

Primarni učinak pojačivača u procesu pranja pamučnih tekstilija s mrljama od kozmetičkih proizvoda za sunčanje

Vanja Šantak^{1,2*}, Tanja Pušić¹, Ivona Vidić Štrac³

¹ Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska

² Ammonia d.o.o, Zaprešić, Hrvatska

³ Hrvatski institut za javno zdravstvo, Zagreb, Hrvatska

*Dopisni autor: vanja.santak@gmail.com

Prispjelo 26. svibnja 2024.

UDK 677.016.253:677.016.6

Izvorni znanstveni rad

Složenost mrlja od kozmetičkih proizvoda na tekstilijama predstavlja izazov u procesima pranja. U radu je analiziran primarni učinak procesa pranja pamučne tkanine i pamučnog pletiva s mrljama dva kozmetička proizvoda za sunčanje (hidratantna emulzija i balzam). Nosilac kemijske aktivnosti u procesu je pojačivač Mulan Solar (sredstvo-MS) i sredstvo-MS potpomognuto ozonom pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C. Analiza interakcije kozmetičkih proizvoda za sunčanje i pamučnih materijala provedena je metodom Fourierove transformacije infracrvenog spektra (FTIR). Metodom remisije spektrofotometrije analizirana je moć uklanjanja mrlja u navedenim uvjetima procesa pranja. Rezultati istraživanja pokazali su da ozon pojačava primarni učinak sredstva-MS u uklanjanju balzama kozmetičkog proizvoda za sunčanje na pamučnom pletivu. Potvrđeno je da primarni učinak u ovom složenom sustavu ovisi o vrsti pamučnog supstrata i tipu kozmetičkog sredstva.

Ključne riječi: pamuk; tkanina; pletivo; mrlje od kozmetičkih proizvoda za sunčanje; proces pranja; pojačivač-MS; ozon

Original scientific paper

The complexity of stains from cosmetic products on textiles poses a challenge in washing processes. In this study, the primary effect of the washing process on cotton fabrics and cotton knitwear stained with two sun protection products (moisturising emulsion and balm) was analysed. The chemical activity in the process is driven by the booster Mulan Solar (agent- MS) and agent- MS supported by ozone at temperatures of 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C and 90 °C. The interaction between sunscreens and cotton materials was analysed using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The stain removal performance under the mentioned washing process conditions was analysed using remission spectrophotometry. The results showed that ozone enhanced the primary effect of agent-MS in removing sunscreen balm stains on cotton knitted fabric. It was confirmed that the primary effect in this complex system depends on the type of cotton substrate and the type of cosmetic agent.

Keywords: cotton; woven fabric; knitwear; stains from sunscreen; washing process; booster MS; ozone.

1. Uvod

U procesu pranja tekstilija uklanjaju se prljavštine, pri čemu prema teoriji koju je postavio dr. Herbert Sinner, bitnu ulogu imaju četiri čimbenika: temperatura, vrijeme, mehanika i kemija [1]. Teorijski gledano udjeli sva četiri procesna čimbenika u Sinnerovom krugu povezana preko vode su podjednaki [2]. Međutim, u realnom procesu, smanjenjem udjela jednoga čimbenika, u razmjeru smanjenja povećava se udio jednoga ili više čimbenika.

Centralni dio Sinnerovoga kruga pripada vodi, čime se naglašava njen značaj u procesu pranja, posebice radi prijenosa toplinske energije čime se olakšava uklanjanje tvari poput voskova i masti koje već na 40 °C prelaze u tekuću fazu [3]. Vodotopive prljavštine i najveći dio sastojaka deterdženata u vodi se otapaju, a netopivi sastojci deterdženta i netopive prljavštine dobro dispergiraju. Obojeni pigmenti razgrađuju se oksidacijskim putem i prelaze u topive ili neobojene spojeve.

Primarni učinci procesa pranja ocjenjuju se kroz moć uklanjanja nečistoća, a postižu se sinergijom površinski aktivnih tvari, kemijskih bjelila i njihovih aktivatora, enzima i drugih sastojaka deterdženta [4,5].

Nosioci kemije su sredstva za pranje koja imaju ključnu ulogu u održavanju čistoće i higijene tekstila. Površinski aktivne tvari su ključni sastojci deterdženata koji smanjuju površinsku napetost vode, omogućuju bolje kvašenje tekstilija i uklanjanje nečistoća. Njihova tendencija za samoudruživanjem dovodi do micela koje okružuju i izoliraju čestice nečistoća, omogućujući njihovo uklanjanje u procesu pranja. Kemijska bjelila i njihovi aktivatori potiču kemijske reakcije koje razgrađuju obojene mrlje i održavaju bjelinu tkanina [6]. Enzimi razgrađuju složene organske molekule poput proteina i masti, dok polimeri pomažu u sprječavanju ponovnog taloženja nečistoća na tekstil [7].

Okolišne smjernice uz smanjenje potrošnje vode nametnule su povećanje udjela kemije, te smanjenje temperature i vremena. Udio kemije u procesu pranja uz visokoučinkovite površinski aktivne tvari povećavaju enzimi i aktivatori kemijskih bjelila.

U skladu s načelima kružnog gospodarstva usmjerenim na održivost i ekološku osviještenost, u tehnologiji procesa pranja teži se pronalaženju učinkovitih, ekonomičnih i ekološki prihvatljivih postupaka. Ozonom potpomognut proces pranja ubraja se u KET tehnologije (KET, engl. *Key Enabling Technologies*). Ozon kao moćan oksidans ima potencijal razaranja i uklanjanja organskih spojeva i mikroorganizma pri niskim temperaturama [8-11]. Osim što nudi izvanredne rezultate čišćenja i dezinfekcije, ova tehnologija značajno pridonosi očuvanju kvalitete tkanina,

produljujući njihovu trajnost i održavajući svježinu tona boje [12, 13]. S obzirom na te prednosti, ozonom potpomognuto pranje predstavlja korak naprijed prema ekološki odgovornijem i održivijem pristupu u procesu pranja.

Molekule kisika apsorbiraju zračenje te se raspadaju u dva slobodna atoma kisika, koji brzo reagiraju s drugom molekulom kisika pri čemu nastaje ozon. Ozon se pod utjecajem UVB zračenja brzo raspada u molekulu kisika i jedan slobodan atom kisika [14]. Molekula ozona je nestabilna i teži raspadu u uobičajeni dvoatomarni oblik i u kisikov atom ili hidroksilni radikal, koji se brzo veže s tvarima u okolini. Otopljen u vodi (pH 7) na temperaturi 20 °C, ozon se raspadne za 12 minuta, a porastom temperature na 35 °C vrijeme raspada se smanjuje na 8 minuta [11].

Sinergijski učinak pojedinih čimbenika u pranju doprinosi postizanju primarnog učinka, koji se sagledava kroz moć uklanjanja mrlja ili zaprljanja (engl. *Soil removal, S*) nakon jednog do tri ciklusa pranja.

