Procjena otpuštene mikroplastike tekstilnog podrijetla u procesu pranja tkanine od poliestera

Tanja Pušić[1,*], Sandra Flinčec Grgac[1], Branko Neral[2], Ana Šaravanja[1], Tihana Dekanić[1]
[1] Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska
[2] Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, Slovenija
* Dopisni autor: tanja.pusic@ttf.unizg.hr

Prispjelo: 28. siječnja 2025.
Prihvaćeno: 24. ožujka 2025.
UDK 677.017.635.344

Ovaj je rad licenciran pod licencom
Creative Commons Attribution 4.0 International License

Izvorni znanstveni rad**

Problemi zaštite okoliša promatrani kroz utjecaj tekstila na kvalitetu i zdravlje ljudi u posljednjim desetljećima pobuđuju interes istraživača, stručnjaka i regulatornih tijela, a jedna od istaknutijih tema zagađenje je mikroplastikom iz različitih izvora. Svojstva sintetičkih tekstilija u kombinaciji s varijablama procesa pranja utječu na otpuštanje mikroplastike u procesima njege. Ovo istraživanje usmjereno je na analizu tkanine složene strukture u procesu pranja sa standardnim ECE-A deterdžentom i vodom prema postupku 2A norme HRN ISO EN 6330 s ciljem procjene otpuštene mikroplastike tekstilnog podrijetla. Tkanina je analizirana infracrvenom spektroskopijom s Fourierovom transformacijom u tehnici prigušene potpune refleksije (FTIR-ATR) i mikroskopijom radi uvida u strukturalna svojstva i sirovinski sastav pojedinih dijelova složene strukture. Učinci pranja procijenjeni su analizom otpadne vode i filtarskih kolača, a učinak sušenja gravimetrijskom analizom oprane i osušene tkanine u odnosu na neopranu. Fizikalno-kemijski parametri otpadnih voda procesa pranja karakterizirani su vrijednošću pH, vodljivošću, mutnoćom i kemijskom potrošnjom kisika (KPK), a filtarski kolač pregledan stereo mikroskopom. Rezultati su pokazali važnost analize tri promatrane razine: tkanine, otpadne vode i filtarskog kolača kako bi se sagledala složenost promatranog sustava s ciljem procjene utjecaja na okoliš*

Ključne riječi: *poliesterska tkanina; pranje;sušenje; fragmenti; mikroplastika; otpadna voda*

Original scientific paper**

The assessment of the release of microplastics from textile sources in the washing process of polyester fabric

Environmental issues, considered through the impact of textiles on the quality and health of people, have become increasingly interesting for researchers, professionals and regulators in recent decades. One of the topics that is attracting increasing interest from researchers and the public is microplastic pollution. The properties of the textile material in combination with the variables of the washing process have an influence on the release of fragments in the washing process. This study focuses on the analysis of a polyester fabric with a complex structure in a washing process with the reference detergent ECE-A and water according to procedure 2A of the EN ISO 6330 standard for the evaluation of the release of microplastics of textile origin. The fabric was analysed using FTIR and microscopy to gain insight into the structural properties and composition of the individual units. The effects of washing were assessed by analysing the wastewater and the filter cake. The drying effects were analysed by weighing the washed and dried fabric in relation to the unwashed. The physico-chemical parameters of the wastewaters were characterised by pH, conductivity, turbidity and chemical oxygen demand (COD). The filter cake was analysed by microscopy. The results show the importance of analysis three observed levels: fabric, wastewater and filter cake, in order to take into account the complexity of this system and assess its impact on the environment.*

Keywords: *polyester fabric; washing; drying; fragments; microplastics; wastewater*

**Izlaganje na 17. znanstveno-stručnom savjetovanju „Tekstilna znanost i gospodarstvo", 28. siječnja 2025., Zagreb, Hrvatska

1. Uvod

Svojstva tekstilija mijenjaju se u procesu pranja ovisno o brojnim varijablama, pri čemu intenzitet promjena ovisi o svojstvima tekstilija (sirovinskom sastavu, konstrukcijskim parametrima, stupnju polimerizacije, kapacitetu bubrenja) [1] i čimbenicima Sinnerova kruga (udio kemikalija, temperatura, vrijeme i mehanika) [2].

