



JE MONITORING MIKROPLASTIKE V KOMUNALNIH ODPADNIH VODAH POTREBEN?

**dr. ANDREJA ŽGAJNAR GOTVAJN¹, dr. ANDREW J. ENGLANDE²,
dr. GABRIELA KALČIKOVA³**

Povzetek

Mikroplastika (MP) so plastični delci, manjši od 5 mm, ki se vse pogostejše pojavljajo v okolju. V okolje pridejo bodisi neposredno preko izpustov iz čistilnih naprav ali pa nastanejo pri razpadu večjih plastičnih delov, kar je posledica različnih dejavnikov okolja. Namen raziskave je bil oceniti količino mikroplastike, ki jo v okolje prispevajo komunalne odpadne vode, zato smo v okviru raziskave preiskali nekaj kozmetičnih izdelkov, dostopnih na slovenskem trgu, in določili količino mikroplastike v njih (do 12 g na 100 mL izdelka). S poskusi v pilotni šaržni biološki čistilni napravi smo potrdili, da del mikroplastike ostane v očiščeni odpadni vodi, del pa se ujame v blatu in potem lahko preide v okolje z obdelanim blatom. Potrdili smo, da MP ne vpliva na karakteristike aktivnega blata niti ne vpliva na učinkovitost čiščenja čistilne naprave. Zato je monitoring MP v odpadnih vodah pomemben predvsem z vidika zaščite okolja, manj pa z vidika delovanja komunalnih čistilnih naprav.

Ključne besede: komunalna čistilna naprava, mikroplastika, polietilen, površinske vode, velikostna porazdelitev, vpliv na okolje

Abstract

Microplastics (MP) are plastic particles smaller than 5 mm and they recently occur in the environment. They enter the environment either directly through discharges of wastewater treatment plants, or as a result of fractionation of larger plastic items caused by various environmental factors. The aim of our study was to estimate the amount of microplastics entering into the environment through municipal wastewaters. In the framework of the study, several cosmetic products were examined for amount of plastic microbeads (up to 12 g of microbeads per 100 mL of the product). The experiment in model laboratory wastewater treatment plant confirmed, that part of the microbeads is released with treated water into the environment while the rest is retained in the activated sludge and can reach the environment with

- ¹ Prof. dr. Andreja Žgajnar Gotvajn, predstojnica katedre, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univerza v Ljubljani, Katedra za kemijsko procesno, okoljsko in biokemijsko inženirstvo
- ² Prof. Emeritus dr. Andrew J. Englande, Tulane University, School of Public Health and Tropical Medicine, Department of Environmental Health Science
- ³ Dr. Gabriela Kalčíkova, asistentka, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univerza v Ljubljani, Katedra za kemijsko procesno, okoljsko in biokemijsko inženirstvo



treated sludge. Microbeads do not affect quality of activated sludge as well as wastewater treatment plant efficiency. Therefore the monitoring of microplastics in wastewaters is important in term of environmental protection and less in term of wastewater treatment plant efficiency.

1. UVOD

Uporaba plastike je vedno bolj razširjena, zato se povečuje tudi količina plastičnih odpadkov, ki negativno vplivajo na okolje. Plastični odpadki se pojavijo v okolju v različnih velikostnih razredih; od velikih kosov plastike do nekaj mikrometrskih delcev. Te najmanjše delce plastike (< 5 mm) imenujemo mikroplastika (MP) (Andrady, 2011). Posamezne vrste plastike se med sabo bistveno razlikujejo po sestavi (PET – polietilen teraftalat, PP – polipropilen, PE – polietilen ...) in s tem tudi po lastnostih, ki vplivajo na njeno obnašanje in vplive v okolju, ter tudi možnostih recikliranja.

