

## Kvaliteta pranja u kućanskom stroju za pranje s ozonatorom

Doc.dr.sc. **Branko Neral**, dipl.ing.  
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo  
Maribor, Slovenija  
e-mail: [branko.neral@um.si](mailto:branko.neral@um.si)  
Prispjelo 2. 4. 2016.

UDK 677.016.1./6  
Izvorni znanstveni rad

*Istraženi su učinci pranja ozonom u usporedbi s klasičnim pranjem na temelju vrednovanja učinka uklanjanja prljavština, spektralnih karakteristika bijelih (pamuk, pamuk/poliester, PES i PA) i obojenih (pamuk, PES) tkanina i dezinfekcije. Upotrijebljen je kućanski stroj za pranje, isti kućanski stroj s ozonatorom, sredstvo za pranje IEC A, pamučni balast, uzorci standardnih zaprljanih tkanina, bijeljene i obojene tkanine i tekstilni nosači bakterijskih kultura *Enterococcus faecium* ATCC 6057. Jednokupeljni postupak pranja (pamuk, normalan) sastajao se od glavnog pranja, tri ispiranja i centrifugiranja. Klasično pranje je provedeno na 40 °C dok je postupak pranja ozonom proveden u kupelji između 20 i 40 °C. Izvedba pranja i vrednovanje učinaka je provedena u skladu s normama i preporukama. Rezultati su pokazali da su učinci ozonskog pranja s komercijalnim ozonatorom usporedivi s učincima klasičnog pranja. Dokazano je da pranje ozonom bez sredstva za pranje IEC A na temperaturi 40 °C smanjuje broj mikroorganizama više od 5 logaritama. Za poboljšanje učinaka kućanskog pranja ozonom potrebno je istražiti i razviti konstrukcijska rješenja koja će omogućiti ugradnju ozonatora u kućanski stroj za pranje kao i nove algoritme pranja.*

**Ključne riječi:** ozon, kućanski stroj za pranje, ozonator, učinak pranja, dezinfekcija

### 1. Uvod

#### 1.1. Higijena pranja

U dvadesetom stoljeću se smatralo da će javno zdravstvo zahvaljujući cjepivima i antibioticima biti sposobno eliminirati infektivne bolesti. Međutim, dogodilo se suprotno. Rizik od infekcije je povećan, iako kućansko okruženje pruža virtualni osjećaj sigurnosti. Rezultati provedenih istraživanja pokazali su da je čišćenje i pranje tekstila jedan od ključnih čimbenika za osiguranje higijene u kućanstvu [1]. Utvrđeno je da kućanski tekstil ima važnu ulogu u širenju infekcije, čiji su uzrok patogeni mikroorganizmi: virusi, bakterije i gljivice

[2-4]. Heinzl smatra da se tekstil može kontaminirati patogenim uzročnicima u normalnoj uporabi (dermatofiti na čarapama, genitalni patogeni na donjem rublju, ručnicima itd.), o čemu kućanstva nisu dovoljno svjesna i upućena [5]. Često se ne uzima u obzir da je pranje jedan od važnijih i ključnih mikrobioloških radnji u prevenciji infekcija u kućanstvu.

#### 1.2. Kućansko strojno pranje

Primarna zadaća kućanskog pranja je da s tekstila odstrani vidljive nečistoće, mrlje, neprijatne mirise, koje je tekstil vezao tijekom uporabe, kao i mikroorganizme [6].

Poznato je da redukcija mikroorganizmima u procesu pranja ovisi o kinetičkoj energiji, toplini i sredstvu za pranje. Pod utjecajem kinetičke energije iz tekstila se uklanjaju nečistoće i mikroorganizmi koji se dispergiraju u kupelj za pranje, a zatim se odvođe iz stroja za pranje. Na inaktivaciju mikroorganizama također utječe toplina (po načelu „viša temperatura - veća brzina redukcije mikroorganizama“), sastav sredstva za pranje, npr. komponente za izbjeljivanje i dezinfekciju (perborat, hipoklorit, tetraacetilendiamin (TAED), nonanoiloksibenzensulfonat (NOBS)) [7]. Zahtjevi potrošača za smanjenjem vremena, temperature, količine vode

i struje zapravo su značajno utjecale na smanjenje troškova kućanskog pranja i smanjenje opterećenja okoliša [8-10]. S druge strane, zbog ovako promijenjenih parametara pranja rublja, pojavili su se i negativni učinci. Pranje na temperaturi nižoj od 40 °C, mali omjer kupelji, skraćeno vrijeme pranja i pranje bez oksidativnih sredstava za izbjeljivanje daje slabije učinke dezinfekcije. Nedavne studije pokazuju da je učinak smanjenja mikroorganizama u promijenjenim uvjetima pranja u kućanstvu manji od klasičnog za 2-3 log stupnja, javlja se biofilm (kontaminacija), neprijatan miris i rast patogenih mikroorganizama [11-13].

Sa stajališta prevencije infekcija i osiguranja zdravlja potrebno je izbjegavati rizične situacije, npr. pranje i čišćenje službene zaštitne odjeće u kućanstvima. Tako je, prema reorganizaciji zdravstvenog sustava u Velikoj Britaniji, očekivano da će većina medicinskih sestara prati radnu odjeću kod kuće ili u javnim praonicama. Daljnji problem je uzrokovan činjenicom da 69 % kućanstava u Velikoj Britaniji pere na 40 °C, a 15 % na 60 °C. Izražena je ozbiljna zabrinutost da je zbog smanjene razine higijene u pranju povećan rizik od prijenosa zaraznih bolesti [14-16]. Istraživanja u njemačkim domaćinstvima su rezultirala iznenađujućim rezultatima [17], koja se očituju u činjenicama da 60 % zaposlenika medicinske struke pere odjeću kod kuće, 52 % prije pranja ne odvaja radnu odjeću od osobne odjeće, 50 % nosi radnu odjeću na sebi za vrijeme putovanja na radno mjesto, 68 % koristi omekšivač i 58 % koristi sredstva za uklanjanje mrlja (pogoršavaju zaštitna svojstva odjeće), 51 % ne dozira sredstvo za pranje u skladu s uputama proizvođača. Prema ovom autoru, pranje radne odjeće u kućanstvima predstavlja izuzetno visoki rizik za zdravlje i osobnu sigurnost članova kućanstva i okoliša.

Izmijenjeni higijenski uvjeti, nedostaci klasičnih postupaka pranja i dodatnih uvjeta zaštite okoliša doveli su

do intenzivnog istraživanja i razvoja u području čišćenja kućanstva i njege tekstila. Postignut je određeni napredak u razvoju sredstava za pranje, mikrobioloških metoda ispitivanja, standardizacije i novih tehnologija pranja u kućanstvu (UV, pročišćavanje vode magnetom, para ...) [18]. Pranje ozonom se zbog dobre prakse u industriji preporučuje za kućansko pranje.

### 1.3. Ozon (gr. ozein - mirisati), trikisik O<sub>3</sub>

Ozon je alotropska modifikacija kisika, jer njegovu molekulu čine tri atoma kisika (O<sub>3</sub>). To je plin plavičaste boje (temperature tališta -192 °C, temperature vrelišta -112 °C) specifičnog jakog mirisa, koji se osjeti u zraku već kod 0,01 ppm [19, 20]. Profesor C.F. Schönbein, se bavio istraživanjima elektrolize vode, pa je 1828. prvi identificirao ozon kao kemijski spoj. Kasnije, kad su već razvijeni generatori statičkog elektriciteta, van Mauren povezao je nastanak električne energije i otpušten miris, te ovaj fenomen nazvao „miris električne energije“ [21].

Ozon nastaje u prirodi pod utjecajem ultraljubičastog zračenja na kisik ili kod atmosferskih električnih pražnjenja (munja i ljetna oluja). Na umjetan način nastaje i proizvodi se elektrolizom, visokonaponskim pražnjenjem i UV zračenjem.

