

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

MAGISTRSKO DELO

**MIKROPLASTIKA
V VISOKOGORSKIH JEZERIH**

MATEJ KOVAČ

VELENJE, 2023

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

MAGISTRSKO DELO

**MIKROPLASTIKA
V VISOKOGORSKIH JEZERIH**

MATEJ KOVAČ

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor:izr. prof. dr. Irena Mrak

Somentor: pridr. izr. prof. dr. Andrej Kržan

VELENJE, 2023

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O MAGISTRSKEM DELU

Študent Fakultete za varstvo okolja **Matej Kovač** lahko izdela magistrsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Mikroplastika v visokogorskih jezerih.

Naslov magistrskega dela v angleškem jeziku:

Microplastics contamination in high mountain lakes.

Mentorica: **izr. prof. dr. Irena Mrak.**

Somentor: **dr. Andrej Kržan.**

Magistrsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat FVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Prof. dr. Boštjan Pokorny
dekan

Fakulteta za varstvo okolja
Trg mladosti 7 | 3320 Velenje
t: 03 898 64 10 | e: info@fvo.si
www.fvo.si





IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani/a Matej KOVAČ, vpisna številka 34210018, študent/ka podiplomskega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtor/ica magistrskega dela z naslovom

Mikroplastika v visokogorskih jezerih

ki sem ga izdelal/a pod:

- mentorstvom izr. prof. dr. Irene Mrak
- somentorstvom pridr. izr. prof. dr. Andreja Kržan

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili FVO;
- so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili FVO;
- se zavedam, da je plagiatstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na FVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektoriral/a prof. Dragica Uršej;
- dovoljujem objavo magistrskega dela v elektronski obliki na spletni strani FVO;
- sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

Datum: 21. 11. 2023

Podpis avtorja/ice: Matej KOVAČ

Zahvala

Za pomoč pri nastajanju magistrskega dela se iskreno zahvaljujem mentorici izr. prof. dr. Ireni Mrak in somentorju prid. izr. prof. dr. Andreju Kržanu, brez njune podpore ta raziskava ne bi bila mogoča.

Prav tako se zahvaljujem dr. Manci Kovač Viršek za napotke glede vzorčenja, mag. Vaibhavu Budhiraja in ostalim v kolektivu Odseka za polimerno kemijo in tehnologijo na Kemijskem inštitutu za strokovno pomoč, nasvete in potrpežljivost pri laboratorijski analizi vzorcev.

Zahvaljujem se tudi Javnemu zavodu Triglavski narodni park, ki je dovolil odvzem vzorcev za namen tega magistrskega dela, in Zavodu za ribištvo Slovenije za vzorce jezerske zlatovčice.

IZVLEČEK

Mikroplastika (v nadaljevanju MP) je odkrita že v vseh okoljih, vendar je njena prisotnost manj raziskana v okoljih, ki so bolj oddaljena od vpliva človekove dejavnosti kot je npr. visokogorje. Predmet tega magistrskega dela je raziskati ali so oz. v kolikšnem obsegu so delci MP prisotni v dveh visokogorskih jezerih – Dvojnem in Velikem jezeru v Julijskih Alpah.

Raziskovalni del temelji na analizi prisotnosti MP v (i) vzorcih sedimentov v obrežnem pasu obeh jezer in (ii) vzorcih prebavil jezerske zlatovčice (*Salvelinus alpinus Linnaeus*), ki so bile izlovljene v Dvojnem jezeru. MP smo iz vzorcev sedimenta izolirali tako, da smo vzorce najprej 14 dni sušili pri temperaturi 40 °C. Iz posušenih vzorcev smo vzeli 10 g suhe usedline, jo presajali skozi 125 µm sita v steklene posode ter iz njih odstranili organske snovi s postopkom mokre peroksidne oksidacije, tj. z dodajanjem 30 % raztopine H₂O₂ v vzorec, ki smo ga segrevali in mešali pri določeni temperaturi in hitrosti mešanja. Z metodo ločevanja po gostoti, tj. z dodajanjem ZnCl₂ v vzorec, so delci iz polimerov z nizko gostoto plavali, delci z visoko gostoto pa so se usedali. Po 72 urah smo supernatantno vodo iz vzorcev filtrirali s pomočjo vakuumske filtracije, da smo pridobili izolirano mikroplastiko. Izolacijo mikroplastike iz ribjih prebavil s kemijsko razgradnjo organskega materiala smo poskusili na tri načine: z alkalno razgradnjo, s Fentonovo reakcijo in z encimsko reakcijo, vendar smo se srečali s težavami zaradi nepopolno odstranjenih organskih snovi, ki so motile nadaljnjo analizo. Z analizo preostalih prebavil zato nismo nadaljevali. Najbolj popolno razgradnjo organskega materiala smo dosegli z encimsko metodo, kjer smo izolirane delce tudi analizirali. Identifikacijo MP smo opravili s pomočjo dveh metod: (i) mikroskopiranje – vse izolirane delce MP smo pregledali s pomočjo kamere Leica DMS 1000, povezane s stereomikroskopom, ter analizirali njeno barvo in dolžino s programsko opremo Leica Application Suite, in (ii) FT-IR spektroskopija, ki omogoča določitev kemijske sestave delcev.

V vzorcih sedimentov iz obeh jezer smo identificirali 12 delcev MP, 10 v sedimentih Dvojnega jezera in 2 v sedimentih Velikega jezera. Po obliki so prevladovala vlakna (5) in filmi (4 delci), najdena sta tudi 2 fragmenta in en pelet. Vlakna nakazujejo svoj izvor iz tekstilij, film, fragmenti in peleti pa iz plastične embalaže (folija, plastenke). Barve MP vlaken iz Dvojnega jezera so bila večinoma modre barve, ki lahko nakazuje uporabo indigo modrega barvila, ki se pogosto uporablja v tekstilni in drugih industrijskih procesih. Povprečna dolžina MP vlaken znaša malenkost nad 3 mm (dolga vlakna), kar nakazuje, da so lahko viri vnosa teh delcev neposredno na sami lokaciji. Stereomikroskopska analiza delcev iz ribjih prebavil je pokazala prisotnost 3 vlaken, pri čemer je kemijska analiza (FT-IR spektroskopija) pokazala, da so naravnega izvora. Kemijsko smo analizirali vse delce, ki smo jih s pomočjo mikroskopije odkrili v sedimentih, vendar zaradi njihovih majhnih dimenzij nismo uspeli določiti kemijsko sestavo vseh. Analiza vlaken iz Dvojnega jezera je pokazala, da so vlakna iz celuloze ali pol-sintetična (rajon), vlakna iz Velikega jezera pa iz celuloze. Ob tem za 40 % vlaken iz Dvojnega jezera in za 60 % delcev iz Velikega jezera nismo uspeli določiti vrste materiala. Pelet iz Dvojnega jezera je bil identificiran kot polipropilen (PP).

Čeprav je število delcev MP v vzorcih sedimentov majhno, kažejo, da so delci MP prisotni v obeh visokogorskih ekosistemih (Dvojno in Veliko jezero). Onesnaženje je posledica atmosferskega prenosa na srednje ali dolge razdalje kot tudi neposredne človekove dejavnosti na tem območju, povezanih s planinsko dejavnostjo – Koča pri Triglavskih jezerih ob Dvojnem jezeru ter obiskom celotnega območja Doline Triglavskih jezer kot osrčja Triglavskega narodnega parka.

KLJUČNE BESEDE

mikroplastika, visokogorska jezera, sedimenti, jezerska zlatovčica (*Salvelinus alpinus* Linnaeus), stereomikroskopija, FT-IR spektroskopija, Julijske Alpe (Slovenija)

ABSTRACT

Microplastics (MP) have been found in all environments. However, its presence is less studied in environments that are more distant from the influence of human activities, such as high mountain areas. The objective of this study is to investigate the presence and concentrations of MP particles in high mountain lakes, specifically in *Dvojno jezero* and *Veliko jezero* in the Triglav National park.

The research is based on the analysis of MP presence in (i) sediment samples from the coastal zones of both lakes and (ii) digestive tracts samples of arctic charr fish (*Salvelinus alpinus Linnaeus*) caught in *Dvojno jezero*. MP were extracted from sediment samples by first drying them for 14 days at a temperature of 40 °C. From the dried samples, 10 g of dry sediment were taken, sieved through 125 µm sieves into glass containers, and organic matter was removed using a wet oxidative digestion method, i. e. by adding a 30 % H₂O₂ solution to the sample, which was heated and stirred at a specific temperature and stirring speed. To isolate the MP a density separation method was used by adding ZnCl₂ to the samples, causing polymers with low density to float while denser particles settled. After 72 hours, the supernatant water from the samples was filtered using vacuum filtration to obtain the extracted microplastics. We attempted to extract microplastics from fish digestive tracts though the chemical breakdown of organic material in three ways: alkaline degradation, Fenton reaction, and enzymatic reaction, however, we encountered difficulties due to incompletely removed organic substances that could interfere with further analysis. Therefore, we did not proceed with the analysis of the remaining digestive tracts. As an exception in one case, we successfully obtained results using the enzymatic method, and particles were further analyzed. MP identification was performed using two methods: (i) stereomicroscopy – extracted microplastic particles were examined using the Leica DMS 1000 digital stereomicroscope, and their color and length were analyzed with Leica Application Suite software, and (ii) the chemical composition (identification) of the particles was determined using FT-IR spectroscopy.

12 microplastic particles were identified in sediment samples from both lakes, 10 particles in the sediment of *Dvojno jezero* and 2 particles in the sediment of *Veliko jezero*. The predominant form of microplastic were fibers (5) and films (4 particles), 2 fragments and one pellet were also found. The fibers suggest their origin from textiles, while the films, fragments, and pellets indicate plastic packaging materials (such as foil and plastic bottles). The color of MP fibers from *Dvojno jezero* was mostly blue. The average length of MP fibers was 3.00 mm (long fibers), suggesting that the sources of these particles could be locally generated. The stereomicroscopic analysis of particles from the fish digestive tracts discovered 3 fibers, whereas the chemical analysis (FT-IR spectroscopy) showed that they were all of natural origin. Chemical analysis was performed on all particles identified by stereomicroscopy in the sediments. However, due to the small size of the particles, we were not able to determine the composition of the fragments, films, and 18 fibers, even after repeated attempts using FT-IR spectroscopy. The fiber analysis revealed that detected fibers in *Dvojno jezero* had both cellulose and semi-synthetic (rayon) origins and of cellulose origin in *Veliko jezero*. The composition of a larger portion of fibers could not be analyzed (undetermined source: 40 % from *Dvojno jezero*, 60 % from *Veliko jezero*). The pellet from *Dvojno jezero* was identified as polypropylene (PP).

Although the number of MP particles in the sediment samples was small, we can conclude, based on the findings, that microplastic particles are already present in both high-altitude ecosystems, with *Dvojno jezero* having more particles than *Veliko jezero*. Pollution is a result of atmospheric transport over medium to long distances, as well as direct human activities in the area such as the mountain hut at Triglav Lakes by the *Dvojno jezero* and visits to the entire Triglav Lakes valley area, the heart of Triglav National Park.

KEY WORDS

microplastics, high mountain lakes, sediments, arctic charr (*Salvelinus alpinus Linnaeus*), stereomicroscopy, FT-IR spectroscopy, Julyan Alps (Slovenia)

KAZALO:

1 UVOD	1
2 OPREDELITEV OBMOČJA RAZISKAVE	2
3 TEORETIČNI DEL	5
3.1 (Mikro)plastika	5
3.1.1 Pojem	5
3.1.2 Kaj je plastika	5
3.1.3 Zgodovina plastike.....	7
3.1.4 Viri mikroplastike in načini vstopa v okolje	9
3.1.5 Razkroj (mikro)plastike	13
3.1.6 Odpadna (mikro)plastika in njen vpliv na okolje	14
3.2 Analiza mikroplastike	16
3.2.1 Ekstrakcija mikroplastike	17
3.2.2 Mikroskopija	18
3.2.3 FT-IR spektroskopija	20
4 EKSPERIMENTALNI DEL	23
4.1 Terensko delo – odvzem vzorcev	23
4.1.1 Sedimenti	23
4.1.2 Jezerska zlatovčica	26
4.2 Laboratorijsko delo	27
4.3 Priprava vzorcev in ekstrakcija mikroplastike	28
4.3.1 Sedimenti	28
4.3.2 Ribja prebavila.....	30
4.4 Analiza mikroplastike	34
4.4.1 Analiza s stereomikroskopom.....	34
4.4.2 Analiza s FT-IR spektrometrom	34
5 REZULTATI IN RAZPRAVA	36
5.1 Sedimenti	36
5.1.1 Rezultati analize s stereomikroskopom.....	36
5.1.2 Rezultati kemijske sestave delcev	42
5.2 Ribja prebavila.....	45
5.2.1 Rezultati analize s stereomikroskopom.....	45
5.2.2 Rezultat kemijske sestave vlaken	46
6 ZAKLJUČEK	48
7 LITERATURA	50
7.1 Medmrežje.....	55

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Gostota glavnih vrst plastičnih polimerov.....	18
Preglednica 2: Najpogostejši polimeri s svojimi nihanji in valovnimi števili	22
Preglednica 3: Lokacije vzorčenja Dvojnega jezera in razdalje med točkami vzorčenja	23
Preglednica 4: Lokacije vzorčenja Velikega jezera in razdalje med točkami vzorčenja.....	25
Preglednica 5: Število najdenih vseh delcev (vključno MP delcev) in število MP delcev v vzorcih	36
Preglednica 6: Oblike MP delcev v vzorcih sedimentov iz Dvojnega jezera	37
Preglednica 7: Oblike MP delcev v vzorcih sedimentov iz Velikega jezera.....	37
Preglednica 8 : Razvrstitev vlaken v Dvojnem jezeru	38
Preglednica 9: Razvrstitev vlaken v Velikem jezeru	39
Preglednica 10: Dolžine vseh vlaken	41
Preglednica 11: Dolžine MP vlaken iz Dvojnega jezera.....	42
Preglednica 12: Prikaz število najdenih vzorcev vlaken v ribjih prebavilih	45

Kazalo grafov

Graf 1: Prikaz proizvodnje plastike.....	8
Graf 2: Letna svetovna proizvodnja plastike po industrijskih sektorjih za leto 2019	9
Graf 3: Število prihodov in prenočitev turistov v planinskih domovih in kočah	11
Graf 4: Število nočitev v planinski Koči pri Triglavskih jezerih	12
Graf 5: Diagram poteka ekstrakcije mikroplastike iz sedimentov	29
Graf 6: Barvna analiza vlaken iz Dvojnega in Velikega jezera.....	39
Graf 7: Barvna analiza MP vlaken v Dvojnem jezeru	41
Graf 8: Prikaz izvora (narave) vlaken v vzorcih sedimentov	43

Kazalo slik

Slika 1: Lokacija Triglavskega narodnega parka	2
Slika 2: Lokacija Dvojnega (1) in Velikega jezera (2) v TNP.....	3
Slika 3: Prikaz nadmorskih višin obeh jezer	4
Slika 4: Klasifikacija plastičnih delcev glede na velikost	5
Slika 5: Glavni viri in prenos mikroplastike v visokogorska jezera	10
Slika 6: Alge ob obali Dvojnega jezera.....	12
Slika 7: Odpadna voda iz čistilne naprave ne ponikne zaradi zelo slabo prepustnih	13
Slika 8: Oblike mikroplastike	19
Slika 9: Shematski diagram, ki prikazuje princip delovanja interferometra.....	21
Slika 10: Deformacijska nihanja molekul CH ₂	22
Slika 11: Prikaz lokacij vzorčenja pri Dvojnem jezeru.....	24
Slika 12: Prikaz vzorčenja in določanje razdalj med točkami ob Dvojnem jezeru	24
Slika 13: Prikaz lokacij vzorčenja pri Velikem jezeru	25
Slika 14: Prikaz merjenja razdalj od obalnega pasu in razdalj med točkami vzorčenja pri Velikem jezeru	25
Slika 15: Vzorci jezerskih zlatovčic.....	26
Slika 16: Sušenje sedimentov v sušilniku Binder.....	28
Slika 17: Sedimenti po sušenju	28
Slika 18: Sejanje sedimenta skozi sito 5 mm	28
Slika 19: Termična obdelava sedimenta.....	29
Slika 20: Ločevanje glede na gostoto z uporabo ZnCl ₂	29
Slika 21: Jezerska zlatovčica – odstranitev gastrointestinalnega trakta.....	30

Slika 22: Uporabljene tehnike za razgradnjo ribjih prebavil	30
Slika 23: Ribja prebavila (levo), razkroj s H ₂ O ₂ (sredina), termična obdelava (desno)	31
Slika 24: Fotokemična Fentonova reakcija	32
Slika 25: Termična obdelava z dodatkom encimskega pripravka	33
Slika 26: Prikaz nerazkrojenega organskega materiala v vzorcih	33
Slika 27: Digitalni mikroskop LEICA DMS1000 B	34
Slika 28: ATR – FT-IR spektrometer (levo); ATR konica spektrometra (desno)	35
Slika 29: Slika filma (levo) – Veliko jezero in fragmenta (desno) – Dvojno jezero	38
Slika 30: Barve vlaken iz Dvojnega jezera	40
Slika 31: Barve vlaken iz Velikega jezera (povečava 200 μm)	40
Slika 32: Primer meritve dolžine vlakna iz Dvojnega (levo) in Velikega jezera (desno)	41
Slika 33: FT-IR spektra rajon vlakna z referenčnim standardom	44
Slika 34: Vzorec polimera (PP) identificiran v vzorcu sedimenta iz Dvojnega jezera	44
Slika 35: FT-IR spektra polipropilena z referenčnim standardom	45
Slika 36: IR spektra vzorca polipropilena (PP)	45
Slika 37: Slika vlakna iz ribjega prebavila	46
Slika 38: FT-IR spektra naravnega vlakna z referenčnim standardom	47

Uporabljeni simboli in kratice

Simboli

λ Valovna dolžina rentgenskih žarkov (nm)

Kratice

TNP	Triglavski narodni park
MP	Mikroplastika
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
PVC	Polivinilklorid
PS	Polistiren
PC	Polikarbonat
PU	Poliuretan
PMMA	Polimetilmetakrilat
PA	Poliamid, najlon
PET	Polietilen tereftalat
PTFE	Politetrafluoroetilen
EPS	Ekspandirani poliester (stiropor)
FT-IR	Infrardeča spektroskopija s Fourierjevo transformacijo
IR	Infrardeči spekter
ATR	Oslabljen popolni odboj (ang. attenuated total reflectance)
UV	Ultravijolično sevanje
PV	Poliuretanska pena

Kemikalije

ZnCl ₂	Cinkov klorid
NaBr	Natrijev bromid
H ₂ O ₂	Vodikov peroksid
FeSO ₄ x 7H ₂ O	Železov sulfat heptahidrat
KOH	Kalijev hidroksid
HCl	Klorovodikova kislina
NaH ₂ PO ₄	Natrijev dihidrogen fosfat
NaH ₂ PO ₄ x H ₂ O	Natrijev dihidrogen fosfat monohidrat
NaCl	Natrijev klorid

1 UVOD

Onesnaževanje okolja s plastiko, ki je skorajda nerazgradljiva, je že dlje časa svetovni okoljski problem. V zadnjem času posebno pozornost namenjamo mikroplastiki, tj. delcem plastike v velikosti od 5 mm do 1µm, ki je predmet številnih raziskav in razprav.

Mikroplastika je bila najdena že v vseh okoljih – v tleh, zraku in vodah (medmrežje 1). Posebej zaskrbljujočo vlogo onesnaževalca ji pripisujejo prav v vodnih ekosistemih – v morju, rekah, jezerih ..., saj mikroplastiko lahko zaužijejo tudi manjši organizmi. To pa ima lahko za posledico določene fizikalne, kemijske ali sistemske vplive nanje; preko njih pa se mikroplastika prenaša po prehranjevalni verigi navzgor (Yuan *et al.*, 2022).

Poleg tega se delci mikroplastike zaradi svojih lastnosti (velikosti oz. teže) lahko prenašajo na srednje oz. velike razdalje s pomočjo atmosferskega prenosa (dež, sneg, veter). Vetrovi lahko delce mikroplastike odnesejo v odročna območja, ki so manj pod vplivom človeških dejavnosti bodisi zaradi omejenega dostopa bodisi zaradi pravne zaščite (na primer narodni parki). Novejše raziskave so, žal, pokazale, da tudi ekosistemi, ki so do nedavnega veljali za nedotaknjena okolja – za t. i. »neokrnjeno naravo«, niso izvzeti iz onesnaže(va)nja z mikroplastiko. Študije ugotavljajo prisotnost mikroplastike v visokogorskih jezerih po vsem svetu, vključno z Antarktiko, Himalajo, Alpami in drugimi gorovji (Bergmann *et al.*, 2019). Med najpogostejšimi vrstami mikroplastike, ki so bile najdene na teh območjih, so delci vlaken iz sintetičnih oblačil, mikrodenci iz plastike, kot so mikroplastične granule, ter fragmenti večjih plastičnih predmetov, ki so pod okoljskimi vplivi razpadli na manjše koščke. Spoznanje, ki izhaja iz teh ugotovitev je, da noben del našega naravnega okolja ni popolnoma nedotaknjen.

V Sloveniji so bile že izvedene številne raziskave o prisotnosti mikroplastike v različnih okoljih – v rekah (pri sladkovodnih ribah (Bogdan *et al.*, 2022)), jezerih (npr. Blejskem jezeru (Centa, 2016), v pitni vodi (Centa, 2016) in celo v toči (Kozjek *et al.*, 2023). Presenetljivo pa je to, da še ni bilo izvedene nobene študije ali raziskave o onesnaženju slovenskih visokogorskih ekosistemov z mikroplastiko.

Glede na to, da v Sloveniji še ni bila izvedena študija oz. raziskava onesnaženja visokogorja z mikroplastiko, je bil namen in cilj tega magistrskega dela ugotoviti, ali so delci mikroplastike prisotni v dveh visokogorskih jezerih – v Dvojnem in Velikem jezeru v Triglavskem narodnem parku in oceniti njihovo količino in vrste.

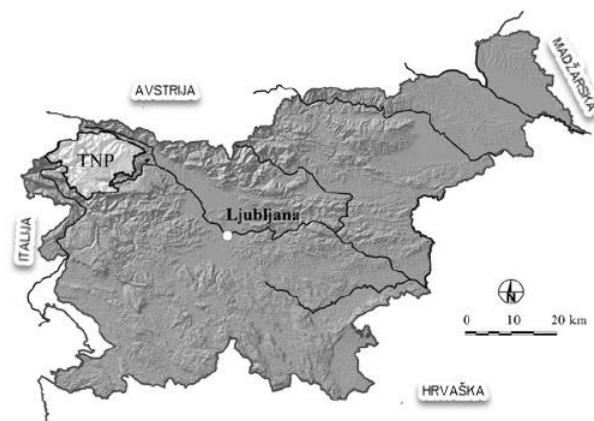
Z magistrskim delom tako preverjamo hipotezo, da so delci mikroplastike (že) prisotni v visokogorskih jezerih.

2 OPREDELITEV OBMOČJA RAZISKAVE

Triglavski narodni park (TNP), edini narodni park v Sloveniji, predstavlja biser naravne dediščine in izjemno pomembno območje za ohranjanje biotske raznovrstnosti in geopestrosti Julijskih Alp (Slika 1). Območje privablja številne obiskovalce, ki tam izvajajo različne oblike rekreacije, povezane z naravnimi razmerami. TNP ne le varuje naravo tega območja, temveč zagotavlja ugodno stanje številnih živalskih in rastlinskih vrst ter ohranja naravne ekosisteme in procese.

Kljub temu pa se Javni zavod TNP sooča z izzivi, ki izhajajo iz človekove prisotnosti in dejavnosti. Ohranjanje ravnovesja med varovanjem naravnega okolja in omogočanjem človeških dejavnosti v tem edinstvenem naravnem okolju predstavlja kompleksen izziv. V kontekstu varovanja visokogorskih ekosistemov, kot je TNP, se tako postavlja vprašanje, kako močno lahko človekove dejavnosti, bodisi neposredne, na tem območju kot krajevno bolj oddaljene vplivajo na ta ekosistem, in koliko jih dopustiti.

Športne in rekreativne dejavnosti, kot so pohodništvo, plezanje, kolesarjenje, smučanje, kajak/rafting in drugi, so postale nepogrešljiv del življenja – tudi v TNP, saj omogočajo obiskovalcem doživeti naravno lepoto tega območja. Obenem pa le-te dejavnosti pomembno vplivajo na ekosisteme npr. erozija tal, gradnja s tem povezane infrastrukture (hoteli, ceste, žičnice) in motijo (uničujejo) naravni habitat živali in rastlin visokogorskega okolja. Povečan obisk (turizem) in rekreacija pomeni povečano onesnaževanje okolja, hkrati pa tudi pritisk na lokalno prebivalstvo ter njihovo vsakdanje življenje. Prav tako pa tudi druge človekove dejavnosti »v dolini« povezane z izgorevanjem fosilnih goriv (promet), industrijskimi procesi, kmetijstvom itd., posredno uvajajo onesnaževanje v krhko visokogorsko okolje. Onesnažen zrak, onesnažena voda in kontaminirana tla lahko škodijo biotski raznovrstnosti, vplivajo na njihovo ugodno stanje ter motijo ekološke procese. Medtem ko so vplivi podnebnih sprememb in analize kakovosti zraka v visokogorju že podrobno raziskani, pa je prisotnost mikroplastike v visokogorju manj raziskano področje. Mikroplastika postaja globalni problem, saj vpliva zlasti na vodne ekosisteme in življenje v njih, vendar so raziskave mikroplastike v visokogorskih območjih, kamor sodi velik del TNP, precej redke. Zato so raziskovalci začeli posvečati več pozornosti raziskavam obremenitvi visokogorja z mikroplastiko.