Fibrilacija celuloznih tekstilija može biti posljedica bubrenja, habanja i trenja u mokrom (kupelj za pranje), pri čemu mogu nastati nabori koji se pojačavaju trenjem i habanjem, a fiksiraju termički tijekom procesa strojnog sušenja [3]. Fiksirani nabori mogu smanjiti uporabna svojstva, npr. čvrstoću, a dodatno i povećati stupanj fibrilacije.

Poliesterske tekstilije odlikuju kristalnost i hidrofobnost, te u odnosu na pamučne minorne promjene njihovih svojstava u normalnim uvjetima pranja [4]. Međutim, prekomjerna toplina može uzrokovati skupljanje ili oštećenje poliesterskih tekstilija ako su izloženi temperaturama pri čemu prolaze kroz različite točke faznog prijelaza (temperatura taljenja i staklastog prijelaza).

Različite mješavine mogu zadovoljiti specifične zahtjeve na tekstilije, npr. opip, izgled, stabilnost dimenzija, jednostavno održavanje, primjerena udobnost itd [4]. Prednosti mješavina pamuka i poliestera u odnosu na tekstilije od čistog pamuka nakon više ciklusa pranja, osim trajnosti, uključuju mogućnost pranja pri nižim temperaturama, manji sadržaj depozita i manji stupanj oštećenja.

Međutim, prisutnost mikroplastike (MP) u prirodnim i otpadnim vodama, sedimentu, tlu, vodenim organizmima i zraku djelomično je povezana sa sintetičkim tekstilijama kao izvorom. Mikroplastika je generički pojam za vrlo male fragmente plastike prosječne duljine od 1 nm do 5 mm ili za vlakna duljine od 3 mm do 15 mm, gdje je omjer duljine i promjera > 3 [5]. Utvrđeno je da oko 35 % MP u okolišu potječe iz procesa pranja sintetičkih tekstilija [6].

Generiranje mikroplastike povezano je s površinskom abrazijom, oštećenjem uslijed trošnosti, razvojem fibrilarne strukture i fragmentacijom, a može se povezati s izvlačenjem i otpuštanjem labavijih i stršećih (slomljenih) vlakana (povezanih s fragmentima) [7].

Otpuštanje mikroplastike iz vlaknastih izvora (FMP) može se kontrolirati izborom sastava, strukture i tehnologije pripreme polimerne vlanaste strukture [8]. Kvalifikacija i kvantifikacija otpuštenih čestica mikroplastike koje se oslobađaju tijekom pranja i sušenja otežana je zbog varijabilnosti i složenosti sekundarnih izvora i činjenice da su čestice u stvarnom sustavu vektori za širenje drugih emisija s različitim stupnjevima rizika za okoliš. Poznavanje sustava u kojem nastaje mikroplastika iz tekstilnih izvora određuje izbor jedne ili više metoda za njezino određivanje i/ili odvajanje u mokrom i/ili suhom okruženju.

U ovom radu istražen je utjecaj sastava kupelji za pranje i postupka sušenja na otpuštanje mikroplastike tekstilnog podrijetla iz tkanine složene strukture koju s lica i naličja karakterizira trobojni flor. Za analizu tkanine, otpadnih voda i filtarskog kolača korištene su različite metode. Složena tkanina analizirana je FTIR-om i mikroskopski; promjene mase tkanina u procesima pranja i sušenja gravimetrijskom analizom; otpadne vode fizikalno-kemijskim metodama, a filtarski kolač mikroskopskom analizom.

2. Eksperimentalni dio

2.1. Materijali

U radu je korištena komercijalna mekana plišana tkanina površinske mase 279 g/m^2, uzorkovana s lica i naličja florom u sivoj, crvenoj i žutoj boji. Njena temeljna struktura je visoke gustoće dok trobojni flor s lica i naličja odlikuje mala gustoća [9].

