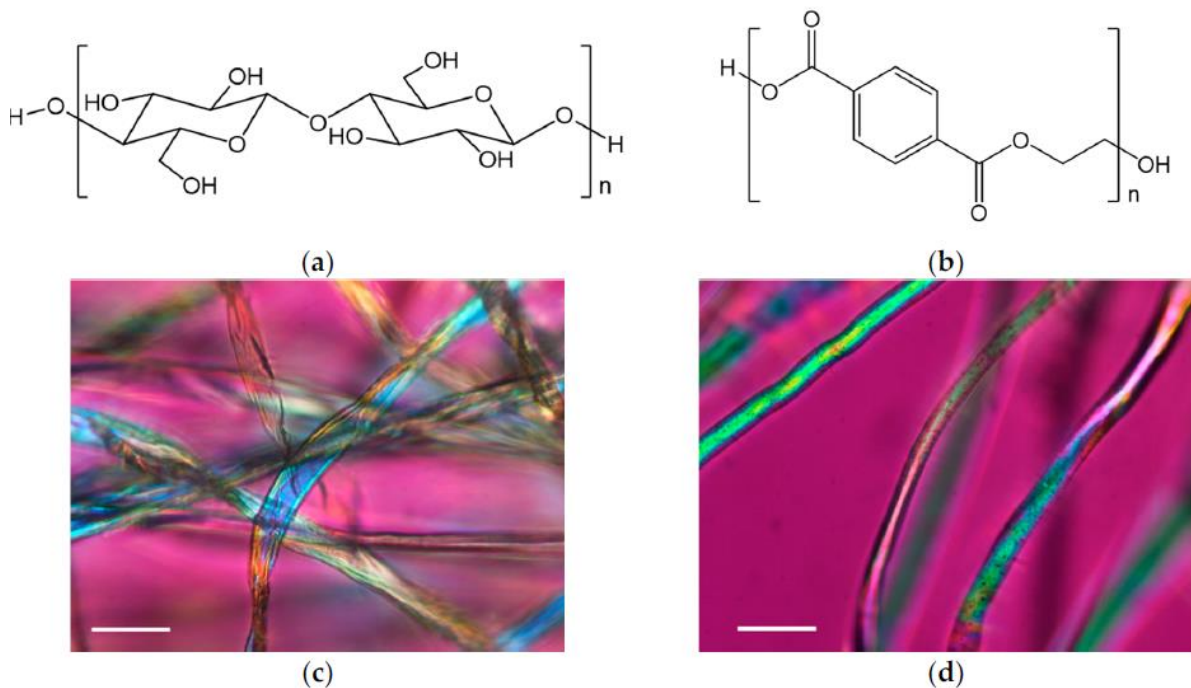
Svojstva tekstilija pod utjecajem čimbenika, vode, temperature, deterdženta, mehanike i vremena u procesu pranja se mijenjaju. U tablici 1 prikazane su važnije podvarijable koje se povezuju s tekstilijama.

Tablica 1: Podvarijable koje se vežu uz tekstilije kao partnera u procesu pranja

Partner	Podvarijable
TEKSTILIJE	Sirovinski sastav (prirodna, sintetička, mješavine) strukturalne značajke dimenzije masa obrada dorada (vododbojnost, uljeodbojnost, obojenost, manje gužvanje, antibakterijska, vatrotpornost itd.) piling postojanost svojstva u suhom i mokrom

U ovom diplomskom radu analizirana su pletiva od poliesterera i mješavine poliesterera s pamukom, pa su u tablici 2 i slici 2 prikazane strukturne jedinice ova dva polimera, njihove uzdužne mikroskopske slike i neka važnija svojstva u procesima njege tekstilija.

Pamučna vlakna su prirodna sjemenska sačinjena od celuloze, dok je poliester sintetički polimer koji se dobiva polimerizacijom dva monomera, tereftalne kiseline (TPA) i etilenglikola (ET).



Slika 2: Kemijske strukture (a) dvije glukozidne ponavljajuće jedinice u celulozi; (b) etilentereftalatne ponavljajuće jedinice u poli(etilen)tereftalatu; (c) mikroskopska slika pamuka na polariziranom mikroskopu; (d) mikroskopska slike polietilentereftalata na polariziranom mikroskopu [3]

Tablica 2: Svojstva pamuka i poliesteru [4]

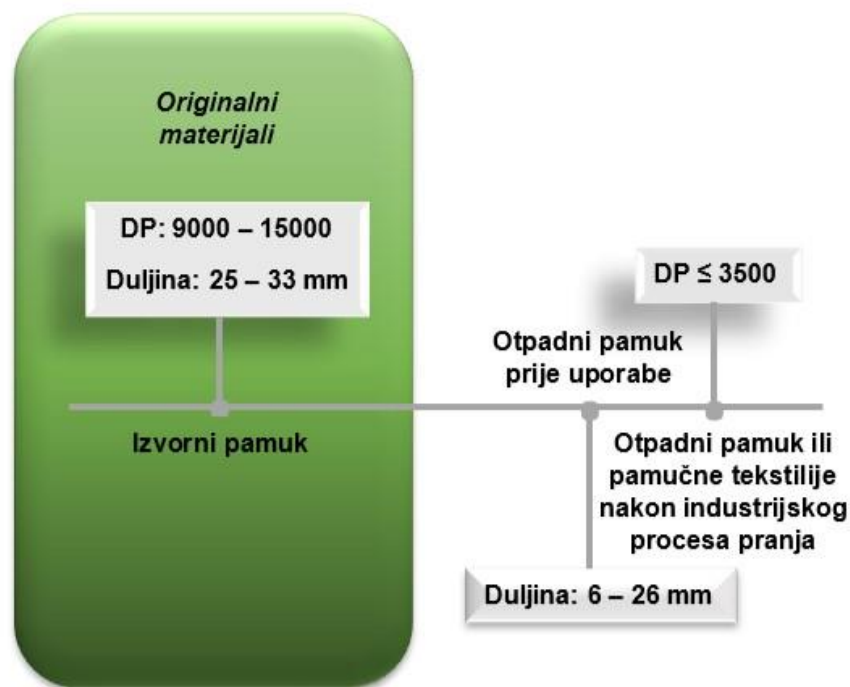
Svojstva	Pamuk	Poliester
Oblik poprečnog presjeka	bubrežasti	kružni
Specifična masa (kg/m ³)	1,54	1,38
Repriza (%)	7,0 – 8,5	0,4
Kristaliničnost (%)	53 – 80	40 – 55
Čvrstoća (GPa)	0,6, 0,31 – 0,73, 0,38 – 0,69	0,8, 0,36 (LT) 1,17 (HT), 0,55 – 0,99
Youngov modul (GPa)	8, 7,1 – 15,7	15, 6,9 – 20,7
Prekidno istezanje (%)	7, 6 – 13,5	15, 40 (LT), 7 (HT)
Degradacija (godine)	< 0,5	30 – 35, > 100

Light tenacity, LT = mala čvrstoća

High tenacity, HT = visoka čvrstoća

Stupanj polimerizacije celuloze, DP neobrađenog pamučnog vlakna čija je duljina 25 – 33 mm je oko 9 000 – 15 000 [5, 6].

Nakon industrijskog pranja pri 84 °C primjenom alkalnog deterdženta (1 % otopina, pH ~ 12) nakon čega slijedi sušenje u sušilici, molekularna težina i DP celuloze u pamučnim tkaninama značajno se smanjuje. U jednoj studiji, nakon dva do četiri ciklusa pranja, prosječna molekularna masa smanjila se za više od polovice, a pad DP-a celuloze s početnih 8167 na 3500, slika 3 [6]. Unatoč činjenici da su uvjeti kućanskog procesa pranja blagi u usporedbi s industrijskim, s povećanim brojem ciklusa pranja povećava se starenje pamučnih vlakana i smanjuje njihova uporabna vrijednost.



Slika 3: Shematski prikaz promjene svojstava pamuka u različitim fazama uporabe [3]

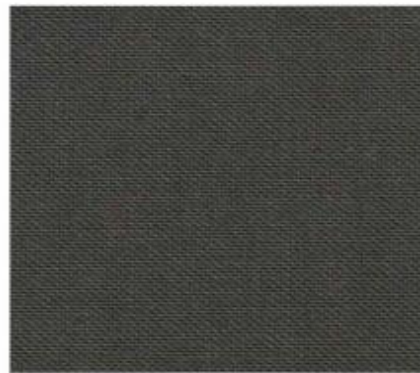
Struktura poliesterskih vlakana opisuje se kao visoko orjentirana i visokog stupnja kristaliničnosti. Novija razmatranja supramolekularne građe ovih vlakana uključuju kristalna, amorfna i međufazna stanja. Kristalnost polimera u vlaknu ima značajan utjecaj na njihova mehanička svojstva. Kristalni i amorfni segmenti imaju različite osjetljivosti na deformacije, pri čemu se amorfni segmenti lakše deformiraju nego kristalni. Međufazno područje i struktura mogu imati dominantnu ulogu u svojstvima poliesterskih vlakana kao što su modul elastičnosti, čvrstoća i skupljanje [7].

Poliester, za razliku od hidrofilnog pamuka, pripada skupini hidrofobnih vlakana. Ne upija vodu, ali lako upija i čvrsto zadržava ulje, čineći uklanjanje masnih mrlja daleko težim nego s pamučnih tekstilija. Poznato je da se uljna zaprljanja na pamučnim tekstilijama lakše uklanjaju nego na poliesterskim tekstilijama [8].

Na slici 4 prikazane su dvije EMPA standardne tkanine zaprljane istom tvrdokornom prljavštinom: čađa u maslinovu ulju.



a. EMPA 101 (R: 17,54 %)



b. EMPA 104 (R: 10,98 %)

Slika 4: Standardne EMPA tkanine: a. pamuk zaprljan čađom u maslinovu ulju (EMPA 101); b. poliester/pamuk (65/35) zaprljan čađom u maslinovom ulju (EMPA 104)

Niže vrijednosti remisije EMPA 104 tkanine u odnosu na EMPA 101 jasno dokazuju jači afinitet čađe (pigment) u maslinovom ulju za poliester/pamuk u odnosu na pamučnu tkaninu.

Mješavine pamuka s poliesterom su popularne zbog svojstava koja unosi svaka komponenta. Poliester doprinosi čvrstoći, otpornosti na gužvanje, svojstvima brzog sušenja i stabilnosti dimenzija, dok pamuk doprinosi udobnosti, prolazu vlage, visokoj poroznosti i toplinskoj vodljivosti [3].

2.2. ZAPRLJANJA

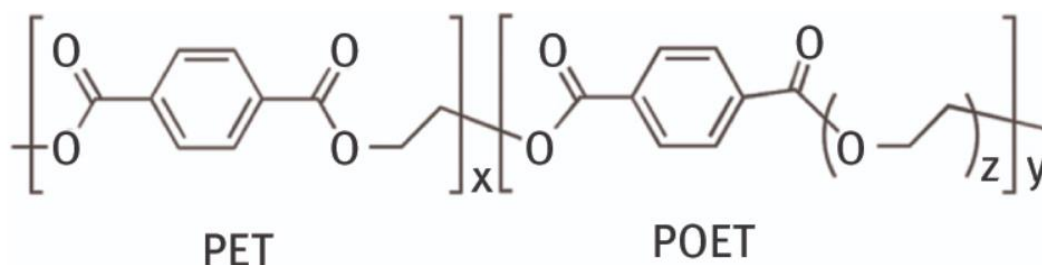
Prljavština je zajednički naziv za najrazličitije tvari koje su se tijekom upotrebe i/ili proizvodnje lokalizirale na tekstil, a potrebno ih je ukloniti jer narušavaju izgled, a ponekad daju i neugodan miris tekstilijama. U tablici 3 navedene su podvarijable za prljavštine.

Tablica 3: Podvarijable koje se vežu uz prljavštine kao partnera u procesu pranja

Partner	Podvarijable
PRLJAVŠTINE	stupanj zaprljanja (nizak, srednji, visok) raznolikost zaprljanja (proteini, škrob, šećeri, pigmenti) heterogenost starenje toplina

Prema slici 1, zaprljanje (prljavšina na tekstiliji) može biti zastupljena u varijaciji mase od 15 do 100 g, pri čemu se kao prosječna vrijednost uzima 40 g.

U procesu pranja, prljavština se uklanja s tekstilnih proizvoda. Ako je prljavština masna, ulje se emulgira u kupelji za pranje, stvarajući emulzije ulja u vodi. Određena količina ulja može se ponovno taložiti na odjeći nakon uklanjanja kupelji. Sredstva koje minimiziraju ponovno taloženje su SRP, *Soil Release Polymers*. Učinkovito uklanjanje ulja s poliesterskih tekstilija iziskuje polimer u sastavu deterdženta s afinitetom prema poliesterskim tekstilijama, *Soil Release Polymer – SRP*, npr. kopolimer polietilen tereftalata (PET)/polioksietilen tereftalata (POET), slika 4 [9].

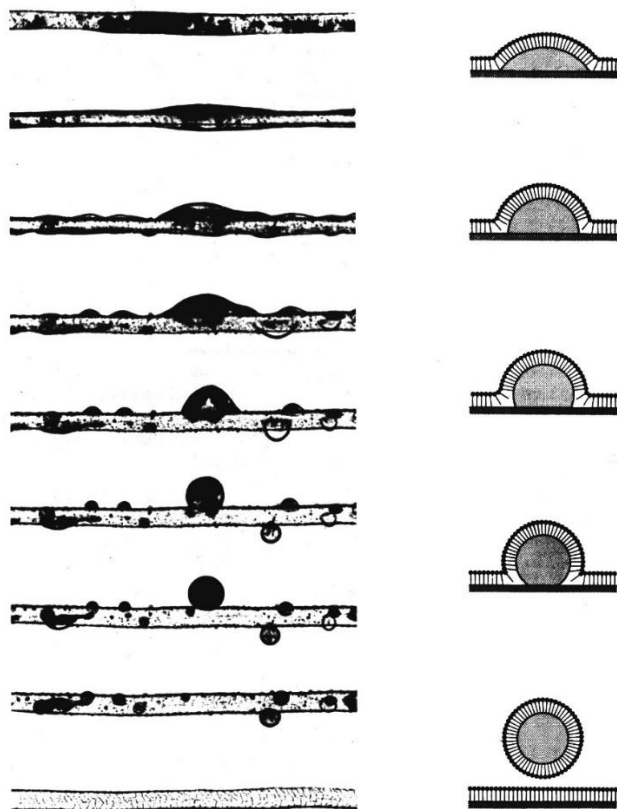


Slika 5: Kemijske strukture polietilen tereftalata (PET)/polioksietilen tereftalata (POET) [9]

Stupanj ponovnog **taloženja masnoće** ovisi o vrsti tekstilija, vrsti deterdženta, uvjetima procesa pranja i svojstvima ulja. Tako su, na primjer, ulja nižeg viskoziteta sklonija redepoziciji u odnosu na ulja višeg viskoziteta. SRP mogu djelovati kroz više mehanizama, od kojih su najvažniji:

- (i) povećanje elektrostatskog odbijanja prljavštine
- (ii) vezivanje molekule u polimernu matricu [8].

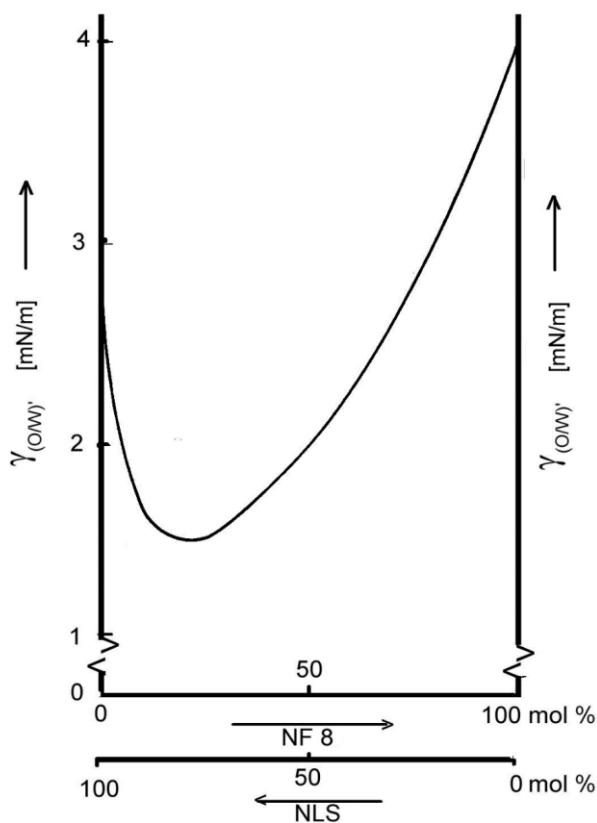
Masne i uljne mrlje emulgiraju se djelovanjem površinski aktivnih tvari, koje se nespecifično vežu na površinu tekstilija, te pomažu kod fizikalnog uklanjanja hidrofobnih supstanci na graničnim površinama. To se može dobro promatrati mikroskopski pri uklanjanju prljavštine mineralnog ulja s vunenog vlakna, slika 6.



Slika 6: Kvašenje i otkidanje uljne prljavštine s vlakna: a) slika pod mikroskopom; b) shematski prikaz [10]

Ukoliko se vuneno vlakno nauljeno mineralnim uljem uroni u čistu vodu, ništa se neće zbivati. Međutim, uranjanjem ovog vlakna u otopinu površinski aktivne tvari, slika 6a, na jednakomjerno nauljenoj površini vlakna počnu se formirati kapljice ulja. S protekom vremena, kapljice poprimaju sve kuglastiji izgled, čime se dodirna površina ulja i vlakna smanjuje, te konačno se uz pomicanje vlakna kapi ulja otkinu s površine. Slika 6b shematski opisuje model prikaz ovog procesa. Molekule površinski aktivne tvari svojim hidrofobnim dijelom adsorbiraju se na vlakno nauljeno mineralnim uljem, tvoreći tanki film na njihovim površinama. Adhezija ulja na vunenom vlaknu se prekida i kapljice ulja se otkidaju s površine vlakna [10]. Uloga površinski aktivne tvari u ovom procesu je da otkine ulje s površine tekstilije, zatim ga emulgira u kupelji i konačno stabilizira nastalu emulziju. Zajedno s masnoćama skidaju se i krute prljavštine koje su na njih vezane. Termoanalitička ispitivanja pokazala su da masti znatnim dijelom sadrže tekuće sastojke, a iznad 40 °C većina ih prelazi u tekuću fazu, pa za njihovo uklanjanje načelno vrijedi isti mehanizam kao i za ulja [11].

