



NANOPLASTIKA V VODI IZ PLASTENKE

Ana Kočnar, Metka Velikonja

Mestna občina Celje, Mladi za Celje
SIC Alme M. Karlin, Celje

Mentorja: Mitja Suvajac
Darja Rizmal

Celje, 2025

POVZETEK

V raziskovalni nalogi obravnavamo pojav delcev mikroplastike in nanoplastike v različnih vzorcih komercialnih plastenk vode ter jih primerjamo še z vzorcem vode iz steklenice in plastenke za večkratno uporabo. Preučujemo trde delce, ki so prisotni v vzorcih vode. Obravnavamo tudi problem ogrožanja okolja in zdravja ljudi. Z mikroskopiranjem dokažemo prisotnost mikroplastičnih delcev v vzorcih vode iz plastenke. Prisotnost nanoplastike pa v nadaljevanju potrdimo še z rezultati ramanske spektroskopije. Poleg dokazovanja mikroplastike in nanoplastike v vzorcih je naš cilj raziskati njuno pojavnost in bolje razumeti njun pomen.

Ključne besede: mikro in nano plastika, analiza, voda, ramanska spektroskopija

ABSTRACT

In this research, we examine the occurrence of microplastic and nanoplastic particles in various samples of commercial water bottles, and compare them with a sample of water from a glass bottle and a reusable plastic bottle. We study the solid particles present in water samples. We also address the problem of endangering the environment and human health. We demonstrate the presence of microplastic particles in bottled water samples using microscopy. The presence of nanoplastics is further confirmed with the results of Raman spectroscopy. In addition to demonstrating microplastics and nanoplastics in the samples, our goal is to investigate their occurrence and better understand their significance.

Keywords: micro and nano plastics, analysis, water, Raman spectroscopy

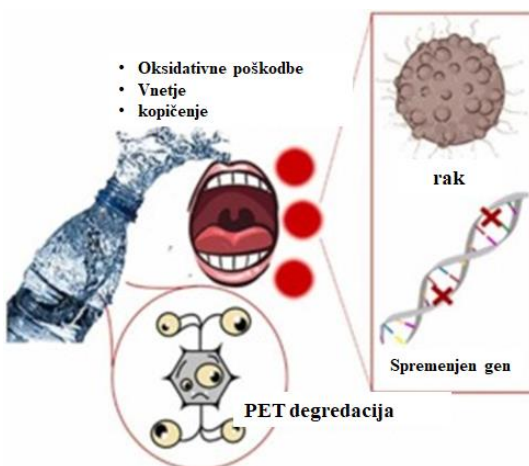
KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	HIPOTEZE	2
1.2	CILJI	3
2	NANOPLASTIKA IN MIKROPLASIKA	3
3	KEMIJSKA STRUKTURA IN VRSTE PLASTIKE	4
3.1	POLIETILEN	4
3.2	POLIETILEN VISOKE GOSTOTE	5
3.3	POLISTIREN	6
3.4	POLIPROPILEN	7
3.5	POLIKARBONAT	7
4	NASTANEK DELCEV	9
5	RAMANSKA SPEKTROSKOPIJA	10
6	VZORCI IN METODOLOGIJA	11
7	REZULTATI	14
7.1	REZULTATI ANALIZE DELCEV S SVETLOBNIM MIKROSKOPOM	14
7.2	REZULTATI ANALIZE DELCEV Z RAMANSKIM SPEKTROMETROM	18
7.3	ANALIZA HIPOTEZ	19
8	ZAKLJUČEK	20
	VIRI IN LITERATURA	21

1 UVOD

Onesnaženje vode z mikroplastiko in nanoplastiko predstavlja globalni okoljski in zdravstveni izziv [1,2,3,4]. Malomarnost pri ravnanju s plastičnimi odpadki je povzročila znatno škodo naravi. Od leta 1950 se je obseg proizvodnje plastike strmo povečal, leta 2019 pa dosegel kar 360 milijonov ton [1]. Po napovedih naj bi se proizvodnja plastike do leta 2050 potrojila [2]. Letno se globalno ustvari približno 300 milijonov ton plastike, pri čemer 13 milijonov ton konča v rekah in oceanih, kar naj bi do leta 2025 prispevalo h kumulativni količini 250 milijonov ton plastike v vodnih virih [4].

Naraščajoče kopičenje plastičnih odpadkov v okolju prinaša pomembne izzive, povezane z onesnaženjem z mikroplastiko in nanoplastiko [3,4]. Vpliv onesnaženja s plastiko na ekosisteme ter zdravje ljudi je zaskrbljujoč [1,2,3,4]. Plastični delci lahko v telo posameznikov vstopijo iz zraka z dihanjem, prek stika s kožo ali z uživanjem živilskih izdelkov. Mikroplastika in nanoplastika lahko v organizem prideta tudi posredno, na primer prek izdelkov za osebno nego, kot so balzami za ustnice, zobne kreme ali kozmetični izdelki. Razširjena uporaba plastike in njena prisotnost v naravi sta povzročili pojav mikroplastike v prehranski verigi, kar povečuje izpostavljenost potrošnikov. Čeprav so raziskave odkrile mikroplastiko v pitni vodi, morskih sadežih, sladkorju, soli, medu in pivu, ostaja dostopnih le malo podatkov o mikroplastiki v hrani [2].



Slika 1: Prikaz spremembe genov ob zaužitju vode kontaminirane z mikroplastiko, povzeto po viru [1].

To delo se osredotoča predvsem na makro- in mikroonesnaženje s plastiko. Malo je znanega o obsegu in značilnostih nanoplastne plastike v naših sistemih za pitno vodo – predvsem zaradi težav pri njeni izolaciji. Ta nanoplastika lahko predstavlja večje tveganje za zdravje ljudi kot mikroplastika. Poročali smo o zbiranju in analizi organskih nanodelcev iz komercialnih plastenkov vode. Uporabljene so bile sodobne tehnike slikanja nanoplastičnih delcev in analize molekularne strukture [1].

Pripombe dodal [VB1]: Tule manjka pomožni glagol: so, bomo ...?

