"CAPACITY BUILDING FOR MANAGEMENT AND GOVERNANCE OF MICROPLASTICS IN DRINKING WATER RESOURCES OF DANUBE REGION" MICRODRINK

Mirna Švec, mag. geol.; dr. sc. Ana Selak, mag. ing. geol., mag. ing. prosp. arch.; dr. sc. Jasmina Lukač Reberski, dipl. ing.; dr. sc. Ivana Boljat, dipl. ing

1. UVOD

Onečišćenje plastikom jedno je od ključnih globalnih pitanja zaštite okoliša 21. stoljeća. Posebnu zabrinutost izaziva prisutnost mikroplastike (čestice, sferule i vlakna dimenzija < 5 mm i > 1 µm) u vodenom okolišu, uključujući površinske i podzemne vode kao ključne resurse pitke vode. Mikroplastika može biti primarna, namjenski proizvedena za različite primjene kao što su abrazivni sastojci u sredstvima za čišćenje i kozmetici ili kao sirovina u plastičnoj industriji, te sekundarna, koja nastaje razgradnjom većih plastičnih predmeta uslijed bioloških, fotokemijskih i mehaničkih procesa (Lechner 2020). Ona se u okoliš unosi izravno prilikom procesa proizvodnje, razgradnjom plastičnih predmeta i putem otpadnih voda.

U posljednjem su desetljeću provedena brojna istraživanja koja potvrđuju prisutnost mikroplastike u velikim europskim rijekama, uključujući slijev rijeke Dunav, koji predstavlja izvor vode za više od 80 milijuna stanovnika Europe (Kittner i dr. 2022). Iako se sama plastika ne smatra izravno toksičnom, mikroplastika može otpustiti aditive, rezidualne monomere, biofilmove i druge adsorbirane ekotoksične spojeve poput teških metala, pesticida, bisfenola, antibiotika i ostalih organskih onečišćivala (Viaroli i dr. 2022; Li i dr. 2023; Belz i dr. 2024). Unatoč tome, mikroplastika još uvijek nije sustavno uključena u rutinske programe praćenja vode za piće, a njezin utjecaj na ljudsko zdravlje i zdravlje okoliša ostaje nedovoljno istražen (Li i dr. 2023).

Kao odgovor na navedene izazove osmišljen je međunarodni projekt MicroDrink (engl. Capacity building for management and governance of MICROplastics in DRINKing water resources of Danube Region). Projekt se provodi u okviru Programa transnacionalne suradnje dunavske regije 2021. – 2027. te je sufinanciran sredstvima Europske unije. Glavni mu je cilj jačanje znanja, kapaciteta i prekogranične suradnje u području rješavanja problema mikroplastike u resursima vode za piće. Projekt se provodi od siječnja 2024. do kraja lipnja 2026. godine, a njime je ostvarena suradnja 11 projektnih partnera iz osam europskih zemalja (Austrija, Bosna i Hercegovina, Češka, Hrvatska, Mađarska, Njemačka, Slovenija, Srbija).

U konzorciju projekta sudjeluju predstavnici pet znanstvenih institucija: Hrvatski geološki institut



Slika 1: Konzorcij projekta MicroDrink

kao vodeći partner, Sveučilište u Ljubljani, Institut za istraživanje voda T. G. Masaryk, Sveučilište u Beogradu te Sveučilište Friedrich-Alexander Erlangen-Nürnberg. Partneri su i dva zavoda za javno zdravstvo (Zavod za javno zdravstvo Zadar i Zavod za javno zdravstvo Federacije Bosne i Hercegovine), dvije ustanove za vodoopskrbu (Javno komunalno poduzeće "Drugi oktobar" Vršac i Javno poduzeće Kovod Postojna vodovod, kanalizacija d.o.o., Postojna), nacionalna Agencija za zaštitu okoliša Austrije te laboratorij za analizu mikroplastike Eurofins d.o.o. iz Mađarske (slika 1). Projekt okuplja i 19 pridruženih partnera, uključujući Hrvatske vode, Vodovod d.o.o. za usluge opskrbe pitkom vodom Zadar i Zadarsku županiju iz Republike Hrvatske te dvije makroregionalne strategije: Strategiju Europske unije za dunavsku regiju (EUSDR) i Međunarodnu komisiju za zaštitu rijeke Dunav (ICPDR).