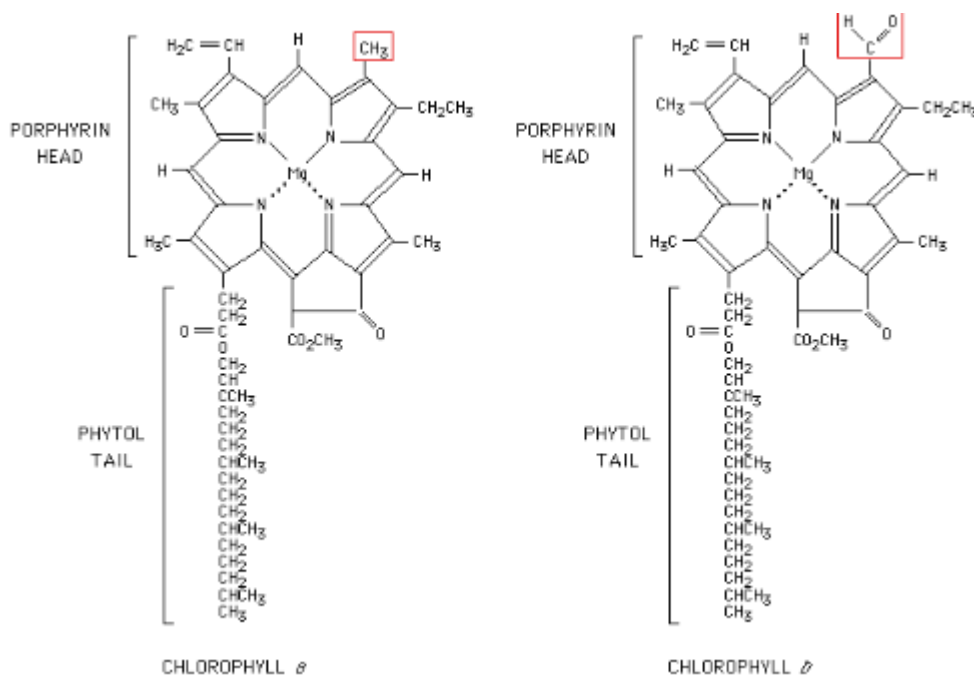
Smanjenje međupovršinske napetosti veće je ako se upotrijebi mješavina anionskih i neionskih površinski aktivnih tvari nego ako se upotrijebi samo jedna vrsta površinski aktivne tvari. Prema slici 7, optimum se postiže kod mješavine anionska/neionska površinski aktivna tvar u omjeru 4:1. Njihovo međusobno sinergijsko djelovanje za uklanjanje masnih i uljnih zaprljanja, ključno je za optimiranje formulacija deterdženta.



Slika 7: Utjecaj sastava smjese površinski aktivne tvari na međupovršinsku napetost ($\gamma_{\text{maslinovo ulje/voda}}$; koncentracija: $1 \cdot 10^{-3}$ mol/L; temperatura: $30 \text{ }^\circ\text{C}$; tvrdoća vode: $8 \text{ }^\circ\text{DH}$; anionska površinski aktivna tvar: NLS -natrijev dodecil sulfat; neionska površinski aktivna tvar: NF8 –nonilfenol-oktaetilen-glikol-eter [10])

Ukoliko su u sustavu voda/maslinovo ulje prisutne samo anionske površinski aktivne tvari, negativno nabijene anionske skupine međusobno se odbijaju i kod određene gustoće naboja daljnja adsorpcija se zaustavlja. Međutim, ukoliko se između molekula anionske površinski aktivne tvari ugravaju molekule neionske površinski aktivne tvari, onda se odbojne sile smanjuju i ukupna adsorpcija površinski aktivne tvari poveća, čime se međupovršinska napetost smanji, slika 7 [10].

Bučino ulje izuzetne nutritivne vrijednosti, posjeduje antioksidativni profil koji potječe od karotenoida (β -karoten, lutein, likofen, zeksantin) i pigmentata (klorofil a i klorofil b) [12], slika 8.



Slika 8: Razlika između klorofila a i klorofila b [12]

Dominantne masne kiseline u bućinom ulju su linolna (38 – 58 %), oleinska (16 – 43 %), palmitinska (6 – 16 %) i stearinska (3 – 13 %), koje je potrebno osapuniti. Najvažniji aktivni sastojci bućina ulja su tokoferoli, fitosteroli, skvalen, karotenoidi i dr [13].

Visoko kvalitetno bućino ulje je tamno zeleno ili narandžasto – crveno obojeno. Njegova zelena i crvena boja potječu od različitih tetrapirolnih komponenti poput proto-klorofila i proto-feoftina (peti ili ciklopentanonski prsten E imaju svi prirodni klorofili) koji su smješteni u vanjskoj membrani sjemena [14].

2.3. SREDSTVA ZA PRANJE – DETERDŽENTI

Proces pranja tekstilija zahtijeva sofisticirano sredstvo – deterdžent koji je:

- (i) prilagođen potrošačkim zahtjevima,
- (ii) ekološki prihvatljiv,
- (iii) učinkovit za široki raspon tekstilija,

- (iv) učinkovit na prihvaćenim temperaturama pranja,
- (v) učinkovit u različitim tipovima strojeva,
- (vi) isplativ [8].

Primarna svrha deterdženta za pranje tekstilija je uklanjanje prljavština i mrlja. Međutim, očekuje se da će pružiti i niz drugih prednosti – omekšavanje tekstilije, niskotemperaturna aktivacija komponenti, uklanjanje „tvrdih“ mrlja, svježinu opranog rublja, UV zaštitu i zaštitu boje, itd.

Najtvrdokornije prljavštine iziskuju komponente u deterdžentu koje kemijskim reakcijama djeluju na specifične supstance u zaprljanju. Netopivi sastojci deterdženata i netopive prljavštine su fino dispergirane u vodi.

Deterdženti su složene heterogene tvari, pri čemu suvremeni produkti mogu sadržavati više od 20 sastojaka, od kojih svaki ima određenu ulogu. Glavni sastojci čine veći maseni udio u sastavu deterdženta, a niz specijalnih sastojaka osigurava dodatno djelovanje uključujući miris, bjelinu, uklanjanje specifičnih mrlja, sposobnost pranja pri nižim temperaturama i manjim omjerima kupelji [15].

Ove prednosti donose niz kemijskih kompleksa koji su ugrađeni u formulaciju deterdženta. Zapravo, moderni deterdženti obično se sastoje od više od 20 sastojaka, od kojih svaki treba pružiti određeni učinak. Nakon što se postigne primarna svrha, dobavljači deterdženata oslanjaju se na sposobnost svojih proizvoda da isporuče ove specifične prednosti kako bi im dali konkurentsku prednost. Deterdžent raznolikih performansi može biti: tekući, praškasti, gel i tabletiran.

Tablica 4: Podvarijable koje se vežu uz deterdžent kao partnera u procesu pranja

Partner	Podvarijable
SREDSTVO ZA PRANJE (tekuće, praškasto, gel)	anorganski sastojci (alkalije, fosfati, fosfonati, alumosilikati, sredstva za bijeljenje, silikati) organski sastojci (tenzidi, citrati, funkcionalni polimeri, optička bjelila, enzimi, mirisi, otapala, aktivatori)

Moderni deterdženti sastoje se od većeg broja komponenti, što je vidljivo iz tablice 5 u kojoj je prikazan sastav tri deterdženta za široku potrošnju, označenih kao A, B i C.

Tablica 5: Sastav deterdženta [15]

Sastojak	Maseni udio %		
	A	B	C
C11 – C13 linearni alkil benzen sulfonat	8	10	-
C12 – C16 alkil etoksi sulfat	-	-	5,3
C14 – C16 sekundarni alkil sulfat	2	-	-
C14 – C15 alkil sulfat	-	7	-
C16 – C18 alkil sulfat	2	-	-
C14 – C15 alkil etoksi sulfat	-	1	-
C12 – C15 alkohol etoksilat E7	3,4	-	-
C14 – C15 alkohol etoksilat E7	-	1	3,3
Natrijev trifosfat, STPP	-	-	10,7
Zeolit A	18	22	10,7
Karbonat	13	19	6
Silikat	1,4	1	7
Natrijev sulfat	26	10	40
Na perborat tetrahidrat	9	-	5
Na perborat monohidrat	-	1	-
Tetra acetil etilen diamin, TAED	1,5	-	0,5
Nonanoil oksibenzen sulfonat, NOBS	-	4	-
Heksaetil difosfonat, HEDP	0,3	-	-
Dietilentriaminpentaacetat, DTPA	-	0,4	-
Proteaza	0,8	0,3	0,3
Amilaza	0,8	0,1	0,1
Lipaza	0,2	-	0,2
Celulaza	0,15	-	0,3
Kopolimer akrilne i maleinske kiseline	0,3	1	0,8
Karboksimetil celuloza, CMC	0,2	-	0,2
<i>Soil release polymer</i> , SRP na bazi poliestera	0,2	0,4	-
Ostali sastojci	ravnoteža	ravnoteža	ravnoteža

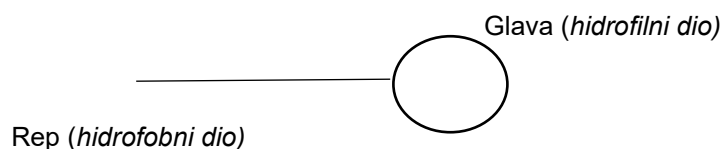
Kao što se vidi u tablici 5, deterdženti A, B i C uključuju različite sastojke, što implicira razlike u njihovom djelovanju, koje je neophodno sagledavati u sinergiji s ostalim čimbenicima i partnerima u procesu pranja.

Važno je istaknuti: **površinsko aktivne tvari**, **bjelila** koja cijepaju dvostruke konjugirane veze u obojenim supstancama zaprljanja, **enzime** koji će složene netopive supstance hidrolizom prevesti u topive jednostavnije supstance.

Dva najvažnija sastojka su **površinsko aktivne tvari** i **bilderi**.

2.3.1. Površinsko aktivne tvari u deterdžentima

Površinsko aktivne tvari pripadaju skupini spojeva u kojima su udružena dva antagonistička svojstva, hidrofilno i hidrofobno, slika 9.



Slika 9: Građa površinsko aktivne tvari

Slika 9 shematski prikazuje njihova amfifilna svojstva – spoj hidrofobnih (netopivih u vodi) i hidrofilnih (topivih u vodi) komponenti, koje su odgovorne za djelovanje površinski aktivnih tvari u procesima. Hidrofobni dio je obično sadrži 8 do 18 ugljikovih atoma. Može biti alifatski, aromatski ili njihova kombinacija. Izvori hidrofoba su obično prirodne masti i ulja, naftne frakcije, relativno kratki sintetski polimeri ili sintetski alkoholi relativno visoke molekularne mase [15].

Hidrofilne skupine određuju primarnu podjelu površinsko aktivnih tvari, odnosno prema prisutnosti formalno nabijenih skupina u njegovom hidrofilnom dijelu:

- (i) anionski
- (ii) kationski
- (iii) neionski
- (iv) amfoterni

Neionske površinsko aktivne tvari nemaju naboja u hidrofilnom dijelu molekule, dok anionske, kationske i amfoterne površinsko aktivne tvari imaju naboj u hidrofilnom dijelu molekule. Negativan naboj hidrofilnog dijela molekule veže se uz anionske površinski aktivne tvari. Pozitivan naboj hidrofilnog dijela molekule veže se uz kationske površinski aktivne tvari. Naboj hidrofilnog dijela amfoternih površinski aktivnih tvari ovisi o vrijednosti pH [10].

U sastavu deterdženata najčešće su zastupljeni anionske i neionske površinsko aktivne tvari, pri čemu njihov udio ovisi o agregatnom stanju i namjeni deterdženta. Praškasti deterdženti imaju izraženiji udio anionske površinsko aktivne tvari u

odnosu na neionsku površinsko aktivnu tvar. Tekući i gel deterdženti imaju veći udio neionski površinski aktivne tvari u odnosu na anionsku površinsko aktivnu tvar. Uporaba kationskih i anionskih površinski aktivnih tvari zajedno je nekompatibilna u istom deterdžentu.

Emulgatori i dispergatori su površinsko aktivne tvari koje suspendiraju, odnosno, plin, tekućina koja se ne može miješati, krutina u vodi ili u nekoj drugoj tekućini.

Njihovo djelovanje u procesu pranja značajno pomaže solubilizaciji, disperziji i emulgiranju prljavština uklonjenih s tekstilija. Uz povoljna i ključna svojstva u procesima pranja, ove tvari mogu utjecati na gubitak bojila, čime tekstilije blijede. Čestice bojila koje su migrirale mogu se ponovno taložiti na drugim tekstilijama ili drugim mjestima na istoj tekstiliji, što dovodi do promjene nijansi i gubitka bjeline [15].

Iako postoji sličnost u ovim funkcijama, u praksi se površinski aktivne tvari potrebne za obavljanje ovih funkcija uvelike razlikuju. Kod emulgiranja, primjerice, odabir površinski aktivne tvari ili sustava površinski aktivnih tvari ovisit će o tekstilijama i željenim svojstvima krajnjeg proizvoda. Emulzija može biti ili kapljica ulja suspendirana u vodi, emulzija ulja u vodi (O/W), voda suspendirana u kontinuiranoj uljnoj fazi, emulzija vode u ulju (W/O) ili miješana emulzija. Odabir površinski aktivne tvari, redoslijed dodavanja i relativne količine dviju faza određuju razred emulzije [15].

Adsorpcija površinski aktivnih tvari na različitim graničnim površinama uzrokuje fizikalno odvajanje hidrofobnih prljavština s vlakana. Iako ne djeluju na elektroforetsku pokretljivost pigmentnih čestica, neionske površinsko aktivne tvari su djelotvorne u pranju.

Kationske površinski aktivne tvari česticama pigmenta daju pozitivan naboj, koji se može poništiti već kod prvog ispiranja i došlo bi do ponovnog taloženja (redepozicije) već skinutih čestica na drugim mjestima na vlaknu i do posivljenja materijala [10].

Važni sastojci deterdženata su sredstva za kemijsko bijeljenje. Glavna im je svrha obezbojiti obojene prljavštine koje se ne mogu potpuno ukloniti djelovanjem površinski aktivnih tvari i bildera u pranju. To su oksidacijska sredstva koja u postupku pranja razaraju kromofore. U zemljama gdje je primjena bornih spojeva zabranjena ili ograničena zbog ekoloških zahtjeva i propisa primjenjuje se natrijev perkarbonat [10].

2.3.2. Bilderi

Bilderi na bazi kompleksnog vezanja zemnoalkalijskih iona i iona teških metala, a isto tako bilderi koji djeluju na bazi ionske izmjene u kombinaciji sa sredstvima za kompleksno vezanje, imaju dodatno djelovanje, kroz izvlačenje metalnih iona iz čestica prljavštine čime čestice postaju šupljikave, sklonije lomljenju, prilikom čega čvrstoća vezanja na vlakno slabi i čestica se lakše odvaja. Osim toga, njihova uloga je omekšavanje vode i regulacija pH pri čemu se pojačava učinak pranja. Sinergizam pojedinih komponenti u pranju doprinosi postizanju dobrog primarnog učinka, koji se ocjenjuje mjerenjem remisije (R_{460}) prije i nakon pranja [16].

2.3.3. Enzimi

Enzimi sadrže jedinstvena svojstva koja ih čine izvrsnim biokatalizatorima, uključujući stereospecifičnost, selektivnost, širok raspon supstrata i mogućnost kataliziranja heterogenih reakcija.

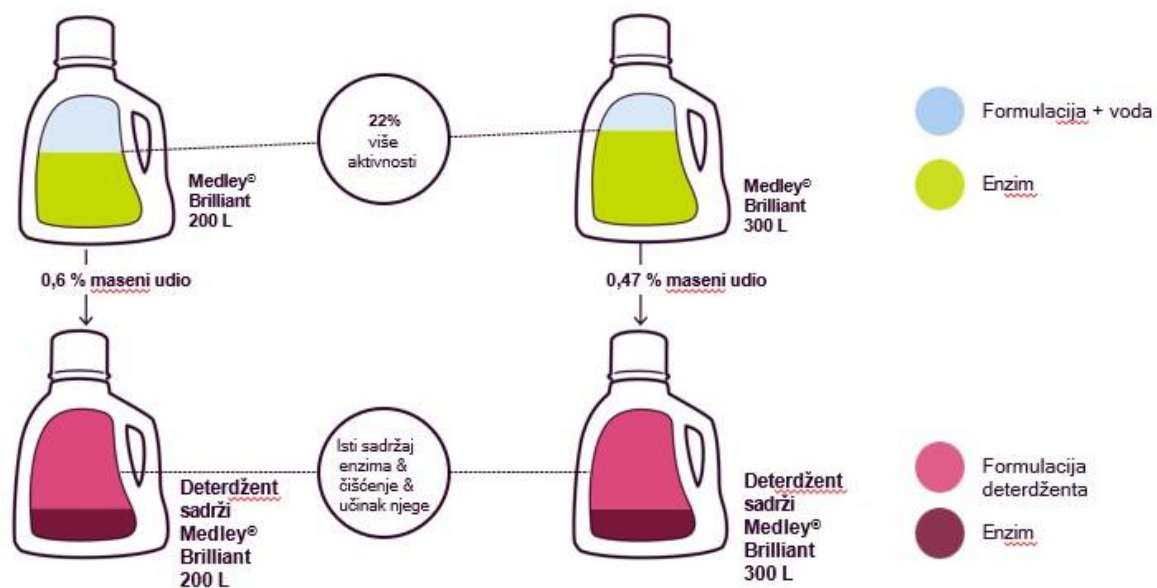
Tablica 6: Profil učinkovitosti enzima za deterdžente [17]

Enzimi	Supstrati	Proces razgradnje	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	uklanje masnih prljavština pri niskim temperaturama
celulaze	oštećeni (amorfni) celulozni fibrili	saharidi, šećer	uklanjanje paperja
mananaze	ugušćivač na bazi guara („guar“ je guma)	monosaharidi	smanjenje vezanja ostataka, inhibiranje taloženja
peroksidaze	bojila koja se mogu obezbojiti	topivi oksidacijski produkti	u razvoju

Deterdženti sadrže enzime, amilaze, proteaze, celulaze, mananaze, koji specifično djeluju na škrob, proteine, celulozu i ugušćivače. Suvremeni deterdženti često sadrže enzimске komplekse umjesto pojedinačnih enzima. U tablici 6 prikazani su enzimski produkti dobavljača Novozyme, pri čemu su navedena djelovanja u procesu njege tekstilija.

Na slici 10 prikazano je djelovanje enzima u vodenom mediju formulacije i formulacije deterdženta u kombinaciji s tekućim enzimatskim kompleksima (Medley® Liquid), gdje su uspoređeni produkti Medley® Brilliant 200 L i Medley® Brilliant 300 L. Djelovanje je prikazano kroz njihov horizontalni i vertikalni utjecaj u dva sustava. Prvi sustav čini vodena formulacija enzima, a drugi sustav formulacija deterdženta [18].