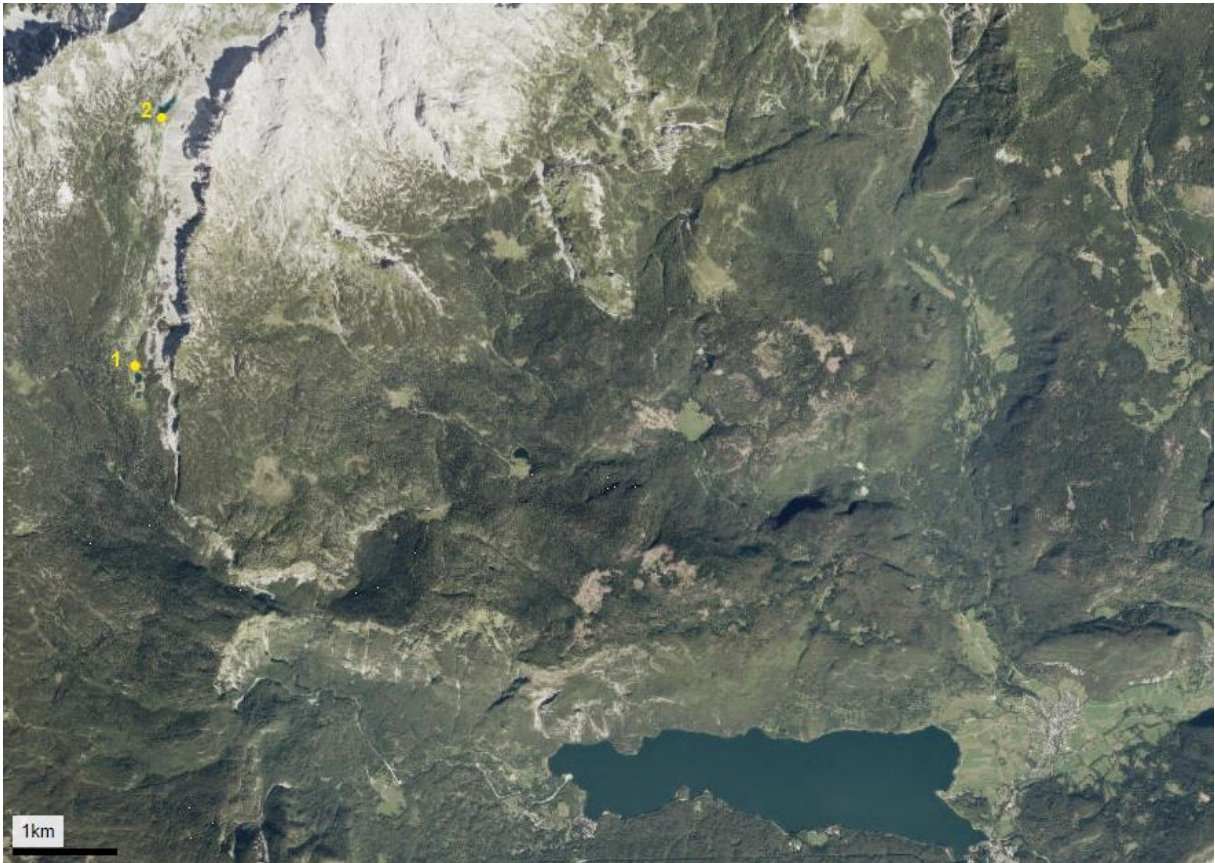


Slika 1: Lokacija Triglavskega narodnega parka
(Vir: prirejeno po Podobnikar, 2009)

Pomanjkanje raziskav prisotnosti mikroplastike na območju TNP nas je spodbudilo, da smo se posvetili temu problemu. V raziskovalnem delu smo se osredotočili na dve jezera – Dvojno jezero in Veliko jezero. Jezeri ležita v dolini Triglavskih jezer, ki sodi med bolj obiskana

območja v parku. Dvojno jezero, 1679 m n. v. (točka preučevanja 1), je eno najbolj obleganih in priljubljenih destinacij za obiskovalce s priljubljeno planinsko kočjo ob jezeru. Sosednje Veliko jezero (točka preučevanja 2), ki se nahaja na višji nadmorski višini – 1831 m, leži nad Dvojnimi jezери, stran od planinske kočje in planinske poti in je zato z vidika obremenjenosti s strani obiskovalcev manj ogroženo (Sliki 2 in 3).

S to raziskavo smo si prizadevali pridobiti podatke o prisotnosti mikroplastike v obeh jezerih ter ugotoviti morebitne razlike med obema jezeroma, ki sta izpostavljeni različni intenziteti človekove dejavnosti. Ugotovitve raziskave, pridobljene na podlagi analiziranih vzorcev sedimentov, glede pristnosti in vrst mikroplastičnih delcev, bi lahko pripomogle k boljšemu razumevanju njihovega vnosa v ekosistem Triglavskega narodnega parka. Prav tako bi lahko služila za oblikovanje ustreznih ukrepov za zmanjšanje in preprečevanje kontaminacije z mikroplastiko. Čeprav zgolj posredno, s tem delom želimo tudi poudariti pomen trajnostnega turizma v visokogorju in ozaveščanja obiskovalcev TNP o izvori in problemih »mikroplastike«. Le tako lahko učinkovito zagotovimo čim manj neposrednega vnosa mikroplastičnih delcev – vse z namenom, da bo ugodno stanje okolja v TNP ohranjeno za prihodnje generacije.



Slika 2: Lokacija Dvojnega (1) in Velikega jezera (2) v TNP
(Vir: Atlas okolja, 2023)



Slika 3: Prikaz nadmorskih višin obeh jezer –
levo Dvojno jezero 1679 m n. v. in desno Veliko jezero 1831 m n. v.
(Vir: Atlas okolja, 2023)

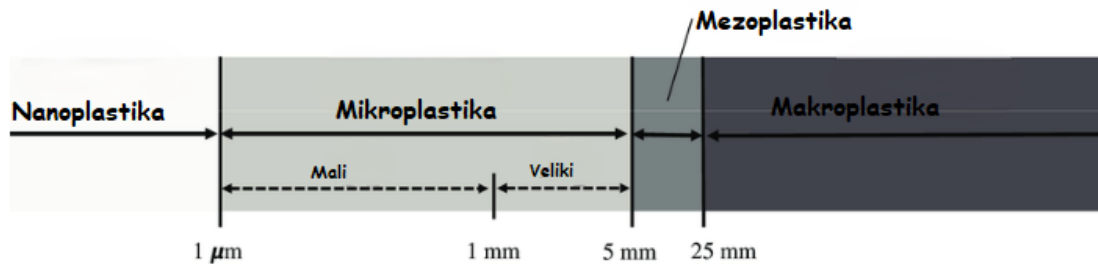
3 TEORETIČNI DEL

3.1 (Mikro)plastika

3.1.1 Pojem

Ime plastika izhaja iz grške besede 'πλαστικός' ('plastikos'), kar pomeni 'primeren za oblikovanje' oz. latinske besede 'plasticus' – 'sposoben oblikovati' (medmrežje 2).

Izraz mikroplastika je bil prvič uporabljen leta 2004 za opis zelo majhnih plastičnih drobcov (Thompson *et al.*, 2004). Glede na velikost se plastika razvršča na: makroplastiko (> 25 mm), mezoplastiko (5–25 mm), veliko mikroplastiko (1–5 mm), majhno mikroplastiko (1 µm–1 mm) in nanoplastika (< 1 µm) (Slika 4) (Gesamp, 2016; Hanvey *et al.*, 2017).



Slika 4: Klasifikacija plastičnih delcev glede na velikost
(Vir: prirejeno po Gesamp, 2016; Hanvey *et al.* 2017)

3.1.2 Kaj je plastika

Plastika je skupno ime za vrsto umetnih (sintetičnih) ali pol-umetnih (polsintetičnih) organskih materialov, izdelanih iz neobnovljivih ali obnovljivih naravnih surovin kot so zemeljski plin, celuloza ali naftni derivati. Plastiko tvorimo iz številnih kemičnih spojin – monomerov, ki jih pridobivamo iz ogljikovodikov.

Monomeri (grško 'μόνος' – en; 'μέρος' – del) so osnovne strukturne komponente polimerov. V procesu polimerizacije se monomeri kovalentno povežejo v polimerne verige (grško 'πολι' – mnogo, veliko, 'μέρος' – del) – makromolekule z visokimi molekulskimi masami (Pine, 1994; medmrežje 3, 4). Glede na izvor so polimeri lahko naravni, pol-umetni (polsintetični) ali umetni (sintetični).

Naravni polimeri se pojavljajo naravno v živih organizmih (npr. nukleinske kisline, polisaharidi, ...) in v naravnih virih (npr. svila, bombaž, volna, ...).

Pol-umetni (polsintetični) polimeri so vrsta polimerov, ki so s kemijskimi postopki narejeni na osnovi naravnih polimerov. Primer je viskoza (ali rajon), ki je narejena iz naravne celuloze.

Umetni (sintetični) polimeri so proizvedeni v postopkih kemijske polimerizacije¹, v laboratorijskih oz. industrijskih postopkih in kot taki v naravi ne obstajajo. Sintetični polimeri so pridobljeni s sintezo iz različnih kemičnih spojin (medmrežje 5).

Primeri sintetičnih polimerov vključujejo polietilen, polipropilen, polivinilklorid, polistiren, poliamid, poliester, poliuretan, polikarbonat in mnoge druge. Sintetične polimere uporabljamo

¹ Obstajajo različne metode polimerizacije, ki se uporabljajo za tvorbo polimerov – dva pomembna postopka sta verižna (adicijska) polimerizacija (npr. za pridobivanje polivinilklorida) in koračna (tudi stopenjska; kondenzacijska) polimerizacija (npr. za pridobivanje najlona) (medmrežje – <https://sl.wikipedia.org/wiki/Polimerizacija>).

v številnih panogah in v najrazličnejših izdelkih vključno z embalažo, oblačili, avtomobilskimi deli, računalniki, medicinskimi pripomočki itd. Zaradi svoje sposobnosti prilagodljivega oblikovanja, trdnosti, vzdržljivosti, lahкости, odpornosti na kemikalije, toplotni odpornosti in drugih uporabnih lastnosti so sintetični polimeri postali ključni materiali v sodobnem svetu (medmrežje 5).

Polimere v osnovi razvrstimo glede na molekularne sile, ki držijo njihove polimerne verige skupaj. Glede na ta kriterij lahko polimere razdelimo v naslednje skupine (Rudin, 1999; Carraher, 2006; Sušec, 2009):

- Termoplasti sestavljajo dolge, linearno razporejene ali rahlo razvejane verige, ki so povezane s šibkimi vezmi. Pri višjih temperaturah se termoplasti zmečajo, postanejo plastični in jih je mogoče preoblikovati v nove oblike, ki ostanejo stabilne, ko se ohladijo. Ta proces omogoča večkratno recikliranje materialov. Sem spadajo polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinilklorid (PVC), polistiren (PS).
- Duroplasti so sestavljeni iz verig, ki so med seboj povezane z močnimi kovalentnimi vezmi in tvorijo mrežasto strukturo. Ta vrsta polimerov je znana po svoji visoki trdnosti in odpornosti na visoke temperature, vendar zaradi njihove specifične strukture niso primerni za preoblikovanje in recikliranje. Primeri: epoksi, fenolne in poliestrne smole.
- Elastomeri so sestavljeni iz šibko povezanih, mrežasto strukturnih molekul, ki pri sobni temperaturi zagotavljajo prožnost. So materiali, ki imajo visoko elastičnost in se po raztezanju/deformaciji vračajo v prvotno obliko. Primeri vključujejo naravni kavčuk in sintetične elastomere, kot je neopren, silikonska guma.

Sintetični polimeri se lahko razvrstijo tudi glede na področje uporabe v več skupin (Carraher, 2006; Žigon, 2006):

- Vlakna so polimeri, ki imajo močne medmolekularne sile, kar ima za posledico visoko stopnjo poravnave in kristaliničnosti znotraj njihovih polimernih verig. To daje vlaknom odlično trdnost, togost in natezne lastnosti, zato se uporabljajo za izdelavo tekstilnih materialov, kot so poliester, najlon, akrilna vlakna.
- Premazi so polimerni materiali, ki se uporabljajo za zaščito, dekoracijo ali funkcionalne lastnosti površin. Sem spadajo akrilni premazi, epoksidni premazi.
- Lepila (adhezivi) so polimerna, ki imajo sposobnost tvoriti trdne povezave med materiali. Uporabljajo se za povezovanje/pritrjevanje različnih materialov skupaj, kot so plastika, les, kovine, steklo, tekstil in drugi. Taka so npr. epoksidna lepila, akrilna lepila.
- Veziva so polimerni materiali, ki se uporabljajo za vezenje materialov skupaj, kot so cement, beton, asfalt.
- Funkcionalni polimeri so polimerni materiali, ki imajo vgrajene posebne funkcionalne skupine ali strukture, ki jim omogočajo izvajanje določenih specifičnih funkcij ali lastnosti, kot so polimerni elektroliti, polimerni senzorji, polimerni prevodniki.

V nadaljevanju je podan kratek pregled najpogosteje uporabljenih sintetičnih polimerov (Janović, 1997; Huskić, 2019, 2020):

- Polietilen (PE) je najpogosteje uporabljen termoplastični polimer. Ima visoko trdnost, dobro kemično odpornost in nizko gostoto. Uporablja se kot embalažni material (plastične vrečke, folije, plastenke, cevi in filmi).

- Polipropilen (PP) je termoplastični polimer, ki ima visoko toplotno in kemično odpornost in nizko gostoto. Uporablja se v številnih izdelkih vključno s plastičnimi posodami, avtomobilskimi deli, embalažo in medicinskimi pripomočki (npr. injekcije, epruvete itd.).
- Polivinilklorid (PVC) je termoplastični polimer z dobro mehansko trdnostjo in kemično odpornostjo. Uporablja se zlasti v gradbeništvu za izdelavo cevi, oken, profilov in talnih oblog, avtomobilski industriji (armaturne plošče). Prav tako se uporablja za embalažo, električne kable in medicinske pripomočke (npr. zaščitne rokavice, katetri).
- Poliester (PET) oz. polietilen tereftalat je termoplastični polimer, znan po visoki trdnosti, toplotni stabilnosti in kemični odpornosti. Najpogosteje se uporablja za embalažo – proizvodnjo plastenkov za pijače, vlaken za tekstilno industrijo, saj so materiali trpežni, odporni proti gubanju, hitro sušeci, lahki, raztegljivi in imajo dobro barvno obstojnost. Lahko se uporabljajo samostojno ali pa se mešajo z drugimi vlakni, kot so bombaž, volna, najlon itd., za izboljšanje določenih lastnosti tkanin.
- Polimetilmetakrilat (PMMA) je prozoren termoplastični polimer z visoko optično čistostjo. Uporablja se kot nadomestek stekla v aplikacijah, npr. za izdelavo prozornih izdelkov, kot so okna, vetrobranska stekla, vitrine, svetilke, očala za sončenje in medicinski instrumenti.
- Poliuretan (PU) je vsestranski polimer z dobro trdnostjo, fleksibilnostjo in odpornostjo proti obrabi. Uporablja se zlasti za oblažitev pohištva, avtomobilske dele (sedeži), v gradbeništvu za izdelavo izolacijskih pen, oblačila, za premaze in lepila.
- Polikarbonat (PC) je trpežen termoplastični polimer z izjemno visoko udarno trdnostjo in odpornosti na toploto. Pogosto se uporablja v elektroniki (računalniki, telefoni, tablice, televizorji in druga elektronska oprema), v avtomobilski industriji pa tudi za zaščitna očala, športna ali otroška očala, saj je trpežen, odporen proti udarcem in ima dobro optično jasnost.

Obstaja še veliko drugih polimerov, ki se uporabljajo v različnih industrijskih panogah, vsak s svojimi specifičnimi lastnostmi in aplikacijami.

3.1.3 Zgodovina plastike

Z industrijsko revolucijo in rastjo prebivalstva v 19. stoletju se je povečevala potrošnja in s tem povpraševanje po naravnih materialih, kot so les, kovina in steklo, ki so omejeni in relativno dragi viri (Meikle, 1997).

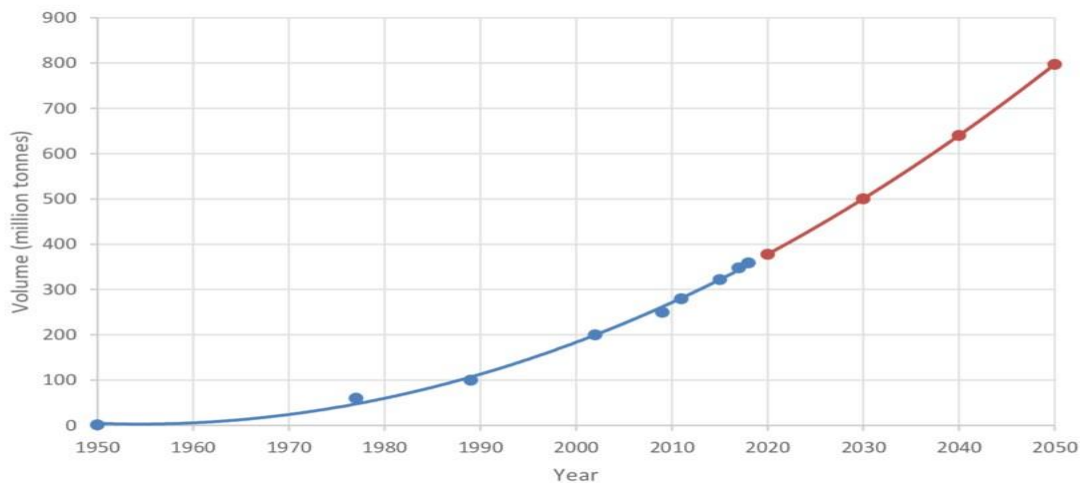
Že pred izumom sintetičnih polimerov so obstajali različni naravni materiali, ki so kazali lastnosti, podobne plastiki, kot sta guma in lak, vendar je bila njuna proizvodnja zamudna in draga. Znanstveniki oz. izumitelji so zato začeli iskati alternativne vire: l. 1843 je Charles Goodyear patentiral postopek vulkanizacije z žveplom (medmrežje 7). L. 1861 je Alexander Parkes, v iskanju cenejše zamenjave za gumo, izdelal nov material iz ricinusovega olja in kloroforma, ki ga je poimenoval »Parkesin«, ter ga patentiral kot vodoodporno zaščito za tkanine (medmrežje 6). Parksov patent je odkupil ameriški izumitelj John Wesley Hyatt, ki je nato začel eksperimentirati s celuloznim nitratom z namenom pridobiti nadomestni material za izdelavo žogic za biljard, ki so bile do takrat narejene iz drage slonovine (medmrežje 8). Šele l. 1907 je belgijski kemik Leo Hendrik Baekeland izumil »Bakelit«, ki je bila prva plastika, izdelana v celoti iz sintetičnih materialov – kombinacije fenola in formaldehida (fenolne smole), ki je zaradi svojih lastnosti (toplotne odpornosti, izolativnosti, vzdržljivosti, modularnosti) prešla v široko uporabo različnih izdelkov (medmrežje 9). To odkritje, da je mogoče polimere ustvariti

s povezovanjem manjših molekul, je pomenilo začetek kemije polimerov (Šprajcar *et al.*, 2012), čeprav sprva polimerizacija ni bila dobro razumljena. Osnovo za kasnejši razmah polimerne kemije je dal Hermann Staudinger, ki je prvi opisal nastanek izjemno dolgih polimernih verig, za kar je leta 1953 dobil Nobelovo nagrado za kemijo (Žigon, 2006).

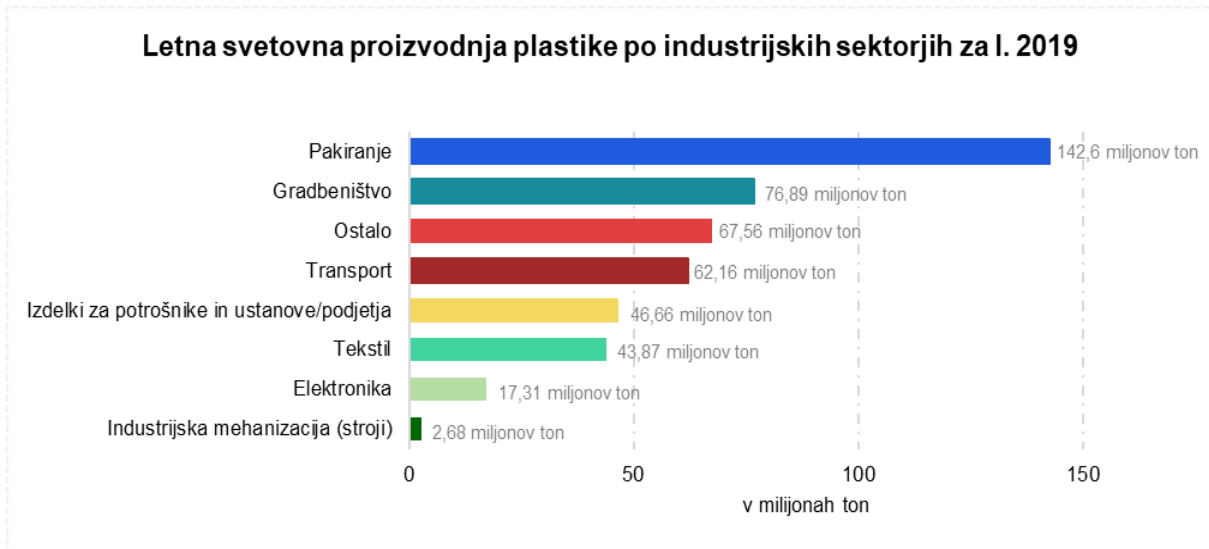
Prva svetovna vojna z rastjo povpraševanja po različnih materialih in znanstveni razvoj sta privedla do izuma metod za uporabo polivinilklorida (PVC) in polietilena (PE), ki sta bila sicer odkrita že pred tem (medmrežje 7 in 9), kot tudi do drugih odkritij – sintetičnih vlaken. Izum najlona v l. 1935 je omogočil, da je vojska lahko proizvajala padala, vrvi, podloge za čelado in neprebojne jopiče. Akrilno steklo, prozoren termoplastični material, trden in odporen na vremenske vplive, v l. 1933 patentiran pod imenom »Plexiglass«, je proizvajalcem letal omogočil razvoj trpežnih oken (medmrežje 10).

Nadaljnji tehnološki razvoj in razvoj petrokemične industrije sta z različnimi kemičnimi spojinami, pridobljenimi iz nafte, privedla do razvoja novi plastik kot npr. poliestrov (polietilen tereftalat – PET), polipropilena (PP), polistirena (PS) in številni drugih materialov, ki so prispevali k raznolikosti in uporabnosti plastike v različnih panogah in vsakdanjem življenju (medmrežje 7).

Zaradi vsestranske uporabnosti in nizkih stroškov proizvodnje plastike so različni plastični izdelki postali vsakdanji del življenja ljudi. Uporaba plastike se je v zadnjih 40 letih povečala za 25-krat (Sutherland *et al.*, 2016). Od leta 1950, ko so postali plastični izdelki široko dostopni, se globalna proizvodnja plastike vsako leto močno povečuje: iz 0,5 milijonov ton leta 1960 na 348 milijonov ton leta 2017; na 390,7 milijonov ton leta 2021, v letu 2022 pa je globalna proizvodnja plastike dosegla že 400,3 milijonov ton (PlasticsEurope – medmrežje 11). Predvideva se, da se bo v naslednjih 30 letih količina proizvedene plastike še podvojila (Rouch, 2021). Trend rasti je prikazan na spodnji sliki.



Graf 1: Prikaz proizvodnje plastike
(Vir: Rouch, 2021)



Graf 2: Letna svetovna proizvodnja plastike po industrijskih sektorjih za leto 2019
(Vir: prirejeno po OECD (2022), Global Plastic Outlook, medmrežje 23)

3.1.4 Viri mikroplastike in načini vstopa v okolje

Po izvoru mikroplastiko delimo na primarno oz. namensko proizvedeno, in sekundarno mikroplastiko, ki nastane zaradi razpada večjih kosov plastike pod vplivom zunanjih dejavnikov.

Primarna mikroplastika so plastični delci, t. i. granule ali peleti, v velikosti pod 5 mm (Gesamp, 2016), ki so namerno proizvedeni v taki velikosti in so namenjeni uporabi v izdelkih ali industrijskih procesih. Uporabljajo jih v kozmetični (npr. zobnih pastah, ličilih), gradbeni, farmacevtski in drugih industrijah kot stranski produkti (Gesamp, 2016). Pot vstopa primarne mikroplastike v okolje je odvisna od njene uporabe: delci iz kozmetičnih izdelkov običajno vstopajo z odpadnimi vodami; mikroplastika iz abrazivnega peskanja bo vstopila v ozračje in odpadno vodo, medtem ko lahko primarna mikroplastika, ki se uporablja za surovine, vstopi v okolje z naključno izgubo med prevozom in pretovarjanjem ali z odtekanjem iz predelovalnih obratov. V Evropski uniji je nedavno (17. 10. 2023) začela veljati prepoved prometa nekaterih izdelkov, ki vsebujejo mikroplastiko, kot so pilingi za telo, bleščice v kozmetiki ter podlage za športna in otroška igrišča, s ciljem zmanjšanja izpusta mikroplastike v okolje (medmrežje 22).

