

Utjecaj ozona i temperature na učinke procesa pranja standardnih pamučnih tkanina

Vanja Šantak¹, Tanja Pušić², Mirjana Čurlin³

¹Ammonia d.o.o, Vlaha Bukovca 34, Zaprešić

²Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb

³Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Pierottijeva 6, Zagreb

Sažetak: Složen kemijski sastav pojedinih obojenih mrlja na tekstilijama zahtijeva pojačano termičko i kemijsko djelovanje u Sinnerovom krugu procesa pranja. Kemijski učinak moguće je postići povećanim udjelom površinski aktivnih tvari, enzima, bjelila i njihovih aktivatora. U ovom istraživanju prati se kemijski učinak procesa pranja i ozonom potpomognutog procesa pranja pri temperaturama 30, 40, 60, 75 i 90 °C s ciljem vrednovanja primarnoga učinka kroz stupanj obezbojavanja obojenih mrlja i stupnja sanitacije. Povoljan utjecaj ozona potvrđen je pri nižoj koncentraciji deterdženta. Viša koncentracija deterdženta potpomognuta ozonom poboljšava stupanj sanitacije u procesu pranja.

Ključne riječi: tekstil, proces pranja, ozon, primarni učinak, sanitacija

1. Uvod

Suvremena sredstva za pranje tekstilija ili deterdženti unaprjeđuju se s ciljem postizanja visoke razine čistoće, očuvanja kvalitete tekstilija i održivosti, što objedinjuje funkcionalnost i ekološke značajke. Među najvažnijim sastojcima suvremenih deterdženata su površinski aktivne tvari, enzimi, bjelila i njihovi aktivatori [1-3].

Površinski aktivne tvari (PAT) zbog sposobnosti smanjivanja površinske napetosti vode omogućuju bolji kontakt komponenti kupelji za pranje i prljavština na tekstu. Ove molekule sastoje se od hidrofilne glave i hidrofobnog repa, što im omogućuje emulgiranje masti i ulja te njihovo uklanjanje iz tekstilija. U deterdžentima se najčešće koriste anionske, neionske i amfoterne površinski aktivne tvari. Anionske površinsko aktivne tvari nose negativan naboj i učinkovite su u uklanjanju mrlja s tekstila. Lako stupaju u reakciju s kalcijevim i magnezijevim ionima iz vode, te je u formula-

cijama važno ugraditi dobar bilder. Imaju visoku moć pjenjenja i snažno djelovanje na masnoće i ulja. Neionske površinski aktivne tvari nemaju naboj i učinkovite su u uklanjanju mrlja od masti i ulja. Imaju nisku tendenciju generiranja pjene i razvijaju izvrstan učinak u kombinaciji s anionskim površinski aktivnim tvarima [3]. Amfoterne površinski aktivne tvari imaju dobru kompatibilnost s neionskim i prihvatljive su za tekuće formulacije deterdženata niskopjenjećih performansi [4,5].

Enzimi kao biokatalizatori igraju ključnu ulogu u deterdžentima već desetljećima, jer omogućuju učinkovitu razgradnju specifičnih zaprljanja. Osim što ubrzavaju kemijske reakcije razgradnje oni i sudjeluju u razgradnji složenih molekula na manje, topive molekule koje se lako ispiru. Specifičnost pojedinog enzima očituje se u aktivnosti samo na određene vrste molekula odnosno ubrzavaju samo jednu reakciju. Djelovanje enzima prema principu ulaska ključa (molekule) u bravu (aktivno mjesto enzima) pomaže uspostavljanju pravilne orijentacije molekula i pritom povećava vjerojatnost da će molekule međusobno reagirati. Djelovanje enzima uvelike ovisi o pH-vrijednostima i temperaturi. Stalnost i učinkovitost pojedinih enzima postiže se formuliranjem sa stabilizatorima ili procesima inkapsulacije. Ova tehnika omogućuje kontrolirano otpuštanje enzima i zaštitu od denaturacije tijekom skladištenja [1,3,5,6].