Fotokemijske reakcije koje inicira Sunčeva svjetlost sa valnim dužinama ispod 242 nm uzrokuju nastanak ozona u stratosferi (sloj zraka između 15 i 50 km iznad Zemlje). 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 UV-B (315–280 nm) zračenja brzo raspada u molekulu kisika i jedan slobodan atom kisika. U prirodnoj neosnaženoj atmosferi su proces nastanka i proces raspadanja ozona u ravnoteži. Na taj način se stvara i održava ozonski omotač, koji apsorbira ultraljubičasto zračenje Sunca te štiti i dopušta život

na Zemlji [22, 23]. Čovjek je u prošlom stoljeću proizvodnjom i ispuštanjem plinovitih halogeniranih ugljikovodika, koji se razgrađuju pod utjecajem energije u radikale halogenih elemenata koji razgrađuju molekule ozona, utjecao na prorijedjenje područja i koncentracije ozona te smanjenje koncentracije ozona u omotaču – ozonske rupe [24].

Nastajanje „štetnog“ ozona u troposferi (sloj zraka koji leži pri tlu pa do visine 15 km iznad Zemlje) posljedica su djelatnosti čovjeka (promet, industrija). Prizemni ozon nastaje fotokemijskim reakcijama spojeva koji su tzv. prethodnici ozona (dušikovi oksidi, ugljikovodici) pod utjecajem Sunčeve svjetlosti [23]. Ozon u manjim koncentracijama nadražuje sluznicu i dišne puteve, dok kod viših koncentracija može uzrokovati smrt. U propisu Europskog parlamenta i vijeća, prema Direktivi 2008/50/EZ propisane su granične vrijednosti, kritična razina, granica tolerancije, prag upozorenja, prag obavješćivanja za prizemni ozon. Također su propisani način mjerenja, osiguravanje kvalitete mjerenja, točke uzorkovanja, kao i obavješćivanje javnosti o rezultatima mjerenja prizemnog ozona. Za prizemni ozon, prag obavješćivanja je kod koncentracije 180 g/m<sup>3</sup> za jednosatan prosjek, a prag upozorenja kod 240 g/m<sup>3</sup> za jednosatan prosjek [25].

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. Brzina raspada ovisi o temperaturi, povećava se s porastom temperature. Ozon se raspada u zraku kod -25 °C za 8 dana, kod 20 °C za 3 dana, kod 120 °C za 1,5 sata, dok kod temperature 250 °C u 1,5 sekundi. Otopljen u vodi (pH 7) na temperaturi 20 °C, ozon se raspadne za 12 min, a s porastom temperature na 35 °C vrijeme raspada se smanjuje na 8 min [26]. Topljivost ozona, kao i konačna koncentracija u vodi, funkcija je koncentracije ozona u plinskoj fazi, tlaka plina, temperature vode i tehnologije

proizvodnje i uvođenja plina (sa zrakom ili kisikom). Topljivost ozona u vodi se smanjuje s porastom temperature vode. Kod 15 °C topljivost ozona iznosi 0,456 L O<sub>3</sub>/L H<sub>2</sub>O, kod 40 °C smanjuje se na 0,0112 L O<sub>3</sub>/L H<sub>2</sub>O, da bi se kod vode ugrijane na 60 °C ozon prestao otapati.

Ozon je jako oksidacijsko sredstvo. Njegov oksidacijski potencijal iznosi 2,07 mV, a viši potencijal ima jedino fluor (3,06 mV), dok su oksidacijski potencijali drugih najviše upotrebljivanih oksidanata manji. Oksidacijski potencijal vodikovog peroksida iznosi 1,77 mV, hipokloritne kiseline 1,49 mV, klora 1,36 mV i kisika 1,23 eV [26].

### 1.3.1. Uporaba ozona

Ozon se zbog svoje reaktivnosti i oksidacijskih karakteristika prije svega upotrebljava za čišćenje i dezinfekciju, za pripremu sanitarnih voda, čišćenje otpadnih voda, u rashladnim uređajima i proizvodnji supervodika (UV+ozon), u farmaceutskoj i prehrambenoj industriji te industriji pića. Nonnenmacher navodi prednosti uporabe plinovitog ozona u procesima pakiranja prehrambenih proizvoda, pri čemu u reakcijama s lipidima i proteinima (bakterije) nastaju CO<sub>2</sub> i voda. Za razliku od klora, koji se koristi za dezinfekciju, nastali produkti ozoniranja su biološki razgradljivi. Rezistentnost mikroorganizama na ozon nije moguća [27].

Ozon se koristi u Europi već dugo vremena za pripremu pitke vode. Najprije se koristio u Nizozemskoj (1893.), zatim u Francuskoj (Nica, 1907.) i Rusiji (St. Petersburg, 1910.), u SAD-u se koristi od 1987. (Los Angeles). Deset godina kasnije u SAD-u je Savezna uprava za hranu i lijekove - FDA (engl. *US Food and Drug Administration*) odobrila korištenje ozona u staklenkama s vodom i za obradu tekuće hrane i pića [28, 20]. Ozon se danas koristi primarno (uništavanje mikroorganizama u sirovoj vodi) i sekundarno (sprečavanje rasta mikroorganizama pri distribuciji) za dezinfekciju pitke vode, za oksidaciju

anorganskih i organskih tvari, obezbojavanje i uklanjanje mirisa i okusa [29]. Pomoću zraka obogaćenog ozonom, se pri punjenju prirodnih i mineralnih voda izlučuju željezovi, manganovi i sumporni spojevi, te arsen [30].

### 1.3.2. Ozon i oplemenjivanje tekstila

Uporaba ozona u tekstilno-kemijskim procesima nije nepoznata. U ranim 90-im godinama prošlog stoljeća započela je zamjena ekološki i toksikološki spornih kemikalija i procesa, koji su se koristili za oplemenjivanje tekstila. Istražena je upotrebljivost i učinkovitost ozona u procesu bijeljenja (najprije zamjena izbjeljivanja kloritom i hipokloritom), bojadisanja pamučnih, vunjenih, PES i PA tekstilija te za dezinfekciju i obezbojavanje tekstilnih tehnoloških voda i dezinfekciju procesne vode [31-34]. Provedena su istraživanja učinka izbjeljivanja škrobljenih pamučnih tkanina vodikovim peroksidom, koji se još uvijek najčešće koristi kao oksidacijsko sredstvo, i ozona [35, 36]. Konvencionalno bijeljenje peroksidom je provedeno na temperaturi od 95 °C tijekom 45 min uz dodatak peroksida, sode i organskog stabilizatora. Obrada ozonom (5,7 ± 1,4 mg O<sub>3</sub>/min) se provodila u vodi (pH 6,8), bez dodatka kemikalija i pomoćnih sredstava, na sobnoj temperaturi (18 ± 2 °C), u trajanju od 5 do 90 minuta. Omjer kupelji 1:20 je podjednak u oba postupka.

Rezultati su pokazali da 60 minutna obrada pamučne tkanine ozonom osigurava isti stupanj bjeline kao bijeljenje peroksidom. Produljenje vremena obrade ozonom na 90 min, ne povećava stupanj bjeline, ne utječe na smanjenje prekidne čvrstoće. Dakle, prekidna čvrstoća u 90 minutnom bijeljenju peroksidom iznosi 0,17 kN, a 90 minutna obrada ozonom iznosi 0,18 kN. Obrada tkanina ozonom povećava stupanj odškrobljavanja i hidrofilitnosti. Usporedba IR spektara pamučnih tkanina bijeljenih peroksidom i ozonom načinjenih FTIR-ATR

spektrofotometrijom ne pokazuje značajna odstupanja. Rezultati su potvrdili [37, 38] da čak i jednominutna obrada ozonom daje odgovarajući stupanj bjeline tkanina, koja je pogodna za bojadisanje.