Veliko mikroplastike v okolju je posledica razpada večjih plastičnih odpadkov v fragmente ali vlakna (sekundarna MP). Zadnje študije so pokazale, da se v okolju nahaja mikroplastika, ki ima zelo pravilno obliko in je po navadi v obliki kroglic. Ta mikroplastika izvira najverjetneje iz različnih kozmetičnih izdelkov (primarna MP). MP v kozmetičnih izdelkih je skoraj vedno manjša od 1 mm. Vsebujejo jo pilingi za obraz in telo, šamponi, mila, zobne paste in dezodoranti. Mikroplastika je nadomestila naravne materiale, kot so plovec, oves ali orehove lupine (Fendall, 2009). Pomemben vir MP v obliki vlaken je tudi pranje oblačil. Z odpadno vodo tako mikroplastika pride v kanalizacijo ter potuje na čistilno napravo. Raziskave potrjujejo, da tehnologije običajnih komunalnih čistilnih naprav niso sposobne odstraniti vse mikroplastike iz odpadne vode, saj so delci premajhni in mikroplastika lahko ostane v očiščeni vodi (Esthahbanati, 2016). Zato čistilne naprave veljajo za pomembne točkovne vire MP v okolju. Veliko teh delcev pride v okolje tudi neposredno, saj vsa odpadna voda ne gre na čiščenje, prav tako pa tudi obilno deževje lahko povzroči preliv odpadne vode iz kanalizacijskega sistema neposredno v okolje. Vse te okoliščine omogočajo prenos MP v vodno okolje (Chang, 2015).

V zadnjih letih so se raziskovalci začeli zavedati možnih negativnih vplivov mikroplastike na okolje. Zaradi majhnosti jo lahko manjši organizmi zamenjajo za hrano. Vnos mikroplastike v organizme lahko prinese negativne učinke, kot so stradanje organizmov ter poškodbe prebavnega trakta (Costa, 2016). Mikroplastika lahko v organizme sprošča tudi aditive ter vezana obstojna hidrofbna onesnaževala. Nekateri od teh snovi so tudi dokazani hormonski motilci in negativno vplivajo na zdravje organizmov. MP in ostale snovi se lahko prenašajo po prehranjevalni verigi do drugih, višjih organizmov (Ivar do Sul, 2014).

Namen raziskav je bilo ugotoviti količino mikroplastike v kozmetičnih izdelkih: v pilingih za telo in obraz. S pomočjo šaržne pilotne biološke čistilne naprave za odpadne vode smo želeli proučiti obnašanje mikroplastike v čistilni napravi, koliko mikroplastike se ujame v aktivno blato in koliko mikroplastike ostane v očiščeni odpadni vodi in nato zapusti čistilno napravo. Zanimal nas je vpliv mikroplastike na aktivno blato, usedljivost blata ter učinek čiščenja. Te raziskave v svetu še niso zelo številne, jasno pa je, da poznavanje poti MP v čistilnih napravah lahko prispeva k izboljšanju učinkovitosti čiščenja ter samega načrtovanja čistilnih naprav (Carr, 2016).

2. MATERIALI IN METODE

2.1. Količina mikroplastike v kozmetičnih izdelkih

Da bi lahko ocenili, koliko MP lahko pričakujemo v odpadnih vodah, so nas zanimali količina ter vrsta in velikost mikroplastike v kozmetičnih izdelkih. Preizkusili smo pet kozmetičnih izdelkov (A, C – piling za obraz, B, D, E – piling za telo), ki domnevno vsebujejo mikroplastiko (podatek o vsebnosti polietilenskih delcev je bil naveden na embalaži). Vsebino vseh petih proizvodov smo raztopili v topli destilirani vodi ($T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) in mešali na mešalu, dokler se ves vzorec ni raztopil. Raztopljeni vzorec smo filtrirali skozi nučo pod tlakom. Filtrski papir je ujel delce, večje od $10\text{ }\mu\text{m}$. Delce, ki so se ujeli na filtrskem papirju, smo nato sprali z destilirano vodo v čaše. Čaše z destilirano vodo z delci smo sušili čez noč v sušilniku ($12\text{ ur na } T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Po sušenju so v čaši ostali samo trdni delci. Količino mikroplastike smo stehali in izračunali, koliko gramov MP izdelek vsebuje na 100 mL . Delce smo slikali z invertnim fluorescentnim mikroskopom Leica DM IL LED (Šumnik, 2015).

