

## ISTRAŽIVANJA POJAVE MIKROPLASTIKE U OTPADNIM VODAMA SA DEPONIJAMA INVESTIGATION OF THE OCCURRENCE OF MICROPLASTICS IN LANDFILL WASTEWATER

Aleksandra Narevski, Goran Vujić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

### Oblast – ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE

**Kratak sadržaj** – Na samom početku rada dat je pregled stanja upravljanja plastikom u svetu. Zatim, radom je definisan fenomen mikroplastike, navedeni su i opisani izvori mikroplastike, kao i uticaj iste na životnu sredinu i živi svet. Metodologija uzorkovanja i laboratorijske analize opisane su jednim od poglavlja ovog rada. Rezultati izvedenog eksperimenta direktno ukazuju na prisustvo mikroplastike u otpadnim vodama sa deponijama, a daljom analizom rezultata došlo se i do količine mikroplastike detektovane u uzorcima.

**Ključne reči:** *otpad, upravljanje otpadom, plastika, mikroplastika, deponija, otpadne vode*

**Abstract** – At the very beginning, an overview of how plastics are managed in the world is given. Then, the paper defines the phenomenon of microplastics, lists and describes the sources of microplastics, as well as the impact of microplastics on the environment and the living world. Sampling methodology and laboratory analyzes are described in one of the chapters of this paper. The results of the experiment directly indicate the presence of microplastics in the wastewater from the landfills, and further analysis of the results provided the amount of microplastics detected in the samples.

**Keywords:** *waste, waste management, plastics, microplastics, landfill, wastewater*

### 1. UVOD

Više od 50 godina, globalna proizvodnja plastike nastavlja da raste. U 2013. godini proizvedeno je oko 299 miliona tona plastike, što predstavlja povećanje od 3,9% u odnosu na 2012. godinu [1].

Plastika predstavlja izum koji je omogućio značajne koristi za društvo, a u nekim slučajevima čak i za životnu sredinu. Usled neadekvatnog načina upravljanja plastikom i njene jednokratne upotrebe, ona se od inovacije pretvorila u planetarnu katastrofu [2].

Oko 10-20 miliona tona plastike završi u okeanima svake godine. Jednom kada se nađe u okeanu, plastika tamo i ostaje usitnjena na komadiće koji se trofičkim lancima iskrene kumuluju u bioti vodenih ekosistema. Zbog osobine da se transportuje vetrom i vodenim strujama, plastika zagađuje veliki deo vodenih površina. Najviše plastike detektovano je u severnom Pacifiku, sa skoro  $2 \times 10^{12}$  čestica plastike [1].

### NAPOMENA:

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji je mentor bio dr Goran Vujić, red. prof.**

Evropa je još od 20-ih godina imala politiku za rešavanje problema zagađenja životne sredine plastikom. Posebno treba istaći Direktivu o ambalažnom otpadu koja je 2018. godine izmenjena tako da su ciljevi za reciklažu plastične ambalaže značajno povišeni (sa 22,5% na 55% do 2030. god). Takođe, Evropska komisija je 2018. godine usvojila Evropsku strategiju za plastiku, koja je rezultat šireg koncepta cirkularne ekonomije i paketa mera koje je Evropska komisija usvojila 2015. god. Strategija predviđa niz mera kao odgovor na neodrživo korišćenje plastike, od kojih su neke mere već počele da se primenjuju i sprovođe [3].

### 2. FENOMEN MIKROPLASTIKE U SVETU

Mikroplastika je definisana kao čestice plastike manje od 5 mm, nastale od većih čestica (sekundarna) ili proizvedene u tako maloj veličini (primarna) [4]. Raspon veličina čestica kreće se između 1  $\mu$ m i 5 mm [5].

Važna grupa primarne mikroplastike su plastične granule koje se proizvode kao sirovina za industrijsku plastiku. Primarne plastične čestice se takođe koriste kao abrazivi u brojnim situacijama, npr. u kozmetici, proizvodima za čišćenje, farmaceutskim proizvodima. Sekundarna mikroplastika se može formirati tokom građevinskih radova sa plastikom ili prilikom održavanja plastičnih predmeta [5]. Sekundarna mikroplastika se formira biološkom degradacijom, fotodegradacijom, hemijskim taloženjem i fizičkim raspadom većih komada plastike u manje fragmente koji se vremenom ne mogu otkriti golim okom [6]. Izvori sekundarne mikroplastike su različiti i mogu podrazumevati cigarete, plastične kese i žvake [1].