Pojedini strukturalni elementi odabrane tkanine analizirani su FTIR-ATR spektroskopijom. Korištenjem digitalnog mikroskopa, Dino-Lite AM7013MZT, proizvođača AnMo Electronics Corporation iz Tajvana vizualizirane su istaknute strukturalne jedinice ove složene tkanine.

2.2. Procesi pranja i sušenja

Uzorci tkanina pripremljeni su pomoću ultrazvučnog rezača, model TTS 400, Sonowave S.r.l., Italija, kako bi se spriječila fragmentacija s rubova uzoraka tkanina tijekom procesa pranja i sušenja. Pripremljeni uzorci tkanina izvagani su i podvrgnuti procesu pranja u dvije varijante: u otopini deterdženta (1) i vodovodnoj vodi (2).

Uzorci su oprani standardnim ECE-A* deterdžentom u koncentraciji od 1,25 g/L prema protokolu 2A norme HRN EN ISO 6330 [10] i modificiranim protokolom pranja u vodi. Oba procesa pranja provedena su pri 60 °C u laboratorijskom uređaju Rotawash, SDL Atlas, Rock Hill, SAD, omjer kupelji 1:7 kroz 5 ciklusa tijekom 40 minuta.

Nakon svakog ciklusa pranja, provedena su četiri ciklusa ispiranja vodovodnom vodom (tvrdoća 21,0 °dH) u omjeru kupelji 1:8.

Nakon procesa pranja deterdžentom i vodom kroz 5 ciklusa, uzorci su osušeni na dva načina: ambijental-

no na zraku i strojno, u sušilici rublja T5130-LAB, Electrolux, Švedska (program sušenja Low Lab, brzina sušenja 20 mL/min).

Sušenje uzoraka tkanine u sobnim uvjetima kroz 24 sata obavljeno je na ravnoj podlozi, dok je strojno sušenje u istom ciklusu provedeno na dva načina: dio uzoraka stavljen je u poliestersku mrežicu, veličine 25 x 40 cm (dm-drogerie markt GmbH + Co, KG, Austrija), a drugi dio osušen je u slobodnom stanju. Postupci pranja i sušenja, oznake i opis postupaka navedeni su u tab.1.

Tab.1 Oznake uzoraka tkanine

Uzorak	Sastav kupelji	Sušenje	Mrežica
1	ECE-A* deterdžent	strojno	-
2	Voda		-
3	ECE-A* deterdžent		+
4	Voda		+
5	ECE-A* deterdžent	na zraku	-
6	Voda		-

Jednostupanjska vakuumska filtracija otpadne vode provedena je pomoću FBM047PES022 polieter-sulfonskoga filtra, promjera 47 mm, veličine pora 0,22 μm, FilterBio, Kina. Rezultat provedenog postupka filtarski je kolač sačinjen od suspendiranih čestica i mikroplastike tekstilnog podrijetla iz otpadnih voda.

Na temelju oznaka u tab.1, otpadna voda iz procesa pranja ECE-A* deterdžentom označena je kao WW-1, a otpadna voda procesa pranja u vodi oznakom WW-2. Odgovarajući filtarski kolači označeni su na isti način, kao FC-1 i FC-2.

2.3. Metode

Svi dijelovi uzorka složene tkanine analizirani su FTIR spektroskopom (Perkin Elmer, Spectrum 100, SAD) ATR tehnikom (Perkin Elmer, Spectrum 100, SAD), pri uvjetima snimanja po 4 skena pri rezoluciji od 4 cm^{-1} između 4000 cm^{-1} i 380 cm^{-1}.

Uzorci su vagani prije i nakon pet ciklusa pranja i jednog sušenja tako da je gravimetrijskom metodom [11] određena promjena u masi. Kernova vaga, model ALJ 220-5DNM, Njemačka, korištena je za određivanje mase uzoraka tkanine prije (m_0) i nakon pet ciklusa pranja i sušenja (m_1) kako bi se odredila promjena mase (Δm) tkanine i procijenio stupanj fragmentacije.