2.2. Mikroplastika v biološki čistilni napravi

Cilj eksperimenta je bil proučiti, kako se obnaša mikroplastika v konvencionalni biološki čistilni napravi. Uporabili smo pilotno šaržno biološko čistilno napravo z aktivnim blatom, kot odpadno vodo smo uporabili sintetično odpadno vodo (ISO 11733, 1995), kot vir MP pa smo uporabili mikroplastiko iz kozmetičnega izdelka B, pilinga za telo. Tako pripravljeno odpadno vodo smo neposredno dozirali v reaktor volumna 5 L , v katerem je bilo aktivno blato, ter dodali ustrezno količino mikroplastike. Mešanica je tako imela volumen 2 L . Koncentracijo aktivnega blata smo vzdrževali na 3 g L^{-1} . Eksperiment smo vzporedno izvajali v treh reaktorjih pri sobni temperaturi. Dva reaktorja sta predstavljala sistem z aktivnim blatom, sintetično odpadno vodo ter mikroplastiko in smo ju označili z MP1 ter MP2, en reaktor pa je predstavljala sistem z aktivnim blatom ter sintetično odpadno vodo – kontrolo (KON), torej brez dodane mikroplastike. En cikel čiščenja odpadne vode je trajal 24 ur . Izvedli smo šest ciklov. Cikel čiščenja odpadne vode je potekal v štirih fazah v naslednjem časovnem zaporedju:

- 1) **Faza polnjenja, 2 uri:** aktivnemu blatu smo dodali sintetično odpadno vodo (skupni volumen 2 L). Nato smo vključili mešalo na $300\text{ obratov/minuto}$ in dodali v sistema MP1 ter MP2 1 g mikroplastike iz kozmetičnega izdelka B. Kontrola (KON) ni vsebovala mikroplastike.
- 2) **Faza prezračevanja, 12 ur:** na začetku faze prezračevanja smo v čaše dodali cevke, ki so omogočale dovajanje komprimiranega zraka v sistem. Pretok zraka je bil 10 L h^{-1} , zrak smo predhodno navlažili.
- 3) **Faza posedanja, 8 ur:** v fazi posedanja smo izključili mešanje. Čez nekaj časa se je aktivno blato posedlo na dno, nad njim pa je ostala očiščena odpadna voda.
- 4) **Faza praznjenja, 2 uri:** po posedanju aktivnega blata smo očiščeno odpadno vodo počasi oddekantirali, blato pa je ostalo v reaktorju za naslednjo, prvo fazo čiščenja (Šumnik, 2015).



2.2.1. Tehnološki parametri biološke čistilne naprave

S pomočjo tehnoloških parametrov smo ugotavljali možen vpliv mikroplastike na aktivno blato. Spremljali smo usedljivost (VU) ter volumenski indeks blata (VIB), ki smo ga izračunali s pomočjo koncentracije aktivnega blata pred čiščenjem odpadne vode in po njem.

2.2.2. Analizne metode

Izmerili smo pH ter določili koncentracijo amonijevega dušika (ISO 1750/1, 1984) ter raztopljenega organskega ogljika (DOC) (ISO 8245, 1999) v vtoku ter iztoku iz reaktorja. S pomočjo podatkov o koncentraciji amonijevega dušika ter DOC smo določili učinkovitost čiščenja čistilne naprave.