V zadnjem desetletju je skrb za plastične odpadke postala vroča tema v znanosti in vsakdanjem življenju. Zaskrbljujoče informacije o razdrobljenosti plastike na manjše delce, npr. mikroplastiko (razpon velikosti 1 μm –5 mm) in nanoplastiko (1 nm–100 nm), so aktualna tema. Raziskovalci poskušajo razumeti lastnosti teh delcev v vodnem okolju, vendar je ena stvar gotova: plastični odpadki v vodnih okoljih razpadajo na manjše delce zaradi dejavnikov, kot so ultravijolična svetloba iz sonca in mehanska abrazija plavajočih in potopljenih plastičnih odpadkov. Mehanska abrazija je lahko posledica interakcije plastike z drugimi trdnimi mediji, kot je pesek, z vodo in vetrom [4].

1.1 HIPOTEZE

Glede na teoretično osnovo in naša predvidevanja smo si v raziskovalni nalogi postavili pet hipotez.

Hipoteza 1: V plastenkah bo prisotna mikroplastika in nanoplastika, v steklenici pa ne.

Hipoteza 2: Vsebnost mikroplastike in nanoplastike se razlikuje glede na vrsto plastike, iz katere je narejena plastenka.

Hipoteza 3: Vsebnost mikroplastike in nanoplastike se razlikuje glede na vrsto tekočine, ki je shranjena v plastenki.

Hipoteza 4: Prisotnost mikroplastike in nanoplastike je odvisna od znamke plastenkov.

Hipoteza 5: Ramanski spektrometer bo zaznal delce nanoplastike v vodi iz plastenkov.

1.2 CILJI

Naš cilj je raziskati pojavnost mikroplastike in nanoplastike v različnih vzorcih vode, ki jo lahko najdemo v plastenkah, iz katerih pijemo v vsakodnevnem življenju in bolje razumeti njun pomen.

2 NANOPLASTIKA IN MIKROPLASTIKA

Zaznavanje in vizualizacija mikroplastike ter nanoplastike ostajata kompleksni in izmuzljivi zaradi pomanjkanja zanesljivih analitičnih metod in eksperimentalnih pristopov, še posebej pri nanoplastiki v majhnih koncentracijah. Zaradi svoje majhnosti in raznolike kemične sestave mikroplastika in nanoplastika zlahka prehajata skozi faze čiščenja vode in odpadnih vod, kar povzroča težave pri stabilnosti čistilnih procesov [4]. Proces zaznavanja delcev mikroplastike in nanoplastike je izjemno zahteven, kar potrjuje potrebo po naprednih metodah. Ena od najbolj učinkovitih tehnik za zaznavanje delcev v majhnih koncentracijah je izboljšana ramanska spektroskopija, po angleško »Surface Enhanced Raman Spectroscopy« ali nakratko SERS. Ta metoda je zelo zanesljiva pri standardnem zaznavanju nanoplastike, kot je polistiren, z velikostjo do 50 nm in koncentracijo 0,001 % ($1,5 \times 10^{11}$ delcev/ml).

Izboljšana ramanska spektroskopija (SERS) omogoča zaznavanje nanoplastike, na primer polietilen tereftalata, iz ustekleničene pitne vode, ki ima povprečno velikost približno 88,2 nm. Koncentracija vzorca znaša okoli 10^8 delcev/ml. S pomočjo analize sledenja nanoplastiki je letna poraba nanoplastike pri odraslih ob dnevnem uživanju dveh litrov vode ocenjena na približno 10^{14} delcev. Izjemna občutljivost in zanesljivost izboljšane ramanske spektroskopije (SERS) predstavljata učinkovito orodje za zaznavanje nanoplastike v sledovih, kar odpira nove možnosti za raziskave in izboljšanje vodnih virov.

V našem poskusu smo z računalniškimi metodami izmerili delce, ki smo jih zaznali pod mikroskopom in zanje predvidevali da so delci mikroplastike. Izmerjeni fragmenti so v velikostnem rangu, ki pritičejo mikroplastiki.



Slika 2: Delec mikroplastike v vzorcu.

3 KEMIJSKA STRUKTURA IN VRSTE PLASTIKE

Najpogostejši sintetični polimer, prisoten v ustekleničeni vodi, je poliester, sledijo mu polietilen tereftalat, polipropilen, poliamid in polistiren. Embalaža je glavni vir kontaminacije z mikroplastiko, saj lahko polistiren in polietilen tereftalat sproščata delce iz plasten, medtem ko sta polietilen visoke gostote in polipropilen običajni sestavini pokrovčkov. Študije so pokazale, da imajo povratne steklenice višjo stopnjo kontaminacije mikroplastike zaradi povečane izpostavljenosti fizičnim in toplotnim obremenitvam med pranjem in ponovno uporabo. Pomemben je delež mikroplastike v pitni vodi iz pipe, ki ni v stiku z embalažo, ki kaže na možno onesnaženje okolja in zraka v polnilnicah ter čistilnicah.

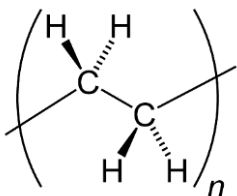
V pitni vodi se med izoliranimi delci največkrat pojavi polietilen, sledijo mu poliester, polipropilen, poliamid, polivinil klorid, polietilen tereftalat in polistiren. Onesnaženje z mikroplastiko v pitni vodi izvira iz cevi in procesov vzdolž distribucijskih sistemov, izolirani delci so najpogosteje polietilen, polipropilen in polivinilni klorid, ali pa poliamid [2].

Za uspešne nadaljnje raziskave je bistveno razumevanje osnovnih vzorcev plastike v plastenkah, ki jih preučujemo. Kot glavna sestavina plasten je to predvsem polietilen ter polietilen visoke gostote kot osrednji material zamaškov.

3.1 POLIETILEN

Polietilen, večkrat označen z oznako PE, je vosku podoben termoplast, ki se zmehča pri približno 80–130 °C, njegova gostota pa je manjša od gostote vode.