Otpadne vode (WW) prikupljene nakon 5 ciklusa pranja i 20 ispiranja karakterizirane su fizikalno-kemijskim metodama s ciljem analize parametara: vrijednost pH, vodljivost (κ), mutnoća (NTU) i kemijska potrošnja kisika (KPK). Detaljan opis metoda i uvjeta analiza dostupan je u prethodno objavljenom radu [12]. Multimetar SevenCompact™ Duo S213 tvrtke Mettler Toledo korišten je za određivanje pH [13] i vodljivosti [14], mutnoća je izmjerena [15] pomoću turbidimetra TU5200 tvrtke Hach, a KPK [16] pomoću spektrofotometra WTW Photolab S6, Xylem Analytics, Njemačka.

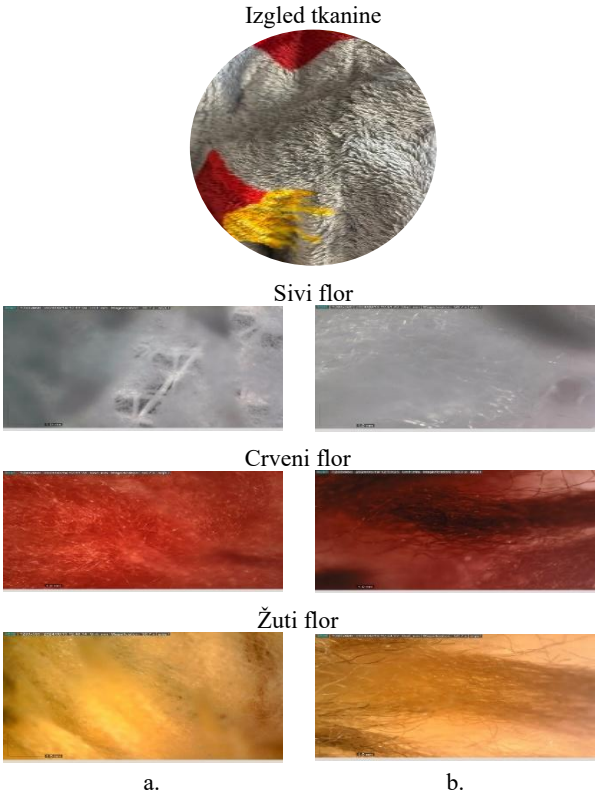
Filtarski kolači (FC-1 i FC-2) dobiveni nakon filtracije WW-1 i WW-2 promatrani su pomoću Meiji Techno EMZ stereomikroskopa, Japan, uz povećanje 45×.