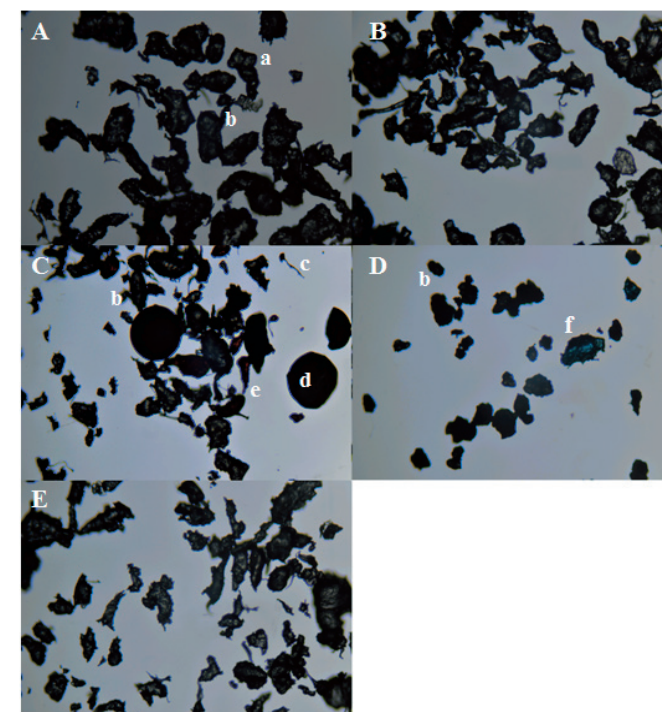
3. REZULTATI IN RAZPRAVA

V vseh petih preiskanih kozmetičnih izdelkih je bila prisotna mikroplastika (tabela 1). Najmanjšo vsebnost mikroplastike sta vsebovala izdelka A in C. Oba izdelka sta pilinga za obraz, zato vsebujeta manjšo količino delcev. Izdelek E, piling za telo, vsebuje bistveno več mikroplastike.

Tabela 1: **Vsebnost mikroplastike v kozmetičnih izdelkih**

Vzorec	Vsebnost mikroplastike (g) na 100 mL izdelka
A	0,42
B	3,30
C	1,06
D	1,45
E	11,13

Iz slike 1 lahko razberemo, da vsebuje vzorec A delce mikroplastike različnih nepravilnih oblik (a) ter elipsaste (b) oblike. Vzorec B vsebuje zelo podobno obliko mikroplastike kot vzorec A. Vzorec C vsebuje poleg mikroplastike v nitasti obliki (c) ter elipsaste oblike (b) tudi velike sferične delce (d) ter rdeče obarvane delce (e). Vzorec D vsebuje modro obarvano mikroplastiko (f) ter tudi elipsaste oblike (b). Vzorec E vsebuje mikroplastiko nepravilnih oblik.



Slika 1: Mikroplastika pod inertnim fluorescentnim mikroskopom (Šumnik, 2015)

Za določitev učinkovitosti odstranitve MP v biološki čistilni napravi smo izbrali vzorec B, ker je vseboval mikroplastiko različnih oblik, saj naj bi na ta način dobili neko povprečno sliko o obnašanju teh delcev v čistilni napravi. Za vse tri pilotne čistilne naprave (dve z dodano MP in kontrolni sistem) smo določili pH, DOC (raztopljeni organski ogljik) ter koncentracijo amonijevega dušika in maso MP na vtoku in iztoku. Tako smo želeli ugotoviti vpliv mikroplastike na učinkovitost čiščenja.

Vrednosti pH so si bile tako v kontrolnem sistemu (KON), kjer ni bilo mikroplastike, kot v sistemih z mikroplastiko (MP1 ter MP2), v vseh ciklih zelo podobne, tako pred čiščenjem kot po njem. Povprečno so se vrednosti v iztoku gibale od 8,3 do 8,8, na začetku eksperimenta pa so bile vrednosti pH v vseh sistemih povprečno 9,0. Čiščenje je bilo učinkovito in v sistemu sta se dobro odstranjevala organsko onesnaženje (izraženo kot DOC) ter amonijev dušik. Eksperiment je potrdil, da vsebnost mikroplastike ne vpliva na vrednosti pH v sistemu niti ne na učinkovitost odstranjevanja raztopljenega organskega ogljika ali na koncentracijo amonijevega dušika oziroma ne zavira procesa nitrifikacije (diagrama 1 in 2).

