



Izvješće po Nalogu USKOK-a o fizikalno-kemijskoj analizi mikroplastike u uzorcima podzemnih voda



Institut za vode
Josip Juraj Strossmayer



Institut za vode
Josip Juraj Strossmayer

Institut za vode „Josip Juraj Strossmayer“
Ulica Grada Vukovara 220
10000 Zagreb
Tel: +385 (0)1 6307 303
Fax: +385 (0)1 6307 303
Email: Institut@Institutjjs.hr
web: <https://Institutjjs.hr/>

KLASA: 029-01/26-01/1
URBR: 122-04-01-02/5-26-2
Zagreb, 07. kolovoza 2026.

Ovaj nalaz i mišljenje izrađeni su temeljem Naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta (USKOK) BRQJ: Kis-US-12/2025-, od dana 29. srpnja 2026. godine kojim je određena provedba fizikalno-kemijskog vještačenja mikroplastike u uzorcima, odnosno naprijed popisanim materijalima izuzetih očevdom provedenim 08. svibnja 2026. godine na k.č. 595/2, k.č. 599/1 i k.č. 599/22 sve k.o. Divoselo.

U Zagrebu, 09. kolovoza 2026.

Metodologija: Određivanje mikroplastike metodom izravne filtracije na silikonskim mikromrežastim filterima i konfokalne Ramanove mikrospektroskopije (Horiba LabRAM Soleil™)

Regulatorni okvir: Delegirana odluka Komisije (EU) 2024/1441, ISO/TR 21960 (HRN CEN ISO/TR 21960:2020), HRN EN ISO 24187:2023, ISO 5667-27:2025, ISO 16094-1:2024, ISO 16094-2:2025



Sadržaj

1. UVOD	5
1.1. Predmet vještačenja.....	5
1.2. Cilj vještačenja	6
1.3. Granice stručnog mišljenja	6
1.4. Stručni okvir interpretacije	6
2. STRUČNA I ZNANSTVENA PODLOGA.....	6
2.1. Analiza mikroplastike	6
2.2. Raman spektroskopija u identifikaciji mikroplastike	6
2.3. Spektralne biblioteke i kriteriji identifikacije	7
2.4. Kontrola kontaminacije u analizi mikroplastike	7
2.5. Referentna literatura i stručni izvori	7
2.6. Literatura	7
3. MATERIJAL I METODE	8
3.1. Analizirani uzorci	8
3.2. Priprema uzorka i frakcioniranje prema veličini čestica	8
3.3. Karakterizacija izdvojenih čestica	9
3.4. Raman spektroskopska identifikacija polimera	9
3.5. Kriteriji prihvata identifikacije i kategorizacija polimera	9
3.6. Osiguranje i kontrola kvalitete	10
3.7. Proračun koncentracije i masenog opterećenja	12
4. REZULTATI ANALIZE	14
5. STRUKTURA IZVJEŠĆA	14
6. IZVJEŠĆA O ISPITIVANJU MIKROPLASTIKE	15
6.1. ID Uzorka: IZV/K 3.7, Lokacija: Gospić	16
6.2. ID Uzorka: IZV/K 3.8, Lokacija: Gospić	23
6.3. ID Uzorka: IZV/N 3.7, Lokacija: Gospić	30
6.4. ID Uzorka: IZV/N 3.8, Lokacija: Gospić	37
6.5. ID Uzorka: IZV/O 3.7, Lokacija: Gospić	44
6.6. ID Uzorka: IZV/O 3.8, Lokacija: Gospić	51
7. INTERPRETACIJA REZULTATA	58
7.1. Prostorni raspored piezometarskih bušotina	58
7.2. Vremenska dinamika analitičkih rezultata	58
7.3. Analitička interpretacija raspodjele prioriteta polimera	58
7.4. Integrirana interpretacija analitičkih rezultata	59
7.5. Evaluacija pouzdanosti primijenjenog analitičkog modela	59
7.6. Odnos masene koncentracije i brojnosti prioriteta polimernih čestica	61
7.7. Mikroskopska i Ramanova spektralna karakterizacija pojedinačnih čestica	62
7.8. Rezultati identifikacije čestica i udjela prioriteta polimera	65
8. ZAVRŠNO MIŠLJENJE	66

Slike

<i>Slika 1 Lokacije uzorkovanja</i>	<i>5</i>
<i>Slika 2. Prikaz površine filtera 5 µm ambijentalne slijepe probe s potpunim izostankom čestica prioriteta polimera</i>	<i>11</i>
<i>Slika 3. RM Blank 31794 i RM Std 31791</i>	<i>12</i>
<i>Slika 4. Uzorak K 3.7</i>	<i>16</i>
<i>Slika 5. Prikaz filtera (15µm i 5µm,) raspodjele i sastava mikroskopskih čestica, Uzorak: K 3.7.....</i>	<i>18</i>
<i>Slika 6. Uzorak K 3.8.....</i>	<i>23</i>
<i>Slika 7. Prikaz filtera (15µm i 5µm,) raspodjele i sastava mikroskopskih čestica, Uzorak: K 3.8.....</i>	<i>25</i>

Slika 8. Uzorak N 3.7	30
Slika 9. Prikaz filtera (15µm i 5µm,) raspodjele i sastava mikroskopskih čestica, Uzorak N 3.7	32
Slika 10. Uzorak N 3.8	37
Slika 11. Prikaz filtera (15µm i 5µm,) raspodjele i sastava mikroskopskih čestica, Uzorak N 3.8	39
Slika 12. Uzorak O 3.7	44
Slika 13. Prikaz filtera (15µm i 5µm,) raspodjele i sastava mikroskopskih čestica, Uzorak O 3.7	46
Slika 14. Uzorak O 3.8	51
Slika 15. Prikaz filtera (15µm i 5µm,) raspodjele i sastava mikroskopskih čestica, Uzorak: O 3.8	53
Slika 16. Prikaz velikih čestica polistirena (PS), Uzorak K3.7	61
Slika 17. Prikaz čestice polietilenteraftalata (PET) s pripadajućim spektrom, Uzorak K3.8	63
Slika 18. Prikaz čestice polietilena (PE) s pripadajućim spektrom, Uzorak K3.8	63
Slika 19. Prikaz čestice polipropilena (PP) s pripadajućim spektrom, Uzorak K3.8	64
Slika 20. Prikaz čestice polistirena (PS) s pripadajućim spektrom, Uzorak K3.8	64
Slika 21. Prikaz čestice politetrafluoroetilena (PTFE) s pripadajućim spektrom, Uzorak N3.7	65

Tablice

Tablica 1. Validacija metode analizom certificiranog referentnog materijala	12
Tablica 2. Rezultati analize referentnih materijala	12
Tablica 3. Prioritetni polimeri prema obliku, Uzorak K 3.7	18
Tablica 4. Prioritetni polimeri prema veličinskim razredima, Uzorak K 3.7	19
Tablica 5. Koncentracija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak K 3.7	20
Tablica 6. Koncentracija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak K 3.7	20
Tablica 7. Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak K 3.7	21
Tablica 8. Prioritetni polimeri prema obliku, Uzorak K 3.8	25
Tablica 9. Prioritetni polimeri prema veličinskim razredima, Uzorak K 3.8	26
Tablica 10. Koncentracija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak K 3.8	27
Tablica 11. Koncentracija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak K 3.8	27
Tablica 12. Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak K 3.8	28
Tablica 13. Prioritetni polimeri prema obliku, Uzorak N 3.7	32
Tablica 14. Prioritetni polimeri prema veličinskim razredima, Uzorak N 3.7	33
Tablica 15. Koncentracija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak N 3.7	34
Tablica 16. Koncentracija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak N 3.7	35
Tablica 17. Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak N 3.7	35
Tablica 18. Prioritetni polimeri prema obliku, Uzorak N 3.8	39
Tablica 19. Prioritetni polimeri prema veličinskim razredima, Uzorak N 3.8	40
Tablica 20. Koncentracija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak N 3.8	41
Tablica 21. Koncentracija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak N 3.8	41
Tablica 22. Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak N 3.8	42
Tablica 23. Prioritetni polimeri prema obliku, Uzorak O 3.7	46
Tablica 24. Prioritetni polimeri prema veličinskim razredima, Uzorak O 3.7	47
Tablica 25. Koncentracija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak O 3.7	48
Tablica 26. Koncentracija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak O 3.7	48
Tablica 27. Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak O 3.7	49
Tablica 28. Prioritetni polimeri prema obliku, Uzorak O 3.8	53
Tablica 29. Prioritetni polimeri prema veličinskim razredima, Uzorak O 3.8	54
Tablica 30. Koncentracija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak O 3.8	55
Tablica 31. Koncentracija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak O 3.8	55
Tablica 32. Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak O 3.8	56
Tablica 33. Ukupan broj detektiranih i Raman spektroskopijom potvrđenih čestica po uzorcima	65
Tablica 34. Sažetak ukupnih rezultata analize čestica	66

Grafikoni

Grafikon 1. Distribucija prioritetnih polimera prema obliku, Uzorak K 3.7	18
Grafikon 2. Distribucija prioritetnih polimera prema veličinskim razredima, Uzorak K 3.7	19
Grafikon 3. Distribucija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak K 3.7	20
Grafikon 4. Distribucija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak K 3.7	21

Grafikon 5. Distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak K 3.7	22
Grafikon 6. Distribucija prioritetnih polimera prema obliku, Uzorak K 3.8	25
Grafikon 7. Distribucija prioritetnih polimera prema veličinskim razredima, Uzorak K 3.8	26
Grafikon 8. Distribucija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak K 3.8	27
Grafikon 9. Distribucija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak K 3.8	28
Grafikon 10. Distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak K 3.8	29
Grafikon 11. Distribucija prioritetnih polimera prema obliku, Uzorak N 3.7	32
Grafikon 12. Distribucija prioritetnih polimera prema veličinskim razredima, Uzorak N 3.7	33
Grafikon 13. Distribucija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak N 3.7	34
Grafikon 14. Distribucija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak N 3.7	35
Grafikon 15. Distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak N 3.7	36
Grafikon 16. Distribucija prioritetnih polimera prema obliku, Uzorak N 3.8	39
Grafikon 17. Distribucija prioritetnih polimera prema veličinskim razredima, Uzorak N 3.8	40
Grafikon 18. Distribucija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak N 3.8	41
Grafikon 19. Distribucija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak N 3.8	42
Grafikon 20. Distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak N 3.8	43
Grafikon 21. Distribucija prioritetnih polimera prema obliku, Uzorak O 3.7	46
Grafikon 22. Distribucija prioritetnih polimera prema veličinskim razredima, Uzorak O 3.7	47
Grafikon 23. Distribucija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak O 3.7	48
Grafikon 24. Distribucija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak O 3.7	49
Grafikon 25. Distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak O 3.7	50
Grafikon 26. Distribucija prioritetnih polimera prema obliku, Uzorak O 3.8	53
Grafikon 27. Distribucija prioritetnih polimera prema veličinskim razredima, Uzorak O 3.8	54
Grafikon 28. Distribucija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak O 3.8	55
Grafikon 29. Distribucija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak O 3.8	56
Grafikon 30. Distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak O 3.8	57
Grafikon 31. Odnos ukupno detektiranih čestica i spektralno potvrđenih čestica	60
Grafikon 32. Usporedba masene koncentracije ($\mu\text{g/L}$) i brojnosti čestica prioritetnih polimera po analiziranim uzorcima	62

1. UVOD

1.1. Predmet vještačenja

Provođenje istraživanja čestica mikroplastike odnosno fizikalno-kemijskog vještačenja iz uzoraka vode tri različite piezometarske bušotine izuzetih očevidom provedenim 8. svibnja 2026. godine na k.č. 595/2, k.č. 599/1 i k.č. 599/22 sve k.o. Divoselo provedeno je temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta Broj: Kis-US-12/2025-, Rijeka, 29. srpnja 2026., KB/KB.

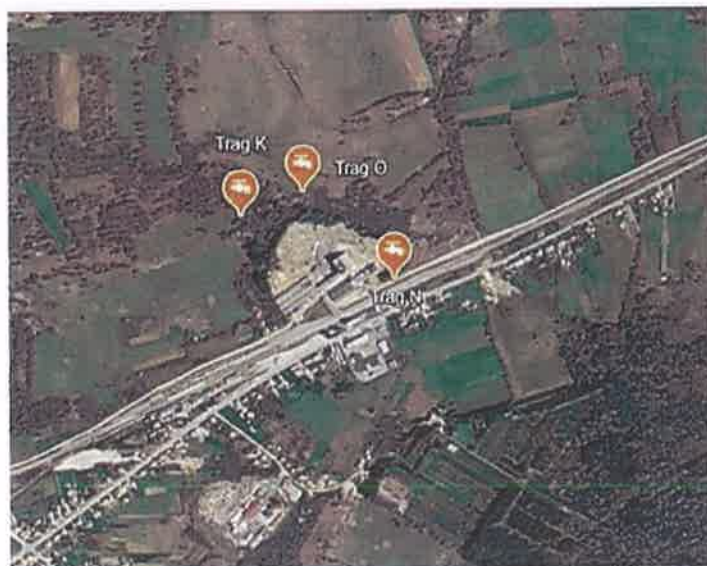
Dana 29.7.2026. godine uzorci vode izuzeti očevidom dostavljeni su u Glavni laboratorij za vode Instituta za vode "Josip Juraj Strossmayer", zapakirani u omote, papirnatu ambalažu pakiranu i zapečaćenu od strane Kriminalističke tehnike. Svih šest uzoraka dostavljeno je u staklenim bocama od 1000 ml zatvorenih plavim čepom (BORO 3.3, RASOTHERM, ID:N004A). Predmetne boce i čepovi se zbog svojih karakteristika mogu autoklavirati, odnosno izlagati visokim temperaturama. Boce su bile bez vidljivih oštećenja. Sukladno navedenom na omotima u kojima su bile boce uzorkovane vode, svih 6 uzoraka uzorkovano je u Gospiću dana 08.05.2026. godine.

Omoti su jasno obilježeni sukladno poveznici s piezometarskim bušotinama: K 3.7, K 3.8, N 3.7, N 3.8, O 3.7 i O 3.8 uz identične oznake na svim omotima PU UKP i UJ SKT.

Piezometarske bušotine su sukladno navedenom u nalogu obilježene identifikacijskim nazivima te koordinatama GPS lokacije kako slijedi (Slika 1.):

- TRAG K nalazi se na GPS lokaciji N 44°32.182', E 015°23.905',
- TRAG N nalazi se na GPS lokaciji N 44°32.003', E 015°23.917' i
- TRAG O nalazi se na GPS lokaciji N 44°32.132', E 015°23.978'.

Za TRAG K vezani su uzorci K 3.7 i K 3.8, za TRAG N uzorci N 3.7 i N 3.8 te za TRAG O uzorci O 3.7 i O 3.8. Po zaprimanju omota i provjeri sadržaja istih 29.07.2026. godine započelo se s obradom uzoraka kao i analizom mikroplastike.



Slika 1 Lokacije uzorkovanja

Predmet vještačenja je utvrđivanje prisutnosti, količine i karakteristika mikroplastike u podzemnoj vodi na području predmetne lokacije divljeg odlagališta otpada, na temelju uzoraka podzemne vode prikupljenih iz tri piezometarske bušotine. Vještačenje obuhvaća analitičko isplivanje predmetnih uzoraka, identifikaciju čestica mikroplastike Raman spektroskopijom te stručnu interpretaciju dobivenih rezultata u odnosu na prostorni i hidrogeološki kontekst predmetne lokacije.

1.2. Cilj vještačenja

Cilj vještačenja je na temelju primijenjenog analitičkog postupka:

- utvrditi prisutnost odnosno odsutnost mikroplastike u svakom od ispitanih uzoraka podzemne vode;
- Raman spektroskopijom odrediti broj, veličinu, oblik, kemijski sastav odnosno koncentraciju identificiranih čestica prioriteta polimera te broj i veličinu svih ostalih identificiranih čestica;
- utvrditi postoje li razlike u koncentraciji, veličinskoj distribuciji, morfologiji i polimernom sastavu mikroplastike između tri piezometarske bušotine;
- ispitati postoji li prostorni obrazac distribucije mikroplastike među piezometrima;
- razmotriti postoje li stručne indicije koje podupiru mogućnost da je predmetno odlagalište jedan od izvora utvrđene mikroplastike.

1.3. Granice stručnog mišljenja

Ovo vještačenje odnosi se na stručnu evaluaciju analitičkih nalaza identificiranih čestica prioriteta polimera i svih ostalih identificiranih čestica te ne predstavlja samostalnu procjenu izvora onečišćenja niti dokazivanje uzročno-posljedične povezanosti između utvrđenih čestica i pojedinih antropogenih aktivnosti. Identifikacija pojedinih polimera predstavlja karakterizaciju materijala prisutnog u uzorku te se, bez dodatnih hidrogeoloških, prostorno-vremenskih i okolišnih podataka, ne može koristiti kao jedini kriterij za određivanje izvora njihova nastanka.

1.4. Stručni okvir interpretacije

Interpretacija rezultata provedena je uzimajući u obzir specifičnosti analize mikroplastike u okolišnim uzorcima, uključujući heterogenu raspodjelu čestica u vodenoj matrici, utjecaj veličinske frakcije na detektabilnost, mogućnost promjena polimernog spektralnog odziva uslijed okolišnog starenja i degradacije, potrebu za kontrolom potencijalne ambijentalne kontaminacije te ograničenja spektralne identifikacije. Zaključci vještačenja temelje se na integraciji svih dostupnih analitičkih elemenata, a ne na pojedinačnom rezultatu identifikacije.

2. STRUČNA I ZNANSTVENA PODLOGA

2.1. Analiza mikroplastike

Analiza mikroplastike u okolišnim uzorcima predstavlja složen analitički postupak koji obuhvaća pripremu uzorka, izdvajanje čestica, određivanje njihove veličine i morfologije te kemijsku identifikaciju polimernog sastava. Pouzdanost dobivenih rezultata uvelike ovisi o kontroli mogućih izvora kontaminacije unutar laboratorijskog okruženja te dosljednoj primjeni prikladnih i verificiranih analitičkih metoda. Budući da laboratorij nije sudjelovao u terenskom uzorkovanju, ispitivanje je provedeno na zaprimljenim uzorcima podzemne vode dostavljenim u staklenim bocama volumena 1 L. Laboratorijska obrada i analiza zaprimljenih uzoraka provedene su uz strogu primjenu mjera kontrole kontaminacije, pri čemu su volumen analiziranog uzorka, postupak filtracije i odabir veličine pora filtera (uključujući sukcesivnu filtraciju radi razdvajanja veličinskih frakcija) u potpunosti prilagođeni specifičnostima dostavljenih uzoraka.

2.2. Raman spektroskopija u identifikaciji mikroplastike

Vibracijske spektroskopske metode, uključujući mikro-Raman spektroskopiju, predstavljaju jednu od prihvaćenih tehnika za kemijsku identifikaciju čestica mikroplastike u vodi.

Metoda omogućuje određivanje polimernog sastava pojedinačnih čestica na temelju karakterističnog vibracijskog spektra usporedbom s referentnim spektralnim bibliotekama. Standardi za analizu mikroplastike u vodama s niskim sadržajem suspendiranih tvari uključuju primjenu mikroskopskih tehnika povezanih s vibracijskom spektroskopijom, uključujući Raman spektroskopiju.

2.3. Spektralne biblioteke i kriteriji identifikacije

Automatizirana ili poluautomatizirana identifikacija polimera temelji se na usporedbi izmjerenog Raman spektra s referentnim spektrima sadržanim u bibliotekama. Pri tome je potrebno uzeti u obzir da okolišne čestice mikroplastike mogu imati promijenjen spektralni odziv zbog procesa starenja, oksidacije, prisutnosti aditiva i površinskih naslaga. Razvoj specijaliziranih spektralnih biblioteka za mikroplastiku, uključujući biblioteke koje obuhvaćaju okolišno modificirane polimerne čestice, naglašava važnost kvalitete referentnih podataka pri interpretaciji Raman spektara.

2.4. Kontrola kontaminacije u analizi mikroplastike

Zbog vrlo niskih koncentracija mikroplastike u okolišnim uzorcima, kontrola potencijalne kontaminacije predstavlja ključan element kvalitete analitičkog postupka.

Primjena ambijentalnih slijepih proba te kontrolnih standarda omogućuje procjenu pouzdanosti dobivenih rezultata i razlikovanje stvarnog nalaza u uzorku od mogućeg doprinosa tijekom laboratorijske obrade.

2.5. Referentna literatura i stručni izvori

Stručna interpretacija i metodologija vještačenja usklađene su s najnovijim međunarodnim smjernicama, harmoniziranim normama i relevantnom znanstvenom literaturom:

- Metodološki okvir i minimalni zahtjevi kvalitete definirani su sukladno normi *ISO 16094-2:2025* te rigoroznim preporukama *Schymanski i sur. (2021)*, čime se jamči ispravnost definiranja volumena uzorka i primjene sukcesivne kaskadne filtracije.
- Kemijska spektralna klasifikacija i verifikacija temelje se na otvorenim znanstvenim platformama i machine-learning algoritmima (*Cowger i sur., 2021; Weber i sur., 2023; Umurhan i sur., 2025*).
- Napredna spektralna komparacija provodi se uz primjenu specijaliziranih referentnih baza podataka *SLoPP* (eng. *Spectral Library of Plastic Particles*) i *SLoPP-E* (eng. *Environmental*) prema *Munno i sur. (2020)*, koje su namjenski razvijene za točnu identifikaciju okolišno izmijenjenih polimera.
- Zakonodavno-metodološko uporište za analizu čistih vodenih matrica izvedeno je iz *Delegirane odluke Komisije (EU) 2024/1441*, koja definira službenu europsku metodologiju mjerenja mikroplastike.