Sekundarna mikroplastika je stranski produkt razpada (fragmentacije) večje plastike v okolju (Gesamp, 2016), do katere pride zaradi drobljenja večjih kosov plastike (makroplastike) oz. njene abiotske in biotske razgradnje (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012; Fahrenfeld *et al.*, 2018).

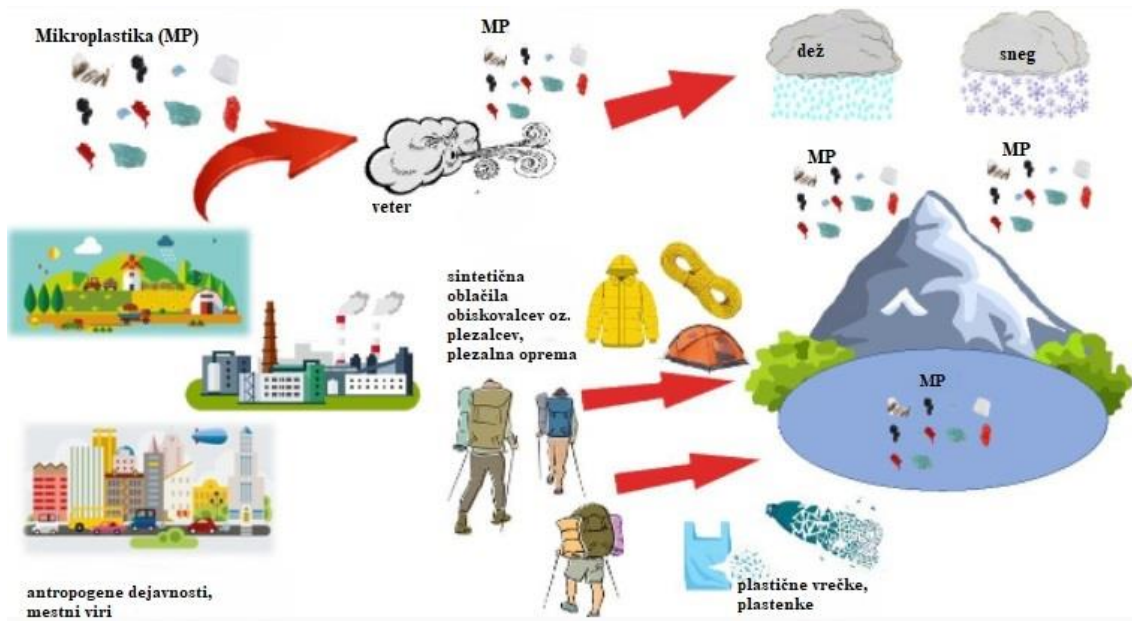
Sekundarna mikroplastika nastaja tudi med uporabo plastičnih proizvodov zaradi abrazije, npr. pnevmatik ob vožnji, barv izdelkov, oblačil iz sintetičnih tkanin. Pri pranju in sušenju takšnega perila v strojih nastane sekundarna mikroplastika, ki nato preko odpadne vode – drenažnih sistemov in (prepustnih) čistilnih naprav konča v naravi (Browne *et al.*, 2011; Napper *et al.*, 2016).

Študije so pokazale, da lahko gram sintetičnih oblačil sprosti približno 400 mikroplastičnih vlaken vsakih 20 minut uporabe. To pomeni, da pri oblačilu, težkem približno okoli 900 gramov, ki se nosi vse leto, lahko sprosti do milijarde mikroplastičnih delcev, ki nato končajo v okolju (voda, zrak in tla) (De Falco *et al.*, 2020).

3.1.4.1 Potencialni viri mikroplastike v primeru Dvojnega in Velikega jezera

Glavna načina prenosa mikroplastike v odročne visokogorske predele, torej v območjih brez stalne poselitve, sta:

- posredni: preko atmosferskega prenosa (dež, sneg, veter) na srednje do velike razdalje in
- neposredni: s strani obiskovalcev gora (medmrežje 12).



Slika 5: Glavni viri in prenos mikroplastike v visokogorska jezera
(Vir: prirejeno po Pastorino P. *et al.*, 2022)

Posredni prenos preko atmosfere

Prenos mikroplastike po zraku poteka preko atmosferskega odlaganja, pri katerem delce (primarne, sekundarne) mikroplastike dvigne v zrak (npr. zaradi vetra) in se nadalje prenašajo s pomočjo zračnih tokov. Med prenosom po zraku se delci lahko premikajo na različne razdalje. Gibanje in odlaganje delcev mikroplastike je odvisno od različnih dejavnikov, kot so atmosferske razmere (vzorci vetra, vremenske razmere) in fizikalne lastnosti (velikosti, gostote) same mikroplastike. Večji in gostejši delci mikroplastike se ponavadi hitreje usedejo blizu svojih virov, medtem ko lahko manjši in lažji delci ostanejo viseči v zraku dlje časa in lahko prepotujejo večje (znatne) razdalje iz oddaljenih virov, preden se preko vetra in padavin (dež, sneg) prenesejo nazaj na površje zemlje (depozicija).

Čprav posredni – atmosferski prenos mikroplastike (še) ni (neposredno) merljiv, lahko glede na splošno poznavanje onesnaževanja z mikroplastiko sklepamo z gotovostjo, da do atmosferskega prenosa mikroplastike prihaja tudi v primeru Triglavskih jezer, podobno kot v drugih regijah po svetu. Atmosferski procesi (veter, padavine) tako lahko prevažajo mikroplastiko do Dvojnega in Velikega jezera tako iz bližnjih virov – urbanih območij kot tudi iz bolj oddaljenih lokacij.

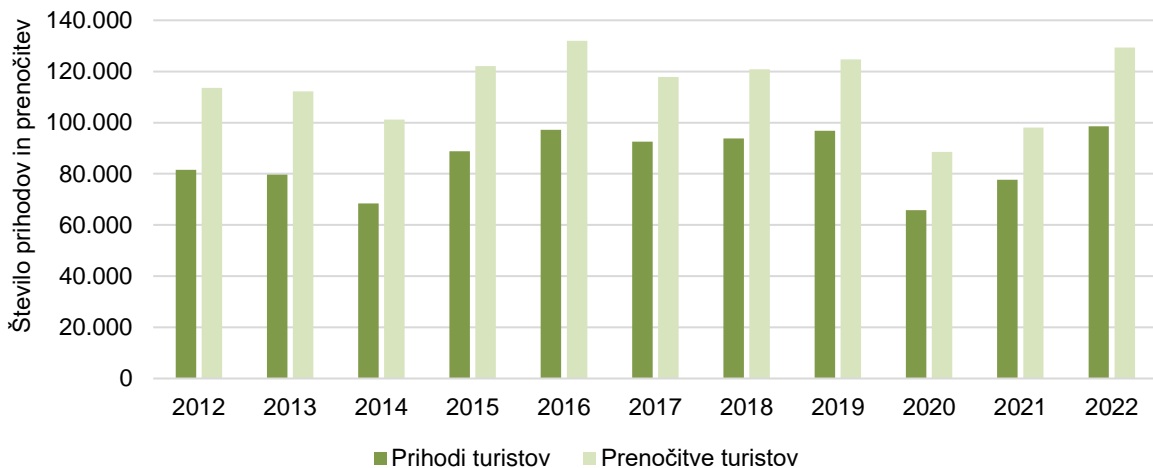
Neposredni prenos – človekove dejavnosti na kraju samem

Mikroplastika v visokogorje ne vstopa zgolj »na velike razdalje z vetrom in padavinami«, temveč tudi s pomočjo človekovih dejavnosti v tem okolju – obiskovanju gora (hoja, plezanje, smučanje) in s tem povezanih dejavnosti.

Pri tem ne Dvojno, v bližini katerega stoji tudi planinska koča, ne Veliko jezero nista nikakršni izjemi. Jezeri ležita v osrčju Triglavskega narodnega parka, ki se v zadnjih letih sooča s skokovitim porastom števila obiskov. Raziskave so pokazale, da obiskovalci lahko 'prinesejo' mikroplastiko v naravo iz različnih virov, vključno z oblačili in obutvijo, plastičnimi skodelicami, pokrovčki steklenic vode, pohodniškimi palicami, ki jih uporabljajo pri gorniških dejavnostih. Ti predmeti, ki so del gorniške opreme, predstavljajo pomemben vir mikroplastike in lahko prispevajo k širjenju mikroplastike v okolje (Parolini *et al.*, 2021).

S povečanim obiskom je povezan tudi obisk planinskih koč. Planinske kočice (skupaj s planinskimi potmi) predstavljajo ključno turistično infrastrukturo za izvajanje planinstva in vse bolj tudi gorskega turizma. Koče so prevzele naloge nastanitvenih in gostinskih obratov s sanitarijami, zato s svojim obratovanjem (podobno kot ostali gostinsko-nastanitveni objekti v dolinah) negativno vplivajo na okolje (emisije pri pridobivanju toplote in električne energije, odpadne vode (pranje posode in posteljnine, nudenje rabe pitne vode za osebno higieno), odpadki (embalaža, biološki odpadki, hrup)).

Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije se je število prihodov in prenočitev turistov (tako domačih kot tujih) v planinskih kočah v zadnjem desetletju konstantno povečevalo. V obdobju 2012–2022 je povprečno letno rast evidentiranih prihodov (obiskov) za 3 % in nočitev za 2 %. Po ocenah naj bi slovenske gore letno obiskalo kar 1,7 milijonov ljudi (medmrežje 13).



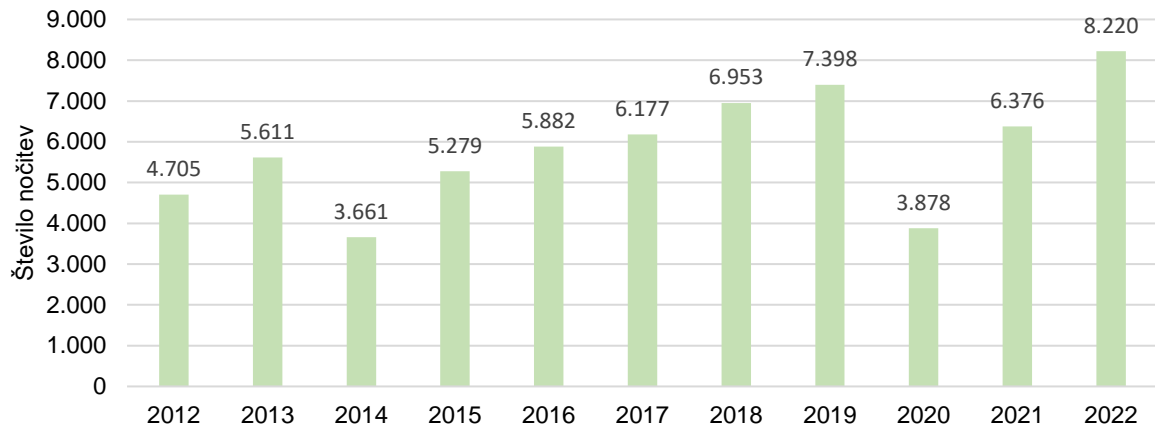
Graf 3: Število prihodov in prenočitev turistov v planinskih domovih in kočah v obdobju 2012–2022 v Sloveniji (Vir: SURS, 2023)

Koča pri Triglavskih jezerih

Med Dvojnim jezerom in umetnim jezerom Močivec stoji Koča pri Triglavskih jezerih, ki jo je že l. 1880 zgradil Avstrijski turistični klub, v letih 1955 in 1988 pa je povečana in posodobljena. S kočo upravlja Planinsko društvo Ljubljana – Matica. V gostinskem delu koče je 150 sedežev, v 13. sobah je 30 postelj, v 13. skupnih ležiščih pa 170 ležišč (Rozman, 2020). Koča obratuje v obdobju od konca junija do konca septembra in je ena izmed najbolj obiskanih koč. Število nočitev se v sezoni giblje med 36 in 147 oseb dnevno, število dnevniških obiskovalcev pa se

giblje med 58 in 552 (maksimalno 650) (Levstek, 2019). V celotni sezoni beležijo okvirno več kot 10 000 dnevni gostov (Levstek, 2019).

Iz podatkov Planinskega društva Ljubljana – Matica je v opazovalnem obdobju razvidna bistvena rast števila nočitev, z izjemo let 2014 ter 2020 in 2021 (epidemija covid-19). V letu 2022 se je število nočitev povečalo glede na zadnje ne-koronsko leto (l. 2019) in se predvideva, da se bo trend rasti nadaljeval.



Graf 4: Število nočitev v planinski Koči pri Triglavskih jezerih
(Vir: Planinsko društvo Ljubljana – Matica, 2023)

Potencialni viri vnosa mikroplastike iz koč so predvsem odplake iz kuhinje in stranišč. Da je v jezeru povečana količina hranil, je vidno zaradi povečane količine alg.

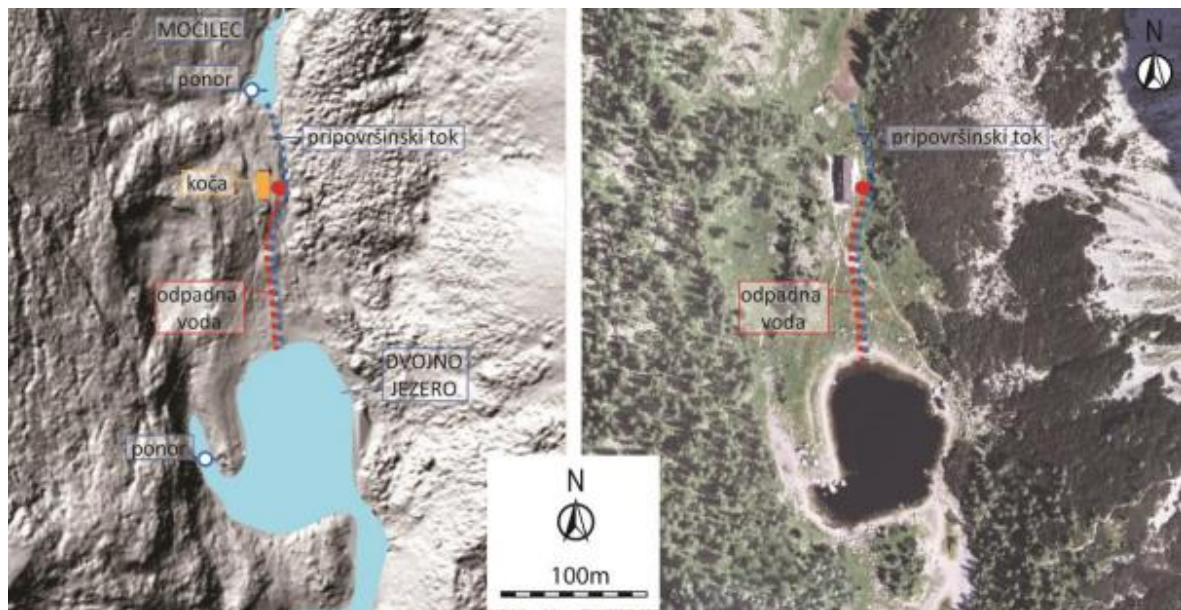


Slika 6: Alge ob obali Dvojnega jezera
(foto: M. Kovač, 2022)

Odpadnih voda Koče pri Triglavskih jezerih se čisti na mali komunalni čistilni napravi tipa Compact SBR 21000. Odpadna voda iz kuhinje najprej preide skozi lovilca maščob, nato pa se združi z odpadno vodo iz notranjih sanitarij (in tušev) ter se zbira v južni greznici (15 m³), ki je troprekatna neprepustna betonska greznica zgrajena leta 1988. Od tam se občasno prečrpa v šaržni biološki reaktor (SBR). Odpadna voda iz zunanjšega stranišča pa se zbira v severni

greznici (10 m³), ki se prav tako občasno prečrpa v SBR. Skupna maksimalna kapaciteta čistilne naprave je 12 m³/dan. Po čiščenju v SBR se voda odvaja v ponikovalni jašek, ki se nahaja na vzhodni strani koč, v neposredni bližini SBR, in je globok približno 1 m (Atanasova, 2022). Ponikovalni jašek leži na slabo prepustnih ledeniških sedimentih, kar onemogoča učinkovito ponikanje prečiščene odpadne vode. Le-ta tako izteka v močvirnat svet ob koči. Vode iz tega predela se zaradi rahlega reliefnega naklona stekajo proti Dvojnemu jezeru (Rožič - Čenčur Curk, 2019). Ker je odtok iz jezera majhen, se jezero vztrajno obremenjuje z delno prečiščenimi odpadnimi vodami iz čistilne naprave.

Ker obstoječi sistem čiščenja odpadnih voda pri Koči pri Triglavskih jezerih ni ustrezno učinkovit, lahko povzroči onesnaževanje okolice koč in s tem Dvojnega jezera tako z vnosom delcev mikroplastike kot tudi hranil v jezero.



Slika 7: Odpadna voda iz čistilne naprave ne ponikne zaradi zelo slabo prepustnih ledeniških sedimentov na mestu iztoka, temveč s površinskim tokom pronica proti jezeru.
(Vir: Geološko in hidrogeološko poročilo o dolini Triglavskih jezer s predlogi reševanja odvajanja vode iz čistilne naprave Koče pri Triglavskih jezerih, 2019)

3.1.5 Razkroj (mikro)plastike

Ko plastični materiali preidejo v ekosistem, se začnejo le ti pod vplivom različnih dejavnikov razgrajevati.

Proces razgradnje plastičnih materialov v okolju je odvisen od njegove narave, tj. značilnosti polimera, kot so struktura, dodatki in kemična sestava, in pogojev, ki jim je izpostavljen, od abiotskih dejavnikov (fizikalni in kemični dejavniki, ki nimajo živega izvora) do asimilacije s strani mikroorganizmov (bakterij in gliv) (Karamanlioglu *et al.*, 2017).

Glede na navedeno lahko razgradnjo plastike (polimera) razdelimo na abiotsko in biotsko razgradnjo.

Biotska razgradnja je opredeljena kot razgradnja plastičnih materialov s pomočjo živih organizmov kot so mikroorganizmi, glive, bakterije, rastline in žuželke. Ti organizmi proizvajajo encime, ki lahko razgradijo kemične vezi v plastiki in s tem omogočajo razgradnjo materiala na manjše komponente, ki so nato uporabljeni kot hrana. Da se plastika razgradi, sta torej potrebni dve fazi: (i) faza razgradnje, v kateri se prekinejo vezi med ogljiki v dolgih polimernih

verigah in pride do drobljenja plastike in (ii) faza biorazgradnje, v kateri razdrobljeni polimeri prehajajo skozi celične stene z mikroorganizmi, nato pa se ogljik, ki se nahaja v plastičnih verigah, uporabi kot vir energije ali gradbeni material za mikroorganizme. Pri večini umetnih polimerov je biotska razgradnja izjemno počasna, poznamo pa tudi biorazgradljive vrste, ki jih organizmi relativno hitro razgradijo in presnovijo. Organizmi lahko plastiko fizično razgradijo tudi z grizenjem, žvečenjem oz. z biokemičnimi procesi (Pastorino *et al.*, 2022).

Abiotska razgradnja traja različno časovno obdobje, v katerem okoljski dejavniki, kot so temperatura, svetloba, voda, vlaga, zrak, tlak ipd., vplivajo na razgradnjo plastičnih materialov (Crawford in Quinn, 2017). Toplotna razgradnja plastičnih materialov nastane kot posledica temperaturnih sprememb, torej zaradi visoke temperature pride do razgradnje plastike s termičnimi oksidacijskimi reakcijami. Površina plastike bo izpostavljena sončni svetlobi, zlasti UV sevanju, posledično bo razpadla zaradi dolgotrajne izpostavljenosti UV sevanju (Crawford in Quinn, 2017). UV sevanje razgrajuje kemične vezi v polimerih, kar povzroča razgradnjo in oslabitev materiala (fotooksidacija). Voda lahko povzroči hidrolizo, kemično reakcijo, pri kateri voda razgrajuje kemične vezi v plastiki. Hidroliza je pogostejša pri določenih vrstah plastik, kot so poliestri. Mehansko obrabljanje, kot so trenje, abrazija in drobljenje, lahko povzročijo fizično razgradnjo plastike v naravnem okolju. Abiotska razgradnja plastike je lahko počasen proces, ki lahko traja leta ali celo desetletja, odvisno od vrste plastike, okoljskih pogojev in drugih dejavnikov, razgradnja bolj odpornih materialov traja več tisoč let.

Razgradnja lahko povzroči spremembo morfologije mikroplastike, kar oteži njeno identifikacijo (Crawford in Quinn, 2017).

3.1.6 Odpadna (mikro)plastika in njen vpliv na okolje

Druga stran medalje svetovne proizvodnje plastike, ki znaša okrog 400 milijonov ton letno, je bolj ali manj količinsko spremljajoča odpadna plastika (plastični odpadki). To je temna stran večnamenskosti plastike, nizkih proizvodnih stroškov in (neodgovornega) potrošništva, ki se uteleša v izdelkih iz plastike za enkratno rabo in ta nemudoma po kratkotrajni rabi² postane dolgoživ odpadek na odlagališču ali v naravi.

Vplivu odpadne (mikro)plastike na (onesnaževanje) okolja potrjujeta (i) naše upravljanje z njo oz. njeni izpusti v okolje (Rocha – Santos, 2015; Gajšt, 2016) ter (ii) njena trajnost oz. visoka odpornost na okoljske vplive.

Razvite države si že dlje časa prizadevajo čimbolj uveljaviti programe ravnanja z odpadki vključno z odpadno plastiko, katerega glavna načela so preprečevanje, ponovna uporaba, recikliranje, energetska predelava (sežig), in nazadnje odlaganje. V Evropi je energetska predelava (sežig) najbolj uporabljen način odstranjevanja plastičnih odpadkov (42 %), sledi ji recikliranje, pri čemer se polovica plastike, zbrane za recikliranje, izvozi v predelavo v države zunaj EU. Približno 25 % vseh nastalih plastičnih odpadkov se odloži na odlagališčih (medmrežje 14).

Težava pri recikliranju odpadne plastike je v tem, da različni materiali, ki jim s skupnim imenom pravimo »plastika«, zahtevajo ločevanje in različne postopke predelave. Ločevanje je drago, saj poteka večinoma ročno. Težava je tudi v tem, da so mnogi odpadni predmeti sestavljeni iz različnih tipov plastike. Odvisno od termostabilnosti se plastiko pri predelavi bodisi drobi (mehansko recikliranje) ali topi (kemično recikliranje) (medmrežje 14).

Med reciklirano in izvorno plastiko so lahko razlike v ceni (proizvodnja nove plastike je odvisna od tržne cene naftnih derivatov, recikliranje pa je praviloma dražje, saj vključuje stroške kot so

² Samo v Evropski uniji se skoraj 40 % proizvedene plastike uporabi za embalažo (medmrežje 14).

zbiranje, sortiranje, čiščenje in predelavo plastičnih odpadkov) in kakovosti (reciklirana plastika lahko včasih vsebuje nečistoče ali onesnaževalce, ki jih je med postopkom recikliranja težko popolnoma odstraniti, kar vpliva na kakovost in učinkovitost reciklirane plastike v primerjavi s čisto plastiko). Nekaterih tipov plastike (npr. polistirena) se v glavnem ne reciklira, saj se reciklaža ne izplača. Čeprav se promovira recikliranje kot ključno rešitev za vse večji problem plastičnih odpadkov, pa je nedavna raziskava pokazala, da tudi recikliranje ni okoljsko nevtravno, saj sprošča ogromne količine mikroplastike. V obratu za predelavo plastike so v vodi, ki se uporablja za pranje, tj. odstranjevanje prahu in umazanije, da se zagotovi, da je plastika čista, preden gre v naslednjo stopnjo, ugotovili izredno povečane količine mikroplastičnih delcev (medmrežje 14).

Plastika, ki pride (je odvržena) v okolje predstavlja onesnaženje zlasti, ker je praktično biološko nerazgradljiva (dolgoročno obstojna). Zaradi kemične inertnosti se plastika razgrajuje zelo počasi, tudi več sto let. Prve raziskave odpadne plastike in njenega vpliva na okolje segajo že v 70. in 80. leta prejšnjega stoletja. Pozornost znanstvenikov so pritegnili primeri, ko so v prebavilih naplavljenih trupel morskih živali in ptic našli kose plastike, ki so povzročili poškodbe prebavil, verjetno so tudi pripomogli k njihovi smrti (stradanje, zadušitev, zastrupitev) (medmrežje 15).

Raziskave prisotnosti mikroplastike v morskih okoljih je ogromno, manj pa je raziskav mikoplastike na kopnem. Ocenjuje se, da številke vnosa mikroplastike, ki prehajajo v prst (zemljo), presegajo tiste, ki jo izločamo v vode (Kawecki, 2019). Zato se pričakuje, da bo precejšen delež onesnaženosti s plastiko vstopil in trajno ostal v stolpcu prsti. Ena od poti mikroplastike v tla je slabo ravnanje z odpadki; znano pa je tudi, da nekatere kmetijske prakse vnašajo mikroplastiko neposredno v prst z uporabo očiščene odpadne vode za namakanje (Moeller *et al.*, 2022) ali uporaba komposta iz bioloških odpadkov (Gajšt, 2016).