Medley® Liquid



Slika 10: Djelovanje enzimatskih kompleksa *Medley® Liquid* u vodenoj formulaciji i formulaciji deterdženta [18]

Tablica 7: Portfolio tvrtke Novozyme-enzimi za deterdžente i njihova uloga u procesu pranja [18]

Produkt	Medley® Core 210T	Medley® Bright 210T	Medley® Essential 210T	Medley® SmartR 210T	Medley® Advance 210T	Medley® Boost 210T	Medley® Pure 201T	Medley® Plus 210T
Njega tekstilije								
Njega bjeline i boje		<i>Celluclean</i>		<i>Celluclean</i>	<i>Celluclean</i>			<i>Celluclean</i>
Uklanjanje mrlja od pektina, voća i povrća								
Uklanjanje mrlja od gume						<i>Mannaway</i>	<i>Mannaway</i>	<i>Mannaway</i>
Uklanjanje škrobnih mrlja	<i>Stainzyme Plus</i>		<i>Stainzyme Plus</i>		<i>Stainzyme Plus</i>	<i>Stainzyme Plus</i>	<i>Stainzyme Plus</i>	<i>Stainzyme Plus</i>
Uklanjanje masnih mrlja od hrane			<i>Lipex</i>	<i>Lipex</i>			<i>Lipex</i>	<i>Lipex</i>
Uklanjanje proteinskih mrlja	<i>Savinase</i>	<i>Savinase</i>	<i>Savinase</i>	<i>Savinase</i>	<i>Savinase</i>	<i>Savinase</i>	<i>Savinase</i>	<i>Savinase</i>
KNPU (Kilo Novo Product Unit)	16	16	16	11	16	16	16	16

Lipaze (triglicerol acilhidrolaze) su važan razred hidrolitičkih enzima, koje su sveprisutne u prirodi, a proizvodi ih široki niz organizama, uključujući životinje, biljke i mikroorganizme. One razbijaju estersku vezu triglicerida na granici faza ulje – voda i hidroliziraju ih u hidrofilnije mono- i digliceride, slobodne masne kiseline i glicerol.

Lipaze su serin – hidrolaze, sadrže Ser-Asp/Glu-His katalitičku trijadu razvijenu za učinkovito djelovanje na supstrate s različitim kemijskim sastavima ili fizikalno-kemijskim svojstvima. Lipazama nije potreban kofaktor za aktivnost. U prisutnosti organskih otapala, lipaze ostaju stabilne ili im je aktivnost malo usporena.

Glavno područje industrijske primjene lipaza je u proizvodnji deterdženata. Nekoliko termostabilnih lipaza uspješno se koristi kao dodatak u deterdžentima. Uz opće zahtjeve enzima koji se koriste u formulaciji deterdženta, enzim lipaza mora biti topiv u vodi i imati nisku specifičnost za supstrat.

Lipaze u deterdžentima za pranje rublja i posuđa uklanjaju masne mrlje poput maslaca, margarina, masti, umaka koji sadrže mast, ulja za salatu, juhe, ljudskog sebuma ili određenih kozmetičkih proizvoda. Hidrofobnost masne mrlje otežava njeno uklanjanje s površina, kako tkanina tako i staklenog posuđa. Smjernice koje su nametnule niskotemperaturne procese pranja dodatno su otežale njihovo uklanjanje.

Prvu komercijalnu deterdžentnu lipazu, *Lipolase*[®], uvela je tvrtka Novo Nordisk 1988. godine. Ovaj produkt je prvi put izoliran iz *Humicola lanuginosa* [19]. Međutim, prinos je bio nizak za komercijalnu upotrebu, pa se trenutno proizvodi pomoću soja *Aspergillus oryzae* transformiranog genom koji kodira lipazu za deterdžent. Nakon razvoja lipolaze, mikrobne lipaze su dobile na značaju u industrijskom sektoru. Sljedećih godina, dvije bakterijske lipaze, *Lumafast* od tvrtke Genencor International i *Lipomax* Gist Brocades, izolirane iz *Pseudo monas spp*, uvedene su na tržište 1993. odnosno 1995. godine. Lipolaza se razlikovala od ostalih enzima za deterdžente (proteaze i amilaze) po tome što je potrebno nekoliko pranja da bi se uočila značajna korist zbog učinka vode na lipolitičku aktivnost. Enzim je slabo aktivan kada je sadržaj vode u tekstiliji ispod 5 % ili iznad 80 % (w/w), a aktivnost mu je najveća ukoliko je sadržaj vode u tekstiliji oko 25 %. Upravo takva razina postiže tijekom procesa sušenja, pri čemu se količina masnoće osušenom nakon prvog pranja ne smanjuje lipazom, ali tijekom sljedećeg pranja trigliceridi se hidroliziraju i mnogo se lakše uklanjaju. Zapriranje uklonjeno nakon samo dva pranja deterdžentom koji sadrži lipazu jednaka je onoj postignutoj nakon sedam ciklusa pranja bez lipaze. Tvrdi se da *Lipomax* i *Lumafast* donose vidljive prednosti od prvog pranja.

Lipolaza druge generacije *Lipolase Ultra* s poboljšanim učinkom pranja pokrenuta je 1994. godine. Kako bi se razvili učinci prvog pranja pri korištenju rublja, izvršena je

zamjena jedne aminokiseline (aminokiselina na poziciji 96, asparaginska kiselina zamijenjena je leucinom) za dobivanje *Lipolase Ultra*. 1998. godine, *LipoPrime™* je pokrenut kao još jedna varijanta lipolaze proizvedena proteinima. *LipoPrime™* pokazuje superiornu učinkovitost uklanjanja masnoće u usporedbi s *Lipolase®* i *Lipolase Ultra* u većini formulacija deterdženata. *Lipex®* predstavljen 2014. novi je tekući enzimski pripravak za hidrolizu masti koji sadrži lipazu pogodnu za upotrebu u otopinama deterdženta za rublje, tablica 8.

Tablica 8: Komercijalne lipaze koje se koriste u deterdžentima [19]

Ime proizvoda	Proizvođač	Podrijetlo
<i>Lipolase</i>	Novozymes	<i>Humicola lanuginosa</i>
<i>Lipolase Ultra</i>	Novozymes	Varijanta lipolaze cijepljena proteinom
<i>Lipo Prime</i>	Novozymes	Varijanta lipolaze cijepljena proteinom
<i>Lumafast</i>	Genencor	<i>Pseudomonas mendocina</i>
<i>Lipomax</i>	Gist Brocades	<i>Pseudomonas alcaligenes</i>
<i>Lipex</i>	Novozymes	<i>Thermomyces lanuginosus</i>

Nakon procesa pranja, slijedi proces ispiranja kroz nekoliko ciklusa i postupak naknadne obrade, čiji je zadatak nadoknaditi svojstva tekstilija koje su izgubili u procesu pranja. Supstance koje se dodaju u naknadnu obradu su omekšivači i reološki modifikatori, ovisno o vrsti tekstilije i njihovoj namjeni.

Tablica 9: Podvarijable koje se vežu uz sredstva za naknadnu obradu kao partnera u procesu pranja

Partner	Podvarijable
NAKNADNA OBRADA (<i>Omekšivači, Modifikatori opipa</i>)	kemijski sastav, koncentracija

2.4. UVJETI PROCESA PRANJA

Uvjeti pranja variraju se kroz **kvalitetu vode, temperaturu i broj ciklusa**, pri čemu voda može biti: tvrda, srednje tvrda ili meka, a temperatura: 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C. Prosječna temperatura u zemljama Europske unije iznosi 42 °C. Broj ciklusa u više opcija: 1 ciklus, 3, 5, 25 i 50 ciklusa, pri čemu se primarni učinak procjenjuje kroz 1 – 3 ciklusa, a sekundarni učinak obuhvaća veći broj ciklusa, čime se procjenjuje kumulativan utjecaj procesa pranja.

2.4.1. Voda u procesu pranja

Voda ima važnu ulogu u procesu pranja jer je ona medij u kome se pere, pri čemu služi kao otapalo za vodotopive prljavštine i najveći dio sastojaka deterdženata. Ona prenosi toplinsku energiju, olakšavajući uklanjanje nekih prljavština, npr. pri povišenoj temperaturi voskovi i masti prelaze u tekuću fazu. Voda služi kao prenosilac kinetičke energije (miješanje, cirkulacija, zagrijavanje), a zbog pokretanja vode, te toplinskim i mehaničkim utjecajem, čestice prljavštine se odvoje od materijala i otplave u kupelj. Podvarijable koje se vežu uz vodu navedene su u tablici 10.

Tablica 10: Podvarijable koje se vežu uz vodu kao partnera u procesu pranja

Partner	Podvarijable
VODA	omjer kupelji (OK) tvrdoća teški metali pH vodljivost mikrobiološka svojstva biofilm

2.4.2. Temperatura u procesu pranja

Temperatura procesa pranja važan je čimbenik, te je poželjno da se tekstilije peru pri temperaturama ispod temperature staklastog prijelaza njegovih komponenti, kako bi se izbjeglo prekomjerno bubrenje, te s njim povezano skupljanje i gužvanje.

U tablici 11 navedene su temperature staklastog prijelaza (T_g) nekih vlakana u suhom i mokrom stanju, te preporučene temperature pranja.

Tablica 11: Temperature staklastog prijelaza za najvažnije tipove vlakana u suhom i mokrom stanju i preporučene temperature procesa pranja [20]

Vlakno	T_g (°C) u suhom	T_g (°C) u vodi	Preporučena temperatura pranja
pamuk	nema prije termičke dekompozicije pri ~ 200 °C	< 0	Sve temperature
viskoza rayon	nema prije termičke dekompozicije pri ~ 200 °C	< 0	Do 60 °C
celulozni triacetat	~ 180	~ 90	Do 40 °C
celulozni diacetat	~ 180	~ 60	Do 40 °C
poliester	~ 100	~ 85	Do 60 °C
poliamid 6	~ 56	blizu 0	Do 60 °C
poliamid 6.6	~ 62	blizu 0	Do 60 °C
poliakril	72 – 90	50 – 70	Do 40 °C
vuna	nema prije termičke dekompozicije	< 0	Do 40 °C

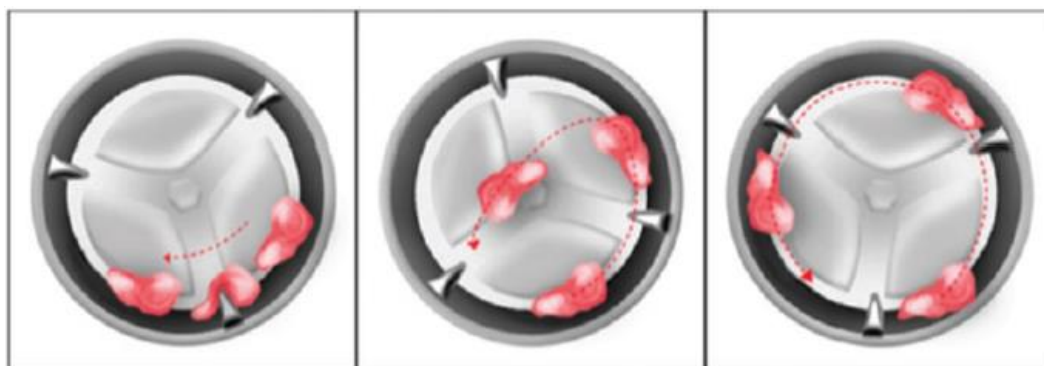
2.4.3. Mehanika u procesu pranja

U tablici 12 navedene su podvarijable za strojeve za pranje – nosioca mehanike u procesu pranja.

Tablica 12: Podvarijable koje se vežu uz strojeve-punjenje kao partnera u procesu pranja

Partner	Podvarijable
STROJEVI <i>Horizontalna os</i> <i>Vertikalna os</i>	mehaničko djelovanje (brzina okretanja, visina i promjer bubnja, odnos mase i volumena (OK), dimenzije i masa tekstilija ovisno o njihovom sastavu)

Omjer punjenja tekstilija u stroju je u rasponu 1 – 4 kg, a prosječna masa punjenja iznosi 3 kg. Slika 11 opisuje mehaničke cikličke radnje: prijanjanje tekstilija po obodu bubnja i njihovo pokretanje pomoću rebara (a); padovi pojedinih tekstilija (b) i jednolična raspodjela po obodu i prijanjanje (c) tijekom procesa pranja.



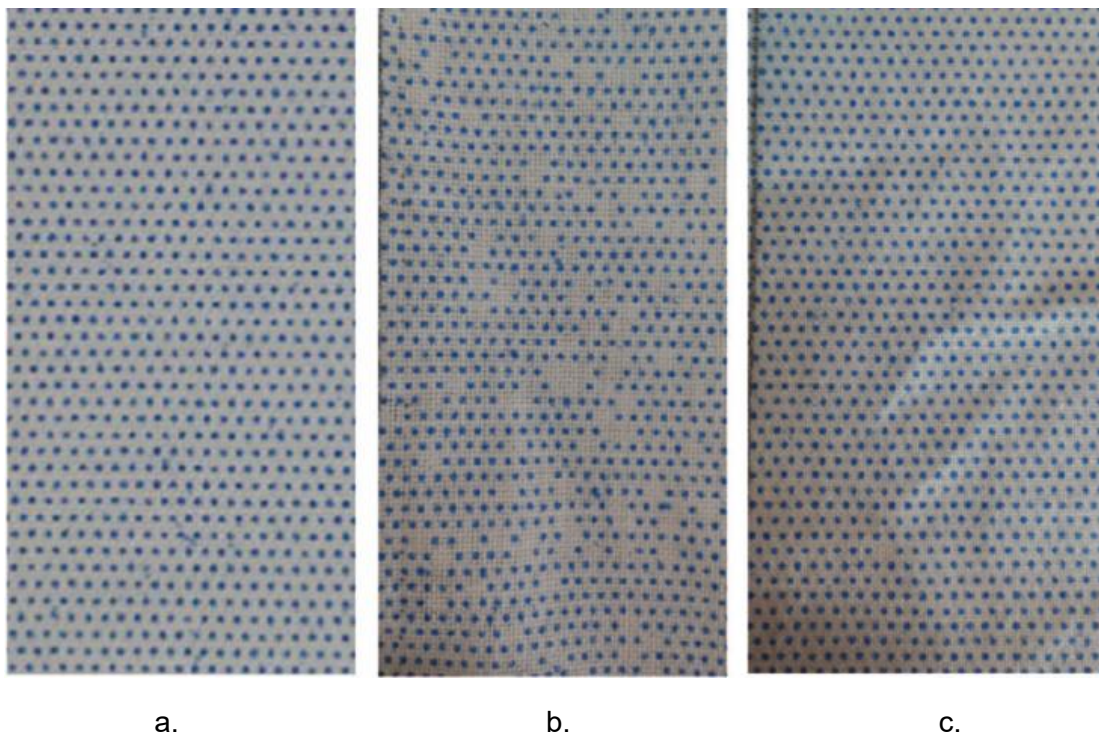
a. rotacija

b. padanje

c. prijanjanje

Slika 11: Konceptualni dijagrami za različita kretanja tkanine u perilici s prednjim punjenjem [21]

Na slici 12 načinjena je analiza utjecaja mehaničkih djelovanja u procesu pranja, a za test odabrana je standardna tkanina EMPA 306: Poka – Dot[®] [22].



Slika 12: Standardna tkanina, EMPA 306 tkanina

a. neoprana; b. utjecaj padanja kao mehaničke radnje; c. utjecaj trenja kao mehaničke radnje [21]

2.5. UČINCI U PROCESU PRANJA

Učinci u procesu pranja uključuju primarni i sekundarni način vrednovanja uspješnosti provedbe procesa. Sastojci deterdženta u sinergiji s ostalim čimbenicima Sinnerovoga kruga usmjereni su na uklanjanje mrlja, što se smatra primarnim učinkom [23]. Sekundarni učinak posljedica je međudjelovanja svih čimbenika, posebice kemije, mehanike i temperature, gdje oni imaju kumulativno djelovanje, a promjene tekstilija se vrednuju najčešće kroz pad vlačnih svojstava, pad stupnja polimerizacije celuloznih tekstilija, promjeni bjeline, boje, opipa i hidrofilnosti [23].

Primarni učinak se provodi nakon 1 do 3 ciklusa pranja, a najčešće analizom uklonjenih zaprljanja u određenim uvjetima. Dodatni kriterij vrednovanja kvalitete može biti higijena u pranju, ukoliko se prati učinak procesa pranja tekstilija za prehrambeni, bolnički i uslužni sektor u kojem boravi određena skupina osoba (dječiji vrtići, domovi umirovljenika itd.).

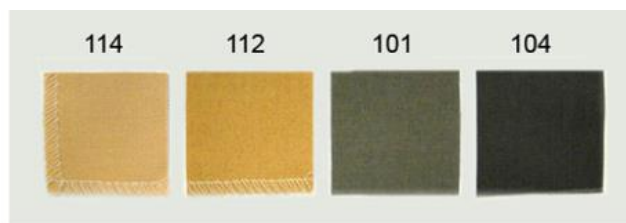
Primarni i sekundarni učinak može se vrednovati primjenom različitih monitora odnosno standardnih tkanina, slika 13. Ukoliko se analizira primarni učinak biraju se standardne tkanine na kojima su nanese ili našivene prirodna ili standardna zaprljanja, slika 13. Drugi način rada, a koji je ujedno manje objektivan je prirodno prljanje tekstilija u određenim uvjetima.



- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| 01. Prazno pletivo | 09. Curry |
| 02. Zemlja | 10. Životinjska krv |
| 03. Crveno obojana mast (ruž) | 11. β - karoten |
| 04. Motorno ulje | 12. Glina (ilovača) |
| 05. Crveno vino | 13. Šminka |
| 06. Čokoladni desert | 14. Paradajz sos |
| 07. Trava | 15. Čaj |
| 08. Maslac | 16. Dječja hrana |

Slika 13: Pamučno pletivo s nanesenim standardnim zaprljanjima (foto, I. Šakota, lipanj 2024)

Da bi se postupak analize primarnih i sekundarnih učinaka na neki način „unificirao“, profesionalna i znanstvena zajednica je kroz dugogodišnja iskustva i rad na problematici pranja realizirala ideju standardiziranja specifičnih zaprljanja. Postoje brojne varijacije standardnih zaprljanja, koja se primjenjuju za analizu primarnog učinka u kućanstvu i industrijskim uvjetima. U tom smislu se koriste razni termini: nosač, monitor i traka, slika 14.