2.6. Literatura

1. ISO 16094-2:2025. Water quality — Analysis of microplastic in water — Part 2: Vibrational spectroscopy methods for waters with low content of suspended solids including drinking water.
2. Munno K., De Frond H., O'Donnell B., Rochman C.M. (2020). Increasing the Accessibility for Characterizing Microplastics: Introducing New Application-Based and Spectral Libraries of Plastic Particles (SLoPP and SLoPP-E). *Analytical Chemistry*, 92(3), 2443–2451.
3. Cowger W. et al. (2021). Microplastic Spectral Classification Needs an Open Source Community: Open Specy to the Rescue!
4. Weber F., Zinnen A., Kerpen J. (2023). Development of a machine learning-based method for the analysis of microplastics in environmental samples using μ -Raman spectroscopy. *Microplastics and Nanoplastics* (2023) 3:9
5. Umurhan Y., Songsart-Power M., Limbu T.B., Phan T., (2025). Applications of Raman spectroscopy for microplastic detection and characterization: a comprehensive spectral reference. *Environmental Science and Pollution Research* (2025) 32:28630–28677
6. Schymanski D., Oßmann B.E., Benismail N., Boukerma K., Dallmann G., von der Esch E., Fischer D., Fischer F., Gilliland D., Glas K., Hofmann T., Käppler A., Lacorte S., Marco J., Rakwe M.E., Weisser J., Witzig C., Zumbülte N., Ivleva N.P. (2021). Analysis of microplastics in drinking water and other clean water samples with micro-Raman and micro-infrared spectroscopy: minimum requirements and best practice guidelines. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 413, 5969–5994

7. DELEGIĀANA ODLUKA KOMISIJE (EU) 2024/1441 od 11. oĳujka 2024. o dopuni Direktive (EU) 2020/2184 Europskog parlamenta i Vijeća utvrĳivanjem metodologije za mjerenje mikroplastike u vodi namijenjenoj za ljudsku potrošnju (priopćeno pod brojem dokumenta C(2024) 1459)

3. MATERIJAL I METODE

3.1. Analizirani uzorci

Predmet analize bili su uzorci podzemne vode prikupljeni iz tri piezometarske bušotine istog hidrogeološkog sustava. Uzorci su analizirani s ciljem utvrĳivanja prisutnosti, karakterizacije i kemijske identifikacije čestica mikroplastike u podzemnoj vodi. Istraĳivanje je provedeno na ukupno šest dostavljenih uzoraka vode uzetih iz ukupno tri piezometarske bušotine:

- K 3.7, Uzorak vode iz piezometarske bušotine oznaćene kao Trag K na GPS lokaciji N 44°32.182' i E 015°23.905' izuzet u staklenu bocu,
- K 3.8, Uzorak vode iz piezometarske bušotine oznaćene kao Trag K na GPS lokaciji N 44°32.182' i E 015°23.905' izuzet u staklenu bocu,
- N 3.7, Uzorak vode iz piezometarske bušotine oznaćene kao Trag N na GPS lokaciji N 44°32.003' i E 015°23.917' izuzet u staklenu bocu,
- N 3.8, Uzorak vode iz piezometarske bušotine oznaćene kao Trag N na GPS lokaciji N 44°32.003' i E 015°23.917' izuzet u staklenu bocu,
- O 3.7, Uzorak vode iz piezometarske bušotine oznaćene kao Trag O na GPS lokaciji N 44°32.132' i E 015°23.978' izuzet u staklenu bocu,
- O 3.8, Uzorak vode iz piezometarske bušotine oznaćene kao Trag O na GPS lokaciji N 44°32.132' i E 015°23.978' izuzet u staklenu bocu.

3.2. Priprema uzorka i frakcioniranje prema velićini čestica

Analitićki postupak filtracije temeljio se na filtraciji uzorka vode i naknadnoj spektroskopskoj identifikaciji izdvojenih čestica. Iz pojedinaćnog uzorka volumena 1 L provedena je sekvencijalna filtracija radi izdvajanja razlićitih velićinskih frakcija čestica na naćin da je 500 mL uzorka vode filtrirano kroz membranski silikonski filter velićine pora 15 μm , a od dobivenog filtrata 100 mL je filtrirano kroz membranski silikonski filter velićine pora 5 μm .

Primijenjenim postupkom dobivene su dvije analitićke frakcije, frakcija čestica zadrĳanih na filteru pora 15 μm te frakcija manjih čestica zadrĳanih na filteru pora 5 μm .

Dobiveni rezultati normalizirani su na 1L.

Za provoĳenje filtracije, pripremu, spektroskopsku identifikaciju i validaciju analitićke metode korišćeni su sljedeći materijali i oprema:

- Sustav za filtriranje, Advantec, Francuska;
- Ultraćista voda Type 1, Sartorius Arium, Njemaćka;
- Etanol, CAS: 64-17-5,
- Konfokalni mikroskop sa Raman spektroskopijom, HORIBA LabRAM Soleil™, Francuska;
- Knjiĳnice spektara, PF_microplastics_1475 spectra, ST Japan, Horiba, Francuska;
- Silikonski membranski filteri, promjera 15 μm i 5 μm , Smart Membranes, Danska;
- Referentni materijal: Chiron, MicroPRefs Blank tablet, Certificate no: 15459.X-31794-2, Batch 31794, Norvećka;
- Referentni materijal: Chiron, MicroPRefs tablet mix of PE, PET, PS (50-300 μm) Certificat no: S-5401-31791-2, Batch 31791, Norvećka.

3.3. Karakterizacija izdvojenih čestica

Nakon filtracije provedena je evaluacija izdvojenih čestica prema dostupnim morfološkim obilježjima. Za pojedine čestice evidentirani su, prema primijenjenom postupku:

- prisutnost i položaj čestice na filteru,
- približna veličina,
- oblik čestice (npr. fragment, vlakno, film ili drugi oblik),
- odabir čestica za kemijsku identifikaciju.

Morfološka karakterizacija korištena je kao početni korak u postupku identifikacije, dok je potvrda polimernog sastava provedena Raman spektroskopijom.

3.4. Raman spektroskopska identifikacija polimera

Kemijska identifikacija pojedinačnih čestica provedena je Raman spektroskopijom uporabom Raman konfokalni mikrospektrometra HORIBA LabRAM Soleil™. Za svaku analiziranu česticu dobiven je Raman spektar koji predstavlja karakteristični vibracijski odziv ispitivanog materijala. Dobiveni spektri obrađeni su prema definiranoj analitičkoj proceduri te uspoređeni s referentnim spektrima sadržanim u spektralnim bibliotekama. Proces identifikacije uključivao je akviziciju Raman spektra analizirane čestice, obradu spektralnog zapisa, usporedbu s referentnim spektrom iz biblioteke, određivanje stupnja spektralnog podudaranja (HQI - Hit Quality Index), te stručnu evaluaciju prihvatljivosti identifikacije. Raman mikrospektroskopskom analizom obuhvaćene su sve čestice koje je korištenom analitičkom metodom i primijenjenim kriterijima identifikacije bilo moguće kemijski identificirati. Prema tome, analitički postupak nije bio ograničen isključivo na unaprijed definiranu skupinu prioriternih polimera.

3.5. Kriteriji prihvata identifikacije i kategorizacija polimera

Identifikacija polimernog sastava provedena je prema kriterijima definiranim primijenjenom analitičkom metodom.

Pri prihvatu identifikacije uzeti su u obzir:

- vrijednost indeksa spektralnog podudaranja (eng. *Hit Quality Index*, HQI ≥ 75);
- optička kvaliteta i omjer signala i šuma dobivenog Raman spektra;
- podudarnost karakterističnih spektralnih značajki;
- usporedba s referentnim spektrima iz dostupnih spektralnih biblioteka;
- obvezni verifikacijski pregled rezultata od strane stručne osobe.

U obradi rezultata posebno je izdvojeno deset prioriternih polimera definiranih važećom metodologijom za praćenje mikroplastike u vodi namijenjenoj za ljudsku potrošnju: polietilen (PE), polipropilen (PP), polietilen-tereftalat (PET), polistiren (PS), polivinilklorid (PVC), poliamid (PA), poliuretan (PU), polimetilmetakrilat (PMMA), politetrafluoretilen (PTFE) i polikarbonat (PC). Izdvajanje ove skupine provedeno je radi osiguranja usporedivosti rezultata s regulatornim okvirom te radi njihove posebne relevantnosti u procjeni okolišnog rizika.

Službena europska metodologija prepoznaje inherentna ograničenja spektralnih biblioteka zbog iznimno velikog broja komercijalnih kopolimera, modifikacija i aditiva na tržištu, zbog čega primjenjuje pragmatičan pristup s fokusom na navedene prioritетne polimere. Slijedom toga, izdvajanje prioriternih polimera u ovom vještačenju ne smije se tumačiti kao analitičko ograničenje na štetu drugih materijala. Svi ostali sintetski polimeri i čestice, koji su primijenjenom metodom pozitivno identificirani, zadržani su i jasno iskazani u ukupnim rezultatima, čime je očuvana cjelovitost informacija dobivenih pojedinačnom Raman analizom.

3.6. Osiguranje i kontrola kvalitete

Radi osiguranja pouzdanosti analitičkog postupka te kontrole kvalitete (QA/QC), u analitički proces uključeni su ambijentalna slijepa proba i referentni polimerni standardi.

Ambijentalna slijepa proba analizirana je zbog procjene i identifikacije potencijalne pozadinske kontaminacije tijekom faza pripreme uzoraka, a dobiveni rezultat uvažen je pri konačnoj interpretaciji uzoraka.

Rad Raman spektroskopskog sustava te točnost spektralne identifikacije verificirani su primjenom referentnih polimernih standarda, čime je potvrđena sposobnost sustava za pouzdano razdvajanje i nedvosmislenu identifikaciju karakterističnih polimernih struktura. Prije početka ciklusa mjerenja, provedena je kalibracija valnog broja lasera valne duljine 532 nm snimanjem referentnog spektra čistog silicija (Si) na karakterističnom piksu od $520,7\text{ cm}^{-1}$, čime je osigurana maksimalna spektralna točnost i stabilnost sustava tijekom analize.

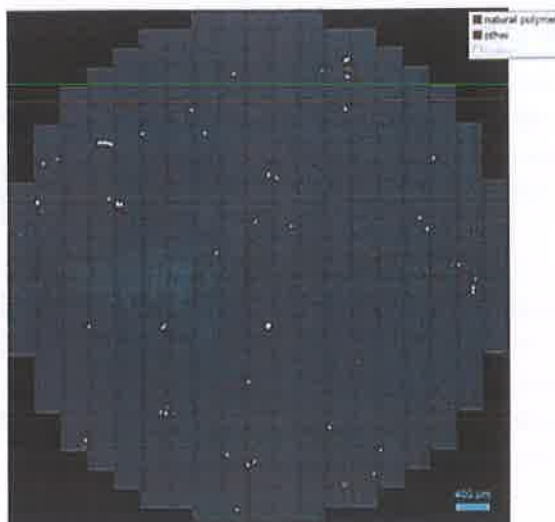
1. Kontrola laboratorijske kontaminacije (Ambijentalna slijepa proba)

U preciznoj analizi čestica mikroplastike, jedan od najkritičnijih analitičkih izazova je jasna diferencijacija između čestica prisutnih u izvornom uzorku i onih koje potječu iz neposrednog laboratorijskog okruženja. Sva oprema i prateći pribor prošli su tretman ultrazvučnog čišćenja i višekratnog ispiranja ultra-čistom reagens vodom (Type 1) dobivenom sustavom Sartorius Arium, (specifična vodljivost od $0,055\text{ }\mu\text{S/cm}$) te uz dodatni filter od $0,2\text{ }\mu\text{m}$.

Kako bi se korigirali rezultati i osigurala maksimalna statistička pouzdanost nalaza, provedena je sustavna evaluacija ambijentalne kontaminacije.

Metodologija praćenja pozadinskog onečišćenja temeljila se na postavljanju pasivnog kolektora čistog membranskog filtera veličine pora $5\text{ }\mu\text{m}$, smještenog u staklenoj Petrijevoj plitici isključivo unutar laminarnog ormara (laminara), na mjestu gdje su provođene sve manipulacije uzorcima, otvaranje boca s uzorcima te sama izravna filtracija. Filter je ostavljen otvoren unutar laminara tijekom cjelokupnog trajanja postupka filtriranja. Navedeni membranski filter poslužio je kao izravna, standardizirana podloga za prikupljanje eventualnih taložnih čestica iz zraka, čime je simulirana izloženost uzoraka i filtracijskog sustava vanjskim utjecajima u realnom vremenu manipulacije.

Nakon završetka izloženosti unutar laminara, suhi membranski filter izravno je podvrgnut automatiziranom snimanju površine na konfokalnom Raman mikroskopu (Horiba LabRAM Soleil™) uz primjenu identičnog identifikacijskog kriterija podudarnosti spektara iz referentnih biblioteka s dobivenim spektrima pojedinačnih čestica kao i za uzorke vode (ukupno 96 sati).



Slika 2. Prikaz površine filtera 5 µm ambijentalne slijepe probe s potpunim izostankom čestica prioritetnih polimera

Nakon obrade i analize svih uzoraka provedena je analiza slijepog uzorka laboratorijskog okoliša (ambijentalne slijepe probe). Analizom filtera veličine pora 5 µm primjenom modula Particle Finder i Ramanove spektralne verifikacije potvrđeno je da na filterskoj membrani nema detektiranih čestica prioritetnih polimera (MP = 0). Ovime je nedvojbeno dokazano da tijekom postupanja s uzorcima, njihove pripreme i samog mjerenja u laboratoriju nije došlo do sekundarne kontaminacije iz zraka ili radnog prostora, čime je u potpunosti osigurana analitička pouzdanost dobivenih rezultata.

2. Validacija metode primjenom referentnih materijala (RM)

Druga faza validacijskog protokola obuhvaćala je provjeru točnosti i stope povrata sustava primjenom referentnih materijala (RM). Za potrebe ove validacije korišteni su komercijalno dostupni referentni materijali u obliku standardiziranih tableta, koje sadrže točno poznat, tvornički deklariran broj čestica specifičnih polimera, precizno definiranog oblika, veličine i kemijskog sastava.

Pouzdanost i točnost analitičkog postupka kvantifikacije mikroplastike validirana je upotrebom RM-a kroz analizu slijepog uzorka i referentnog uzorka poznate koncentracije:

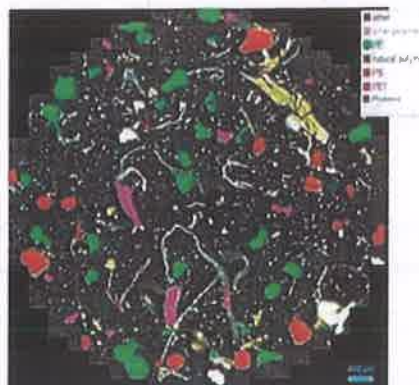
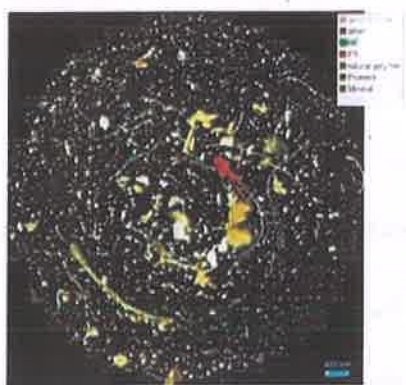
1. Slijepi uzorak (RM - 31794, Blank): S certificiranom vrijednošću od 4 ± 2 čestice, u laboratorijskim uvjetima detektirane su točno 4 čestice, što potvrđuje visoki stupanj čistoće radnog prostora i odsutnost sekundarne kontaminacije tijekom postupka filtracije uzoraka.
2. Referentni standard (RM - 31791): S deklariranim udjelom od 78 ± 11 čestica, primjenom modula *Particle Finder* uspješno su identificirane i spektralno potvrđene 73 čestice, što predstavlja visoku stopu povrata (eng. *Recovery rate*) od 93,59%.

Razlika od 5 nedetektiranih čestica posljedica je aglomeracije - pojave gdje čestice ostaju međusobno slijepljene ili preklapljene na površini filtera, uslijed čega ih je optički modul softvera identificirao kao jedinstvene, veće morfološke cjeline umjesto kao pojedinačne čestice. Dobiveni rezultati nalaze se unutar definiranih granica certifikata referentnih materijala, čime je dokazana preciznost i ponovljivost primijenjene Ramanove mikrospektroskopije, kao i pouzdanost cjelokupnog analitičkog protokola.

Visoka razina podudarnosti između deklariranih vrijednosti referentnih materijala polimera i eksperimentalno dobivenih rezultata prikazana je u Tablicama 1. i 2. te na Slici 3.

Tablica 1. Validacija metode analizom certificiranog referentnog materijala

Referentni materijal (RM)	Sastav polimera i morfologija	Certificirana vrijednost (n)	Eksperimentalno utvrđen broj (n)	% povrata (Recovery rate)
MicroPrefs® RM-31791	PE, PET, PS (Nepravilan oblik, 50 – 300 µm)	78 ± 11	73	93.59%
MicroPrefs® RM-31794	Slijepa proba - Blank	4±2	4	100%



Slika 3. RM Blank 31794 i RM Std 31791

Tablica 2. Rezultati analize referentnih materijala

ID RM 31794	Broj čestica MP
PE polietilen	1
PS polistiren	3
PET polietilen tereftalat	0
Ukupno	4

ID RM 31791	Broj čestica MP
PE polietilen	29
PS polistiren	32
PET polietilen tereftalat	12
Ukupno	73

3.7. Proračun koncentracije i masenog opterećenja

Konfokalna Raman mikrospektroskopija omogućuje cjelovitu karakterizaciju čestica koja uključuje njihov broj, morfološke parametre i kemijski sastav, pri čemu je za potpunu procjenu ekotoksikološkog rizika i hidrodinamičkog transporta mikroplastike u vodnom sustavu ključno utvrditi i masenu koncentraciju identificiranih čestica prioritarnih polimera. Budući da se analizom na filteru ne provodi izravno vaganje čestica (čija je pojedinačna masa na razini pikograma), proračun ukupne mase i masene koncentracije izveden je matematičkim modeliranjem na temelju spektralne identifikacije i geometrijskih dimenzija pojedinačne čestice.

Ovaj proračun automatski provodi sam softverski paket LabSpec6 u realnom vremenu, integrirajući module za analizu slike i spektralnu identifikaciju materijala. Formule, pretpostavke i matematički modeli implementirani u softveru u potpunosti prate standardizirane pristupe u analizi mikroplastike

(poput preporuka u normi ISO 16094-2 i srodnim tehničkim smjernicama EU-a za pretvorbu 2D dimenzija u volumen), pri čemu se volumen svake čestice izračunava na temelju njezine izmjerene duljine, širine i pretpostavljene morfologije, dok se masa definira množenjem dobivenog volumena s teoretskom gustoćom točno identificiranog polimera. Proces proračuna obuhvaća tri ključne faze:

1. Geometrijska karakterizacija i izračun volumena čestice (V)

Pomoću softverskog modula Particle Finder za svaku se detektiranu česticu određuju osnovne dvodimenzionalne dimenzije: maksimalna duljina (d_{max} , Feret max) i minimalna širina (d_{min} , Feret min). Treća dimenzija debljina odnosno visina čestice (h) procjenjuje se primjenom standardiziranih morfoloških faktora omjera ovisno o obliku čestice:

Za fragmente (nepravilne čestice): Volumen se modelira kao elipsoid s pretpostavljenim faktorom debljine $h = 0,6 * d_{min}$

$$V = 4 / 3 * \pi * (d_{max} / 2) * (d_{min} / 2) * (h / 2)$$

Za vlakna: Volumen se modelira kao valjak gdje je duljina d_{max} ujedno visina valjka, a širina d_{min} predstavlja promjer poprečnog presjeka valjka:

$$V = \pi * (d_{min} / 2)^2 * d_{max}$$

Za sfere (kuglice): Volumen se izračunava na temelju ekvivalentnog radijusa (r) izvedenog iz srednjeg promjera kruga:

$$V = (4 / 3) * \pi * r^3$$

Za filmove (tanke folije): Volumen se računa kao površina elipse pomnožena s konzervativnim faktorom debljine za plošne čestice $h = 0,1 * d_{min}$

$$V = \pi * (d_{max} / 2) * (d_{min} / 2) * h$$

2. Određivanje mase pojedinačne čestice (m)

Masa pojedine čestice ($m_{čestice}$) dobiva se množenjem njezinog izračunatog volumena (V) s teoretskom gustoćom (ρ) specifičnog polimera koji je nedvojbeno identificiran Ramanovom spektroskopijom:

$$m_{čestice} = V * \rho$$

Gustoća polimera varira ovisno o kemijskoj strukturi, pri čemu se u proračunu koriste referentne vrijednosti iz literature i spektroskopskih baza:

- Polietilen (PE): $\rho = 0,95 \text{ g/cm}^3$
- Polipropilen (PP): $\rho = 0,90 \text{ g/cm}^3$
- Polistiren (PS): $\rho = 1,05 \text{ g/cm}^3$
- Polietilen tereftalat (PET): $\rho = 1,38 \text{ g/cm}^3$
- Politetrafluoretilen (PTFE): $\rho = 2,20 \text{ g/cm}^3$

3. Izračun ukupne mase i normalizacija masene koncentracije (C_m)

Ukupna masa mikroplastike određene frakcije na filteru predstavlja zbroj masa svih pojedinačno identificiranih čestica na filteru izražen u pikogramima (pg):

$$m_{\text{ukupno}} = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n$$

Budući da softver daje izračun mase pojedinačnih čestica u pikogramima (pg), a analizirani volumeni uzoraka iznose manje od jedne litre (500 mL za frakciju 15 μm , odnosno 100 mL za frakciju 5 μm), izračunata masa normalizira se na standardni volumen od 1 litre (1000 mL) uz konverziju jedinica u mikrograme po litri ($\mu\text{g/L}$):

$$C_m = m_{\text{ukupno}} / (1000 * V_{\text{filtrirano}})$$

Gdje je:

C_m = masena koncentracija mikroplastike u uzorku normalizirana na 1 litru ($\mu\text{g/L}$)

m_{ukupno} = zbroj masa svih identificiranih čestica prioriternih polimera na filteru izračunat softverom (pg)

$V_{\text{filtrirano}}$ = stvarno filtrirani volumen uzorka izražen u mililitrima (500 mL za frakciju 15 μm , odnosno 100 mL za frakciju 5 μm)

1000 = objedinjeni faktor konverzije jedinica (pg u μg) i normalizacije volumena na 1 L (1000 / 1.000.000)

Primjenom ove metodologije osigurana je potpuna fizikalno-kemijska sljedivost i omogućena izravna usporedivost masenog opterećenja i masenog udjela pojedinih polimernih vrsta između svih analiziranih uzoraka i lokacija.