Bjelila i njihovi aktivatori su ključne komponente u deterdžentima radi moći uklanjanja obojenih mrlja. Uklanjanje obojenih prljavština i mrlja koje pranjaju na tekstilije postiže se oksidativnom ili redukcijskom dekompozicijom kromofornih sustava. Aktivatori bjelila povećavaju učinkovitost bjelila pri nižim temperaturama, omogućujući učinkovito bijeljenje i dezinfekciju tekstila. Natrijev perkarbonat i vodikov peroksid smatraju se ekološki prihvatljivijim opcijama jer se razgrađuju na kisik i vodu, bez stvaranja štetnih nusproizvoda.

Suvremena sredstva za pranje ili deterdženti formulirani su tako da sve navedene komponente djeluju sinergijski kako bi se postigla maksimalna učinkovitost i dezinfekcija u procesu pranja. Neki primjeri sinergije su:

- (i) PAT i enzimi: PAT omogućuju bolje prodiranje enzima u tkaninu, čime se povećava njihova učinkovitost. Njihovi hidrofobni repovi mogu olakšati pristup enzima lipaza masnim mrljama, a hidrofilne glave bolju distribuciju enzima u kupelji za pranje.
- (ii) PAT i bjelila: PAT smanjuju površinsku napetost vode, omogućujući bjelilima bolji kontakt s mrljama. Time se poboljšava oksidacijska učinkovitost bjelila, osobito pri nižim temperaturama.
- (iii) Enzimi i bjelila: Enzimi i aktivatori bijeljenja djeluju u sinergiji pri nižim temperaturama, čime se povećava učinkovitost procesa pranja i smanjuje potrošnja energije [1,3,5,6].

Cilj razvoja formulacija deterdženata je poboljšanje učinkovitosti, sigurnosti i održivosti kroz:

- Biorazgradive sastojke

Razvoj biorazgradivih PAT, enzima i bjelila koji imaju manji utjecaj na okoliš

- Niskoenergetske proizvode

Učinkovitost pri nižim temperaturama, čime se značajno smanjuje potrošnja energije.

- Zdravstvenu sigurnost

Korištenje hipoalergenih sastojaka i eliminacija potencijalno štetnih kemikalija kako bi se smanjili rizici za zdravlje korisnika.

- Inovacije u pakiranju

Razvoj ekološki prihvatljivih pakiranja koja smanjuju količinu plastičnog otpada.

- Primjenu ozona u procesu pranja.

Ozon je alotropski oblik koji se sastoji od tri atoma kisika (O_3). Njegova molekula je nestabilna i brzo se razgrađuje u kisik (O_2), posebno u prisutnosti topline ili drugih katalizatora [7-11]. Ova nestabilnost doprinosi visokom oksidacijskom potencijalu ozona, oslobađanjem jednog atoma kisika generira se reaktivan radikal kisika, koji može oksidirati druge tvari. Ozon može reagirati s brojnim tvarima uključujući viruse, bakterije, gljivice, organske molekule i anorganske ione. Poznato je da je oksidacija pomoću ozona učinkovita za razgradnju organskih tvari s ugljik-ugljik dvostrukim vezama, olefinskim dvostrukim vezama, acetilenskim trostrukim vezama, aromatskih spojeva, fenola, različitih vrsta bojila policikličke aromatske i kompleksne strukture [12,13]. Ozon specifično razara konjugirane lance u molekuli, koji se povezuje s obojenosti, što ga čini korisnim za razgradnju širokog spektra organskih i anorganskih zaprljanja [12-19]. Korištenje ozona u procesu pranja ima prednosti funkcionalne i održive naravi [18].

Funkcionalnost

- (i) Visok oksidacijski potencijal: ozon može učinkovito razgraditi organske i anorganske molekule koje čine mrlje obojenim, a čime se postiže i visoka razina čistoće i dezinfekcije.
- (ii) Učinkovito uklanjanje mrlja: zbog visokog oksidacijskog potencijala, ozon može razgraditi širok spektar mrlja uključujući one na bazi proteina, masti i pigmenta.