Kljub temu, da ima polietilen najpreprostejšo osnovno strukturo katerega koli polimera, je največji tonažni plastični material. Glavne privlačne lastnosti polietilena so njegova nizka cena, odlična električna izolacija v širokem frekvenčnem razponu, zelo dobra kemična odpornost, primeren je za predelavo, žilavost, fleksibilnost preglednost. Večina polimernih izdelkov, predvsem embalaže iz PE in PP, je optimizirana samo za enkratno življenjsko dobo. Ko se ta izteče in želimo izdelek reciklirati, je material degradiran. Degradacija pomeni spremembo v polimerni strukturi, npr. pretrganje glavnih polimernih verig in nastanjanje novih vezi med njimi. Na degradacijo polietilena vplivajo predvsem mehanske in temperaturne obremenitve, prav tako pa jo stopnjujeta tudi UV sevanje in oksidacija. Posledično dobimo več krajših in bolj razvejanih verig z manjšo molsko maso in drugačno masno razporeditev [5,7].



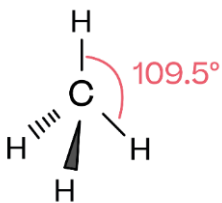
Slika 3: Prikazuje ponavljajoče se enote v polietilenu

3.2 POLIETILEN VISOKE GOSTOTE

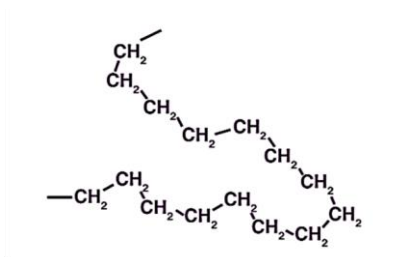
Polietilen visoke gostote (angleško-High-density polyethylene) ima oznako HDPE oz. PEHD pa tudi HDP.

Kemijska sestava je (-CH₂-CH₂-). Je linearni ogljikovodik, ki je produkt polimerizacije etilena in velja za okolju bolj prijazno plastiko. Je vsestranski in trpežen plastični material, ki se uporablja v številne industrijske in potrošniške namene. Zahvaljujoč svojim lastnostim, kot so odpornost na kemikalije in mehanske obremenitve, je idealen za izdelavo cevi, posode in embalaže [6,7].

Kljub odpornosti še vedno prihaja do degradacije. To so lahko mehanske in temperaturne obremenitve, oksidacija in UV sevanje, ki povzročajo degradacijo polimernih verig. Svetloba v UV spektru povzroča fotooksidacijo. Posledica tega pa je degradacija in pretrganje glavnih polimernih verig.



Slika 4: Molekula polietilena visoke gostote



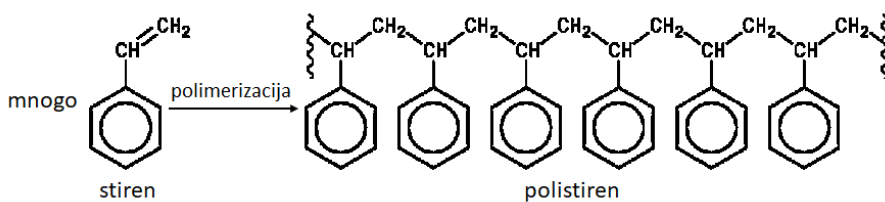
Slika 5: Sestava molekule polietilena visoke gostote.

Ostale vrste plastike, ki jih najdemo, vendar v manjši koncentraciji, navajamo v nadaljevanju.

3.3 POLISTIREN

Polistiren je velikokrat označen s kratico PS. Polistiren ima prevodne lastnosti in dialektično trdnost, zaradi katerih je dober izolator. Je trpežen termoplast, za katerega na splošno velja, da ni biorazgradljiv. V naravnem okolju sicer prihaja do biološke razgradnje polistirena, vendar zelo počasi, zato dolgo časa ostaja kot trden odpadek. Kemijska sestava je $(-\text{CHC}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{n})$. Polistiren se največkrat uporablja za embalažo hitre prehrane, npr. skodelic. Kljub nekaterim pomislekom zaradi možnih kancerogenih učinkov so polistiren za uporabo v živilsko prehranski panogi dovolili v ZDA in EU.

Raziskane so bile mehanske, strukturne in morfološke lastnosti polistirena pod vplivom utrujanja v kombinaciji s pospešenim staranjem. Spremembe, ki jih povzroči obsevanje, so bile ocenjene s fizikalnimi in mehanskimi preizkusi. Rezultati so pokazali, da je bila mehanska odpornost pod vplivom utrujanja (napetost–napetost) v kombinaciji z izpostavljenostjo najintenzivnejšemu UV sevanju v intervalu valovnih dolžin od 280 do 320 nm v obdobju od 336 do 575 ur nižja v primerjavi s polistirenom, ki ni bil obsevan [6, 8, 9, 10].

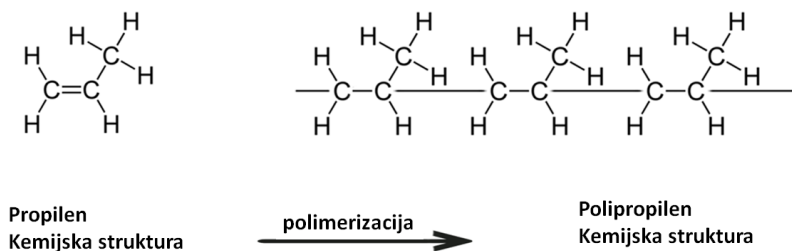


Slika 6: Kemijska formula polistirena. Povzeto po viru [9].

3.4 POLIPROPILEN

Polipropilen z oznako PP je sintetična smola, ki nastane s polimerizacijo propilena. Spada v pomembno skupino poliolifinskih smol in se uporablja za brizganje ali ekstruzijo v številne plastične izdelke, v katerih so potrebne lastnosti, kot so trdnost, prožnost, majhna teža in odpornost na toploto. Prav tako se predeluje v vlakna za uporabo v industrijskih in gospodinjstvih tekstilnih izdelkih. Propilen se lahko polimerizira tudi z etilenom, da nastane elastičen etilen-propilen kopolimer.

Polimerizacija je tehnika, s katero se proizvaja plastični polipropilen. Najprej je treba pridobiti monomer propilen, kar je mogoče doseči z uporabo zemeljskega plina ali fosilnih goriv. Ko je monomer propilena ekstrahiran, gre skozi kemijski proces, imenovan polimerizacija, pri katerem se molekule monomera združijo in tvorijo dolge verige polipropilena [11, 12].



Slika 7: Polimerizacija propilena, da nastane polipropilen. Povzeto po viru [11].