Prisotnost mikroplastike v okolju je zaskrbljujoča in potencialno škodljiva zaradi naslednjih razlogov:

- 1) Kopiči se v različnih ekosistemih vključno z morji, rekami, jezeri, zemljo in zrakom. V okolju lahko ostane dolgo časa, saj (mikro)plastika potrebuje več sto let, da se razgradi, zato jo je vedno več (akumulacija).
- 2) Zaradi velikosti lahko organizmi zaužijejo mikroplastiko, kar povzroči telesne poškodbe, prebavne težave in potencialno zastrupitev; prav tako se mikroplastika lahko v organizmih kopiči (bioakumulacija). V primeru zaužitja s strani majhnih organizmov se mikroplastični delci prenašajo po prehranjevalni verigi navzgor (Rochman, 2020). Zaradi velikega razpona velikosti je zaužitje možno pri velikem številu organizmov.
- 3) Delci mikroplastike lahko vsebujejo različne kemikalije (dodatke), ki se uporabljajo v proizvodnem procesu, s katerimi se zagotavlja široko paleto lastnosti za plastiko, kot so stabilizatorji ali zaviralci gorenja in druge morebiti strupene kemične snovi, med njimi so lahko tudi t. i. organska onesnaževala. Raziskave dokazujejo, da PE, PP in PS absorbirajo večje količine organskih onesnaževal (Rochman, 2015). Monomeri poliuretanske pene, polikarbonata in polistiren visoke žilavosti (*'high impact polystyrene'*) so uvrščeni med nevarne snovi, saj so lahko rakotvorni, mutageni ali strupeni za razmnoževanje (Rochman, 2015). Škodljive kemikalije iz delcev mikroplastike se tako lahko sproščajo/izpirajo v zemljo in vodo, v primeru, da te delce zaužijejo organizmi, se te kemikalije lahko potencialno sprostijo v njih in vstopijo v prehranjevalno verigo, kar predstavlja tveganje za živali in nenazadnje tudi ljudi.

Z ozirom, da je bila mikroplastika odkrita že v pitni vodi, hrani in celo v zraku (medmrežje 16), ki ga dihamo, se absorbira tudi v ljudeh. Zato ni presenetljivo, da so bili plastični delci nedavno

odkriti tudi v človeškem blatu (Schwabl *et al.*, 2022; medmrežje 17), pljučih (Jenner *et al.*, 2022; medmrežje 16) in krvi (Leslie *et al.*, 2022; medmrežje 18). Čeprav učinki mikroplastike na zdravje ljudi še niso znani in so predmet proučevanja, obstajajo pomisleki glede možnih tveganj, saj, kot pojasnjeno, plastika pogosto vsebuje dodatke, ki so strupeni.

Zato so ključnega pomena za ublažitev škodljivih učinkov na okolje prizadevanja za zmanjšanje nastajanja plastičnih odpadkov (npr. prepoved plastičnih izdelkov za enkratno uporabo, prepoved lahkih plastičnih vrečk itd.), spodbujanje pravilnega ravnanja s plastičnimi odpadki in razvoj trajnostnih alternativ za plastiko.

Kot alternativna rešitev se ponuja »bio-plastika«, ki je lahko sestavljena iz biološko nerazgradljivih polimerov³, ali biorazgradljivih polimerov⁴, ki se razgradijo pod delovanjem mikroorganizmov (medmrežje 19), UV žarkov, vode in drugih dejavnikov okolja. Vendar je na mestu omeniti, da potekajo polemike glede okoljskih koristi in morebitnih pomanjkljivosti bio-plastike, saj ni vsa ta plastika zlahka biološko razgradljiva, kot termin namiguje. Nekatere potrebujejo posebne okoljske pogoje, da se razgradijo, ki niso vedno prisotni, kar vodi v nepopolno razgradnjo in potencialno kopičenje plastičnih odpadkov. Tako lahko tudi delci še dolgo ostanejo v okolju, se razdrobijo v mikroplastiko, se kopičijo, in kot taki predstavljajo tveganje za ekosisteme. Nenazadnje pa ima lahko bio-plastika drugačne lastnosti kot običajna plastika, zaradi česar morda ni združljiva z obstoječimi sistemi recikliranja, kar lahko predstavlja oviro za njeno recikliranje (medmrežje 19).

3.2 Analiza mikroplastike

Za identifikacijo, kemijsko karakterizacijo in kvantifikacijo mikroplastike se uporabljajo različne metode in tehnike, zlasti mikroskopija (optična, elektronska), spektroskopija (infrardeča (IR), Ramanska) in termična analiza, ki se lahko uporabljajo posamično ali, ker ima vsaka metoda svoje omejitve in z namenom izboljšanja natančnosti in zanesljivosti rezultatov, v kombinaciji, odvisna od raziskovalnih ciljev, vrste vzorca in razpoložljivih virov (Moller *et al.*, 2020). Analiza mikroplastike je hitro razvijajoče se področje, pojavljajo se vedno nove tehnike in standardizirana metoda za analiziranje, ekstrakcijo in kvantifikacijo mikroplastičnih delcev še ni določena (Moller *et al.*, 2020; Sussmann *et al.*, 2021).

Za namen tega magistrskega dela smo odločili uporabiti optično mikroskopijo in infrardečo spektroskopijo s Fourierevo transformacijo (FT-IR).

Mikroskopija omogoča vizualno prepoznavanje (identifikacijo) delcev mikroplastike na podlagi njihove oblike, barve in drugih vizualnih značilnosti.

FT-IR spektroskopijo pa omogoča pridobivanje informacij o specifičnih kemijskih vezeh delcev mikroplastike. S to metodo je mogoče zlahka identificirati polimere na osnovi ogljika, saj imajo edinstvene spektre, ki jih ločijo od drugih organskih in anorganskih delcev. Poleg tega so za identifikacijo plastike na voljo tudi dobro uveljavljene polimerne spektralne knjižnice.

V nadaljevanju so predstavljene analizne metode, uporabljene za namen tega dela.

³ Katerih monomeri so bili proizvedeni iz biomase, kot je polietilen, izdelan iz etilena, pridobljenega iz sladkornega trsa, ali poliamid, izdelan iz ricinusovega olja.

⁴ Primeri polimerov vključujejo tiste iz škroba, sladkornega trsa itd., vključujejo polimlečno kislino (PLA) ali polihidroksialkanoate (PHA).

3.2.1 Ekstrakcija mikroplastike

Prvi korak priprave vzorcev za nadaljnje analitične postopke je ekstrakcija mikroplastike. Gre za postopek, s katerim se iz preiskovanega vzorca, npr. sedimenta, ki vsebuje širok spekter delcev vključno z organskimi materiali, minerali (usedline) in morebitnimi drugimi onesnaževali, (iz)loči (latinsko 'ex' – ven; iz; 'trahere' – vleči) delce mikroplastike od drugih delcev. Ekstrakcija torej omogoča odstranjevanje tistih snovi, ki lahko motijo merjenje oz. bi lahko vplivale na analizo mikroplastike. Obenem je mikroplastika v vzorcih pogosto prisotna v nizkih koncentracijah, zato je potrebno izvesti ekstrakcijo, da se poveča koncentracija mikroplastike v vzorcu.

Za ekstrakcijo mikroplastike iz vzorcev se uporabljajo različne metode, zlasti pa:

- Presajanje (filtracija): pri tej metodi se vzorec preseje skozi fina sita oz. filter, z določeno velikostjo por, pri čemer se ločijo večji delci in ohranijo le mikroskopski delci plastike.
- Plavajoče metode temeljijo na razliki v gostoti med plastiko in ostalimi delci v vzorcu. Uporablja se tekočine kot npr. solna raztopina z določeno gostoto ZnCl_2 , NaCl , NaBr za odstranitev mineralov, kar omogoči, da (mikro)plastika plava na površju, medtem ko težji delci potonejo. Nato se zbere in odstrani plastika s površine.
- Flotacija: metoda, ki uporablja zračne mehurčke, ki se uvajajo v vzorec. Mehurčki se pritrdijo na mikroplastiko in jo dvignejo na površje, medtem ko ostali delci ostanejo na dnu, nato se plastika zbere s površine.
- Kemijska obdelava (razgradnja): ta metoda vključuje uporabo kemijskih reagentov, kot so kisline ali topila, ki lahko razgradijo (odstranijo) neželene delce v vzorcu, pri čemer ostane mikroplastika (Nuelle *et al.*, 2014). Ta metoda je še posebej uporabna pri analizi kompleksnih okoljskih vzorcev, ki vsebujejo visoko vsebnost organske snovi.

Postopki ekstrakcije mikroplastike se prav tako kombinirajo.

Ločevanje mikroplastike po gostoti

Prst, kompost in drugi okoljski vzorci v analitiki mikroplastike predstavljajo izziv, saj so bogati z organsko snovjo, ki otežuje ločevanje mikroplastike iz vzorcev. Ločitev gostote je metoda, ki temelji na razlikah v gostotah med sedimenti in mikroplastiko (Crichton *et al.*, 2017). Hidrofobnost površin mikroplastike povzroči, da se organska snov adsorbira na njeni površini, zato moramo pred določitvijo količine in vrste polimera mikroplastike v vzorcu organsko snov odstraniti.

Razlike v gostoti, ki se uporabijo za ločevanje plastike ($0,8\text{--}1,7\text{ g/cm}^3$) in od usedline ($2,7\text{ g/cm}^3$) (Bergmann *et al.*, 2019) običajno izvedemo tako, da sediment skrbno premešamo z raztopinami, nasičenimi s soljo ter zberemo supernatant, ki vsebuje mikroplastiko, za nadaljnje zbiranje – filtracijo. Za ločevanje mikroplastike od usedlin so potrebne raztopine z gostoto $>1,7\text{ g/cm}^3$, odvisne od vrste polimera, koncentracije dodatka in celo adsorbiranih snovi in organizmov. Preprosto ločevanje po gostoti z uporabo različnih raztopin lahko pridobimo nekatere vrste plastike, kot sta PE (polietilen) in PP (polipropilen), iz vzorcev zemlje ali vlakna iz sedimentov zaradi svoje oblike in velike površine. ZnCl_2 se je pojavila kot najbolj izvedljiva metoda ločevanja gostote (Coppock *et al.*, 2017) zato smo jo izbrali tudi v našem primeru. V tem procesu je ključnega pomena izbira gostote raztopine za ekstrakcijo v zvezi z gostoto polimernega tipa.

Različne gostote plastike in raztopine za ekstrakcijo, povzete v spodnji preglednici (Horton *et al.*, 2017).

Preglednica 1: Gostota glavnih vrst plastičnih polimerov
Oznaka: + ločitev, ± možna ločitev, – ni ločena.
(Vir: Horton *et al.*, 2017)

Polimer	Gostota (g/cm ³)	ZnCl ₂ 1,7 g/cm ³
PP (polipropilen)	0.85–0.92	+
PE (polietilen)	0.92–0.97	+
PA (poliamid, najlon)	1.02–1.05	+
PS (polistiren)	1.04–1.1	+
PMMA (polimetilmetakrilat)	1.17–1.20	+
PU (poliuretan)	1.10	+
PVC (polivinilklorid)	1.16–1.58	±
PVA (polivinil)	1.19–1.31	±
Alkidna vlakna	1.24–2.10	+

3.2.2 Mikroskopija

Mikroskopija se uporablja za identifikacijo mikroplastike v območju milimetrov do nanometrskih delcev. Metode mikroskopije, kot so optična mikroskopija, mikroskopija s polarizirano svetlobo in elektronska mikroskopija (vrstična elektronska mikroskopija ali transmisijska elektronska mikroskopija), omogočajo večjo povečavo in ločljivost za podrobno analizo mikroplastike. S temi metodami lahko vizualiziramo in karakteriziramo fizikalne lastnosti mikroplastičnih delcev (morfologijo), kot so velikost, površinske lastnosti in elementarno sestavo, na mikroskopski ravni.

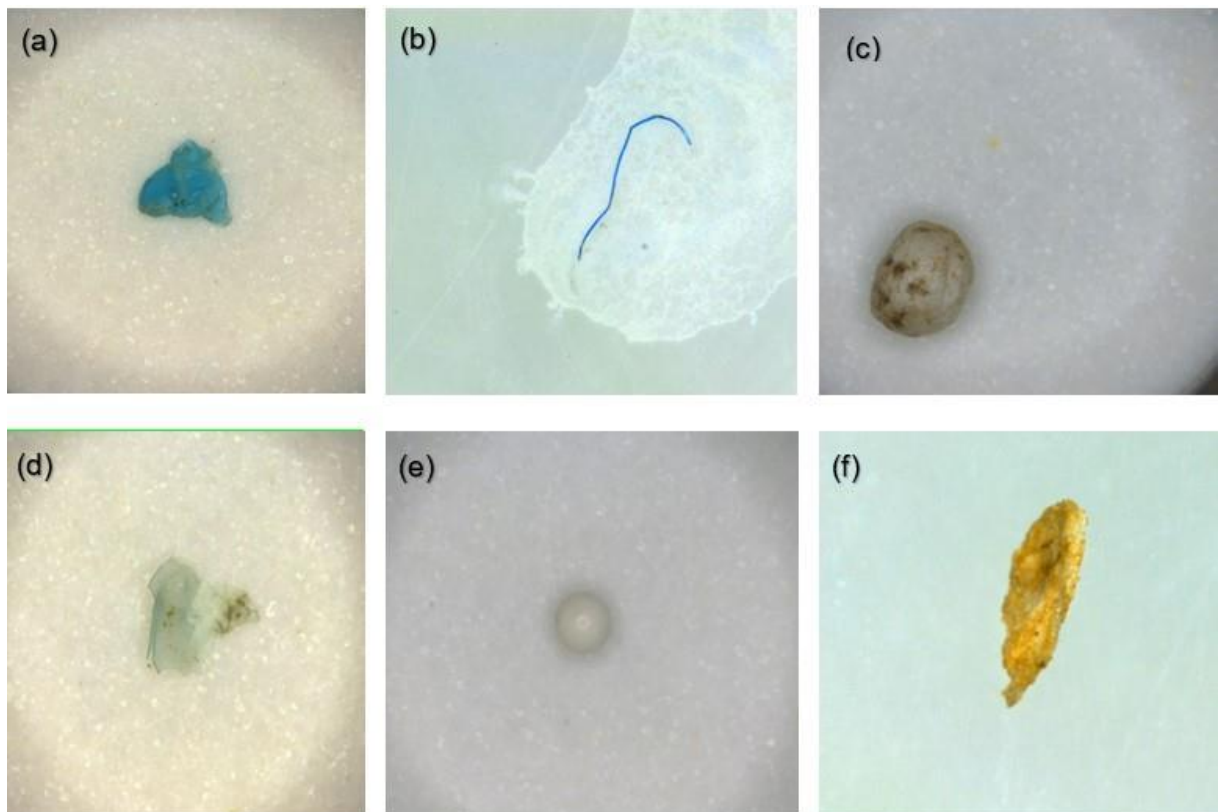
Sodobna mikroskopija omogoča visoko ločljivost in zajemanje slik v realnem času. S tem zagotavlja visokokakovostno slikanje in analizo vzorcev. Mikroskop lahko natančno preučuje in dokumentira velikost, obliko, barvo ter strukturo delcev mikroplastike in njihovo porazdelitev v vzorcu. Ne glede na navedeno, pa je težko opredeliti brezbarvne ali neopazne plastične delce velikosti pod 100 µm. Poleg tega mikroplastiko pogosto spremljajo usedline in biološki materiali, ki jih kemična razgradnja ne odstrani v celoti, in slabo ločevanje delcev v vzorcu lahko otežuje mikroskopsko identifikacijo mikroplastike.

Mikroskopska analiza tako zagotavlja informacije npr. o velikosti in obliki delcev mikroplastike, ki nam pomagajo razumeti porazdelitev in številčnost mikroplastike v danem vzorcu. Slednje je relevantno npr. z vidika verjetnosti zaužitja teh delcev.

V okolju mikroplastika običajno prevzame obliko fragmentov, vlaken (oz. filamentov), peletov, filmov, granul (zrn) in pen (Kovač Viršek, 2017).

- Fragmenti mikroplastike (Slika 8 (a)) so značilni po svoji nepravilni obliki, trdih in debelejših strukturah ter ostrih vogalih. Prav tako se pojavljajo v različnih pisanih barvah. Če jih stisnemo s pinceto, večinoma ne razpadejo, razen v primeru tanjših fragmentov.
- Vlakna oz. filament (Slika 8 (b)) se pojavljajo v različnih debelinah, dolžinah in barvah. Glavna značilnost, po kateri jih prepoznamo, je njihova fleksibilnost in sposobnost zvijanja.

- Peleti mikroplastike (Slika 8 (c)) imajo značilno okroglo, diskasto obliko. Pogosto so umazano bele barve, vendar se lahko pojavljajo tudi v drugih barvah. Njihov premer je običajno blizu 5 mm. Vplivi drugih dejavnikov lahko povzročijo tudi nepravilne okrogle oblike.
- Filmi mikroplastike (Slika 8 (d)) imajo značilno nepravilno obliko, so zelo fleksibilni in tanki. Njihova struktura spominja na koščke plastične vrečke. Lahko se pojavljajo v različnih barvah, vendar prevladujejo transparentni delci.
- Granule (Slika 8 (e)) imajo značilno krogličasto obliko s približno 1 mm premera. Zaradi svoje okrogle oblike so zelo spolzke in se hitro izmuznejo pod pinceto. Najpogosteje jih najdemo v umazano beli in črni barvi, redkeje v drugih barvah. Granule so tudi ena izmed najredkeje najdenih kategorij mikroplastike.
- Pene (Slika 8 (f)) imajo značilnost, da so mehke, ko jih stisnemo s pinceto, in imajo pogosto umazano belo barvo. Prevladujejo stiroporne kroglice, vendar se lahko najdejo tudi pene, ki spominjajo na čistilne gobice.



Slika 8: Oblike mikroplastike

(a) fragment, (b) vlakna, (c) pelet, (d) film, (e) granula, (f) pena

(Vir: Inštitut za vode RS. Foto vodič za mikroplastiko (Kovač Viršek, 2017) (interni vir).Ljubljana)

Iz oblike in barve mikroplastičnih delcev pa lahko z določeno verjetnostjo sklepamo o izvoru, tj. možnih virih onesnaženja in sestavi mikroplastike. Za potrditev vrste polimera pa je pogosto potrebna dodatna analiza (spektroskopija).

3.2.3 FT-IR spektroskopija

Za identifikacijo in karakterizacijo kemijske sestave mikroplastike se uporabljajo spektroskopske tehnike kot sta infrardeča spektroskopija s Fourierjevo transformacijo (FT-IR) in Ramanska spektroskopija. Razlika med njima je v tem, kako integrira svetloba (infrardeča oz. laserska) s snovjo in kako se pridobljeni spektri interpretirajo. FT-IR lahko prepozna specifično vrsto plastičnega polimera na podlagi njegove edinstvene molekularne sestave, medtem ko Ramanska spektroskopija zagotavlja informacije o molekularni strukturi in sestavi delcev.

Princip delovanja FT-IR spektroskopije

Infrardeča spektroskopija s Fourierjevo transformacijo (FT-IR) je metoda, ki se uporablja za pridobivanje infrardečega spektra absorpcije ali emisije trdne snovi (vključno z mikroplastiko), tekočine ali plina (Günzler *et al.*, 2006), ki se meri z interferometrom, skozi katerega se vodi infrardeča svetloba. Spektar FT-IR hkrati zbira podatke z visoko spektralno ločljivostjo v širokem spektralnem območju. S primerjavo spektra neznanega (analiziranega) delca s spektralno knjižnico se lahko določi vrsto polimera mikroplastike (Pavia *et al.*, 2001).

Vir infrardečega sevanja, ki se uporablja pri FT-IR, je žarnica kot na primer globar ali kvantni kaskadni laser, ki omogoča pokrivanje večjega dela infrardečega (IR) območja valovnih dolžin (širokopasovnim vir IR svetlobe).

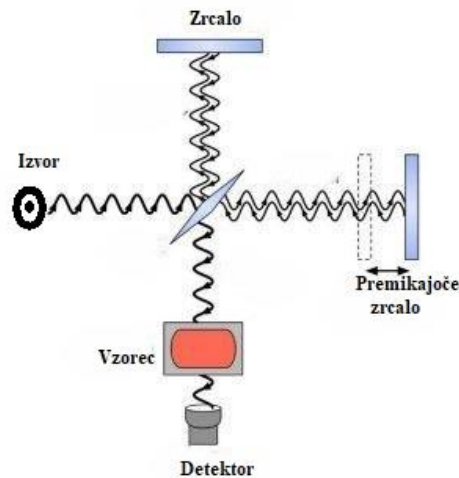
Interferometer sestavljajo dve ogledali in delilnik žarka. Interferometer deluje s premikanjem enega izmed zrcal, zaradi katerega se spreminja optična pot žarkov (slika spodaj). Intenziteta svetlobe na detektorju se s premikanjem zrcala spreminja zaradi konstruktivne ali destruktivne interference obeh žarkov. Deluje tako, da najprej razdeli žarek, ki prihaja iz žarnice (IR sevanje), na dve poti na (i) vzorčni žarek in (ii) referenčni žarek. Žarek vzorca gre skozi prostor za vzorec, v katerem je pripravljen vzorec oz. žarek (IR svetloba), ta prehaja skozi vzorec, kjer se absorbira ali sipa, odvisno od kemične sestave vzorca; medtem ko referenčni žarek obide vzorec in potuje neposredno do detektorja, nato pa se žarek po odboju od mirujočih in premikajočih se zrcal ponovno združi v delilniku žarka. Interferenca med temi žarki ustvari interferogram, ki je od časa odvisen signal in vsebuje informacije o interakciji vzorca z IR sevanjem (Garidel *et al.*, 2000).

Detektor meri interferenčni signal kot funkcijo razlike v optični poti. Če imata razdeljena žarka razliko v optični poti λ , sta žarka podvržena konstruktivni interferenci in se lahko štejeta za fazno z največjim odzivom detektorja. Če imata žarka razliko v optični poti $\lambda/2$, sta žarka podvržena destruktivni interferenci in sta 180° izven faze. Izriše se graf intenzitete svetlobe v odvisnosti od razlike optične poti žarkov, ki ga imenujemo interferogram.

Infrardeči spekter vzorca dobimo s Fourierjevo transformacijo interferograma.

Matematična pretvorba imenovana Fourierjeva transformacija pretvori interferogram v časovni domeni v spekter frekvenčne domene. Ta transformacija loči posamezne frekvence in njihove intenzitete, kar zagotavlja spekter, ki predstavlja absorpcijo IR sevanja v vzorcu. Dobljeni IR spekter predstavlja absorpcijo IR sevanja v vzorcu pri različnih valovnih dolžinah. Ta spekter vsebuje vrhove in pasove, ki ustrezajo različnim molekularnim nihanjem, prisotnim v vzorcu. Vsaka kemična vez v vzorcu absorbira določene valovne dolžine IR sevanja in te absorpcije se kažejo kot vrhovi v spektru. Načelo te tehnike temelji na absorpciji vzorca pri določeni frekvenci glede na vibracijsko gibanje molekul. Molekulska vibracija (povezano gibanje atomov v molekulah) ima naslednje načine: raztezanje, upogibanje in zibanje, od katerih vsak ustreza energijski ravni. IR spektri vsebujejo vrhove pri frekvencah, pri katerih predstavljajo prehode med kvantiziranimi vibracijskimi energijskimi stanji, ki ustrezajo določeni funkcionalni

skupini. Energijska razlika za prehode med osnovnim in prvim vzbujenim stanjem večine vibracijskih načinov se pojavi v srednjem IR območju, ki je med 4000 in 400 cm^{-1} valovnimi dolžinami (Snyder, 2016).



Slika 9: Shematski diagram, ki prikazuje princip delovanja interferometra (Vir: Wikipedia, 2023)

Dobljeni spekter se primerja z referenčnimi spektri ali bazami podatkov, da se identificirajo funkcionalne skupine in kemične vezi, prisotne v vzorcu. Vsaka vrsta plastičnega polimera kaže značilne vrhove in vzorce v IR spektru, kar omogoča prepoznavanje in razlikovanje različnih vrst plastike.

Infrardeči (IR) spektri polimerov

Z uporabo knjižnic spektrov (Rocha-Santos *et al.*, 2015) lahko primerjamo IR spektre neznanega plastičnega delca z IR spektri znanih polimerov, in prepoznamo vrsto polimera po specifičnih absorpcijskih nihanjih.

V Preglednici 2 so navedena valovna števila, pri katerih se pri vpadu IR svetlobe molekule ali atomske skupine premaknejo iz osnovnega na višjo energijsko raven zaradi vibracijskega in rotacijskega vzbujanja:

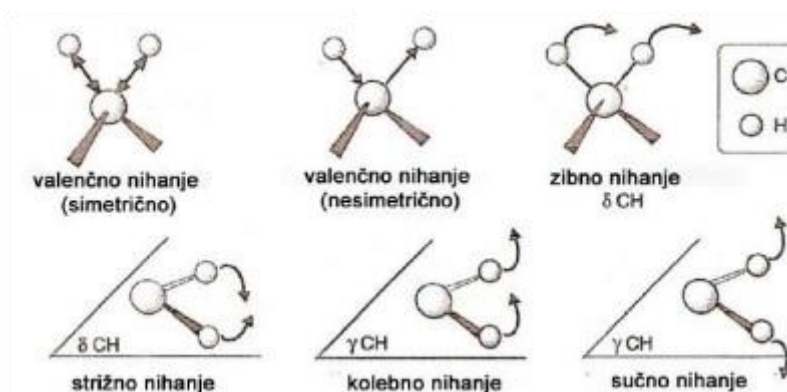
- funkcionalne skupine, v katerih so atomi povezani z močnimi vezmi, nihajo pri višjih valovnih številih v primerjavi s skupinami, ki jih povezujejo šibkejšje vezi;
- funkcionalne skupine, sestavljene iz lahkih atomov, nihajo pri višjih valovnih številih kot skupine sestavljene iz težjih atomov.