4. REZULTATI ANALIZE

Svi rezultati analize u nastavku prikazani su kao normalizirane vrijednosti preračunate na volumen od 1 litre (čestice/L i $\mu\text{g/L}$) za objedinjene frakcije 15 μm i 5 μm .

5. STRUKTURA IZVJEŠĆA

Zasebna izvješća u nastavku dokumenta prate istovrsnu strukturu za svaku lokaciju uzorkovanja. Izvješće za svaku lokaciju sadrži osnovne podatke o uzorkovanju, metodologiju analize te rezultate ukupne analize. Prateći grafički elementi (slikovni prikazi filtera, tablice distribucije i grafikoni) sastavni su dio pojedinog izvješća. Zbog lakšeg snalaženja i vizualnog razlikovanja, svako je pojedinačno izvješće označeno jedinstvenom bočnom trakom na margini stranice: plava traka obilježava uzorke K 3.7 i K 3.8, zelena traka uzorke N 3.7 i N 3.8, a žuta traka uzorke O 3.7. i O 3.8.

U svrhu usklađivanja s metodologijom iz Delegirane odluke Komisije (EU), veličinski razredi u izvješćima definirani su prema promjeru ekvivalentne površine (PEP), pri čemu je donja granica analize proširena s Delegiranom odlukom (EU) propisanih 20 μm na 5 μm kako bi se upotrebom sustava HORIBA LabRAM Soleil™ i pripadajućeg filtera manje poroznosti omogućila detekcija sitnijih čestica s većom sposobnošću migracije i transporta kroz podzemni vodonosnik.

6. IZVJEŠĆA O ISPITIVANJU MIKROPLASTIKE



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MIKROPLASTIKE

6.1. ID Uzorka: IZV/K 3.7, Lokacija: Gospić

Br. izvješća: 001
Institut za vode „Josip Juraj Strossmayer“
Glavni laboratorij za vode
Datum izvješća: 31.07.2026.

OSNOVNI PODACI O UZORKOVANJU

PARAMETAR	POKAZATELJ	PARAMETAR	POKAZATELJ
Vrsta vode	PODZEMNA VODA	Datum uzorkovanja	08.05.2026.
Županija	Ličko-senjska	Isporučitelj JIVU	/
Zona opskrbe	/	Crpilište	/
Koordinate	N 44°32'182" E 015°23'905"	Vodno tijelo	rijeka Lika
Volumen	1 litra	Način uzorkovanja	/
Blizina urbanog središta	Gospić	Voda iz	Piezometarska bušotina

TERENSKI UVJETI I PARAMETRI VODE

UVJETI OKOLIŠA	POKAZATELJ	PARAMETAR VODE	POKAZATELJ
Vremenske prilike	/	Temperatura vode	/
Padaline prije uzorkovanja	/	Temperatura zraka	/
Antropogeni utjecaj	Komunalne i poljoprivredne aktivnosti	Dubina uzorkovanja	/

Napomena: /



Slika 4. Uzorak K 3.7



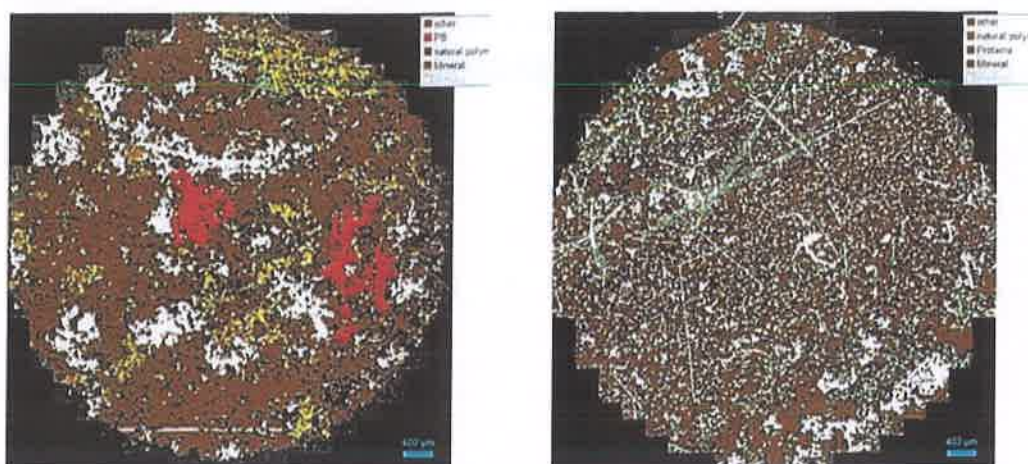
METODOLOGIJA ANALIZE

PARAMETAR	OPIS
Metoda	ODREĐIVANJE MIKROPLASTIKE U VODI S MALIM SADRŽAJEM SUSPENDIRANE TVARI
Referenca	ISO 16094-2:2025
Datum pripreme uzorka	30.07.2026.
Priprema uzorka	Direktno na silikonski filter 15µm i 5µm

KOMPONENTA	POSTAVKE
Datum snimanja uzorka	30.07.2026.
Faktor uzorka	2x/10x
Površina filtera analizirana spektroskopijom	100%
Instrument	HORIBA, LabRAM Soleil™ - konfokalni Raman mikroskopski spektrometar
Softver	LabSpec 6
Valna duljina lasera	532 nm
Objektiv	5x/20x
Difrakcijska rešetka	600 gr/mm
Spektralni raspon	200-3500 cm ⁻¹
Hit quality indeks (HQL)	>75%
Način snimanja:	Mozak

REZULTATI UKUPNE ANALIZE

POKAZATELJI	REZULTAT
Ukupni broj detektiranih čestica	99284 /L
Broj čestica potvrđenih Raman spektroskopijom	56484 /L
Udio potvrđenih čestica u analiziranom uzorku	56.89%
Neidentificirane čestice	43.11%
Broj čestica prioriternih polimera u potvrđenim česticama	2 /L
Broj čestica sintetskih polimera ili kemijskih modificiranih prirodnih polimera koji nisu prioritetni polimeri	0/L
Udio čestica prioriternih polimera u potvrđenim česticama	0.002%
Identificirane čestice izvan kategorije prioriternih polimera	56482/ L
Identificirane ostale čestice potvrđene Raman spektroskopijom	99.996%
Ambijentalna silijeva proba $\approx 5 \mu\text{m}$	0/96 h
Silijepi uzorak (CRM Blank)	Certificirano 4 ± 2 čestice, rezultat: 4 čestice, stopa povrata: 100%
Standardni uzorak (CRM Standard)	Certificirano 78 ± 11 čestica, rezultat: 73 čestice, stopa povrata: 93.59%

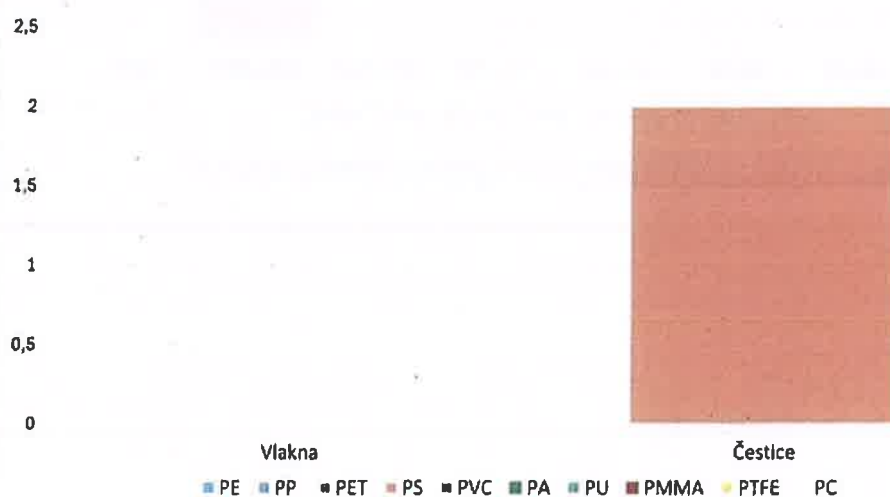


Slika 5. Prikaz filtera (15μm i 5μm,) raspodjele i sastava mikroskopskih čestica, Uzorak: K 3.7.

Tablica 3. Prioritetni polimeri prema obliku, Uzorak K 3.7

TIP MP	PE	PP	PET	PS	PVC	PA	PU	PMMA	PTFE	PC
Vlakna										
Čestice				2						
UKUPNO				2						

Broj prioriternih polimera: 2/L



Grafikon 1. Distribucija prioriternih polimera prema obliku, Uzorak K 3.7

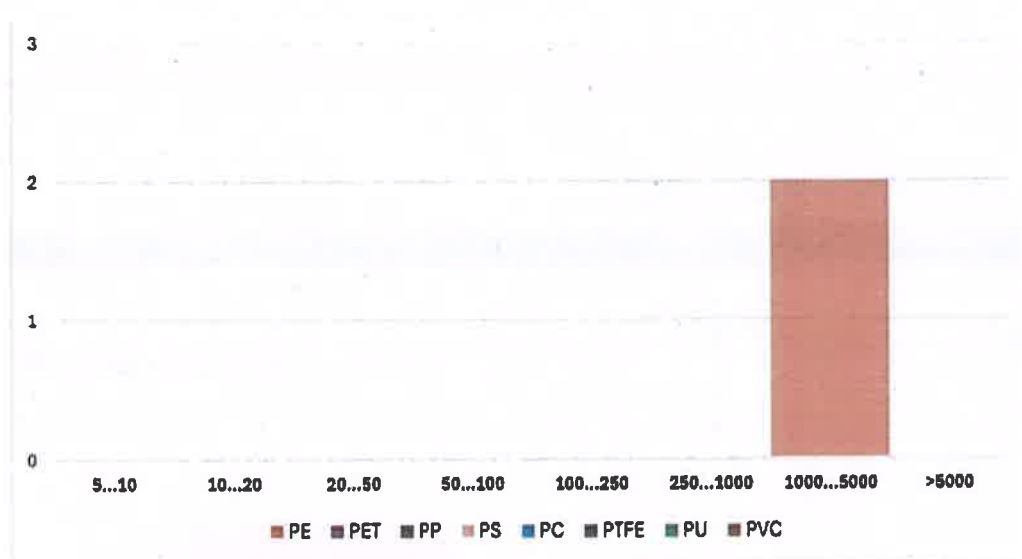


Tablica 4. Prioritetni polimeri prema veličinskim razredima, Uzorak K 3.7

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
PE								
PP								
PET								
PS							2	
PVC								
PA								
PU								
PMMA								
PTFE								
PC								
UKUPNO:							2	

Ukupan broj prioriternih polimera: 2/L

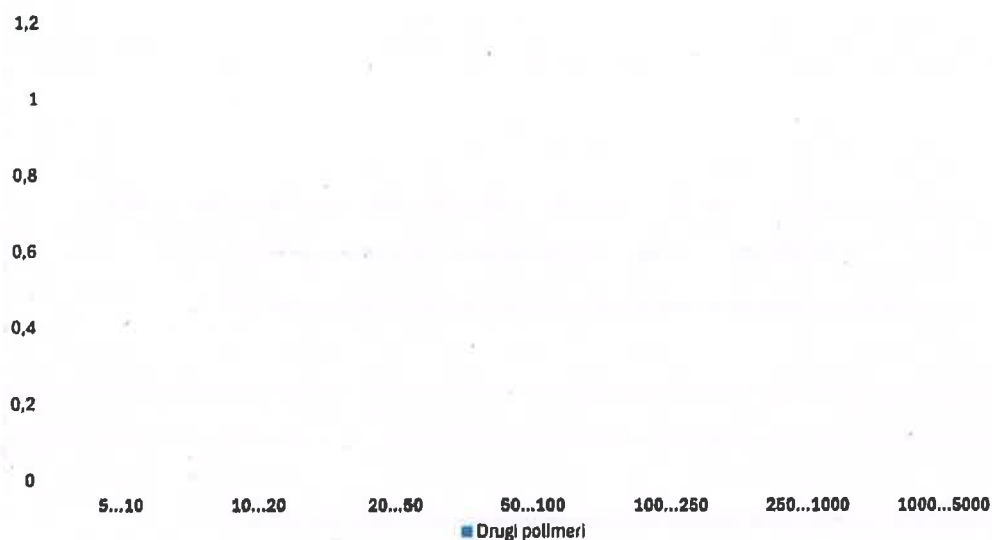
Opis korištenih kratica polimera sukladno ISO 16094-2:2025: PE – polietilen, PP – polipropilen, PET – poli(etilen-tereftalat), PS – polistiren, PVC – poli(vinil-klorid), PA – poliamid, PU – poliuretan, PMMA – poli(metil-metakrilat), PTFE – poli(tetrafluoretilen), PC – polikarbonat.



Grafikon 2. Distribucija prioriternih polimera prema veličinskim razredima, Uzorak K 3.7

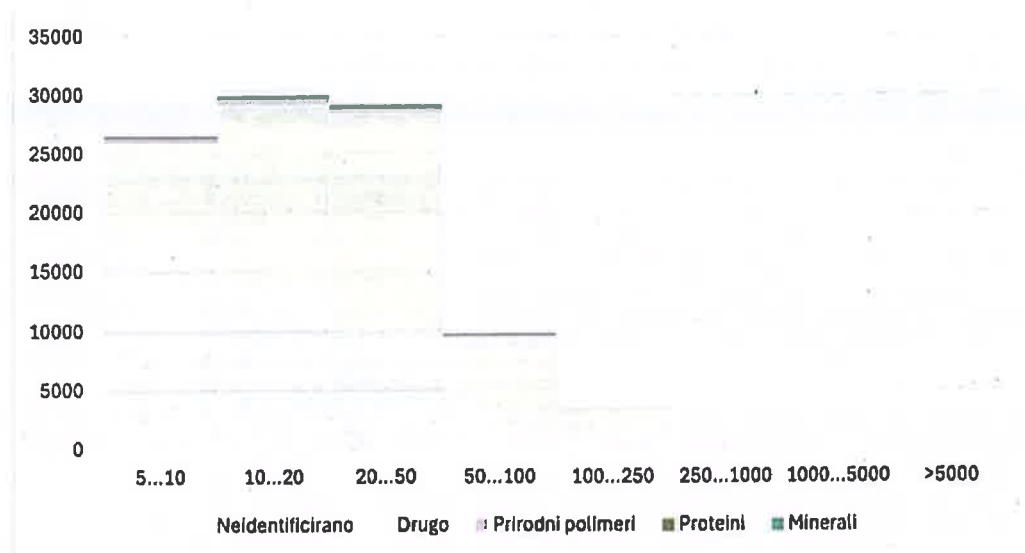
**Tablica 5. Koncentracija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak K 3.7**

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Drugi polimeri								
Ukupni ostali sintetski ili kemijski modificirani polimeri: 0 /L								

**Grafikon 3. Distribucija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak K 3.7****Tablica 6. Koncentracija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak K 3.7**

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Minerali	180	241	340	131	30			
Prirodni polimeri	470	514	375	231	51	20		
Proteini	10			10				
Druge tvari	9280	15483	19157	7396	2332	216	15	
Neidentificirano	16640	13726	9276	2036	914	207	1	
UKUPNO	26580	29964	29148	9804	3327	443	16	

Ukupne ostale identificirane i neidentificirane čestice: **99282/L**

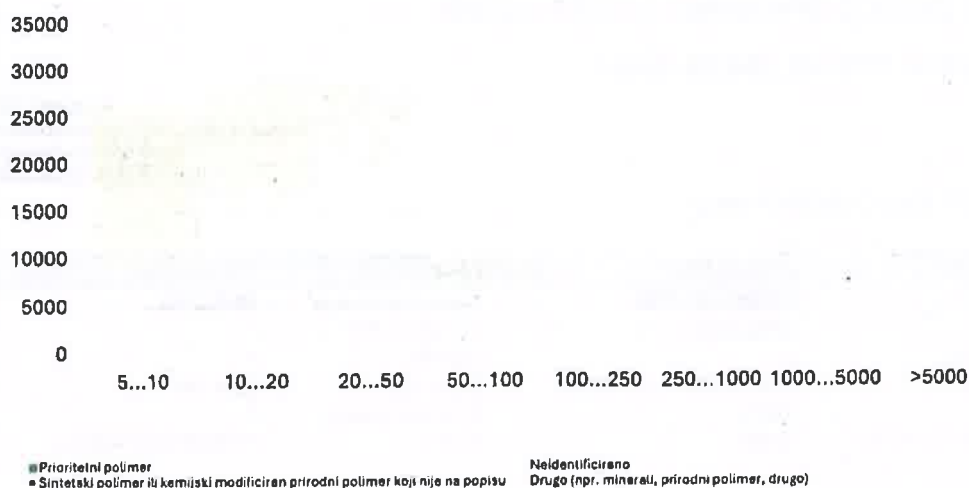


Grafikon 4. Distribucija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak K 3.7

Tablica 7. Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak K 3.7

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Prioritetni polimer							2	
Sintetski polimer ili kemijski modificiran								
prirodni polimer koji nije na popisu								
Drugo (npr. minerali, prirodni polimer, drugo)	9940	16238	19872	7768	2413	236	15	
Neidentificirano	16640	13726	9276	2036	914	207	1	
UKUPNO	26580	29964	29148	9804	3327	443	18	

Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini:
99284 /L



Grafikon 5. Distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak K 3.7



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MIKROPLASTIKE

6.2. ID Uzorka: IZV/K 3.8, Lokacija: Gospić

Br. Izvešća: 002
Institut za vode „Josip Juraj Strossmayer“
Glavni laboratorij za vode
Datum Izvešća: 01.08.2026.

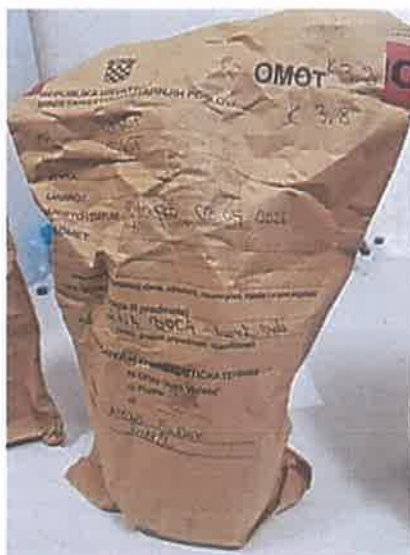
OSNOVNI PODACI O UZORKOVANJU

PARAMETAR	POKAZATELJ	PARAMETAR	POKAZATELJ
Vrsta vode	PODZEMNA VODA	Datum uzorkovanja	08.05.2026.
Županija	Ličko-senjska	Isporučitelj JIVU	/
Zona opskrbe	/	Crpilište	/
Koordinate	N 44°32'182" E 015°23'905"	Vodno tijelo	rijeka Lika
Volumen	1 litra	Način uzorkovanja	/
Blizina urbanog središta	Gospić	Voda iz	Piezometarska bušotina

TERENSKI UVJETI I PARAMETRI VODE

UVJETI OKOLIŠA	POKAZATELJ	PARAMETAR VODE	POKAZATELJ
Vremenske prilike	/	Temperatura vode	/
Padaline prije uzorkovanja	/	Temperatura zraka	/
Antropogeni utjecaj	Komunalne i poljoprivredne aktivnosti	Dubina uzorkovanja	/

Napomena: /



Slika 6. Uzorak K 3.8



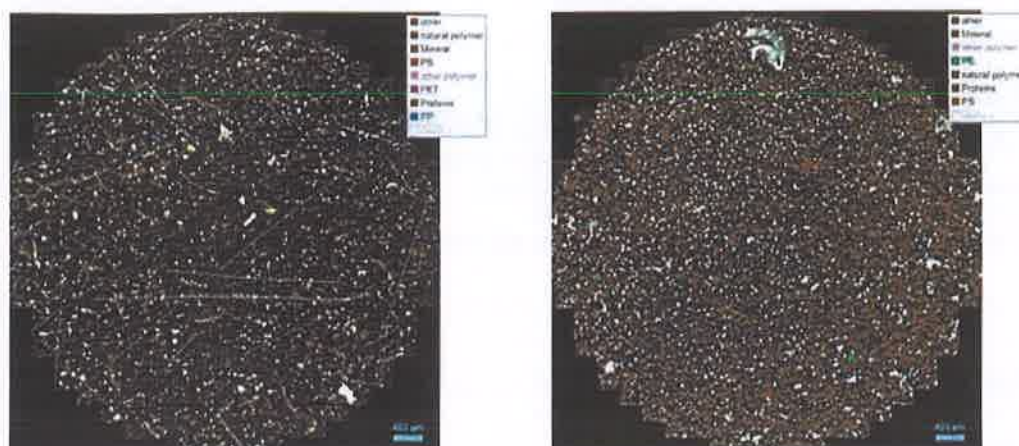
METODOLOGIJA ANALIZE

PARAMETAR	OPIS
Metoda	ODREĐIVANJE MIKROPLASTIKE U VODI S MALIM SADRŽAJEM
Referenca	SUSPENDIRANE TVARI
Datum pripreme uzorka	ISO 16094-2:2025
Priprema uzorka	31.07.2026. Direktno na silikonski filter 15µm i 5µm

KOMPONENTA	POSTAVKE
Datum snimanja uzorka	31.07.2026.
Faktor uzorka	2x/10x
Površina filtera analizirana spektroskopijom	100%
Instrument	HORIBA, LabRAM Soleil™ - konfokalni Raman mikroskopski spektrometar
Softver	LabSpec 6
Valna duljina lasera	532 nm
Objektiv	5x/20x
Difrakcijska rešetka	600 gr/mm
Spektralni raspon	200-3500 cm ⁻¹
Hit quality indeks (HQI)	>75%
Način snimanja:	Mozaik

REZULTATI UKUPNE ANALIZE

POKAZATELJI	REZULTAT
Ukupni broj detektiranih čestica	75828 /L
Broj čestica potvrđenih Raman spektroskopijom	60542 /L
Udio potvrđenih čestica u analiziranom uzorku	79.84 %
Neidentificirane čestice	20.16 %
Broj čestica prioriternih polimera u potvrđenim česticama	130 /L
Broj čestica sintetskih polimera ili kemijskih modificiranih prirodnih polimera koji nisu prioritetni polimeri	26/L
Udio čestica prioriternih polimera u potvrđenim česticama	0.171 %
Identificirane čestice izvan kategorije prioriternih polimera	60386/ L
Identificirane ostale čestice potvrđene Raman spektroskopijom	99.74 %
Ambijentalna slijepa proba 7.5 µm	0/96 h
Slijepi uzorak (CRM Blank)	Certificirano 4 ± 2 čestice, rezultat: 4 čestice, stopa povrata: 100%
Standardni uzorak (CRM Standard)	Certificirano 78 ± 11 čestica, rezultat: 73 čestice, stopa povrata: 93.59%

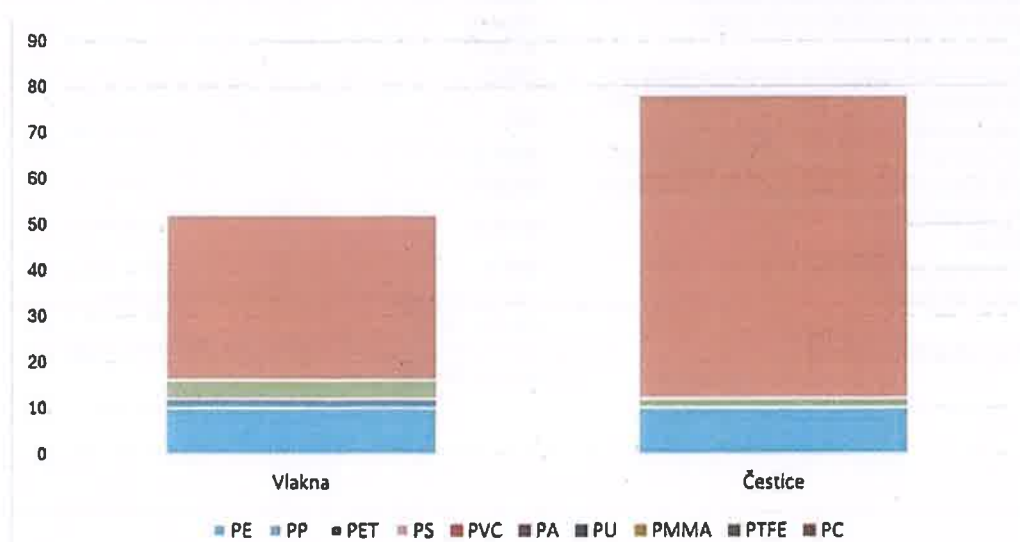


Slika 7. Prikaz filtera (15µm i 5µm,) raspodjele i sastava mikraskopskih čestica, Uzorak K 3.8.