Polipropilen je v svoji osnovni obliki zelo občutljiv na degradacijo zaradi UV-sevanja. Po dolgotrajni izpostavljenosti postane material krhek. Pravzaprav lahko osnovni polipropilen po šestih dneh izpostavljenosti visoko intenzivnemu UV-sevanju izgubi do 70 % svoje mehanske trdnosti. Kljub dodatkom pa se bo polipropilen ob dolgotrajni izpostavljenosti sončni svetlobi še vedno razmeroma hitro razgradil.

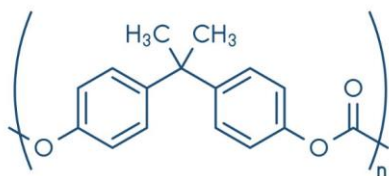
Polipropilen je občutljiv na ultravijolične valovne dolžine 290–300 nm, 330 nm in 370 nm, ki predstavljajo spektralne maksimume razgradnje polipropilena [13].

3.5 POLIKARBONAT

Polikarbonat označen tudi s številko 7 ali PC je amorfen termoplast, ki trenutno postaja ena najhitreje rastočih inženjerskih plastik zaradi svojih edinstvenih lastnosti. Njegova uporaba v inženjerskem sektorju je predvsem posledica izjemne udarne trdnosti, žilavosti, dobrih

električnih lastnosti in dimenzijske stabilnosti. Polikarbonat lahko reagira in proizvaja bisfenol A, snov, ki je dokazana kot škodljiva za zdravje ljudi, zaradi česar so raziskave osredotočene predvsem na izkoristek bisfenola A pri različnih reakcijskih pogojih.

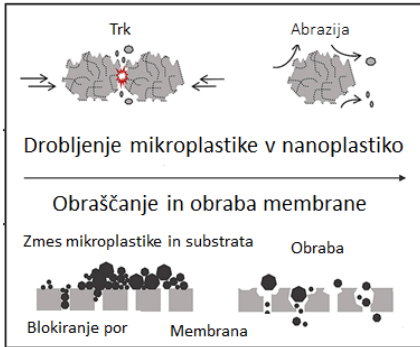
Ko sončna svetloba pade na polikarbonat, molekule polikarbonata absorbirajo energijo določenih valovnih dolžin v UV-spektru, pri čemer to še posebej velja za estrske skupine in aromatske obročje, ki so močni absorberji UV-sevanja. Absorbirana energija lahko povzroči pretrganje kovalentnih vezi, kar sproži fotooksidacijo in foto-Friesove reakcije [16, 17].



polikarbonat

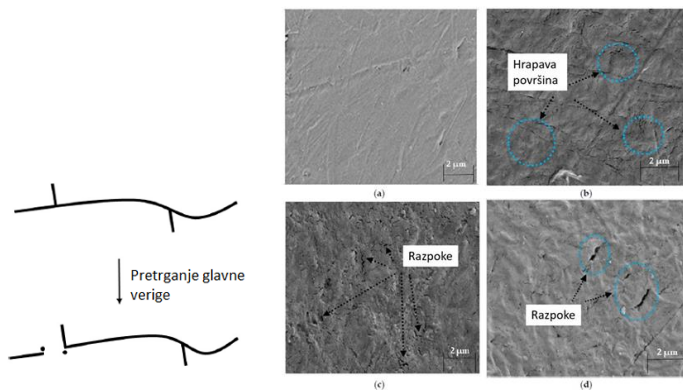
Slika 8: Struktura polikarbonata [18].

4 NASTANEK DELCEV



Slika 9: Prikazuje drobljenje mikroplastike v nanoplastiko. Povzeto po viru [4].

Nanoplastika in mikroplastika nastaneta zaradi fragmentacije večjih plastičnih izdelkov zaradi vpliva UV-svetlobe, mehanskega obrabljanja, hidrolize in temperaturne obrabe. [4] Pri tem pride do obrabe, ki povzroči pretrganje verig v molekuli. Različne oblike obrabe privedejo do degradacije delcev, ki je vidna v razpokah na površini plastenk. [7]



Slika 10: Ponazarja pretrganje glavnih verig, ki vodijo do degradacije plastike, povzeto po viru [7].

Slika 11: Pretrgane vezi so vidne kot razpoke, povzeto po viru [7].

5 RAMANSKA SPEKTROSKOPIJA

Ramanska spektroskopija je neporušna kemijska analiza, ki zagotavlja podrobne informacije o kemijski strukturi, fazi in polimorfiji, kristaliničnosti ter medmolekulskih interakcijah. Temelji na interakciji svetlobe s kemijskimi vezmi v materialu. Ramanova tehnika temelji na sipanju svetlobe, pri čemer molekula sipa vpadno svetlobo iz visoko intenzivnega laserskega vira. Večina sipane svetlobe ima enako valovno dolžino ali barvo kot laserski vir in ne nudi uporabnih informacij – ta pojav imenujemo Rayleighovo sipanje. Ramanska spektroskopija preiskuje kemijsko strukturo materiala in zagotavlja informacije o kemijski strukturi in identiteti, fazi in polimorfiji, notranjih napetostih, kontaminaciji in nečistočah. Ramanska spektroskopija se lahko uporablja za mikroskopsko analizo s prostorsko ločljivostjo v velikostnem redu 0,5–1 μm . Takšna analiza je mogoča z uporabo ramanovega mikroskopa.

Ramanov mikroskop združuje ramanski spektrometer s standardnim optičnim mikroskopom, kar omogoča vizualizacijo vzorca pri visoki povečavi ter ramanovo analizo z mikroskopsko lasersko točko.

Ramanov spekter vključuje vrhove, ki prikazujejo intenziteto in položaj valovnih dolžin sipane svetlobe. Posamezen vrh ustreza specifičnim molekulskim lastnostim, med drugim posameznim vezem, kot so C-C, C=C, N-O, C-H, in skupinam vezi, kot so vibracije benzenovih obročev, polimernih verig ter mrežni načini [14, 15].