Različna vibracijska stanja so posledica različnih vrst nihanja vezi (Slika 10), ki so lahko simetrična ali asimetrična, prečna (*abending*) ali vzdolžna (*stretching*) ter deformacijska, kamor spadajo striženje (*scissoring*), zibanje (*rocking*), kolebanje (*wagging*) in sučno nihanje (*twisting*).

Intenzivnost absorpcijskih vrhov v spektru se lahko uporabi za kvantitativno analizo vzorca. S korelacijo intenzivnosti vrhov z znanimi standardi za umerjanje je mogoče določiti koncentracijo ali relativno številčnost specifičnih komponent v vzorcu.

Preglednica 2: Najpogostejši polimeri s svojimi nihanji in valvnimi števili (povzeto po Zeller *et al.*, 1973) – Infrared and Raman Analysis of Polymers)

Polimer	Strukturna skupina (nihanje (-CH ₂ -) skupine)	Absorpcijski vrhovi – valovno število [cm ⁻¹]
Polipropilen (PP)	CH ₃ asimetrično vzdolžno nihanje	2951
	CH ₂ asimetrično vzdolžno nihanje	2919
	CH ₃ simetrično vzdolžno nihanje	2868
	CH ₂ simetrično vzdolžno nihanje	2837
	CH ₂ strižno nihanje	1458
	CH ₃ simetrično prečno nihanje + CH ₂ kolebno nihanje	1377
	C-C vzdolžno nihanje + CH ₃ zibno nihanje + CH prečno nihanje	1168
	CH ₃ zibno nihanje + CH ₃ kolebno nihanje + CH prečno nihanje	998
Polietilen (PE)	CH ₂ simetrično vzdolžno nihanje	2918
	CH ₂ simetrično vzdolžno nihanje	2850
	CH ₂ strižno nihanje	1463
	CH ₂ zibno nihanje	720
Polistiren (PS)	CH aromatsko vzdolžno nihanje	3000–3110
	C=C vzdolžno nihanje	1601
	CH kolebno nihanje	757
	CH prečno nihanje	699
Polivinilklorid (PVC)	CH ₂ asimetrično vzdolžno nihanje	2904
	CH ₂ simetrično strižno nihanje	1437
	CH prečno nihanje	1243
	CH ₂ zibno nihanje	970
	C-Cl vzdolžno nihanje	610/620/685/693

Slika 10: Deformacijska nihanja molekul CH₂ (Vir: Gaulitz in Vo-Dinh, 2003; Merkač, 2010 Dugonjić, 2013)

4 EKSPERIMENTALNI DEL

4.1 Terensko delo – odvzem vzorcev

Mikroplastiko v površinskih vodah lahko najdemo v vodnem stolpcu in usedlinah zaradi različne gostote plastičnih delcev, prav tako pa lahko na njeno prisotnost sklepamo tudi iz prisotnosti v vodnih organizmih (Hannes *et al.*, 2012).

Analizo prisotnosti mikroplastike smo izvedli z vzorčenjem:

- sedimentov (usedlin) ob vodnemu pasu Dvojnega in Velikega jezera ter
- prebavil jezerske zlatovčice (*Salvelinus alpinus Linnaeus*) iz Dvojnega jezera.

4.1.1 Sedimenti

Raziskovanje porazdelitve mikroplastike v sedimentih zahteva previdno načrtovanje vzorčenja in zbiranja podatkov, saj je koncentracija mikroplastike v sedimentih praviloma neenakomerna in se zato lahko razlikuje glede na območje vzorčenja in globino sedimenta. Na neenakomerno porazdelitev plastike v sedimentih v veliki meri vplivajo njene lastnosti in okoljski dejavniki, kot so vetrovi in tokovi. Rezultati prisotnosti so tako v veliki meri odvisni od območja vzorčenja in globine, saj lahko nekatera območja vsebujejo višje koncentracije mikroplastike. Po pravilu velja, da zgornjih 1–5 cm predstavlja višje koncentracije kot zgornjih 10 cm. Za primerljive ocene mikroplastike v vzorcih sedimenta iz različnih študij bi se zahtevale natančnejše in standardizirane metode vzorčenja tudi glede določitev globine vzorčenja.

Z namenom zagotoviti zanesljive rezultate smo načrtovali odvzem vzorcev sedimentov na 4 vzorčevalnih mestih, da se pokrije vse strani obrežnega pasu obeh jezer in zlasti tistih delov, kjer bi bila akumulacija mikroplastike večja. Ta način omogoča pridobitev kakovostnejših podatkov o mikroplastiki v sedimentih ter boljše razumevanje njene porazdelitve na teh območjih jezer.

Dne 9. 7. 2022 smo odvzeli vzorce sedimentov, in sicer smo vsaki vzorčevalni točki vzeli po dva vzorca sedimenta (po prib. 300 g sedimenta, vključujoč v primeru Velikega jezera grobi pesek in manjše kamenje) v steklenih kozarcih (s kovinskim orodjem). Vsakemu vzorcu smo dodelili sledeče podatke: lokacija oziroma trasa vzorčenja, čas vzorčenja, GPS koordinate lokacije vzorčenja, poimenovanje vzorcev, globina vzorčenja in razdaljo od obalnega pasu (Preglednica 4 in 5).

Dvojno jezero (1679 m n. v.; ob visokem vodostaju dolžina 250 m, širina 50 m, globina v severni kotanji 8,7 m ter v južni kotanji 6,6 m):

Preglednica 3: Lokacije vzorčenja Dvojnega jezera in razdalje med točkami vzorčenja

	Lokacija A	Lokacija B	Lokacija C	Lokacija D
Čas (ura):	13:03	13:11	13:18	13:24
GPS koordinate:				
Dolžina:	13° 46' 45"	13° 46' 48"	13° 46' 45"	13° 46' 44"
Širina:	46° 19' 3"	46° 19' 1"	46° 18' 60"	46° 19' 3"
Št. vzorca:	A1, A2	B1, B2	C1, C2	D1, D2
Globina vzorčenja:	25 cm	42 cm	35 cm	45 cm
Razdalja od obalnega pasu:	268 cm	170 cm	150 cm	160 cm

Razdalje med točkami vzorčenja:	
A do B	74 m
A do C	65 m
C do D	80 m



Slika 11: Prikaz lokacij vzorčenja pri Dvojnem jezeru
(Vir: Atlas okolja, 2023)



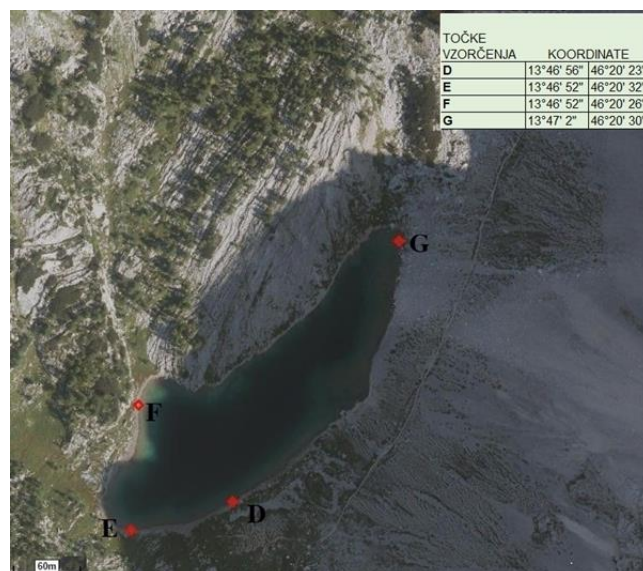
Slika 12: Prikaz vzorčenja in določanje razdalj med točkami ob Dvojnem jezeru
(foto: M. Kovač, 2022)

Veliko jezero (imenovano tudi Jezero v ledvici; 1831 m n. v.; dolžina 390 m, širina 150 m, globina 17,5 m):

Preglednica 4: Lokacije vzorčenja Velikega jezera in razdalje med točkami vzorčenja

	Lokacija D*	Lokacija E	Lokacija F	Lokacija G
Čas (ura):	10:36	10:47	11:01	11:28
GPS koordinate:				
Dolžina:	13° 46' 56"	13° 46' 52"	13° 46' 52"	13° 47' 2"
Širina:	46° 20' 23"	46° 20' 32"	46° 20' 26"	46° 20' 30"
Št. vzorca:	D1*, D2*	E1, E2	F1, F2	G1, G2
Globina vzorčenja:	38 cm	47 cm	44 cm	51 cm
Razdalja od obalnega pasu:	170 cm	180 cm	210 cm	320 cm

Razdalje med točkami vzorčenja:	
D* do E	80 m
E do F	80 m
D* do G	236 m



Slika 13: Prikaz lokacij vzorčenja pri Velikem jezeru
(Vir: Atlas okolja, 2023)



Slika 14: Prikaz merjenja razdalj od obalnega pasu in razdalj med točkami vzorčenja pri Velikem jezeru (foto: M. Kovač, 2022)

4.1.2. Jezerska zlatovčica

Jezerska zlatovčica (*Salvelinus alpinus Linnaeus*) zraste običajno od 15 do 40 cm (Veenvliet *et al.*, 2006) in ima vretenasto obliko trupa: na sredini je višji, pri glavi in repu pa zožen, bočno rahlo sploščen (Povž *et al.*, 1990). V naše kraje je bila prinesena ob koncu 19. in v začetku 20. stoletja (Povž *et al.*, 1990). V Dvojno jezero je bila naseljena l. 1991 (Brancelj, 1999); do leta 1999 je število teh rib kot tudi kasneje prinesenih pisancev (*Phoxinus phoxinus*) (medmrežje 20) v Dvojnem jezeru tako močno naraslo, da niso ogrožene le bentoške vodne bolhe in ceponožci, ampak tudi veliki vodni nevretenčarji, ki živijo v obrežnem pasu (Magjar, 2009).



Slika 15: Vzorci jezerskih zlatovčic
(foto: M. Kovač, 2022)

Izlov jezerske zlatovčice (*Salvelinus alpinus Linnaeus*) iz Dvojnega jezera je izvedel Zavod za ribištvo Slovenije. Ribe so bile ujete z zabodno mrežo. Izlov je bil narejen dne 21. 6. 2021, ribe so bile prenesene v dolino in zamrznjene. Od leta 2021 do analize je bilo 50 osebkov rib shranjenih v stekleni posodi v ledu. Analiza je bila narejena na vzorcih 25 rib, ostalih 25 pa je shranjenih za nadaljnje raziskave.

Na tem mestu je potrebno izpostaviti težave pri raziskavah (vnosov) mikroplastike z analizo živali, ki so bile ulovljene v naravi. Potrebni so učinkovitejši in potrjeni protokoli, ki bi omogočali boljše rezultate, kar vključuje tako optimizacijo vzorčenja, določanje najprimernejših analitičnih tehnik, prepoznavanje in kvantifikacijo mikroplastičnih delcev ter razumevanje njihovega izvora in potencialnih učinkov na ribe in celotne ekosisteme. Že med vzorčenjem se namreč lahko pojavlja več možnih virov napak, ki imajo precejšen vpliv na zanesljivost rezultatov, ključne izzive predstavljajo izguba mikroplastike in kontaminacija med vzorčenjem. Nadaljnji korak je seveda razvoj učinkovitih metod za kemično razgradnjo, ki bi pomagale učinkovito odstraniti organske snovi, ki lahko motijo nadaljnjo analizo. Pri tem je pomembno vzeti v obzir tudi specifikke okolja, iz katerega je vzorec – ribjih prebavil, saj med sladkovodnimi in morskimi ribami obstajajo velike razlike tako v prehranjevanju kot tudi pri razgradnji hrane, kar lahko pomembno vpliva na rezultate analize, zato metod analize vodnih organizmov niso nujno uporabne. Standardiziranje protokolov za kvantifikacijo mikroplastike, dajanje prednosti najprimernejšim metodam ter upoštevanje najboljših praks in ukrepov za zmanjšanje kontaminacije je tako nujna. Le pravilno usklajene metodologije bodo omogočile vzpostavitev temeljev za razvoj prihodnjih študij, kar je ključno za obvladovanje izzivov, povezanih z vzorčenjem, ekstrakcijo in identifikacijo mikroplastike.

4.2 Laboratorijsko delo

Materiali, instrumenti in oprema

Eksperimentalno delo je bilo opravljeno v laboratoriju za polimerno kemijo in tehnologijo na Kemijskem inštitutu v Ljubljani ter na Fakulteti za varstvo okolja v Velenju.

Kemikalije:

- H_2O_2 , vodikov peroksid 30 % (Merck, Nemčija), CAS Number: 7722-84-1
- ZnCl_2 , cinkov klorid (Sigma, Nemčija), CAS Number 7646-85-7
- HCl , klorovodikova kislina (Honeywell Fluka, Amerika), CAS Number 7647-01-0
- NaH_2PO_4 , natrijev dihidrogen fosfat (Honeywell Fluka, Amerika), CAS Number 7558-80-7
- $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$, natrijev dihidrogen fosfat monohidrat (Honeywell Fluka, Amerika), CAS Number 10049-21-5
- NaCl , natrijev klorid (Honeywell Fluka, Amerika), CAS Number 7647-14-5
- celulozni encimski prah (Sigma, Nemčija), CAS Number: 9012-54-8
- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, železov sulfat heptahidrat (Merck, Nemčija), CAS Number: 7782-63-0.

Steklovina:

- 500 ml in 1000 ml merilne čaše,
- 500 ml lij ločniki,
- steklene palčke,
- steklene petrijevke,
- sistem za vakumsko filtracijo,
- merilni valji,
- termometri,
- žična tkanina $10\mu\text{m}$.

Ostala laboratorijska oprema:

- sušilnik (Binder FD240),
- FT-IR – spektrometer Lumos (proizvajalec Bruker),
- optični – digitalni mikroskop LEICA DMS1000 B,
- IKA magnetna mešala z gretjem, keramična plošča, C-MAG HS 10 digital,
- analitska tehtnica (Mettler Toledo, model MS304S).

Preventivni ukrepi za preprečevanje kontaminacije vzorca

Za zagotovitev natančnih rezultatov je bistvenega pomena vzdrževanje strogih laboratorijskih praks za preprečevanje kontaminacije med ravnanjem z vzorci, analizo in čiščenjem opreme.

Pri analizi mikroplastike iz okoljskih vzorcev je potrebna skrb, da ne pride do kontaminacije vzorcev z mikroplastičnimi delci iz zraka, oblačil, kemikalij ali laboratorijske opreme. Kot preventivne ukrepe smo uporabljali stekleno in kovinsko opremo (namesto plastike, ki lahko povzroči kontaminacijo); vsa laboratorijska oprema je bila temeljito oprana z acetonom, ki mu je sledilo spiranje s deionizirano vodo; delovna površina pa je bila očiščena s 70 % etanolom in papirnatimi brisačami.

Izogibali smo se uporabi sintetičnega tekstila med vzorčenjem, med izvajanjem dela pa smo uporabljali laboratorijske plašče iz 100 % bombaža ter nitrilne rokavice. Vzorci so bili vedno pokriti s kovinskimi, steklenimi pokrovi ali aluminijasto folijo.

4.3 Priprava vzorcev in ekstrakcija mikroplastike

4.3.1 Sedimenti

4.3.1.1 Priprava – sušenje

Sediment smo sušili na 40 °C v sušilniku (Binder) približno 14 dni.



Slika 16: Sušenje sedimentov v sušilniku Binder
(foto: M. Kovač, 2022)



Slika 17: Sedimenti po sušenju
(foto: M. Kovač, 2022)



Slika 18: Sejanje sedimenta skozi sito 5 mm
(foto: M. Kovač, 2022)

Po končanem postopku sušenja smo sediment presejali skozi sito s 5 mm porami ter ga spravili v steklene petrijevke.

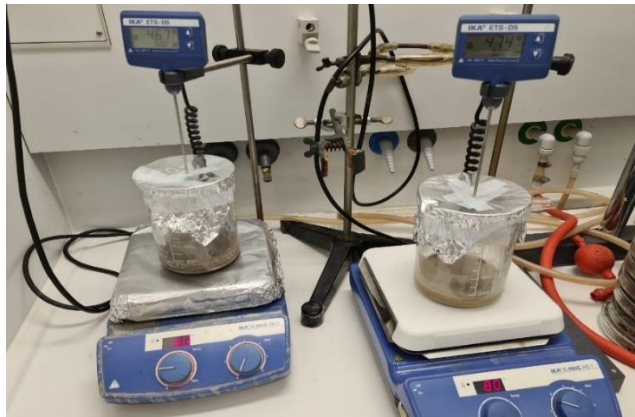
4.3.1.2 Ekstrakcija MP – filtracija in ločevanje po gostoti

Iz vzorcev sedimentov smo po sušenju vzeli 10 g suhe usedline in jo presajali skozi 125- μ m sita iz nerjaveče mreže. Sediment smo nato prenesli v steklene posode.

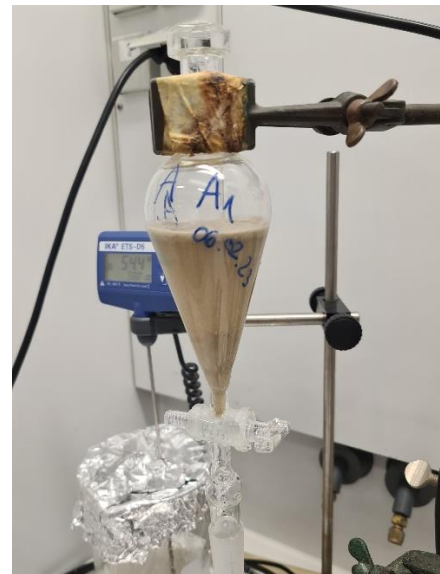
V čašo, ki je vsebovala zbrane trdne snovi v vsaki velikosti frakcij, smo dodali 90 ml 30 % raztopine H_2O_2 pri sobni temperaturi. Vzorce smo 72 ur segrevali na 50 °C in jih mešali pri 80. obratih na minuto s pomočjo magnetne mešalne grelnе plošče. V primerih, ko so bili še vedno vidni naravni organski materiali, smo dodajali 10 ml 30 % H_2O_2 v mešanico, dokler nismo

opazili več plinskih mehurčkov. Ko smo odstranili vse vidne organske snovi, smo vsebino prefiltrirali skozi sistem za vakuumsko filtracijo čez žično tkanino (velikost por $10\ \mu\text{m}$).

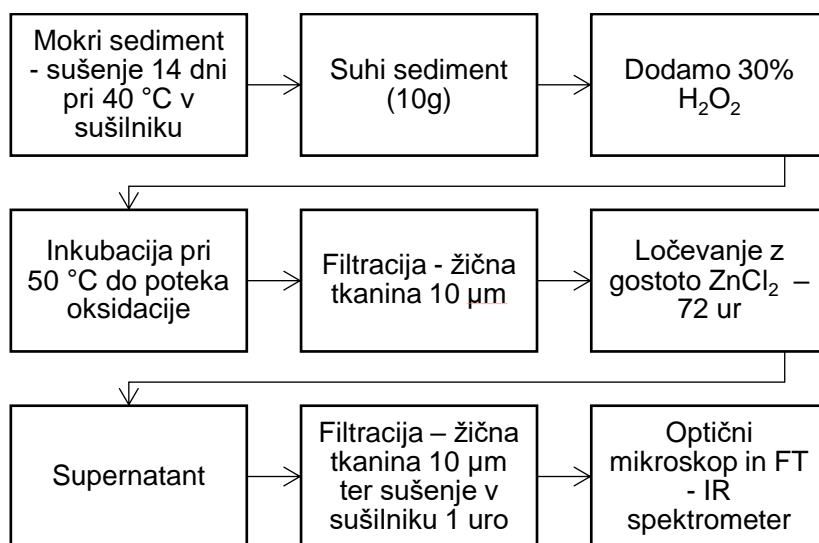
Nadalje smo uporabili metodo ločevanja po gostoti, ki je omogočila, da so polimeri z visoko gostoto plavali na površju. Za ta namen smo mešanici vzorcev dodali cinkov klorid (ZnCl_2 ; $1,7\ \text{g/cm}^3$), da smo zagotovili ločevanje vseh običajnih polimerov. Vzorce smo približno 72 ur pustili stati, pri čemer je mikroplastika lebdela, medtem ko so se drugi težji delci usedali. Supernatantno vodo iz vzorcev smo prenesli in nato filtrirali s pomočjo vakuumске filtracije preko žične $10\ \mu\text{m}$ tkanine. Po filtraciji smo tkanino položili v stekleno petrijevko, da preprečimo kontaminacijo s plastičnimi delci, in dali v sušilnik za 60 minut in vzorec je bil pripravljen za analizo pod stereomikroskopom.



Slika 19: Termična obdelava sedimenta
(foto: M. Kovač, 2022)



Slika 20: Ločevanje glede na gostoto z uporabo ZnCl_2
(foto: M. Kovač, 2022)



Graf 5: Diagram poteka ekstrakcije mikroplastike iz sedimentov
(M. Kovač, 2023)

4.3.2 Ribja prebavila

4.3.2.1 Priprava – odstranitev gastrointestinalnega trakta

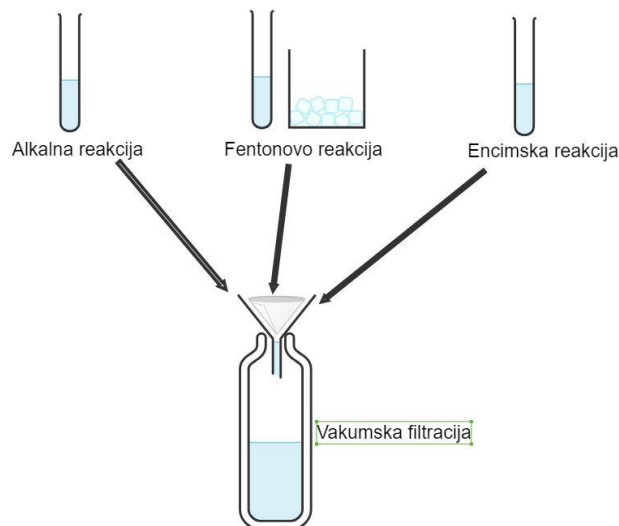
Pri razgradnji rib smo s skalpelom odstranili celoten gastrointestinalni trakt, in sicer tako, da smo naredili rez tik pod grlom in previdno zarezali trebušno stran ribe do analne odprtine. Ločili smo želodec skupaj s črevesjem, stehali ter ju shranili v kozarec in zamrznili do nadaljnje obdelave.



Slika 21: Jezerska zlatovčica – odstranitev gastrointestinalnega trakta (foto: M. Kovač, 2022)

4.3.2.2 Ekstrakcija MP – kemijska razgradnja in filtracija

Za namen odstranitve organskega materiala smo za prebavila uporabili tri metode: (i) alkalno – oksidativno razgradnjo, (ii) Fentonovo reakcijo in (iii) encimsko reakcijo, kot prikazuje spodnja shema.



Slika 22: Uporabljene tehnike za razgradnjo ribjih prebavil (M. Kovač, 2023)

i. Alkalna razgradnja prebavnega traku s H_2O_2

Alkalna razgradnja se nanaša na kemični proces, pri katerem spojina razpade ali razpade v alkalnih (bazičnih) pogojih. Pri alkalni razgradnji reakcijo sproži prisotnost močne baze, kot so hidroksidni ioni (OH^-). Vendar lahko alkalna presnova poškoduje ali razbarva plastiko, pusti mastne ostanke in kostne delce ali ponovno odloži ostanke tkiva na plastične površine, kar otežuje karakterizacijo s spektroskopijo. H_2O_2 ima dobro razgradnjo organskih snovi in pridobivanje plastike.

V 200 ml stekleno čašo smo odtehtali približno 10 g prebavil, dodali približno 100 ml 30 % H_2O_2 in postavilo na grelno ploščo $50\text{ }^\circ\text{C}$ do popolnega razkroja. Po tem smo vsebino prefiltrirali skozi sistem za vakuumsko filtracijo čez žično tkanino z velikostjo por $10\text{ }\mu\text{m}$. Laboratorijsko čašo smo izpirali z destilirano vodo. Po končani filtraciji smo žično tkanino položili na urno steklo in jo dali v sušilnik na $50\text{ }^\circ\text{C}$ za 120 minut. Po končanem sušenju smo vsebino na žični tkanini prenesli v petrijevko.

Metoda z uporabo H_2O_2 se je po 72. urah izkazala za neučinkovito metodo, saj je bila še vedno prisotna rastlinska organska snov.



Slika 23: Ribja prebavila (levo), razkroj s H_2O_2 (sredina), termična obdelava (desno)
(foto: M. Kovač, 2023)

ii. Fentonova reakcija

Fentonova reakcija je kemijski proces, ki predstavlja reakcijo med vodikovim peroksidom (H_2O_2) in železovim ionom (Fe^{2+}), pri čemer nastanejo visoko reaktivni hidroksilni radikali (OH^\cdot), ki razgrajujejo organske spojine. Fentonova reakcija se pogosto uporablja za razgradnjo in odstranjevanje organskih onesnaževal iz vode. Z ustvarjanjem hidroksilnih radikalov, ki imajo močan oksidativni potencial, lahko Fentonova reakcija učinkovito razgradi organske spojine v manjše, manj škodljive molekule.