ŠIFRA	OPIS	TKANINA	KARAKTERISTIKE UČINKA
114	CRVENO VINO	PAMUK	IZBJELJIVANJE
112	KAKAO		ENZIMA PROTEAZE
101	PIGMENT/MASNOĆA	PES/PAMUK	OPĆI UČINAK
104	PIGMENT/MASNOĆA		OPĆI UČINAK

Slika 14: Standardno zaprljane tkanine, EMPA 103, EMPA Testmaterials, Švicarska, (foto, I. Šakota, lipanj 2024)

Svaka pojedina vrsta zaprljanja predstavlja indikator za ocjenu učinka pojedinih čimbenika istaknutih kroz zadaću pranja i čimbenike Sinnerovoga kruga.

2.5.1. Primarni učinak

Primarni učinak u procesu pranja je ukloniti prljavštine i druge kontaminante s tekstilija i osigurati očuvanje njihovih svojstava.

Kemijski i fizikalni procesi uključeni u mehanizam procesa pranja su kompleksni, a sastojci deterdženta, ako nisu pomno optimizirani, utjecat će na promjenu svojstava tekstilija i dodatno opteretiti otpadne vode (efluent).

Primarni učinak može se vrednovati primjenom različitih monitora odnosno tkanina na kojima su nanosena ili našivena prirodna ili standardna zaprljanja.

U ovom radu primjenjeni su različiti donorski sustavi prljavština, poliestersko pletivo i poliester/pamuk pletivo na koje su nanosene mrlje od bućinoga ulja.

Proces prljanja ima nekoliko stupnjeva ili faza. Prvi je kontakt prljavštine sa supstratom. Prljavština se zatim prenosi na površinu vlakana gdje se apsorbira. Prljanje česticama prljavštine zahtijeva mehaničko djelovanje u procesu pranja. Prljanje uljima ovisi o kapilarnom svojstvu vlakana [8].

2.5.2. Sekundarni učinak

Skinute prljavštine s tekstilija ostaju u kupelji tijekom pranja. Tekstilije se kroz izvjesno vrijeme peru u zaprljanoj kupelji, a to osobito vrijedi u perilicama. Nužno je da se prljavštine zadrže u kupelji i da se spriječi njihovo ponovno taloženje na drugim mjestima, (*soil redeposition*) što izaziva posivljenje tekstilija. Površinski aktivne tvari, stvarajući površinski sloj na česticama skinute prljavštine i kapljicama masnoće djeluju kao stabilizatori nastale disperzije i emulzije i sprečavaju ponovno taloženje na vlakno, tim više što je i površina vlakna zasićena slojem površinski aktivne tvari. Taloženje sprečava i dodatno elektronegativno nabijanje prljavštine i vlakna čemu doprinose i bilderi. Inhibitori posivljenja ili nosioci prljavštine imaju također bitnu ulogu u sekundarnim učincima pranja jer čisto fizički sprečavaju taloženje prljavština na vlaknu [24 – 26].

Čestice i molekule skinutih prljavština kao i bojila potrebno je zadržati u kupelji, što se postiže solubilizacijom.

Brzina solubilizacije je značajna, jer se čestice moraju solubilizirati u tijeku procesa pranja. Nađeno je da brzina solubilizacije raste s temperaturom, a u otopinama neionskih tenzida najpovoljnije temperature za solubilizaciju su neposredno ispod točke zamućenja.

Veliku važnost za vezanje bojila imaju i bilderi. Nađeno je da zbog velike aktivne površine bilderi na bazi zeolita A imaju vrlo pozitivne učinke.

2.6. OTPADNE VODE OD PROCESA PRANJA

Glavne karakteristike otpadnih voda tekstilne industrije su: zamućenost, intenzivna obojenost, visoke vrijednosti biološke potrošnje kisika (BPK) i kemijske potrošnje kisika (KPK), visoke vrijednosti pH, nizak sadržaj suspendirane tvari, znatne količine masnoća, te površinski aktivnih tvari. Veliki problem sastava otpadnih voda tekstilne industrije predstavlja proces bojadisanja, zbog sadržaja ostatka bojila i pomoćnih sredstava, pri čemu njihov sadržaj ovisi o vrsti procesa bojadisanja kao i o tipu proizvodnog pogona i programa.

Uzimajući u obzir činjenice da je proces pranja složen sustav u kojem sudjeluju prethodno opisani parametri, za očekivati je da će otpadne vode predstavljati disperzni sustav kojeg čine organske i anorganske supstance. Udio navedenih supstanci ovisi o vrsti tekstilija i uvjetima procesa pranja, što nameće činjenicu da je važno optimirati sve procesne parametre. Kako je prikazano u slici 1 važno je ispuniti

zadaću procesa pranja upravo na način da se postignu dobri primarni i sekundarni učinci, a da otpadne vode ne budu opterećene visokim sadržajem kontaminacije. Anionske površinski aktivne tvari u kanalizaciji su nađene radi njihove primjene u proizvodima za široku potrošnju, poput deterdženata, šampona, sredstava za čišćenje i pranje kao i proizvodima za njegu. Glavni razlozi i teškoće pri analizi površinski aktivnih tvari su uvjetovani složenim smjesama različitih spojeva u okolišnim matricama [27].

Ispuštanje ulja kao i industrijske otpadne vode ispuštene u mora su ozbiljan ekološki problem. Uljna i masna zaprljanja na tekstilijama su u manjem udjelu, ali njihova pojavnost i učestalost provedbe procesa pranja nisu zanemarivi. Stoga je važno optimirati proces kako bi se ova zaprljanja učinkovito uklonila i emulgirala, kako bi se prevenirao stupanj kontaminacije otpadnih voda.

U skladu s [28], posebne mjere u svezi s ispuštanjem otpadnih voda iz objekata i postrojenja za proizvodnju i preradu tekstila su:

- zamjena sirovina u tehnološkim postupcima s onima koje manje uzrokuju opterećenje efluenta ukoliko se pri tome ne šteti kakvoći proizvoda
- korištenje biološki dobro razgradljivih deterdženata
- zamjena etilendiamintetraoctene kiseline (EDTA) i njezinih spojeva i soli s biološki bolje razgradljivim sredstvima
- uporaba sintetičkog škroba koji imaju visok stupanj biološke razgradljivosti
- zamjena natrijevog hipoklorita, triklorbenzena, živinih spojeva, polivinilalkohola, karbosimetilceluloze, poliakrilata i njihovih spojeva aktifenoletoksilata, fosfonatom i drugim sličnim spojevima
- zamjena boja koje sadrže živu, kadmij, olovo, bakar, nikal i krom, te druge teške metale
- zamjena ili smanjenje uporabe toksičnih i nerazgradljivih organskih spojeva i silikona
- zamjena tvari, koje smanjuju koncentraciju kisika u vodi.

U ovom radu su analizirani odabrani fizikalno kemijski parametri: pH, vodljivost, sadržaj anionskih površinski aktivnih tvari i neionskih površinski aktivnih tvari. Razlog izbora ovih parametara povezan je s uvjetima procesa pranja, a koji uključuju dva pletiva različitog sirovinskog sastava, stupanj njihovog zaprljanja, varijaciju koncentracije deterdženta i varijaciju sastava deterdženta kroz dodatak enzimatskog kompleksa. Parametri Sinnerovoga kruga, temperatura procesa pranja i mehanika su bili konstantni.

Odabrani parametri određeni prije i nakon provedenog procesa pranja pokazat će da li su ovi parametri optimalni s dva aspekta:

1. uklanjanje bućinog ulja kao prljavštine na poliesterskom pletivu i poliester/pamuk pletivu (primarni učinak)
2. stupanj opterećenja otpadne vode.

Dodatni problem mogu biti mikroplastika i otpušteni fragmenti prilikom procesa pranja materijala načinjenim od sintetičkih tekstilija [29, 30]. U posljednje vrijeme se provode brojna istraživanja i studije kako bi se utvrdilo otpuštanje fragmenata s poliesterskih tekstilija u procesu pranja. Poticaj za ova istraživanja može se sagledati u činjenici da je proces pranja identificiran kao globalan uzročnik gomilanja čestica mikroplastike u okolišu [31, 32].

U okviru ovog diplomskog rada nije izravno analizirana količina otpuštenih fragmenata jer je proveden samo jedan ciklus pranja kako bi se utvrdio primarni učinak. U skladu s time će se provesti dodatni pokusi kako bi se utvrdilo kako proces pranja utječe na promjene svojstava pletiva od poliestera i poliester/pamuka i koliki je stupanj opterećenja otpadne vode s čestičnom tvari (otpušteni fragmenti s pletiva).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

U radu su primijenjena dva standardna pletiva, poliestersko potkino pletivo i desno – lijevo glatko pletivo od mješavine poliestera s pamukom.

Oba pletiva prije i nakon prljanja bućinim uljem izložena su procesu pranja pri 60 °C u različitim uvjetima:

- u vodi
- u otopini deterdženta (1,25 g/L)
- u otopini deterdženta (2,5 g/L)
- u otopini deterdženta (1,25 g/L) uz dodatak multienzimskog preparata
- u otopini deterdženta (2,5 g/L) uz dodatak multienzimskog preparata

3.1. MATERIJALI

3.1.1. Pletiva

Svojstva **standardnog poliesterskog potkinog desno-desno interlok pletiva** nabavljenog od tvrtke wfk – Testgewebe GmbH iz Njemačke (MRF – 0008), širine 165 cm prikazane su u tablici 13.

Tablica 13: Svojstva standardnog poliesterskog pletiva MRF-0008 (P)

Tehničke karakteristike	Smjer	Oznaka	očica/cm
Gustoća	redovi	Dh	16
	nizovi	Dv	21
Površinska masa	Q		g/m ²
			139
			
Mikrograf, povećanje 50x			


Za potrebe planiranog istraživanja priređeno je 11 uzoraka dimenzija 50 x 30 cm. Oznake uzoraka P₁ – P₅ odnose se na uzorke poliesterskog pletiva, a oznake P₁* - P₅* na pletiva zaprljana bućinim uljem, oba izložena procesu pranja. Mase priređenih uzoraka prikazane su u tablici 14.

Tablica 14: Mase poliesterskog pletiva (P)

Oznaka uzorka	m (g)
P ₁	20,717
P ₂	20,626
P ₃	20,540
P ₄	20,216
P ₅	20,225
P ₁ *	20,096
P ₂ *	20,571
P ₃ *	20,482
P ₄ *	20,015
P ₅ *	19,901

Svojstva **standardnog desno – lijevo glatkog pletiva od mješavine poliestera s pamukom (50/50)** nabavljenog od tvrtke wfk – Testgewebe GmbH iz Njemačke (MRF – 0012), širine 150 cm prikazane su u tablici 15.

Tablica 15: Svojstva standardnog poliestar/pamuk pletiva MRF – 00012 (PP)

Tehničke karakteristike	Smjer	Oznaka	očica/cm
Gustoća	redovi	Dh	14
	nizovi	Dv	18
Površinska masa	Q		g/m ²
			139
		Mikrograf, povećanje 50x	

Za potrebe planiranog istraživanja priređeno je 11 uzoraka dimenzija 50 x 30 cm. Oznake uzoraka PP₁ – PP₅ odnose se na uzorke poliestar/pamuk pletiva, a oznake PP₁* - PP₅* na pletiva zaprljana bućinim uljem, oba izložena procesu pranja. Mase priređenih uzoraka prikazane su u tablici 16.

Tablica 16: Mase poliester/pamuk pletiva (PP)

Broj uzorka	m (g)
PP ₁	20,515
PP ₂	20,555
PP ₃	20,674
PP ₄	20,543
PP ₅	20,187
PP ₁ *	21,112
PP ₂ *	20,881
PP ₃ *	20,284
PP ₄ *	20,942
PP ₅ *	20,389

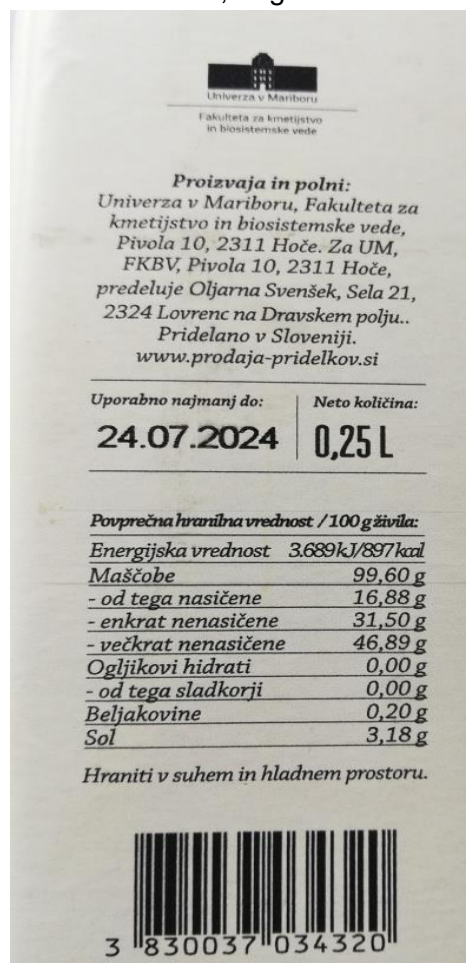
3.1.2. Bućino ulje – izvor zaprljanja

Bućino ulje izrazitog okusa i karakteristične zeleno – crvene boje odabrano je kao jedna od najtvrdokornijih heterogenih zaprljanja, ulje obogaćeno pigmentom. Na presjeku sjemenke s unutarnje strane sjemena uočava se zeleni sloj (*chlrenchyma* – klorenhim), koji se smatra izvorom karotenoidnog pigmenta, protoklorofila, koji daje boju bućinom ulju [33].

Značajke korištenog bućinog ulja čije su prikazane u tablici 17 i slici 15.

Tablica 17: Sastav bučinog ulja

Prosječna nutritivna vrijednost / 100 g namirnice	
Energetska vrijednost	3,689 kJ/897 kcal
Masti	99,60 g
• Zasićene	16,88 g
• jednom nezasićene	31,50 g
• često nezasićene	46,89 g
Ugljikohidrati	-
Šećeri	-
Bjelančevine	0,20 g
Soli	3,18 g



Slika 15: Korišteno bućino ulje za zaprljanja

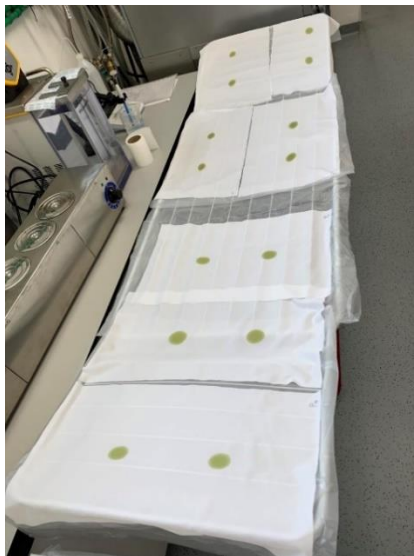
Postupak nanošenja zaprljanja

Kod postupka nanošenja zaprljanja na pletiva korišten je okvir s rupicama (slika 16) i kapaljka. Na pletivo postavljeno na radnu podlogu, kapaljkom su nanesene mrlje na dva različita mjesta (A i B). Pri rukovanju s kapaljkom važno je pripaziti da unutar kapaljke nema zraka i da se nanesu dvije kapi bućinog ulja.

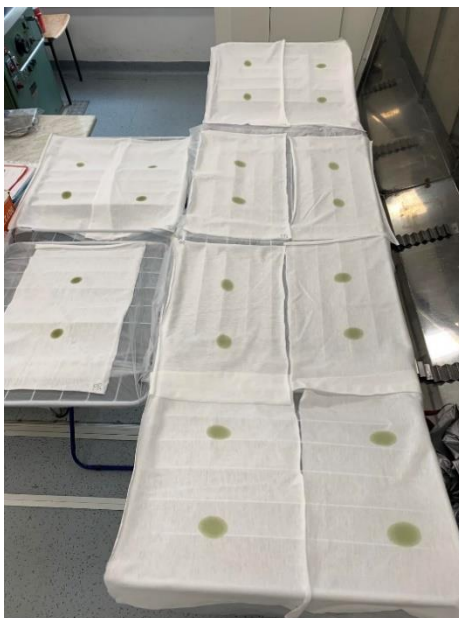


Slika 16: Okvir s rupicama za jednakomjerno nanašanje mrlja

Izgled pletiva od poliestera i poliester/pamuka nakon nanošenja mrlja od bućinog ulja na mjesto A i mjesto B prikazuje slika 17 i slika 18.



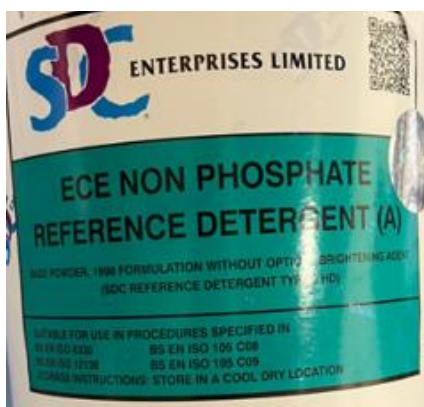
Slika 17: Poliesterska pletiva nakon prljanja bućinim uljem (foto I. Šakota, ožujak 2024)



Slika 18: Poliester/pamuk pletiva nakon prljanja bućinim uljem (foto I. Šakota, ožujak 2024)

3.1.3. Deterdžent

Proces pranja proveden je standardnim deterdžentom, ECE A, slika 19, koji distribuira *Society of Dyers and Colourists* (SDC).



Slika 19: Standardni deterdžent ECE A

Sastav standardnog ECE A, nefosfatnog deterdženta bez optičkog bjelila, prikazan je u tablici 18.

Tablica 18: Sastav standardnog deterdženta ECE A

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

U radu su korištene dvije otopine - koncentracije deterdženta:

$\gamma_1 = 1,25 \text{ g/L}$

$\gamma_2 = 2,5 \text{ g/L}$

priređene su u tvrdoj vodi.

3.1.4. Multienzimski preparat

U radu je korišten multienzimski preparat **Medley® Brilliant 300 L** proizvođača Novozymes A/S iz Nizozemske, slika 20, koji je namijenjen industriji deterdženata.



Slika 20: Enzimski kompleks *Medley® Brilliant 300 L*, Novozyme

Ovaj *blend* preparat ili multienzimski kompleks sastoji se od proteaze (*Subtilisin*), α -amilaze, pektat lijaze, mananaze (manan endo-1,4-beta-manozidaza), lipaze i celulaze.

Multienzimaska aktivnost omogućena je djelovanjem

- Celulaze koja hidrolizira (1,4)- β -D-glukozidnu vezu u celulozi i druge β -D-glukane.
- Endo-amilaze koja hidrolizira (1,4)- α -D-glukozidne veze u polisaharidu - škrobu
- Endo-manozidaze koja hidrolizira (1,4)-veze u β -D-manozidozi
- **Lipaze koja hidrolizira esterske veze u gliceridima**
- Pektat lijaze koja hidrolizira (1,4)- α -D-galakturone u oligosaharide s 4-deoksi- α -D-galakt-4-enuronosil grupe na njihovim ne – reducirajućim krajevima
 - serin endoproteaze koja hidrolizira unutarnje peptidne veze.