Nečistoće se definiraju kao čestice ili tvari na površinama koje treba ukloniti, ma koliko bile korisne po svom sastavu ili namjeni [5]. Mehanizmi uklanjanja prirodnih mrlja s tekstilija u procesu pranja odvijaju se kroz tri faze: (i) vlaženje i bubrenje tekstilije i mrlja, (ii) uklanjanje površinskog sloja mrlje i (iii) postupno uklanjanje preostale mrlje [15,16].

Kozmetička sredstva za sunčanje štite kožu od opasnog sunčevog zračenja, doprinose sprečavanju preranog starenja kože i drugih promjena koje mogu dovesti do teških oboljenja. Prema definiciji Uredbe (EZ) br. 1223/2009 Europskog Parlamenta i Vijeća od 30. studenoga 2009. o kozmetičkim proizvodima, UV-filtri su tvari koje su isključivo ili prvenstveno namijenjene zaštiti kože od određenih UV zračenja putem apsorpcije, refleksije ili raspršivanja UV zračenja. U ovim proizvodima korišteni su pretežito UVB filtri (oktokrilene, homosalat, etilheksil metoksicinamat, etilheksilsalicilat) koji apsorbiraju zračenje u području valnih duljina 290-320 nm, te UVA filter (butil metoksidibenzoilmetan) koji apsorbira UV zrake u području valnih duljina 320-400 nm. Uz to su korišteni i filtri za šire područje UVA/UVB filtri poput bis-ethylheksiloksifenol metoksifenil triazin i titanijev dioksid. Prema International Cooperation on Cosmetic Regulations (ICCR) [17], TiO₂ i ZnO nano-čestice koriste se kao anorganski UV filtri u brojnim proizvodima za njegu kože [18].

U ovom istraživanju analizirana je moć uklanjanja mrlja kozmetičkih proizvoda za sunčanje s pamučne tkanine i pamučnog pletiva kroz varijaciju kemijskog djelovanja, pojačivača (sredstvo-MS) i sredstvo-MS

potpomognuto ozonom u procesima pranja pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C.

2. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu opisana su tkanina i pletivo, izvori mrlja - kozmetički proizvodi za sunčanje, sastav pojačivača – sredstvo-MS, te postupak pranja i ozonom potpomognut proces pranja.

2.1. Materijali

Izvori zaprljanja - kozmetički proizvodi za sunčanje nanoseni su na pamučnu tkaninu (PT) površinske mase 172,0 g/m² i pamučno pletivo (PP) površinske mase 156,0 g/m².

Za potrebe istraživanja odabrana su dva tipa kozmetičkih proizvoda s hrvatskog tržišta:

- hidratantna emulzija (KP-M) za sunčanje i njegu kože sa zaštitnim faktorom SPF 20 (engl. *Sun Protection Factor*) s UVA i UVB filtrima.
- bezvodni proizvod tipa masti (KP-B), balzam za sunčanje sa SPF 30 također s UVA i UVB filtrima, i s malim udjelom ekstrakta korijena mrkve.

U tab.1 detaljno su prikazani sastavi oba proizvoda po padajućoj koncentraciji, s posebnim osvrtom na UV komponente koje su pisane obveznom INCI nomenklaturom za kozmetičke proizvode (engl. *International Nomenclature of Cosmetic Ingredients*) i podvučene radi bolje preglednosti.

Tab.1 Sastav kozmetičkih proizvoda za sunčanje

Kozmetički proizvod za sunčanje	
KP-M	Voda, <u>oktokrilen</u> , homosalat, stearinska kiselina, <u>etilheksil metoksicinamat</u> , <u>etilheksil salicilat</u> , C12-15 alkil benzoat, <u>butil metoksidibenzoilmetan</u> , denaturirani alkohol, <u>titanov dioksid</u> , kalijev cetil fosfat, glicerol, tokoferil acetat, kalijev hidroksid, fenoksietanol, etilheksilglicerol, karite (shea) maslac, EDTA tetranatrijeva sol, karbomer (visoko molekularni umreženi poliakrilatni polimeri, hidrogenirani dimer dilinoleil/dimetilkarbonatog kopolimera, silika, miris, benzil salicilat, citronelol, geraniol, heksil cinamal, butilfenil metilpropional, limonen, BHT.
KP-B	suncokretovo ulje, bijeli (pčelinji) vosak, <u>etilheksil metoksicinamat</u> , <u>bis-etilheksiloksifenol metoksifenil triazin</u> , ekstrakt korijena mrkve, acetat vitamina E.

Primijenjen je pojačivač - tekuće sredstvo za uklanjanje mrlja od kozmetičkih proizvoda za sunčanje s tekstilija, Mulan Solar, proizvođača Christeyns (sredstvo-MS) [19].

Ovo sredstvo sadrži neionske površinski aktivne tvari, etoksilirane masne alkohole u masenom udjelu većem od 60 %. Unatoč preporuci za doziranje pojačivača, sredstva-MS, u koncentraciji 80 mL/kg rublja uz odgovarajući deterdžent, u ovom istraživanju sredstvo-MS primijenjeno je bez deterdženta u koncentraciji 20 mL/kg jer su mase zaprljanih pamučnih tkanina i pamučnih pletiva male u odnosu na masu čistog pamučnog balasta (6 kg).

Čista pamučna bijela tkanina (PT) je korištena za analizu stupnja bjeline u uvjetima procesa pranja.

2.2. Način nanošenja mrlja

Na uzorke pamučne tkanine i pamučnog pletiva dimenzija 10 x 10 cm špahtlom su nanosena zaprljanja - kozmetički proizvodi za sunčanje kružnog oblika promjera 2 cm, korištenjem dimenzionirane šablone od graf folije za svaku pojedinu mrlju, kako bi se izbjegla kontaminacija uzoraka.

Uzorci tkanina i pletiva nakon nanošenja zaprljanja osušeni su na sobnoj temperaturi kroz 24 sata.

2.3. Proces pranja

Proces pranja pri temperaturama 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C proveden je u profesionalnoj perilici LG Giant-C MAX kapaciteta punjenja 10 kg, volumena bubnja 102,7 L opremljenom generatorom ozona BWO3 kroz vrijeme navedeno u tab.2.

Tab.2 Vrijeme procesa pranja

T (°C)	20	30	40	60	75	90
t (h)	0:35	0:51	1:01	1:09	1:24	1:39

U skladu sa svime navedenim u tab.3 date su oznake i opisi korištenih sredstava, materijala i procesa.