Vzorci so bili pripravljani po enakem vrstnem redu kot pri alkalni razgradnji, z razliko, da smo po šestih dneh vzorec izpostavili železovi raztopini ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) in vodikovemu peroksidu (H_2O_2) v razmerju 1:3.

Ker je Fentonova reakcija močno eksotermna, smo vnaprej pripravili ledeno kopal (Slika 19) in pazili, da temperatura reakcije ne doseže $39\text{ }^\circ\text{C}$, saj previsoka temperatura vpliva na nekatere vrste mikroplastičnih delcev (Munno *et al.*, 2018). Čeprav je bil korak z reagentom

primeren in so bile že vidno odstranjene organske snovi, pa vseeno niso bile odstranjene v tolikšni meri, da bi bil lahko vzorec predmet nadaljnje analize.



Slika 24: Fotokemična Fentonova reakcija
(foto: M. Kovač, 2023)

iii. Encimska reakcija

Encimska reakcija se nanaša na kemično reakcijo, ki jo olajša ali katalizira encim. Encimi so biološke makromolekule, običajno beljakovine, ki v živih organizmih delujejo kot katalizatorji. Pospešijo hitrost kemičnih reakcij z znižanjem aktivacijske energije, ki je potrebna za potek reakcije.

V 200 ml merilno čašo smo odtehtali 10 g ribjih prebavil, dodali 50 ml 10 % raztopine KOH in inkubirali 48 ur na grelni plošči pri temperaturi 50 °C. Nato smo vsebino prefiltrirali skozi sistem za vakuumsko filtracijo čez žično tkanino z velikostjo por 10 µm in izpirali z deionizirano vodo. Po končani filtraciji smo žično tkanino položili na petrijevko in jo dali v sušilnik na 50 °C za 120 minut. Po sušenju vzorca smo ga za 72 ur izpostavili 30 % vodikovemu peroksidu. Po tem času smo dodali še encimski pripravek – 1 ml celuloze iz glive (gobe) *Trichoderma reesei* in vzorec ponovno pustili 72 ur na grelni plošči. Vzorec smo nato ponovno prefiltrirali in vsebino pregledali pod FT-IR spektrometrom.

Tudi encimi niso privedli do zadostne razgradnje rastlinske organske snovi, vseeno pa smo v vzorcu lahko zasledili vlakna.

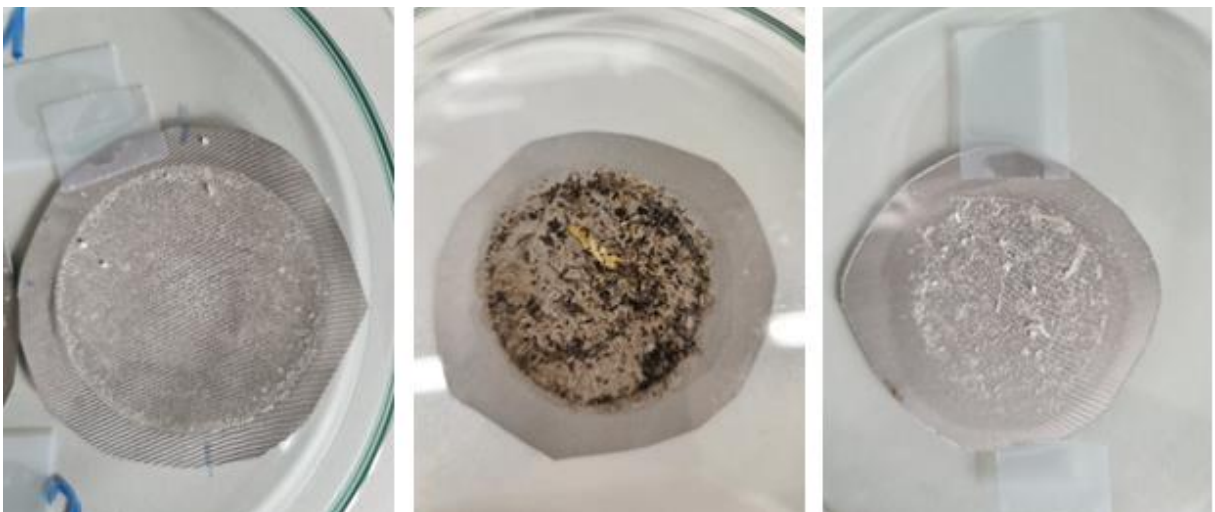


Slika 25: Termična obdelava z dodatkom encimskega pripravka
(foto: M. Kovač, 2023)

4.3.2.3 Ocena metod razgradnje

Študij mikroplastike v organizmih iz visokogorskih jezer je bistveno manj v primerjavi s študijami mikroplastike v rekah in morjih. Sladkovodne ribe se namreč obnašajo (prehranjujejo) drugače kot morske, zato metode v obeh primerih niso enako uporabne (Roch, 2022). Tudi rezultati uporabljenih metod za ekstrakcijo mikroplastike iz ribjih prebavil v konkretnem primeru nakazujejo potrebo po podrobnejšem raziskovanju le-teh.

Čeprav smo za namen razkroja organskega materiala za ekstrakcijo mikroplastike iz ribjih prebavil uporabili tri različne metode, nobena ni popolnoma razgradila organskega materiala. Pri metodi alkalne razgradnje, kjer je bil vzorec obdelan s 30 % vodikovim peroksidom (H_2O_2) (Slika 26, levo), je ostalo kar nekaj organskega materiala, ki ni bil razkrojen. Pri Fentonovi reakciji (Slika 26, sredina) je na žični tkanini ostalo veliko več nerazkrojenega rastlinskega organskega materiala. Pri encimski reakciji (Slika 26, desno) pa kaže rahlo, a pomembno zmanjšanje večinoma rastlinskega izvora organske snovi, na katerem se je lahko ugotavljala prisotnost mikroplastike v obliki vlaken.



Slika 26: Prikaz nerazkrojenega organskega materiala v vzorcih – alkalna razgradnja (levo), Fentonova reakcija (sredina), encimska reakcija (desno)
(foto: M. Kovač, 2023)

Poleg tega je primerjavo mikroplastike z različnimi metodami še potrebno podrobneje raziskati, da bi lahko z gotovostjo trdili, da je encimska reakcija primernejša pri razgradnji organskega materiala in tudi primernejša pri določevanju vsebnosti mikroplastike.

4.4 Analiza mikroplastike

4.4.1 Analiza s stereomikroskopom

Za pregled in identifikacijo mikroplastike na podlagi njenih značilnih lastnosti, kot so velikost, oblika in barva, smo uporabili digitalni stereomikroskop Leica DMS1000 za fotografiranje mikroplastike s kodirano lečo, kar nam je omogočilo visoko kakovostne, barvne in digitalne slike z visoko ločljivostjo. Optika je omogočala povečave do 300-krat, kar je zagotavljalo najmanjše podrobnosti pri pregledu. Vgrajena mikroskopska HDMI kamera je zagotavljala slike v živo v polni visoki ločljivosti s hitrostjo do 30 sličic na sekundo in ločljivostjo 5 milijonov slikovnih pik. Meritve so bile opravljene na različnih globinah od površine vzorca mikroplastike, in potrjene s kalibri Vernier. Na vsaki plasti so bile zajete optične slike in FT-IR spektri. Za zagotavljanje natančnih 2D meritev smo uporabili programsko opremo Leica Application Suite skupaj z Leica DMS1000 in kodirano zoom optiko.



Slika 27: Digitalni mikroskop LEICA DMS1000 B
(foto: M. Kovač, 2023)

4.4.2 Analiza s FT-IR spektrometrom

Analizo mikroplastike in njene kemične sestave smo izvedli s spektrometrom Bruker LUMOS z ATR metodo (oslabljena popolna odbojnost) na germanijevem kristalu, kar je omogočilo karakterizacijo mikrodelcev, ki so bili večji od 10 mikronov. Po izvedenem skeniranju ozadja je bilo opravljenih 64 skeniranj, pri čemer je bila ugotovljena interferenca CO₂ (absorbcija pri približno 4000-600 cm⁻¹), ki je bila zaradi jasnosti odstranjena. Za vsak delček smo izvedli skeniranje z ločljivostjo 4 cm⁻¹.

Dobljeni spektri ATR-FT-IR so bili validirani z neposrednim vizualnim pregledom zbirke spektrov ATR-FT-IR in primerjavo z referenčno spektralno knjižnico (OPUS 7 spectroscopic software) IR Hummel Industrial Polymers Volume 3 (c) 1999 Chemical Concepts GmbH.

Meritev posameznega vzorca smo opravili dvakrat. Razlogi za ponovitev so bili npr. pretanki delci, prekrhki, umazani ipd.



Slika 28: ATR – FT-IR spektrometer (levo); ATR konica spektrometra (desno)
(foto: M. Kovač, 2023)

5 REZULTATI IN RAZPRAVA

Analizirali smo:

- Dvojno jezero: 8 vzorcev sedimenta in 25 ribjih prebavil,
- Veliko jezero: 8 vzorcev sedimenta.

V vzorcih sedimenta iz Dvojnega jezera smo ugotovili prisotnost mikroplastike v 6 vzorcih sedimenta; v vzorcih iz Velikega jezera pa smo zaznali delce mikroplastike pri 2 vzorcih.

Rezultati razgradnje ribjih prebavil so bili neustrezni. Zaradi nepopolne razgradnje organskega materiala je analiza delca, dobljenega pri encimski reakciji, pokazala, da gre za naravno vlakno. Iz navedenega pa nikakor ne gre zaključiti, da mikroplastika ni oz. ne bi bila prisotna v vzorcih, temveč bi lahko o tem sklepali, če bi na to nakazovalo večje število analiziranih delcev.

5.1 Sedimenti

5.1.1 Rezultati analize s stereomikroskopom

S stereomikroskopom smo analizirali delce mikroplastike po številu, obliki, barvi ter velikosti (dolžini).

5.1.1.1 Število MP delcev

V vzorcih Dvojnega jezera je bilo skupno najdenih 10 mikroplastičnih delcev. V skupnem vzorcu A so bili najdeni 3 delci mikroplastike, pri čemer je bil eden od teh delcev polimer polipropilena (PP). Ta vzorčna točka je najbližja koči (1685 m n. v.) in je od nje oddaljena 120 dolžinskih metrov (Atlas okolja). V vzorcih C in D pa je bilo najdenih skupno 7 delcev. Vire delcev mikroplastike v Dvojnem jezeru lahko povežemo z ribiškimi mrežami, ki so pritrjene v Dvojnem jezeru za izlov rib (Zavod za Ribišstvo Slovenije), pranju tekstila (z uporabo pralnega stroja) v Koči pri Triglavskih jezerih ali pa so posledica prenosa delcev v zraku (atmosferski prenos).

V vzorcih sedimentov iz Velikega jezera je število mikroplastike pričakovano bistveno manjše, najdena sta 2 delca v vzorcu D* in E. Vzrok za to bi lahko bil lega obeh točk vzorčenja, saj je obala na tej strani jezera položna in manj skalovita (z drobnejšim kamenjem), kar omogoča obiskovalcem lažji dostop do jezera. Obiskovalci se na tem delu jezera pogosto ustavijo za počitek in okrepčilo (malica) ter fotografiranje, saj ponuja slikovit razgled na jezero in okoliške vrhove.

Preglednica 5: Število najdenih vseh delcev (vključno MP delcev) in število MP delcev v vzorcih

Dvojno jezero		
Oznaka vzorca	Št. vseh delcev	Št. MP delcev
A1 in A2 (skupaj)	13	3
B1 in B2 (skupaj)	0	0
C1 in C2 (skupaj)	11	4
D1 in D2 (skupaj)	11	3
Skupaj	35	10

Veliko jezero		
Oznaka vzorca	Št. vseh delcev	Št. MP delcev
D1* in D2* (skupaj)	4	1
E1 in E2 (skupaj)	6	1
F1 in F2 (skupaj)	2	0
G1 in G2 (skupaj)	0	0
Skupaj	12	2

5.1.1.2 Oblike MP delcev

Različni viri mikroplastike, kot so embalaža, oblačila in drugi plastični izdelki, lahko prispevajo k različnim oblikam MP delcev. Zato lahko na podlagi oblike MP delcev sklepamo o njihovem možnem izvoru.

Delce mikroplastike iz vzorcev sedimentov smo po obliki razvrstili na fragmente, filme, pelete in vlakna.

Preglednica 6: Oblike MP delcev v vzorcih sedimentov iz Dvojnega jezera

Oznaka vzorca	Št. fragmentov	Št. filmov	Št. peletov	Št. vlaken
A1	/	/	/	1
A2	/	1	1	0
B1	/	/	/	/
B2	/	/	/	/
C1	1	1	/	1
C2	/	/	/	1
D1	1	/	/	1
D2	/	/	/	1
Skupaj	2	2	1	5

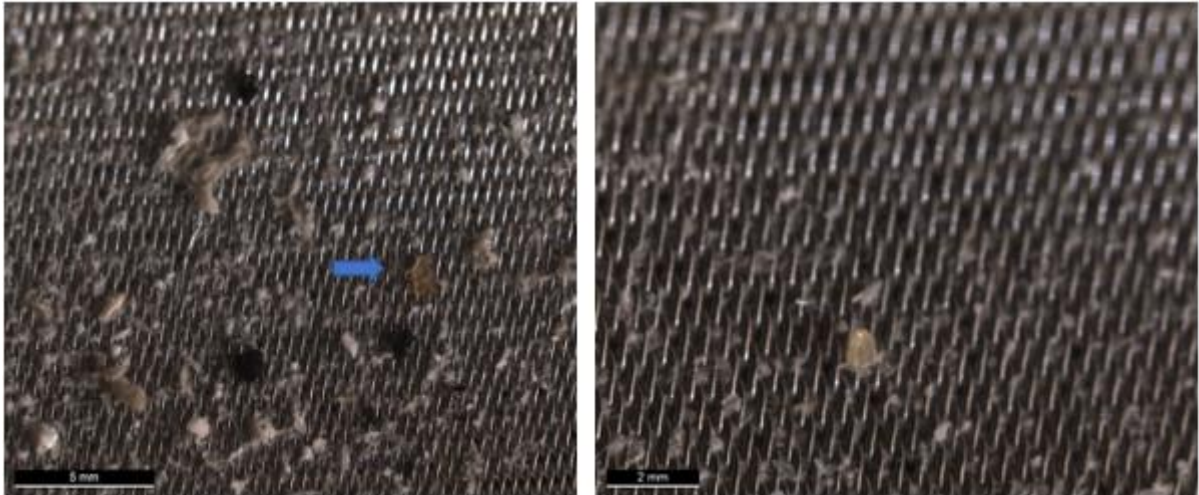
Preglednica 7: Oblike MP delcev v vzorcih sedimentov iz Velikega jezera

Oznaka vzorca	Št. filmov
D1*	/
D2*	1
E1	/
E2	1
F1	/
F2	/
G1	/
G2	/
Skupaj	2

Najpogosteje identificirana oblika delcev mikroplastike v Dvojnem jezeru so vlakna (Preglednica 6). Z ozirom, da se vlakna uporabljajo za (pohodniška) oblačila, dodatke k oblačilom, posteljnine, nahrbtnike itd., so slednji lahko njihov vir v vzorcih sedimenta. Izvor letih je poleg abrazije izdelkov obiskovalcev in atmosferskega prenosa lahko tudi pranje tekstila v koči, pri katerem se sprostijo majhna vlakna, ki preko odpadne vode dosežejo jezero.

Možni vir fragmentov je razgradnja plastičnih izdelkov, kot so plastične posode, embalažni material (plastenke, plastične vrečke) in čistilni mediji (Derraik, 2002), ki bi lahko bili tudi vir v vzorcih iz Dvojnega jezera.

Tudi filmi lahko izvirajo iz plastične embalaže, vrečk, ovitkov ipd., v kateri imajo obiskovalci shranjene stvari za pod zob (npr. sendvič zaviti v folijo).



Slika 29: Slika filma (levo) – Veliko jezero in fragmenta (desno) – Dvojno jezero
(foto: M. Kovač, 2023)

5.1.1.3 Barve vseh vlaken in MP delcev vlaken

V vzorcih sedimentov smo našli:

- Dvojno jezero: 30 vlaken, od tega je bilo 5 vlaken s kemijsko analizo (glej točko 5.1.2.1) potrjenih kot 'plastika', 13 naravnega izvora ter 12 nedoločljivega (Preglednica 8),
- Veliko jezero: 10 vlaken, od tega 4 naravnega izvora in 6 nedoločljivega (Preglednica 9) .

Preglednica 8 : Razvrstitev vlaken v Dvojnem jezeru

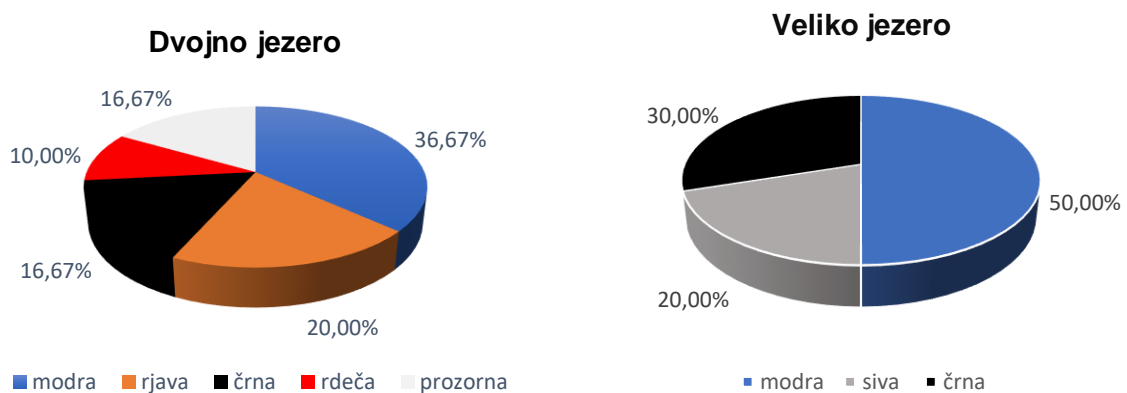
Oznaka vzorca	Št. vseh vlaken	Št. MP vlaken	Št. naravnih vlaken	Št. vlaken nedoločljivega izvora
A1	5	1	2	2
A2	6	/	3	3
B1	/	/	/	/
B2	/	/	/	/
C1	4	1	2	1
C2	5	1	2	2
D1	5	1	2	2
D2	5	1	2	2
Skupaj	30	5	13	12

Preglednica 9: Razvrstitev vlaken v Velikem jezeru

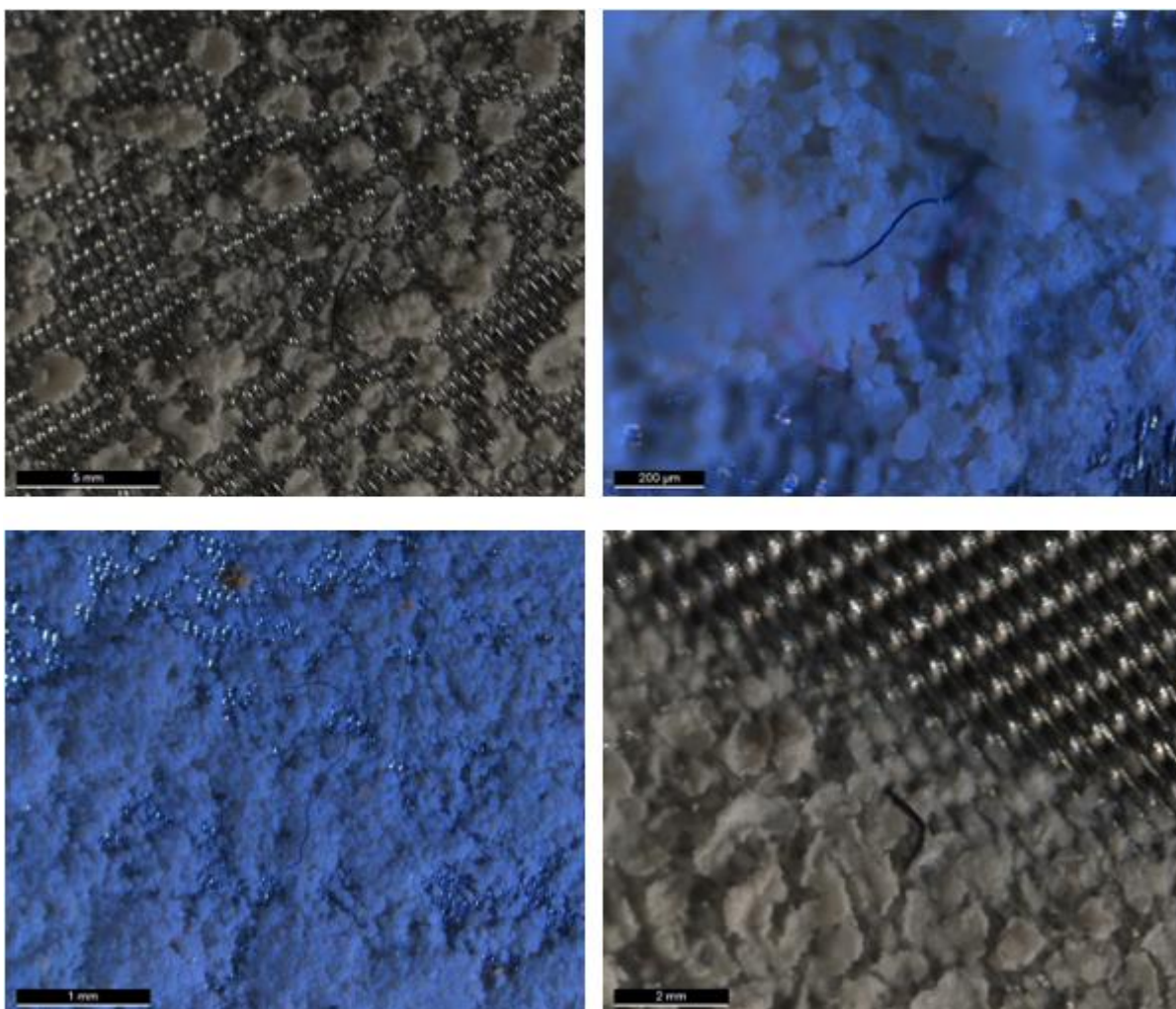
Oznaka vzorca	Št. vseh vlaken	Št. vlaken naravnega izvora	Št. vlaken nedoločljivega izvora
D1*	2	1	1
D2*	1	/	1
E1	2	/	2
E2	3	2	1
F1	2	1	1
F2	/	/	/
G1	/	/	/
G2	/	/	/
Skupaj	10	4	6

Vsa vlakna smo razvrstili po barvah, kot so modra, rjava, črna, rdeča, siva in prozorna. Tudi barve delcev mikroplastike se lahko sklepajo na njihov izvor, saj ko se plastični izdelki razgradijo v manjše delce, ohranijo svojo osnovno barvo. Tako bodo MP delci, ki izvirajo iz prozornih ali polprozornih plastičnih izdelkov, kot so plastične steklenice, embalažni materiali in drugi prozorni plastični izdelki, prav tako prozorni. Prozornim delcem se pripisuje onesnaževanje s plastiko za enkratno uporabo, kot so vrečke, jedilni pribor in platenke za vodo. Tudi druge barve, kot so rdeča, siva in rjava, ki so bile najdene zlasti v barvnih vlaknih, ki jih pripisujejo široki uporabi barvil v proizvodnji plastičnih izdelkov in v tekstilni industriji (Zhang *et al.*, 2018). Avtorji Alfonso *et al.* (2020b) so ugotovili korelacijo med prisotnostjo modrih delcev in uporabo indigo modrega barvila, ki se pogosto uporablja v tekstilni in drugih industrijskih procesih. Sklepanje o izvoru na podlagi barve MP delcev je manj zanesljivo, saj barva lahko zbledi ali se spreminja v različnih okoljskih pogojih (in celo med obdelavo vzorcev) ali pa plastični izdelki vsebujejo obarvano plastiko.

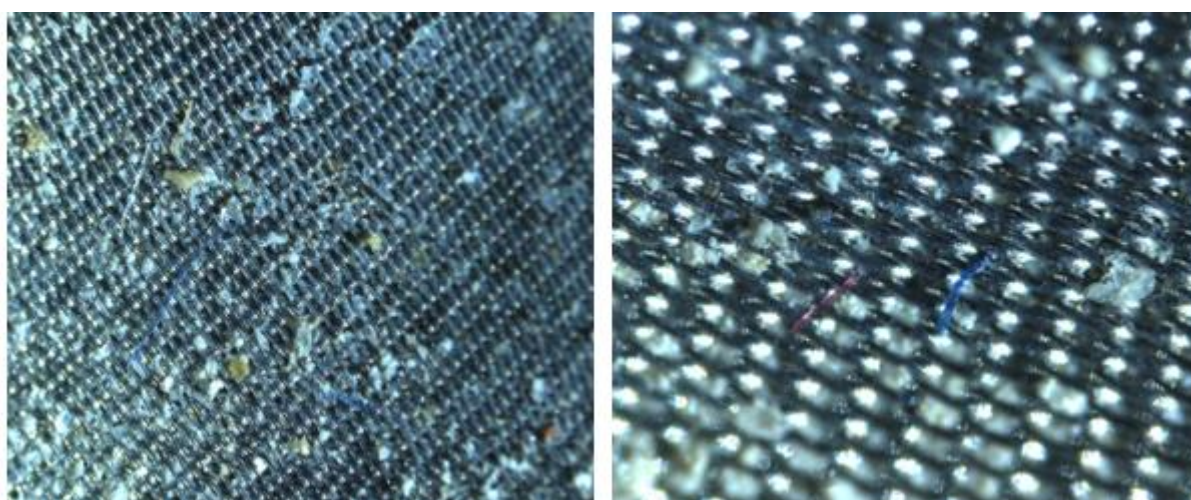
Razvrstitev barv vseh vlaken, ki smo jih našli v vzorcih Dvojnega in Velikega jezera, so predstavljene v Grafu 6, pri čemer v prvem prevladuje modra barva 11 (37 %), sledi rjava 6 (20 %), prozorna 5 (17 %), nato črna 5 (16 %) in rdeča 3 (10 %). Pri Velikem jezeru pa prevladuje modra 5 (50 %), sledi črna 3 (30 %) in z 2 (20 %) siva barva. Slike barv tipičnih vlaken so na slikah 30 in 31.