#### 2.1. Izvori mikroplastike

Mikroplastika prisutna u okeanu potiče iz niza kopnenih i morskih izvora, a može sadržati plastične granule ili delove većih plastičnih ostataka, koji potiču iz lokalnih izvora ili se putem reke ili morskih struja prenosi na velike udaljenosti. U zavisnosti od izvora, mikroplastika stiže do okeana različitim putevima – preko otpadnih voda, putem abrazije pribora za ribolov ili konstrukcija poput brana, različitih instalacija za akvakulturu ili jednostavno može biti direktno bačena sa brodova [5].

Izvori mikroplastike:

1. Postrojenja za tretman otpadnih voda;
2. Domaćinstva;
3. Mikroplastika iz kanizacionog mulja;
4. Atmosferske padavine i odlaganje snega;
5. Direktni izvori mikroplastike;
6. Transport mikroplastike rekama i morskim strujama;
7. Sistem upravljanja otpadom (deponije, postrojenja za reciklažu plastike).

Plastični aditivi, kao što su ftalati i osnovni plastični monomer – bisfenol A, ispiraju se iz plastike i završavaju u procednim deponijskim vodama, što dovodi do unošenja toksičnih supstanci iz plastike u životnu sredinu. Obim ispuštanja zavisi od svojstva plastičnih aditiva i polimera. Aditivi mogu biti hemijski zavisni ili nezavisni od polimera, što utiče na sudbinu polutanta u životnoj sredini. Potencijal transporta zavisi od veličine pora u polimeru i veličine molekula aditiva, kao i od spoljašnjih faktora, temperature u telu deponije i pH-vrednosti [5].

### 2.3. Uticaj mikroplastike na živi svet

Uticaji mikroplastike na živi svet još uvek nisu u potpunosti poznati. Međutim, u određenom broju organizama, kičmenjaka i beskičmenjaka, identifikovano je prisustvo mikroplastike. Ovi primeri predstavljaju brojne organizme sa različitim mehanizmima ishrane, uključujući korale, dagnje, ribe, crve koji žive u mulju, rakove i školjke. Naučnici su takođe zabrinuti da organizmi koji unose plastične ostatke mogu biti izloženi zagađujućim supstancama sorbovanim u plastici [6].

Najveći izvor plastike koju unosimo u telo je voda (flaširana i ona iz slavine), pri čemu su vidljive ogromne regionalne razlike. Dvostruko više plastičnih čestica nalazi se u vodi u SAD-u i Indiji u odnosu na Evropu i Indoneziju. Neki od prehrambenih proizvoda sa najvišom stopom plastičnih čestica su školjke, so i pivo [2].

## 3. MATERIJAL I METOD

Za potrebe istraživanja u okviru master rada korišćena je metoda utvrđena prilikom proučavanja i laboratorijskog rada sprovedenog kroz grant NOAA Marine Debris programa na Univerzitetu u Vašingtonu (Takoma), koja je prilagođena uslovima i očekivanim rezultatima.

Ciljevi projekta bili su usmereni na pojednostavljenje terminologije i tehnika koje se koriste za procenu koncentracija čestica mikroplastike u uzorcima vode iz morskih sredine, za razvoj laboratorijskih procedura za kvantifikaciju mikroplastičnih čestica u morskim površinskim vodama i sedimentima, kao i u proizvodima za ličnu higijenu [6].

Eksperiment je realizovan u akreditovanoj „Laboratoriji za monitoring životne i radne sredine“ Departmana za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu, pod nadzorom laboranta i uz sve mere predostrožnosti.

### 3.1. Opis uzorkovanja i laboratorijske analize

Uzorkovanje je sprovedeno na dve lokacije:

- Regionalna sanitarna deponija „Eko-dep“ u Bijeljini (Bosna i Hercegovina);
- Gradska deponija komunalnog otpada u Novom Sadu (Srbija).