3. Rezultati

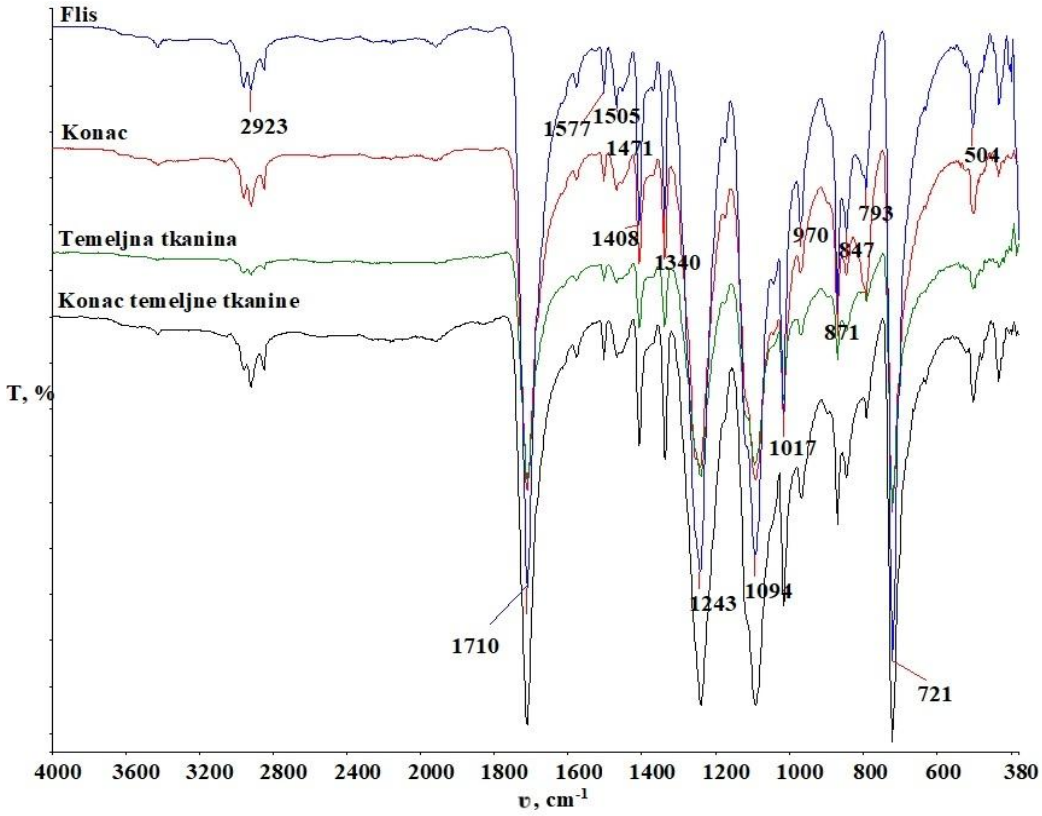
Rezultati istraživanja predstavljeni su u četiri cjeline: (i) identifikacija strukturalnih elemenata složene tkanine mikroskopskom i FTIR analizom; (ii) masa uzoraka tkanine prije i nakon pet ciklusa pranja/sušenja; (iii) sastav otpadnih voda i (iv) izgled filtarskih kolača.

3.1. Analiza površine tkanine

Površina i kemijski sastav složene dvostrane plišane tkanine sastavljene od različitih strukturalnih elemenata, s uzorkom u sivoj, crvenoj i žutoj boji, analizirana je mikroskopski, sl.1 i FTIR-om, sl.2.



Sl.1 Snimak analizirane tkanine i digitalni mikrografi strukturalnih jedinica: a. povećanje 50×, b. povećanje 200×



Sl.2 FTIR-ATR spektri strukturalnih jedinica dvostrane plišane tkanine

Sl.1 vizualizira strukturalne jedinice: sivi, crveni i žuti flor na licu tkanine promatrane digitalnim mikroskopom.

Spektralne krivulje svih strukturalnih dijelova ispitivanog uzorka imaju pikove koji se podudaraju s pikovima poli(etilen-tereftalatne) tkanine [17]. Nadalje su navedeni karakteristični pikovi za sve snimljene dijelove ispitivanog uzorka te prikazani na sl.2. Pikovi pri valnim brojevima 3050 cm^{-1}, 2923 i 2901 cm^{-1} nastaju uslijed simetričnog istezanja u CH skupini. Najoštriji pikovi vidljivi su pri valnom broju 1710 cm^{-1} koji nastaje uslijed istezanja karboksilne skupine C=O. Pikovi pri valnim brojevima 1577 i 1505 cm^{-1} ukazuju na vibracije istezanja unutar C=C veze aromatskog prstena. Pikovi na valnim brojevima 1471, 1408 i 1340 cm^{-1} ukazuju na istezanje C-O skupine, te deformaciju unutar O-H skupine kao i savijanje i vibriranje unutar etilen glikolnih skupina. Gibanja unutar tereftalatne skupine zabilježena su pri valnom broju 1243 cm^{-1} i 1124 cm^{-1} ($OOCC_6H_4$-COO). Oštar pik pri valnom broju 1094 cm^{-1} nastaje uslijed vibracija unutar metilenskih skupina. Gibanja unutar aromatskih prstena vidljiva su kroz nastajanje oštrih pikova na valnim brojevima 970, 871 i 847 cm^{-1}. Pik na 795 cm^{-1} nastaje uslijed vibracije aromatskih veza. Oštar pik zabilježen je pri valnom broju 712 cm^{-1} posljedica je interakcije polarnih esterskih skupina i benzenskih prstenova [18]. Iz svega navedenog može se zaključiti da sve komponente ispitivanog uzorka imaju isti sirovinski sastav odnosno uzorak je izrađen od poli(etilentereftalata).