Potrebno je naglasiti da 7 minutni tretman ozonom smanjuje prekidnu čvrstoću pamučne tkanine za 27 %. Također je važno napomenuti da tkanina tretirana ozonom apsorbira više reaktivnih bojila, što se pripisuje konverziji hidroksilnih skupina celuloze u karboksilne i aldehidne skupine pod utjecajem izbjeljivanja ozonom. Na području čišćenja tekstilnih otpadnih voda do sada je provedeno najviše istraživanja. Poznato je da suvremene tehnike čišćenja ozonom omogućuju učinkovitu razgradnju cijelog niza tvari iz gradskih i industrijskih voda, kao što su bojila i pigmenti, površinski aktivne tvari, pesticidi, cijanidi, klorirani fenoli, aromatski hidrogenkarbonati, klorbenzeni, alkoholi, aldehidi, sulfiti, nitriti, virusi, bakterije, alge itd. [39-43]. Pomoću ozona se u terciarnom čišćenju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda smanjuje sadržaj postojanih organskih spojeva. Dakle, 120 minutni tretman biološki obrađene vode ozonom (34,99 mg O<sub>3</sub> / L · min) smanjuje sadržaj organske tvari za 64,4 % [44]. U radu Lesjak i sur. istražena je oksidacija oksazinskih direktnih bojila C.I. Direct Blue 106 u vodenim otopinama (600 mg/L, pH 12) pomoću ozona (2 g O<sub>3</sub> / L · h.). Oksidacijski nusprodukti, poput sulfata, nitrata, nitrita, kloridnih iona i spojeva fenola identificirani su MSMS i LC-MS analizom. Rezultati pokazuju da je KPK nakon 60 minuta obrade ozonom smanjen na manje od 85 % od početne vrijednosti, dok je početna TOC vrijednost smanjena za 30 %. Važan je i zaključak da su provedena ispitivanja toksičnosti na dafnije (vodenbuhe) nakon ozonizacije otpadne vode koja je sadržavala bojilo Direct Dye 106, potvrdila da nusprodukti nemaju toksične karakteristike [45].

### 1.3.3. Ozon i pranje tekstila

Tehnologija industrijskog pranja ozonom se počela aktivno uvoditi u komercijalne i industrijske praonice (bolnice, domove zdravlja, hotele, proizvodnju i prehrambenu industriju) dosta kasno, tek početkom ovog stoljeća. Iz objavljenih izvještaja je razvidno da je uvođenje tehnologije pranja ozonom ekonomski opravdano. Ulaganje u opremu se vraća za 8 do 18 mjeseci [46-49]. Rezultati istraživanja posebno ističu uštedu energije, uštedu vode i sredstava za pranje te učinke dezinfekcije, dok se utjecaj ozonskog pranja na svojstva tekstila ne razmatra.

Praonice tekstila pod pritiskom zakonodavstva o zaštiti okoliša i kontrole troškova, stalno traže načine i postupke kako očistiti i dezinficirati otpadne vode od pranja i vratiti ih u proces pranja. U tom smislu je provedeno istraživanje u kojem su ispitani učinci dezinfekcije otpadne vode ozonom [50]. Uzorci otpadnih voda koje su sadržavale sredstva za pranje i dezinfekciju, su kontaminirani s *Enterococcus faecium* ( $10^8$  CFU/L). Utvrđeno je da 50-ak minuta ozonizacije (3 g  $O_3$ /L·h) rezultira smanjenjem mikroorganizama u otpadnoj vodi za pranje za više od 4 logaritamska stupnja.

Nedavno su načinjeni početni koraci za uvođenje tehnologije ozona u kućansko pranje. Tako je Sanyo (Japan) razvio generaciju perilica/sušilica (9 kg punjenje) s ugrađenim ozonatorom (600 ppm  $O_3$ ), kao i tehnologije pranja/sušenja „Air Wash Wide“ i „Aqua Loop Wide“. Njihova zajednička karakteristika je pranje i dezinfekcija tekstila različitih sirovinskih sastava ozonom (također osjetljive odjeće od svile i kože), čišćenje i dezinfekcija vode za pranje i ispiranje, kondenzata sušenja, te njihova ponovna uporaba u procesu pranja [51]. Učinci pranja i dezinfekcije u kućanskom pranju ozonom nisu navedeni.

Alternativna Sanyo tehnologija predstavlja ozonator koji je moguće spojiti na bilo koji stroj za pranje u kućanstvu. Prema proizvođačkoj speci-

fikaciji, ovim se načinom može postići učinkovito pranje na niskim temperaturama za pranje, uklanjanje nečistoća i dezinfekciju tekstila.

Svrha ovog istraživanja je vrednovati učinke klasičnog i ozonskog pranja na temelju moći uklanjanja nečistoća, utjecaja na spektralne karakteristike neobojenih i obojenih tkanina od pamuka, pamuk/PES, PES i PA. Za procjenu učinka dezinfekcije klasičnog i ozonskog pranja korišteni su tekstilni nosači s bakterijskim kulturama *Enterococcus faecium* ATCC 6057.

## 2. Eksperimentalni dio

U kućanskom stroju za pranje su provedena dva jednokupeljna postupka pranja pamučnih tekstilija (3,5 kg balasta), uzoraka standardno zaprljanih tkanina, bijelih i obojenih tkanina i kolonija mikroorganizama.

Najprije je izvedeno klasično pranje u kućanskom stroju za pranje na 40 °C sa standardnim sredstvom za pranje IEC A [52]. Nakon toga je slijedilo ozonsko pranje pod jednakim uvjetima. Vodi, koja je prolazila kroz komercijalni ozonator razvijen za upotrebu u kućanstvu, dodavao se ozon na početku ciklusa glavnog pranja, 1. i 2. ispiranja. U drugom dijelu istraživanja je provedeno vrednovanje učinka dezinfekcije ozonskog pranja. Provedeni su ciklusi pranja pri temperaturama između 20 i 40 °C, bez dodatka sredstva za pranje. Na kraju je izvedeno ozonsko pranje s dodatkom svih komponenata sredstva IEC A pri temperaturi 40 °C.

### 2.1. Materijali, oprema, metode

#### 2.1.1. Materijali

Upotrijebljene su pamučne tkanine (navlake za krevete IEC T11, ručnici IEC T12, navlake za jastuke IEC T13), standardne zaprljane pamučne tkanine WFK Testgewebe GmbH (D), u skladu sa [52]. Uzorci standardno zaprljanih tkanina su skladištene u tamnom i hladnom prostoru između -20 i 5 °C, a prije ispitivanja su kondicionirane (20 °C, 65 % RH), kao i pamučne balastne tkanine, tijekom 24 sata.

Za vrednovanje utjecaja uvjeta pranja na promjenu spektralnih karakteristika bijelih i obojenih tkanina su priređeni bijeli i obojeni tekstilni monitori, sastavljeni od pamučnih navlaka za jastuke IEC T13, na koje su našiveni uzorci veličine 5\*7 cm, bijelih ali i obojenih tkanina prema preporukama EU EcoLabel i AISE [53-55]. Bijele monitore su činili uzorci pamučnih tkanina, tkanine od mješavine pamuk/PES, PES i PA. Obojene monitore su činili uzorci pamučnih i PES tkanina različitih tonova, svjetline i zasićenosti.

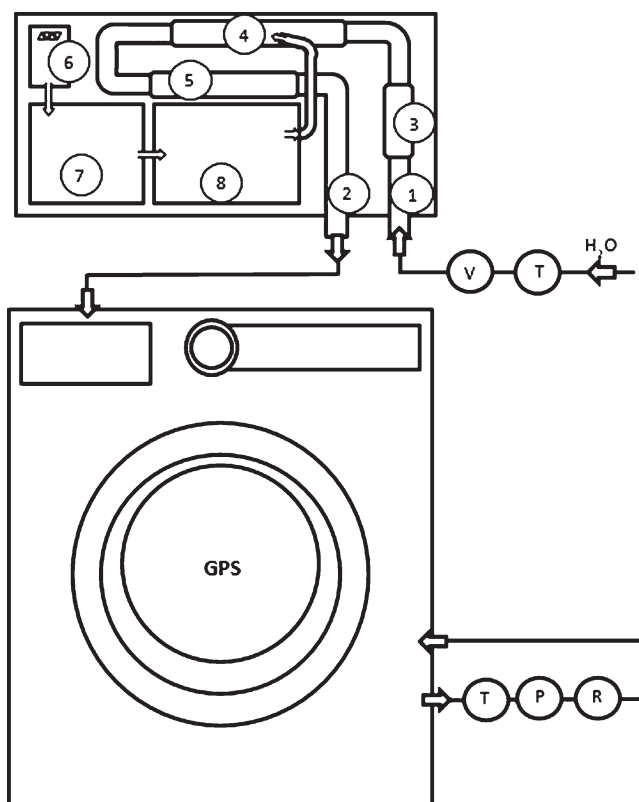
#### 2.1.2. Tekstilni bioindikatori

Za vrednovanje učinka dezinfekcije kućanskog strojnog pranja bez ozona i s dodanim ozonom, su bili upotrijebljeni tekstilni bioindikatori s bakterijskim kulturama *Enterococcus faecium* ATCC 6057. Kao nosač je upotrijebljena standardna pamučna tkanina [56]. Način, faze i uvjeti nanosa mikroorganizama su bili jednaki kao u prethodnim istraživanjima [57, 58].