Tab.3 Oznake i opis uzoraka i postupaka

Oznaka	Opis
KP-M	Kozmetički proizvod za sunčanje – hidratantna emulzija
KP-B	Kozmetički proizvod za sunčanje - balzam
PT	Pamučna tkanina
PP	Pamučno pletivo
PT-P	Pamučna tkanina kontrolna
BO	Proces pranja bez ozona
O	Proces pranja s ozonom

2.4. Metode

Kozmetički proizvodi za sunčanje i uzorci pamučne tkanine i pamučnog pletiva, prije i nakon što su zaprljani kozmetičkim proizvodima za sunčanje

analizirani su ATR-FTIR spektroskopijom, na instrumentu Spectrum 100S FT-IR UATR + TG/IR Interface TL8000 (RedShift) od Perkin Elmera, SAD, uz računalni program Spectrum 100. Spektralna analiza obuhvatila je opseg od 4000 cm^{-1} do 450 cm^{-1} s rezolucijom od 4 cm^{-1} .

Remisijski spektrofotometar Spectraflash SF300, DataColor, Rotkreutz, Švicarska korišten je za vrednovanje primarnog učinka u procesu pranja zaprljanih pamučnih tkanina i pamučnih pletiva korištenjem standardnog izvora svjetla D65 uz geometrije $d/8^\circ$.

Vrijednost remisije pri valnoj duljini 460 nm (R_{460}) odabrana je za određivanje razlika (ΔR_{460}) opranih uzoraka u odnosu na neoprane prema izrazu 1:

$$\Delta R_{460} = R_w - R_0 \quad (1)$$

gdje je

R_w vrijednost remisije nakon procesa pranja,

R_0 remisija s mrlje prije procesa pranja,

obje pri valnoj duljini 460 nm.

Stupanj bjeline iskazan kao W_{GG} odabran je kao parametar karakterizacije utjecaja procesnih uvjeta.

3. Rezultati

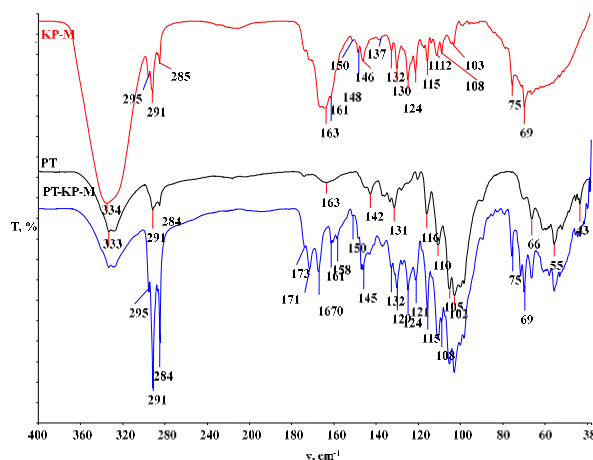
Sastav kozmetičkih proizvoda za sunčanje (KP-M i KP-B) u tablici 1 uključuju brojne sastojke, jer su funkcionalni sastojci (UV filtri) obogaćeni dodatnim supstancama koje olakšavaju nanošenje, pokrivenost i trajnost. U skladu s navedenim, mrlje nanese na pamučnu tkaninu (PT) i pamučno pletivo (PP) su heterogenog sastava. Da bi se utvrdila povezanost kozmetičkih proizvoda za sunčanje s pamučnom tkaninom i pletivom, načinjena je FTIR analiza kozmetičkih sredstava, te pamučnih površina prije i nakon nanošenja KP-M i KP-B, sl.1-4.

Sl.1-4. dokazuju da je FTIR-ATR pogodna metoda za utvrđivanje interakcija između mrlja od kozmetičkih proizvoda za sunčanje i celuloznih supstrata. Planiran je nastavak istraživanja kako bi se produbila FTIR analiza učinka uklanjanja kozmetičkih proizvoda za sunčanje ovisno o celuloznom supstratu, temperaturi i načinu postupka procesa pranja.

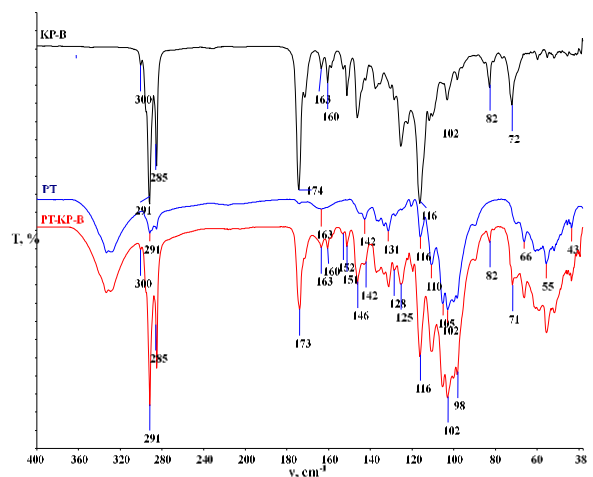
Moć uklanjanja mrlja od UV preparata s celuloznih supstrata praćena je remisijskom spektrofotometrijom, pri čemu je remisija pri 460 nm (R_{460}) odabrana kao parametar karakterizacije ili učinka (ΔR_{460}).

Primarni učinak analiziran kroz djelovanje sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom u procesu pranja pamučnih tkanina i pamučnih pletiva s mrljama od kozmetičkih proizvoda za sunčanje (KP-M i KP-B) pri 20 °C,

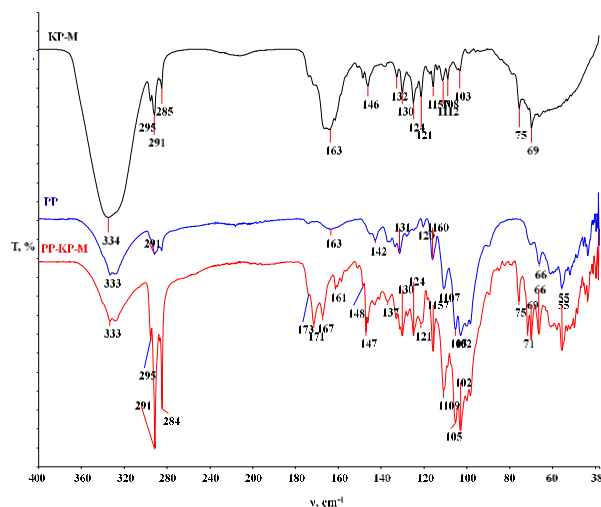
30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C analiziran je vrijednostima razlike u remisiji opranih tkanina i pletiva u odnosu na neoprane (ΔR_{460}).