Graf 6: Barvna analiza vlaken iz Dvojnega in Velikega jezera



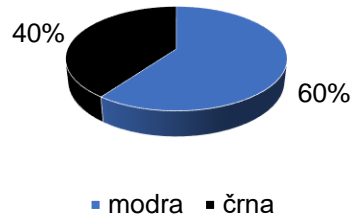
Slika 30: Barve vlaken iz Dvojnega jezera
(foto: M. Kovač, 2023)



Slika 31: Barve vlaken iz Velikega jezera (povečava 200 μm)
(foto: M. Kovač, 2023)

Barve MP vlaken, ki smo jih odkrili v vzorcih Dvojnega jezera, so prikazane v Grafu 7. Na tem grafikonu prevladuje modra barva s tremi vlakni, kar predstavlja 60 % vlaken, medtem ko črna barva z dvema vlaknoma predstavlja 40 %. V Velikem jezeru nismo zaznali prisotnosti MP vlaken oz. nismo mogli določiti njihovega obstoja.

Barve MP vlaken iz Dvojnega jezera



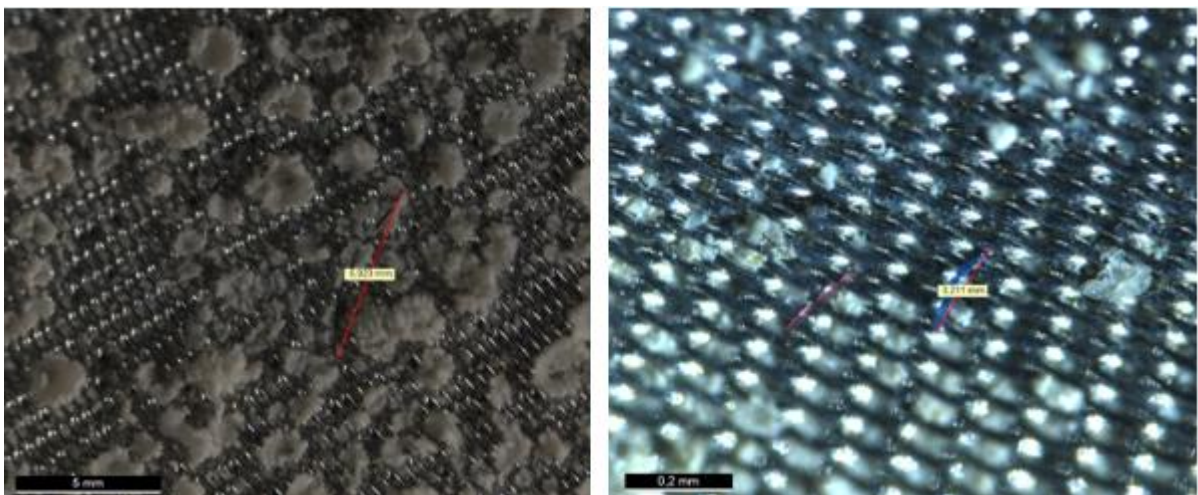
Graf 7: Barvna analiza MP vlaken v Dvojnem jezeru

5.1.1.4 Velikost (dolžina) vseh vlaken

Vsakemu posameznemu delcu – vlaknu smo s pomočjo digitalnega mikroskopa Leica DMS1000 B (Slika 32) oz. programske opreme izmerili dolžino. Na podlagi izmerjene dolžine vlaken smo določili minimalno, maksimalno in povprečno dolžino vlaken, ki znaša v vzorcih iz Dvojnega jezera 5,928 mm, Velikega jezera pa 1,575 mm (Preglednica 10).

Preglednica 10: Dolžine vseh vlaken

Dolžina vlaken (v mm)	Dvojno jezero	Veliko jezero
Povprečje	3,760 mm	0,770 mm
Minimum	0,310 mm	0,211 mm
Maksimum	5,928 mm	1,575 mm



Slika 32: Primer meritve dolžine vlakna iz Dvojnega (levo) in Velikega jezera (desno) (foto: M. Kovač, 2023)

Preglednica 11: Dolžine MP vlaken iz Dvojnega jezera

Vzorec	Oblika	Dolžina [v mm]
A1	vlakno	0,310
C1	vlakno	4,354
C2	vlakno	5,923
D1	vlakno	5,928
D2	vlakno	5,219
	Povprečje	3,013

Tudi iz dolžine mikroplastičnih vlaken lahko sklepamo o njihovih potencialnih virih oz. prenosu. Tako je npr. prisotnost krajših vlaken lahko znak daljše razgradnje plastičnih izdelkov; daljša vlakna so težja, zato ima višje hitrosti usedanja in se nagibajo h kopičenju na določenih območjih, in obratno, krajša vlakna se lažje prenašajo z vodnimi tokovi in vetrom, kar vodi do njihove razširjenosti (Napper *et al.*, 2020).

Kot dolga mikroplastična vlakna se običajno opredeljujejo vlakna, ki presegajo določen prag dolžine, na primer 1 mm ali več. Ta vlakna lahko dosežejo dolžino tudi nekaj centimetrov ali več. Iz prisotnosti daljših mikroplastičnih vlaken v vzorcih Dvojnega jezera lahko tako sklepamo, čeprav atmosferskega prenosa ne moremo zanemariti, da so viri vnosa lahko bolj neposredni kot npr. so lahko ribiške mreže, ki se uporabljajo za izlov rib, (daljša) vlakna lahko izvirajo preko oblačil ali drugih tekstilij obiskovalcev oz. dejavnosti Koče pri Triglavskih jezerih.

Kratka mikroplastična vlakna običajno segajo od nekaj mikrometrov do nekaj milimetrov v dolžino. Nastanejo zaradi razgradnje večjih plastičnih predmetov, kot so platenke, embalažni materiali in drugi plastični izdelki ter se razširijo z vetrom ali prenašajo z dežjem in snegom, kar pripelje do njihove razpršitve na druga področja. Z ozirom, da so v vzorcih iz Velikega jezera v povprečju prisotna krajša vlakna, bi bilo mogoče, glede na morebitno prisotnost mikroplastike v vlaknih nedoločenega izvora, sklepati, da njihovi prisotnosti botruje atmosferski prenos.

5.1.2 Rezultati kemijske sestave delcev

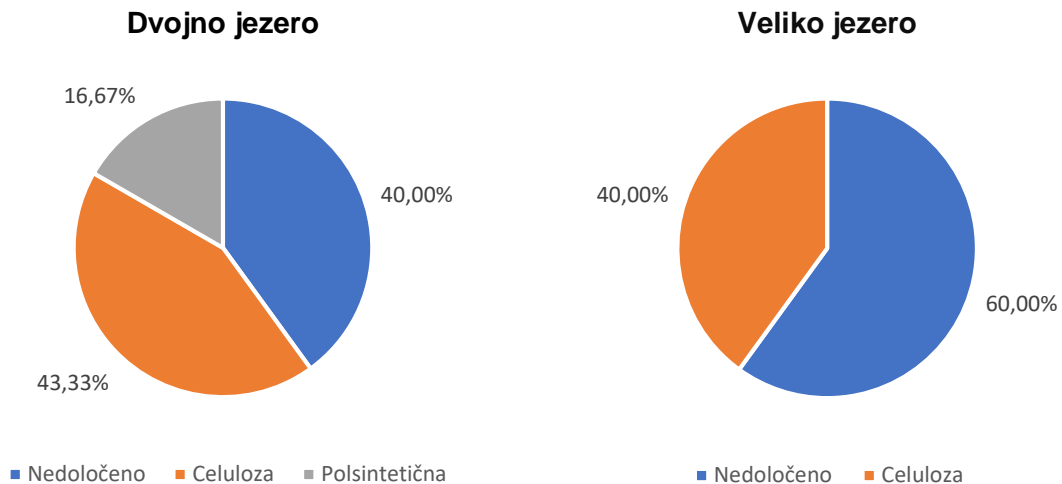
Za določanje kemijske sestave delcev, identificiranih s stereomikroskopom, smo uporabili ATR – FT-IR tehniko.

Kljub temu, da smo FT-IR spektroskopijo nekaterih delcev ponovili dvakrat, je bilo zaradi njihove (majhne) velikosti in verjetno tudi zaradi kemičnih, bioloških ali fizikalnih sprememb, nemogoče določiti sestavo, kar velja tako za fragmenta (2 delca), filme (4 delci) in najdena vlakna. Za ta namen bi lahko bila ustrežnejša ramanska spektroskopija.

5.1.2.1 Vlakna

Skoraj polovica, tj. 13 (43,33 %) analiziranih vlaken iz Dvojnega jezera je bila iz celuloze, 5 (16,67 %) je bilo polsintetičnih vlaken, v preostalih 12 (40 %) pa sestave vlaken ni bilo mogoče določiti.

Pri analizi vzorcih vlaken v sedimentih iz Velikega jezera je skoraj 6 (60 %) vzorcev nedoločene sestave, v preostalem 4 (40 %) pa so bila vlakna iz celuloze.



Graf 8: Prikaz izvora (narave) vlaken v vzorcih sedimentov

i. Celulozna vlakna

Celulozna vlakna so naravna vlakna, pridobljena s kemično obdelavo in razgradnjo rastlinskega materiala, kot je les, bombaž in drugih rastlin, ki vsebujejo naravni polimer celulozo. Celulozna vlakna imajo edinstveno kemično strukturo, saj so sestavljena iz dolgih verig glukoznih enot $(C_6H_{10}O_5)_n$ (n pomeni število monomernih enot) (medmrežje 21), ki tvorijo trdno in vzdržljivo strukturo. Celulozna vlakna se uporabljajo v različnih industrijskih panogah, papirno, embalažno in tekstilno industrijo, saj imajo ta vlakna številne uporabne lastnosti, kot so visoka trdnost, odpornost na vlago, odlična absorpcija barvil ter udobnost in zračnost pri nošenju. Celulozna vlakna služijo tudi kot osnova za proizvodnjo različnih vrst plosintetičnih vlaken (t. i. regenerirana celuloza), kot so viskoza (rajon), modal in lyocell, ki imajo enako kemijsko strukturo kot naravna celuloza in jo je od naravne celuloze težko ločiti s spektroskopskimi metodami.

Z ozirom, da so celulozna vlakna naravnega (organskega) izvora, in ne izvirajo iz umetnih polimerov (plastike), jih nismo šteli za delce mikroplastike.

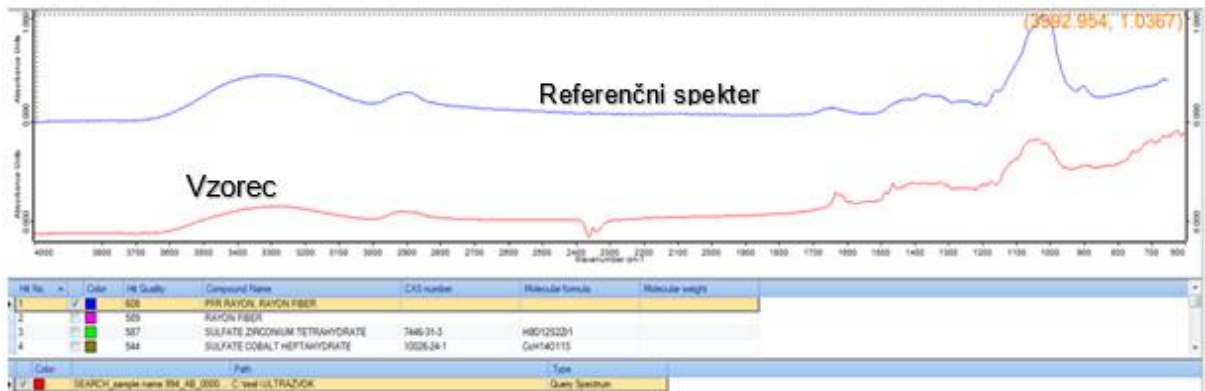
ii. Plosintetična vlakna – rajon

V vzorcih smo med vlakni analizirali plosintetična vlakna. FT-IR analiza spektra vzorca je pokazala, da gre za rajon. Rajon je izdelan iz naravnih virov regenerirane celuloze in se pogosto uporablja v tekstilni industriji.

Pri analizi FT-IR spektra rajona je mogoče opaziti več značilnih vrhov:

- raztezanje hidroksilne skupine (-OH): ta vrh se običajno pojavi pri približno $3300\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ in kaže na prisotnost hidroksilnih skupin v celulozi;
- raztezanje alifatskih C-H vibracij: ti vrhovi se običajno pojavljajo v območju $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ in kažejo na prisotnost ogljikovodikovih vezi v alifatskih delih molekule rajona;
- raztezanje karboksilne skupine (C=O): ta vrh se pojavi pri približno $1650\text{--}1750\text{ cm}^{-1}$ in kaže na prisotnost karboksilnih skupin, pogosto povezanih z esterskimi vezmi v rajonu;
- raztezanje C-O: ta vrh se pojavi pri približno $1000\text{--}1150\text{ cm}^{-1}$ in kaže na prisotnost C-O vezi, ki so značilne za celulozo.

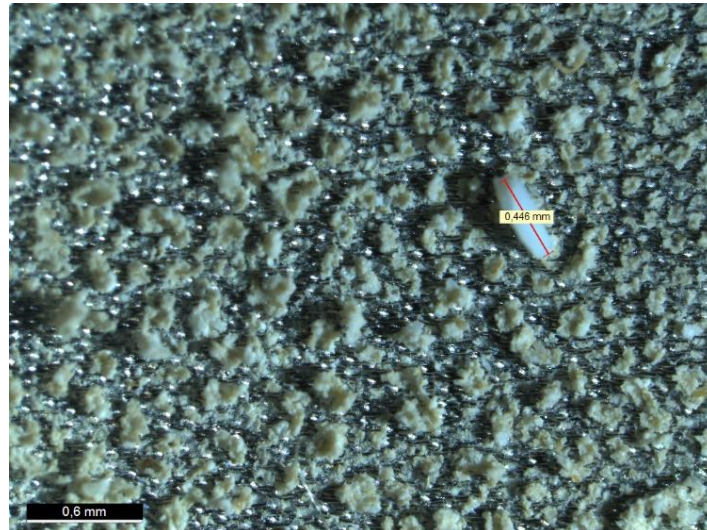
Zgoraj navedene so splošne značilnosti, ki jih najdemo v FT-IR spektru rajona. Vendar je pomembno opozoriti, da se natančni položaji in intenzitete vrhov lahko razlikujejo glede na specifično vrsto rajona.



Slika 33: FT-IR spektra rajon vlakna z referenčnim standardom (modra) z vzorcem (rdeča) (foto: M. Kovač, 2023)

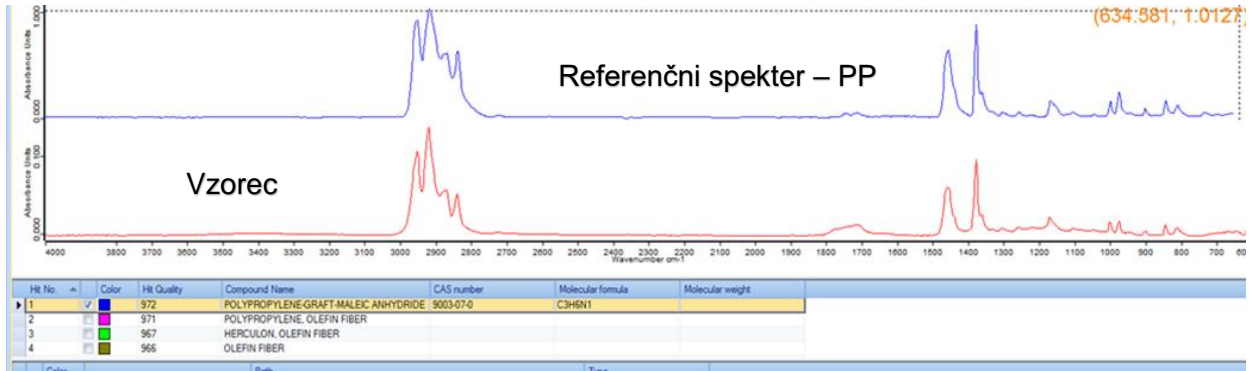
5.1.2.2 Pelet

V vzorcu A2 iz Dvojnega jezera smo identificirali mikroplastični delec – pelet z dolžino 0,446 mm. FT-IR analiza spektra vzorca je pokazala, da gre za polimer PP (polipropilena). Polipropilen (PP) se uporablja običajno za plastično embalažo.

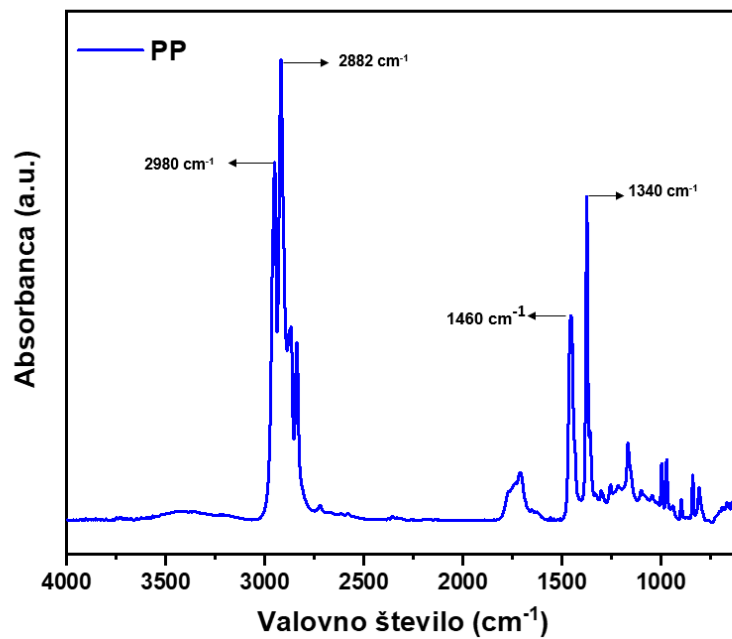


Slika 34: Vzorec polimera (PP) identificiran v vzorcu sedimenta iz Dvojnega jezera (foto: M. Kovač, 2023)

Pri analizi FT-IR spektra polipropilena so se vrhovi spektra razcepili, kar kaže na to, da je ta polimerna molekula polikristalna. Skupina vrhov okoli 2970 cm^{-1} do okoli 2850 cm^{-1} nakazuje prisotnost metilne (CH_3) funkcionalne skupine, medtem ko skupina vrhov okoli 1600 cm^{-1} do okoli 700 cm^{-1} kaže na prisotnost metilenske (CH_2) funkcionalne skupine. Ti pasovi so značilni za polipropilen (PP). Ujemanje spektra vzorca s spektralnimi značilnostmi polipropilena v knjižnici IR Hummel Industrial Polymers Volume 3, potrjuje, da gre za vzorec polipropilena.



Slika 35: FT-IR spektra polipropilena z referenčnim standardom (modra) z vzorcem (rdeča) (foto: M. Kovač, 2023)



Slika 36: IR spektra vzorca polipropilena (PP)

5.2 Ribja prebavila

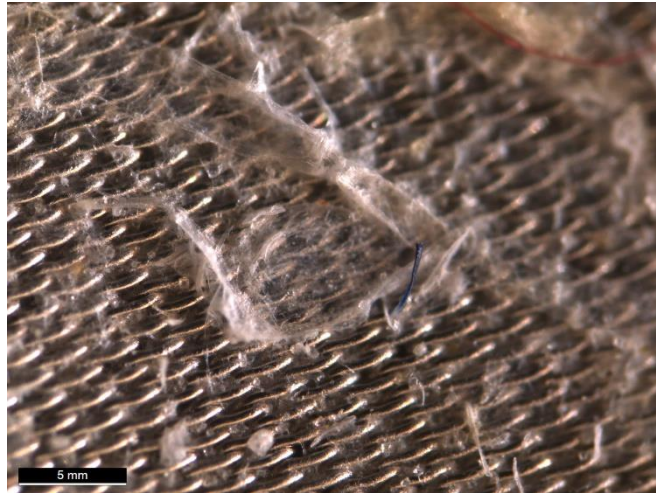
5.2.1 Rezultati analize s stereomikroskopom

Po encimski reakciji smo z digitalnim mikroskopom identificirali 3 modra vlakna, z ostalima dvema metodama nismo bili uspešni (Preglednica 12).

Preglednica 12: Prikaz število najdenih vzorcev vlaken v ribjih prebavilih

Reakcija	Št. vlaken
Alkalna reakcija	/
Fentonova reakcija	/
Encimska reakcija	3

Na podlagi študij je ugotovljeno, da barva lahko predstavlja dejavnik za zaužitje mikroplastike v vodnem okolju. Ribe se lahko pomotoma prehranjujejo z mikroplastiko modre barve, ker jo spregledajo oz. zaužijejo bolj živahne barve, saj te barve najbolj spominjajo na njihov plen zooplankton. Prevlada modro obarvanega vlakna v vzorcih živih organizmov je lahko posledica razdrobljenosti ribiških mrež, ki so lahko izpostavljene različnim stopnjam razgradnje in vplivom vremena, ali pa izvira iz tekstilnih izdelkov (Shaw *et al.* 1994; Boerger *et al.*, 2010; Wright *et al.*, 2013).



Slika 37: Slika vlakna iz ribjega prebavila
(foto: M. Kovač, 2023)

5.2.2 Rezultat kemijske sestave vlaken

FT-IR analiza spektra vzorca je pokazala, da gre po izvoru za naravna vlakna. Torej vlakna, ki se nahajajo v naravi in jih pridobivamo iz različnih rastlin, živali in mineralov. Obstaja več vrst naravnih vlaken, in vsako ima svoje značilnosti in lastnosti:

- rastlinska vlakna, se pridobivajo iz različnih delov rastlin, kot so stebela, semena, listi ali sadje. Primeri rastlinskih vlaken vključujejo bombaž, lan, konopljo in bambus;
- živalska vlakna se pridobivajo iz živalskih virov, kot so volna (ovce), svila (sviloprejke) in kašmir (koze). Ta vlakna so običajno topla, mehka in udobna;
- mineralna vlakna so pridobljena iz mineralov in se uporabljajo predvsem za izolacijske materiale in za ojačevanje kompozitnih materialov. Primeri mineralnih vlaken vključujejo steklena vlakna in bazaltna vlakna.

Ta vlakna se uporabljajo za različne namene, predvsem v tekstilni industriji, kjer služijo za izdelavo oblačil (prijeten občutek na koži), tkanin in drugih tekstilnih izdelkov. Prednosti naravnih vlaken vključujejo njihovo biološko razgradljivost.

V FT-IR analizi naravnih vlaken se pojavijo specifični vrhovi na infrardečem spektru, ki ustrezajo funkcionalnim skupinam in molekularnim komponentam, prisotnim v vlaknih. Vsaka vrsta naravnega vlakna lahko pokaže nekoliko različne FT-IR vrhove zaradi variacij v njihovi kemijski sestavi.

Pogosti FT-IR vrhovi, opaženi pri naravnih vlaknih, so:

1. Vrhovi celuloze:

- 3330–3500 cm^{-1} : raztezanje O-H skupine hidroksilov celuloze
- 2900–3000 cm^{-1} : raztezanje C-H skupine metilenov celuloze
- 1640–1660 cm^{-1} : uklon O-H skupine vode v celulozi
- 1600–1650 cm^{-1} : raztezanje C=C skupine aromatskih spojin (prisotnih v ligninu)

2. Vrhovi proteinov:

- 3400–3500 cm^{-1} : raztezanje N-H skupine aminov proteinov,
- 1650–1700 cm^{-1} : raztezanje C=O skupine karbonilov proteinov,
- 1540–1550 cm^{-1} : uklon N-H skupine amidov proteinov.

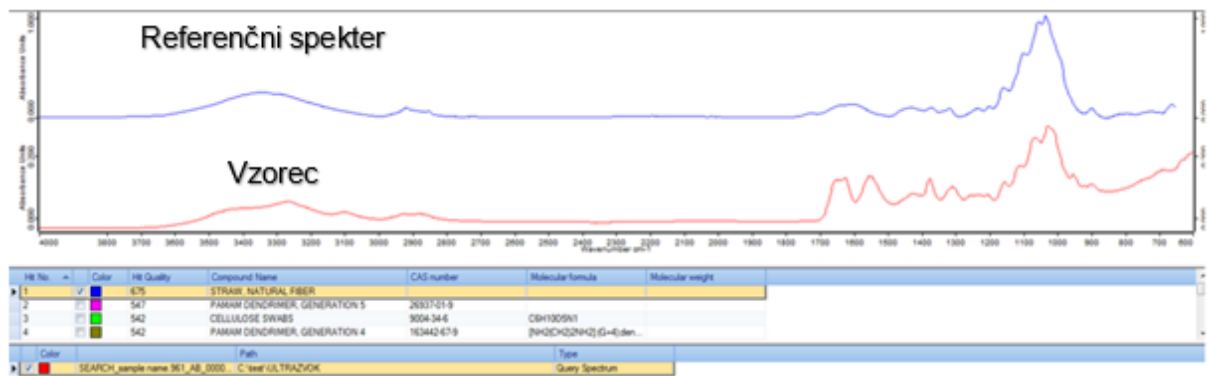
3. Vrhovi lignina:

- 1510–1600 cm^{-1} : raztezanje C=C in C=C skupin aromatskih obročev lignina,
- 1260–1360 cm^{-1} : raztezanje C-H in C-O skupin lignina.