#### 2.1.3. Postupak pranja

Postupak vrednovanja učinaka pranja [52] zahtijeva najprije pranje u referentnom stroju za pranje. Tako je provedeno 5 ciklusa pranja balastnih pamučnih tekstilija (3,5 kg) i setova standardnih mrlja (5 uzoraka/ciklus pranja) u stroju za pranje Wascator Electrolux, pri 40 °C uz dodatak sredstva za pranje IEC A (20 g/kg tekstilija). Program standardnog pranja se sastojao od faze glavnog pranja, četiri ispiranja i centrifugiranja (500 o/min). Slijedilo je sušenje na zraku na sobnoj temperaturi, čime se završio postupak pripreme standardnih uzorka pranja.

Klasično pranje i pranje ozonom su provedeni u kućanskom stroju za pranje SensoCare 7 kg/1400 W7643L Gorenje d.d. (SLO) u uvjetima koje propisuju norme [52, 59]. Sastav kupelji za pranje je voda (demineralizirana voda, elek. vodljivost <10  $\mu$ S/cm, tvrdoće 12 °dH, pH 7,3 – 7,7 i T 15  $\pm$  2 °C) i sredstva IEC A (77 % IEC



Legenda: GPS - kućanski stroj za pranje, V - mjerac protoka vode, T - mjerac temperature, P - mjerac pH, R - mjerac ORP, 1 - dovod vode, 2 - odvod vode, 3 - tlačni ventil, 4 - dovod O<sub>3</sub>, venturijeva cijev, 5 - komora za miješanje, 6 - modul za usis i pročišćavanje zraka, 7 - kontrolni modul, 8 - oksidacijski modul

Sl.1 Shema kućanskog stroja za pranje i protočnog generatora ozona

A BASE, 20 % SPT – natrijev trifosfat, 3 % TAED - natrijevtetraacetiltildiamin).

Klasičan proces pranja se odvijao ulaganjem 3,5 kg balastnih tkanina, standardnih mrlja, bijelih i obojenih tekstilnih monitora i tekstilnih bioindikatora, sa kolonijama *Enterococcus faecium* ATCC 6057 u bubanj stroja za pranje. Uslijedilo je doziranje praškastog sredstva za pranje IEC A (23,4 g/kg tekstilija) i izbor programa pranja »Pamuk, Normal«. Nakon doziranja vode, slijedile su faze kvašenja, zagrijavanje kupelji na 40 °C, glavnog pranja i ispusta kupelji. Uslijedile su dva ispiranja s međucentrifugiranjem i ispuštanjem kupelji te finalnim centrifugiranjem s 1200 o/min. Pranje ozonom je provedeno u kućanskom stroju za pranje, uz pridržavanje preporuke proizvođača, na koji je priključen ozonator OLK-W01 Ecolandry (CN) (sl.1), s kapacite-

tom 0,8 mg O<sub>3</sub>/L [60]. Uvjeti pranja ozonom su bili jednaki uvjetima klasičnog pranja. U fazi istraživanja utjecaja ozona na dezinfekcijski učinak, samo balastne tkanine i tekstilni bioindikator su bili oprane pri temperaturama 20, 30 i 40 °C, bez dodatnog sredstva za pranje IEC A. Dezinfekcijsko pranje ozonom je provedeno na 40 °C i s dodanim sredstvom za pranje IEC A (23,4 g/ kg tekstilija). Količine vode i njena svojstva su mjerene digitalnim mjeracem priključenim na mikroročunalo LabQuest i programskom opremom LoggerPro3 Vernier (USA).

#### 2.1.4. Vrednovanje učinaka u pranju

Omjer kupelji OK i efekt cijedenja EC su izračunati prema poznatoj jednadžbi [61].

Učinak pranja  $q$  je izračunat jednadžbom (1) [52]:

$$q = \frac{\bar{Y}_{test}}{\bar{Y}_{ref}} \quad (1)$$

gdje je

- $\frac{q}{\bar{Y}_{test}}$  - učinak pranja
- $\bar{Y}_{test}$  - prosječne vrijednosti Y CIE (D65/10) standardnih mrlja opranih u ispitivanom stroju za pranje
- $\bar{Y}_{ref}$  - prosječne vrijednosti Y CIE (D65/10) standardnih mrlja opranih u referentnom stroju za pranje

Stupanj odstranjenih nečistoća CPI (engl. *Cleaning Performance Index*), je izračunat jednadžbom (2) [62]:

$$CPI = 100 \cdot \left[ 1 - \frac{dE_{OP-SU}^*}{dE_{NO-SU}^*} \right] \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

gdje je

- CPI - stupanj odstranjenih nečistoća (%)
- $dE_{OP-SU}^*$  - ukupna razlika u boji  $dE^*$  CIE uzorka s mrljama nakon pranja i uzorka bez mrlja
- $dE_{NO-SU}^*$  - ukupna razlika u boji  $dE^*$  CIE uzorka s mrljama prije pranja i uzorka bez mrlja

Mjerenje remisije neopranih i pranih uzoraka izvedeno je na spektrofotometru SpectraFlash SF-600 Plus DCI (CH). Njegovi sastavni dijelovi su: ksenonska bljeskalica, refleksijsko-difuzijska jedinica (Ulbrichtova kugla), konkavna holografska mrežica i detektor s 32 fotodiode. Izmjerene su remisije uzoraka u području valnih duljina od 400 do 700 nm, uz promjer otvora blende 20 mm, geometriju mjerenja d/8 i uključenim sjajem. Na temelju izmjerenih vrijednosti remisije izračunate su vrijednosti boje CIE [63] pomoću programske opreme Datamaster V 2.0 Datacolor DCI (CH) i MS Excel.

#### 2.1.5. Higijena pranja

Priprema i vrednovanje broja kolonija mikroorganizama CFU (engl. *Colony Forming Units*) na bioindikatorskoj tkanini prije i nakon postupka dezinfekcije i izračunatog stupnja redukcije mikroorganizama RED i postotka neaktiviranih mikroorgani-

zama *PIM*, bili su izvedeni kako je opisano u [64].

Sva ispitivanja su provedena na tri paralelna uzorka, pa vrijednosti u tablicama predstavljaju prosječnu vrijednost triju ponovljenih mjerenja svakog pojedinačnog parametra.

### 3. Rezultati i rasprava

Istražen je utjecaj dva postupka na indeks učinkovitosti u pranju, promjenu spektralnih karakteristika tkanina različitog sirovinskog sastava i dezinfekcijski učinak.

Primijenjene su metode vrednovanja uklonjenih nečistoća, stupanj bjeline, postojanosti obojenja i redukcije broja mikroorganizama u skladu s normama i preporukama.

Učinak pranja *q*, izmjereni parametri pranja (vrijeme, količina vode, učinak centrifugiranja) te razlike u boji između standardnih uzoraka s mrljama prije i nakon pranja (*dE\**) za klasično pranje i pranje ozonom u kućanskom stroju za pranje su navedeni u tab. 1. U tab. 2. su prikazani udjeli uklonjenih nečistoća u ovisnosti o načinu pranja. Utjecaj klasičnog i ozonskog pranja na promjenu bjeline

i tona obojenih pamučnih i PES tkanina je prikazan u tab.3 do 5, a učinak dezinfekcije u tab.6.