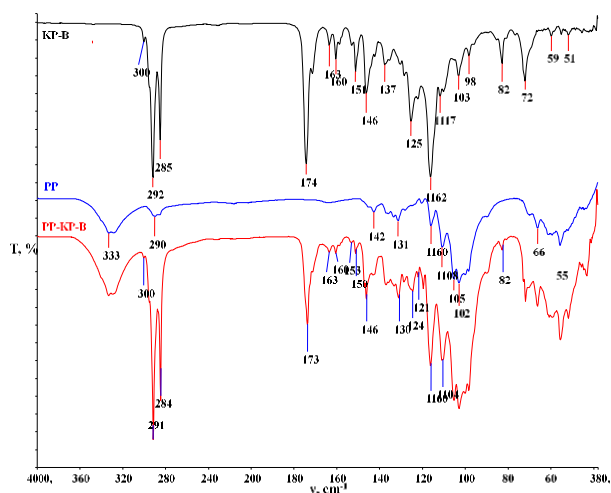
Sl.1 FTIR spektar pamučne tkanine, kozmetičkog proizvoda za sunčanje KP-M i pamučne tkanine zaprljane KP-M



Sl.2 FTIR spektar pamučne tkanine, kozmetičkog proizvoda za sunčanje KP-B i pamučne tkanine zaprljane KP-B



Sl.3 FTIR spektar pamučnog pletiva, kozmetičkog proizvoda za sunčanje KP-M i pamučnog pletiva zaprljanog KP-M



SI.4 FTIR spektar pamučnog pletiva, kozmetičkog proizvoda za sunčanje KP-B i pamučnog pletiva zaprljanog KP-B

Tablični prikaz rezultata uključuje remisiju sa zaprljanog uzorka (R_0), primarni učinak (ΔR_{460}) te fotografije tkanina i pletiva snimljene prije i nakon procesa pranja pod dnevnim svjetlom i UV lampom. Grafički prikaz primarnog učinka procesa pranja načinjen je s ciljem usporedbe učinka sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom na uklanjanje mrlja od dva kozmetička proizvoda za sunčanje (KP-M i KP-B) pri analiziranim temperaturama.

3.1. Primarni učinak u procesu pranja pamučnih tkanina

U tab.4 iskazan je primarni učinak sredstva-MS u procesu pranja pamučnih tkanina s mrljama kozmetičkog proizvoda za sunčanje (KP-M) pri analiziranim temperaturama uz fotografije pamučne tkanine za svaki pojedini proces. Rezultati jasno pokazuju slabu učinkovitost sredstva-MS u uklanjanju mrlja od kozmetičkog proizvoda za sunčanje (KP-M) s pamučnih tkanina, pri čemu temperature pranja imaju različit učinak na moć uklanjanja ovih mrlja.

Kemijski učinak sredstva-MS pri 90 °C nije očekivan, s obzirom na njegov kemijski sastav koji čini neionska površinski aktivna tvar u visokom udjelu (60 %). Određeno kemijsko djelovanje može se pripisati alkalnosti sredstva-MS (pH 8,2). Proces pranja pri 90 °C pokazuje bolje rezultate u odnosu na niže temperature jer visoka temperatura pomaže u uklanjanju masnih baza kozmetičkog proizvoda za sunčanje KP-M.










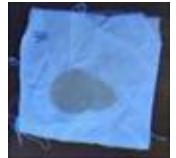
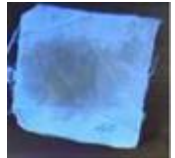
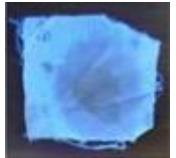
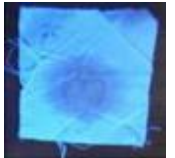

Fotografije površine pamučne tkanine prikazane u tab.4 načinjene pod dnevnim svjetlom u sobnom prostoru pokazuju da proces pranja pri svim temperaturama utječe na lomove, a njihov intenzitet raste s povećanjem temperature. Fotografije površine pamučne tkanine prikazane u tab.4 načinjene pod usmjerenim svjetlom UV lampe pokazuju na porast intenziteta fluorescencije s pamučne tkanine u području oko mrlje. Pojačivač, sredstvo-MS ne sadrži optičko bjelilo, pa se to pripisuje prijelazu optičkog bjelila s balasta na pamučnu tkaninu PT u procesu pranja. Mrlje KP-M na pamučnim tkaninama se jako dobro razlučuju pod UV svjetlom, a njihovo zatamnjene veže se uz temperaturu procesa pranja. Fotografije tkanina nakon procesa pranja sredstvom-MS pokazuju kompleksnost interakcija koje se odvijaju tijekom pranja tekstila pri analiziranim temperaturama.

U tab.5 iskazan je iskazan je primarni učinak sredstva-MS i ozona u procesu pranja pamučnih tkanina s mrljama kozmetičkog proizvoda (KP-M) pri analiziranim temperaturama uz fotografije pamučne tkanine za svaki pojedini proces. Rezultati pokazuju slabu učinkovitost sredstva-MS s ozonom u moći uklanjanja mrlja od kozmetičkog proizvoda za sunčanje, KP-M u odnosu na sredstvo-MS. Pojačan kemijski utjecaj sredstva-MS s ozonom vidljiv je pri 30 °C. Ova sinergija kemijskog djelovanja sredstva-MS i ozona pokazuje bolje uvjete za uklanjanje KP-M, što iziskuje dodatna istraživanja u uklanjanju mrlja u procesu pranja deterdžentom.















Tab.4 Remisija s pamučne tkanine s KP-M mrljom (R_0), primarni učinak (ΔR_{460}) i fotografije tkanina prije i nakon procesa pranja pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C

T (°C)	20 °C	30 °C	40 °C	60 °C	75 °C	90 °C
R_0	ΔR_{460}					
75,98	2,82	1,96	2,83	3,34	2,20	6,13

Tab.5 Remisija s pamučne tkanine s KP-M mrljom (R_0), primarni učinak (ΔR_{460}) i fotografije tkanina prije i nakon procesa pranja potpomognutog ozonom pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C

T (°C)	20 °C	30 °C	40 °C	60 °C	75 °C	90 °C
R_0	ΔR_{460}					
75,88	1,06	6,05	-3,45	-3,48	3,23	1,19
						
						

Tab.6 Remisija s pamučne tkanine s KP-B mrljom (R_0), primarni učinak (ΔR_{460}) i fotografije tkanina prije i nakon procesa pranja pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C

T (°C)	20 °C	30 °C	40 °C	60 °C	75 °C	90 °C
R_0	ΔR_{460}					
76,80	-7,49	-6,48	-6,62	-0,89	-0,75	2,07
						
						

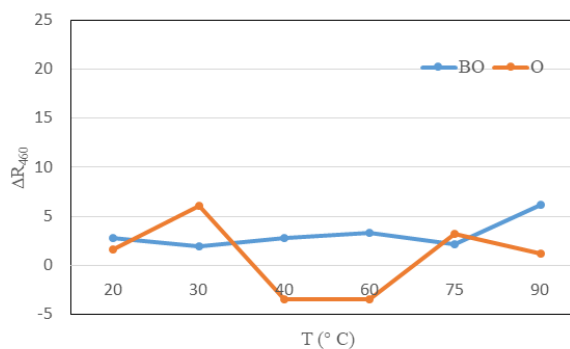
Izgled i intenzitet mrlja KP-M na pamučnoj tkanini pod dnevnim svjetlom u sobnom prostoru i usmjerenim UV svjetlom u tab.5, potvrđuje da upotreba ozona u procesu pranja dovodi do specifičnih promjena, te ukazuje na to da ozon ima potencijal u uklanjanju ovih mrlja.