Uzorkovanje na sanitarnoj deponiji u Bijeljini sprovedeno je na kontrolnom otvoru prihvatnog bazena (Slika 1) procedne deponijske vode. Zbog nemogućnosti uzorkovanja procedne vode sa cevi koja dovodi vodu u prihvatni bazen, uzorkovanje je realizovano tako što je naknadno ubačena pumpa ispumpavala vodu iz bazena i

preko creva ubačenog u planktonsku mrežicu, vraćala vodu u bazen. Planktonska mrežica je provučena kroz otvor metalne rešetke postavljene iznad otvora prihvatnog bazena.



Slika 1. Mesto uzorkovanja na deponiji u Bijeljini

Kolektovano je 5 uzoraka u periodu od 9 do 14 časova. Svaki uzorak uzet je u duplikatu, odnosno izvršeno je dva uzorkovanja tokom sat vremena, sa pauzom od 30 minuta između sledećeg. Svako uzorkovanje trajalo je 15 minuta.

Planktonska mrežica je nakon svakog uzorkovanja pažljivo isprana destilovanom vodom u kadicu, odakle je ta voda sa uzorkom presuta u staklenu bocu od 2,5 litara. Kadica je isprana destilovanom vodom kako bi se obezbedilo da sve čestice mikroplastike budu isprane.

Protok male pumpe (naknadno ubačene u prihvatni bazen) iznosio je 0,3125 L/s, odnosno 1,125 m<sup>3</sup>/h. Velika pumpa kojom se procedna voda sa tela deponije dovodi do bazena ima protok od 20 000 m<sup>3</sup>/h.



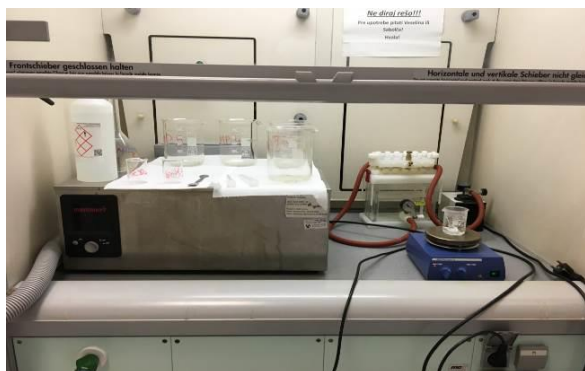
Slika 2. Mesto uzorkovanja na novosadskoj deponiji

Na deponiji komunalnog otpada u Novom Sadu (Slika 2) kolektovano je 3 uzoraka: jedan iz lagune i po jedan iz prihvatnih kanala. Uzorci su prikupljeni u staklene boce za uzorkovanje, koje su spuštane direktno u lagunu ili kanal. Sa svakog mernog mesta uzeta je procedna deponijska voda koja je naknadno u laboratoriji profiltrirana kroz planktonsku mrežicu. Zatim su planktonska mrežica i staklena boca u kojoj se nalazio uzorak pažljivo isprani destilovanom vodom nekoliko puta, kako bi se obezbedilo uklanjanje eventualno zadržanih čestica mikroplastike na mrežici i zidovima boca.

Nakon uzorkovanja, uzorci su transportovani do laboratorije. Svaki uzorak je profiltriran kroz sita poreda 2 mm, 800 μm, 500 μm, 200 μm, 16 μm i 63 μm.

Nakon filtriranja, sadržaj zadržan na svakom situ ispran je destilovanom vodom u posudu, a zatim u laboratorijsku čašu zapremine 1 L, nakon čega su pincetom skidane preostale vidljive čestice koji su takođe prebačene u čašu. Ista procedura ponovljena je za svaki uzorak. Čaše sa uzorcima postavljene su u sušnicu na 105° C tokom 24 časa, kako bi se obezbedilo izdvajanje čvrstih čestica iz uzorka, odnosno kako bi voda isparila.