Usporedba učinaka u pranju *q* (tab.1) pokazuje, da je pri klasičnom pranju učinak za 0,071 jedinica (6,59 %) viši nego u pranju ozonom. Na osnovi usporedbe ukupne razlike u boji *dE\** (tab.1) i stupnja odstranjenih nečistoća *CPI* (tab.2) zaključeno je da su oba postupka samo djelomično odstranila nečistoće sintetičkog znoja i čađe u mineralnom ulju, dok su udjeli odstranjenih ostalih nečistoća visoki. Dodatno, usporedbom rezultata (tab.2) je vidljivo, da ozonsko pranje

Tab.1 Kvaliteta i karakteristike klasičnog pranja i pranja ozonom

NEČISTOĆA	CIELab <sub>D65/10</sub>					<i>t</i> (min)	<i>V</i> (L)	<i>ELener.</i> (kWh)	<i>EC</i> (%)	<i>q</i>
	<i>Y</i>	<i>L*</i>	<i>C*</i>	<i>h</i>	<i>dE*</i>					
<b>KLASIČNO PRANJE</b>										
Bez nečistoće	85,90	94,25	4,43	281,67	4,55	202	57,40	0,927	65,80	1,071
Sintetički znoj	75,75	89,52	3,78	288,29	13,64					
Čađa, min.ulje	54,96	78,58	1,98	322,83	20,00					
Krv	84,53	93,59	4,17	252,90	51,59					
Kakao	69,29	86,55	6,67	79,70	28,04					
Crveno vino	85,34	94,03	1,76	293,14	26,11					
<b>PRANJE OZONOM</b>										
Bez nečistoće	79,60	91,51	0,61	75,32	2,53	183	50,30	0,840	54,24	1,001
Sintetički znoj	71,38	87,67	1,24	293,94	13,73					
Čađa, min.ulje	47,85	74,72	1,14	96,94	16,56					
Krv	80,08	91,72	0,90	300,05	45,24					
Kakao	65,27	84,60	6,30	50,60	21,80					
Crveno vino	74,55	89,18	4,90	79,15	20,47					

Tab.2 Utjecaj klasičnog i pranja ozonom na udio odstranjenih nečistoća (*CPI* - stupanj odstranjenih nečistoća)

NEČISTOĆA	INDIKATOR PARAMETRA PRANJA	KLASIČNO PRANJE <i>CPI</i> (%)	PRANJE OZONOM <i>CPI</i> (%)
Sintetički znoj	osjetljiv na količinu sredstva za pranje	65,63	67,42
Čađa, mineralno ulje	osjetljiv na količinu sredstva za pranje osjetljiv na mehaničko djelovanje	55,88	49,14
Krv	osjetljiv na količinu sredstva za pranje osjetljiv na prekomjerno punjenje bubnja stroja za pranje osjetljiv na temperaturu pranja osjetljiv na bjelila osjetljiv na djelovanje enzima - proteaza	94,29	91,03
Kakao	osjetljiv na temperaturu pranja osjetljiv na bjelila osjetljiv na djelovanje enzima	73,92	71,82
Crveno vino	osjetljiv na temperaturu pranja, kao posljedica djelovanja bjelila osjetljiv na bjelila	92,76	85,58
<b>Srednja vrijednost:</b>		76,50	73,00

Tab.3 Utjecaj klasičnog i pranja ozonom na stupanj bjeline  $WI_{CIE}$  i ton boje  $TW$  bijelih tkanina

Tkanina - bijela	prije pranja	klasično pranje		pranje ozonom	
	$WI_{CIE}$	$WI_{CIE}$	$TW$	$WI_{CIE}$	$TW$
Pamuk	56,85	77,73	-1,46	72,35	-1,60
Pamuk/PES	71,79	83,11	-0,87	95,13	-0,25
PES	97,54	96,81	-0,16	80,68	-1,14
PA	67,48	75,54	-0,72	68,19	-1,23
<b>Srednja vrijednost:</b>	73,42	83,30		79,09	

Tab.4 Utjecaj klasičnog i pranja ozonom na vrijednosti  $dE^*$  i postojanost obojenja  $GS_C$  pamučnih tekstilija

Uzorak obojenja	CIELab prije pranja			klasično pranje		pranje ozonom	
	L*	C*	h	dE	GSc	dE	GSc
Crna	14,82	1,86	270,51	0,84	4-5	2,12	3-4
Plava	22,91	14,72	267,02	2,19	4	2,48	3-4
Smeđa	24,51	5,15	52,58	0,86	4-5	1,31	4
Siva	34,75	3,48	292,51	1,89	4	0,81	4-5
Crvena	39,21	65,85	27,74	3,59	4	1,92	4-5
Narandžasta	61,53	65,73	58,89	3,92	3	1,77	4-5
Zelena	73,07	25,15	132,98	2,87	3-4	1,93	4
Ljubičasta	73,40	12,10	297,33	3,50	3	2,69	3-4
Oker	84,73	12,46	76,79	3,63	3	2,80	3-4
<b>Srednja vrijednost:</b>				2,59		1,98	

Tab.5 Utjecaj klasičnog i pranja ozonom na vrijednosti  $dE^*$  i postojanost obojenja  $GS_C$  PES tekstilija

Uzorak obojenja	CIELab prije pranja			klasično pranje		pranje ozonom	
	L*	C*	h	dE	GSc	dE	GSc
Crna	15,41	1,59	299,08	0,41	4-5	0,40	5
Tamno plava	16,54	10,45	282,79	0,47	4-5	0,23	5
Tamno ljubičasta	22,53	19,47	312,14	0,51	4-5	0,74	4-5
Ljubičasta	25,94	31,57	351,36	0,35	5	0,79	4-5
Plava	26,15	31,07	277,91	0,34	5	0,31	5
Zelena	36,55	24,92	168,24	0,17	5	0,69	4-5
Crvena	33,74	56,55	23,66	1,59	4-5	0,69	5
Svijetlo plava	61,18	28,58	231,64	1,29	4-5	1,11	4-5
Narandžasta	63,32	63,18	51,13	3,90	3-4	3,23	4
Žuta	79,72	69,19	85,89	6,29	3	4,65	3-4
Roza	72,67	28,48	338,76	2,18	4	1,29	4-5
<b>Srednja vrijednost:</b>				1,59		1,29	

Tab.6 Dezinfekcijski učinak klasičnog i pranja ozonom kod različitih temperatura pranja

MO	T pranja	klasično pranje			pranje ozonom		
	(°C)	CFU mL <sup>-1</sup>	RED	PIM (%)	CFU mL <sup>-1</sup>	RED	PIM (%)
Ef	20	--	--	--	3,55 * 10 <sup>3</sup>	1,48	96,7
	30	--	--	--	4,00 * 10 <sup>3</sup>	2,43	99,6
	40	0,00	>6,96	100,00	0,00	>5,03	100,00

Napomena: klasično pranje je izvedeno s dodatkom sredstva za pranje IEC

prosječno odstrani za 3,50 % manje nečistoća u odnosu na klasično pranje. Najviša razlika je kod mrlja od crvenog vina (7,17 %), čađe i mineralnoga ulja (6,74 %), dok je manja kod mrlja od krvi (-3,26 %) i kakao napitka (2,11 %). Izuzetak je sintetički znoj u kombinaciji s masnoćama, gdje pranje ozonom odstrani nešto veći udio nečistoća (1,79 %) nego klasično pranje.

Usporedba s prethodnim istraživanjima kućanskog pranja, pokazuje da su CPI vrijednosti za sintetički znoj i čađu pri pranju ozonom natprosječno visoke. Pri tome je potrebno znati, da su glavni sastojci znoja i čađe (masnoće, ulje, vosak, koji čađu i minerale vežu na niti i među niti tkanine), u vodi netopljive, međutim oksidacijom ih je moguće razgraditi. Mehanizam njihove razgradnje ozonom nije u potpunosti razjašnjen. Može se pretpostaviti da pri reakciji ozona i nezasićenih ugljikovodika nastaju ozonidi, koji se zbog hidrolize u vodi oslobađaju u smjesi aldehida i kiseline [35]. Prema tome se zaključuje da ozon odstranjuje nečistoće od ulja, masti i voskova.

Uzroci lošijih učinaka ozonskog pranja, mogu se pripisati kemijskim reakcijama ozona i komponenti sredstva za pranje. Voda s dodanim ozonom je došla u kontakt sa sredstvom za pranje u dozirnoj posudi stroja za pranje (sl. 1). Za očekivati je, da je pri tome došlo do ozoniranja nekih površinski aktivnih sredstava, koji imaju važnu ulogu u procesu odstranjivanja nečistoća iz tekstila. Ozon uzrokuje degradaciju nekih površinski aktivnih sredstava te posljedično smanjuje učinak pranja [65].