Na sl.5 načinjena je usporedba primarnog učinka sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom u procesu pranja pamučnih tkanina s mrljom KP-M pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C.

Povoljan utjecaj ozona u procesu pranja sredstvom-MS upućuje na njihovu sinergiju pri 30 °C.














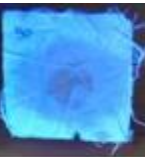
U tab.6 iskazan je primarni učinak sredstva-MS u procesu pranja pamučnih tkanina s mrljama kozmetičkog proizvoda (KP-B) pri analiziranim temperaturama uz fotografije pamučne tkanine za svaki pojedini proces. Dobivene vrijednosti za primarni učinak (ΔR_{460}), koje predstavljaju razliku u remisiji s oprane pamučne tkanine i neoprane pamučne tkanine s mrljom KP-B, pokazuju da je sposobnost uklanjanja mrlja od kozmetičkog proizvoda za sunčanje, KP-B, slabija u usporedbi s onima u tab.4. Ovaj odnos po-

sebno je izražen pri nižim temperaturama pranja, gdje su dobivene vrijednosti ΔR_{460} uglavnom negativne, što implicira da mrlje nisu samo slabije uklonjene, već su potamnile u procesu pranja. Učinkovitost uklanjanja KP-B poboljšava se povećanjem temperature pranja, što se pripisuje sinergiji temperature i alkaliteta. Visoka temperatura pranja povoljno djeluje na primarni učinak kroz pojačan učinak uklanjanja mrlja



S1.5 Usporedba primarnog učinka sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom u procesu pranja pamučne tkanine s mrljom KP-M pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C

Tab.7 Remisija s pamučne tkanine s KP-B mrljom (R_0), primarni učinak (ΔR_{460}) i fotografije tkanina prije i nakon procesa pranja potpomognutog ozonom pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C

T (°C)	20 °C	30 °C	40 °C	60 °C	75 °C	90 °C
R_0	ΔR_{460}					
66,3	3,77	5,12	10,37	15,17	15,30	14,62
						
						

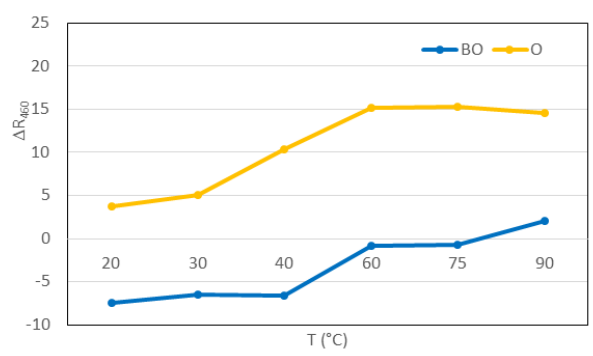
ali je neophodno uzeti u obzir utjecaj visoke temperature na određene vrste tekstilija, primarno oštećenje i promjene boje. Fotografije površine pamučne tkanine načinjene pod dnevnim svjetlom u sobnom prostoru pokazuju da proces pranja pri svim temperaturama utječe na lomove, a njihov intenzitet raste s povećanjem temperature. Fotografije površine pamučne tkanine načinjene pod usmjerenim svjetlom UV lampe potvrđuju rastući intenzitet fluorescencije u području oko mrlje. Budući da nije upotrijebljen deterdžent, ova se pojava pripisuje prijelazu optičkog bjelila s balasta na pamučnu tkaninu u procesu pranja jer sredstvo-MS ne sadrži optičko bjelilo. Mrlje nanesene na pamučnu tkaninu se jasno uočavaju pod UV svjetlom kroz dvije migracijske faze, središnju tamniju i rubnu masniju. Izgled mrlje od KP-B nakon procesa pranja sredstvom-MS pri 90 °C potvrđuje niske remisijske vrijednosti u tab.6.

U tab.7 iskazan je primarni učinak sredstva-MS i ozona u procesu pranja pamučnih tkanina s mrljama kozmetičkog proizvoda (KP-B) pri analiziranim temperaturama uz fotografije pamučne tkanine za svaki pojedini proces. Rezultati pokazuju povoljan sinergijski učinak sredstva-MS i ozona u uklanjanju specifičnih mrlja od kozmetičkog proizvoda za sunčanje (KP-B) pri 60 °C, 75 °C i 90 °C. Djelovanje neionske površinski aktivne tvari iz sredstva-MS očekivano je pri 60 °C i 75 °C. Djelovanje ozona može se povezati s njegovim oksidacijskim djelovanjem na mrlje od kozmetičkog proizvoda za sunčanje KP-B na pamučnoj tkanini pri nižim temperaturama (ciklusi pretpranja i ispiranja). Povišene temperature pranja, posebice 90 °C, mogu djelovati na osušenje masnoće i smanjenje njenog intenziteta. Opisano djelovanje potvrđuje sinergiju kemije i temperature, kao čimbenika Sinnerovoga kruga.

Izgled i intenzitet mrlja KP-B na pamučnoj tkanini pod dnevnim svjetlom u sobnom prostoru i usmjerenim UV svjetlom u tab.7, potvrđuju na povoljan

utjecaj sredstva-MS i ozona u procesu pranja. Različovitost KP-B mrlje na pamučnoj tkanini olakšava povećan intenzitet fluorescencije pri višim temperaturama. Zona migracije komponenti heterogene mrlje (KP-B), odnosno njeno širenje iz središnjeg dijela prema rubovima nakon procesa pranja sredstvom MS i ozonom manjeg je intenziteta u odnosu na proces pranja samo sredstvom-MS.

Na sl.6 načinjena je usporedba primarnog učinka sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom u procesu pranja pamučnih tkanina s mrljom KP-B pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C. Primarni učinak prikazan na sl.6 potvrđuje povoljan utjecaj ozona i sinergijski učinak sa sredstvom-MS u uklanjanju mrlja od kozmetičkog proizvoda za sunčanje (KP-B) s pamučne tkanine pri svim temperaturama.



Sl.6 Usporedba primarnog učinka sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom u procesu pranja pamučne tkanine s mrljom KP-B pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C

3.2. Primarni učinak u procesu pranja pamučnih pletiva

U tab.8 iskazan je primarni učinak sredstva-MS u procesu pranja pamučnih pletiva s mrljama kozmetičkog proizvoda (KP-M) pri analiziranim temperaturama uz fotografije pamučnih pletiva za svaki pojedini proces.

Rezultati prikazani u tab.8 pokazuju najpovoljniji primarni učinak sredstva-MS pri temperaturi 90 °C, što je u skladu s prethodnim rezultatima na pamučnoj tkanini. Učinak je posljedica osapunjenja masnoće i uklanjanjem u njoj topivih UV zaštitnih komponenti. Sinergijski učinak visoke temperature, sredstva-MS i učinkovite hidrodinamike potvrđen je i kod pletiva s mrljom KP-M.