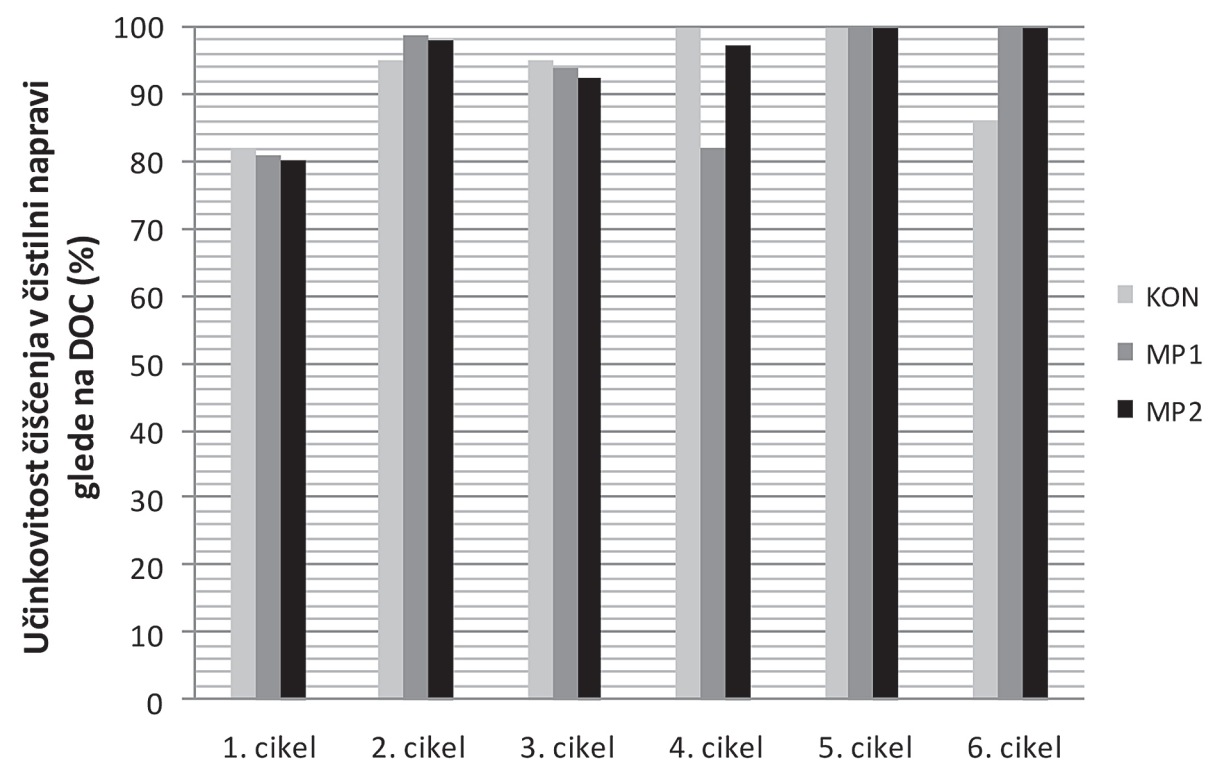


Diagram 1: Učinkovitost čiščenja čistilne naprave glede na DOC

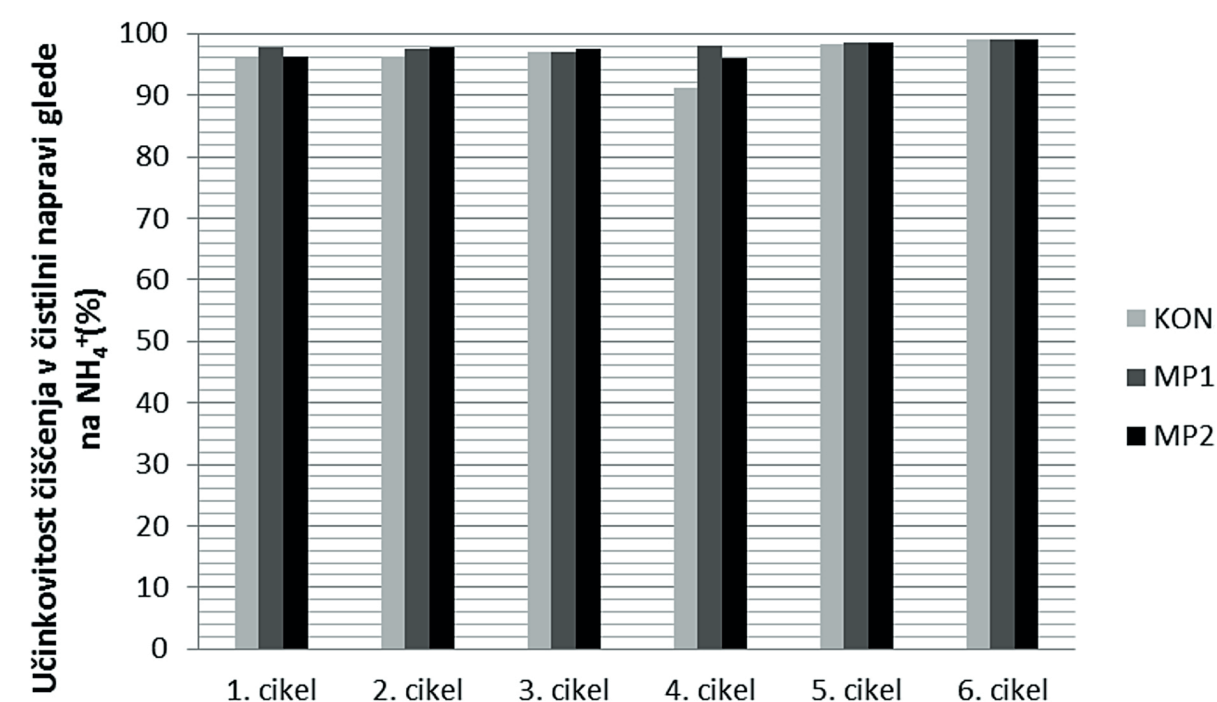


Diagram 2: Učinkovitost čiščenja čistilne naprave glede na koncentracijo amonijevega dušika

Prisotnost mikroplastike v čistilni napravi ne vpliva na lastnosti aktivnega blata (tabela 2). Vrednosti usedljivosti blata ter volumenski indeks blata so si pred eksperimentom in po končanem eksperimentu podobne, tako v kontrolnem sistemu KON kot v MP1 ter MP2. Koncentracija

aktivnega blata se je po končanem eksperimentu zmanjšala. Koncentracija se je zmanjšala tako v sistemih MP1 in MP2 kot pri KON, kjer ni bilo prisotne mikroplastike, zato sklepamo, da vsebnost mikroplastike ni vplivala na zmanjšanje koncentracije aktivnega blata.

Tabela 2: Tehnološki parametri

Tehnološki parameter	Čas	KON	MP ₁	MP ₂
Koncentracija aktivnega blata (g L^{-1})	pred začetkom eksperimenta	3,0	3,2	3,2
	po končanem eksperimentu	2,6	2,5	2,8
Usedljivost (mL L^{-1})	pred začetkom eksperimenta	350	310	360
	po končanem eksperimentu	310	340	320
Volumenski indeks blata (mL g^{-1})	pred začetkom eksperimenta	116	97	113
	po končanem eksperimentu	117	137	113

Učinkovitost odstranjevanja mikroplastike iz odpadne vode (diagram 3) je najvišja v prvih dveh ciklih, potem se učinkovitost zmanjša. Sklepamo lahko, da se je proti koncu eksperimenta aktivno blato prenasitilo z delci mikroplastike in se delci mikroplastike niso mogli več vezati na aktivno blato, zato so splavali po končanem ciklu na površino očiščene odpadne vode.