Tablica 8. Prioritetni polimeri prema obliku, Uzorak K 3.8

TIP MP	PE	PP	PET	PS	PVC	PA	PU	PMMA	PTFE	PC
Vlakna	10	2	4	36						
Čestice	10		2	66						
UKUPNO	20	2	6	102						

Broj prioriternih polimera: 130/L



Grafikon 6. Distribucija prioriternih polimera prema obliku, Uzorak K 3.8

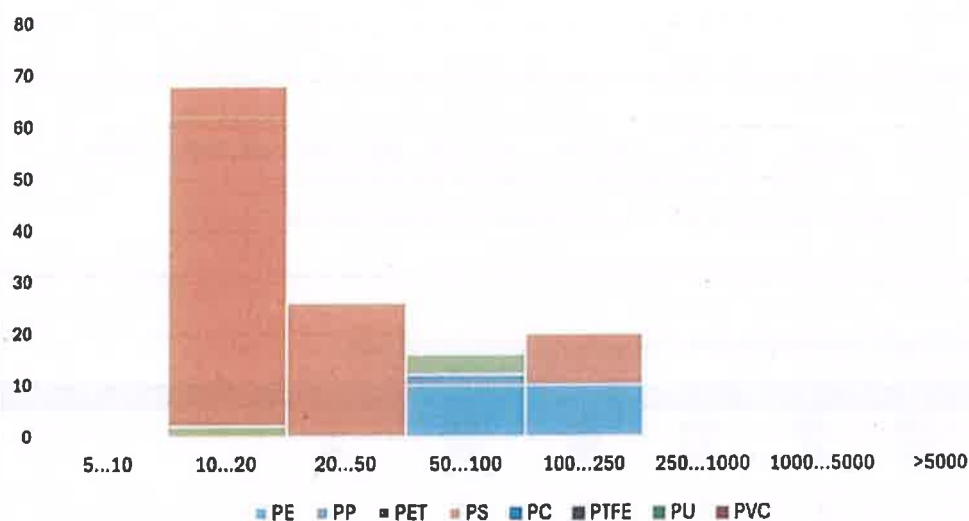


Tablica 9. Prioritetni polimeri prema veličinskim razredima, Uzorak K 3.8

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
PE				10	10			
PP				2				
PET		2		4				
PS		66	26		10			
PVC								
PA								
PU								
PMMA								
PTFE								
PC								
UKUPNO:		68	26	16	20			

Ukupan broj prioriternih polimera: **130/L**

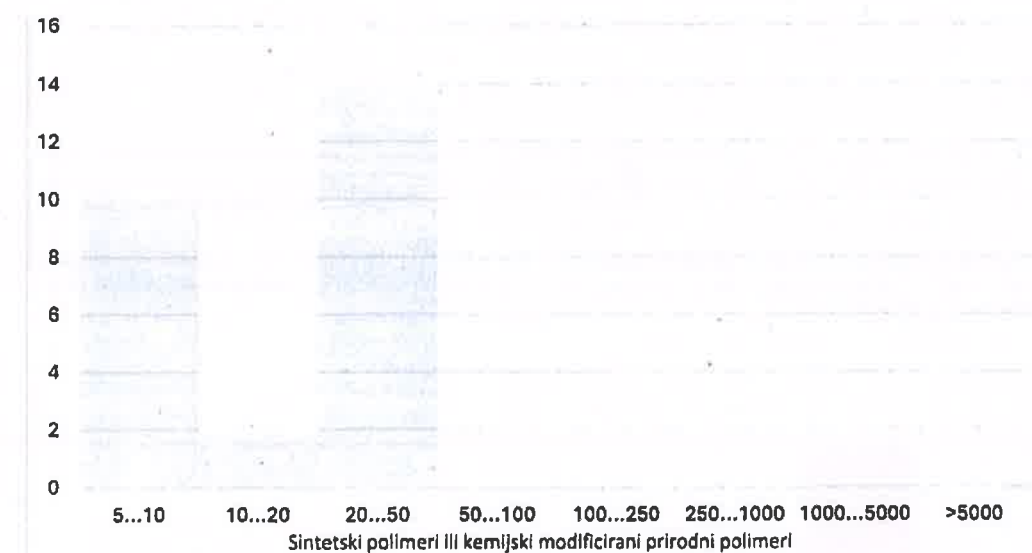
Opis korištenih kratice polimera sukladno ISO 16094-2:2025: PE – polietilen, PP – polipropilen, PET – poli(etilen-tereftalat), PS – polistiren, PVC – poli(vinil-klorid), PA – poliamid, PU – poliuretan, PMMA – poli(metil-metakrilat), PTFE – poli(tetrafluoretilen), PC – polikarbonat.



Grafikon 7. Distribucija prioriternih polimera prema veličinskim razredima, Uzorak K 3.8

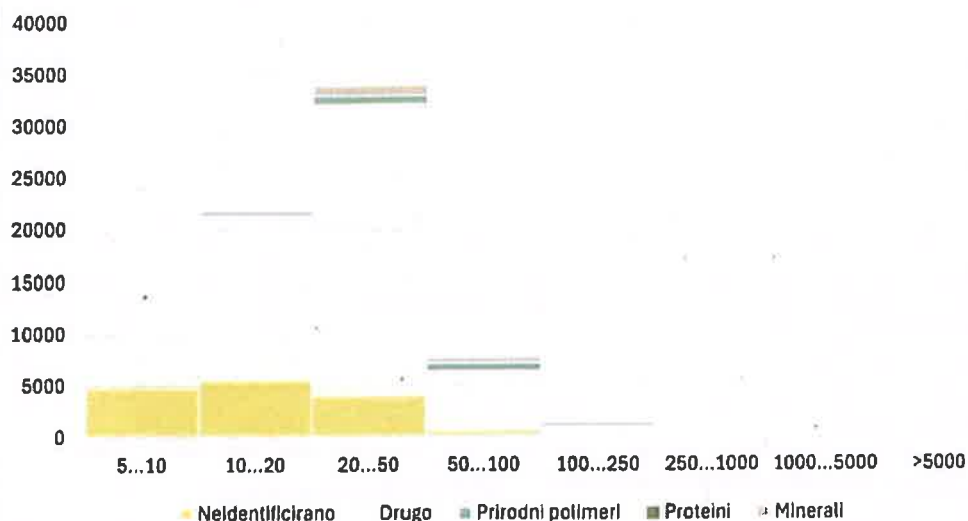
**Tablica 10. Koncentracija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak K 3.8**

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Drugi polimeri	10	2	14					
Ukupni ostali sintetski ili kemijski modificirani polimeri: 26/L								

**Grafikon 8. Distribucija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak K 3.8****Tablica 11. Koncentracija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak K 3.8**

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Minerali	150	472	976	526	210	2		
Prirodni polimeri	100	48	852	770	296	20		
Proteini		2	10	10	10			
Druge tvari	5460	15712	28066	5752	922	20		
Neidentificirano	4850	5572	4064	664	134	2		
UKUPNO	10560	21806	33968	7722	1572	44		

Ukupne ostale identificirane i neidentificirane čestice: **75672/L**

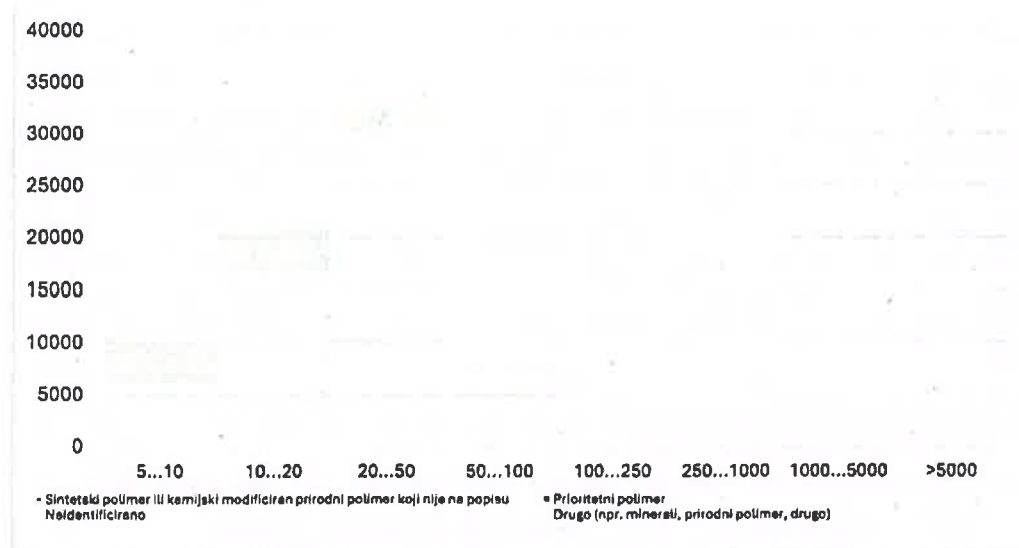


Grafikon 9. Distribucija ostalih identificiranih i nidentificiranih čestica, Uzorak K 3.8

Tablica 12. Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak K 3.8

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Prioritetni polimer		68	26	16	20			
Sintetski polimer ili kemijski modificiran	10	2	14					
prirodni polimer koji nije na popisu								
Drugo (npr. minerali, prirodni polimer, drugo)	5710	16234	29904	7058	1438	42		
Nidentificirano	4850	5572	4064	664	134	2		
UKUPNO	10570	21876	34008	7738	1592	44		

Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini:
75828 /L



Grafikon 10. Distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak K 3.8



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MIKROPLASTIKE

6.3. ID Uzorka: IZV/N 3.7, Lokacija: Gospić

Br. izvješća: 003
Institut za vode „Josip Jura Strossmayer“
Glavni laboratorij za vode
Datum izvješća: 03.08.2026.

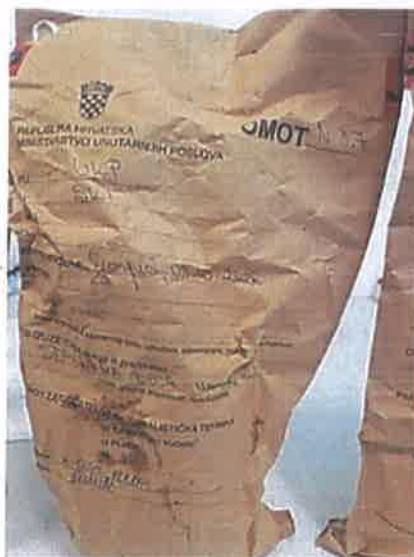
OSNOVNI PODACI O UZORKOVANJU

PARAMETAR	POKAZATELJ	PARAMETAR	POKAZATELJ
Vrsta vode	PODZEMNA VODA	Datum uzorkovanja	08.05.2026.
Županija	Ličko-senjska	Isporučitelj JIVU	/
Zona opskrbe	/	Crpilište	/
Koordinate	N 44°32'182" E 015°23'905"	Vodno tijelo	rijeka Lika
Volumen	1 Litra	Način uzorkovanja	/
Blizina urbanog središta	Gospić	Voda iz	Piezometarska bušotina

TERENSKI UVJETI I PARAMETRI VODE

UVJETI OKOLIŠA	POKAZATELJ	PARAMETAR VODE	POKAZATELJ
Vremenske prilike	/	Temperatura vode	/
Padaline prije uzorkovanja	/	Temperatura zraka	/
Antropogeni utjecaj	Komunalne i poljoprivredne aktivnosti	Dubina uzorkovanja	/

Napomena: /



Slika 8. Uzorak N 3.7



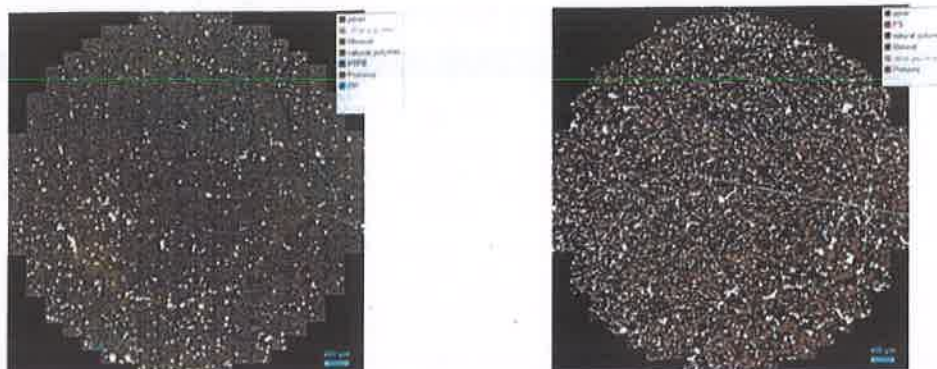
METODOLOGIJA ANALIZE

PARAMETAR	OPIS
Metoda	ODREĐIVANJE MIKROPLASTIKE U VODI S MALIM SADRŽAJEM SUSPENDIRANE TVARI
Referenca	ISO 16094-2:2025
Datum pripreme uzorka	31.07.2026.
Priprema uzorka	Direktno na silikonski filter 15µm i 5µm

KOMPONENTA	POSTAVKE
Datum snimanja uzorka	01.08.2026.
Faktor uzorka	2x/10x
Površina filtera analizirana spektroskopijom	100%
Instrument	HORIBA, LabRAM Soleil™ - konfokalni Raman mikroskopski spektrometar
Softver	LabSpec 6
Valna dužina lasera	532 nm
Objektiv	5x/20x
Difrakcijska rešetka	600 gr/mm
Spektralni raspon	200-3500 cm ⁻¹
Hit quality Indeks (HQI)	>75%
Način snimanja:	Mozaik

REZULTATI UKUPNE ANALIZE

POKAZATELJI	REZULTAT
Ukupni broj detektiranih čestica	90500 /L
Broj čestica potvrđenih Raman spektroskopijom	45972 /L
Udio potvrđenih čestica u analiziranom uzorku	50.80 %
Neidentificirane čestice	49.20 %
Broj čestica prioritetnih polimera u potvrđenim česticama	6 /L
Broj čestica sintetskih polimera ili kemijskih modificiranih prirodnih polimera koji nisu prioritetni polimeri	74/L
Udio čestica prioritetnih polimera u potvrđenim česticama	0.007 %
Identificirane čestice izvan kategorije prioritetnih polimera	45892/ L
Identificirane ostale čestice potvrđene Raman spektroskopijom	99.826 %
Ambijentalna sljepa proba 5 µm	0/96 h
Sljepi uzorak (CRM Blank)	Certificirano 4 ± 2 čestice, rezultat: 4 čestice, stopa povrata: 100%
Standardni uzorak (CRM Standard)	Certificirano 78 ± 11 čestica, rezultat: 73 čestice, stopa povrata: 93.59%

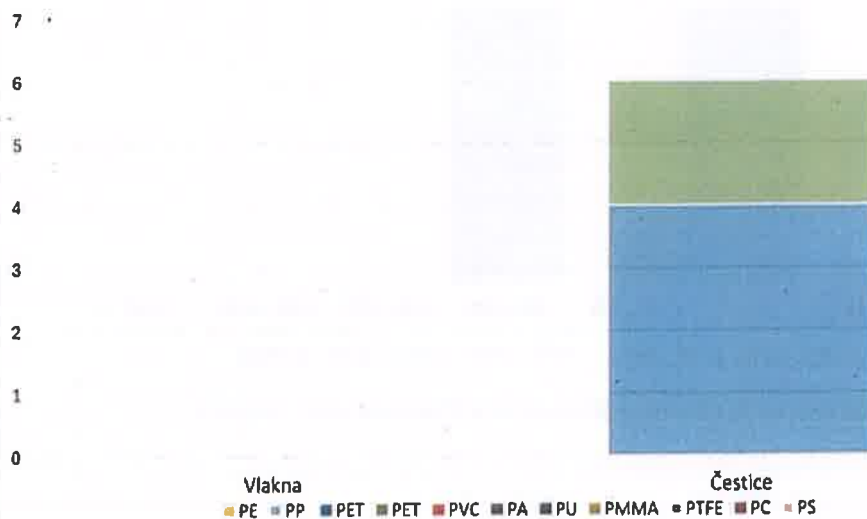


Slika 9. Prikaz filtera (15µm i 5µm,) raspodjele i sastava mikroskopskih čestica, Uzorak N 3.7.

Tablica 13. Prioritetni polimeri prema obliku, Uzorak N 3.7

TIP MP	PE	PP	PET	PS	PVC	PA	PU	PMMA	PTFE	PC
Vlakna										
Čestice		4							2	
UKUPNO		4							2	

Broj prioriternih polimera: 6/L



Grafikon 11. Distribucija prioriternih polimera prema obliku, Uzorak N 3.7

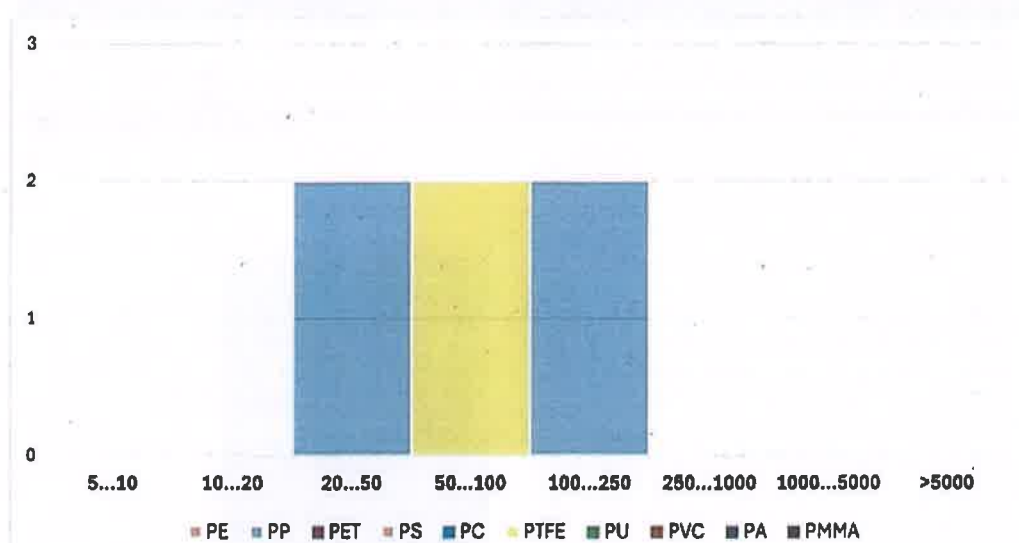


Tablica 14. Prioritetni polimeri prema veličinskim razredima, Uzorak N 3.7

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
PE								
PP			2		2			
PET								
PS								
PVC								
PA								
PU								
PMMA								
PTFE				2				
PC								
UKUPNO:		2	2	2				

Ukupan broj prioriternih polimera: **6/L**

Opis korištenih kratica polimera sukladno ISO 16094-2:2025: PE – polietilen, PP – polipropilen, PET – poli(etilen-tereftalat), PS – polistiren, PVC – poli(vinil-klorid), PA – poliamid, PU – poliuretan, PMMA – poli(metil-metakrilat), PTFE – poli(tetrafluoretilen), PC – polikarbonat.