Izgled opranog pamučnog pletiva pod dnevnim svjetlom i UV stimuliranim svjetlom, razlikuje se u odnosu na pamučnu tkaninu. Pamučno pletivo je kemijski i optički bijeljeno, te pokazuje jaču refleksiju pod dnevnim svjetlom i izraženiji intenzitet fluorescencije pod UV svjetlom u usporedbi s pamučnom tkaninom koja je samo kemijski bijeljena. Nastavak istraživanja ove problematike planiran je na kemijski bijeljenoj tkanini i pletivu.








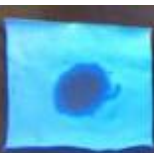






U tab.9 iskazan je primarni učinak sredstva-MS i ozona u procesu pranja pamučnih pletiva s mrljama kozmetičkog proizvoda (KP-M) pri analiziranim temperaturama uz fotografije pamučnih pletiva za svaki pojedini proces. Rezultati primarnog učinka po-

tvrdjuju povoljan utjecaj ozona na aktivnost sredstva-MS u uklanjanju mrlja KP-M s pamučnog pletiva pri svim temperaturama. Fotografije uzorka pamučnog pletiva prije procesa pranja pod UV svjetlom, tab.8 i 9, pokazuju da i ova mrlja ima dvije zone, središnju tamniju i obodnu svjetliju, što se nije uočavalo na pamučnoj tkanini. Uočene razlike u izgledu KP-M mrlje na pamučnom pletivom i pamučnoj tkanini uvjetovane su razlikama u njihovim strukturalnim značajkama i stupnju obrade.








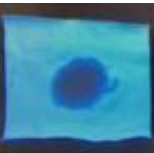






Prethodno opisani odnosi primarnog učinka sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom u procesu pranja mrlje KP-M na pamučnim pletivima pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C jasno su prikazani na sl.7. Najpovoljnija temperatura za sredstvo-MS s ozonom je 30 °C i 75 °C, gdje je ozon dao značajan kemijski impuls u uklanjanju mrlje KP-M s pamučnog pletiva.

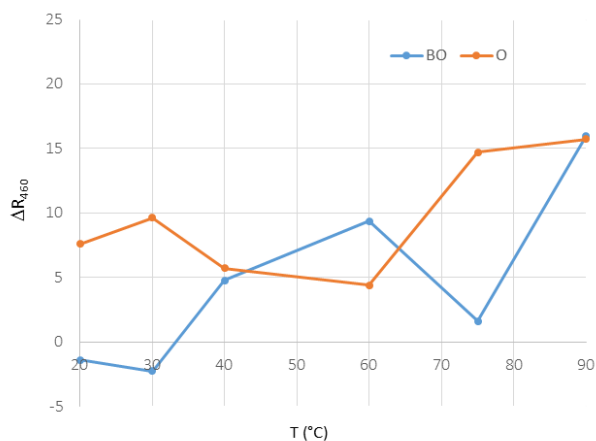
U tab.10 iskazan je primarni učinak sredstva-MS u procesu pranja pamučnih pletiva s mrljama kozmetičkog proizvoda (KP-B) pri analiziranim temperaturama uz fotografije pamučnih pletiva za svaki pojedini proces.

Tab.8 Remisija s pamučnog pletiva s KP-M mrljom (R_0), primarni učinak (ΔR_{460}) i fotografije pletiva prije i nakon procesa pranja pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C

Prije pranja	20 °C	30 °C	40 °C	60 °C	75 °C	90 °C
R_0	ΔR_{460}					
85,91	-1,39	-2,26	4,78	9,37	1,63	15,99
						
						

Tab.9 Remisija s pamučnog pletiva s KP-M mrljom (R_0), primarni učinak (ΔR_{460}) i fotografije pletiva prije i nakon procesa pranja potpomognutog ozonom pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C

T (°C)	20 °C	30 °C	40 °C	60 °C	75 °C	90 °C
R_0	ΔR_{460}					
78,74	7,62	9,64	5,72	4,40	14,73	15,73
						
						



SI.7 Usporedba primarnog učinka sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom u procesu pranja pamučnih pletiva s mrljom KP-M pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C

Rezultati jasno pokazuju da povišena temperatura pranja ima ključnu ulogu u učinkovitosti sredstva-MS u uklanjanju KP-B s pamučnih pletiva, a najbolji rezultati postignuti su pri 75 °C i 90 °C.

Ovi rezultati potvrđuju važnost odabira odgovarajuće temperature pranja za postizanje dobrog učinka uklanjanja specifičnih vrsta mrlja.

Izgled mrlja KP-B na neopranoj pamučnoj tkanini pod UV svjetlom povezan je migracijskim zonama i širenjem masne faze balzama prema rubovima, kako je zapaženo i na neopranoj pamučnoj tkanini. Povećanje temperature pranja, posebno 75 °C i 90 °C, ima pozitivan učinak na smanjenje intenziteta ove mrlje na pletivu. Visoka temperatura i alkalnost sredstva-MS doprinosi osapunjenju masne faze mrlje. U tab.11 iskazan je primarni učinak sredstva-MS i ozona u procesu pranja pamučnih pletiva s mrljama kozmetičkog proizvoda (KP-B) pri analiziranim temperaturama uz fotografije pamučnih pletiva za svaki pojedini proces. Vrijednosti remisije prikazane u tab.11 pokazuju kako primjena ozona u procesu pranja ima značajan i povoljan utjecaj na učinkovitost uklanjanja KP-B mrlja. Ovi rezultati ukazuju na to da ozon, kao dodatni promotor u procesu pranja sa sredstvom-MS, unosi dodatni kemijski potencijal, neophodan za

Tab.10 Remisija s pamučnog pletiva s KP-B mrljom (R₀), primarni učinak (ΔR₄₆₀) i fotografije pletiva prije i nakon procesa pranja pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C

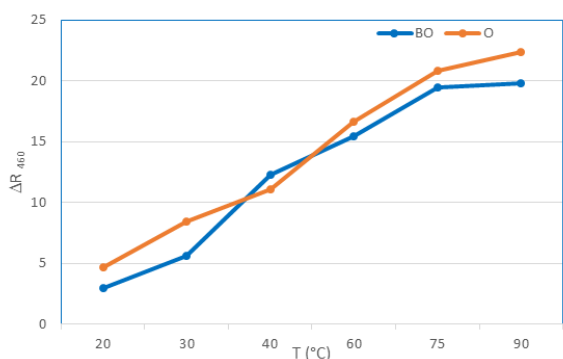
T (°C)	20 °C	30 °C	40 °C	60 °C	75 °C	90 °C
R ₀	ΔR ₄₆₀					
68,90	2,96	5,63	12,28	15,44	19,45	19,83

Tab.11 Remisije s pamučnog pletiva s KP-B mrljom (R₀), primarni učinak (ΔR₄₆₀) i fotografije pletiva prije i nakon procesa pranja potpomognutog ozonom pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C

T (°C)	20 °C	30 °C	40 °C	60 °C	75 °C	90 °C
R ₀	ΔR ₄₆₀					
67,84	4,68	8,41	11,13	16,65	20,85	22,38

smanjenje intenziteta ili potpuno uklanjanje specifičnih mrlja od kozmetičkih proizvoda za sunčanje, koje predstavljaju problem i teškoću u suvremenim uvjetima procesa pranja.