Uz navedene enzime, korišteni multienzimski preparat u tekućem stanju sadrži ostale sastojke navedene u tablici 19.

Tablica 19: Sastav formulacije enzimskog kompleksa [34]

Sastojak	w (%)
Glicerol	10 – 50
Voda	10 – 50
Propilen glikol	1 – 10
Sorbitol	1 – 10
Natrijev format	1 – 10
Fenoksi etanol	< 1
Kalcijev klorid	< 1
Disupstituirani alaninamid	< 1

Ovisno o koncentraciji otopina deterdženta u radu su korištene dvije odvage enzima, kako bi se dobio maseni udio enzima u iznosu 0,8 %.

- 0,01 g na 1,25 g mase deterdženta (0,8 %)
- 0,02 g na 2,5 g mase deterdženta (0,8 %).

3.2. POSTUPAK PRANJA

Postupak pranja proveden je u laboratorijskom uređaju za pranje *Rotawash Color Fastness Tester*, dobavljača Atlas SDL, slika 21.



Slika 21: Laboratorijski uređaj *Rotawash Color Fastness Tester*, SDL Atlas

Uzorci su oprani u vodi i otopinama standardnog deterdženta, ECE A koja je priređena u tvrdoj vodi.

Uvjeti procesa pranja u vodi:

Kupelj: tvrda tvrda

Temperatura: 60 °C

Vrijeme pri 60 °C: 30 minuta

OK 1:7

Nakon procesa pranja proveden je postupak ispiranja:

4 ciklusa

OK 1:8.

Uvjeti procesa pranja standardnim deterdžentom:

Kupelj: 1,25 g/L ECE A

Kupelj: 2,5 g/L ECE A

Temperatura: 60 °C

Vrijeme pri 60 °C: 30 minuta

OK 1:7.

Nakon procesa pranja proveden je postupak ispiranja:

4 ciklusa

OK 1:8.

Uvjeti procesa pranja standardnim deterdžentom uz dodatak enzima:

Kupelj: 1,25 g/L ECE A + E

Kupelj: 2,5 g/L ECE A + E

Temperatura: 60 °C

Vrijeme pri 60 °C: 30 minuta

OK 1:7.

Nakon procesa pranja proveden je postupak ispiranja:

4 ciklusa

OK 1:8.

Poliestersko i poliester/pamuk pletiva obrađena su u navedenim kupeljima, kojima su dodijeljene različite oznake, što prikazuju tablice 20 – 23.

Tablica 20: Oznake i uvjeti obrade poliesterskog pletiva (P)

Broj kivete	Sastav	Oznaka	
1	Voda	V	P ₁
2	Deterdžent 1,25	D – 1,25	P ₂
3	Deterdžent 1,25 + Enzim	D – 1,25 + E	P ₃
4	Deterdžent 2,5	D – 2,5	P ₄
5	Deterdžent 2,5 + Enzim	D – 2,5 + E	P ₅

Tablica 21: Oznake i uvjeti obrade poliesterskog pletiva s mrljom od bučinog ulja (P*)

Oznaka	Sastav	Oznaka	
1	Voda	V*	P ₁ *
2	Deterdžent 1,25	D – 1,25*	P ₂ *
3	Deterdžent 1,25 + Enzim	D – 1,25 + E*	P ₃ *
4	Deterdžent 2,5	D – 2,5*	P ₄ *
5	Deterdžent 2,5 + Enzim	D – 2,5 + E*	P ₅ *

Tablica 22: Oznake i uvjeti obrade poliestar/pamuk pletiva (PP)

Broj kivete	Sastav	Oznaka	
1	Voda	V	PP ₁
2	Deterdžent 1,25	D – 1,25	PP ₂
3	Deterdžent 1,25 + Enzim	D – 1,25 + E	PP ₃
4	Deterdžent 2,5	D – 2,5	PP ₄
5	Deterdžent 2,5 + Enzim	D – 2,5 + E	PP ₅

Tablica 23: Oznake i uvjeti obrade poliestar/pamuk pletiva s mrljom od bučinog ulja (PP*)

Oznaka	Sastav	Oznaka	
1	Voda	V*	PP ₁ *
2	Deterdžent 1,25	D – 1,25*	PP ₂ *
3	Deterdžent 1,25 + Enzim	D – 1,25 + E*	PP ₃ *
4	Deterdžent 2,5	D – 2,5*	PP ₄ *
5	Deterdžent 2,5 + Enzim	D – 2,5 + E*	PP ₅ *

Nakon provedenog ciklusa u otopini deterdženta, kupelj od pranja i ispiranja prikupljena je spremljena u staklene boce (750 mL) kako bi se odredila prisutnost anionski i neionski površinski aktivne tvari i vrijednost pH.

Nakon ispiranja uzorci su osušeni u položenom stanju na zraku.

3.3. METODE

U radu su korištene metode za analizu pletiva prije i nakon provedenog procesa pranja i ispiranja, te metode za analizu sastava prikupljene kupelji nakon procesa pranja i ispiranja (effluent).

3.3.1. Remisijska spektrofotometrija

Analiza moći uklanjanja bućinog ulja u procesu pranja poliesterskog i poliester/pamuk pletiva provedena je mjerenjem spektralnih vrijednosti pletiva provedeno je pomoću remisijskog spektrofotometra Spectraflash SF 300, slika 22. Mjerenjem stupnja bjeline utvrđen je stupanj redepozicije.



Slika 22: Remisijski spektrofotometar Spectraflash SF 300, tt. Datacolor

Spektrofotometar je računalno vođen uređaj namijenjen mjerenju boje i bjeline plošnih površina (tekstil, papir, plastika, drvo, metal, itd.) i računalnom receptiranju. To je optički instrument koji na osnovu mjerenja razlike između upadne i od uzorka odbijene svjetlosti određuje vrijednosti remisije, tj. remisijske krivulje u spektralnom području od 360 do 700 nm.

Prije mjerenja provedena je kalibracija bijelim, crnim i zelenim standardom. Uvjeti kalibracije i mjerenja prikazani su u tablici 24.

Tablica 24: Uvjeti kalibracije i mjerenja

Parametar :	R ₄₆₀ (prije i nakon pranja)
% UV	90
Otvor blende	LAV
Specular	Excluded

Princip rada:

Uzorak se postavlja i učvršćuje posebnim držačem na mjerni otvor instrumenta i osvijetljava se iz izvora svjetlosti ugrađenog u instrument. Instrument mjeri valne duljine reflektiranog i apsorbiranog dijela upadne svjetlosti. Mjerni podaci pohranjuju se u računalnu bazu podataka iz koje se pomoću specijaliziranog računalnog programa izračunavaju daljnji parametri potrebni za definiranje boje, bjeline ili potrebni za provođenje postupka računalnog receptiranja.

U okviru ovog rada mjerena je remisija te bjelina pletiva. Remisija je izmjerena na neopranim i opranim uzorcima.

Rezultati dobiveni na spektrofotometru su relativne vrijednosti koje predstavljaju omjer energije svjetla reemitiranog od uzorka i energije svjetla reemitiranog od bijelog standarda. Na temelju tih mjerenja iskazana je srednja vrijednost remisije pri valnoj duljini 460 nm (R_{460}).

$$\Delta R_{460} = R_{p460} - R_{o460} \quad (1)$$

Učinak je iskazan razlikom srednjih vrijednosti pojedinačnih mjerenja remisije nakon (R_p) i prije pranja (R_o) kod valne duljine 460 nm (ΔR_{460}).

Na uzorcima prije i nakon procesa pranja izmjerena je remisija (R) i stupanj bjeline (W_{CIE}).

3.3.2. Metoda određivanja tvrdoće vode

U procesu pranja korištena je tvrda voda, čija je kvaliteta – tvrdoća određena pomoću *Aqua* testa, slika 23.



Slika 23: Brzi test za analizu tvrdoće vode

Postupak analize proveden je u tri koraka:

1. *Ispiranje epruvete vodom za analizu.*
2. *Punjenje epruvete vodom za analizu do oznake (5 mL).*
3. *Titrant se dodaje kap po kap, miješajući sadržaj u epruveti nakon svakog dodavanja. Dodane kapi se broje do trenutka promjene boje iz zelene u crvenu. Svaka kap dodana u epruvetu od 5 mL odgovara 1 °DH.*

ANALIZA KUPELJI ZA PRANJE I EFLUENTA

Analiza otopina deterdženta i prikupljenog efluenta od procesa pranja i ispiranja provedena je mjerenjem vrijednosti pH i vodljivosti, te količine anionske i neionske površinski aktivne tvari.

3.3.3. Određivanje vrijednosti pH i vodljivosti

Vrijednost pH i vodljivost kupelji za pranje određena je na multimetru SevenCompact™ Duo S213, pH/Conductivity Meter, slika 24.



Slika 24: Multimetar SevenCompact™ Duo S213

Vrijednost pH i vodljivost efluenta određeni su korištenjem istog uređaja, koji je prethodno kalibriran.

3.3.4. Potenciometrijsko određivanje površinski aktivnih tvari u kupelji za pranje i efluentu

S obzirom na sastav primijenjenog deterdženta kupelj za pranje i efluent je analiziran kroz sadržaj anionske i neionske površinski aktivne tvari, pri čemu je korišten auto – titrator prikazan na slici 25.



Slika 25: Auto – titrator 736 GP Titrino (Methrom)

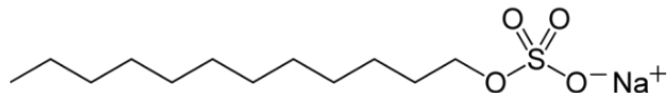
U radu su korištene ion-selektivne elektrode i referentna Ag/AgCl elektroda, obje proizvođača Metrohm.

3.3.4.1. Određivanje anionske površinski aktivne tvari u kupelji za pranje i efluentu

U ovoj analizi korišten je auto – titrator 736 GP Titrino, ion selektivna tenzidna elektroda (*High Sense Surfacant Electrode*) 6.0504.150 i referentna Ag/AgCl elektroda 6.0733.100, obje od proizvođača Methrom uz pomoć programskog paketa *Tiamo*.

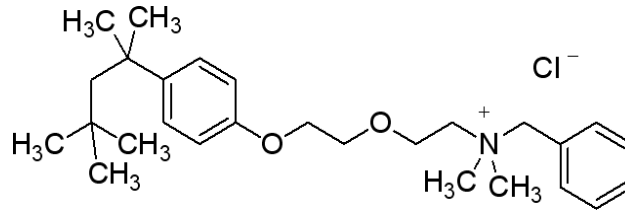
Korištene otopine za analitički dio postupka su:

Anionska površinski aktivna tvar: natrijev dodecil sulfat, standardna otopina (NLS), $M = 288,37 \text{ g/mol}$ (Merck)



$c = 0,004 \text{ mol/L}$

Kationska površinski aktivna tvar: Hyamine 1622, standardna otopina, $M = 448,09 \text{ g/mol}$ (Merck)



$c = 0,004 \text{ mol/L}$

Pufer pH 3 – citrat/kloridna kiselina

Metanol, 5 %

Destilirana voda

Analiza anionske površinski aktivne tvari u deterdžentu

- *Postupak*

Odvagati točno $2,5 \text{ g} \pm 0,01 \text{ g}$ deterdženta. Otopiti ga uz zagrijavanje u 200 ml vode. Prelići u odmjernu tikvicu od 500 mL i nadopuniti do oznake destiliranom vodom.

Određivanje anionske površinski aktivne tvari u deterdžentu

Otpipetira se 10 mL otopine deterdženta u čašicu od 150 mL. Doda se oko 100 mL destilirane vode i 5 mL metanola. Doda se i 10 mL pufera pH 3. U otopinu se stavi magnetski mješač kako bi za vrijeme titracije otopina bila dobro izmiješana i homogena. Uključi se titrator na zadanu metodu za određivanje anionske površinski aktivne tvari. Po završetku titracije očita se volumen utrošenog titranda Hyamine 1622.

Ovaj sustav za auto – titraciju izračunava postotni udio anionske površinski aktivne tvari u deterdžentu.

- *Izračunavanje postotnog udjela anionske površinski aktivne tvari u deterdžentu*

Postotni udio anionske površinski aktivne tvari u deterdžentu računa se prema formuli:

$$anionski_tenzid = \frac{V \cdot 0,004 \cdot M_m}{o} [\%] \quad (2)$$

gdje su:

o – sadržaj površinski aktivne tvari u alikvotu (mg)

V – utrošak titranta Hyamine 1622 (mL)

Mm – molarna masa površinski aktivne tvari koji se određuje (g/mol), 348,48 g/mol (mg/mmol)

Analiza anionske površinski aktivne tvari u efluentu

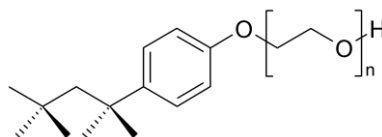
Iz prikupljenog efluenta odmjeri se 50 mL uzorka (odmjerna tikvica, 50 mL) i prenese u čašicu od 150 mL, doda 5 mL metanola, 5 mL pufera pH 3 i stavi mješač. Nakon podešavanja titracijskih parametara, očitani je volumen titranta (Hyamine 1622) i elektrodni potencijal izražen u mV.

3.3.4.2. Određivanje neionske površinski aktivne tvari u kupelji za pranje i efluentu

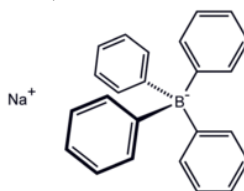
U ovoj analizi je korišten auto – titrator 736 GP Titrino, NIO ion selektivna elektroda 6.0507.010 i referentna Ag/AgCl elektroda 6.0733.100, obje proizvođača Metrohm.

Otopine za analitički dio postupka su:

- Triton X – 100



- Natrijevtetrafenil borat, NaTFB, standardna otopina, c = 0.001 mol/l



- Barijev klorid, BaCl₂, c = 0.1 mol/l
- Metanol, 5 %
- Destilirana voda

Analiza neionske površinski aktivne tvari u deterdžentu

Postupak

Odvagati točno 2,5 g ± 0,01 g deterdženta. Otopiti ga uz zagrijavanje u 200 ml vode. Preliti u odmjernu tikvicu od 500 ml i nadopuniti do oznake destiliranom vodom.

U čašicu se odpipetira se 10 mL alikvota (2,5 g deterdženta u 500 mL vode), doda 50 mL vode i 5 mL metanola. Potom se u otopinu stavi mješač i započne titracija. Tijekom prvih 10 sekundi titriranja dodaje se 10 mL BaCl₂. Po završetku titracije očita se volumen titranda.

Izračunavanje

Sadržaj neionske površinski aktivne tvari se izračuna u %.

$$\text{Neionska površinski aktivna tvar (\%)} = V_{\text{NaTFB}} \cdot F \cdot 100 / (m_{\text{uzorka u alikvotu}}) \quad (3)$$

F = 0,61 = kalibracijski faktor određen prema Triton X-100

$$\text{Neionska površinski aktivna tvar (\%)} = V_{\text{NaTFB}} \cdot 0,61 \cdot 100 / m_{\text{uzorka u alikvotu}}$$

m_{uzorka} u mg.

Analiza neionske površinski aktivne tvari u efluentu

Odmjeri se 50 mL alikvota i prenese u čašicu volumena 150 mL, gdje se stavi mješač, doda 5 mL metanola i započne titracija s NaTFB na način da je tijekom prvih 10 sekundi u analit doda 10 mL BaCl₂. Po završetku titracije očita se volumen titranda (NaTFB) i potencijal u mV.

4. REZULTATI

Mrlje od bućinog ulja nanese su na pletivo od poliestera i poliester/pamuka u dva položaja (A i B). Primarni učinak u procesu pranja ovih tekstilija zaprljanih bućinim uljem analiziran je metodom remisije spektrofotometrije. Rezultati primarnog učinka u procesu pranja pri navedenim uvjetima iskazani su tablično i grafički. Dodatno su tablično prikazane bjeline pletiva prije i nakon procesa pranja radi utvrđivanja učinka površinski aktivnih tvari u prevenciji stupnja redepozicije.

Analitički prikaz udjela anionskih i neionskih površinski aktivnih tvari dat je tablično, iskazivanjem njihovog udjela u radnim koncentracijama otopina deterdženta, otopina deterdženta s pletivima bez mrlja od bućinog ulja i otopine deterdženta s pletivima zaprljanim bućinim uljem.

Dodatno je analiziran udio oba tenzida u efluentu od procesa pranja u navedenim uvjetima.

4.1. PRIMARNI UČINAK PROCESA PRANJA

Mrlje od bućinog ulja na **poliesterskim pletivima (P₁ – P₅)** prije procesa pranja u dva položaja (A i B) izmjerene su na tri različita mjesta. Izračunata je prosječna vrijednost remisije pri 460 nm i statistički pokazatelji, standardna devijacija i koeficijent varijacije, tablica 25.

Tablica 25: Vrijednosti remisije uzoraka poliesterskog pletiva (P) zaprljanih bućinim uljem prije procesa pranja

Uzorak P	Kupelj	Položaj mrlje	R ₄₆₀ (%)			\bar{x} R ₄₆₀ (%)	σ (%)	CV (%)
			1	2	3			
P ₁	V	A	86,35	86,34	85,54	86,08	0,46	0,22
		B	86,31	85,28	85,37	85,65	0,57	0,32
P ₂	D – 1,25	A	85,18	85,42	83,90	84,83	0,81	0,67
		B	82,68	82,92	83,39	82,10	0,36	0,13
P ₃	D – 1,25 + E	A	85,58	84,07	84,52	84,72	0,77	0,60
		B	86,19	84,25	85,06	85,17	0,97	0,95
P ₄	D – 2,5	A	86,08	83,38	84,79	84,75	1,35	1,82
		B	85,51	84,94	84,87	85,11	0,35	0,12
P ₅	D – 2,5 + E	A	84,21	81,38	80,59	82,06	1,90	3,62
		B	85,85	81,27	82,29	83,14	2,40	5,78

Analiza prosječnih vrijednosti remisija i statističkih pokazatelja upućuje da su najniže vrijednosti i najveća odstupanja dobivena na polieterskom pletivu zaprljanim bućinim uljem, u procesu pranja u kupelji 2,5 g/L uz dodatak enzima.

Raspon vrijednosti remisije kreće se unutar vrijednosti od približno 82 do 86 %, što dokazuje da je nemoguće ručnim i prirodnim načinom prljanja dobiti jednoličan učinak.