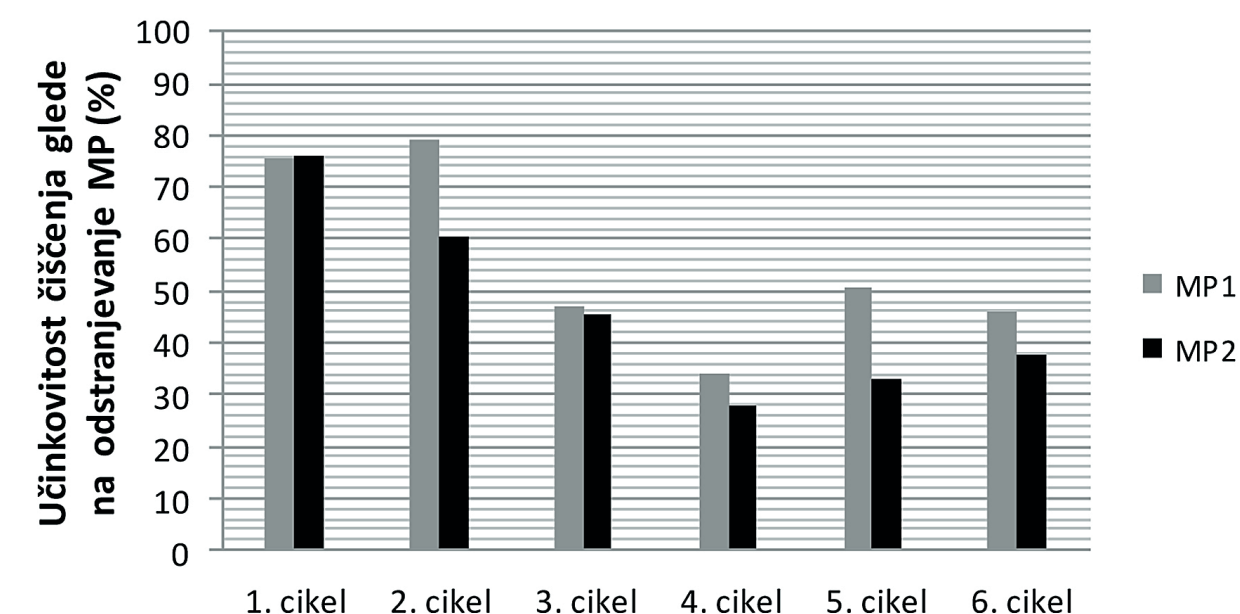


Diagram 3: Učinkovitost čiščenja čistilne naprave glede na količino mikroplastike



Dobljeni rezultati so v skladu z rezultati podobnih raziskav drugih avtorjev (Carr, 2016), ki so potrdili, da večina teh delcev plava na površini mešanice v reaktorju, da je njihova porazdelitev po volumnu odpadne vode odvisna od njihove oblike, gostote in velikosti. Potrdili so tudi prisotnost MP v povratnem aktivnem blatu (povprečno 5 delcev na 5 g blata), kar kaže vezavo delcev MP na komponente aktivnega blata. V določenih primerih pa se je z odvečnim blatom iz vode dejansko odstranilo več kot 99,9 % delcev in vlaken mikroplastike. Potrjeno je tudi bilo, da se znaten delež mikroplastike lahko odstrani med fizikalnimi procesi primarnega čiščenja, zato je učinkovitost odstranjevanja MP zelo odvisna od konfiguracije in uporabljene tehnologije v čistilni napravi. Predvsem lahko učinkovito odstranimo plastična vlakna, ki se odstranjujejo skupaj s celuloznimi vlakni toaletnega papirja in delci hrane. Po drugi strani pa se drobni delci mikroplastike nižjih gostot lahko ujamejo v kosme aktivnega blata, kar lahko vpliva na njihovo usedljivost. Ravno zaradi učinkovitega odstranjevanja MP v primarni in sekundarni fazi čiščenja dodatni filtri na končnem iztoku očiščene vode ne prispevajo veliko k zmanjševanju emisij mikroplastike. Zato lahko na osnovi naše raziskave in sorodnih raziskav zaključimo, da modifikacije obstoječih čistilnih naprav za komunalne vode z namenom povečanega učinka odstranjevanja mikroplastike niso smiselne, bolj je smiselna njena prepoved oziroma omejena uporaba v kozmetičnih izdelkih. Posebne raziskave pa je treba posvetiti še nanoplastiki ($< 1 \mu\text{m}$), saj je učinkovitost njenega odstranjevanja v konvencionalni čistilni napravi verjetno drugačna (Costa, 2016).