- (iii) Dezinfekcija: ozon učinkovito uništava bakterije, viruse i gljivice, čime se osigurava visoka razina higijene. Njegova sposobnost razgradnje staničnih stjenki mikroorganizama čini ga izuzetno učinkovitim dezinfekcijskim sredstvom.

Održivost

- (i) Niže temperature pranja: korištenje ozona omogućava učinkovito pranje i dezinfekciju pri nižim temperaturama, što može rezultirati značajnom uštedom energije i smanjenjem ekološkog otiska.
- (ii) Ekološka prihvatljivost: ozon se razgrađuje na kisik, ne ostavljajući štetne ostatke u okolišu.
- (iii) Energetska učinkovitost: ozon djeluje učinkovito pri nižim temperaturama, čime se ostvaruju uštede energije.

Unatoč istaknutim prednostima, njegova primjena u procesu pranja suočava se s nekoliko izazova:

- (i) Stabilnost ozona: ozon je nestabilan i mora se generirati na licu mjesta, što zahtijeva specijaliziranu opremu.
- (ii) Sigurnosni rizici: visoke koncentracije ozona mogu biti štetne za zdravlje, pa je potrebna adekvatna ventilacija i sigurnosne mjere kako bi se smanjili rizici u primjeni.

U praksi, ozon se može dodati u proces pranja putem ozonatora integriranih uz perilice rublja. Proces uključuje generiranje ozona i njegovu infuziju u vodu, gdje djeluje kao snažno oksidacijsko sredstvo, razgrađujući mrlje i djelujući na bakterije. Ovaj proces omogućuje učinkovito pranje i dezinfekciju tekstilija pri nižim temperaturama, čime se postiže ušteda energije. Ozon se u procesima pranja često koristi uz sredstva za pranje ili deterdžente [14-17].

U ovom istraživanju kemijski potencijal deterdženata i ozona uz ostale čimbenike Sinnerova kruga analiziran je kroz primarne učinke procesa pranja koji su vrednovani kroz moć uklanjanja zaprljanja i analizom prisutnosti aerobnih bakterija na tkaninama – stupanj sanitacije.

2. Eksperimentalni dio

2.1 Materijali i sredstva

U istraživanju su korištene standardne tkanine kao nosači zaprljanja koji se kao standardi koriste u istraživanju i razvoju novih formulacija deterdženata, optimiranju procesa pranja kao i u ocjeni njegove kvalitete [19,20]. Opis korištenih EMPA (njem.

Eidgenössische Materialprüfungs - und Forschungsanstalt) i WFK (njem. *Wissenschaftliches Forschungsinstitut für Reinigungstechnologie*) standardnih nosača prikazan je u Tablici 1.

Tablica 1: Oznake i opis standardnih tkanina za analizu primarnog učinka u procesu pranja

Oznaka	Zaprljanje	Tekstilni materijal	Učinak
WFK 90 LI	Crveno vino	Pamučna tkanina	Izbjeljivanje
WFK 10 J	Čaj	Pamučna tkanina	Izbjeljivanje
EMPA 116	Krv/mljeko/tinta	Pamučna tkanina	Opći Izbjeljivanje

Kemijski bijeljena standardna pamučna tkanina, WFK 11 A korištena je za procjenu stupnja sanitacije u postavljenom konceptu istraživanja.

Korištena sredstva u procesu pranja su tekući deterdžent *Select Detergent* i praškasti dodatak-bjelilo *Hyperblan*, oba od tvrtke Christeys iz Belgije.

Sastav *Select Detergenta* prema EC-direktivi sadrži:

- < 5 % anionskih i amfoternih površinski aktivnih tvari,
- 5 – 15 % sapuna i neionskih površinski aktivnih tvari,
- optička bjelila i mirise.

Visoki udio površinski aktivnih tvari omogućava uklanjanje mrlja, optičko bjelilo osigurava visok stupanj bjeline, specijalni polimeri sprječavaju posivljenje bijelih tekstilija tijekom pranja, a inhibitori prijenosa boje sprječavaju prijenos boje s jednog komada rublja na drugi. Njegove ekološke značajke su biorazgradivost površinski aktivnih tvari i odsutnost štetnih kemikalija.