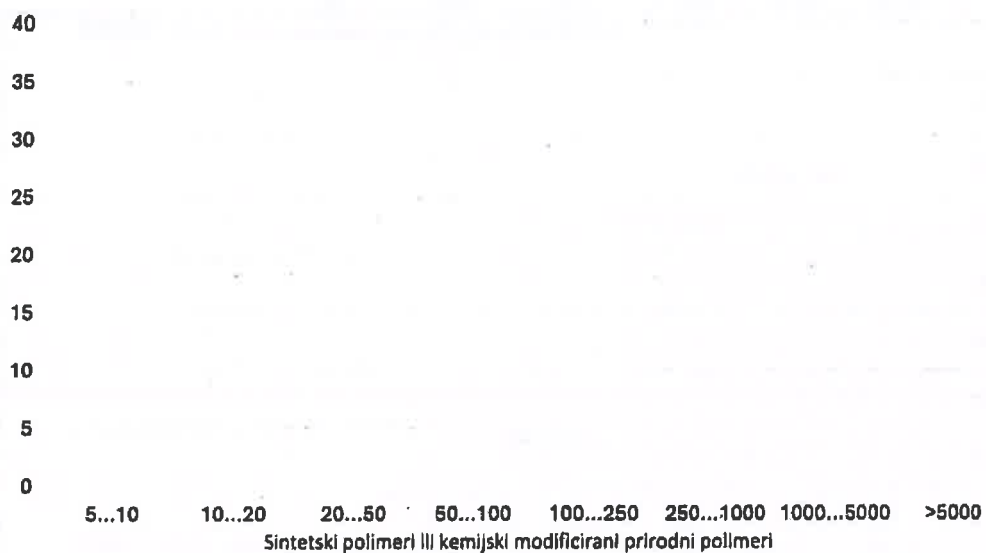


Grafikon 12. Distribucija prioriternih polimera prema veličinskim razredima, Uzorak N 3.7



Tablica 15. Koncentracija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak N 3.7

TIP MP:	5%PEP<10	10%PEP<20	20%PEP<50	50%PEP<100	100%PEP<250	250%PEP<1000	1000%PEP<5000	>5000
Drugi polimeri	10	36	28					
Ukupni ostali sintetski ili kemijski modificirani polimeri: 74 /L								

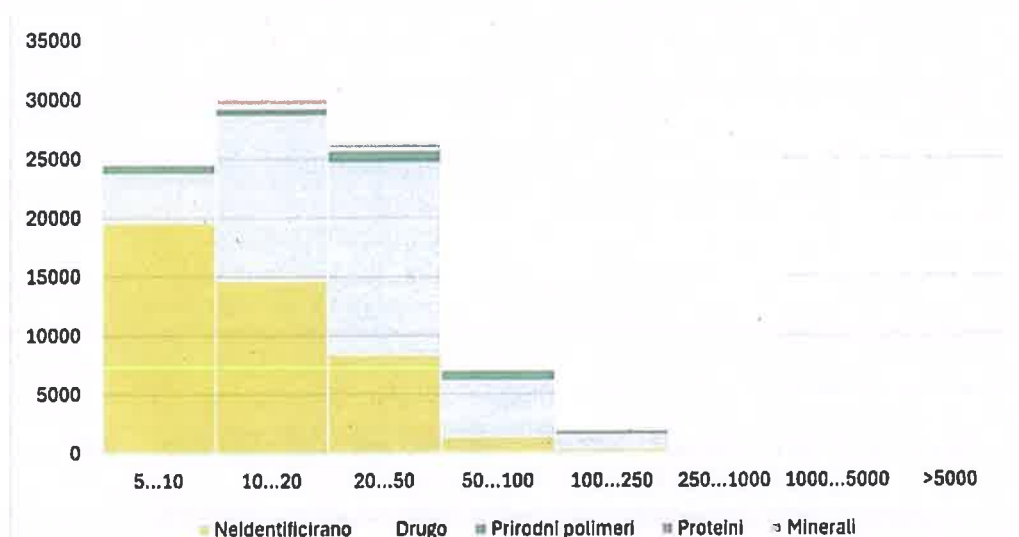


Grafikon 13. Distribucija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak N 3.7



Tablica 16. Koncentracija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak N 3.7

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Minerali	140	726	586	114	10			
Prirodni polimeri	880	760	1162	998	428	30		
Proteini	10	30	34					
Druge tvari	4080	13898	16216	4690	1070	30		
Neidentificirano	19600	14700	8394	1396	416	22		
UKUPNO	24710	30114	26392	7198	1924	82		

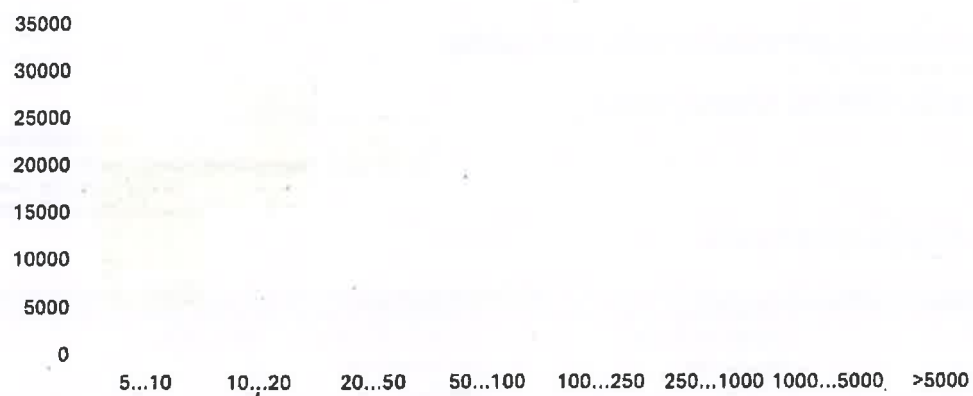
Ukupne ostale identificirane i neidentificirane čestice: **90420/L**

Grafikon 14. Distribucija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak N 3.7

Tablica 17. Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak N 3.7

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Prioritetni polimer			2	2	2			
Sintetski polimer ili kemijski modificiran	10	36	28					
prirodni polimer koji nije na popisu								
Drugo (npr. minerali, prirodni polimer, drugo)	5110	15414	17998	5802	1508	60		
Neidentificirano	19600	14700	8394	1396	416	22		
UKUPNO	24720	30150	26422	7200	1926	82		

Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini:
90500 /L



■ Sintetčki polimer ili kemijski modificiran prirodni polimer koji nije na popisu
 Neidentificirano

■ Prioritetni polimer
 Drugo (npr. minerali, prirodni polimer, drugo)

Grafikon 15. Distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak N 3.7



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MIKROPLASTIKE

6.4. ID Uzorka: IZV/N 3.8, Lokacija: Gospić

Br. izvješća: 004
Institut za vode „Josip Juraj Strossmayer“
Glavni laboratorij za vode
Datum izvješća: 04.08.2026.

OSNOVNI PODACI O UZORKOVANJU

PARAMETAR	POKAZATELJ	PARAMETAR	POKAZATELJ
Vrsta vode	PODZEMNA VODA	Datum uzorkovanja	08.05.2026.
Županija	Ličko-senjska	Isporučitelj JIVU	/
Zona opskrbe	/	Crpilište	/
Koordinate	N 44°32'182" E 015°23'905"	Vodno tijelo	rijeka Lika
Volumen	1 Litra	Način uzorkovanja	/
Blizina urbanog središta	Gospić	Voda iz	Piezometarska bušotina

TERENSKI UVJETI I PARAMETRI VODE

UVJETI OKOLIŠA	POKAZATELJ	PARAMETAR VODE	POKAZATELJ
Vremenske prilike	/	Temperatura vode	/
Padaline prije uzorkovanja	/	Temperatura zraka	/
Antropogeni utjecaj	Komunalne i poljoprivredne aktivnosti	Dubina uzorkovanja	/

Napomena: /



Slika 10. Uzorak N 3.8



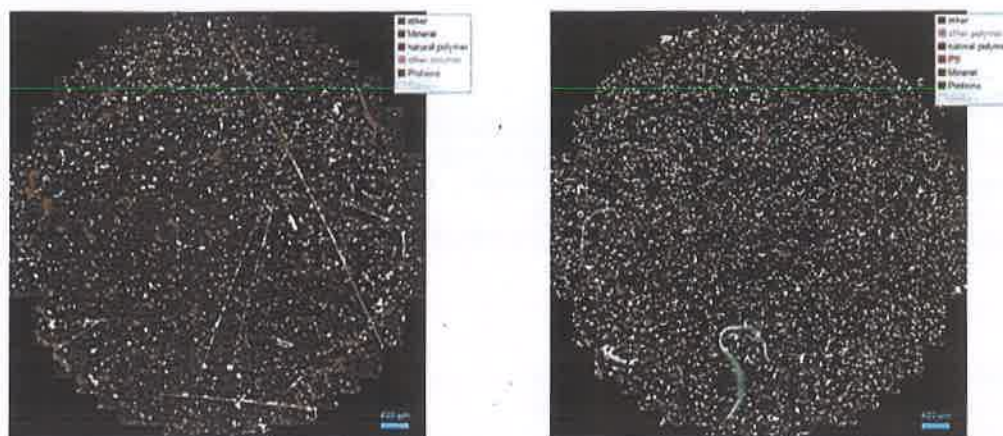
METODOLOGIJA ANALIZE

PARAMETAR	OPIS
Metoda	ODREĐIVANJE MIKROPLASTIKE U VODI S MALIM SADRŽAJEM SUSPENDIRANE TVARI
Referenca	ISO 16094-2:2025
Datum pripreme uzorka	01.08.2026.
Priprema uzorka	Direktno na silikonski filter 15µm i 5µm

KOMPONENTA	POSTAVKE
Datum snimanja uzorka	02.08.2026.
Faktor uzorka	2x/10x
Površina filtera analizirana spektroskopijom	100%
Instrument	HORIBA, LabRAM Soleil™ - konfokalni Raman mikroskopski spektrometar
Softver	LabSpec 6
Valna duljina lasera	532 nm
Objektiv	5x/20x
Difrakcijska rešetka	600 gr/mm
Spektralni raspon	200-3500 cm ⁻¹
Hit quality Indeks (HQI)	>75%
Način snimanja:	Mozaik

REZULTATI UKUPNE ANALIZE

POKAZATELJI	REZULTAT
Ukupni broj detektiranih čestica	68078 /L
Broj čestica potvrđenih Raman spektroskopijom	27188 /L
Udio potvrđenih čestica u analiziranom uzorku	39.94 %
Neidentificirane čestice	60.06 %
Broj čestica prioriternih polimera u potvrđenim česticama	0 /L
Broj čestica sintetskih polimera ili kemijskih modificiranih prirodnih polimera koji nisu prioriterni polimeri	46/L
Udio čestica prioriternih polimera u potvrđenim česticama	0.0%
Identificirane čestice izvan kategorije prioriternih polimera	27142/ L
Identificirane ostale čestice potvrđene Raman spektroskopijom	99.831 %
Ambijentalna slijepa proba 5 µm	0/96 h
Slijepi uzorak (CRM Blank)	Certificirano 4 ± 2 čestice, rezultat: 4 čestice, stopa povrata: 100%
Standardni uzorak (CRM Standard)	Certificirano 78 ± 11 čestica, rezultat: 73 čestice, stopa povrata: 93.59%

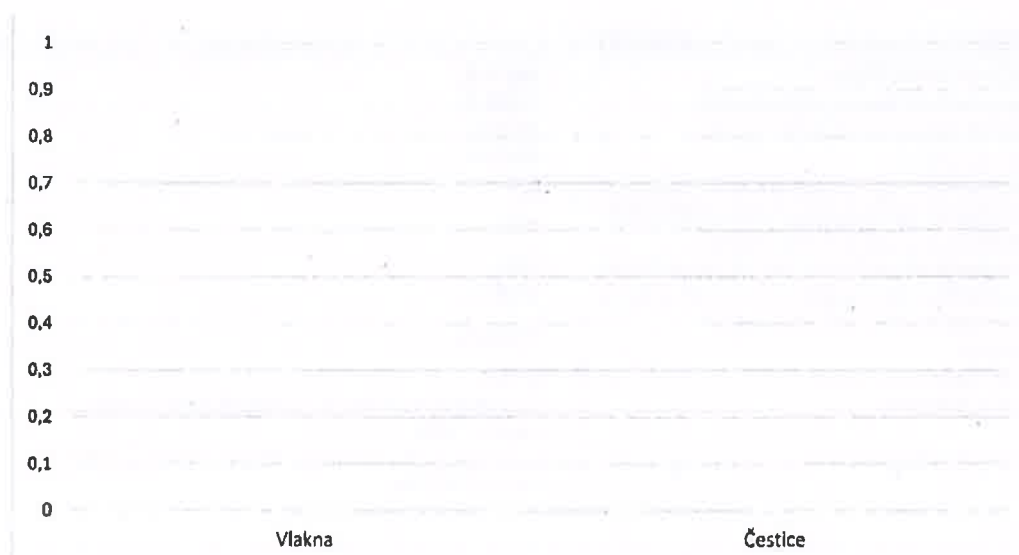


Slika 11. Prikaz filtera (15µm / 5µm,) raspodjele i sastava mikroskopskih čestica, Uzorak N 3.8

Tablica 18. Prioritetni polimeri prema obliku, Uzorak N 3.8

TIP MP	PE	PP	PET	PS	PVC	PA	PU	PMMA	PTFE	PC
Vlakna										
Čestice										
UKUPNO										

Broj prioriternih polimera: 0/L



Grafikon 16. Distribucija prioriternih polimera prema obliku, Uzorak N 3.8



Tablica 19. Prioritetni polimeri prema veličinskim razredima, Uzorak N 3.8

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
PE								
PP								
PET								
PS								
PVC								
PA								
PU								
PMMA								
PTFE								
PC								
UKUPNO:								

Ukupan broj prioriteta polimera: 0/L

Opis korištenih kratica polimera sukladno ISO 16094-2:2025: PE – polietilen, PP – polipropilen, PET – poli(etilen-tereftalat), PS – polistiren, PVC – poli(vinil-klorid), PA – poliamid, PU – poliuretan, PMMA – poli(metil-metakrilat), PTFE – poli(tetrafluoretilen), PC – polikarbonat.

2

1

0

5...10 10...20 20...50 50...100 100...250 250...1000 1000...5000 >5000

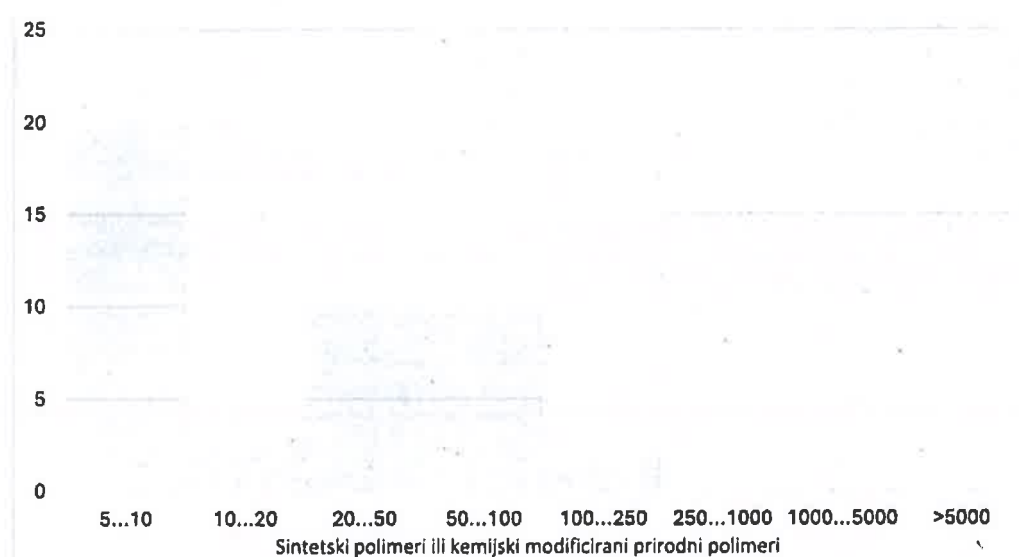
Grafikon 17. Distribucija prioriteta polimera prema veličinskim razredima, Uzorak N 3.8



Tablica 20. Koncentracija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak N 3.8

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Drugi polimeri	20	4	10	10	2			

Ukupni ostali sintetski ili kemijski modificirani polimeri: 46 /L

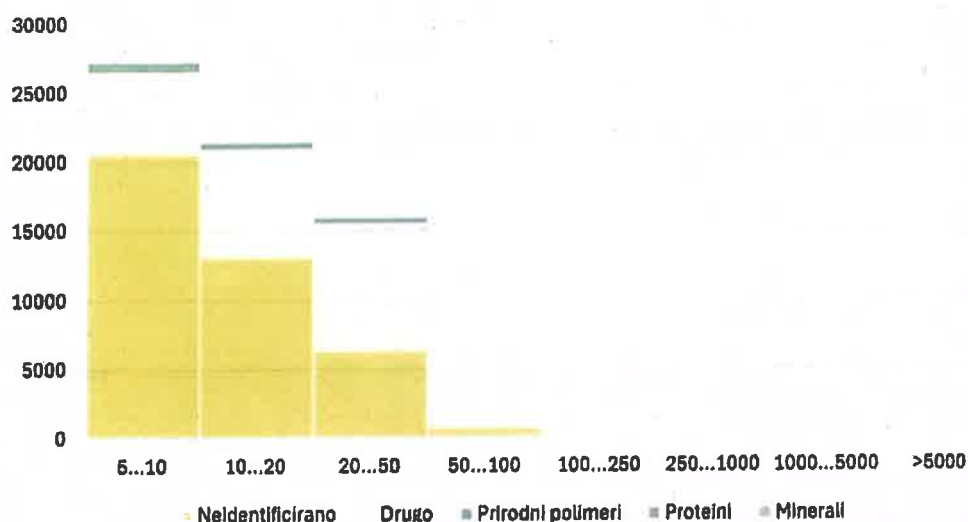


Grafikon 18. Distribucija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak N 3.8

Tablica 21. Koncentracija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak N 3.8

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Minerali		102	134	88	10	4		
Prirodni polimeri	760	552	504	158	30	4		
Proteini	10	20	44	10				
Druge tvari	5950	7880	9132	1506	224	20		
Neidentificirano	20560	13024	6344	770	180	12		
UKUPNO	27280	21578	16158	2532	444	40		

Ukupne ostale identificirane i neidentificirane čestice: 68032/L

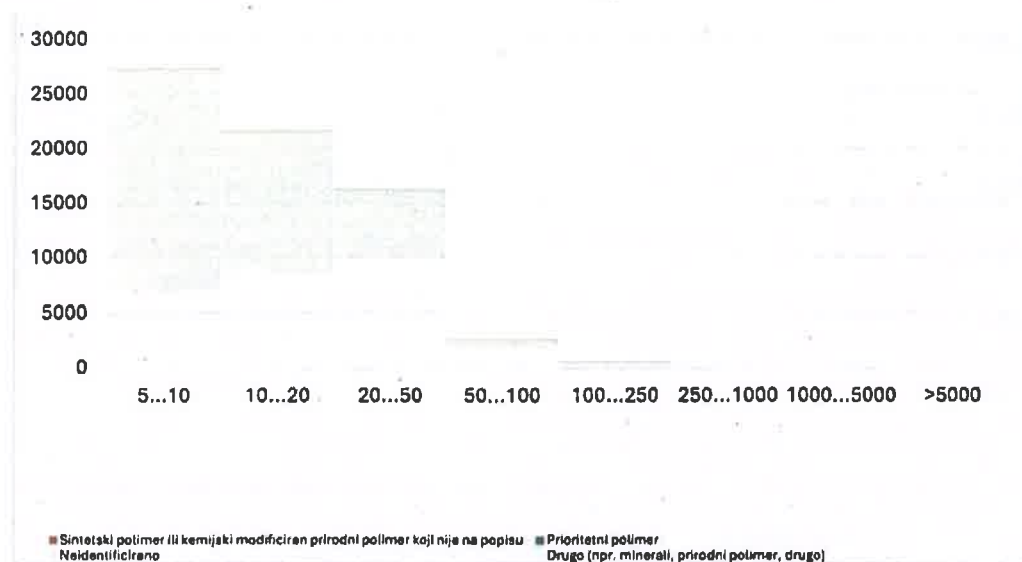


Grafikon 19. Distribucija ostalih identifikiranih i neidentifikiranih čestica, Uzorak N 3.8

Tablica 22. Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak N 3.8

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Prioritetni polimer								
Sintetski polimer ili kemijski modificiran	20	4	10	10	2			
prirodni polimer koji nije na popisu								
Drugo (npr. minerali, prirodni polimer, drugo)	6720	8554	9814	1762	264	28		
Nidentificirano	20560	13024	6344	770	180	12		
UKUPNO	27300	21582	16168	2542	446	40		

Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini:
68078 /L



Grafikon 20. Distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak N 3.B



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MIKROPLASTIKE

6.5. ID Uzorka: IZV/O 3.7, Lokacija: Gospić

Br. izvješća: 005
Institut za vode „Josip Jurač Strossmayer“
Glavni laboratorij za vode
Datum izvješća: 06.08.2026.