Energijske vrednosti, ki ustrezajo Ramanovim premikom frekvence, so povezane s prehodi med različnimi rotacijskimi in vibracijskimi stanji sipajoče molekule. Čisti rotacijski premiki so majhni in jih je težko opaziti, razen pri preprostih plinih. V tekočinah so rotacijski gibi ovirani, zato diskretnih rotacijskih Ramanovih črt ne opazimo. Večina Ramanovih raziskav se osredotoča na vibracijske prehode, ki povzročajo večje premike in so opazni pri plinih, tekočinah in trdnih snoveh. Ker imajo plini pri običajnih tlakih nizko molekularno koncentracijo, proizvajajo zelo šibke Ramanove učinke, zato se pogosteje preučujejo tekočine in trdne snovi [19].

V našem primeru se je ramanska spektroskopija izkazala kot koristno orodje pri prepoznavanju izoliranih delcev nanoplastike v analiziranih vzorcih. Njena sposobnost podrobne analize kemijske strukture ter vibracijskih načinov molekul nam omogoča identifikacijo nanodelcev, kar je ključno pri raziskavah onesnaženja vzorcev s plastiko.

6 VZORCI IN METODOLOGIJA

Ko smo seznanjeni z vsemi zgoraj navedenimi dejstvi, izberemo vzorce za poskus, s katerim želimo preučiti prisotnost mikroplastike in nanoplastike v plastenkah, iz katerih vsakodnevno pijemo. V poskusu smo uporabili različne metode dela, kot so vzorčenje vode, laboratorijske analize, mikroskopiranje, merjenje delcev, ramanska metoda in računalniško delo. Za poskus smo uporabili plastenke znanih znamk vod, ki so dostopne v večini živilskih trgovin. To so plastenke Smart Water, Dana, Radenska, Zala z okusom ter voda iz pipe v plastenki za večkratno uporabo, voda iz pipe v steklenici, destilirana voda in voda, ki smo ji namerno dodali plastične delce.



Komercialne plastenke



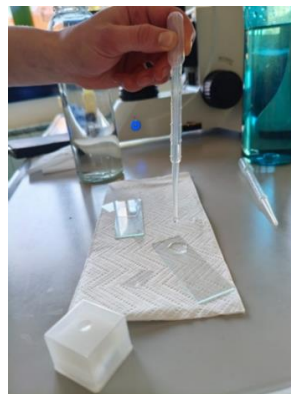
Steklenica levo in plastenka za večkratno uporabo desno



Namerno onesnažena voda

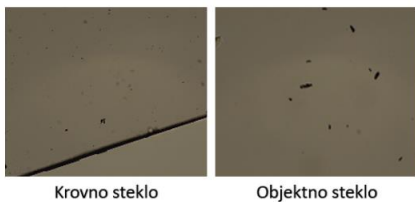
Slika 12: Vzorca vode v originalnih embalažah.

Še neodprte plastenke vode smo pretresli in poskrbeli za nekaj obrabe, do katere pride tudi v vsakdanjem življenju, v predvidevanju, da bomo v vzorcih zaradi tega opazili mikroplastiko. Pred preučevanjem smo pod drobnogled vzeli objektna in krovna stekla ter se prepričali, da na njih ni kakršnih koli motenj, ki bi nam onemogočile opazovanje mikroplastike. Ko smo se prepričali, da so pogoji za izvedbo sterilni, smo začeli pripravljati preparate. Najprej smo iz sveže odprte plastenke s kapalko na čisto objektno steklo nanесли kapljico željene vode in jo prekrili s krovnim steklom. To smo ponovili z vsemi navedenimi plastenkami. Poskus bi bil še natančneje izveden, če bi se podrobneje lotili ločevanja večjih fragmentov oziroma večjih motečih organskih delcev,



Slika 13: Priprava mokrega preparata.

ki bi ovirali analizo, a smo zaradi vira naših sveže odprtih plastenik predpostavili, da bo prisotnost teh delcev minimalna.



Slika 14: Čisto krovno steklo levo in čisto objektno steklo desno.

Preparate smo nato preučili pod svetlobnim mikroskopom Motic. Videno smo primerjali pod različnimi povečavami od najmanjše do največje možne in ugotovili, da so razvidni delci mikroplastike.

Trdimo, da gre za delce mikroplastike, saj delci ustrezajo njenemu velikostnemu rangu in obliki. Prav tako lahko opazimo, da fragmenti v obarvanih plastenkah (plastenka za večkratno uporabo in plastenka Radenske) vključujejo delce, ki se barvno skladajo s platenko.

Kasneje pogled z ramanovim spektrometrom potrdi našo trditev.

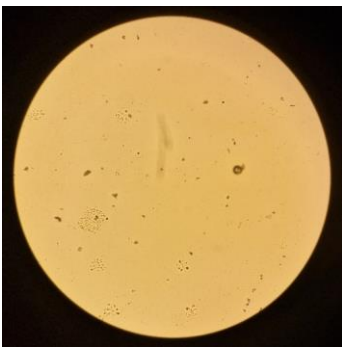


Slika 15: Opazovanje vzorcev.

Delci so vidni v vzorcih vseh plastenik, vključno s tisto za večkratno uporabo. V veliko manjši meri se fragmenti pojavijo v steklenici. Oblika mikroplastike od platenke do platenke nekoliko variira, vendar vseeno opazimo podobnost v strukturi.

Za podrobnejšo raziskavo, kjer je omogočeno preučiti tudi delce, ki jih mikroskop ne prikaže več, potrebujemo bolj precizne naprave, zato za podrobnejše analiziranje nadaljujemo z izboljšanim ramanovim spektrometrom. Rezultate prikažemo z grafom.

Pri raziskovanju smo se srečali z različnimi izzivi. Največji izziv nam je predstavljalo zanesljivo določanje mikroplastike in nanoplastike v vzorcu, zaradi tehničnih omejitev ,ki privedejo do zapletenega in dragega procesa identifikacije, ki je komercialno težje dostopen. Prav tako nam je izziv povzročala izolacija delcev mikroplastike, saj tovrstno delo zahteva skrbno upravljanje.



Slika 16: Pogled na preparat skozi okular.