Uz odabrani deterdžent korišteno je kemijsko bjelilo *Hyperblan* prema EC-direktivi sadrži:

- < 5 % neionski površinski aktivne tvari,
- > 30 % izbjeljivača na bazi kisika (natrijev perkarbonat).

Osim toga, sadrži karbonate, sekvestrante i miris. *Hyperblan* je formuliran za intenzivno pranje i izbjeljivanje na temperaturama pri 40 °C. Njegova glavna svojstva uključuju učinkovito uklanjanje mrlja, a posebno je aktivan u uklanjanju mrlja od rajčice, čaja, kave i sokova.

2.2 Proces pranja

Proces pranja proveden je u profesionalnoj perilici LG Giant-C MAX, koja je opremljena generatorom ozona, BW⁰³ (0,5 do 1 mg/L), koji se dozira u pretpranju pri dovodu vode i posljednju vodu za ispiranje, temperature do 20 °C.

Standardni nosači zaprljanja oprani su s pamučnim balastom mase 6 kg variranjem vremena, temperature i doziranja sredstava. U Tablici 2 navedene su temperature i vrijeme procesa pranja.

Tablica 2: Temperatura i vrijeme procesa pranja pri odabranim temperaturama

<i>T</i> (°C)	20	30	40	60	75	90
<i>t</i> (sati)	0:35	0:51	1:01	1:09	1:24	1:39

Utjecaj kemijskog djelovanja u procesu pranja praćen je kroz dva načina doziranja sredstava (niža i viša koncentracija), (niža koncentracija uz ozon) i (viša koncentracija uz ozon), Tablice 3 i 4.

Tablica 3: Oznake i uvjeti procesa pranja uz nižu koncentraciju sredstava i nižu koncentraciju sredstava potpomognutu ozonom

Doziranje I

Select Detergent: 8,3 mL/kg

Hyperblan: 6,7 g/kg

NIŽA					NIŽA-OZON				
1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
30 °C	40 °C	60 °C	75 °C	90 °C	30 °C	40 °C	60 °C	75 °C	90 °C

Tablica 4: Oznake i uvjeti procesa pranja uz višu koncentraciju sredstava i nižu koncentraciju sredstava potpomognutu ozonom

Doziranje II

Select Detergent: 15 mL/kg

Hyperblan: 10 g/kg

VIŠA					VIŠA-OZON				
2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
30 °C	40 °C	60 °C	75 °C	90 °C	30 °C	40 °C	60 °C	75 °C	90 °C

2.3 Metode

Utjecaj sredstava i temperature procesa pranja na primarni učinak i stupanj sanitacije vrednovan je remisijском spektrofotometrijom i analizom prisutnosti aerobnih bakterija prema standardnom protokolu za uzorke vode [21].

Primarni učinak vrednovan je analizom spektralnih karakteristika standardnih nosača zaprljanja prije i nakon procesa pranja korištenjem remisijскоg spektrofotometra *Spectraflash* SF300, DataColor, Rotkreutz, Švicarska, uz standardni izvor svjetla D₆₅, koji oponaša dnevno svjetlo, i geometrijom d/8° (difuzno osvjetljenje pod kutom promatranja 8°). Vrijednost remisije pri valnoj duljini 460 nm (*R*₄₆₀) odabrana je za analizu primarnog učinka. Mjerenja su provedena na slučajno odabranim mjestima, a rezultati su prikazani kroz prosječnu vrijednost četiri pojedinačna mjerenja [22].

Stupanj sanitacije u procesu pranja proveden je kroz klasifikaciju onečišćenja na standardnoj pamučnoj tkanini, WFK 11A, Tablica 5, prema nakupinama bakterija na hranjivoj Agar podlozi nakon inkubacije 48 sati na 37 °C.