1.1. Ciljevi projekta

Glavni cilj projekta MicroDrink je izgradnja kapaciteta za provedbu harmoniziranog pristupa uzorkovanju i analizi mikroplastike u vodi namijenjenoj za ljudsku potrošnju. Ovaj se proces po prvi put provodi na transnacionalnoj razini u dunavskoj regiji i to sukladno zahtjevima Delegirane odluke Komisije (EU) 2024/1441 koja dopunjuje Direktivu (EU) 2020/2184 o kvaliteti vode namijenjenoj za ljudsku potrošnju. Projekt je usmjeren na praktičnu implementaciju metodologije propisane Delegiranom odlukom u vodoopskrbnim ustanovama s ciljem procjene provedivosti zahtjeva Direktive. Aktivnosti uključuju identifikaciju tehničkih i organizacijskih izazova vezanih uz implementaciju, utvrđivanje dobrih praksi za upravljanje problemom mikroplastike u izvorima vode za piće te širenje znanja i podizanje svijesti dionika i šire javnosti. Provedbom ovih mjera projekt jača kapacitete i pruža podršku relevantnim dionicima za moguću buduću obvezu praćenja mikroplastike u vodoopskrbi.

Specifični ciljevi projekta MicroDrink uključuju:

1. uspostavu usklađenog uzorkovanja i analize mikroplastike u površinskim i podzemnim izvorima vode za piće, u skladu s Delegiranom odlukom Komisije (EU) 2024/1441,
2. provedbu harmoniziranog pristupa na pilot-područjima unutar slijeva rijeke Dunav, čime se omogućuje usporedivost podataka među državama,
3. prikupljanje i sintezu stečenih iskustava s posebnim naglaskom na tehničke, logističke i institucionalne aspekte provedbe praćenja, identificiranje izazova i najboljih praksi,
4. prijenos znanja i iskustava relevantnim dionicima (vodoopskrbne ustanove, regulatorna tijela, javne institucije) u svrhu izgradnje kapaciteta za eventualnu buduću obvezu implementacije praćenja mikroplastike u sustavima javne vodoopskrbe,
5. povećanje razine svijesti i znanja o mikroplastici u vodnom okolišu kroz kontinuiranu diseminaciju rezultata putem službene mrežne stranice projekta, društvenih mreža i ciljano usmjerenih komunikacijskih aktivnosti.

2. MIKROPLASTIKA U VODI ZA PIĆE

Problematika pojavnosti i utjecaja mikroplastike u dunavskoj regiji dobiva dodatnu važnost zbog činjenice da slijev Dunava obuhvaća više od 800 000 km^2 i predstavlja vodni resurs za približno 80 milijuna ljudi u 19 država (ICPDR 2021), u kojima velik dio vodoopskrbe ovisi o površinskim vodama i povezanim podzemnim vodonosnicima. Time se pitanje mikroplastike ne odnosi samo na ekološki aspekt, već i na sigurnost i kvalitetu vode namijenjene za ljudsku potrošnju.

Recentna istraživanja potvrđuju široku rasprostranjenost mikroplastike u velikim europskim riječnim sustavima. Najčešće detektirani polimeri diljem toka rijeke Dunav su polietilen (PE), polistiren (PS) i stiren-butadien (SBR) guma, dok se u manjoj mjeri pojavljuje polipropilen (PP) (Kittner i dr. 2022). Dominacija lakših polimera, poput PE i PP, povezana je s njihovom širokom primjenom i fizikalnim svojstvima koja omogućuju transport vodenim stupcem (Gao i dr. 2024). Za razliku od površinskih voda i velikih rijeka, istraživanja usmjerena na podzemne vode i vodu za piće znatno su rjeđa (Koelmans i dr. 2019; Viaroli i dr. 2022). Podaci o mikroplastici u vodi za piće su fragmentirani i metodološki neujednačeni, što proizlazi iz korištenja različite opreme za uzorkovanje, analitičkih tehnika, veličinskih pragova detekcije i volumena filtrirane vode, čime se u konačnici otežava usporedba rezultata i procjena stvarne izloženosti stanovništva (Koelmans i dr. 2019; Oßmann i dr. 2021; Viaroli i dr. 2022).

Delegirana odluka Komisije (EU) 2024/1441 predstavlja ključan korak prema standardiziranom i regulatorno utemeljenom pristupu praćenju mikroplastike u vodi namijenjenoj za ljudsku potrošnju. Time se stvaraju preduvjeti za usporedivost podataka među državama članicama Europske unije te omogućuje postupna integracija mikroplastike u nacionalne programe praćenja kvalitete pitke vode, posebice u hidrološki i demografski značajnim regijama kao što je dunavska.