7 REZULTATI

7.1 REZULTATI ANALIZE DELCEV S SVETLOBNIM MIKROSKOPOM

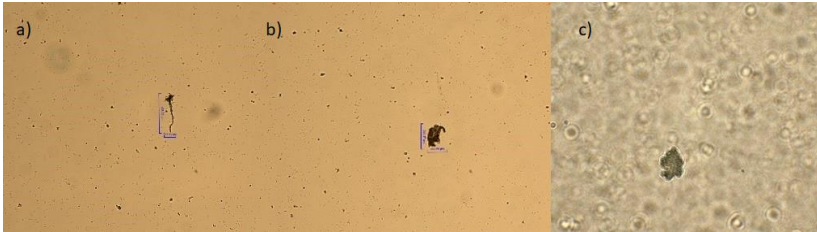
Po opravljenem poskusu smo ugotovili, da so v namensko onesnaženi vodi jasno razvidni delci mikroplastike, s katerimi smo kontaminirali vodo. Delci so različnih oblik, opazna je tudi barva delcev, kot smo pričakovali. Nato smo preučili tudi vzorec destilirane vode. V destilirani vodi so vidni manjši delci mikroplastike, gre predvsem za majhne fragmente v skupkih. V teh vzorcih je manjše število plastičnih delcev kot v komercialnih vodah. Voda v plastenki za večkratno uporabo je kljub predvidevanju, da bo v njej manjša vsebnost delcev, vseeno vsebovala ker precejšnjo količino delcev. V takšni plastenki lahko opazimo različne fragmente, ki so podobne barve kot plastenka.

Poskus nadaljujemo z vzorci komercialnih vod. V plastenki Zale z okusom opazimo različne delce mikroplastike v obliki kroglastih in podolgovatih fragmentov. V vzorcih Radenske so vidni delci mikroplastike, vidimo lahko zelene odtenke, ki dokazujejo, da gledamo embalažo Radenske. V teh vzorcih je večja prisotnost mehurčkov kot v drugih. V vzorcih vode Dane vidimo mikroplastiko, ki se pojavi predvsem v obliki podolgovatih in kroglastih fragmentov z nekaterimi manjšimi delci. Delci mikroplastike v Smart Water so vidni, zaznamo predvsem manjše podolgovate fragmente ob prisotnosti nekaterih nekoliko večjih delcev. Najbolj ugodni so rezultati v steklenici. V steklenici ni opaziti večjih koščkov mikroplastike z izjemo enega večjega fragmenta. To dokazuje, da je steklena embalaža bistveno bolj kvalitetna od plastične, in da v človeški organizem z ustekleničeno vodo vnašamo občutno manjše količine škodljivih snovi, ki ne povzročajo paradoksov v organizmu. Iz tega lahko sklepamo, da so steklenice v splošnem kvalitetnejše in stabilnejše za shranjevanje kot plastenke. Navedene podatke smo zbrali v Preglednici 1.

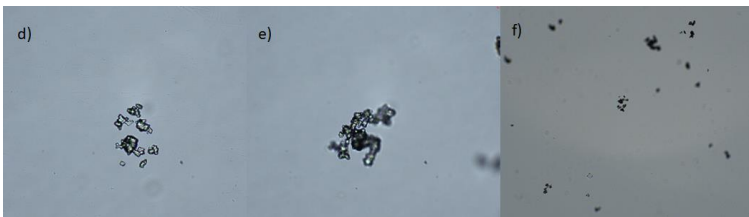
Opazovanja so pokazala naslednje rezultate za mikroplastiko.

Preglednica 1: Prisotnost mikroplastike v vzorcih vode

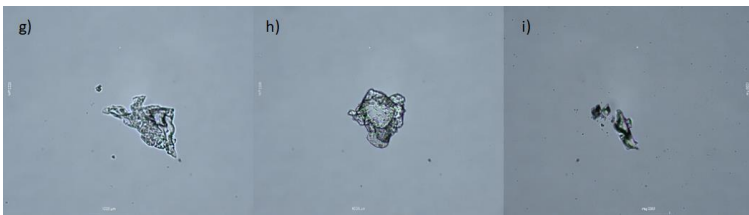
VZOREC VODE	PRISOTNOST MIKROPLASTIKE
1) Namerno onesnažena voda (slika 17)	Jasno so razvidni delci mikroplastike, s katerimi smo kontaminirali vodo. So različnih oblik.
2) Destilirana voda (slika 18)	V destilirani vodi so vidni manjši delci mikroplastike, gre predvsem za majhne fragmente v skupkih.
3) Voda iz pipe v plastenki za večkratno uporabo (slika 19)	V takšni plastenki lahko opazimo različne fragmente, ki so podobne barve kot plastenka.
4) Zala z okusom (slika 20)	Opazimo različne delce mikroplastike v obliki kroglastih in podolgovatih fragmentov.
5) Radenska (slika 21)	V teh vzorcih so vidni delci mikroplastike, vidimo lahko zelene odtenke, ki dokazujejo, da zagotovo opazujemo embalažo Radenske.
6) Dana (slika 22)	V vzorcih vode Dane vidimo mikroplastiko, ki se pojavi predvsem v obliki podolgovatih in kroglastih fragmentov z nekaterimi manjšimi delci.
7) Smart Water (slika 23)	Delci mikroplastike so vidni, zaznamo predvsem manjše podolgovate fragmente ob prisotnosti nekaterih nekoliko večjih delcev.
8) Voda iz pipe v steklenici (slika 24)	V steklenici ni opaziti večjih koščkov mikroplastike z izjemo enega fragmenta.



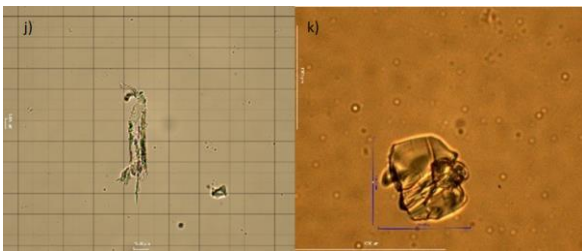
Slika 17: a,b,c) primeri delcev mikroplastike v vzorcu namerno onesnažene vode.



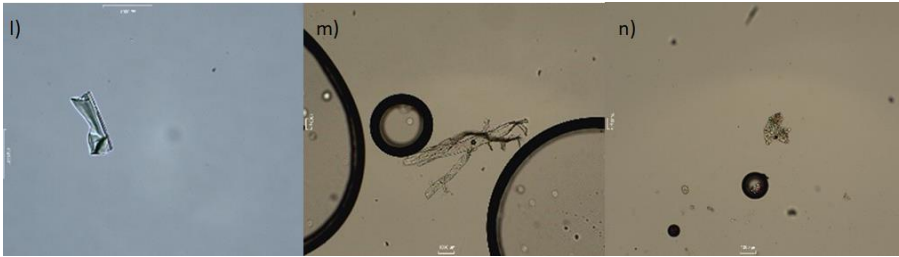
Slika 18: d, e, f) primeri delcev mikroplastike v destilirani vodi.