Tablica 5: Klasifikacija onečišćenja i ocjene (1-5) čistoće uzoraka

Onečišćenje	Čistoća uzorka
Vrlo malo	5
Malo	4
Srednja	3
Veliko	2
Vrlo veliko	1

1 – nečisto; 5 – jako čisto

3. Rezultati

Primarni učinak u procesu pranja vrednovan je pri temperaturama 30, 40, 60, 75 i 90 °C uz varijacije:

(i) koncentracije *Detergent Selecta* i koncentracije *Hyperblana*

Programi: 1.1 – 1.5 i 2.1 – 2.5 (NIŽA i VIŠA)

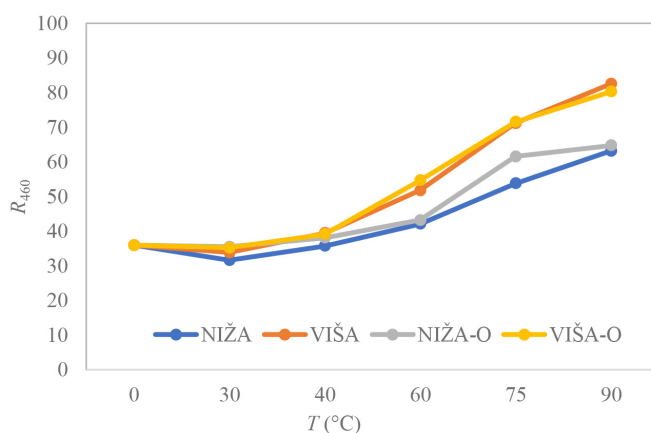
(ii) koncentracije *Detergent Selecta* i koncentracije *Hyperblana* potpomognute ozonom

Programi: 1.6 – 1.10 i 2.6 – 2.10 (NIŽA-O i VIŠA-O)

3.1. Primarni učinak procesa pranja – moć uklanjanja zaprljanja

Primarni učinak u procesu pranja standardnih nosača zaprljanja, pamučne tkanine zaprljane čajem (WFK 10 J), crvenim vinom (WFK 90 LI) i krvlju/mlijekom/tintom (EMPA 116) prikazan je na Slikama 1-3.

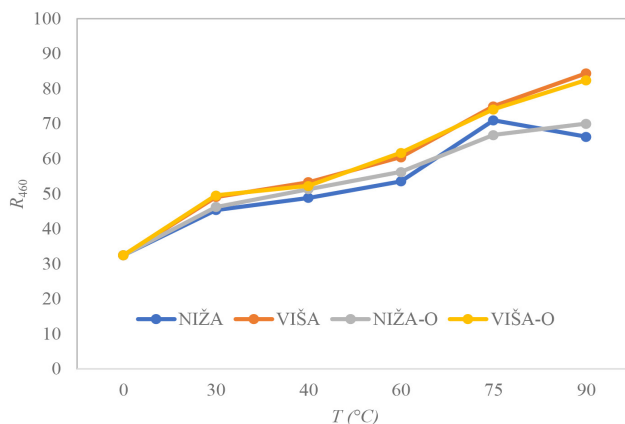
Smeđi tanini u mrljama od voća, čaja i vina nastaju kondenzacijom polifenola s proteinima. Drugi smeđi organski polimeri uključuju huminske kiseline prisutne u kavi, čaju i kakau. Uklanjanje mrlja s površine može biti povezano s kemijskom reakcijom ili se može dogoditi bez kemijske promjene. Primjer prvog je redoks proces koji uključuje izbjeljivač, pri čemu se neka tvar (npr. prirodna boja iz čaja, vino ili voćni sok), a koja se može oksidirati cijepa [4].