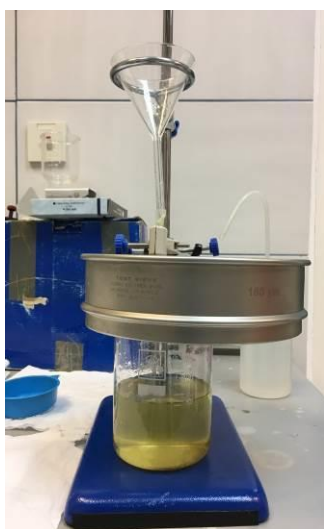
Naredni korak podrazumevao je uklanjanje organskih čestica prisutnih u uzorku pomoću vodonik-peroksida i izdvajanje čestica mikroplastike (Slika 3). U čašu sa uzorkom nakon sušenja dodato je 20 mL rastvora gvožđe-sulfata i 20 mL rastvora vodonik-peroksida. Dobijena smeša ostavljena je u digestoru par minuta da odreaguje, a zatim je čaša stavljena na magnetnu mešalicu koja je podešena da zagreje smešu do 75°C.



Slika 3. Digestor pod kojim je vršena oksidacija vodonik-peroksidom

Usledilo je dodavanje 6 g soli, kako bi se povećala gustina vodenog rastvora i smeša je zatim ponovo zagrejana na 75° C 30 minuta, kako bi se so rastvorila. Ceo postupak sproveden je pod digestorom, korišćena je zaštitna laboratorijska oprema i obezbeđena je sigurnost rukovanja uzorcima, ali i sigurnost laboranta.

Naredni zadatak bio je izdvojiti čestice mikroplastike iz smeše dobijene u prethodnom koraku. To je izvršeno tako što je stakleni levak postavljen i pričvršćen za stalak, a na njegov kraj stavljena gumena cevčica koja je pritegnuta laboratorijskom štipaljkom radi kontrole protoka (S. 4).



Slika 4. Izdvajanje čestica mikroplastike iz smeše dobijene u prethodnom koraku

Ispod cevčice postavljena je laboratorijska čaša od 50 mL, a na nju sito proreda 63 μm na kojem su se zadržale čestice mikroplastike. Tečnost u čaši ispod levka koja je nastala nakon ispiranja je odbačena, a sito na kojem su zadržane čestice mikroplastike ostavljeno je preko noći da se osuši pokriveno aluminijumskom folijom.

Čestice mikroplastike sakupljene na situ, prebačene su u petrijevu posudu pomoću pincete i špatule. Masa petrijeve posude izmerena je pre i posle dodavanja čestica mikroplastike, a oduzimanjem ove dve vrednosti dobijena je masa mikroplastike u uzorcima. Isti postupak ponovljen je za sve uzorke. Dobijeni rezultati prikazani su u Tabeli 1 i Tabeli 2.

Usledilo je posmatranje uzoraka pod mikroskopom (slika 5) pod uvećanjem od 40 i 80 puta, kako bi se uočile čestice mikroplastike.



Slika 5. Pregled uzoraka pod mikroskopom

Na Slici 6 može se videti mikroskopski snimak detektovanih čestica mikroplastike u jednom od uzoraka.



Slika 6. Prikaz čestica mikroplastike pod uvećanjem od 40 puta

### 3.2 Rezultati i tumačenja

Za potrebe ovog rada, na osnovu izvršenih laboratorijskih analiza utvrđeno je prisustvo čestica mikroplastike u uzorcima procedne vode sa oba deponijska lokaliteta.

Uzorak broj 1 u tabeli 1. predstavlja uzorak kolektovan iz lagune na gradskoj deponiji u Novom Sadu, dok su uzorak broj 2 i 3 kolektovani iz prvog i drugog prihvatnog kanala, respektivno.

U tabelama 1 i 2 oznaka (g) označava masu prazne petrijeve posude, (d) masu petrijeve posude sa česticama mikroplastike i (d̄) prikazuje masu čestica mikroplastike u uzorcima.