3. METODOLOGIJA UZORKOVANJA I ANALIZE U SKLOPU PROJEKTA MICRODRINK

Praćenje mikroplastike u vodi za piće veliki je izazov zbog velike osjetljivosti uzoraka na kontaminaciju tijekom uzorkovanja i laboratorijske obrade. Dodatne poteškoće čine potreba za velikim volumenima filtrirane vode radi reprezentativnosti uzorka, relativno niske očekivane koncentracije mikroplastike te zahtjevne i vremenski intenzivne spektroskopske analize pojedinačnih čestica (Koelmans i dr. 2019). Ozbiljnu prepreku čini i nedostatak standardiziranih



Slika 2: Koncept uzorkovanja za praćenje mikroplastike u vodi za piće u okviru projekta MicroDrink



Slika 3: Uzorkovanje mikroplastike u vodi za piće unutar vodoopskrbnog objekta u sklopu hrvatskog pilot-područja izvora rijeke Kupice

metodologija za uzorkovanje i analize, čime se otežava ili potpuno onemogućuje uspoređivanje rezultata različitih studija. Također, primjetan je i manjak laboratorija s akreditiranim metodama za analizu čestica mikroplastike u vodi, što je posebno izraženo u manje razvijenim europskim zemljama.

U tom je kontekstu jasno vidljiva vrijednost projekta MicroDrink, koji po prvi put na transnacionalnoj razini primjenjuje metodologiju propisanu Delegiranom odlukom Komisije (EU) 2024/1441 na devet pilot-područja u osam europskih zemalja. Za uzorkovanje mikroplastike korišten je kaskadni sustav filtracije, pri čemu su filteri povezani u niz te spojeni na sustav vodoopskrbe gumenim crijevima (slike 2 i 3). Cjelokupna oprema izrađena je bez upotrebe plastičnih dijelova, koristeći isključivo nehrđajući čelik i silikonske brtve, čime je znatno smanjen rizik od sekundarne kontaminacije uzoraka mikroplastikom. Sustav filtracije je zatvorenog tipa, a korišteni su filteri promjera pora 20 µm. Uzorkovala se sirova i tretirana voda, a za osiguranje kontrole kvalitete primijenjena su dva filtera za svako uzorkovanje, uz ispiranje crijeva prije svake primjene. Na svakoj je lokaciji filtrirano minimalno 1000 L vode. Nakon završetka filtracije, cijeli sustav dostavljen je u laboratorij u zatvorenom stanju, kako bi se dodatno umanjio rizik od kontaminacije tijekom transporta i rukovanja opremom.

Svi uzorci prikupljeni u okviru projekta analizirani su u duplikatu, čime je osigurana dodatna razina kontrole kvalitete i usporedivosti rezultata. Jedan par uzoraka analiziran je u centralnom laboratoriju projekta Eurofins d.o.o. u Mađarskoj, a drugi u nacionalnom laboratoriju koji je odabrao svaki pojedini projektni partner. Za identifikaciju i karakterizaciju mikroplastike korištene su spektroskopske metode FTIR (Fourierova transformacijska infracrvena spektroskopija) i Ramanova spektroskopija, koje se danas smatraju standardnim metodama za identifikaciju polimernog sastava mikroplastike u uzorcima vode. Prednost navedenih metoda leži u mogućnosti nedestruktivne identifikacije polimera, analize čestica u širokom rasponu veličina, te usporedbe dobivenih spektara s referentnim bazama podataka, što omogućuje visoku razinu pouzdanosti u određivanju vrste čestica mikroplastike.

4. PILOT-PODRUČJA PROJEKTA MICRODRINK

Projekt MicroDrink obuhvaća devet pilot-područja u zemljama članicama projekta, raspoređenih u tri klastera: 1) krški vodonosnici, 2) međuzrnski vodonosnici, te 3) površinske vode i filtracija kroz obalne nasipe (slika 4). Za svaki od navedenih tipova vodnih resursa odabrana su tri pilot-područja, čime je omogućena usporedba rezultata monitoringa između različitih hidrogeoloških okruženja, ali i unutar istog tipa vodnog tijela na transnacionalnoj razini.