Slika 1: Moć uklanjanja zaprljanja od čaja s pamučne tkanine – remisija s WFK 10 J prije (0) i nakon provedenih procesa pranja

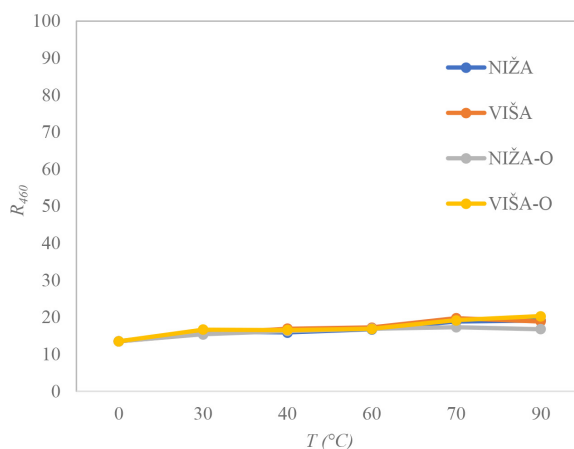
Viša koncentracija deterdženta i bjelila (doziranje II) poboljšava uklanjanje zaprljanja od čaja pri temperaturama 60, 75 i 90 °C u odnosu na niže koncentracije deterdženta i bjelila (doziranje I). Proces pranja potpomognut ozonom minoran je u odnosu na deterdžent i bjelilo. Povoljan utjecaj ozona zabilježen je jedino u procesu pranja s nižom koncentracijom deterdženta i bjelila (doziranje I) pri temperaturi 75 °C.

Primarni učinak u procesu pranja pamučne tkanine zaprljane crvenim vinom poboljšava se porastom temperature i koncentracijom deterdženta. Utjecaj ozona uz doziranje sredstava u višim koncentracijama (doziranje II) je neznatan. Niže koncentracije sredstava (doziranje I) potpomognuto ozonom u manjoj mjeri poboljšava učinak pri 40, 60 i 90 °C, Slika 2.



Slika 2: Moć uklanjanja zaprljanja od crvenog vina s pamučne tkanine – remisija s WFK 90 LI prije (0) i nakon provedenih procesa pranja

Moć uklanjanja zaprljanja od krvi/mlijeka/tinte s pamučne tkanine – remisija s EMPA 116 prije i nakon provedenih procesa pranja u ovisnosti o promatranim varijablama prikazuje Slika 3. Proces pranja pamučne tkanine zaprljane smjesom krv/mlijeko/tinta (EMPA 116) iziskuje sinergiju komponenti koje osiguravaju opći učinak i učinak obezbojavanja. Krv je mrlja koja iziskuje sredstvo za obezbojavanje, iako njeno uklanjanje ponekad može predstavljati probleme [4]. Tvrdokorne mrlje od bjelančevina na tekstilu koje potječu iz izvora kao što su mlijeko, kakao, krv, jaja, žumanjak i trava otporne su na uklanjanje deterdžentima bez enzima, posebno kada se mrlje osuše. Tinta je otopina ili suspenzija prikladnih bojila ili pigmenata [23], koje je potrebno obezbojiti u procesu pranja.



Slika 3: Moć uklanjanja zaprljanja od krvi/mlijeka/tinte s pamučne tkanine – remisija s EMPA 116 prije (0) i nakon provedenih procesa pranja

Učinak uklanjanja zaprljanja sa standardnog nosača EMPA 116 (pamučna tkanina zaprljana mješavinom krvi, mlijeka i tinte) izuzetno je slab u svim uvjetima procesa pranja. Na temelju rezultata primarnog učinka prikazanog na Slici 3, može se zaključiti da u ovom heterogenom zaprljanju prevladava proteinska komponenta (krv/mlijeko) u odnosu na tintu kao obojenje, a koja iziskuje proteolitičku aktivnost enzima u procesu pranja, koji *Select Detergent* nema u sastavu.

3.2. Primarni učinak procesa pranja- moć sanitacije

Klasifikacija onečišćenja na standardnoj pamučnoj tkanini provedena je prema nakupinama bakterija na hranjivoj Agar podlozi nakon inkubacije 48 sati na 37 °C, tablica 6.

Tablica 6: Učinak sanitacije na neopranoj pamučnoj tkanini (N) i opranim pamučnim tkaninama u analiziranim procesima pranja.