Slika 19: g, e, f) primeri delcev mikroplastike v vodi iz pipe, shranjeni v plastenki za večkratno uporabo.



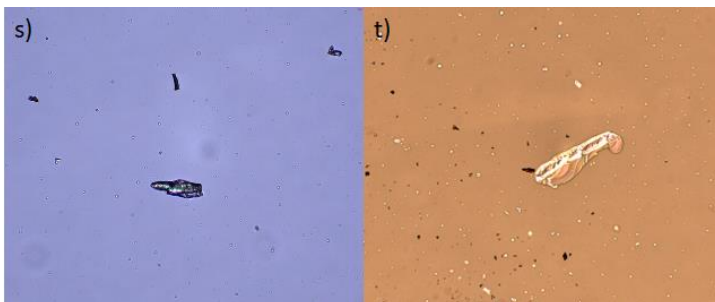
Slika 20: j, k) primeri delcev mikroplastike v vodi z okusom Zala.



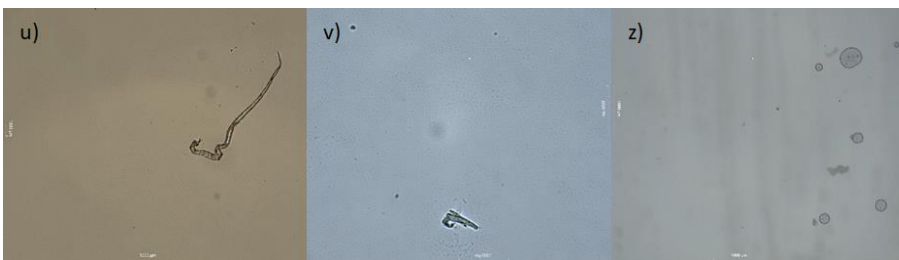
Slika 21: l, m, n) primeri delcev mikroplastike v gazirani vodi, "Radenska".



Slika 22: o, p, r) primeri mikroplastike v vodi, "Dana".



Slika 23: s, t) premeri mikroplastike v vodi, "Smart Water".

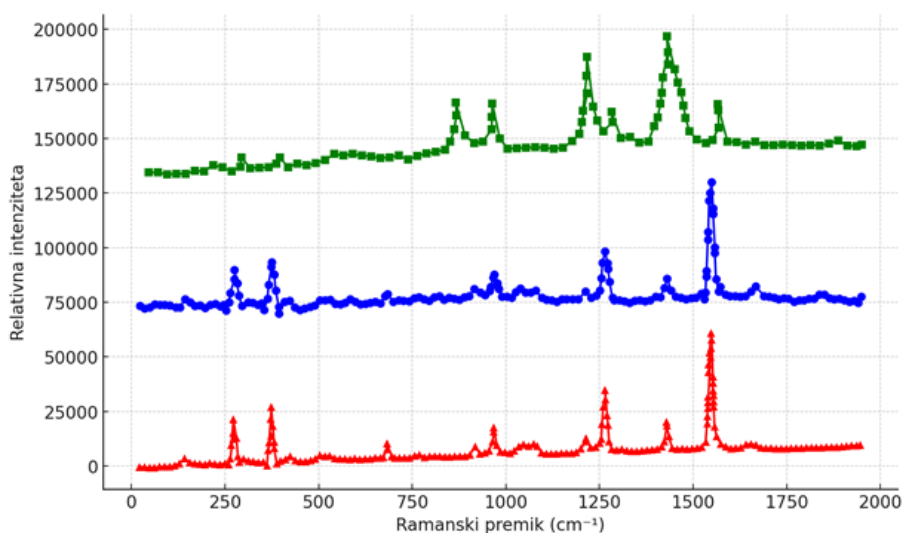


Slika 24: u, v, z) voda iz pipe shranjena v steklenici.

7.2 REZULTATI ANALIZE DELCEV Z RAMANSKIM SPEKTROMETROM

Na grafu, prikazanem na sliki 24, lahko vidimo analize, ki so bile narejene z ramanskim spektrometrom. Najprej smo pogledali vzorec plastike, ki smo ga vzeli iz platenke. Dobili smo referenčno vrednost oziroma karakteristični graf ramanskega spektralnega premika za to vrsto plastike (zelena krivulja na grafu). Vsak vrh na grafu ramanskega premika valovne dolžine pomeni obstoj določene kemijske vezi v snovi. Zato lahko s to metodo najnatančneje določamo kemijsko strukturo snovi prisotnih v vzorcu, kar je v našem primeru kemijska struktura plastike, polietilena visoke gostote (HDPE), ki je prisoten predvsem v zamaških platenke. Vidimo značilne vrhove pri $260, 320, 900, 1250, 1400, 1600 \text{ cm}^{-1}$. Ti karakteristični vrhovi so značilnost materiala, iz katerega je narejena platenka. Enake karakteristične vrhove lahko opazimo na modri in rdeči krivulji, to sta krivulji, kjer smo opazovali zgolj vodo, ki je bila v tej platenki. Razlike v intenziteti so najverjetneje posledica različne velikosti delcev v vodi. Sovpadanje vrhov pa nam potrjuje prisotnost plastike iz platenke v vodi.

Ramanska spektroskopija je draga eksperimentalna metoda. Naša finančna sredstva so zadoščala za analizo enega vzorca. Vzorec potrjuje naše hipoteze, rezultat je zelo obetaven in spodbuja kasnejše raziskovanje na tem področju.



Slika 25: Graf analize z ramanskim spektrometrom.

7.3 ANALIZA HIPOTEZ

Hipoteza 1

Prvo hipotezo smo ovrgli, ker smo ugotovili, da je tudi v vodi, ki je bila shranjena v steklenici, prisotna mikroplastika in nanoplastika, ampak v manjših količinah.