Prilikom ocjene uzoraka bez nečistoća prije i nakon pranja, uočen je neočekivani rezultat. Oba postupka pranja prouzročila su promjenu tona bijele pamučne tkanine (tab.1). Tako je ukupna razlika u boji uzorka bez nečistoća u klasičnom pranju viša za 2,02 jedinice u usporedbi s uzorkom koji je opran ozonom. U klasičnom pranju, uzorak se oboji intenzivno crveno ( $C^* = 4,43$ ,  $h = 281,67$ ), dok

u pranju ozonom neintenzivno žuto ( $C^* = 0,61$ ,  $h = 75,32$ ). Vizualna ocjena je u skladu s numeričkim vrijednostima za zasićenje i ton uzoraka koji se uspoređuju. U klasičnom pranju ova pojava može biti povezana s redepozicijom nečistoće (komponente nečistoća, razgradnih nečistoća) u kupelji za pranje. U drugom procesu pranja može se zaključiti da ozon radi u svim fazama pranja te obezbojava dispergirane obojene nečistoće, dok istovremeno oksidacijski bijeli uzorak pamučne tkanine [33].

Klasično pranje traje 19 minuta dulje nego pranje ozonom. Potrošnja vode za pranje ozonom je manja za 7,10 L, nego što je u klasičnom pranju. Može se zaključiti da ozon doprinosi bržem kvašenju tekstila, što je u skladu s prethodno objavljenim rezultatima [38, 66]. Ovaj fenomen je uvjetovan oksidacijom koja oslabljuje amorfna područja vlakana i time olakšava transport tekućine.

Razlika između utrošene energije u usporednim postupcima pranja je očekivano mala. Ozonator proizvodi ozon samo u ciklusima dovoda vode, pa ne troši velike količine električne energije (12V, 3A, 36W). U prethodnim istraživanjima je utvrđeno [67] da je utrošak energije klasičnih procesa pranja, pri temperaturi od 40 °C kako slijedi: 66 % za zagrijavanje kupelji za pranje u fazi glavnog ciklusa pranja, 33 % za ispiranje i konačno centrifugiranje, do 1 % za ostatak (kontrolni ventili i pumpe, rotacija bubnja u početnim i završnim fazama procesa za pranje, ...).

Rezultati trajanja pranja, kao i potrošnje vode i električne energije za kućansko pranje ozonom usporedivi su sa podacima, koje navodi [51]. Prema uvjerenjima proizvođača Sanyo, potrošnja vode smanjena je za 10 % (do 68 L), vrijeme pranja za 34 % (do 39 min) u odnosu na njihove prethodne generacije strojeva za pranje i sušenje.

Efekt cijedenja je kod klasičnog pranja za 11,5 % veći od efekta cijedenja kod postupka s ozonom. Veća količina ostatka kupelji u tekstu, rezultira

duljim vremenom ili većom potrošnjom energije u procesu sušenja. Fenomen manje potrošnje vode i ostataka kupelji u tekstu nakon centrifugiranja mogao bi se protumačiti hipotezama [36, 38]. Eren naime smatra, da oksidacija hidrofobnih nečistoća uzrokovana ozonom, povećava apsorpciju vode. Dok je prema hipotezi Maqsooda, ovaj fenomen uzrokovan oksidacijom ozona, koja uzrokuje slabljenje amorfnih područja vlakana i time olakšava transport tekućine.

Klasično pranje daje prosječno 4,21 viši stupanj bjeline  $WI_{CE}$  nego pranje ozonom (tab.3). Rezultat je očekivan, jer standardni deterdžent sadrži natrijev perborat tetrahidrat (20 %) i aktivator TAED za bijeljenje na nižim temperaturama pranja [68]. Klasični proces pranja povećava bjelinu pamučne tkanine do 20,88 jedinica, tkanine od mješavine pamuka i PES za 11,32 jedinica, PA tkanine za 8,06 jedinica, dok PES tkanina ostaje gotovo nepromijenjena. Prilikom pranja ozonom povećava se stupanj bjeline  $WI_{CE}$  pamuka (15,5) i pamuk/PES tkanina (8,89), PA tkanina ostaje gotovo jednaka kao početna, dok je bjelina PES tkanine blago smanjena (-2,42). Smanjenje se može pripisati djelovanju ozona na površini i unutrašnjoj strukturi, kristalnih i amorfnih područja PES vlakana [69]. Oba postupka pranja povećavaju negativne vrijednosti parametra  $TW$  (tab.3), što znači promijenu tona bijelih tkanina u crveno.

Prosječne razlike u boji  $dE^*$  pamučnih obojenih tkanina prije i nakon klasičnog pranja (tab.4) iznose 2,59, pri čemu je pranje ozonom dalo niže vrijednosti za 0,69 jedinica ( $dE^*_{pov} = 1,98$ ). Klasično pranje prouzroči više razlike u boji i ocjene po sivoj skali kod tonova srednje i visoke svjetline (od sive do oker). Pranje ozonom uzrokuje najveće razlike u boji tamnih (niže vrijednosti  $L^*$ , crna, plava, smeđa) i svjetlih (visoke vrijednosti  $L^*$ , ljubičasta, oker) pamučnih tkanina. Razlike u boji tonova (siva, crvena, narančasta) u pranju ozonom su

prilično umjerene. Usporedba vrijednosti uzoraka prije i nakon pranja ozonom pokazuje, da na ukupnu razliku u boji  $dE^*$  utječu najviše razlike u svjetlini ( $dL^*$ ), dok su razlike u zasićenju ( $dC^*$ ) i tonu ( $dH^*$ ) zanemarive.

Iz rezultata prikazanih u tab.5 se vidi da klasično pranje obojenih PES tkanina uzrokuje kod tamnih tonova boje niske vrijednosti  $dE^*$  (niže od 0,51), kod obojenja srednje svjetline nešto više  $dE^*$  (između 1,59 i 3,90) te najviše kod žute ( $dE^* = 6,29$ ) koja ima najveću svjetlinu. Podjednaka zakonitost ovisnosti  $dE^*$  o svjetlini tona boje vrijedi i za ozonsko pranje. Vrijednosti  $dE^*$  obojenih PES tekstilija opranih ozonom su uglavnom niže nego u klasičnom pranju.

Postupak klasičnog pranja pri 40 °C i dodatka svih triju komponenata sredstva IEC daje dobar dezinfekcijski učinak, jer se početni broj kolonija mikroorganizama smanjuje za 6,96 log stupnja. S obzirom na djelovanje, pri čemu je koncentracija ozona koji se proizvodi protočnim ozonatorom konstantna (10 ppm), lako se zaključuje, da dezinfekcijski učinak ozonskog pranja raste s temperaturom pranja i doseže maksimum kod 40 °C. Prema tome, rast redukcije broja mikroorganizama (RED) je pretežno posljedica povećanja temperature pranja i u manjoj mjeri djelovanja ozona. Za postizanje potpunog oksidacijskog učinka ozona na mikroorganizme (oštećenje staničnih stijenki, denaturacija proteina) i viših učinaka dezinfekcije tekstilija, bi bilo potrebno povećati koncentraciju ozona i vrijeme kontakta, što zahtijeva intervencije u tehnologiji pranja ozonom.

#### 4. Zaključak

Proizvođači i korisnici kućanskih strojeva za pranje suočeni su sa značajnim izazovima. S jedne strane, povećanje ekoloških zahtjeva za smanjenje emisija zahtijeva smanjenje svih parametara potrošnje stroja za pranje. S druge strane pokazalo se da smanjenje tih parametara može dove-



sti do smanjenja higijene i povećanja rizika od prenošenja zaraznih bolesti. Ovo istraživanje je uključilo klasičan postupak pranja i pranje ozonom na temperaturi 40 °C, u kućanskom stroju za pranje. Pranje ozonom je provedeno pomoću komercijalnog ozonatora, koji je dozirao ozon u ciklus glavnog pranja i tri ciklusa ispiranja. Utvrđeno je da su učinci pranja ozonom nešto slabiji od učinaka klasičnog pranja, čime su tvrdnje proizvođača ozonatora djelomično potvrđene s obzirom na rezultate učinkovitosti u primjeni.