Na svim pilot-područjima provedena su četiri uzorkovanja tijekom razdoblja od jedne godine, pri čemu je po jedno uzorkovanje provedeno u svakom kvartalu. Takav je raspored omogućio obuhvaćanje različitih hidroloških i sezonskih uvjeta, uključujući razdoblja visokih i niskih voda, što je posebno važno u kontekstu razumijevanja varijabilnosti pojavnosti i transporta mikroplastike u vodnom okolišu.

Hrvatsko pilot-područje smješteno je u središnjem dijelu Gorskog kotara, na izvoru rijeke Kupice, koji je tipičan krški izvor korišten u javnoj vodoopskrbi (slika 5). Izvor Kupice razvijen je u okršenim mezozojskim



Slika 4: Tri klastera pilot-područja projekta MicroDrink

karbonatnim stijenama Dinarida koje karakterizira pukotinsko-kavernozna poroznost i povezanost podzemnih tokova. Izvor pokazuje tipična obilježja krškog vodonosnika: brza infiltracija oborina, kratko vrijeme zadržavanja vode i izražene oscilacije minimalnih i maksimalnih protoka. Zbog razvijene krške mreže i dokazane podzemne povezanosti ponora, pritoka i izvora, ovaj je sustav hidrogeološki vrlo osjetljiv na onečišćenje. Slijevno područje izvora Kupice prekriveno je prvenstveno šumskim pokrovom (~85 %), dok manji dio pokrivaju poljoprivredne (~11 %) i urbane (~2,4 %) površine. Potencijalni izvori mikroplastike uključuju prometnu infrastrukturu (abrazija guma i kolnika, posebice na autocesti A6), komunalne i industrijske otpadne vode, povijesno i aktivno gospodarenje otpadom (uključujući divlja odlagališta otpada), raspršena naselja s nedovoljno razvijenom kanalizacijskom mrežom te šumarsku i turističku djelatnost unutar slijeva. Kombinacija visoke prirodne ranjivosti krškog vodonosnika i prisutnosti točkastih i difuznih antropogenih izvora onečišćenja čini izvor Kupice hidrogeološki reprezentativnim pilot-područjem za istraživanje pojavnosti mikroplastike u krškim sustavima.

5. PROVEDENE AKTIVNOSTI I OČEKIVANI DOPRINOSI PROJEKTA

Jedna od ključnih okosnica projekta je prijenos stečenih znanja i iskustava relevantnim dionicima i povećanje razine svijesti o mikroplastici u vodnom okolišu. U tu svrhu, predstavnici laboratorija Eurofins d.o.o. održali su pokazno uzorkovanje u listopadu 2024. godine kako bi projektnim partnerima i vanjskim dionicima demonstrirali pravilnu primjenu harmonizirane metodologije uzorkovanja mikroplastike u vodi za piće i osposobili ih za samostalnu primjenu metodologije na vlastitim pilot-područjima (slika 6). Nakon pokaznog uzorkovanja, početkom 2025. godine, započela je jednogodišnja kampanja praćenja na svim nacionalnim pilot-područjima.



Slika 6: Pokazno uzorkovanje mikroplastike u vodi za piće u sklopu vodoopskrbnog objekta, (mađarsko pilot-područje)

Lokalni dionici pilot-područja kontinuirano su uključeni u aktivnosti uzorkovanja, a u svakoj je zemlji članici projekta organizirana serija ciljanih radionica. Svrha tih radionica jest stjecanje uvida u izazove s kojima se dionici susreću te identificiranje dobrih praksi koje bi olakšale njihovo svakodnevno djelovanje.



Slika 5: Izvor rijeke Kupice - hrvatsko pilot-područje u sklopu MicroDrink projekta

Poseban je naglasak stavljen na jačanje kapaciteta vodoopskrbnih subjekata, tijela za upravljanje vodama i javnozdravstvenih institucija, koje će u budućnosti biti odgovorne za provedbu praćenja mikroplastike sukladno zahtjevima Direktive (EU) 2020/2184.