3.2. Gravimetrijska analiza

S obzirom na to da norme za praćenje otpuštanja i analize mikroplastike iz tekstilnih izvora objavljene 2023. godine uključuju i gravimetriju [11,19,20], rezultati analize promjene u masi opranih i osušenih uzoraka tkanine od poliestera u odnosu na neopranu prikazani su u tab.2. Rezultati gravimetrijske analize uzoraka tkanine od poliestera prije i nakon 5 ciklusa pranja i sušenja pokazuju da je kod svih uzoraka utvrđena promjena u masi, pri čemu je gubitak utvrđen kod uzoraka 1, 2, 5 i 6, a prirast kod uzoraka 3 i 4 (uzorci osušeni u mrežici).

Tab.2 Masa uzoraka tkanine od poliestera prije i nakon procesa pranja i sušenja

Uzorak	m_0 (g)	m_1 (g)	Δm (g)	Δm (%)
1	4,58222	4,53254	0,049680	1,08
2	4,13405	4,12524	0,008810	0,21
3	4,54308	4,57191	-0,028830	-0,63
4	4,08123	4,15481	-0,073580	-1,80
5	4,70023	4,67012	0,030110	0,65
6	4,31043	4,27013	0,040300	0,93

Veći prirast u masi uzorka 4 može se pripisati taloženju depozita iz tvrde vode u procesu pranja pri 60 °C. Uzorak 3 opran je deterdžentom koji sadrži alumosilikatni bilder koji umanjuje utjecaj tvrdoće vode u procesu pranja. Gubitak mase uzoraka 1, 2, 5 i 6 potvrđuje da je proces pranja kroz pet ciklusa i sušenje tako opranih uzoraka u slobodnom stanju jače utjecao na otpuštanje FMP iz analizirane poliesterske tkanine. Na temelju vrijednosti razlika u masi uzoraka opranih i uloženih u mrežicu prije sušenja jasno je da mrežica štiti površinu tkanine od poliestera (uzorci 3 i 4), čime se povećava masa i smanjuje otpuštanje FMP tijekom strojnog sušenja.

Na sl.3 je filtar sušilice, pregledan nakon strojnog sušenja uzoraka 1, 2, 3 i 4, gdje je vidljiva hrpica fragmenata mase 0,023 g otpuštenih iz uzoraka tkanine od poliestera tijekom sušenja.



Sl.3 Izgled filtra nakon sušenja uzoraka tkanina od poliestera

3.3. Analiza otpadne vode procesa pranja

Rezultati analize sastava otpadne vode prikupljene nakon pet ciklusa pranja tkanine od poliestera ECE-A* deterdžentom i vodom, te 20 ciklusa ispiranja u tvrdoj vodi dobivenih analizom vrijednosti pH, vodljivosti, zamućenosti i KPK prikazani su u tab.3.

Analiza pojedinačnih parametara vrijednosti pH i vodljivosti potvrđuje značajan utjecaj višestrukih ciklusa ispiranja (ukupno 20), gdje prevladava utjecaj vodovodne vode u kojoj se priprema otopina i provode ciklusi ispiranja, a koji i razrjeđuju suspenziju otopine deterdženta prikupljenu iz procesa pranja.

Mutnoća otpadne vode iz procesa pranja deterdžentom (WW-1) osam je puta veća u odnosu na otpadnu vodu WW-2, što je i očekivano s obzirom na sastav ECE-A* deterdženta. Ovaj deterdžent sadrži površinski aktivne tvari i aluminosilikatni bilder, zeolit A, koji nije topiv u vodi.