Na sl.8 načinjena je usporedba primarnog učinka sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom u procesu pranja pamučnih pletiva s mrljom KP-M pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C. Ozon pogoduje učinku sredstva-MS pri niskim temperaturama procesa pranja, 20 °C i 30 °C i povišenim, 60 °C, 75 °C i 90 °C.



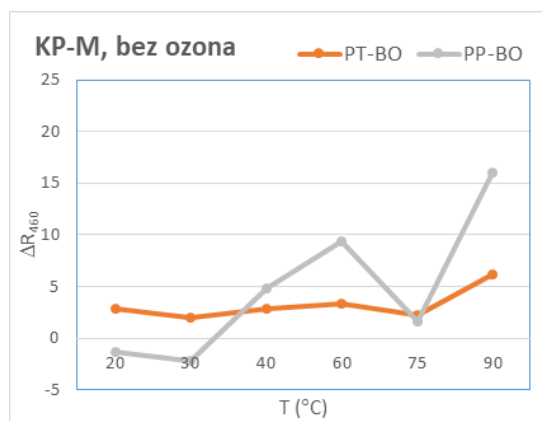
Sl.8 Usporedba primarnog učinka sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom u procesu pranja pamučnih pletiva zaprljanih KP-B pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C

3.3. Usporedba primarnih učinaka sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom u procesu pranja pamučnih tkanina i pletiva

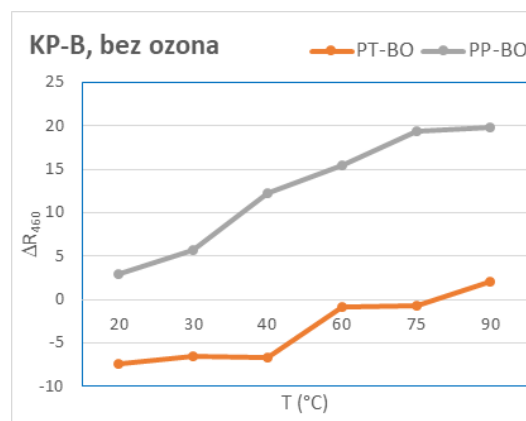
Sl.9 prikazuje primarni učinak sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom u procesu pranja mrlja od kozmetičkih proizvoda za sunčanje (KP-M i KP-B) na pamučnoj tkanini i pamučnom pletivu pri temperaturama 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C kroz četiri prikaza utjecaja ovisno o vrsti materijala.

Vidljivo je da:

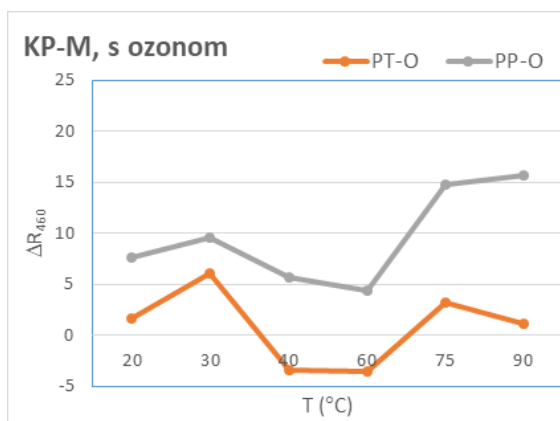
- sredstvo-MS ima bolji učinak uklanjanja mrlje KP-M s pamučnog pletiva nego s pamučne tkanine pri 40 °C, 60 °C i 90 °C (sl.9a).
- sredstvo-MS ima bolji učinak uklanjanja mrlje KP-B s pamučnog pletiva nego s pamučne tkanine pri svim temperaturama (sl.9b).
- ozon pojačava kemijsku aktivnost sredstva-MS u uklanjanju mrlje KP-M na pamučnom pletivu pri temperaturama 20 °, 30 °C, 40 °C, 75 °C i 90 °C, sl.9c i 9d).
- ozon pojačava kemijsku aktivnost sredstva-MS u uklanjanju mrlje KP-B na pamučnom pletivu pri svim temperaturama (sl.9d).



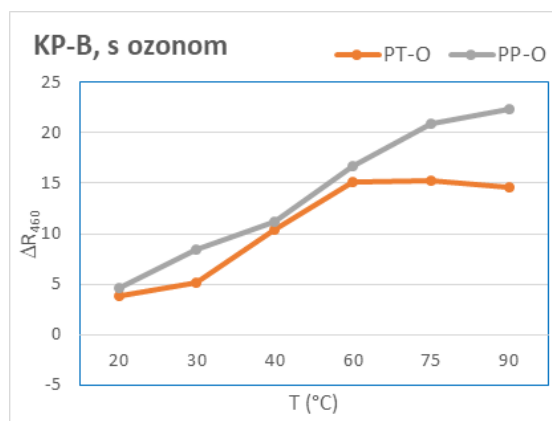
a.



b.



c.



d.

Sl.9 Usporedba primarnih učinaka sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom u procesu pranja pamučnih tkanina i pletiva s mrljama od kozmetičkih proizvoda za sunčanje

- ozon pojačava kemijsku aktivnost sredstva-MS u uklanjanju mrlje KP-B na pamučnoj tkanini pri svim temperaturama (sl.9b i 9d).
- utjecaj pamučnog supstrata pokazuju sl.9b i 9c.

3.4. Stupanj bjeline standardne tkanine u procesu pranja

Nezaprljana standardna pamučna kemijski bijeljena tkanina PT-P uložena je kao popratni indikator za analizu stupnja bjeline u procesu pranja pamučnih tkanina i pletiva s mrljama kozmetičkog proizvoda KP-M i KP-B uporabom sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C. Njena masa je mala (1,2 g) u odnosu na masu pamučnog balasta 6 kg.

U tabl.12 predstavljene su vrijednosti stupnja bjeline (W_{GG}) kemijski bijeljene standardne tkanine – nosača prije i nakon procesa pranja sredstvom-MS i sredstvom-MS s ozonom.