	Uzorak	Vrlo malo	Malo	Srednje	Veliko	Vrlo veliko	Čistoća
$T (^{\circ}\text{C})$	N					X	1
doziranje I							
30	1.1				X		2
40	1.2					X	1
60	1.3			X			3
75	1.4			X			3
90	1.5			X			3
30	1.6			X			3
40	1.7			X			3
60	1.8			X			3
75	1.9				X		2
90	1.10			X			3
doziranje II							
30	2.1	X					5
40	2.2	X					5
60	2.3	X					5
75	2.4		X				4
90	2.5	X					5
30	2.6		X				4
40	2.7			X			3
60	2.8	X					5
75	2.9		X				4
90	2.10		X				4

U procesima pranja uz doziranje I prevladava termička sanitacija (60, 75 i 90 °C). Povoljan utjecaj ozona na učinak sanitacije dobiven je u procesima uz doziranje I pri 30 i 40 °C. Dobar učinak sanitacije dobiven je u procesima uz doziranje II pri svim temperaturama (izuzev 75 °C), a utjecaj ozona nije zabilježen pri analiziranim temperaturama.

4. Zaključak

Istraživanja primarnog učinka ukazala su na selektivan utjecaj ozona u procesima pranja u analiziranim uvjetima – sinergija standardnih materijala – nosača zaprljanja i čimbenika Sinnerova kruga.

Učinak uklanjanja zaprljanja sa standardnog nosača zaprljanja EMPA 116 (pamučna tkanina zaprljana mješavinom krvi, mlijeka i tinte) izuzetno je slab u svim uvjetima procesa pranja, što je uvjetovano izostankom proteolitičke aktivnosti u procesu pranja (*Select Detergent* nema u sastavu proteazu).

Viša koncentracija deterdženta i bjelila (doziranje II) poboljšava uklanjanje zaprljanja od čaja pri temperaturama 60, 75 i 90 °C. Utjecaj ozona je minoran u odnosu na deterdžent i bjelilo. Utjecaj ozona zabilježen je kod niže koncentracije deterdženta i bjelila (doziranje I) samo pri temperaturi 75 °C.

Povoljan utjecaj ozona na učinak sanitacije dobiven je u procesima uz doziranje I (niža koncentracija *Detergent Selecta* i *Hyperblana*) u procesima pri 30 i 40 °C.

Najbolji učinak sanitacije ostvaren je u procesima uz doziranje II (povišena koncentracija *Detergent Selecta* i *Hyperblana*).

Rezultati istraživanja ukazuju na potrebu analize i drugih sredstava u procesu pranja, primarno obogaćena suvremenim višeenzimskim kompleksima u kombinaciji s ozonom. Dodatno, učinak sanitacije pokazuje na potrebu daljnjih istraživanja kako bi se kvantificirao stupanj redukcije pojedinih Gram pozitivnih i Gram negativnih bakterija.

5. Literatura

- [1] McCoy, M.: *Soaps and Detergents, Chemical & Engineering News*, **82** (2004) 4, 23-31, <http://dx.doi.org/10.1021/cen-v082n004.p023>
- [2] Falbe, J.: *Surfactants in Consumer Products*, Springer, ISBN: 978-3642722422, Berlin, (2012).