Tab.3 Fizikalno-kemijski parametri otpadne vode (WW)

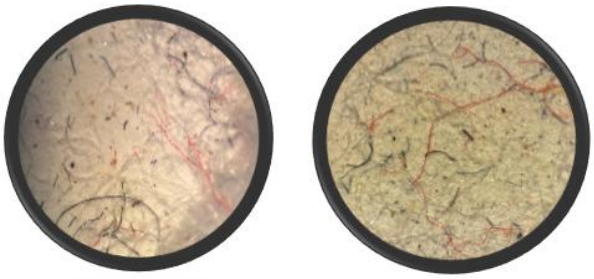
WW	pH	κ (μS/cm)	Mutnoća (NTU)	KPK (mg O_2/L)
-1	8.04	730.3	37.6	93
-2	7.93	741.5	4.6	144

Zamućenost otpadne vode iz procesa pranja vodom je 4,6 NTU, što može biti posljedica rezidualnih supstanci na materijalu i suspendiranih čestica kalcita. Vrijednosti KPK otpadne vode potvrđuju prisutnost kemijskog opterećenja, pri čemu WW-1 ima nižu vrijednost KPK u usporedbi s WW-2. Otpadne vode, WW-1 sadrže suspendirani ECE-A* deterdžent, pa je kontaminacija očekivana. Razina kemijske kontaminacije u uzorku WW-2 može biti zbog kemijskog opterećenja FMP, a koji se otpuštaju tijekom procesa pranja.

3.4. Filtarski kolači

Mikroskopske slike filtarskih kolača prikazane na slici 4 rezultat su jednostupanjske filtracije otpadnih voda prikupljenih iz procesa pranja ECE-A* deterdžentom (FC-1) i vodom (FC-2) pomoću polietersulfonskog filtra.

Oba filtarska kolača prekrivena su fragmentima flora otpuštenim iz tkanine od poliestera, gdje su vidljivi vlaknasti žuti, sivi i crveni oblici. Međutim, stupanj pokrivenosti filtra FC-1 suspendiranim tvarima i vlaknastim fragmentima veći je u usporedbi s FC-2.



a. b.

Sl.4 Mikroskopske slike filtarskog kolača, povećanje 45×: a. FC-1, b. FC-2

4. Zaključci

Dobiveni rezultati pokazuju da sastav kupelji za pranje i način sušenja utječu na otpuštanje FMP iz složene tkanine od poliestera koju karakterizira trobojni flor s lica i naličja. Gravimetrijska analiza pokazala je da pranje i sušenje u slobodnom stanju dovodi do gubitka mase i jačeg otpuštanja. Sušenje poliesterske tkanine u mrežici radi manjeg trenja utjecalo je na smanjeno otpuštanje FMP iz tkanine od poliestera.

Sastav otpadnih voda prikupljenih od pet ciklusa procesa pranja standardnim deterdžentom i vodom, te 20 ciklusa ispiranja vodom, analiziranih pomoću fizikalno-kemijskih parametara sličan je po para-

metru vrijednosti pH i vodljivosti, dok se mutnoća i kemijska potrošnja kisika razlikuju.

Oba filtarska kolača prekrivena su FMP otpuštenim iz tkanine od poliestara kao donorskog izvora. Vlaknasti fragmenti u svim bojama flora uočeni su na oba filtar kolača. Međutim, stupanj pokrivenosti filtra FC-1 suspendiranim česticama veći je nego kod FC-2.

Sve korištene metode indikativne su za procjenu otpuštanja FMP iz tkanine složene strukture od poliestara kao sekundarnog izvora.

Ovo istraživanje financirano je sredstvima Hrvatske zaklade za znanost dodijeljenih projektima IP-2020-02-7575 i DOK-2021-02-6750, Procjena otpuštanja čestica mikroplastike iz poliesterskih tekstilija tijekom procesa pranja, InWaShed-MP.



References:

[1] Bishop, D. Physical and Chemical Effects of Domestic Laundering Processes, In *Chemistry of the Textile Industry*, 1st ed.; Editor Carr, C.M., Blackie Academic and Professional, Springer, Glasgow, **1995**; Vol. 4, pp. 125-171.