OSNOVNI PODACI O UZORKOVANJU

PARAMETAR	POKAZATELJ	PARAMETAR	POKAZATELJ
Vrsta vode	PODZEMNA VODA	Datum uzorkovanja	08.05.2026.
Županija	Ličko-senjska	Isporučitelj JIVU	/
Zona opskrbe	/	Crpilište	/
Koordinate	N 44°32'182" E 015°23'905"	Vodno tijelo	rijeka Uka
Volumen	1 Litra	Način uzorkovanja	/
Blizina urbanog središta	Gospić	Voda iz	Piezometarska bušotina

TERENSKI UVJETI I PARAMETRI VODE

UVJETI OKOLIŠA	POKAZATELJ	PARAMETAR VODE	POKAZATELJ
Vremenske prilike	/	Temperatura vode	/
Padaline prije uzorkovanja	/	Temperatura zraka	/
Antropogeni utjecaj	Komunalne i poljoprivredne aktivnosti	Dubina uzorkovanja	/

Napomena: /



Slika 12. Uzorak O 3.7



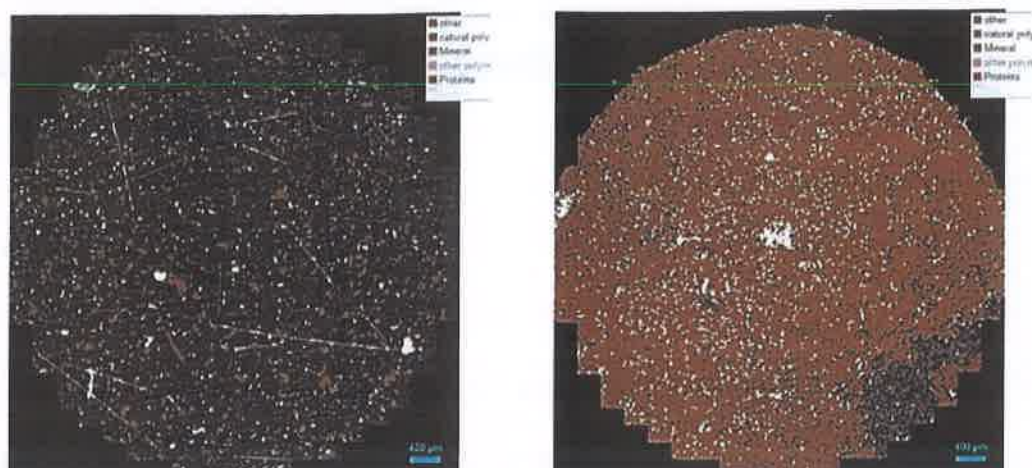
METODOLOGIJA ANALIZE

PARAMETAR	OPIS
Metoda	ODREĐIVANJE MIKROPLASTIKE U VODI S MALIM SADRŽAJEM SUSPENDIRANE TVARI
Referenca	ISO 16094-2:2025
Datum pripreme uzorka	02.08.2026.
Priprema uzorka	Direktno na silikonski filter 15µm i 5µm

KOMPONENTA	POSTAVKE
Datum snimanja uzorka	03.08.2026.
Faktor uzorka	2x/10x
Površina filtera analizirana spektroskopijom	100%
Instrument	HORIBA, LabRAM Soleil™ - konfokalni Raman mikroskopski spektrometar
Softver	LabSpec 6
Valna duljina lasera	532 nm
Objektiv	5x/20x
Difrakcijska rešetka	600 gr/mm
Spektralni raspon	200-3500 cm ⁻¹
Hit quality Indeks (HQI)	>75%
Način snimanja:	Mozaik

REZULTATI UKUPNE ANALIZE

POKAZATELJI	REZULTAT
Ukupni broj detektiranih čestica	138612 /L
Broj čestica potvrđenih Raman spektroskopijom	114820 /L
Udio potvrđenih čestica u analiziranom uzorku	82.84 %
Neidentificirane čestice	17.16 %
Broj čestica prioritetnih polimera u potvrđenim česticama	0 /L
Broj čestica sintetskih polimera ili kemijskih modificiranih prirodnih polimera koji nisu prioritetni polimeri	16/L
Udio čestica prioritetnih polimera u potvrđenim česticama	0.0 %
Identificirane čestice izvan kategorije prioritetnih polimera	114804/ L
Identificirane ostale čestice potvrđene Raman spektroskopijom	99.986 %
Ambijentalna slijeva proba X 5 µm	0/96 h
Slijevi uzorak (CRM Blank)	Certificirano 4 ± 2 čestice, rezultat: 4 čestice, stopa povrata: 100%
Standardni uzorak (CRM Standard)	Certificirano 78 ± 11 čestica, rezultat: 73 čestice, stopa povrata: 93.59%



Slika 13. Prikaz filtera (15 μ m i 5 μ m,) raspodjele i sastava mikroskopskih čestica, Uzorak O 3.7

Tablica 23. Prioritetni polimeri prema obliku, Uzorak O 3.7

TIP MP	PE	PP	PET	PS	PVC	PA	PU	PMMA	PTFE	PC
Vlakna										
Čestice										
UKUPNO										

Broj prioriternih polimera: 0/L

1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

Vlakna

Čestice

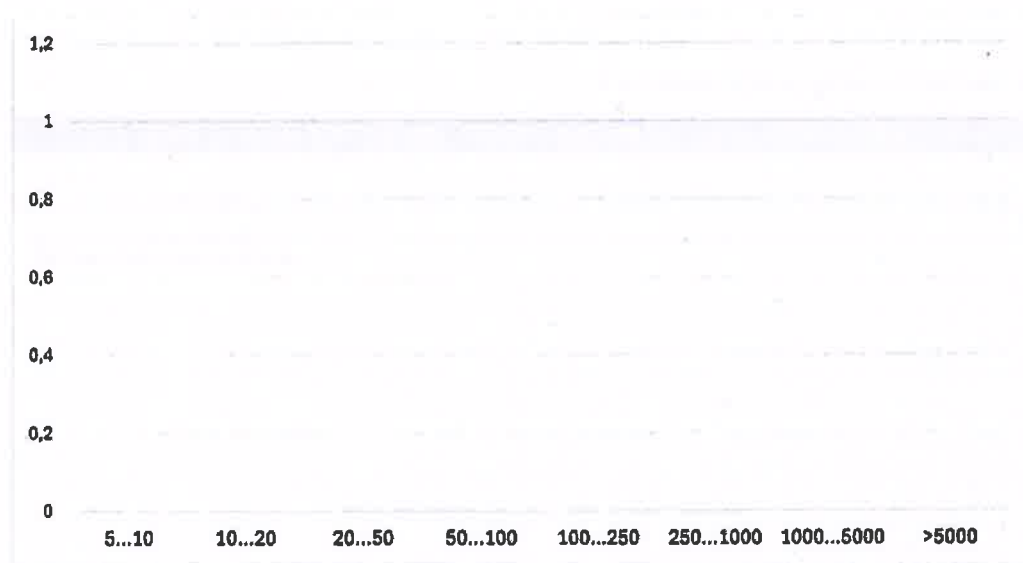
Grafikon 21. Distribucija prioriternih polimera prema obliku, Uzorak O 3.7



Tablica 24. Prioritetni polimeri prema veličinskim razredima, Uzorak O 3.7

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
PE								
PP								
PET								
PS								
PVC								
PA								
PU								
PMMA								
PTFE								
PC								
UKUPNO:	Ukupan broj prioritetnih polimera: 0/L							

Opis korištenih kratica polimera sukladno ISO 16094-2:2025: PE – polietilen, PP – polipropilen, PET – poli(etilen-tereftalat), PS – polistren, PVC – poli(vinil-klorid), PA – poliamid, PU – poliuretan, PMMA – poli(metil-metakrilat), PTFE – poli(tetrafluoretilen), PC – polikarbonat.

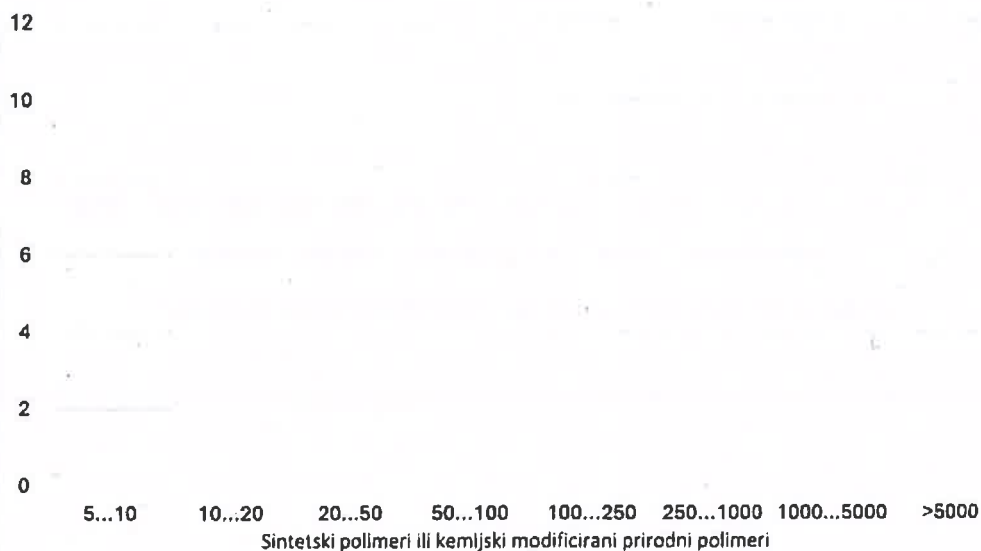


Grafikon 22. Distribucija prioritetnih polimera prema veličinskim razredima, Uzorak O 3.7



Tablica 25. Koncentracija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak O 3.7

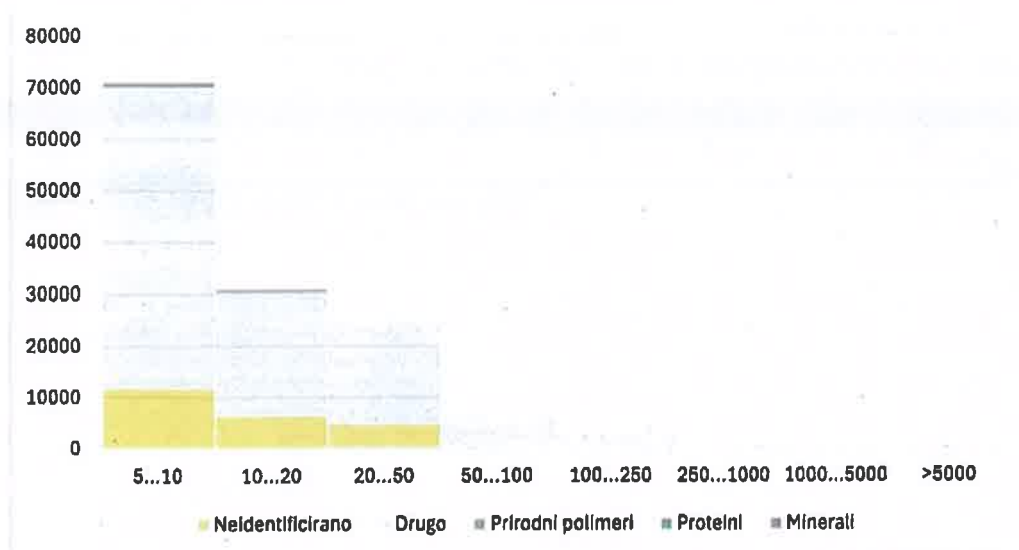
TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Drugi polimeri	10		4	2				
Ukupni ostali sintetski ili kemijski modificirani polimeri: 16 /L								



Grafikon 23. Distribucija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak O 3.7

Tablica 26. Koncentracija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak O 3.7

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Minerali	350	164	152	8	10			
Prirodni polimeri	1350	818	400	100	44	20		
Proteini	10		12					
Druge tvari	57970	23638	20768	5718	2498	724	40	10
Neidentificirano	11920	6496	4774	498	82	22		
UKUPNO	71600	31116	26106	6324	2634	766	40	10
Ukupne ostale identificirane i neidentificirane čestice: 138596/L								

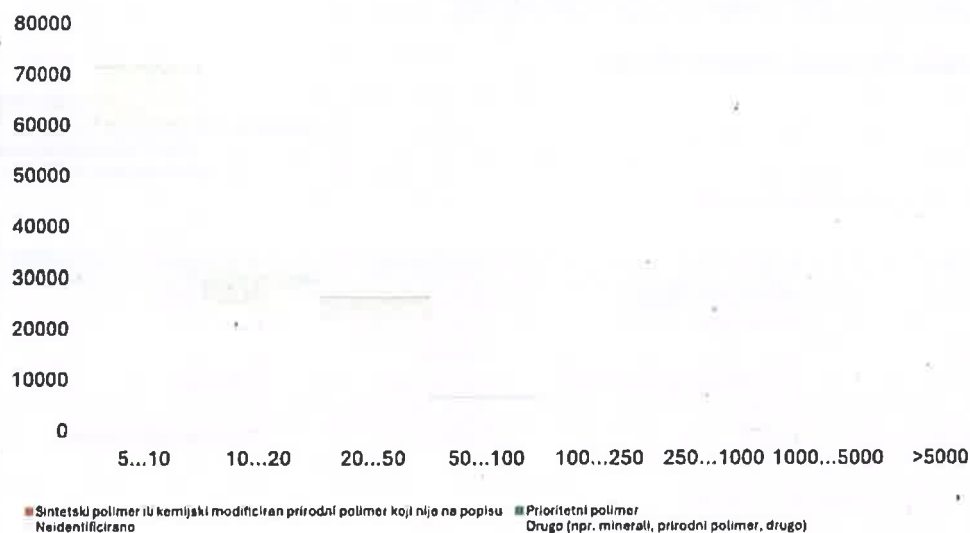


Grafikon 24. Distribucija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak O 3.7

Tablica 27. Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak O 3.7

TIP MP	5<PEP<10	10<PEP<20	20<PEP<50	50<PEP<100	100<PEP<250	250<PEP<1000	1000<PEP<5000	>5000
Prioritetni polimer								
Sintetski polimer ili kemijski modificiran	10		4	2				
Prirodni polimer koji nije na popisu								
Drugo (npr. minerali, prirodni polimer, drugo)	59680	24620	21332	5826	2552	744	40	10
Neidentificirano	11920	6496	4774	498	82	22		
UKUPNO	71610	31116	26110	6326	2634	766	40	10

Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini:
138612 /L



Grafikon 25. Distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak O 3.7



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MIKROPLASTIKE

6.6. ID Uzorka: IZV/O 3.8, Lokacija: Gospić

Br. izvješća: 006
Institut za vode „Josip Juraj Strossmayer“
Glavni laboratorij za vode
Datum izvješća: 07.08.2026.

OSNOVNI PODACI O UZORKOVANJU

PARAMETAR	POKAZATELJ	PARAMETAR	POKAZATELJ
Vrsta vode	PODZEMNA VODA	Datum uzorkovanja	08.05.2026.
Županija	Učko-senjska	Isporučitelj JIVU	/
Zona opskrbe	/	Crpilište	/
Koordinate	N 44°32'182" E 015°23'905"	Vodno tijelo	rijeka Lika
Volumen	1 ltra	Način uzorkovanja	/
Blizina urbanog središta	Gospić	Voda iz	Piezometarska bušotina

TERENSKI UVJETI I PARAMETRI VODE

UVJETI OKOLIŠA	POKAZATELJ	PARAMETAR VODE	POKAZATELJ
Vremenske prilike	/	Temperatura vode	/
Padaline prije uzorkovanja	/	Temperatura zraka	/
Antropogeni utjecaj	Komunalne i poljoprivredne aktivnosti	Dubina uzorkovanja	/

Napomena: /



Slika 14. Uzorak O 3.8



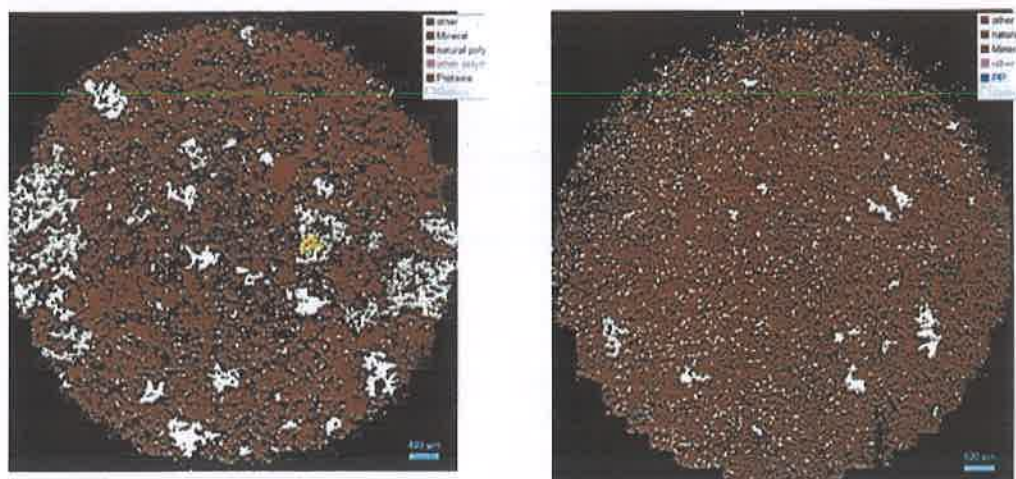
METODOLOGIJA ANALIZE

PARAMETAR	OPIS
Metoda	ODREĐIVANJE MIKROPLASTIKE U VODI S MALIM SADRŽAJEM SUSPENDIRANE TVARI
Referenca	ISO 16094-2:2025
Datum pripreme uzorka	02.08.2026.
Priprema uzorka	Direktno na silikonski filter 15µm i 5µm

KOMPONENTA	POSTAVKE
Datum snimanja uzorka	04.08.2026.
Faktor uzorka	2x/10x
Površina filtera analizirana spektroskopijom	100%
Instrument	HORIBA, LabRAM Soleil™ - konfokalni Raman mikroskopski spektrometar
Softver	LabSpec 6
Valna duljina lasera	532 nm
Objektiv	5x/20x
Difrakcijska rešetka	600 gr/mm
Spektralni raspon	200-3500 cm ⁻¹
Hit quality Indeks (HQI)	>75%
Način snimanja:	Mozaik

REZULTATI UKUPNE ANALIZE

POKAZATELJI	REZULTAT
Ukupni broj detektiranih čestica	138394 /L
Broj čestica potvrđenih Raman spektroskopijom	121494 /L
Udio potvrđenih čestica u analiziranom uzorku	87.79 %
Neidentificirane čestice	12.21 %
Broj čestica prioriternih polimera u potvrđenim česticama	10 /L
Broj čestica sintetskih polimera ili kemijskih modificiranih prirodnih polimera koji nisu prioritetni polimeri	26/L
Udio čestica prioriternih polimera u potvrđenim česticama	0.007 %
Identificirane čestice izvan kategorije prioriternih polimera	121458/L
Identificirane ostale čestice potvrđene Raman spektroskopijom	99.97 %
Ambijentalna slijeva proba 5 µm	0/96 h
Slijevi uzorak (CRM Blank)	Certificirano 4 ± 2 čestice, rezultat: 4 čestice, stopa povrata: 100%
Standardni uzorak (CRM Standard)	Certificirano 78 ± 11 čestica, rezultat: 73 čestice, stopa povrata: 93.59%

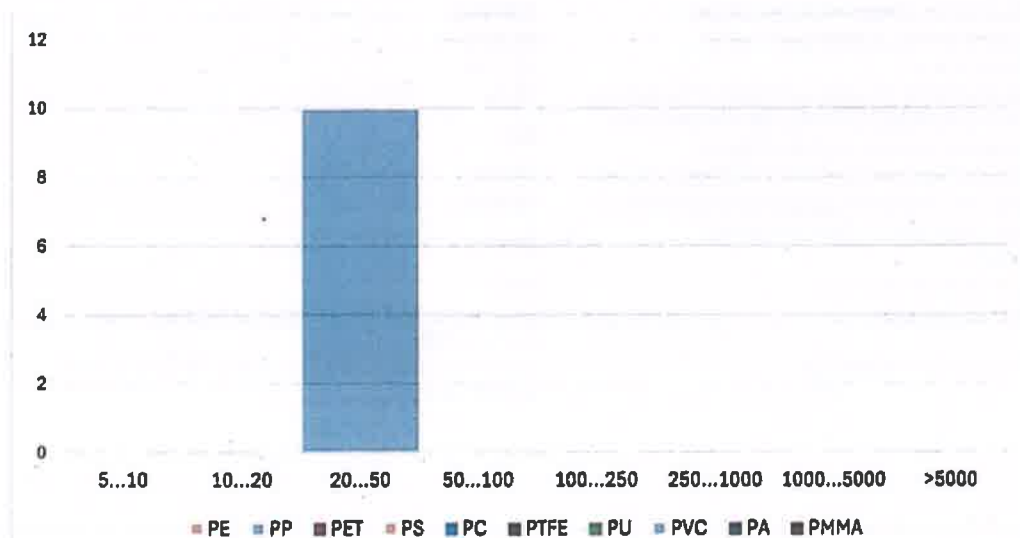


Slika 15. Prikaz filtera (15µm x 5µm,) raspodjele i sastava mikroskopskih čestica, Uzorak: O 3.8.

Tablica 28. Prioritetni polimeri prema obliku, Uzorak O 3.8

TIP MP	PE	PP	PET	PS	PVC	PA	PU	PMMA	PTFE	PC
Vlakna		10								
Čestice										
UKUPNO										

Broj prioriternih polimera: 10/L



Grafikon 26. Distribucija prioriternih polimera prema obliku, Uzorak O 3.8

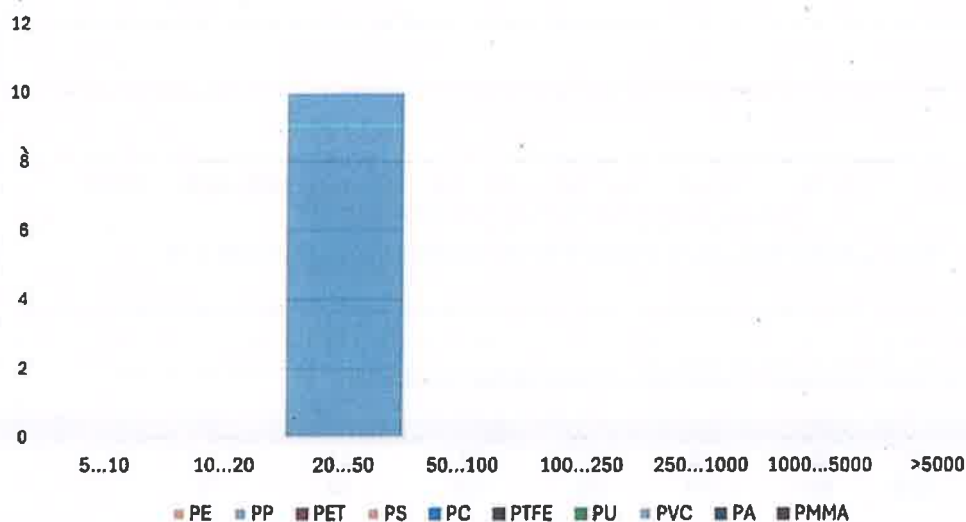


Tablica 29. Prioritetni polimeri prema veličinskim razredima, Uzorak O 3.8

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
PE								
PP			10					
PET								
PS								
PVC								
PA								
PU								
PMMA								
PTFE								
PC								
UKUPNO:			10					

UKUPAN BROJ PRIORITETNIH POLIMERA: 10/L

Opis korištenih kratica polimera sukladno ISO 16094-2:2025: PE - polietilen, PP - polipropilen, PET - poli(etilen-tereftalat), PS - polistiren, PVC - pol(vinil-klorid), PA - poliamid, PU - poliuretan, PMMA - poli(metil-metakrilat), PTFE - poli(tetrafluoretilen), PC - polikarbonat.