Hipoteza 2

Ugotovili smo, da se je vsebnost mikroplastike in nanoplastike razlikovala glede na material, v katerem je bila tekočina shranjena. Opazimo lahko, da je bila vsebnost plastike v plastenki za večkratno uporabo, ki je narejena iz polikarbonata, manjša.

Hipoteza 3

Vidimo, da je v Radenski in vodi z okusom prisotnih več delčkov mikroplastike in nanoplastike.

Hipoteza 4

Četrto hipotezo lahko potrdimo, saj je v različnih znamkah plastenik različna vsebnost nanoplastike in mikroplastike.

Hipoteza 5

Ramanski spektrometer zazna ramanski spektralni premik za to vrsto plastike.

8 ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi smo obravnavali prisotnost mikroplastike in nanoplastike v različnih vzorcih vode in omenili njun nastanek in pomen za človeka. Mikroplastika in nanoplastika sta vse bolj prisotni v našem vsakdanjem življenju in predstavljata problem na različnih okoljskih področjih. V plastenkah vod, s katerimi se srečujemo vsakodnevno, so prisotni mnogi fragmenti mikroplastike in nanoplastike. Vidni so z izboljšanim ramanskim spektrometrom in tudi pod svetlobnim mikroskopom. Pomembno je ozaveščanje o problematiki ugotovitev tega poskusa. Zavedati se je treba, kakšne so posledice uživanja tovrstnih snovi. Kontaminacija s plastiko povzroča velike težave okolju in ljudem, kar se lahko brez primernih ukrepov samo še stopnjuje.

Raziskava o mikroplastiki in nanoplastiki v plastenkah bi lahko bila v prihodnje ob nadaljnjih raziskavah izjemno uporabna in inovativna, saj bi reševala konkretne težave, povezane z onesnaženjem okolja in zdravjem ljudi. V prihodnje bi se osredotočili na ugotavljanje prisotnosti teh delcev v plastenkah ter podatke kvantitativno predstavili. Projekt bi imel praktično vrednost, saj bi proizvajalcem ponujal metode za merjenje mikroplastike in nanoplastike ter pomagal pri razvoju rešitev za zmanjšanje njenega nastanka. Poleg tega bi bil inovativno naravnani, ker bi raziskoval nove, okolju bolj prijazne materiale za plastenke in izboljšane metode reciklaže, ki ne bi povzročale onesnaženja z mikroplastiko in nanoplastiko. S sodelovanjem z industrijo in oblikovalci politik bi projekt prispeval k uvajanju trajnostnih praks ter ustvarjanju standardov, ki bi pomagali zmanjšati onesnaženje. Tako bi tudi izboljšali kakovost vode in ozaveščali javnost o vplivih plastike na naše zdravje in okolje. To bi bil torej korak k boljšemu svetu za vse.

VIRI IN LITERATURA

- [1] Huang, Y., Wong, K. K., Li, W., Zhao, H., Wang, T., Stanescu, S., Boulton, S., Van Dongen, B., Mativenga, P., & Li, L. (2022). Characteristics of nano-plastics in bottled drinking water. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127404.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127404>
- [2] Vitali, C., Peters, R. J. B., Janssen, H.-G., & Nielen, M. W. F. (2023). Microplastics and nanoplastics in food, water, and beverages; part I. occurrence. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 159, 116670. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116670>
- [3] Kang, E., Lee, W., & Lee, H. (2023). Comprehensive Understanding of Self-Propelled Janus Pt/Fe₂O₃ Micromotor Dynamics: Impact of Size, Morphology, and Surface Structure. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 14(44), 9811–9818.
<https://doi.org/10.1021/acs.jpcclett.3c02637>
- [4] Enfrin, M., Dumée, L. F., & Lee, J. (2019). Nano/microplastics in water and wastewater treatment processes – Origin, impact and potential solutions. *Water Research*, 161, 621–638. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.06.049>
- [5] Ronca, S. (2017). Polyethylene. V *Brydson's Plastics Materials* (str. 247–278). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35824-8.00010-4>
- [6] Kaj pomenijo oznake in številke na plastiki –PET, PVC, V, PS, PP, HDPE, LDPE - UPORABNA STRAN
- [7] Šebjanič, L. (2021). *Študija recikliranja polietilena visoke gostote* [Diplomsko delo, L. Šebjanič]. Repozitorij Univerze v Ljubljani. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=130365>
- [8] Lock, E. H., Petrovykh, D. Y., Mack, P., Carney, T., White, R. G., Walton, S. G., & Fernsler, R. F. (2010). Surface Composition, Chemistry, and Structure of Polystyrene Modified by Electron-Beam-Generated Plasma. *Langmuir*, 26(11), 8857–8868.
<https://doi.org/10.1021/la9046337>

- [9] Ho, B. T., Roberts, T. K., & Lucas, S. (2018). An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: The microbial approach. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(2), 308–320. <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1355293>
- [10] Castro Monsorens, K. G. D., Silva, A. O. D., Sant' Ana Oliveira, S. D., Weber, R. P., Filho, P. F., & Monteiro, S. N. (2021). Influence of ultraviolet radiation on polystyrene. *Journal of Materials Research and Technology*, 13, 359–365. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.04.035>
- [11] <https://www.britannica.com/science/polypropylene> - dostopano dne-6. 3. 2025, 20:56:58
- [12] <https://exirpolymer.com/all-about-polypropylene/> - dostopano dne-6.3.2025, 21:07:22
- [13] <https://www.xometry.com/resources/injection-molding/uv-resistant-plastics-polypropylene-vs.-nylon/> - dostopno dne-6.3.2025, 21:30:10
- [14] <https://www.horiba.com/int/scientific/technologies/raman-imaging-and-spectroscopy/raman-spectroscopy/> - dostopano dne -6. 3. 2025, 20:05:29
- [15] <https://www.britannica.com/science/wave-physicse> - dostopano dne-6. 3. 2025, 20:11:26
- [16] <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB1832.pdf> - dostopano dne-10. 3. 2025, 07:45:56
- [17] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/polycarbonate> - dostopano dne-10. 3. 2025, 08:03:33
- [18] <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/Polycarbonate.aspx> - dostopano dne-11. 3. 2025, 11:44:32
- [19] <https://www.britannica.com/science/spectroscopy/Basic-properties-of-atoms> - dostopano dne-12. 3. 2025, 12:20:55