[2] Sinner, H. *Über das Waschen mit Haushaltwasmaschinen: in welchem Umfange erleichtern Haushaltwaschmachinen und -geraete das Waeschehaben im Haushalt*? Haus und Heim-Verlag, Hamburg, **1960**

[3] Buisson, Y.L.; Rajasekaran, K.; French, A.D.; Conrad, D.C.; Roy, P.S. Qualitative and Quantitative Evaluation of Cotton Fabric Damage by Tumble Drying. *Textile Research Journal* **2000**, 70(8), pp. 739-743, https://doi.org/10.1177/004051750007000

[4] Kurz, J.: Laundering in the prevention of Skin Infections, In *Textiles and the Skin,* Elsner, P.; Hatch K. (Eds), Karger, ISBN 1421-5721, Basel, **2003**, pp. 64-81

[5] Committee for Risk Assessment and Committee for Socio-economic Analysis. Background Document on Intentionally Added Microplastics; ECHA: Helsinki, Finland, **2020**; p. 18.

[6] Palacios-Mateo, C.; van der Meer, Y.; Seide, G. Analysis of the polyester clothing value chain to identify key intervention points for sustainability, *Environmental Sciences Europe* **2021**, 2, pp. 1-25 https://doi.org/10.1186/s12302-020-00447-x

[7] Militký, J.; Novotná, J.; Wiener, J.; Křemenáková, D.; Venkataraman, M. Microplastics and Fibrous Fragments Generated during the Production and Maintenance of Textiles. *Fibers* **2024**, 12, 51. https://doi.org/10.3390/fib12070051

[8] Pušić, T.; Vojnović, B.; Flinčec Grgac, S.; Čurlin, M.; Malinar, R. Particle Shedding from Cotton and Cotton-Polyester Fabrics in the Dry State and in Washes. *Polymers* **2023**, 15, 3201. https://doi.org/10.3390/polym15153201

[9] Desinatura tkanina, Hrvatska tehnička enciklopedija, 204. Available at: https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/desinatura_tkanina.pdf, Accessed 13/11/2024

[10] HRN EN ISO 6330:2021 Tekstil - Postupci pranja i sušenja u kućanstvu za ispitivanje tekstila

[11] ISO 4484-1:2023: Textiles and textile products — Microplastics from textile sources, Part 1: Determination of material loss from fabrics during washing

[12] Pušić, T.; Vojnović, B.; Čurlin, M.; Bekavac, I.; Kaurin, T.; Grgić, K.; Šimić, K.; Kovačević, Z. Assessment of Polyester Fabrics, Effluents and Filtrates after Standard and Innovative Washing Processes. *Microplastics* **2022**, 1, pp. 494-504. https://doi.org/10.3390/microplastics1030035

[13] EN ISO 10523:2012: Water quality - Determination of pH

[14] EN 27888:2008: Water quality - Determination of electrical conductivity

[15] EN ISO 7027-1:2016: Water quality - Determination of turbidity

[16] ISO 15705:2003, Water quality - Determination of chemical oxygen demand index (ST-COD) - Small-scale sealed-tube method

[17] Čorak, I.; Tarbuk, A.; Flinčec Grgac, S.; Dekanić, T. Bio-Innovative Modification of Poly(Ethylene Terephthalate) Fabric Using Enzymes and Chitosan. *Polymers* **2024**, 16(17), 2532. https://doi.org/10.3390/polym16172532

[18] de Oliveira, C.R.S.; Batistella, M.; Guelli Souza, S.; Souza, A. Development of Flexible Sensors Using Knit Fabrics with Conductive Polyaniline Coating and Graphite Electrodes. *J. Appl. Polym. Sci.* **2017**, 134, 44785. https://doi.org/10.1002/app.44785

[19] ISO 4484-2:2023: Textiles and textile products - Microplastics from textile sources, Part 2: Qualitative and quantitative analysis of microplastics

[20] ISO 4484-3:2023: Textiles and textile products - Microplastics from textile sources, Part 3: Measurement of collected material mass released from textile end products by domestic washing method