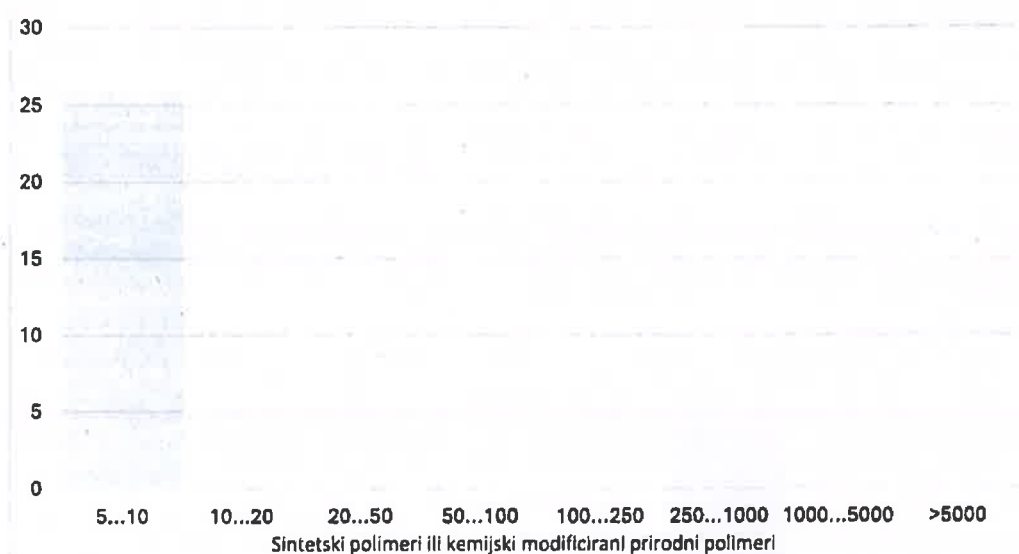


Grafikon 27. Distribucija prioriternih polimera prema veličinskim razredima, Uzorak O 3.8



Tablica 30. Koncentracija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak O 3.8

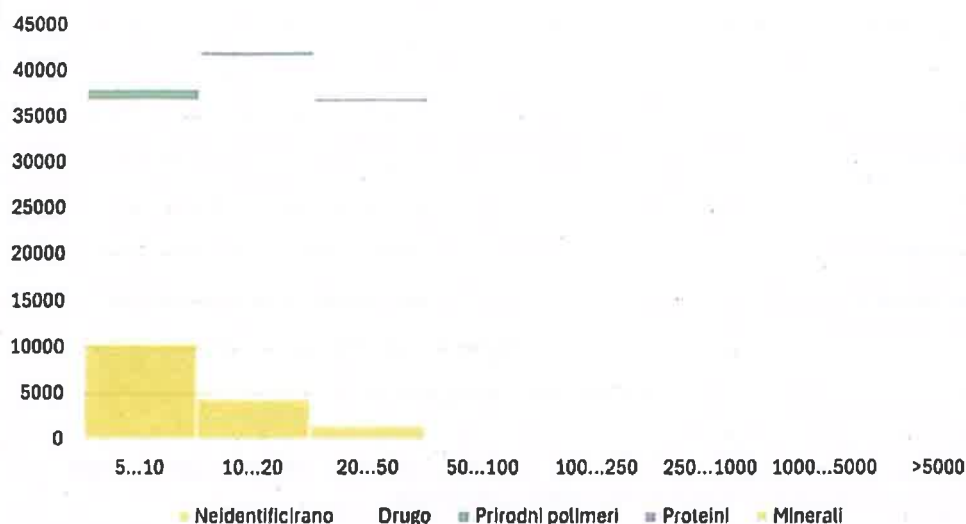
TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Drugi polimeri	26							
Ukupni ostali sintetski ili kemijski modificirani polimeri: 26 /L								



Grafikon 28. Distribucija ostalih sintetskih ili kemijski modificiranih polimera, Uzorak O 3.8

Tablica 31. Koncentracija ostalih identificiranih i neidentificiranih čestica, Uzorak O 3.8

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Minerali	288	182	102	44	42	12		
Prirodni polimeri	1302	550	476	192	154	92	2	
Proteini		2						
Druge tvari	26416	37238	35114	12206	5936	1078	30	
Neidentificirano	10456	4482	1552	170	156	84		
UKUPNO	38462	42454	37244	12612	6288	1266	32	
Ukupne ostale identificirane i neidentificirane čestice: 138358/L								

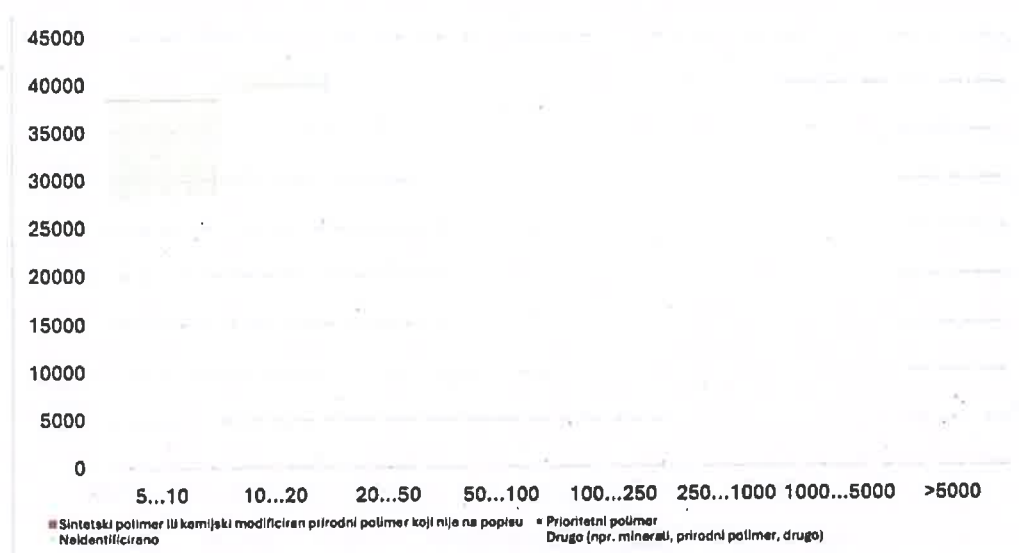


Grafikon 29. Distribucija ostalih identificiranih i nidentificiranih čestica, Uzorak O 3.8

Tablica 32. Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak O 3.8

TIP MP	5≤PEP<10	10≤PEP<20	20≤PEP<50	50≤PEP<100	100≤PEP<250	250≤PEP<1000	1000≤PEP<5000	>5000
Prioritetni polimer			10					
Sintetski polimer ili kemijski modificiran	26							
prirodni polimer koji nije na popisu								
Drugo (npr. minerali, prirodni polimer, drugo)	28006	37972	35692	12442	6132	1182	32	
Nidentificirano	10456	4482	1552	170	156	84		
UKUPNO	38488	42454	37254	12612	6288	1266	32	

Ukupan broj i distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini:
138394 /L



Grafikon 30. Distribucija svih detektiranih čestica prema kategoriji i veličini, Uzorak O 3.8

7. INTERPRETACIJA REZULTATA

Analizom masenih koncentracija ($\mu\text{g/L}$) i brojnosti čestica prioritetnih polimera u uzorcima podzemnih voda uočene su značajne prostorne, vremenske i kvalitativne varijacije u sastavu, masi te stupnju fragmentacije mikroplastike duž promatranog transeкта.

7.1. Prostorni raspored piezometarskih bušotina

Piezometarska bušotina Trag N nalazi se na južnom/jugoistočnom dijelu promatranog područja, na približno 5 m višoj nadmorskoj visini u odnosu na sjeverni dio lokacije na kojoj se nalaze piezometarske bušotine Trag K i Trag O. Visinska razlika predstavlja prostornu značajku istraživanog područja, međutim sama po sebi nije dovoljna za utvrđivanje smjera podzemnog toka niti mehanizma transporta podzemnih voda.

Rezultati analitičkih ispitivanja pokazuju jasno izražen prostorni gradijent raspodjele prioritetnih polimera između triju promatranih lokacija. Najniže opterećenje utvrđeno je na lokaciji Trag N, dok je najveća brojnost čestica i najveća masena koncentracija prioritetnih polimera utvrđena na lokaciji Trag K. Lokacija Trag O pokazuje znatno niže opterećenje prioritetnim polimerima od lokacije Trag K, iako je na njoj utvrđen veći broj neprioritetnih polimernih čestica.

Takva prostorna raspodjela predstavlja analitičku osnovu za daljnju interpretaciju mogućeg izvora onečišćenja, pri čemu određivanje stvarnih putova podzemnog transporta zahtijeva zasebna hidrogeološka istraživanja.

7.2. Vremenska dinamika analitičkih rezultata

Uzorkovanje označeno brojevima 3.7 i 3.8 provedeno je istog dana na istim lokacijama, ali vjerojatno u različitim vremenskim intervalima.

TRAG K (K3.7 i K3.8):

- Najizraženije promjene zabilježene su na lokaciji Trag K. U uzorku K3.7 utvrđena je vrlo visoka masena koncentracija $737,155 \mu\text{g/L}$ uz svega dvije čestice prioritetnih polimera, dok je u uzorku K3.8 izmjerena masena koncentracija $24,327 \mu\text{g/L}$ te 130 čestica prioritetnih polimera.

TRAG N (N3.7 i N3.8):

- Na lokaciji Trag N u uzorku N3.7 utvrđena je masena koncentracija prioritetnih polimera $0,114 \mu\text{g/L}$ i 6 čestica prioritetnih polimera, dok u uzorku N3.8 prioritetni polimeri nisu detektirani.

TRAG O (O3.7 i O3.8):

- Na lokaciji Trag O prioritetni polimeri nisu detektirani u uzorku O3.7, dok je u uzorku O3.8 utvrđena masena koncentracija $0,002 \mu\text{g/L}$ uz 10 čestica prioritetnih polimera. U usporedbi s lokacijom Trag K, rezultati ukazuju na znatno niži intenzitet onečišćenja.

7.3. Analitička interpretacija raspodjele prioritetnih polimera

Rezultati određivanja prioritetnih polimera pokazuju razlike između pojedinih lokacija.

Na lokaciji Trag N u uzorku N3.7 identificirane su četiri čestice polipropilena (PP) i dvije čestice politetrafluoretilena (PTFE). Polistiren nije utvrđen.

Na lokaciji Trag O u uzorku O3.8 identificirano je 10 čestica polipropilena (PP), nije utvrđena prisutnost polistirena.

Nasuprot tome, lokacija Trag K pokazuje povećano opterećenje polistirenom, koje nije utvrđeno na lokaciji Trag N i Trag O. Takav kemijski profil razlikuje lokaciju Trag K od ostalih istraživanih lokacija.

Istodobno, razlika između masene koncentracije i brojnosti čestica u uzorcima K3.7 i K3.8 ukazuje na prisutnost različitih frakcija polimernog materijala. U uzorku K3.7 dominantan doprinos masi ostvaruju dvije krupnije čestice polistirena, dok u uzorku K3.8 prevladava velik broj sitnijih čestica različitog kemijskog sastava (20 PE, 2 PP, 6 PET i 102 PS). Takva raspodjela u skladu je s poznatim fizikalnim

svojstvima mikroplastike, pri čemu nekoliko većih čestica može imati znatno veći doprinos ukupnoj masi od velikog broja sitnih čestica.

7.4. Integrirana interpretacija analitičkih rezultata

Provedene analize pokazuju jasno izražen prostorni i vremenski obrazac raspodjele prioritetnih polimera između istraživanih lokacija.

Na lokaciji Trag N utvrđeno je minimalno pozadinsko opterećenje prioritetnim polimerima, dok je na lokaciji Trag K zabilježena najveća brojnost čestica te najveća masena koncentracija prioritetnih polimera. Istodobno, lokacija Trag O pokazuje znatno niže opterećenje prioritetnim polimerima u odnosu na lokaciju Trag K, unatoč prisutnosti većeg broja neprioritetnih polimernih i ostalih čestica. Kemijski sastav identificiranih polimera dodatno razlikuje istraživane lokacije. Polistiren, koji predstavlja dominantan doprinos ukupnoj brojnosti i masenoj koncentraciji na lokaciji Trag K, nije utvrđen na lokacijama Trag N i Trag O. Takva raspodjela ukazuje na lokalizirano pojavljivanje polistirena unutar promatranog područja.

Usporedba rezultata između dvaju vremenskih intervala za sve tri piezometarske bušotine (3.7 i 3.8) pokazuje da raspodjela polimernih čestica nije bila ujednačena tijekom uzorkovanja. Razlike između masene koncentracije i brojnosti čestica upućuju na promjenjivu dinamiku pojavljivanja polimernog materijala u podzemnoj vodi, pri čemu se iz samih analitičkih rezultata ne može utvrditi mehanizam njegova transporta.

Izrazita razlika u količini i sastavu prioritetnih polimera između profila Trag K i Trag O ukazuje na izrazitu neujednačenost u distribuciji čestica unutar podzemnog sustava, pri čemu se specifični kemijski otisci bitno razlikuju po točkama uzorkovanja. Izmjereni analitički podaci pokazuju da je glavna masa i brojnost prioritetnih polimera detektirana na profilu (Trag K), dok profil Trag O bilježi znatno niže razine onečišćenja prioritetnim polimerima.

Analitički podaci ukazuju na sljedeće zaključke:

- Identifikacija primarnog unosa (eng. Chemical Fingerprinting): Na ulaznom profilu Trag N (uzorak N3.7) identificirane su isključivo čestice polipropilena (PP) i politetrafluoretilena (PTFE) u niskim koncentracijama ($0,114 \mu\text{g/L}$), dok polistiren (PS) nije identificiran. Sličan sastav uočava se na profilu Trag O (uzorak O3.7), gdje je također identificiran isključivo PP, bez prisutnosti PS-a. Potpuni izostanak polistirena na Tragu N te u uzorku O3.7 ukazuje na to da izmjerena visoka opterećenja polistirenom na Tragu K ne pristižu iz smjera prethodno navedenih profila N i O.
- Eluiranje i unos polistirena unutar obuhvata: Zabilježeni maseni skok polistirena na profilu Trag K ($737,155 \mu\text{g/L}$ u uzorku K3.7) te njegov izostanak na profilu Trag O upućuju na mogućnost da podzemna voda, prolaskom kroz međuprostor između točke N i točke K, dolazi u kontakt s lokaliziranim izvorom polistirena, što rezultira njegovim intenzivnim ispiranjem u vodenu fazu.
- Analitički aspekti mehanizma transporta: Zbog gustoće polistirena koja je bliska gustoći vode ($1,04\text{--}1,06 \text{ g/cm}^3$), eluirane čestice podliježu hidrauličkom naprezanju i fragmentaciji unutar podzemnih tokova. Dinamika rezultata u uzorku K3.8 (maseni skok i povećana brojnost) sugerira povremeni, pulsirajući prijenos čestica kroz vodonosnik.

7.5. Evaluacija pouzdanosti primljenjenog analitičkog modela

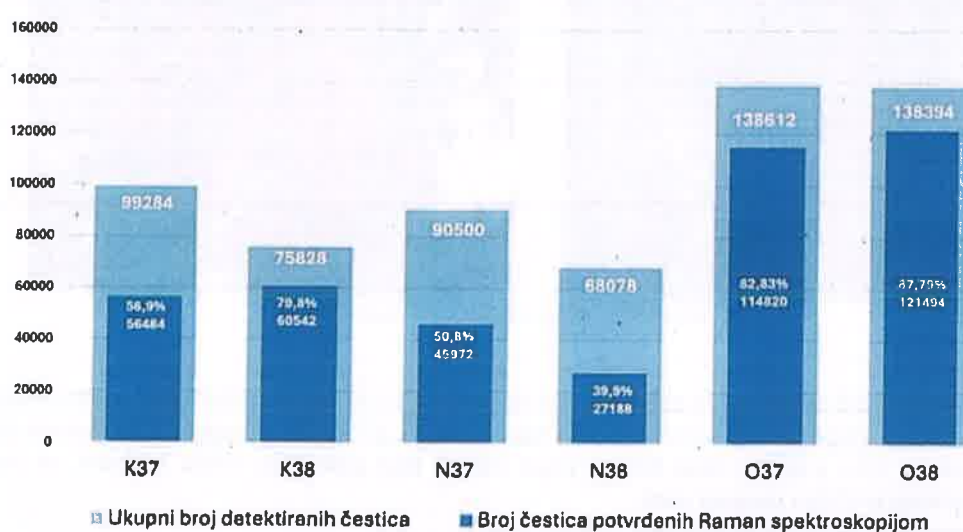
U sklopu analize primijenjena je automatizirana i integrirana metoda analize čestica na filterskoj silikonskoj membrani unutar softverskog paketa LabSpec 6, koja obuhvaća neprekinuti mjerni niz optičke detekcije i spektralne verifikacije.

1. Optičko mapiranje (Particle Finder): Softverski modul brzim slikovnim skeniranjem locira, mjeri i definira koordinate svih prisutnih čestica na površini membrane.

2. **Spektralna verifikacija (Raman spektroskopija):** Na temelju automatski generiranih koordinata, sustav u nastavku istog analitičkog niza provodi Ramanovo mikrospektrometrijsko snimanje svake locirane čestice te vrši usporedbu s referentnim bazama podataka.

Usporedbom rezultata primarne optičke detekcije i konačne spektralne verifikacije utvrđene su sljedeće analitičke činjenice:

- Visoki stupanj potvrde u čistim matriksima: Na uzorcima s lokacije Trag O (O3.7 i O3.8) ostvarena je iznimno visoka stopa spektralne potvrde primarno detektiranih čestica O3.7 od 82,83% (114.820 verificiranih od 138.612 optički uočenih) te na O3.8 87,79% (121.494 verificirane od 138.394 optički uočene čestice). Ovako visoki udio verifikacije potvrđuje preciznost metodologije u uvjetima minimalne prisutnosti interferirajućih tvari.
- Analitička selektivnost i kemijski uzroci u složenim matriksima: Na lokaciji Trag N (N3.8) zabilježeno je da stopa spektralne verifikacije iznosi 39,90% (27.188 spektralno potvrđenih čestica od 68.078 optički lociranih čestica). Razlika između broja lociranih čestica i spektralno potvrđenih čestica izravna je posljedica visoke selektivnosti sustava LabSpec 6, pri čemu se neverificirane čestice automatizirano svrstavaju u kategoriju „Outliera“ (nepotvrđenih spektara) uslijed sljedećih fizikalno-kemijskih uzroka:
 1. Interferencija prirodne organske tvari i huminskih kiselina: Prisutnost huminskih tvari pod utjecajem laserske zrake generira jaku autofluorescenciju koja prekriva Ramanove trake, uslijed čega sustav točno prepoznaje nemogućnost pouzdane spektralne identifikacije takvih čestica.
 2. Anorganski sediment i mineralne faze: Optički modul (Particle Finder) točno registrira fizikalnu prisutnost mineralnih čestica (silicijev dioksid/kvarc, silikati, kalcit, glina), dok integrirani Ramanov modul snima njihov karakteristični spektar i omogućuje njihovu preciznu mineralošku i kemijsku diferencijaciju od ostalih materijala.
 3. Fizikalna i optička ograničenja (Outlieri): Čestice nepristupačne geometrije, nepovoljnog nagiba u odnosu na fokalnu ravninu, površinski prekrivene mineralnim filmom ili dimenzijski blizu granice detekcije instrumenta (gdje je šum signala izraženiji) ne daju čist spektar te ih sustav automatizirano i bez lažnog pridruživanja svrstava u kategoriju nepotvrđenih spektara.



Grafikon 31. Odnos ukupno detektiranih čestica i spektralno potvrđenih čestica

Zaključak: Primljenjeni automatizirani analitički slijed u softveru LabSpec 6 osigurava metodološku cjelovitost ovog nalaza. Softverski modul Particle Finder obavlja svoju primarnu funkciju potpunog fizikalnog lociranja i mapiranja svih čestica na filteru, dok integrirana Ramanova spektroskopija unutar istog mjernog niza provodi pouzdanu spektralnu verifikaciju i kemijsku identifikaciju svake locirane čestice.

Provedenim analitičkim postupkom anorganski sediment (silikati, kvarc, minerali) i interferencije matriksa (huminske tvari) točno su definirani i diferencirani, dok su čestice bez nedvojbenog spektralnog otiska izolirane u kategoriju „Outliera“. Time je osigurano da konačni prikazani rezultati obuhvaćaju isključivo spektralno potvrđeni materijal, čime se isključuje mogućnost lažno pozitivnih nalaza ili nespecifičnog ubrojanja optičkih šumova.

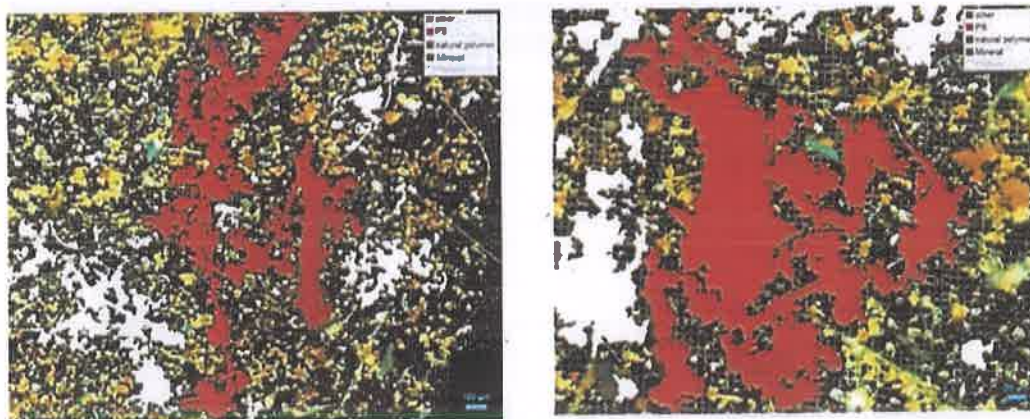
7.6. Odnos masene koncentracije i brojnosti prioriternih polimernih čestica

U cilju cjelovite evaluacije opterećenja vode, provedena je usporedna analiza izračunate masene koncentracije prioriternih polimera ($\mu\text{g/L}$) i ukupne brojnosti identificiranih čestica prioriternih polimera (n/L) po analiziranim uzorcima na lokacijama Trag K, Trag N i Trag O.