Tablica 26: Vrijednosti remisije uzoraka poliester/pamuk pletiva (PP), zaprljanih bućinim uljem prije procesa pranja

Uzorak PP	Kupelj	Položaj mrlje	R ₄₆₀ (%)			\bar{x} R ₄₆₀ (%)	σ (%)	CV (%)
			1	2	3			
PP ₁	V	A	88,06	85,17	84,58	85,94	1,86	3,47
		B	85,61	86,51	86,92	86,35	0,67	0,45
PP ₂	D – 1,25	A	84,68	87,05	83,90	85,21	1,64	2,69
		B	86,38	84,97	86,35	85,90	0,81	0,65
PP ₃	D – 1,25 + E	A	87,08	87,09	88,36	87,51	0,74	0,54
		B	88,60	87,32	89,47	88,46	1,08	1,17
PP ₄	D – 2,5	A	90,70	92,11	89,73	90,85	1,19	1,43
		B	91,95	91,01	92,39	91,78	0,70	0,49
PP ₅	D – 2,5 + E	A	91,54	90,52	89,91	90,66	0,82	0,68
		B	91,76	89,08	90,80	90,55	1,36	1,84

Analiza prosječnih vrijednosti remisija i statističkih pokazatelja upućuje da su najniže vrijednosti i najveća odstupanja dobivena na poliester/pamuk pletivu zaprljanom bućinim uljem, a koje je predviđeno za proces pranja u kupelji 1,25 g/L deterdženta.

Raspon vrijednosti remisije kreće se unutar vrijednosti od približno 85 do 91 %.

Usporedba vrijednosti remisija na pletivima od poliestera i poliester/pamuka potvrđuje da pletivo od poliestera ima bolji afinitet za bućino ulje od poliester/pamuka, što je usklađeno s teoretskim spoznajama, a koje se odnose na kompatibilnost hidrofobnijih tekstilnih površina i hidrofobnih prljavština (bućino ulje).

Tablica 27: Vrijednosti remisije uzoraka poliesterskog pletiva (P), zaprljanih bućinim uljem nakon procesa pranja

Uzorak P*	Kupelj	Položaj mrlje	R ₄₆₀ (%)			\bar{x} R ₄₆₀ (%)	σ (%)	CV (%)
			1	2	3			
P ₁ *	V	A	90,07	91,37	89,69	90,38	0,88	0,78
		B	91,33	89,68	89,14	90,05	1,14	1,30
P ₂ *	D – 1,25	A	92,93	91,34	91,87	92,05	0,80	0,65
		B	93,51	90,89	91,16	91,85	1,44	2,08
P ₃ *	D – 1,25 + E	A	93,96	92,83	92,87	93,22	0,64	0,41
		B	93,92	92,52	92,23	92,89	0,90	0,82
P ₄ *	D – 2,5	A	93,05	93,49	93,09	93,21	0,24	0,06
		B	94,24	93,58	93,38	93,73	0,45	0,20
P ₅ *	D – 2,5 + E	A	94,88	93,47	93,42	93,92	0,82	0,69
		B	95,89	94,09	93,22	94,40	1,36	1,85

Više vrijednosti prosječne remisije pri 460 nm upućuju na ostvaren primarni učinak u procesu pranja poliesterskog pletiva zaprljanog bućinim uljem u navedenim uvjetima. Ujedno, vrijednosti statističkih pokazatelja nešto se razlikuju u odnosu na vrijednosti remisije prije procesa pranja. Utjecaj povišene koncentracije deterdženta i dodatak multienzimskog kompleksa je povoljna, vrijednosti remisije su povećane za nekoliko jedinica. Na uzorku poliesterskog pletiva opranom vodom je nešto povećana remisija, što pokazuje da je u procesu prisutan i utjecaj temperature, 60 °C kao čimbenika S.

Tablica 28: Vrijednosti remisije uzoraka poliester/pamuk pletiva (PP) zaprljanih bućinim uljem nakon procesa pranja

Uzorak PP*	Kupelj	Položaj mrlje	R ₄₆₀ (%)			\bar{x} R ₄₆₀ (%)	σ (%)	CV (%)
			1	2	3			
PP ₁ *	Voda	A	87,81	89,34	85,75	87,63	1,80	3,24
		B	89,54	87,25	86,20	87,66	1,71	2,91
PP ₂ *	D – 1,25	A	91,15	91,89	90,20	91,08	0,85	0,72
		B	90,43	88,31	89,29	89,34	1,06	1,12
PP ₃ *	D – 1,25 + E	A	90,45	90,76	89,79	90,33	0,49	0,24
		B	91,76	90,41	88,12	90,10	1,84	3,38
PP ₄ *	D – 2,5	A	91,85	92,16	91,07	91,69	0,56	0,31
		B	90,49	87,78	87,96	88,74	1,51	2,30
PP ₅ *	D – 2,5 + E	A	91,90	89,70	90,24	90,61	1,14	1,31
		B	91,23	88,29	88,85	89,46	1,56	2,43

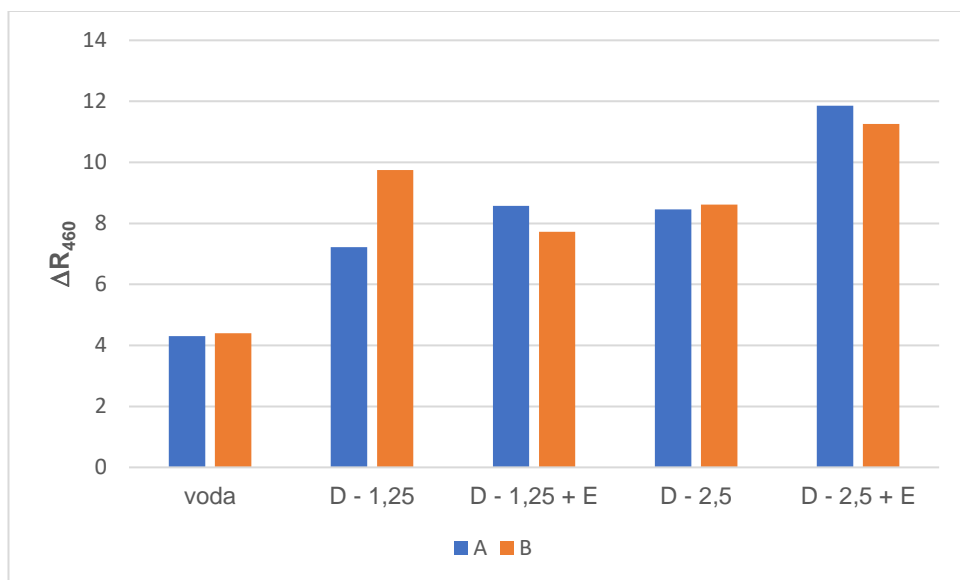
Više vrijednosti prosječne remisije pri 460 nm upućuju na ostvaren primarni učinak u procesu pranja poliester/pamuk pletiva zaprljanog bućinim uljem u navedenim uvjetima. Ujedno, vrijednosti statističkih pokazatelja nešto su više u odnosu na vrijednosti remisije prije procesa pranja, što pokazuje nejednoličnost u uklanjanju mrlje.

Prosječne vrijednosti remisije analiziranih pletiva zaprljanih bućinim uljem prije i nakon procesa pranja, kao i razlike u remisiji (ΔR_{460}), prikazane su tablično i grafički, tablica 29 i slika 26.

Tablica 29: Primarni učinak u pranju (ΔR_{460}) zaprljanja od bućinog ulja na pletivima od poliestera

Uzorak P	Kupelj	Položaj mrlje	R_{460} (%) Prije pranja	R_{460} (%) Nakon pranja	ΔR_{460}
P ₁	Voda	A	86,08	90,38	4,30
		B	85,65	90,05	4,40
P ₂	D – 1,25	A	84,83	92,05	7,22
		B	82,10	91,85	9,75
P ₃	D – 1,25 + E	A	84,72	93,22	8,57
		B	85,17	92,89	7,72
P ₄	D – 2,5	A	84,75	93,21	8,46
		B	85,11	93,73	8,62
P ₅	D – 2,5 + E	A	82,06	93,92	11,86
		B	83,14	94,40	11,26

Slika 26 prikazuje primarni učinak iskazan preko prosječnih vrijednosti remisije pri valnoj duljini 460 nm u procesu pranja pri navedenim uvjetima.

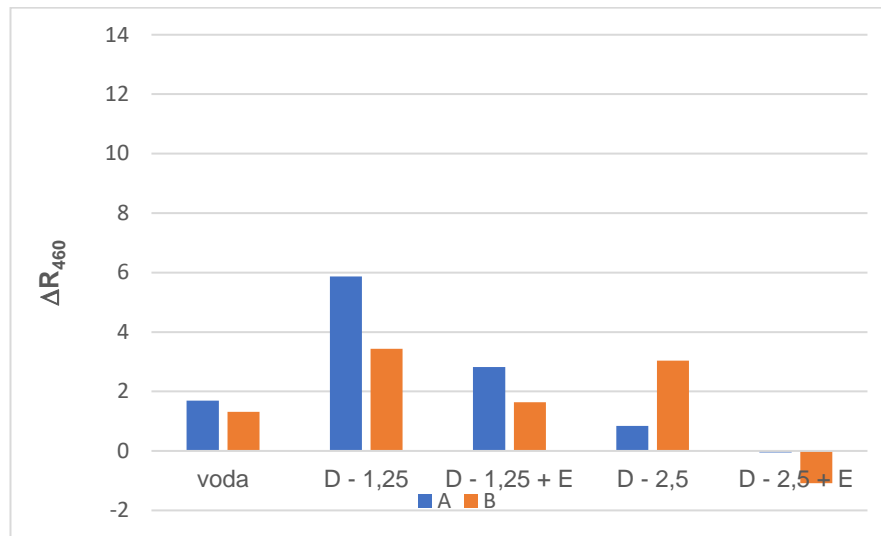


Slika 26: Primarni učinak u procesu pranja poliesterskog pletiva – utjecaj položaja mrlje (A, B)

Rezultati prikazani u tablici 30 i na slici 27 pokazuju razlike u primarnom učinku procesa pranja ovisno o položaju (A i B) i sastavu kupelji za pranje. Uzimajući u obzir položaj mrlje najveće razlike su dobivene u procesu pranja deterdžentom 1,25 g/L. Gotovo neznatne razlike dobivene su u procesu pranja vodom i D – 2,5. Nepovoljan utjecaj enzima vidljiv je u položaju B pri procesu pranja D – 1,25 + E i D – 2,5. Povoljan utjecaj enzimskog kompleksa zabilježen je u uvjetima procesa pranja kod D – 2,5 + E, gdje su ujedno najviše vrijednosti ΔR_{460} .

Tablica 30: Primarni učinak u pranju (ΔR_{460}) zaprljanja od bućinog ulja, uzorak poliester pamuk

Uzorak PP	Kupelj	Položaj mrlje	Prije pranja	Nakon pranja	ΔR_{460}
PP ₁	V	A	85,94	87,63	1,69
		B	86,35	87,66	1,31
PP ₂	D – 1,25	A	85,21	91,08	5,87
		B	85,90	89,34	3,44
PP ₃	D – 1,25 + E	A	87,51	90,33	2,82
		B	88,46	90,10	1,64
PP ₄	D – 2,5	A	90,85	91,69	0,84
		B	91,78	88,74	-3,04
PP ₅	D – 2,5 + E	A	90,66	90,61	-0,05
		B	90,55	89,46	-1,09



Slika 27: Primarni učinak u procesu pranja poliester/pamuk pletiva – utjecaj položaja mrlje (A, B)

Rezultati prikazani na slici 27 pokazuju slabiji primarni učinak procesa pranja poliester/pamuk pletiva u odnosu na poliestersko pletivo. Dobivene su veće razlike u primarnom učinku procesa pranja poliester/pamuk pletiva ovisno o položaju (A i B) i sastavu kupelji za pranje, u usporedbi s poliesterskim pletivom. Uzimajući u obzir položaj mrlje najveće razlike su dobivene u procesu pranja deterdžentom 1,25 g/L i 2,5 g/L. Nepovoljan utjecaj enzima vidljiv je u položaju A i B pri procesu pranja D – 1,25 i D – 2,5. Zaključno, viša koncentracija deterdženta (2,5 g/L) nije potrebna za proces pranja poliester/pamuk pletiva zaprljanog bućinim uljem. Ovako slab primarni učinak može biti uvjetovan vezanjem prirodnog pigmenta klorofila na pamučnu komponentu u mješavini.

4.1.1. Stupanj redepozicije

Stupanj redepozicije je važan kriterij, koji je analiziran mjerenjem stupnja bjeline pletiva prije i nakon procesa pranja u različitim uvjetima pri 60 °C.

Tablica 31: Stupanj bjeline poliesterskog pletiva prije i nakon procesa pranja

Oznaka	Uzorak P	W _{CIE}			W _{CIE}
		1	2	3	
-	N	149,6	149,9	151,5	150,3
P ₁ *	V	142,3	138,0	138,8	139,7
P ₂ *	D – 1,25	141,7	140,0	138,2	140,0
P ₃ *	D – 1,25 + E	142,3	138,8	140,4	140,5
P ₄ *	D – 2,5	142,9	140,5	138,2	140,5
P ₅ *	D – 2,5 + E	141,2	138,8	139,7	139,9

Početna vrijednost stupnja bjeline poliesterskog pletiva (150,3) potvrđuje da je ono optički bjeljeno. Rezultati stupnja bjeline iskazani u tablici 31 pokazuju da je proces pranja poliesterskog pletiva u navedenim uvjetima utjecao na smanjenje stupnja bjeline za oko 10 jedinica. Stupnjevi bjeline pletiva su gotovo podjednaki za sva oprana poliesterska pletiva. Ovaj pad stupnja bjeline pokazuje da je došlo do redepozicije u procesu pranja, odnosno tenzidi i enzimski kompleksi nisu uspjeli spriječiti ovu negativnu pojavu. Poznato je da je mrlja od bućinog ulja jedna od najtvrdokornijih u skupini ulja i masnoća, obogaćena prirodnim pigmentom, klorofilom, kako po pitanju uklanjanja s tekstilnih površina, tako i po pitanju otežane solubilizacije u procesu pranja.

Tablica 32: Stupanj bjeline poliester/pamuk pletiva prije i nakon procesa pranja

Oznaka	Uzorak PP	W _{CIE}			W _{CIE}
		1	2	3	
-	N	140,5	138,6	139,2	139,43
PP ₁ *	V	135,6	129,5	134,4	133,17
PP ₂ *	D – 1,25	138,2	137,1	137,3	137,53
PP ₃ *	D – 1,25 + E	138,2	137,6	134,5	136,77
PP ₄ *	D – 2,5	139,9	139,3	135,0	138,07
PP ₅ *	D – 2,5 + E	139,0	134,9	139,9	137,93

Početna vrijednost stupnja bjeline poliester/pamuk pletiva (140,5) potvrđuje da je ono optički bjeljeno. Rezultati stupnja bjeline iskazani u tablici 32 pokazuju da je proces pranja poliester/pamuk pletiva u navedenim uvjetima utjecao na blago smanjenje stupnja bjeline, najviše za 6,5 jedinica.

Stupnjevi bjeline poliester/pamuk pletiva razlikuju se za pojedine uvjete pranja. Najveći pad bjeline poliester/pamuk pletiva zabilježen je nakon procesa pranja u vodi. Enzimatski kompleks dodan deterdžentu po kriteriju stupnja bjeline nije dao povoljan učinak u odnosu na proces pranja u deterdžentu.

Manji pad stupnja bjeline poliester/pamuk pletiva u odnosu na poliestersko pletivo pokazuje da je došlo do neznatne redepozicije u procesu pranja deterdžentom, odnosno da su tenzidi donekle uspjeli zadržati stupanj bjeline.

4.2. ANALIZA KUPELJI ZA PRANJE

Kako je u eksperimentalnom dijelu naznačeno, proces pranja proveden je u 5 različitih kupelji za pranje: deterdžent (D – 1,25), deterdžent uz dodatak enzimskog kompleksa (D – 1,25 + E), deterdžent (D – 2,5), deterdžent uz dodatak enzimskog kompleksa (D – 2,5 + E) i vodi (V).

U kupeljima za pranje provedena je analiza:

Vrijednosti pH

Vodljivosti

Udjela anionskog tenzida

Udjela neionskog tenzida.

Otopine za pranje (D – 1,25; D – 1,25 + E; D – 2,5; D – 2,5 + E) analizirane su kroz vrijednost pH i vodljivost (tablica 33), anionskih tenzida (tablica 34) i neionskih tenzida (tablica 35).

Tablica 33: Vrijednost pH i vodljivost u kupelji za pranje

Kupelj	pH	κ (mS/cm)	T (°C)
D – 1,25	8,858	1007	25
D – 1,25 + E	8,826	1018	25
D – 2,5	9,401	1540	25
D – 2,5 + E	9,432	1550	25
V	6,962	611,4	25

Kako je vidljivo iz tablice 33, a sukladno teorijskim spoznajama, vrijednost pH ovisi o koncentraciji deterdženta. Dobivene vrijednosti pokazuju alkalnost svih kupelji za

proces pranja, pH ~ 8,8 za koncentraciju 1,25 g/L, a pH ~ 9,4. Dodatak enzimskog kompleksa nije utjecao na promjenu vrijednosti pH kupelji za pranje.

Sukladno navedenom razlikuje se i vodljivost analiziranih otopina pri čemu ona iznosi oko 1000 mS/cm za otopinu 1,25 g/L, a oko 1500 mS/cm za otopinu 2,5 g/L, pri istoj temperaturi. Dodatak enzimskog kompleksa povećao je vodljivost za oko 10 jedinica radi prisutnosti soli unutar ove formulacije, kako je to prikazano u tablici 33.

Određen je maseni udio anionske površinski aktivne tvari u otopinama deterdženta, tablica 34.

Tablica 34: Anionska površinski aktivna tvar u kupelji za pranje

Kupelj	Hyamine 1622	Anionski	Hyamine 1622	Anionski	Hyamine 1622	Anionski	Prosječno
	V ₁ (mL)	w (%)	V ₂ (mL)	w (%)	V ₃ (mL)	w (%)	w (%)
D – 1,25	0,8939	9,97	1,0345	11,54	0,9432	10,52	10,68
D – 1,25 + E	0,8783	9,79	0,9422	10,50	0,8862	9,88	10,06
D – 2,5	2,0353	11,34	2,2034	12,28	2,1901	12,21	11,94
D – 2,5 + E	2,4254	13,52	2,4894	13,88	/	/	13,7

Na temelju podataka u tablici 34 vidljive su razlike u masenom udjelu anionske površinski aktivne tvari, natrijevog dodecil benzen sulfonata kroz tri pojedinačna mjerenja. Prosječna vrijednost anionskog tenzida u kupelji 1,25 g/L iznosi oko 10 %, a u kupelji 2,5 g/L oko 12 %. Dodatak enzima utječe na maseni udio anionske površinski aktivne tvari u analizi, na način da smanjuje njegov udio u otopini 1,25 g/L, a povećava u otopini 2,5 g/L. Sukladno dobivenim rezultatima nije moguće jednoznačno odrediti utjecaj enzimskog kompleksa, pa se dobivene razlike mogu pripisati osjetljivosti potenciometrijske titracije kojom su analizirane anionske površinski aktivne tvari.