Također je potvrđeno da kućansko pranje ozonom zahtijeva manju količinu vode, vrijeme i potrošnju električne energije. Potvrđene uštede u pranju ozonom postale su aktualne na temelju podataka da 82,5 % kućanstava u EU28 ima kućanski stroj za pranje, s kojima provede 169 klasičnih pranja godišnje, pri 75 % punjenju stroj za pranje rublja, temperaturi pranja 40 °C i prosječnoj potrošnji 50 litara vode/ pranju [14, 70]. Tako se u jednoj godini opere 101 mil. t tekstila, potroši 2,53 mlrd. kWh električne energije i 206 mil. m<sup>3</sup> vode, pri čemu nastane 103 mil. m<sup>3</sup> otpadne vode od pranja, koja sadrži nečistoće i sredstvo za pranje. Stroj za pranje ozonom u kućanstvu može doprinijeti smanjenju navedenih podataka, što zahtijeva daljnja istraživanja i razvoj.

#### Literatura:

- [1] Bloomfield S.F.: Importance of disinfection as a means of prevention in our changing world hygiene and the home, *GMS Krankenhhyg Interdiszip* 2 (2007) 1, 1-4
- [2] Scott E., et al.: Prevention of the Spread of Infection—The Need for a Family-Centred Approach to Hygiene Promotion, *American Journal of Infection Control* 38 (2010) 1-2
- [3] Höfer D.: The Role of textiles in chains of infection, 2011; dostupno online [http://www.amhmagazine.com/article.php?article\\_id=802](http://www.amhmagazine.com/article.php?article_id=802); apr.2013
- [4] Gerhardts A., et al.: Testing of the Adhesion of Herpes Simplex Virus on Textile Substrates and Its Inactivation by Household Laundry Processes, *Journal of Biosciences and Medicines* 4 (2016) 111-125
- [5] Heinzel M. et al.: Evaluation of the virucidal performance of domestic laundry procedures, *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 213 (2010) 334–337
- [6] Bockmühl D.: Hygiene aspects in domestic laundry, *Hyg Med* 36 (2011) 7/8, 280-286
- [7] Bloomfield S.F. et al.: Effectiveness of laundering processes used in domestic (home) settings, 2013; dostupno online <http://www.ifh-homehygiene.org/review>; okt.2016
- [8] Stamminger R., A. Barth, S. Dörr: Washing Machines Wash Less Efficiently and Consume More Resources, *Hauswirtschaft und Wissenschaft* 53 (2005) 3, 124-31
- [9] Gensch C.O.: Saving potentials by automatic dosage in washing machines, 44<sup>th</sup> IDC Conference Proceedings, WFK- Cleaning Technology Institute, Düsseldorf 2009, 68-73
- [10] Barthel C., T. Götz: What users can save with energy and water efficient washing machines- Final report, Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, Wuppertal 2013
- [11] Hammer TR, H. Mucha H, D. Höfer: Infection Risk by Dermatophytes During Storage and After Domestic Laundry and Their Temperature-Dependent Inactivation, *Mycopathologia* 171 (2010) 1, 43–49
- [12] Bockmühl D. et al.: The washing machine as a source of microbial contamination of domestic laundry - a case study, *Household and Personal Care Today* 9 (2014) 5, 54-57
- [13] Mucha H. et al.: Pros and cons of hygiene claims in household laundry, 47<sup>th</sup> IDC Conference Proceedings, WFK- Cleaning Technology Institute, Düsseldorf 2015, 164-171
- [14] Pakula C., R. Stamminger: Electricity and water consumption for laundry washing by washing machines worldwide, *Energy Efficiency* 3 (2010) 4, 365–382
- [15] European Ecolabel: Revision of Ecolabel Criteria for Laundry Detergents, 2011; dostupno online <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/documents/Laundry%20Detergents%20technical%20report.pdf>; dec. 2012
- [16] Lakdawala N., et al.: Effectiveness of Low-Temperature Domestic Laundry on the Decontamination of Healthcare Workers' Uniforms, *Infection control and hospital epidemiology* 32 (2011) 11, 1103-1108
- [17] Marek A., M. Swierzy: Risk factors of home washing for hygiene, safety and environment, 47<sup>th</sup> IDC Conference Proceedings, WFK- Cleaning Technology Institute, Düsseldorf 2015, 880-890
- [18] Neral. B. et al.: Razkuževalna učinkovitost gospodinjkega pranja, 46. simpozij o novostih v tekstilstvu- zbornik izvlečkov, Prepletanje znanja za tekstilno in modno industrijo, Naravoslovno-tehniška fakulteta, Odd. za tekstilstvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana 2015, 42
- [19] Guzel-Seydima Z.B., A.K. Greeneb, A. C. Seydim; Use of ozone in the food industry, *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 37 (2004) 453–460
- [20] Majewski J.: Methods for measuring ozone concentration in ozone-treated water, *Electrical Review* 88 (2012), 253-255
- [21] Rubin M.B.: The history of ozone. The Schönbein period 1839-1868, *Bull. Hist. Chem.* 26 (2001) 1, 40-56
- [22] Kajfež-Bogataj L.: Ozonska plast se usodno tanjša, *Ujma* 4 (1990) 155-157
- [23] [http://www.arso.gov.si/novice/datoteka/028475-Ozon\\_clanek\\_2012.pdf](http://www.arso.gov.si/novice/datoteka/028475-Ozon_clanek_2012.pdf); mar.2015
- [24] <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=46029>; dec.2016
- [25] Europski parlament i Vijeće Europske unije: Direktiva 2008/50/EZ o kvaliteti zraka i čišćem zraku za Europu, Strasbourg 2008, 169-212
- [26] Gonçalves A.A.: Ozone – an Emerging Technology for the Seafood Industry, *Braz. Arch. Biol. Technol.* 52 (2009) 6, 1527-1539