Analizom dobivenih omjera utvrđene su sljedeće analitičke činjenice:

Inverzni odnos mase i brojnosti na profilu Trag K (Disproporcija volumena/dimenzija čestica):

- Na uzorku K3.7 zabilježena je iznimno visoka masena koncentracija od 737,155 $\mu\text{g/L}$, uz svega 2 detektirane čestice prioriternih polimera. Ovakav odnos izravno ukazuje na prisutnost pojedinačnih čestica većih dimenzija (većeg volumena i mase), koje dominiraju ukupnim masenim udjelom iako je njihova brojnost minimalna. (Slika 16.)



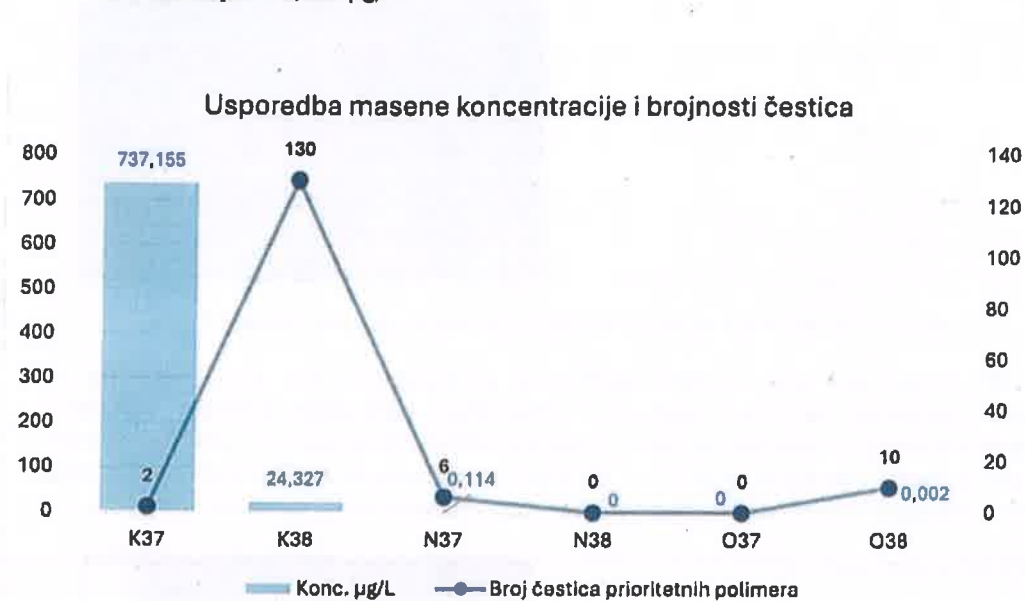
Slika 16. Prikaz velikih čestica polistirena (PS), Uzorak K3.7

- Na uzorku K3.8 zabilježen je obrnuti trend: izmjereno je 130 čestica prioriternih polimera po litri, dok je ukupna masena koncentracija niža i iznosi 24,327 $\mu\text{g/L}$. Navedeno potvrđuje da su u uzorku K3.8 prisutne sitne čestice (male mase), koje generiraju veliku brojnost, ali ne doprinose značajno ukupnoj masi.

Niske koncentracije i brojnosti na profilima Trag N i Trag O:

- Na lokaciji Trag N, uzorak N3.7 bilježi niske vrijednosti s masenom koncentracijom od 0,114 $\mu\text{g/L}$ i 6 čestica (4 čestice PP i 2 čestice PTFE), dok na uzorku N3.8 nije identificirana niti jedna čestica prioriternih polimera (0 $\mu\text{g/L}$; 0 čestica).

- Na lokaciji Trag O, uzorak O3.7 također ne pokazuje prisutnost prioritetnih polimera (0 $\mu\text{g/L}$; 0 čestica), dok se na uzorku O3.8 identificira 10 čestica polipropilena (PP) koje daju nisku masenu koncentraciju od 0,002 $\mu\text{g/L}$.

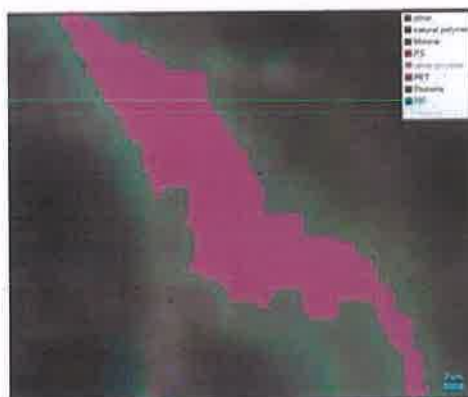
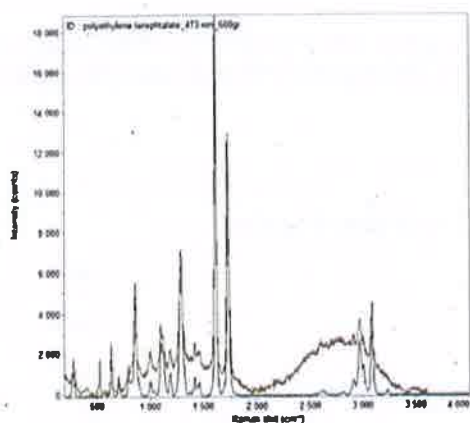


Grafikon 32. Usporedba masene koncentracije ($\mu\text{g/L}$) i brojnosti čestica prioritetnih polimera po analiziranim uzorcima

Usporedna analiza masene koncentracije i brojnosti čestica pokazuje da brojnost čestica sama po sebi nije izravan pokazatelj ukupne mase polimernog onečišćenja u vodi (Grafikon 32.). Pojedinačne čestice većih dimenzija (poput onih na uzorku K3.7) mogu maseno dominirati uzorkom, dok velika brojnost iznimno sitnih čestica (poput uzoraka K3.8 i O3.8) daje minimalan maseni doprinos. Zbog toga je za objektivnu procjenu opterećenja uzoraka praktično prikazivati i evaluirati oba parametra brojnost (n/L) i procijenjenu masenu koncentraciju ($\mu\text{g/L}$).

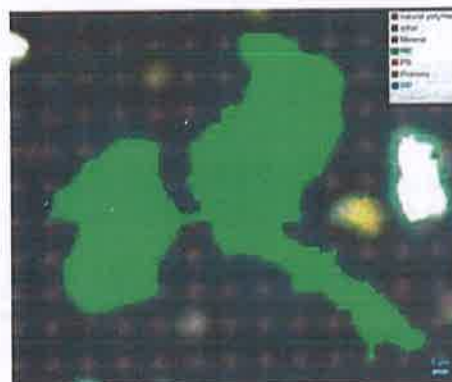
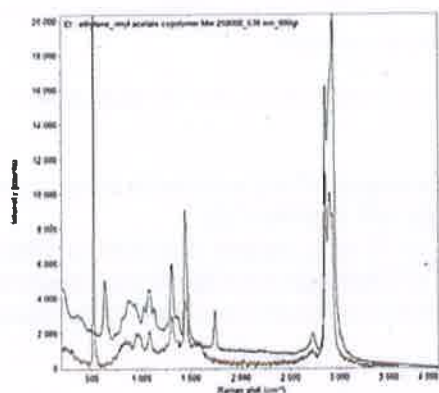
7.7. Mikroskopska i Ramanova spektralna karakterizacija pojedinačnih čestica

U nastavku su prikazani karakteristični mikroskopski snimci potvrđenih čestica prioritetnih polimera uz pripadajuće Ramanove spektre uspoređene sa spektrima iz referentne spektralne biblioteke. Usporedbom izmjerenih spektralnih traka s integriranim referentnim bazama spektralnih podataka nedvojbeno je potvrđena kemijska struktura i identifikacija prioritetnih polimera.



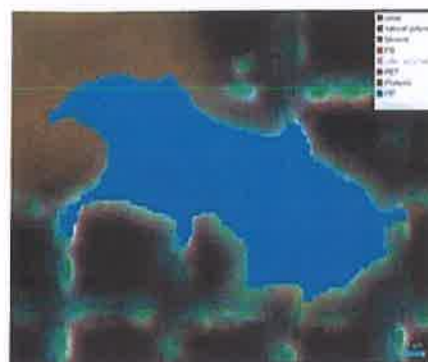
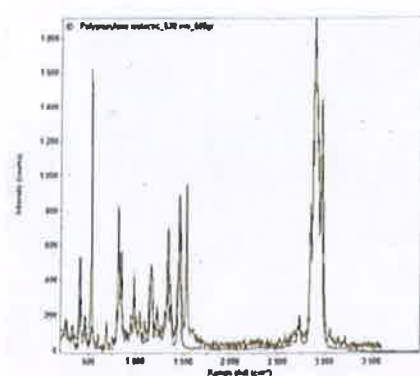
Slika 17. Prikaz čestice polietilentereftalata (PET) s pripadajućim spektrom, Uzorak K3.8

Karakteristične spektralne trake za PET: Identifikacija polietilen-tereftalata (PET) provedena je usporedbom izmjerenih Ramanovih spektara s referentnom bibliotekom polimera. Polietilen-tereftalat je nedvojbeno potvrđen na temelju karakterističnih vibracijskih maksimuma, osobito izrazito oštrog i dominantnog pika pri približno 1615 cm^{-1} , uz pripadajuće pikove oko 632 , 1100 , 1290 i 1725 cm^{-1} , koji zajedno čine stabilan i nedvosmislen spektroskopski otisak polietilen-tereftalata.



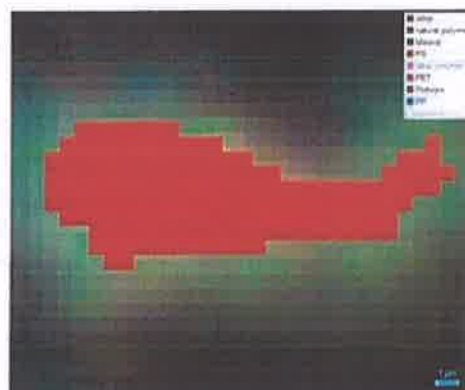
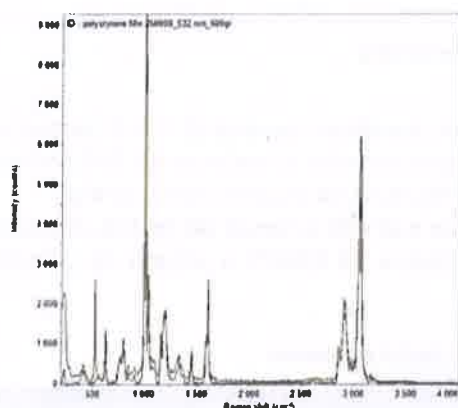
Slika 18. Prikaz čestice polietilena (PE) s pripadajućim spektrom, Uzorak K3.8

Karakteristične spektralne trake za PE: Identifikacija polietilena (PE) provedena je usporedbom izmjerenih Ramanovih spektara s referentnom bibliotekom polimera. Polietilen je nedvojbeno potvrđen na temelju karakterističnih vibracijskih maksimuma, osobito izrazito oštrog i dominantnih pikova pri približno 2848 i 2881 cm^{-1} , uz pripadajuće pikove oko 1062 , 1129 , 1295 i 1440 cm^{-1} , koji zajedno čine stabilan i nedvosmislen spektroskopski otisak polietilena.



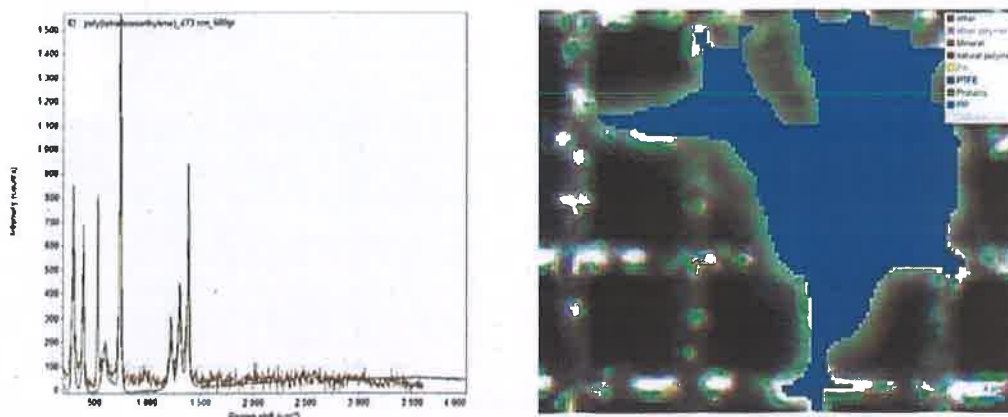
Slika 19. Prikaz čestice polipropilena (PP) s pripadajućim spektrom, Uzorak K3.8

Karakteristične spektralne trake za PP: Identifikacija polipropilena (PP) provedena je usporedbom izmjerenih Ramanovih spektara s referentnom bibliotekom polimera. Polipropilen je nedvojbeno potvrđen na temelju karakterističnih vibracijskih maksimuma, osobito izrazito oštrog i dominantnog pikova pri približno 2883, 2920 i 2953 cm^{-1} , uz pripadajuće pikove oko 809, 841, 1151 i 1458 cm^{-1} , koji zajedno čine stabilan i nedvosmislen spektroskopski otisak polipropilena.



Slika 20. Prikaz čestice polistirena (PS) s pripadajućim spektrom, Uzorak K3.8

Karakteristične spektralne trake za PS: Identifikacija polistirena (PS) provedena je usporedbom izmjerenih Ramanovih spektara s referentnom bibliotekom polimera. Polistiren je nedvojbeno potvrđen na temelju karakterističnih vibracijskih maksimuma, osobito izrazito oštrog i dominantnog pika pri približno 1001 cm^{-1} , uz pripadajuće pikove oko 620, 1031 i 1602 cm^{-1} , koji zajedno čine stabilan i nedvosmislen spektroskopski otisak polistirena.



Slika 21. Prikaz čestice politetrafluoroetilena (PTFE) s pripadajućim spektrom, Uzorak N3.7

Karakteristične spektralne trake za PTFE: Identifikacija politetrafluoretilena (PTFE) provedena je usporedbom izmjerenih Ramanovih spektara s referentnom bibliotekom polimera. Politetrafluoretilen je nedvojbeno potvrđen na temelju karakterističnih vibracijskih maksimuma, osobito izrazito oštrog i dominantnog pika pri približno 733 cm^{-1} , uz pripadajuće pikove oko 291 , 385 , 1298 i 1380 cm^{-1} , koji zajedno čine stabilan i nedvosmislen spektroskopski otisak politetrafluoretilena.

7.8 Rezultati identifikacije čestica i udjela prioriternih polimera

Spektroskopskom analizom uzoraka s lokacija K, N i O tijekom dva ciklusa mjerenja (3.7 i 3.8) ukupno je detektirano 610.696 čestica. Primjenom Raman spektroskopije potvrđen je sastav za 426.500 čestica, što predstavlja prosječnu stopu spektroskopske potvrde od 69,8% na cjelokupnom setu uzoraka. U ukupnom broju potvrđenih čestica, prioriterni polimeri čine mali udio od svega 148 čestica, odnosno svega 0,035% od ukupnog broja Ramanom potvrđenih čestica (ili 0,024% u odnosu na ukupno detektirane čestice).

Tablica 33. Ukupan broj detektiranih i Raman spektroskopijom potvrđenih čestica po uzorcima

Uzorak	Ukupni broj detektiranih čestica	Broj čestica potvrđenih Raman spektroskopijom	Broj čestica prioriternih polimera
K 3.7	99284	56484	2
K 3.8	75828	60542	130
N 3.7	90500	45972	6
N 3.8	68078	27188	0
O 3.7	138612	114820	0
O 3.8	138394	121494	10

Lokacija K (K 3.7 i K 3.8): Na ovoj lokaciji detektirano je ukupno 175.112 čestica, od kojih je 117.026 potvrđeno spektroskopski (prosječna stopa potvrde 66,8%). Lokacija K se ističe po najvećem broju prioriternih polimera s ukupno 132 potvrđene čestice, što čini čak 89,2% svih pronađenih prioriternih polimera u istraživanju. Posebno odskoče uzorak K 3.8 u kojem je identificirano 130 prioriternih polimera (0,215% potvrđenih čestica tog uzorka).

Lokacija N (N 3.7 i N 3.8): Bilježi najnižu ukupnu opterećenost s 158.578 detektiranih čestica i 73.160 spektroskopski potvrđenih čestica (prosječna stopa potvrde od 46,1%). Prisutnost prioriternih polimera iznosi ukupno 6 čestica (sve u uzorku N 3.7, dok u N 3.8 nisu detektirani).

Lokacija O (O 3.7 i O 3.8): Predstavlja lokaciju s najvećim ukupnim opterećenjem česticama. Zabilježeno je ukupno 277.006 detektiranih čestica (45,4% svih detektiranih čestica u istraživanju), od kojih je 236.314 potvrđeno Raman spektroskopijom (prosječna stopa potvrde viša od 85%). Unatoč visokom ukupnom broju čestica, broj prioriternih polimera na ovoj lokaciji iznosi ukupno 10 čestica (svi u uzorku O 3.8).

Tablica 34. Sažetak ukupnih rezultata analize čestica

Parametar	Ukupna vrijednost (Total)
Ukupno detektirane čestice	610696
Ukupno potvrđeno Raman spektroskopijom	426500
Prosječna stopa Raman potvrde	69,8%
Ukupno identificirani prioritetni polimeri	148
Udio prioriternih polimera u potvrđenim česticama	0,035%

8. ZAVRŠNO MIŠLJENJE

S analitičkog stajališta, usporedba dobivenih rezultata jasno diferencira tri promatrane lokacije te ukazuje na izražen prostorni obrazac raspodjele polimernih čestica u podzemnoj vodi.

Uzorci iz bušotine na Tragu N bilježe najniže ukupno opterećenje česticama i minimalnu prisutnost prioriternih polimera. U okviru provedenog istraživanja ta lokacija predstavlja referentnu točku koja odražava nisku razinu pozadinskog opterećenja podzemnog sustava.

Bušotinu na Tragu O karakterizira visok ukupan broj detektiranih čestica, pri čemu je udio prioriternih polimera neznatno veći u odnosu na Trag N. Analize pokazuju da većinu spektralno potvrđenih čestica na toj lokaciji čine neprioritetni polimeri.

Bušotina na Tragu K jasno se izdvaja od ostalih lokacija jer je u njoj identificirano 89,2% svih prioriternih polimera obuhvaćenih ovim istraživanjem. Istodobno su upravo na toj lokaciji utvrđene najveća brojnost čestica i najveća masena koncentracija prioriternih polimera.

Vremenska raspodjela rezultata pokazuje da akumulacija nije bila kontinuirana. Na to upućuje izrazito povećanje broja detektiranih čestica u uzorku K3.8. Takva dinamika može biti u skladu s povremenim odnosno pulsirajućim unosom polimernog materijala u vodonosnik. Dodatnu potporu takvoj interpretaciji daje nalaz u uzorku K3.7, u kojem su, za razliku od ostalih uzoraka, utvrđene dominantnije krupnije čestice polistirena uz visoku masenu koncentraciju. Takav nalaz može upućivati na povremeno ispiranje polimernog materijala kroz preferencijalne putove strujanja, uključujući podzemne krške kanale.

Iako utvrđivanje hidrogeološkog mehanizma transporta nije bilo predmet ovog analitičkog ispitivanja, izmjereni rezultati nedvojbeno pokazuju da se na izlaznoj točki Trag K pojavljuje izrazito povećana brojnost i masena koncentracija prioriternih polimera u odnosu na ostale istraživane lokacije.

Na temelju dobivenih analitičkih rezultata može se zaključiti da postoji prostorna povezanost između promatranog površinskog područja obuhvaćenog Tragovima K, O i N te utvrđenog onečišćenja podzemnih voda polimernim materijalom. Rezultati su u skladu s mogućnošću da polimerni materijal infiltracijom s površine dospijeva u podzemni vodonosnik.

Uzimajući u obzir da bušotina na Tragu N pokazuje tek minimalno pozadinsko opterećenje, dok bušotina na Tragu K bilježi izrazito povećanu brojnost čestica, najveću masenu koncentraciju i karakterističan sastav prioriternih polimera, analitički rezultati upućuju na zaključak da promatrano područje predstavlja najvjerojatniji izvor utvrđenog onečišćenja podzemnog sustava. Takav zaključak temelji se isključivo na rezultatima provedene analitičke obrade, dok bi konačna potvrda transportnog mehanizma i izvora onečišćenja zahtijevala zasebnu hidrogeološku analizu i dokazivanje putova strujanja podzemnih voda.

Potrebno je naglasiti da se rezultati provedenih analitičkih ispitivanja temelje na jednom dodatnom ciklusu uzorkovanja te predstavljaju stanje utvrđeno u trenutku provedbe uzorkovanja. Slijedom toga, na temelju dobivenih rezultata nije moguće donositi konačne zaključke o dugoročnim trendovima niti o sezonskoj dinamici pojavljivanja mikroplastike u podzemnim vodama. Za takvu bi procjenu bilo potrebno provesti sustavni monitoring kroz dulje vremensko razdoblje.

Cjelokupan analitički proces koji obuhvaća pripremu uzoraka, spektralnu analizu Ramanovom mikrospektroskopijom te konačnu statističku obradu podataka i izradu izvješća proveden je u Glavnom laboratoriju za vode Instituta za vode „Josip Juraj Strossmayer“. Autori analize i pripadajućeg tekstualnog dijela su () i () a rad je realiziran za potrebe izrade službenog „Izvješća po Nalogu USKOK-a o fizikalno-kemijskoj analizi mikroplastike u uzorcima podzemnih voda“.

U Zagrebu, 09. kolovoza 2026.