Tablica 35: Neionske površinske aktivne tvari u kupelji za pranje

Kupelj	NTFB	Neionski	NTFB	Neionski	Prosječno
	V ₁ (mL)	w (%)	V ₂ (mL)	w (%)	w (%)
D – 1,25	1,7139	8,36	1,6233	7,92	8,14
D – 1,25 + E	1,8495	9,02	1,7725	8,64	8,83
D – 2,5	2,9377	7,16	3,1	7,56	7,36
D – 2,5 + E	3,4262	8,35	3,3	8,05	8,2

Na temelju podataka u tablici 35 vidljive su manje razlike u masenom udjelu neionske površinski aktivne tvari u otopini deterdženta, etoksilirani masni alkohol, C 12 – 18 (7EO) kroz tri pojedinačna mjerenja, određenog u odnosu na Triton X – 100. Prosječna vrijednost neionske površinske aktivne tvari u kupelji 1,25 g/L iznosi oko 8 %, a u kupelji 2,5 g/L oko 7 %. Dodatak enzima utječe na maseni udio neionske površinske aktivne tvari, na način da njegov udio povećava u obe otopine (1,25 g/L i 2,5 g/L). Sukladno dobivenim rezultatima nije moguće jednoznačno odrediti utjecaj enzimatskog kompleksa, pa se dobivene razlike mogu pripisati osjetljivosti potenciometrijske titracije kojom su analizirane neionske površinske aktivne tvari. Dodatno, dobiveni maseni udio odstupa od očekivanih vrijednosti prema sastavu standardnog ECE A deterdženta. U skladu s time, rezultati dobiveni za neionske površinske aktivne tvari se neće moći povezati s primarnim učinkom u procesu pranja. Razlog ovako visokih udjela neionske površinske aktivne tvari može imati slab odziv NIO tenzidne elektrode zbog dotrajalosti.

4.3. ODREĐIVANJE POVRŠINSKE AKTIVNE TVARI U EFLUENTU OD PROCESA PRANJA

U ovom poglavlju prikazani su rezultati analize površinske aktivne tvari u kupeljima:

- 1,25 g/L deterdženta gdje se pralo poliestersko pletivo
- 2,5 g/L deterdženta gdje se pralo poliestersko pletivo
- 1,25 g/L deterdženta uz enzimski kompleks gdje se pralo poliestersko pletivo
- 2,5 g/L deterdženta uz enzimski kompleks gdje se pralo poliestersko pletivo
- 1,25 g/L deterdženta gdje se pralo poliester/pamuk pletivo
- 2,5 g/L deterdženta gdje se pralo poliester/pamuk pletivo
- 1,25 g/L deterdženta uz enzimski kompleks gdje se pralo poliester/pamuk pletivo
- 2,5 g/L deterdženta uz enzimski kompleks gdje se pralo poliester/pamuk pletivo

i analize površinski aktivne tvari u sustavu kupelj za pranje/pletiva zaprljana bućinim uljem:

- 1,25 g/L deterdženta gdje se pralo poliestersko pletivo
- 2,5 g/L deterdženta gdje se pralo poliestersko pletivo
- 1,25 g/L deterdženta uz enzimski kompleks gdje se pralo poliestersko pletivo
- 2,5 g/L deterdženta uz enzimski kompleks gdje se pralo poliestersko pletivo

- 1,25 g/L deterdženta gdje se pralo poliester/pamuk pletivo
- 2,5 g/L deterdženta gdje se pralo poliester/pamuk pletivo
- 1,25 g/L deterdženta uz enzimski kompleks gdje se pralo poliester/pamuk pletivo
- 2,5 g/L deterdženta uz enzimski kompleks gdje se pralo poliester/pamuk pletivo.

Nakon provedenog procesa pranja prikupljen je efluent koji u sebi sadrži komponente, neutrošene u procesu pranja, pa se mogu smatrati otpadnim.

4.3.1. Proces pranja pletiva bez mrlja

U tablicama 36 i 39 prikazane su vrijednosti pH i vodljivosti efluenata nakon pranja oba pletiva bez mrlja od bućinog ulja.

Tablica 36: Vrijednost pH i vodljivost efluenta od procesa pranja poliesterskog pletiva bez bućinog ulja

Oznake P	Kupelj	pH	κ (mS/cm)	T (°C)
P ₁	V	7,562	539,3	25
P ₂	D – 1,25	8,866	1150	25
P ₃	D – 1,25 + E	8,862	1115	25
P ₄	D – 2,5	9,291	1548	25
P ₅	D – 2,5 + E	9,280	1605	25

Vrijednosti pH i vodljivost analiziranih efluenata se razlikuju ovisno o sastavu početne kupelji s obzirom da je materijal isti. Vrijednosti vodljivosti su gotovo podjednake vrijednostima prikazanim u tablici 33. Prema ovim rezultatima poliestersko pletivo nije kontaminiralo kupelj za pranje, odnosno nisu ispuštene nikakve tvari.

Tablica 37: Anionske površinske aktivne tvari u efluentu od procesa pranja **poliesterskog pletiva bez bućinog ulja**

Kupelj	Hyamine 1622	Anionski	Hyamine 1622	Anionski	Hyamine 1622	Anionski	Prosječno
	V ₁ (mL)	w (%)	V ₂ (mL)	w (%)	V ₃ (mL)	w (%)	w (%)
D – 1,25	0,6395	7,13	0,6600	7,35	/	/	7,24
D – 1,25 + E	0,7876	8,78	0,7861	8,76	/	/	8,77
D – 2,5	1,6262	9,06	1,5742	8,77	/	/	8,92
D – 2,5 + E	1,6860	9,40	1,7794	9,92	1,7729	9,98	9,77

Na temelju prikazanih vrijednosti u tablici 37 vidljiv je utjecaj enzimskog kompleksa dodanog u obe koncentracije deterdženta.

Tablica 38: Neionske površinske aktivne tvari u efluentu od procesa pranja **poliesterskog pletiva bez bućinog ulja**

Kupelj	NTFB	Neionski	NTFB	Neionski	NTFB	Neionski	Prosječno
	V ₁ (mL)	w (%)	V ₁ (mL)	w (%)	V ₁ (mL)	w (%)	w (%)
D – 1,25	1,7139	8,36	1,7624	8,60	/	/	8,48
D – 1,25 + E	1,8495	9,02	1,9	9,27	/	/	9,15
D – 2,5	2,9377	7,17	3,15	7,68	3,2847	8,01	7,62
D – 2,5 + E	3,4262	8,35	3,5278	8,60	/	/	8,48

Tablica 39: Vrijednost pH i vodljivost efluenta od procesa pranja **poliester/pamuk pletiva bez bućinog ulja**

Oznake PP	Kupelj	pH	κ (mS/cm)	T (°C)
PP ₁	V	7,955	683,2	25
PP ₂	D – 1,25	8,774	1087	25
PP ₃	D – 1,25 + E	8,781	1087	25
PP ₄	D – 2,5	9,328	1622	25
PP ₅	D – 2,5 + E	9,335	1603	25

Vrijednosti pH i vodljivost analiziranih efluenata razlikuju se ovisno o sastavu početne kupelji s obzirom da je materijal isti. Vrijednosti vodljivosti su gotovo podjednake vrijednostima prikazanim u tablici 36. Prema ovim rezultatima

poliestersko pletivo nije kontaminiralo kupelj za pranje, odnosno nisu ispuštene nikakve tvari.

Tablica 40: Anionske površinske aktivne tvari u efluentu od procesa pranja poliester/pamuk pletiva bez bućinog ulja

Kupelj	Hyamine 1622	Anionski	Hyamine 1622	Anionski	Hyamine 1622	Anionski	Prosječno
	V ₁ (mL)	w (%)	V ₂ (mL)	w (%)	V ₃ (mL)	w (%)	w (%)
D – 1,25	0,5247	5,8	0,6680	7,43	0,5023	5,60	6,28
D – 1,25 + E	0,4924	5,85	0,5785	6,45	0,6870	7,66	6,65
D – 2,5	1,5124	8,43	1,5569	8,68	/	/	8,56
D – 2,5 + E	1,4920	8,31	1,6113	8,98	1,5224	8,48	8,59

Na temelju prikazanih vrijednosti u tablici 40 ne uočava se utjecaj enzimskog kompleksa dodanog u obe koncentracije deterdženta.

Tablica 41: Neionske površinske aktivne tvari u efluentu od procesa pranja poliester/pamuk pletiva bez bućinog ulja

Kupelj	NTFB	Neionski	NTFB	Neionski	NTFB	Neionski	Prosječno
	V ₁ (mL)	w (%)	V ₂ (mL)	w (%)	V ₃ (mL)	w (%)	w (%)
D – 1,25	1,7159	8,37	1,9698	9,61	1,7572	8,57	8,85
D – 1,25 + E	1,7754	8,66	1,7506	8,54	/	/	8,6
D – 2,5	3,3067	8,06	3,3724	8,22	/	/	8,14
D – 2,5 + E	3,4212	8,34	/	/	3,5005	8,54	8,44

S obzirom da su načinjena tri pojedinačna mjerenja udjela anionske i neionske površinske aktivne tvari, u tablici 42 i 43 su prikazane prosječne vrijednosti masenog udjela ovih površinsko aktivnih tvari.

Tablica 42: Prosječne vrijednosti anionske površinske aktivne tvari u efluentu nakon pranja nezaprljanih uzoraka pletiva

Kupelji	P	PP
	w (%) anionski	
D – 1,25	7,24	6,28
D – 1,25 + E	8,77	6,65
D – 2,5	8,92	8,56
D – 2,5 + E	9,77	8,59

Udio anionske površinske aktivne tvari u efluentima razlikuje se ovisno o vrsti pletiva, pri čemu je njihov udio u efluentu od procesa pranja poliester/pamuk pletiva niži u odnosu na poliestersko pletivo. Ova razlika može se pripisati svojstvima pletiva, prvenstveno adsorptivnosti pamučne komponente u mješavini poliester/pamuk.

Tablica 43: Prosječne vrijednosti neionske površinske aktivne tvari u efluentu nakon pranja nezaprljanih uzoraka pletiva

Kupelji	P	PP
	w (%) neionski	
D – 1,25	8,48	8,85
D – 1,25 + E	9,15	8,6
D – 2,5	7,62	8,14
D – 2,5 + E	8,48	8,44

4.3.2. Proces pranja pletiva zaprljanih bućinim uljem

Kupelj poslije pranja – P*

Tablica 44: Vrijednost pH i vodljivost efluenta od procesa pranja poliesterskog pletiva s bućinim uljem

Kupelj	pH	κ (mS/cm)	T (°C)
V*	7,738	602,6	25
D – 1,25*	8,567	1064	25
D – 1,25 + E*	8,352	1056	25
D – 2,5*	9,130	1561	25
D – 2,5 + E*	9,077	1555	25

Vrijednosti pH i vodljivost analiziranih efluenta nakon procesa pranja poliesterskog pletiva zaprljanog bućinim uljem nisu značajno različite u odnosu na vrijednosti dobivene za efluent nakon procesa pranja istog pletiva bez bućinog ulja. Dodatak enzimskog kompleksa u deterdžent utjecao je na smanjenje vrijednosti pH i vodljivosti, što može biti obrazloženo djelovanjem enzimskog kompleksa sa zaprljanjem od bućinog ulja.

Tablica 45: Anionske površinske aktivne tvari u efluentu od procesa pranja poliesterskog pletiva s bućinim uljem

Kupelj	Hyamine 1622	Anionski	Hyamine 1622	Anionski	Hyamine 1622	Anionski	Prosječno
	V ₁ (mL)	w (%)	V ₂ (mL)	w (%)	V ₃ (mL)	w (%)	w (%)
D – 1,25*	0,4769	5,31	0,5460	6,08	0,5562	6,20	5,86
D – 1,25 + E*	0,5430	6,05	0,5743	6,40	0,6184	6,89	6,45
D – 2,5*	1,6660	9,28	1,2776	7,12	1,6302	9,08	8,49
D – 2,5 + E*	1,8844	10,50	1,7401	9,7	1,9786	11,03	10,41

Na temelju prikazanih vrijednosti u tablici 45 vidljiv je utjecaj enzimskog kompleksa dodanog u obe koncentracije deterdženta. Udio anionske površinske aktivne tvari u efluentu nakon procesa pranja s 1,25 g/L deterdženta i 1,25 g/L deterdženta uz enzimski kompleks niži u odnosu na efluent nakon procesa pranja poliesterskog pletiva bez bućinog ulja. To je očekivano s obzirom na djelovanje anionskog tenzida na uljnu mrlju pri 60 °C.

Tablica 46: Neionske površinske aktivne tvari u efluentu od procesa pranja poliesterskog pletiva s bućinim uljem

Kupelj	NTFB	Neionski	NTFB	Neionski	NTFB	Neionski	Prosječno
	V ₁ (mL)	w (%)	V ₂ (mL)	w (%)	V ₃ (mL)	w (%)	w (%)
D – 1,25*	1,3264	6,47	1,3411	6,54	/	/	6,51
D – 1,25 + E*	1,3563	6,61	1,4694	7,17	/	/	6,89
D – 2,5*	2,9170	7,11	3,0095	7,34	/	/	7,23
D – 2,5 + E*	3,2	7,80	3,1	7,56	3,0360	7,40	7,59

Tablica 47: Vrijednost pH i vodljivost efluenta od procesa pranja **poliester/pamuk** pletiva s bućinim uljem

Kupelj	pH	κ (mS/m)	T (°C)
V*	7,634	653,6	25
D – 1,25*	8,345	1102	25
D – 1,25 + E*	8,218	1085	25
D – 2,5*	8,992	1584	25
D – 2,5 + E*	8,976	1602	25

Vrijednosti pH i vodljivost analiziranih efluenata od procesa pranja poliester/pamuk pletiva s bućinim uljem se razlikuju ovisno o sastavu početne kupelji s obzirom da je materijal isti. Vrijednosti vodljivosti su gotovo podjednake vrijednostima prikazanim u tablici 39. Prema ovim rezultatima poliester/pamuk pletivo nije kontaminiralo kupelj za pranje kao ni mrlje od bućinog ulja, koje su organskog podrijetla.

Tablica 48: Anionske površinske aktivne tvari u efluentu od procesa pranja **poliester/pamuk pletiva s bućinim uljem**

Kupelj	Hyamine 1622	Anionski	Hyamine 1622	Anionski	Hyamine 1622	Anionski	Prosječno
	V ₁ (mL)	w (%)	V ₂ (mL)	w (%)	V ₃ (mL)	w (%)	w (%)
D – 1,25*	0,3858	4,30	0,5154	5,74	0,4271	4,76	4,93
D – 1,25 + E*	0,3816	4,25	0,4180	4,66	/	/	4,46
D – 2,5*	1,4036	7,82	1,2599	7,02	1,3040	7,27	7,37
D – 2,5 + E*	1,2839	7,15	1,3414	7,47	/	/	7,31

Iz rezultata udjela anionskog tenzida u efluentima od procesa pranja poliester/pamuk pletiva s bućinim uljem u kupelji 1,25 g/L i 2,5 g/L deterdženta utjecaj enzimskog kompleksa nije jako izražajan, što se može pripisati sinergijskom djelovanju anionskog tenzida i multienzimskog kompleksa.

Tablica 49: Neionske površinske aktivne tvari u efluentu od procesa pranja poliester/pamuk pletiva s bućinim uljem

Kupelj	NTFB	Neionski	NTFB	Neionski	NTFB	Neionski	Prosječno
	V ₁ (mL)	w (%)	V ₂ (mL)	w (%)	V ₃ (mL)	w (%)	w (%)
D – 1,25*	1,3992	6,83	1,4579	7,11	/	/	6,97
D – 1,25 + E*	1,3612	6,64	1,4001	6,83	/	/	6,74
D – 2,5*	3,2650	7,97	3,3761	8,24	/	/	8,16
D – 2,5 + E*	3,5036	8,55	3,5000	8,54	/	/	8,55

Tablica 50: Prosječne vrijednosti anionske površinske aktivne tvari u efluentu nakon procesa pranja poliester i poliester/pamuk pletiva s bućinim uljem

Kupelji	P*	PP*
	w (%) anionski	
D – 1,25*	5,86	4,93
D – 1,25 + E*	6,45	4,46
D – 2,5*	8,49	7,37
D – 2,5 + E*	10,41	7,31

Udio anionskih tenzida u efluentima nakon pranja procesa pranja poliester i poliester/pamuk pletiva s bućinim uljem razlikuje se ovisno o vrsti pletiva, pri čemu je njihov udio u efluentu od procesa pranja poliester/pamuk pletiva niži u odnosu na poliestersko pletivo. Ova razlika može se pripisati svojstvima pletiva, prvenstveno adsorptivnosti pamučne komponente u mješavini poliester/pamuk.

Tablica 51: Prosječne vrijednosti neionske površinski aktivne tvari u efluentu nakon pranja procesa pranja poliester i poliester/pamuk pletiva s bućinim uljem

Kupelji	P*	PP*
	w (%) neionski	
D – 1,25*	6,51	6,97
D – 1,25 + E*	6,89	6,74
D – 2,5*	7,23	8,16
D – 2,5 + E*	7,59	8,55

4.4. ANALIZA POVRŠINSKI AKTIVNE TVARI

U tablici 52 i 53 izdvojene su vrijednosti anionske površinski aktivne tvari u kupeljima prije ulaganja čistoga pletiva, u kupelji s uloženim pletivom zaprljanoga bućinim uljem i u efluentu.