- [3] Soljačić, I.; Pušić, T.: *Njega Tekstila: Čišćenje u vodenim medijima*, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, ISBN: 953-7105-08-3, Zagreb, (2005).
- [4] Smulders, E.: *Laundry Detergents*, Wiley-VCH, ISBN: 978-3527305209, Weinheim, (2002).
- [5] Soljačić, I.; Čavara, L.: *Deterdženti za pranje tekstila*, *Tekstil*, **48** (1999) 10, 498-504.
- [6] Pušić, T.; Šostar-Turk, S.; Soljačić, I.; Tarbuk, A.; Fijan, R.; Arnuš, S.: *Primarni učinak praškastog i tekućeg deterdženta u pranju*, *Tekstil*, **55** (2006) 1, 11-18.
- [7] Grady, L.; Daigger, G.; Love, N.; Carlos, D.; Filipe, C.: *Biological Wastewater Treatment*, CRC Press, ISBN: 978-1439804841, Boca Raton, FL, (2011), <https://doi.org/10.1201/b13775>
- [8] Kim, J.-G.; Yousef, A. E.; Khadre, M. A.: Ozone and its current and future application in the food industry, *Advances in Food and Nutrition Research*, **45** (2003) 167-218, [https://doi.org/10.1016/s1043-4526\(03\)45005-5](https://doi.org/10.1016/s1043-4526(03)45005-5)
- [9] Roelofs, G.J.; Lelieveld, J.: Model Analysis of Stratosphere-Troposphere Exchange of Ozone and Its Role in the Tropospheric Ozone Budget, In: *Chemistry and Radiation Changes in the Ozone Layer*, NATO Science Series, vol 557, Springer, ISBN: 978-0792362996, Dordrecht, (2000).
- [10] Nguyen, H. N.; Cuong, L. C.; Dieu, T. V.; Ngu, T.; Oanh, D. T. Y.: Ozonation Process and Water Disinfection, *Vietnam Journal of Chemistry*, **56** (2018) 6, 717-720, <https://doi.org/10.1002/vjch.201800076>
- [11] Von Gunten, U.: Ozonation of Drinking Water: Part I. Oxidation Kinetics and Product Formation, *Water Research*, **37** (2003) 7, 1443-1467, [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00457-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00457-8).
- [12] Turhan, K.; Turgut, Z.: *Decoloration of Direct Dye in Textile Wastewater by Ozonation in a Semi-Batch Bubble Column Reactor*, *Desalination*, **242** (2009) 6, 256-263, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.005>
- [13] Wang, C.; Yediler, A.; Lienert, D.; Wang, Z.; Kettrup, A.: *Ozonation of an Azo Dye C.I. Remazol Black 5 and Toxicological Assessment of its Oxidation Products*, *Chemosphere*, **52** (2003) 6, 1225-1232, [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00331-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00331-X)
- [14] Nayak, R.; Ratnapandian, S.: *Care and Maintenance of Textile Products Including Apparel and Protective Clothing*, CRC Press, Taylor & Francis Group, ISBN: 978-1138566750, Boca Raton, FL, (2018).
- [15] Garcia, B.: *Reduced Water Washing of Denim Garments*, In: *Denim: Manufacture, Finishing and Applications*, Woodhead Publishing, ISBN: 978-0857098436, Cambridge, (2015)
- [16] Md. Nahid-Ull-Islam, H.; Chowdhury, S. M. M.; Shahidul Islam Sakib, M. K. H.; Sabbir A.; Md. Sayeed, A.; Akter, M.: Sustainable Approaches of Ozone Wash and Laser Fading Over Conventional Denim Wash, *Tekstilec*, **67** (2024) 2, 104-118, <https://doi.org/10.14502/tekstilec.67.2024011>
- [17] Neral, B.: *Kvaliteta pranja u kućanskom stroju za pranje s ozonatorom*, *Tekstil*, **65** (2016) 7-8, 241-251
- [18] Hoigné, J.; Bader, H.: The Role of Hydroxyl Radical Reactions in Ozonation Processes in Aqueous Solutions, *Water Research*, **10** (1976) 5, 377-386, [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(76\)90055-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(76)90055-5)

- [19] Dostupno na: <https://testgewebe.de/> Pristupljeno: 04.02.2025.
- [20] Dostupno na: <https://www.empa.ch/> Pristupljeno: 04.02.2025.
- [21] Frece, J.; Markov, K. *Uvod u mikrobiologiju i fizikalno kemijsku analizu voda*, Inštitut za sanitarno inženierstvo, ISBN: 978-961-92846-5-0, Ljubljana (2015).
- [22] Scheid, F.; Lambert, E.; Maitra, W.; Niestrath, M.; Fäh, D.; Portmann, C.; Gorny, S.; Stamminger, R.: Textile Quality Depletion due to Household Machine Wash – Ways to Measure and Impacts of Wash Duration and Temperature on Textiles, *Tenside Surfactants Detergents*, **53** (2016) 5, 438-444, <https://doi.org/10.3139/113.110462>.
- [23] Tinta, Hrvatska enciklopedija, <https://www.enciklopedija.hr/clanak/tinta>, Pristupljeno 20.03.2025.