Tabela 1. Prikaz dobijenih rezultata o količinama mikroplastike u uzorcima sa deponije u Bijeljini

Masa [g]	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3	Uzorak 4	Uzorak 5
g	54,4668	54,2855	52,2398	56,1661	55,7843
d	54,5429	54,2862	52,2454	56,1708	55,7870
đ	0,0761	0,0007	0,0056	0,0047	0,0027

Tabela 2. Prikaz dobijenih rezultata o količinama mikroplastike u uzorcima sa deponije u Novom Sadu

Masa [g]	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3
g <sub>1</sub>	46,9178	45,1559	47,8234
d <sub>2</sub>	46,9194	45,4594	47,8278
đ <sub>3</sub>	0,0016	0,0035	0,0044

Dobijeni rezultati pokazuju približno iste vrednosti količina mikroplastike u uzorcima sa obe deponijske lokacije. Računanjem prosečne vrednosti količina mikroplastike iz tabela 1 i 2 dolazi se do koncentracija mikroplastike prisutne u predmetnim uzorcima.

Zaključeno je da koncentracija mikroplastike u uzorcima sa regionalne deponije "Eko-dep" u Bijeljini iznosi 3,425 mg u 2,5 L otpadne deponijske vode, dok u uzorcima sa deponije u Novom Sadu ona iznosi 3,1667 mg u 2,5 L.

Dobijene rezultate ne treba smatrati aposlutno tačnim i potrebno ih je razmotriti sa zadržkom, zbog toga što se radi o veoma sitnim česticama plastike koje su nevidljive golim okom, pa se smatra da postoji određen procenat gubitaka nastalih prilikom izvođenja eksperimenta.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata dobijenih u okviru master rada, kao i brojnih istraživanja na temu plastike i plastičnog otpada, može se zaključiti da proizvodnja velike količine različitih plastičnih materijala i sve veća upotreba u različite svrhe, dovodi do velike stope odlaganja plastičnog otpada na deponije u nerazvijenim zemljama i zemljama u razvoju.

Sama činjenica da je ovim radom utvrđeno prisustvo mikroplastike u procednim vodama i nesantitarne i sanitarne deponije, govori o neadekvatnom načinu upravljanja ovom vrstom otpada, kao i o potrebi za drugačijem pristupu rešavanja ovog problema.

Ukoliko bi se zabranilo ili smanjilo deponovanje plastike, sa jedne strane mogla bi se ostvariti značajna ekonomska korist u pogledu korišćenja tog materijala za reciklažu, dok bi se sa druge strane znatno lakše dostigli zahtevi domaće i strane zakonske regulative.

Preporuke za dalja istraživanja mogle bi biti:

1. Sprovesti istraživanja na temu utvrđivanja prisustva i količine mikroplastike u otpadnim vodama sa deponija drugom metodom ili optimizacijom metode koja je korišćena tokom istraživanja;
2. Ispitati moguće prisustvo i koncentracije mikroplastike u drugim tekućim i stajaćim vodama (npr. reke, jezera), ali i vodama za piće;
3. Sprovesti istraživanje u vezi sa uticajem mikroplastike na živi svet;
4. Utvrditi koncentracione nivo BpA u uzorcima procedne vode sa deponija.

#### 5. LITERATURA

- [1] G. Gourmelon, „Global plastic production rises, recycling lags“, 2015.
- [2] [http://www.wwf.rs/nasa\\_planeta/ne\\_plastici/](http://www.wwf.rs/nasa_planeta/ne_plastici/) (pristupljeno u avgustu 2018. )
- [3] <https://www.nedeljnik.rs/moguće-je-zamisliti-nasu-zemlju-bez-otpadne-plastike-izazovi-pred-srbijom-u-procesu-evropskih-integracija/> (pristupljeno u avgustu 2018. )
- [4] S. Estahbani, N.L. Fahrendfeld, „Influence of wastewater treatment plant discharges on microplastics concentrations in surface water“, 2016.
- [5] K. Magusson, K. Eliasson, A. Fråne, K. Haikonen, J. Hultén, M. Olshammar, J. Stadmark, A. Voisi „Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment“, Mart 2016.
- [6] J. Masura, J. Baker, G. Foster, C. Arthur, „Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments“, NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48, 2015.

#### Kratka biografija:



**Aleksandra Narevski** rođena je u Novom Sadu 1995. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Inženjerstvo zaštite životne sredine odbranila je 2019. god.  
kontakt: aleksandranarevski@uns.ac.rs



**Goran Vujić** rođen je u Zrenjaninu 1972. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2007. god., a od 2017. god. je u zvanju redovni profesor. Oblast interesovanja su upravljanje otpadom.