4.4.1. Analiza anionski površinski aktivne tvari – poliestersko pletivo

Tablica 52: Udio anionske površinske aktivne tvari u kupelji prije pranja i u efluentu od procesa pranja **poliesterskog pletiva bez mrlja**

Kupelji P	Prije pranja	Poslije pranja
	w (%) anionski	
D – 1,25	10,68	7,24
D – 1,25 + E	10,06	8,77
D – 2,5	11,94	8,92
D – 2,5 + E	12,83	9,77

Tablica 53: Udio anionske površinske aktivne tvari u kupelji prije pranja i u efluentu od procesa pranja **poliesterskog pletiva s mrljom od bućinog ulja**

Kupelji P	Prije pranja	Poslije pranja	Δw (%)
	w (%) anionski		
D – 1,25	10,68	5,86	4,82
D – 1,25 + E	10,06	6,45	3,61
D – 2,5	11,94	8,49	3,45
D – 2,5 + E	12,83	10,41	2,42

Tablica 54: Izdvojene vrijednosti udjela anionske površinske aktivne tvari u kupelji prije pranja, efluentu od procesa pranja **poliesterskog pletiva bez mrlja i efluentu od procesa pranja poliesterskog pletiva s mrljom od bućinog ulja**

Kupelji	K	P	P*
	Δw (%) anionski		
D – 1,25*	10,68	7,24	5,86
D – 1,25 + E*	10,06	8,77	6,45
D – 2,5*	11,94	8,92	8,49
D – 2,5 + E*	12,83	9,77	10,41

Analiza rezultata u tablici 54 pokazuje međusobne razlike unutar analiziranih skupina, što potvrđuje interakcije – utjecaj sastava kupelji i vrste tekstilije ovisno o stupnju zaprljanja. Vidljivo je da udio anionske površinske aktivne tvari ovisi o koncentraciji deterdženta, te dodatku enzimskog kompleksa. Rezultati su potvrdili da je koncentracija deterdženta 1,25 g/L dostatna za postizanje primarnog učinka u procesu pranja. Utjecaj enzimskog kompleksa razlikuje se u sustavu s mrljom i bez mrlje. Vidljiv je povoljan utjecaj u otopini deterdženta 2,5 + E što implicira da je moguće smanjiti njegovu koncentraciju.

4.4.2. Analiza anionske površinski aktivne tvari – poliester/pamuk pletivo

Tablica 55: Udio anionske površinske aktivne tvari u kupelji prije pranja i u efluentu od procesa pranja poliester/pamuk pletiva bez mrlja

Kupelji PP	Prije pranja	Poslije pranja	Δw (%)
	w (%) anionski		
D – 1,25	10,68	6,28	4,4
D – 1,25 + E	10,06	6,65	3,41
D – 2,5	11,94	8,56	3,38
D – 2,5 + E	12,83	8,59	4,24

Tablica 56: Udio anionske površinske aktivne tvari u kupelji prije pranja i u efluentu od procesa pranja poliester/pamuk pletiva s mrljom od bućinog ulja

Kupelji PP	Prije pranja	Poslije pranja	Δw (%)
	w (%) anionski		
D – 1,25	10,68	4,93	5,75
D – 1,25 + E	10,06	4,46	5,60
D – 2,5	11,94	7,37	4,57
D – 2,5 + E	12,83	7,31	5,52

Tablica 57: Izdvojene vrijednosti udjela anionske površinske aktivne tvari u kupelji prije pranja, efluentu od procesa pranja **poliester/pamuk pletiva bez mrlja i efluentu od procesa pranja poliester/pamuk pletiva s mrljom od bućinog ulja**

Kupelji	K	PP	PP*
	Δw (%) anionski		
D – 1,25*	10,68	6,28	4,93
D – 1,25 + E*	10,06	6,65	4,46
D – 2,5*	11,94	8,56	7,37
D – 2,5 + E*	12,83	8,59	7,31

Analiza rezultata u tablici 57 pokazuje međusobne razlike unutar analiziranih skupina, što potvrđuje utjecaje sastava kupelji i tekstilije ovisno o stupnju zaprljanja. Vidljivo je da udio anionske površinski aktivne tvari ovisi o koncentraciji deterdženta, te dodatku enzimskog kompleksa. Rezultati su potvrdili da je koncentracija deterdženta 1,25 g/L dostatna za postizanje primarnog učinka u procesu pranja. Utjecaj enzimskog kompleksa je minoran u oba efluenta, neovisno da li je poliester/pamuk pletivo zaprljano ili nije. Na temelju ovih rezultata moguće je smanjiti koncentraciju deterdženta za pranje poliester/pamuk pletiva zaprljanog bućinim uljem.

4.4.3. Analiza neionske površinski aktivne tvari – poliestersko pletivo

Tablica 58: Udio neionske površinske aktivne tvari u **kupelji prije pranja i u efluentu od procesa pranja poliesterskog pletiva bez mrlja**

Kupelji P	Prije pranja	Poslije pranja	Δw (%)
	w (%) neionski		
D – 1,25	8,14	8,48	-0,34
D – 1,25 + E	8,83	9,15	-0,32
D – 2,5	7,36	7,62	-0,26
D – 2,5 + E	8,2	8,48	-0,28

Kako je već ranije naglašeno da ionselektivna NIO elektroda nije imala dobar odziv, ovaj negativan rezultat se može obrazložiti ovom istaknutom činjenicom.

Tablica 59: Udio neionske površinske aktivne tvari u kupelji prije pranja i u efluentu od procesa pranja **poliesterskog pletiva s mrljom od bućinog ulja**

Kupelji P	Prije pranja	Poslije pranja	Δw (%)
	w (%) neionski		
D – 1,25	8,14	6,51	1,63
D – 1,25 + E	8,83	6,89	1,94
D – 2,5	7,36	7,23	0,13
D – 2,5 + E	8,2	7,59	0,61

4.4.4. Analiza neionske površinski aktivne tvari – poliester/pamuk pletivo

Tablica 60: Udio neionske površinske aktivne tvari u kupelji prije pranja i u efluentu od procesa pranja **polyester/pamuk s pletiva bez mrlja**

Kupelji PP	Prije pranja	Poslije pranja	Δw (%)
	w (%) neionski		
D – 1,25	8,14	8,85	-0,71
D – 1,25 + E	8,83	8,6	0,23
D – 2,5	7,36	8,14	-0,78
D – 2,5 + E	8,2	8,44	-0,24

Tablica 61: Udio neionske površinske aktivne tvari u kupelji prije pranja i u efluentu od procesa pranja **poliesterskog pletiva s mrljom bućinoga ulja**

Kupelji PP	Prije pranja	Poslije pranja	Δw (%)
	w (%) neionski		
D – 1,25	8,14	6,97	1,17
D – 1,25 + E	8,83	6,74	2,09
D – 2,5	7,36	8,16	-0,8
D – 2,5 + E	8,2	8,55	-0,35

4.5. SINTEZA REZULTATA - VRIJEDNOSTI pH I VODLJIVOSTI – kupelj za pranje

Tablica 62: Analiza kupelji za pranje preko parametra vrijednosti pH

Kupelji	pH				
	O	P	P*	PP	PP*
D – 1,25	8,858	8,866	8,567	8,774	8,345
D – 1,25 + E	8,826	8,862	8,352	8,781	8,218
D – 2,5	9,401	9,291	9,130	9,328	8,992
D – 2,5 + E	9,432	9,280	9,077	9,335	8,976

Temeljita analiza vrijednosti pH u tablici 62 pokazuje neznatan utjecaj vrste nezaprljanoga pletiva od poliestera i poliester/pamuka. Dodatak zaprljanog poliesterskog i poliester/pamuk pletiva vrijednosti pH se smanjuju, što se može pripisati saponifikaciji viših masnih kiselina u bućinom ulju.

Tablica 63: Analiza kupelji za pranje preko parametra vodljivosti

Kupelji	κ (mS/m)				
	O	P	P*	PP	PP*
D – 1,25	1007	1150	1064	1087	1102
D – 1,25 + E	1018	1115	1056	1087	1085
D – 2,5	1540	1548	1561	1622	1584
D – 2,5 + E	1550	1605	1555	1603	1602

Temeljita analiza vrijednosti vodljivosti pokazuje utjecaj vrste pletiva, na način da se vodljivost povećava. Stupanj zaprljanja pletiva utječe na vodljivost kupelji, pri čemu je vrijednost vodljivosti kupelji D – 2,5 i D – 2,5 + E gdje je za zaprljani poliester smanjena u odnosu na neprljani uzorak, tablica 63.

5. ZAKLJUČAK

U radu je analiziran utjecaj procesa pranja pletiva od poliestera i poliester/pamuka prije i nakon prljanja bućinim uljem kroz varijaciju sastava kupelji za pranje, pri čemu su ostali čimbenici Sinnerovoga kruga (mehanika, temperatura: 60 °C i vrijeme: 40 minuta) bili nepromijenjeni. Kupelj za proces pranja varirana je kroz slijedeći sastav:

- tvrda voda (V)
- deterdžent (D – 1,25)
- deterdžent (D – 2,5)
- deterdžent uz dodatak multienzimskog kompleksa (D – 1,25 + E)
- deterdžent uz dodatak multienzimskog kompleksa (D – 2,5 + E)

Postignuti učinci u procesu pranja vrednovani su:

- praćenjem remisije s pletiva i stupnja njihove bjeline.
- analizom kupelji za pranje i efluenta kroz vrijednost pH, vodljivost, te udio anionskih i neionskih površinski aktivnih tvari.

Rezultati primarnog učinka procesa pranja poliesterskog pletiva zaprljanog bućinim uljem pokazuju na razlike uvjetovane sastavom kupelji za pranje. Najbolji učinak dobiven je u kupelji D – 2,5 +E, gdje je utjecaj enzimskog preparata povoljan u odnosu na D – 2,5. Međutim, enzimski preparat nije pokazao povoljan učinak uz koncentraciju D – 1,25.

Razlike u položaju A i B nakon procesa pranja u vodi su neznatne, dok su razlike između položaja A i položaja B u kupeljima za pranje prisutne i uvjetovane prirodnim prljanjem, ručnim nanošenjem mrlja na poliestersko pletivo.

Rezultati su potvrdili slabiji primarni učinak procesa pranja poliester/pamuk pletiva u odnosu na poliestersko pletivo. Ujedno su dobivene veće razlike u primarnom učinku procesa pranja poliester/pamuk pletiva ovisno o položaju (A i B) i sastavu kupelji za pranje, u usporedbi s poliesterskim pletivom. Uzimajući u obzir položaj mrlje najveće razlike dobivene su u procesu pranja deterdžentom 1,25 g/L i 2,5 g/L, gdje je ujedno veća razlika u položaju A i B. Zaključno, viša koncentracija deterdženta (2,5 g/L) nije opravdana za proces pranja poliester/pamuk pletiva zaprljanog bućinim uljem. Ovako slab primarni učinak može biti uvjetovan afinitetom prirodnog pigmenta klorofila za pamučnu komponentu u mješavini.

Rezultati stupnja bjeline poliesterskog pletiva pokazuju da je proces pranja u navedenim uvjetima utjecao na smanjenje stupnja bjeline za oko 10 jedinica. Stupnjevi bjeline pletiva su gotovo podjednaki za sva oprana poliesterska pletiva.

Ovaj pad stupnja bjeline pokazuje da je došlo do redepozicije u procesu pranja, odnosno tenzidi i enzimski kompleksi nisu uspjeli spriječiti ovu negativnu pojavu.

Manji pad stupnja bjeline poliestar/pamuk pletiva u odnosu na poliestersko pletivo pokazuje da je došlo do neznatne redepozicije u procesu pranja deterdžentom, odnosno da su tenzidi donekle uspjeli prevenirati redepoziciju.

Udio anionskih tenzida u efluentima nakon procesa pranja poliestar i poliestar/pamuk pletiva s bućinim uljem razlikuje se ovisno o vrsti pletiva, pri čemu je njihov udio u efluentu od procesa pranja poliestar/pamuk pletiva niži u odnosu na poliestersko pletivo. Ova razlika može se pripisati svojstvima pletiva, prvenstveno adsorptivnosti pamučne komponente u mješavini poliestar/pamuk.

Zaključno, rezultati analiziranih pojava pokazali su značajniji utjecaj tekstilnog supstrata u odnosu na sastav analiziranih kupelji. Enzimski preparat u sinergiji s deterdžentom nije dao očekivano poboljšanje primarnog učinka.

6. LITERATURA

- [1] Fan, J., Hunter, L.: Engineering apparel fabrics and garments, Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute Woodhead Publishing Limited, Cambridge UK, (2009), 339-358
- [2] Textile Exchange: Preferred Fiber & Materials Market Report 2021, dostupno na: https://Textileexchange.Org/Wp-Content/Uploads/2021/08/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-and-Materials-Market-Report_2021.Pdf, pristupljeno: 22.06.2024.
- [3] Wang, S., Salmon, S.: Progress toward Circularity of Polyester and Cotton Textiles, *Sustainable Chemistry*, (2022) 3, 376-403, dostupno na: <https://doi.org/10.3390/suschem3030024>, pristupljeno: 22.06.2024.
- [4] Bunsell, A.R.: Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres, Woodhead Publishing: Introduction to Fibre Tensile Properties and Failure, Cambridge, UK, (2009), 1–17
- [5] Sinclair, R.: Textiles and Fashion, In Woodhead Publishing Series in Textiles, Woodhead Publishing; chapter 2: Yu C.: Natural Textile Fibres - Vegetable Fibres, ISBN 9781845699314, (2015), 29-56
- [6] Palme, A., et al.: Chemical and ultrastructural changes in cotton cellulose induced by laundering and textile use, *Cellulose* 21, (2014), 4681–4691, dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0434-9>, pristupljeno: 24.06.2024.
- [7] Mitić, J., i sur.: Modifikacija strukture poliesterskih vlakana primjenom organskih otopina, *Tekstil* 65 (2016) 5-6, 190-195
- [8] O'Lenick, A.: Soil Release Polymers, *Journal of Surfactants and Detergents* 2 (1999) 4, 553-557
- [9] Paderes, M., et al.: Natural and synthetic polymers in fabric and home care applications, *Physical Sciences Reviews*, 2 (2017) 9, 20170021, dostupno na: <https://doi.org/10.1515/psr-2017-0021>, pristupljeno: 27.06.2024.
- [10] Soljačić, I., Pušić, T.: Njega tekstila; Čišćenje u vodenom mediju, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb (2005)

- [11] Smulders, E.: Laundry Detergents, Wiley-VCH Verlag GmbH, ISBN 9783527305209, Weinheim, (2002)
- [12] Čorbo, S. i sur.: Fatty acid composition and antioxidants in cold-pressed vegetable oils, Faculty of Agriculture and Food Sciences, University of Sarajevo, 61 (2016) 66/1, 108-112
- [13] Pospišil, M.: Uzgoj uljne buče i proizvodnja bučinog ulja, *Gospodarski list*, (2023), dostupno na: <https://gospodarski.hr/rubrike/ratarstvo-rubrike/uzgoj-uljne-buce-i-proizvodnja-bucinog-ulja/pristupljeno-25-6-2024>, pristupljeno: 15.04.2024.
- [14] Jelušić, M.: Utjecaj agroekoloških uvjeta na fotosintetsku učinkovitost suncokreta u poljskim uvjetima uzgoja, diplomski rad, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek, (2021), dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:409530>, pristupljeno: 16.04.2024
- [15] Pira International Ltd: Developments in Colour Protection for Detergents (e-book), Cleeve Road, Leatherhead Surrey, UK (2008), dostupno na: <https://vdoc.pub/documents/developments-in-colour-protection-for-detergents-5ttrie1sif30>, pristupljeno: 10.05.2024.
- [16] Pušić, T. i sur.: Primarni učinak praškastog i tekućeg deterdženta u pranju, *Tekstil* 55 (2006) 1, 11-16
- [17] Handbook of Detergents: Analysis (eds. Waldhoff, H., Spilker, R.), chapter: Maurer K-H. et al.: Analysis of Detergent Enzymes (2005), 471-486
- [18] Izzo, A.: New Range of Novozymes Medley® Liquid Blends, EU, November (2019), Prezentacijski materijali tvrtke Novozyme
- [19] Gürkök, S.: Microbial Enzymes in Detergents: A Review, *International Journal of Scientific & Engineering Research* 10 (2019) 9, 75-81
- [20] Chemistry of the Textiles Industry (ed. Carr, C.M.) chapter: Bishop, D.: Physical and Chemical Effects of Domestic Laundering Processes, *Blackie Academic and Professional*, Springer, (1995), 125-171
- [21] Yun, C. et al.: Washing efficiency and fabric damage by beating and rubbing movements in comparison with a front-loading washer, *Textile Research Journal* 87 (2017) 6, 708-714, dostupno na: <https://doi.org/10.1177/0040517516636005>, pristupljeno: 01.07.2024.

- [22] EMPA 306: Poka-Dot®[®], To Measure Mechanical Action In Washing Machines And Dryers, Pieces Of 34X34 C, dostupno na: <https://www.testfabrics.com/product-detail.php?id=TmpZNE1RPT0=>, pristupljeno: 20.5.2024.
- [23] Pušić, T. i sur.: Istraživanje sredstava za kemijsko bijeljenje u pranju, *Tekstil* 56 (2007) 7, 412-417
- [24] Li, H. et al.: Spectrometric Determination of Detergency of Laundry Detergents using Sudan Red IV as Label, *Tenside Surfactants Detergents* 43 (2006) 6, 295-298
- [25] Benmaza, K. et al.: Effect of Polymer in a Dishwashing Detergent, *Tenside Surfactants Detergents* 44 (2007) 2, 102-109
- [26] Hilgers, T. et al.: Different Tracer Stain Systems for Testing Laundry Detergent performance, *Tenside Surfactants Detergents* 44 (2007) 1, 6-10
- [27] Kurrey, R. et al.: Analytical approach on surface active agents in the environment and challenges, *Trends Environmental Analytical Chemistry*, vol. 21, January (2019), dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.teac.2019.e00061>, pristupljeno: 01.07.2024.
- [28] Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020), dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_03_26_622.html, pristupljeno: 20.06.2024.
- [29] Choi, S. et al.: Characterization of Microplastics Released Based on Polyester Fabric Construction during Washing and Drying, *Polymers* (2021), 13, 4277, dostupno na: <https://doi.org/10.3390/polym13244277>, pristupljeno: 25.06.2024.
- [30] Hernandez, E. et al.: Polyester textiles as a source of microplastics from households: A mechanistic study to understand microfiber release during washing, *Environmental Science and Technology* 51 (2017) 12, 7036–7046
- [31] Sol, D. et al.: Microplastics in Wastewater and Drinking Water Treatment Plants: Occurrence and Removal of Microfibres, *Applied Sciences* (2021), 11, 10109, dostupno na: <https://doi.org/10.3390/app112110109>, pristupljeno: 27.06.2024.
- [32] Reza, T. et al.: Microplastic Removal in Wastewater Treatment Plants (WWTPs) by Natural Coagulation: A Literature Review, *Toxics* 2024, 12, 12, dostupno na: <https://doi.org/10.3390/toxics12010012>, pristupljeno: 02.07.2024.
- [33] Kreft, M. et al.: Histolocalisation of the oil and pigments in the pumpkin seed, *Annals of Applied Biology*, (2009), dostupno na: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00312.x>, pristupljeno: 05.07.2024.

[34] Medley Brilliant 100 L, dostupno na:
<https://www.scribd.com/document/443449375/Medley-Brilliant-100-L-MSDS-1>,
pristupljeno 22.03.2024.