Prikupljene informacije korištene su za razvoj baze znanja *MicroDrink Knowledge Base*, javno dostupne mrežne baze podataka namijenjene objedinjavanju i diseminaciji cjelovitih informacija o mikroplastici u vodi za piće. Baza uključuje sveobuhvatan pregled metodologija uzorkovanja i analize, europskih i nacionalnih regulativa, laboratorija i instrumenata korištenih za analiziranje uzoraka vode na pojavnost mikroplastike te poveznice na ostale projekte usmjerene na tematiku mikroplastike, čime je osnažena transnacionalna povezanost i omogućen transparentan pristup informacijama svim zainteresiranim dionicima u dunavskoj regiji i šire. Uz to, razvija se i alat za podršku pri odlučivanju (engl. *decision-making support tool* – DMST), koji će dionicima omogućiti odabir optimalnih i kontekstualno prilagođenih mjera za uspostavu praćenja mikroplastike u resursima vode za piće unutar vodoopskrbnih ustanova. Koraci potrebni za uspostavu strateškog pristupa upravljanju mikroplastikom u resursima vode namijenjene za ljudsku potrošnju predstavljeni su i u dokumentu „Roadmap toward microplastic strategy", koji obuhvaća operativne smjernice, strateške preporuke te prijedloge zakonodavnih i nezakonodavnih mjera.

Posebna pozornost posvećena je jačanju upravljačkih kapaciteta i međusektorske suradnje u državama članicama te državama izvan Europske unije uključenima u projekt. Kroz nacionalne radionice, posjete pilot-područjima, mrežne seminare (*webinare*) za prijenos znanja i ostale diseminacijske aktivnosti, projekt doprinosi jačanju institucionalne spremnosti za učinkovitu provedbu novih zahtjeva praćenja mikroplastike. Time se jača otpornost sustava javne vodoopskrbe na potencijalne rizike povezane s mikroplastikom, osobito u kontekstu klimatskih promjena i očekivanog smanjenja raspoloživih količina vode. Projekt MicroDrink postavlja čvrste temelje za buduće aktivnosti usmjerene na procjenu rizika, opasnosti i utjecaja mikroplastike na okoliš i zdravlje ljudi te doprinosi dugoročnoj zaštiti i unapređenju kvalitete vode za piće u dunavskoj regiji.■

LITERATURA

Belz, S., Cella, C., Geiss, O., Gilliland, D., La Spina, R., Mėhn, D. and Sokull-Kluettgen, B. (2024): Analytical methods to measure microplastics in drinking water. Publications Office of the European Union, JRC136859, Luxembourg, 2024, doi: https://dx.doi.org/10.2760/109944.

Direktiva (EU) 2020/2184 Europskog parlamenta i Vijeća od 16. prosinca 2020. o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju.

Delegirana odluka Komisije (EU) 2024/1441 od 11. ožujka 2024. o dopuni Direktive (EU) 2020/2184 Europskog parlamenta i Vijeća utvrđivanjem metodologije za mjerenje mikroplastike u vodi namijenjenoj za ljudsku potrošnju (priopćeno pod brojem dokumenta C(2024) 1459).

Gao, S., Orlowski, N., Bopf, F. K., Breuer, L. (2024): A review on microplastics in major European rivers. WIREs Water, 11(3), e1713. doi: https://doi.org/10.1002/wat2.1713.

ICPDR - International Commission for the Protection of the Danube River (2021): Danube River Basin Management Plan, Update 2021. International Commission for the Protection of the Danube River, Vienna, Austria.

Kittner, M., Kerndorff, A., Ricking, M., Bednarz, M., Obermaier, N., Lukas, M., Asenova, M., Bordós, G., Eisentraut, P., Hohenblum, P., Hudcova, H., Humer, F., Toth, I. G., Kirchner, M., Marushevska, O., Nemejcová, D., Oswald, P., Paunovic, M., Sengl, M., Slobodnik, J., Spanowsky, K., Tudorache, M., Wagensonner, H., Liska, I., Braun, U., Bannick, C. G. (2022): Microplastics in the Danube River Basin: A First Comprehensive Screening with a Harmonized Analytical Approach. ACS ES&T Water 2022 2 (7), 1174-1181. doi:10.1021/acsestwater.1c00439

Li, Y., Tao, L., Wang, Q., Wang, F., Li, G., Song, M. (2023): Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects. ACS Environ. Health 2023, 1, 4, 249-257. doi:10.1021/envhealth.3c00052

Oßmann, B. E. (2021): Microplastics in drinking water? Present state of knowledge and open questions. Current Opinion in Food Science, Vol. 41, 44-51. doi: https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.011

Viaroli, S., Lancia, M., Re, V. (2022): Microplastics contamination of groundwater: Current evidence and future perspectives. A review. Science of The Total Environment, Vol. 824, 153851. doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153851