4. ZAKLJUČEK

V zadnjih letih je bilo veliko pozornosti namenjene zmanjševanju količine zavrženih plastičnih odpadkov. Sistem trajnostnega ravnanja z odpadki temelji na zmanjševanju njihove količine, zbiranju teh odpadkov in preprečevanju njihove poti v okolje. Čeprav je ta sistem že dobro vpeljan v družbi in se potrošniki zavedajo posledic odlaganja plastičnih odpadkov v okolje, obstajajo še drugi viri plastike, ki prihaja v okolje, za katere večina uporabnikov ne ve. Takšen vir plastike je npr. mikroplastika v kozmetičnih izdelkih. Različni kozmetični izdelki vsebujejo velike količine mikroplastike, ki potuje po uporabi v kanalizacijo in na čistilno napravo. Na čistilni napravi se veliko mikroplastike zadrži v primarnih procesih čiščenja ter se ujame v kosme aktivnega blata. Predvidevamo, da pri sekundarni uporabi aktivnega blata zaide mikroplastika spet v okolje. Pomembne količine se znajdejo tudi na iztoku čistilnih naprav. Čeprav so eksperimenti pokazali, da mikroplastika v kozmetičnih izdelkih ne vpliva na delovanje čistilnih naprav, vendarle konča v okolju in lahko škoduje mnogim organizmom. Zato so nujni ukrepi za omejitev teh emisij, pri čemer se kot najenostavnejša kaže prepoved uporabe mikroplastike v kozmetičnih izdelkih in ponovna uporaba naravnih materialov, kar so že storile nekatere zvezne države v ZDA.

5. ZAHVALA

Raziskava je bila izvedena v okviru dvostranskega projekta BI-US/15-16-084 (Razvoj protokola za izbiro načina odstranjevanja aktualnih problematičnih onesnaževal iz odpadne vode). Avtorji se za pomoč pri eksperimentalnem delu zahvaljujemo S. Šumniku.

LITERATURA IN VIRI

1. Andrady, A. L.: Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 2011, 62, 1596-1605.
2. Carr, S. A., Liu, J., Tesosro, A. G.: Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Research*, 2016, 91, 174-182.
3. Chang, M.: Reducing microplastics from facial exfoliating cleansers in wastewater through treatment versus consumer product decision. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 101, 330-333.
4. Costa, J. P., Santos, P. S. M., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T.: (Nano)plastics in the environment – Sources, fates and effects. *Science of the Total Environment*, 2016, 566-567, 15-26.
5. Estahbanati, S., Fahrenfeld, N. L.: Influence of wastewater treatment plant discharges on microplastic concentrations in surface waters. *Chemosphere*, 2016, 162, 277-284.
6. Fendall, L. S., Sewell, M. A.: Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 58, 1225-1228.
7. International Standard ISO 11733, Water Quality - Evaluation of the elimination and biodegradability of organic compounds in an aqueous medium - Activated sludge simulation test, Geneva, 1995.
8. International Standard ISO 1750/1, Water Quality – Determination of ammonium – Part 1: Manual spectrometric method, Geneva, 1984.
9. International Standard ISO 8245, Water quality - Guidelines for the determination of total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC), Geneva, 1999.
10. Ivar do Sul, J. A., Costa, M. F.: The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution*, 2014, 185, 352-346.
11. Šumnik, S.: Prenos mikroplastike v vodnem okolju: diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana, 2015.