Tab.12 Stupanj bjeline standardne pamučne tkanine (W_{GG}) prije i nakon procesa pranja sredstvom-MS i sredstvom-MS s ozonom

T (°C)	W_{GG}	
	BO	O
20	54,04	47.55
30	48,17	55.93
40	70,46	70.75
60	95,61	102.52
75	116,51	111.07
90	158,75	165.84
Prije pranja	43,0	

Više temperature pranja poboljšale su sposobnost alkalnog sredstva-MS na bazi neionske površinske tvari u razaranju mrlja od kozmetičkih proizvoda za sunčanje (KP-M i KP-B). Stupanj bjeline nosača W_{GG} prije procesa pranja iznosi 43,0 što je u skladu s njenim stanjem (kemijski je bijeljena). Porast stupnja bjeline nosača pri svim temperaturama uvjetovan je prijelazom optičkog bjelila s pamučnog balasta na nosač u procesu pranja sredstvom-MS i sredstvom-MS s ozonom, što je u skladu s izgledom pamučne tkanine pod UV svjetlom.

5. Zaključak

U radu su istraženi učinci pojačivača, sredstva-MS i sredstva-MS s ozonom (bez deterdženta) u procesu pranja pamučne tkanine i pamučnog pletiva sa zaprljanjima od kozmetičkih proizvoda za sunčanje pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C.

Djelomično uklanjanje mrlja od kozmetičkih proizvoda za sunčanje u procesu pranja, uvjetovano je tvrdokornošću ovih zaprljanja na pamučnim tekstilijama, smanjenoj koncentraciji sredstva-MS i procesu pranja bez deterdženta.

Rezultati su pokazali da konstrukcijske razlike i stupanj dorade pamučne tkanine i pamučnog pletiva utječu na izgled mrlja od kozmetičkih proizvoda za sunčanje prije i nakon procesa pranja.

Ozon pojačava kemijsku aktivnost sredstva-MS u uklanjanju mrlje od kozmetičkog proizvoda za sunčanje (KP-M, hidratantna emulzija i KP-B, balzam) na pamučnom pletivu pri temperaturama 20 °C, 30 °C, 40 °C, 75 °C i 90 °C.

Ozon pojačava kemijsku aktivnost sredstva-MS u uklanjanju mrlje kozmetičkog proizvoda za sunčanje (balzam, KP-B) na pamučnoj tkanini pri svim temperaturama.

Daljnja istraživanja usmjeriti će se na učinak pojačivača uz deterdžent, te pojačivač i deterdžent potpomognute ozonom u procesu pranja pamučnih tekstilija zaprljanih kozmetičkim proizvodima za sunčanje pri 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60 °C, 75 °C i 90 °C.

Dio istraživanja proveden je na opremi kupljenoj u okviru projekta KK.01.1.1.02.0024 Modernizacija infrastrukture Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil (MI-TSRC).

Dio rezultata prikazanih u radu proizašao je iz projektnog zadatka „Analiza interakcija u procesu pranja pamučnih materijala - uklanjanje mrlja s UV aktivnim komponentama“ izrađenog u okviru doktorskog studija Tekstilna znanost i tehnologija Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta u akad. god. 2023./2024. prihvaćenog (13.05.2024.) od strane Vijeća doktorskog studija Tekstilna znanost i tehnologija na Tekstilno-tehnološkom fakultetu.

Literatura:

- [1] Sinner, H. Über das Waschen mit Haushaltwaschmaschinen, Haus-Heim-Verl., Hamburg, **1960**.
- [2] ...Krug Sinnera, Available: <https://molletta.ru/kto-pridumal-krug-sinnera>, Accessed: 12/10/2023
- [3] Smulders, E. Laundry Detergents, Wiley-VCH, Weinheim, **2002**.
- [4] Elsner, P.; Hatch, K.; Wigger-Alberti, W. Textiles and the Skin, Karger, ISBN: 978-3805574389, **2003**.

- [5] Soljačić, I.; Pušić, T. Njega tekstila: Čišćenje u vodenim medijima, *Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, ISBN: 953-7105-08-3, Zagreb, **2005**.
- [6] Soljačić, I.; Čavara, L. Deterdženti za pranje tekstila, *Tekstil* **1999**, 48(10), pp. 498-504.
- [7] Safdar, A.; Ismail, F.; Imran, M. Characterization of Detergent-Compatible Lipases from *Candida albicans* and *Acremonium sclerotigenum* under Solid-State Fermentation, *ACS Omega* **2023**, 36(8), pp. 32740-32751.
<https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03644>
- [8] Valls, C.; Cusola, O.; Roncero, M.B. Evaluating the Potential of Ozone in Creating Functional Groups on Cellulose, *Cellulose* **2022**, 29, pp. 6595-6610.
<https://doi.org/10.1007/s10570-022-04694-4>
- [9] Garcia, B. Reduced Water Washing of Denim Garments, In: *Denim: Manufacture, Finishing and Applications*, Woodhead Publishing, **2015**, pp. 405-423. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-843-6.00013-5>
- [10] Islam, M.; Perry, P.; Gill, S. Mapping environmentally sustainable practices in textiles, apparel and fashion industries: a systematic literature review. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal* **2021**, 25(2), pp. 331-353.
<https://doi.org/10.1108/JFMM-07-2020-0130>
- [11] Gonçalves, A.A. Ozone – An Emerging Technology for the Seafood Industry, *Brazilian Archives of Biology and Technology* **2009**, 52(6), pp. 1527-1539.
<https://doi.org/10.1590/S1516-89132009000600025>
- [12] Guzel-Seydim, Z.B.; Greene, A.K.; Seydim, A.C. Use of Ozone in the Food Industry, *LWT - Food Science and Technology* **2004**, 37(4), pp. 453-460.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.014>
- [13] Majewski, J.: Methods for Measuring Ozone Concentration in Ozone-Treated Water, *Electrical Review* **2012**, 88, pp. 253-255.
- [14] Neral, B. Kvaliteta pranja u kućanskom stroju za pranje s ozonatorom, *Tekstil* **2016**, 65(7-8), pp. 241-251. <https://hrcak.srce.hr/186385>
- [15] Fijan, S.; Šostar-Turk, S.; Pušić, T. Primerjava primarnih učinaka pranja pri uporabi različitih postupaka pranja bolnišničnih tekstilija, *Tekstilec* **2006**, 49 (4-6), pp. 72-80.
- [16] Pušić, T.; Šostar-Turk, S.; Soljačić, I.; Tarbuk, A.; Fijan, R.; Arnuš, S. Primarni učinak praškastog i tekućeg deterdženta u pranju, *Tekstil*, **2006**, 55 (1), pp. 11-18.
<https://www.tekstil.hist.hr/index.php/tekstil/article/view/3174>
- [17] ICCR: Report for International Cooperation on Cosmetic Regulation: 2011 Associations Survey of Nanomaterials Used in Cosmetic Products, (2011).
- [18] Smijs, T.G.; Pavel, S. Titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in sunscreens: focus on their safety and effectiveness. *Nanotechnology, Science and Applications* **2011**, 4, pp. 95-112.
<https://doi.org/10.2147/NSA.S19419>
- [19] ...Product in the spotlight Mulan Solar. Available:
<https://www.christeys.com/article/product-in-the-spotlight-mulan-solar/>, Accessed: 22/4/2024