- [27] Nonnenmacher K.: Ozone locks for disinfection in the food industry, 46<sup>th</sup> IDC Conference Proceedings, WFK- Cleaning Technology Institute, Düsseldorf 2013, 836-851
- [28] Langlais B., D.A. Reckhow, D.R. Brink: Ozone in Drinking Water Treatment- Application and Engineering, AWWARF and Lewis, Boca Raton FL 1991, 100-132
- [29] United States Environmental Protection Agency: EPA 815-R-99-014 Alternative Disinfectants and Oxidants, Washington 1999, 92-143
- [30] Drev D.: Osnove zdravstvene hidrotehnike in sanitarnega inženirstva, Zavod IRC, Ljubljana 2011, 6-12
- [31] Prabakaran M. et al.: A study of advanced oxidation of a cotton fabric by ozone, *Journal of the Society of Dyers and Colourists* 116 (2000) 3, 83-86
- [32] Luo D.H. et al.: Rinsing of Cotton Fabric by Ozonation after Reactive Dyeing Procedure, *Advanced Materials Research* 332-334 (2011) 130-133
- [33] Devaraju S., N. Selvakumar: Effect of Ozone Treatment on the Dyeing Properties of Mulberry and Tassar Silk Fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* 7 (2012) 3, 21-27
- [34] Cheung H.F. et al.: Colour Properties of Plasma-Induced Ozone Fading of Cotton Fabric, *Advanced Materials Research* 811 (2013) 3-8
- [35] Prabakaran M.: Combined desizing, scouring and bleaching of cotton using ozone, *Indian Journal of Fibre & Textile Research* 28 (2003) 437-443
- [36] Eren, H.A., Ozturk, D.: The evaluation of ozonation as an environmentally friendly alternative for cotton preparation, *Textile Research Journal* 81 (2011) 4, 512-519
- [37] H.H. Piccoli et al.: Bleaching of Knitted Cotton Fabric Applying Ozone, *Ozone: Science & Engineering* 37(2015) 2, 170-177
- [38] Maqsood H.S. et al.: Ozonation: a Green Source for Oxidized Cotton. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 24 (2016) 1(115), 19-21
- [39] Gehr R. et al.: Disinfection efficiency of peracetic acid, UV and ozone after enhanced primary treatment of municipal wastewater, *Water Research* 37 (2003) 4573-4586
- [40] Tezcanli-Güyer G., N.H. Ince: Individual and combined effects of ultrasound, ozone and UV irradiation: a case study with textile dyes, *Ultrasonics* 42 (2004) 603-609
- [41] Mezzanotte V. et al.: Wastewater Disinfection Alternatives: Chlorine, Ozone, Peracetic Acid, and UV Light, *Water Environment Research* 79 (2007) 12, 2373-2379
- [42] Bauman, N., M. Poberžnik, A. Lobnik: Textile Wastewater Cleaning with O<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> Process. *Tekstilec* 52 (2009) 10-12, 284-305
- [43] Peternel I. i sur.: Peroksodisulfatne soli kao novo fotooksidacijsko sredstvo za obradu obojenih otpadnih voda, *Tekstil* 61 (2012) 1-6, 107-115
- [44] Vilar A. et al.: Application of Anaerobic and Ozonation Processes in the Landfill Leachate Treatment, *Water Practice & Technology* 3 (2006) 054
- [45] Lesjak P. i sur.: Oksidacijski nusprodukti bojila C.I. Direct Blue 106 nakon ozonizacije, *Tekstil* 63 (2014) 7-8, 228-235
- [46] Cardis D. et al.: *Ozone in the Laundry Industry -- Practical Experiences in the United Kingdom*, *Ozone: Science in Engineering* 29 (2006) 2, 27-28
- [47] Global Energy Partners LLC: Operations evaluation report- Presurized Ozonation System-Final Report. Lafayette CA 2006, 11-13
- [48] Rice R.G. et al.: *The Ozone Laundry Handbook*, Lulu, 2011, 14-20
- [49] Tapp C.: Ozone laundry, a detailed review of the method and science involved in a properly designed cold water wash ozone system, 46<sup>th</sup> IDC Conference Proceedings, WFK- Cleaning Technology Institute, Düsseldorf 2013, 500-510
- [50] Fijan S. et al.: Disinfection of laundry wastewater with ozone- Zbornik prispevkov, Slovenski kemijski dnevi, FKKT Uni Maribor, Portorož 2011
- [51] Sanyo Aqua Inc.; dostupno online <http://techon.nikkeibp.co.jp>; sep. 2016
- [52] SIST EN 60456, 2010. Clothes Washing Machines for Household Use- Methods for Measuring the Performance
- [53] Lodewick R. et al.: Minimum Protocol for Comparative Detergent Performance Testing "Detergent Testing" AISE Working Group. *Tenside Surfactants Detergents* 49 (2012) 1, 57-60
- [54] The European Commission, EU Ecolabel for laundry detergents: Performance test for laundry detergents. 2014, dostupno online: <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/documents/Performance%20Test%20Laundry%20Detergents.pdf>. Junij 2016
- [55] Scheid F. et al.: 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
- [56] ISO 2267, 1986. Surface Active Agents- Evaluation of Certain Effects of Laundering- Methods of Preparation and Use of Unsoiled Cotton Control Cloth
- [57] Fijan S. et al.: Antimicrobial disinfection effect of a laundering procedure for hospital textiles against various indicator bacteria and fungi using different substrates for simulating human excrements, *Diagn. microbiol. infect. Dis.* 57 (2007) 3, 251-257
- [58] Fijan S. et al.: Determining the disinfection of textiles in compressed carbon dioxide using various indicator microbes, *Journal of applied microbiology* 112 (2012) 3, 475-484
- [59] SIST EN 60734, 2013. Household electrical appliances- Performance- Hard water for testing
- [60] Professional Ozone Water Purifier for Washing Clothes OLK-W01 Ecolandry; dostupno online <http://ecowowtech.en.made-in-china.com/product/OSRQoPhxXakw/China-Professional-Ozone-Water-Purifier-for-Washing-Clothes-OLKW01-.html>; feb.2016
- [61] Soljačić I., T. Pušić.: Njega tekstila - Čišćenje u vodenim mediji-

- ma, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2005, 114-117
- [62] Sutanto S. et al.: *Redeposition in CO<sub>2</sub> textile dry cleaning*, Journal of Supercritical Fluids 81 (2013) 183–192
- [63] CIE 15.3, 2004. Colorimetry- Colour of objects. Colour vision. Perception of colour
- [64] Neral B. et al.: The soil removal and disinfection efficiency of chemo-thermal and LCO<sub>2</sub> treatment for hospital textiles; *Industria Textilæ* 63 (2012) 5, 246-251
- [65] Jurado-Alameda E. et al.: Fatty soil cleaning with ozone and li-  
pases- A way to develop more environmentally friendly washing processes, *Household and Personal Care Today* 7 (2012) 4, 49-52
- [66] Perinçek S. et al.: Ozonation- A new method which can take place of enzymatic desizing, XIII<sup>th</sup> Int. Izmir Textile and Apparel Symposium Proceedings, Ege University Faculty of Engineering Department of Textile Engineering, Antalya 2014, 506-514
- [67] Neral B. et al.: Environmental Impacts of Various Disinfection Procedures during Laundering, *Tekstilec* 54 (2011) 7–9, 147–148
- [68] Pušić T. et al.: Istraživanje sredstava za kemijsko bijeljenje u pranju, *Tekstil* 56 (2007) 7, 412-417
- [69] Lee M.S. et al.: Ozone-Gas Treatment of Cationic Dyeable Polyester and Poly(butylene terephthalate) Fibers, *Jour. of Applied Polymer Science* 104 (2007) 2423–2429
- [70] Ellmer K. et al.: Research project Simulation Wäschepflege- Recommendations for improving resource efficiency in the laundry process in households in Germany, *Journal of Cleaner Production* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.157>

## SUMMARY

### Quality of washing with ozone in household washing machine

*B. Neral*

Effectiveness of washing with ozone is compared with conventional process through evaluation of stain removal, spectral characteristics of white (cotton, cotton/ polyester, PES and PA) and colored (cotton, PES) fabrics and disinfection. Household washing machine, upgraded with ozone generator, standard detergent IEC A, cotton ballast, samples of standard soiled fabric, bleached and dyed fabrics and textile carriers of bacterial cultures of *Enterococcus faecium* ATCC 6057. Washing process (Cotton, Normal) included a main wash, three rinses and spin. Classical washing was conducted at 40 °C while ozone washing process performed in a bath of 20 to 40 °C. The implementation and evaluation of washing is carried out in accordance with standards and recommendations. The results showed that the effects of the ozone washing with a commercial ozone generator are comparative with classical washing effects. It has been shown that ozone washing without detergent IEC A at 40 °C lowers the number of microorganisms more than 5 logs. To enhance the effects of household washing with ozone is necessary to explore and develop design solutions that will allow the installation of ozone plant in household washing as well as new washing algorithms.

**Key words:** ozone, household washing, ozone generator, the effect of washing, disinfection

*University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering*

*Department of Textile*

*Maribor, Slovenia*

*e-mail: branko.neral@um.si*

*Received April 2, 2016*

### Qualität des Waschens mit Ozon in der Haushaltswaschmaschine

Die Wirksamkeit des Waschens mit Ozon wurde im Vergleich zum konventionellen Verfahren durch Auswertung der Fleckentfernung, der spektralen Eigenschaften von weissen (Baumwolle, Baumwolle/Polyester, PES und PA) und farbigen (Baumwolle, PES) Geweben und der Desinfektion untersucht. Zur Untersuchung wurden eine Haushaltswaschmaschine sowie dieselbe mit dem Ozon-Generator nachgerüstete Haushaltswaschmaschine, Waschmittel IEC A, Baumwoll-Ballast, Probestücke von verschmutzten Standardgeweben, gebleichte und gefärbte Gewebe und textile Träger von Bakterienkulturen *Enterococcus faecium* ATCC 6057 herangezogen. Das Einbadwaschverfahren (Baumwolle, normal) bestand aus einer Hauptwäsche, drei Spülungen und Schleudern. Das klassische Waschverfahren wurde bei 40 °C durchgeführt, während das Waschverfahren in einem Bad von 20 bis 40 °C durchgeführt wurde. Die Durchführung und Auswertung des Waschens erfolgte gemäß Normen und Empfehlungen. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Leistung des Waschens mit Ozon unter Einsatz eines kommerziellen Ozongenerators mit der Leistungsfähigkeit des klassischen Waschprozesses vergleichbar ist. Es wurde nachgewiesen, dass das Waschen mit Ozon ohne Waschmittel IEC bei einer Temperatur von 40 °C die Anzahl der Mikroorganismen um mehr als 5 Logarithmen herabsetzt. Um die Leistung des Haushaltswaschens mit Ozon zu erhöhen, ist es notwendig, Design-Lösungen zu erforschen und zu entwickeln, die die Installation von einer Ozon-Anlage in die Haushaltswaschmaschine sowie neue Waschalgorithmen ermöglichen.