4. Vrhovi hemiceluloze:

- 1740–1750 cm^{-1} : raztezanje C=O skupine acetilov v hemicelulozi,
- 1420–1450 cm^{-1} : uklon C-H skupine metilov in metilenov v hemicelulozi.

Dejanske pozicije in intenzitete vrhov se lahko razlikujejo glede na vir vlaken, način predelave in celo konkretni instrument, uporabljen za FT-IR analizo. Ob primerjavi pridobljenih vrhov FT-IR spektra naravnega vlakna iz vzorca z referenčnim standardom (modra) in vzorca (rdeča) (Slika 38), ni mogoče zaključiti z gotovostjo, kateri vrsti naravnega vlakna pripadajo. Za ta namen bi bilo priporočljivo sklicevanje na bolj specifične/specializirane FT-IR podatkovne baze ali izvesti primerjalno analizo z referenčnimi vzorci, da bi se lahko natančno določili značilni vrhovi določenega naravnega vlakna.



Slika 38: FT-IR spektra naravnega vlakna z referenčnim standardom (modra) z vzorcem (rdeča) (foto: M. Kovač, 2023)

6 ZAKLJUČEK

Namen magistrskega dela je bil odgovoriti na vprašanje, ali je v izbranih visokogorskih jezerih (že) prisotna mikroplastika.

Čeprav je število delcev mikroplastike v vzorcih sedimentov iz obeh jezer številčno nizko, (zlasti iz Velikega jezera), pa rezultati raziskave potrjujejo hipotezo o prisotnosti delcev mikroplastike v obeh visokogorskih jezerih. V vzorcih sedimentov je bilo skupno najdenih 12 delcev mikroplastike, pri čemer prevladujejo vlakna (5), prisotni pa so tudi fragmenti (2), filmi (4) in pelet (1). Prevladujoča barva MP delcev – vlaken je bila modra, kar nakazuje na uporabo barvil v proizvodnji plastičnih izdelkov. Analiza dolžine vlaken je pokazala prisotnost tako kratkega (1) kot dolgih (4) mikroplastičnih vlaken. Delci MP vlaken so v povprečju dolžine 3,0 mm, torej gre za daljša MP vlakna, kar sugerira obenem, da (čeprav atmosferskega prenosa na kratke in dolge razdalje ne more zanemariti) delce MP v okolje vnašajo dejavnosti povezane z obiskom območja, tako delovanje planinske koč pri Triglavskih jezerih kot vse večji obisk območja Doline Triglavskih jezer in TNP nasploh. Slednje je z vidika vnosa mikroplastike v okolje posledica sodobne opreme (oblačila, obutev in drugo).

Pri analizi vzorcev ribjih prebavil, kot je bilo že pojasnjeno, bi bila potrebna standardizacija protokolov. Kljub težavam, pa so te raziskave pomembne, saj omogočajo pridobivanje ekološko relevantnih podatkov o količini in vrstah mikroplastike ter povezanih onesnaževalcev, s katerimi se živi organizmi srečujejo v naravnem okolju.

Čeprav je po predmetni raziskavi analizirano na pogled majhno število delcev mikroplastike v vzorcih, pa njihova prisotnost v vzorcih v obeh jezerih zagotovo zasluži nadaljnje in podrobnejše raziskave. Prisotnost delcev MP v sedimentih jezer, ne glede na 'številčnost' rezultata te raziskave, namreč nakazuje, da so deli mikroplastike že prišli v vodno okolje in se oz. se bodo še nadalje kopičili v plasti usedlin. Prisotnost mikroplastike v usedlinah je zaskrbljujoča iz razloga njenega potencialnega učinka na okolje oz. ekosisteme. Vpliv mikroplastike na organizme je sicer še vedno predmet študij/raziskav, a dolgoročna obstojnost (nerazgradljivost) mikroplastike v usedlinah (sedimentih) vodnih ekosistemov izredno verjetno škodljivo vpliva na organizme, ki živijo v usedlinah, moti bentoške habitate in vpliva na splošno ravnovesje ekosistema. Nenazadnje mikroplastika lahko kopiči toksine tudi na svoji površini. Ko jih organizmi zaužijejo, se lahko ti toksini prenesejo navzgor po prehranjevalni verigi.

Prisotnost delcev mikroplastike v visokogorskih jezerih v osrčju narodnega parka nakazuje na obseg izziva, ki ga predstavlja onesnaževanje z mikroplastiko ter nakazuje potrebo po obravnavi onesnaževanja s plastiko pri njenih virih, lahko pa tudi služi kot osnova za izboljšanje predpisov in izvajanju ukrepov za zmanjšanje plastičnega onesnaženja, še posebej na zaščitene območjih narave.

Čeprav lahko na sam atmosferski prenos vplivamo posredno z našim vsakodnevnim načinom življenja in ravnanja »v dolini«, pa glede neposrednega vnosa, ki je posledica človekove dejavnosti v visokogorju, lahko storimo vsaj dvoje – prvič, ozavestimo vse večje število obiskovalcev, ki izvajajo različne oblike aktivnosti v okolju ter spodbujamo odgovorno vedenje, kot je preprečevanje namernega ali malomarnega odlaganja plastičnih odpadkov v (visoko)gorskem okolju. Čeprav je »sproščanje« mikroplastike verjetno v določenem obsegu nenamern ali povezan z neizogibno nošnjo in abrazijo gorniške opreme, pa je opustitev plastične embalaže za živila lažje zagotoviti ali uporabljati alternative. Če to ni možno, je potrebno obiskovalce gora obvezati, da v nahrbtnik 'vrnejo' vse plastične odpadke (plastike lahko stisljive) ali jih ustrezno zberejo in odložijo na za to določen prostor v dolini in v domač zabojnik. Tako vedenje bi zagotovo zmanjšalo prisotnost (mikro)plastike v gorskih ekosistemih. In drugič, k preprečevanju vnosa mikroplastike v visokogorju bi zagotovo prispevala tudi ustrežnejša ureditev delovanja planinskih koč (Četrnič, 2015), ki so se v (slepem) prilagajanju

množičnemu obisku gora iz skromnih zavetišč za planince prelevila v hotele z restavracijami. S svojim delovanjem tako ustvarjajo tudi odpadne vode, ki bi morale biti ustrezneje prečiščene.

Ljudje bi se morali ozavestiti in aktivirati, da prevzamejo osebno odgovornost za onesnaževanje z (mikro)plastiko, ker je le-ta vedno večji (globalni) in izjemno obsežen okoljski problem, ki zadeva tudi najbolj nedotaknjene ekosisteme kot so oddaljena visokogorska jezera, ki so tradicionalno veljala za neokrnjena območja, ter iskati rešitve, kako zaščititi ta območja pred (mikro)plastičnim onesnaženjem.

7 LITERATURA

1. Alfonso, M. B., Scordo, F., Seitz, C., Mavo Manstretta, G. M., Ronda, A. C., Arias, A. H., Tomba, J. P., Silva, L. I., Perillo, G. M. E., Piccolo, M. C. (2020b). First evidence of microplastics in nine lakes across Patagonia (South America). *Science of The Total Environment*. Volume 733, 139385. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139385>
2. Atanasova, N. (2022). Izboljšanje stanja naravne vrednote Dvojno jezero – priprava idejnega projekta za zmanjšanje vpliva odpadne vode iz planinske koč, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
3. Bergmann, M., Mützel, S., Primpke, S., Tekman, M. B., Trachsel, J., Gerdts G. (2019). White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Science Advances*. Volume 5, Issue 8. DOI: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aax1157>
4. Boerger, C. M., Lattin, G. L., Moore, S. L., and Moore, C. J. (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 60, Issue 12, str. 2275–2278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.08.007>
5. Bogdan D., Kolerič T., Meznarič M., Kozjek M., Kovač Viršek M. (2022). Microlitter measurement in fish *Rutilus rutilus* from the Slovenian part of the Mura river basin. *Acta Biologica Slovenica*. Ljubljana. Volume 65, no. 1, str. 80–92
6. Borrelle, S. B., Ringma, J., Law, K. L., Monnahan, C. C., Lebreton, L., McGivern, A., Murphy, E., Jambeck, J., Leonard, G. H., Hilleary, M. A., Eriksen, M., Possingham, H. P., De Frond, H., Gerber, L. R., Polidoro, B., Tahir, A., Bernard, M., Mallos, N., Barnes, M., in Rochman, C. M. (2020). Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*. Volume 369, Issue 6510, str. 1515–1518. DOI: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aba3656>
7. Brancelj, A. (1999). The extinction of *Arctodiaptomus alpinus* (Copepoda) following the introduction of charr into small alpine lake Dvojno jezero (NW Slovenia). *Aquatic Ecology*, 33, str. 335–361
8. Browne, M. A., Crump P., Niven S. J., Louise Teuten E., Tonkin A., Galloway T., Thompson R. C. (2011). Accumulations of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21). DOI: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es201811s>
9. Carraher, C. E., Jr. (2006). *Polymer Chemistry: An Introduction*, 7th Ed., Marcel Dekker, Inc., College of Science, Florida Atlantic University
10. Centa, M. (2016). Ugotavljanje koncentracij mikroplastike v slovenskih vodotokih in jezerih. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
11. Coppock, R. L., Cole, M., Lindeque, P. K., Queirós, A. M., Galloway, T. S. (2017). A small-scale, portable method for extracting microplastics from marine sediments, *Environmental Pollution*. Volume 230, str. 829–837. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.017>
12. Crawford, C. B., Quinn, B. (2017). 3 – Plastic production, waste and legislation. *Microplastic Pollutants*, Elsevier Science, Amsterdam, str. 39–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00003-7>

13. Crichton, E. M., Noel, M., Gies, E. A., Ross, P. S. (2017). A novel, density-independent and FTIR-compatible approach for the rapid extraction of microplastics from aquatic sediments, *Analytical Methods*, Issue 9. DOI: <https://doi.org/10.1039/C6AY02733D>
14. Četrnič, M. (2015). Vplivi in učinki množičnega obiska v gorah. Seminarska naloga. Usposabljanje varuh gorske narave. Škofja Loka
15. De Falco, F., Cocca, M., Avella, M., Thompson, R. C. (2020). Microfiber Release to Water, Via Laundering, and to Air, via Everyday Use: A comparison between polyester clothing with differing textile parameters, *Environmental Science & Technology*, 54 (6). DOI: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.9b06892>
16. Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 44, Issue 9, str. 842–852. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)
17. Dugonjić, D. (2013). Določanje vsebnosti glikola v rabljenih oljih z IR spektroskopijo. Diplomsko delo. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
18. Fahrenfeld, N. L., Arbuckle-Keil, G., Naderi Beni, N., Bartelt – Hunt, S. L. (2019). Source tracking microplastics in the freshwater environment. Volume 112, str. 248–254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.11.030>
19. Gajšt, T. (2016). Analiza ostankov plastike v komercialnem kompostu, Diplomsko delo. Nova Gorica, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju
20. Garidel, P., Blume A., Hübner, W. (2000). A Fourier transform infrared spectroscopic study of the interaction of alkaline earth cations with the negatively charged phospholipid 1,2-dimyristoyl-sn-glycero-3-phosphoglycerol. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, Volume 1466, Issues 1–2, str. 245–259. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0005-2736\(00\)00166-8](https://doi.org/10.1016/S0005-2736(00)00166-8)
21. Gauglitz, G., Vo-Dinh T. (2003). *Handbook of spectroscopy*. Weinheim. Wiley-VCH. str. 538
22. Gesamp (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: Part (2) of a global assessment. (Kershaw, P. J., Rochman, C. M. (Eds.), IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/ UN/ UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Report and Study, GESAMP No. 93, 220
23. Günzler, H., Gremlich, H. U. (2006). Uvod u infracrvenu spektroskopiju, Školska knjiga, Zagreb, str. 286
24. Hannes, K. I., Schmid, J., Reinhard, N., Ivleva, N. P., Laforsch, C. (2012). A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments. *Limnology and Oceanography Methods*, Volume 10, Issue 7, str. 524–537 DOI: <https://doi.org/10.4319/lom.2012.10.524>
25. Hanvey, J. S., Lewis, P. J., Lavers, J. L., Crosbie, N.D., Pozo, K., Clarke, B. O., (2017). A review of analytical techniques for quantifying microplastics in sediments. *Analytical Methods*. Issue 9, 1369. DOI: <https://doi.org/10.1039/c6ay02707e>
26. Leslie A. H., M. van Velzen M., Brandsma H. S., Dick Vethaak A., Garcia-Vallejo J., Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human

blood, Environment International. Volume 163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>

27. Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., Thiel M. (2012). Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 46 (6). DOI: <https://doi.org/10.1021/es2031505>

28. Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of The Total Environment*. Volume 586, str. 127–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>

29. Huskić M. (2019/2020). Funkcionalni polimeri. Povzetek predavanj. Fakulteta za tehnologijo polimerov. Slovenj Gradec

30. Izboljšanje stanja naravne vrednote dvojno jezero – priprava idejnega projekta za zmanjšanje vpliva odpadne vode iz planinske koč naročnik Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Dunajska cesta 48, 1000 Ljubljana, 2022

31. Janović, Z. (1997). Polimerizacije i polimeri, HDKI, Zagreb

32. Jenner, L. C., Rotchell, J. M., Bennett, R. T., Cowen, M., Tentzeris, V., Sadofsky L.R. (2022). Detection of microplastics in human lung tissue using μ FTIR spectroscopy, *Science of The Total Environment*. Volume 831, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154907>

33. Karamanlioglu, M., Preziosi, R., Robson, G. D. (2017). Abiotic and biotic environmental degradation of the bioplastic polymer poly(lactic acid): A review. *Polymer Degradation and Stability*. Volume 137, str. 122–130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.01.009>

34. Kawecki D., Nowack B. (2019). Polymer-Specific Modeling of the Environmental Emissions of Seven Commodity Plastics As Macro- and Microplastics, *Environmental Science & Technology*, 53 (16). DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02900>

35. Kovač Viršek M., Lovšin N., Koren, Š., Kržan, A. in Peterlin, M. (2017). Microplastics as a vector for the transport of the bacterial fish pathogen species *Aeromonas salmonicida*. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 125, Issues 1–2, str. 301–309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.024>

36. Kovač Viršek M. (2017). Foto vodič za mikroplastiko, Inštitut za vode RS. Interni vir. Ljubljana

37. Kozjek M., Vengust D., Radošević T., Žitko G., Koren S., Toplak N., Jerman I., Butala M., Podlogar M., Kovač Viršek M. (2023). Dissecting giant hailstones: A glimpse into the troposphere with its diverse bacterial communities and fibrous microplastics, *Science of The Total Environment*. Volume 856, Part 1. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158786>.

38. Levstek, M. (2019). Ugotovitve – Male komunalne čistilne naprave (MKČN) pri koči pri Triglavskih jezerih, JP Centrala čistilna naprava Domžale – Kamnik

39. Magjar, M. (2009). Prehrana rib v Bohinjskem jezeru in uporabnost rezultatov za ribogojstvo. Diplomsko delo. Nova Gorica, Univerza v Nova Gorica, Fakulteta za znanosti o okolju

40. Merkač, B. (2010). Kemometrijska karakterizacija farmacevtskih spojin z bližnjo infrardečo spektroskopijo. Diplomsko delo. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
41. Meikle, J. L. (1997). *American Plastic: A Cultural History*, Rutgers University Press, str. 403
42. Möller, J. N., Heisel, I., Satzger, A., Vizsoly, E. C., Oster, S. D. J., Agarwal, S., Laforsch, C. in Löder, M.G.J. (2022). Tackling the Challenge of Extracting Microplastics from Soils: A Protocol to Purify Soil Samples for Spectroscopic Analysis. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Volume 41, Issue 4, str. 844–857. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.5024>
43. Moller, J., Löder M. G. J., Laforsch C. (2020). Finding Microplastics in Soils: A Review of Analytical Methods. *Environmental Science & Technology*, 54 (4). DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04618>
44. Morgado, V., Gomes, L., Bettencourt da Silva, R. J. N., Palma C. (2021). Validated spreadsheet for the identification of PE, PET, PP and PS microplastics by micro-ATR-FTIR spectra with known uncertainty. *Talanta*. Volume 234. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122624>
45. Munno, K., Helm, P.A., Jackson, D. A., Rochman, C., Sims, A. (2018). Impacts of temperature and selected chemical digestion methods on microplastic particles. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Volume 37, Issue1, str. 91–98. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.3935>
46. Napper I. E., Davies B. F. R., Clifford H., Elvin S., Koldewey H. J., Mayewski P. A., Miner K. R., Potocki M., Elmore A.C., Gajurel A. P., Thompson R. C. (2020). Reaching New Heights in Plastic Pollution – Preliminary Findings of Microplastics on Mount Everest. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.10.020>
47. Napper, I. E., Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 112, Issues 1–2, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.025>
48. Nuelle, M. T., Dekiff, J. H., Remy, D., Fries, E. (2014). A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental Pollution*. Volume 184, str. 161–169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.027>
49. Parolini, M., De Felice B., Lamonica C., Cioccarelli S., Crosta A., Diolaiuti G., Ortenzi M., Ambrosini, R. (2021). Macroplastics contamination on glaciers from Italian Central-Western Alps. *Environmental Advances*. Volume 5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100084>
50. Pastorino, P., Prearo, M., Pizzul, E., Elia, A. C., Renzi, M., Ginebreda A., Barceló, D. (2022). High-mountain lakes as indicators of microplastic pollution: current and future perspectives. *Water Emerging Contaminants & Nanoplastics*. DOI: <http://dx.doi.org/10.20517/wecn.2022.01>
51. Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S. (2001). *Introduction to spectroscopy*, Third Edition, Brooks/Cole Thomson Learning, str. 578
52. PINE, S. H. (1994). *Organska kemija*, Školska knjiga Zagreb, str. 1203

53. Podobnikar T. (2009). Georeferencing and quality assessment of Josephine survey maps for the mountainous region in the Triglav National Park (2009). *Acta Geodaetica Et Geophysica Hungarica – Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*. DOI: <https://doi.org/10.1556/ageod.44.2009.1.6>
54. Povž M., Sket B. (1990). Naše sladkovodne ribe. Mladinska knjiga. Ljubljana, str. 346
55. Ragusa A., Notarstefano V., Svelato A., Belloni A., Giocchini G., Blondeel C., Zucchelli E., De Luca C., D'Avino S., Gulotta A., *et al.* (2022). Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk. *Polymers*. 2022; 14(13):2700. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14132700>
56. Roch, S. (2022). Examination of the microplastic burden in freshwater fishes and physical effects to its exposure. Doctoral thesis. Universitat Konstanz. Faculty of Sciences, Department of Biology
57. Rocha-Santos T., Duarte, A. C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. Volume 65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.011>
58. Rochman, C. M. (2015). The Complex Mixture, Fate and Toxicity of Chemicals Associated with Plastic Debris in the Marine Environment. *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, str.117–140. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3>
59. Rochman, C. M. (2020): The Story of Plastic Pollution: From the Distant Ocean Gyres to the Global Policy Stage. *Oceanography*. Volume 33, No. 3, str. 60–70. DOI: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.308>
60. Rudin, A. (1999). *The Elements of Polymer Science and Engineering*, 2nd Ed., Academic Press. London
61. Rouch, D. A. (2021). Plastic future: How to reduce the increasing environmental footprint of plastic packaging. Working Paper No. 11, Clarendon Policy & Strategy Group, Melbourne, Australia, str. 2–62
62. Rozman, I. (2020). Elaborat vhodnih podatkov za pripravo ukrepov, ki bodo omilili vpliv čiščene odpadne vode iz Koče pri Triglavskih jezerih – dopolnitev
63. Rožič, B., Čenčur Curk, B. (2019). Geološko in hidrogeološko poročilo o dolini Triglavskih jezer s predlogi reševanja odvajanja vode iz čistilne naprave Koče pri Triglavskih jezerih. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta – oddelek za geologijo
64. Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B. (2019). Detection of Various Microplastics in Human Stool: a prospective case series. *Annals of internal medicine*, 171(7), str. 453–457. DOI: <https://doi.org/10.7326/M19-0618>
65. Shaw, D. G., Day, R. H. (1994). Colour - and Form - dependent loss of plastic micro - debris from the North Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 28, Issue 1, str. 39–43. DOI: [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)90184-8](https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)90184-8)
66. Snyder, A. (2016). Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Low density polyethylene, high density polyethylene, polypropylene and polystyrene. Department of Materials Science and Engineering, North Carolina State University

67. Süßmann, J., Krause, T., Martin, D., Walz, E., Greiner, R., Rohn, S., Fischer, E. K., Fritsche, J. (2021). Evaluation and optimisation of sample preparation protocols suitable for the analysis of plastic particles present in seafood. *Food Control*. Volume 125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107969>
68. Sušec, M. (2009). Gospodarjenje z odpadki iz polimernih materialov s poudarkom na Evropski uniji. Diplomsko delo. Maribor, Univerza v Mariboru, Ekonomska poslovna fakulteta
69. Sutherland, W. J., Broad, S., Caine, J., Clout, M., Dicks, L. V., Doran, H. (2016). A Horizon Scan of Global Conservation Issues for 2016. *Trends in Ecology Evolution*. Volume 31, Issue 1, str. 44–53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.11.007>
70. Šprajcar, M., Horvat, P., Kržan, A. (2012). Biopolimeri in plastika – plastika skladna z naravo. Informacijsko – izobraževalno gradivo za profesorje in laborante kemije na osnovnih in srednjih šolah. Ljubljana, Kemijski inštitut, str. 32
71. Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., *et al.* (2004). Lost at Sea: Where is All the Plastic? *Science*. Volume 304, str. 838. DOI: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1094559>
72. Veenvliet, P., Veenvliet, J. K. (2006). Ribe slovenskih celinskih voda; priručnik za določanje. Zavod Symbiosis. Grahovo, str. 168
73. Wright, S. L., Thompson, R. C., Galloway, T. S. (2013). The Physical Impacts of Microplastics on marine Organisms: A Review. *Environmental Pollution*. Volume 178, str. 483–492. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
74. Yu, X., Ladewig, S., Bao, S., Toline, C. A., Whitmire, S., Chow, A. T. (2018). Occurrence and distribution of MPs at selected coastal sites along the southeastern United States. *Science of The Total Environment*. Volume 613–614, str. 298–305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.100>
75. Yuan, Z., Nag, R., Cummins E., (2022). Human health concerns regarding microplastics in the aquatic environment – From marine to food systems. *Science of The Total Environment*. Volume 823. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153730>
76. Zeller, M. V., Pattacini, S.C. (1973). The infrared grating spectra of polymers. Perkin – Elmer Corporation, str. 23
77. Zhang, K., Shi, H., Peng, J., Wang, Y., Xiong, X., Wu, C., Lam P. K. S. (2018). Microplastic pollution in China's inland water systems: A review of findings, methods, characteristics, effects, and management. *Science of The Total Environment*. Volume 630, str. 1641–1653. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.300>
78. Žigon M. (2006). Uvod v polimere: zapiski predavanj, Kemijski inštitut, Ljubljana

7.1 Medmrežje

1. Atmosferska mikroplastika: pregled trenutnega stanja in perspektiv (Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives). Medmrežje 12: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001282521930621X> (02.02.2023)
2. Britannica – zgodovina plastike. Medmrežje 9: <https://www.britannica.com/technology/history-of-technology#ref368075> (12.12.2022)

3. How Is Plastic Made? A Simple Step-By-Step Explanation. British Plastics Federation. Medmrežje 4: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/how-is-plastic-made.aspx> (05.04.2022)
4. OECD (2022), Global Plastic Outlook. Letna svetovna proizvodnja plastike po industrijskih sektorjih 2019 Medmrežje 23: <https://ourworldindata.org/grapher/plastic-waste-by-sector> (16.11.2023)
5. Slovenske gore letno obiše 1,7 milijona ljudi. Delo. Medmrežje 13: <https://www.delo.si/novice/slovenija/slovenske-gore-letno-obisce-17-milijona-ljudi> (06.02.2023)
6. Microplastics found deep in lungs of living people for first time. The Guardian. Medmrežje 16: <https://www.theguardian.com/environment/2022/apr/06/microplastics-found-deep-in-lungs-of-living-people-for-first-time> (15.02.2023)
7. Microplastics found in human breast milk for the first time. The Guardian. Medmrežje 18: <https://www.theguardian.com/environment/2022/oct/07/microplastics-human-breast-milk-first-time> (15.02.2023)
8. Plastic waste and recycling in the EU: facts and figures. Medmrežje 14: https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20181212STO21610/plastic-waste-and-recycling-in-the-eu-facts-and-figures?at_campaign=20234 (06.02.2023)
9. Sustainability. Plastics Europe, Plastics the Facts 2022, 2023. Medmrežje 11: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022> in <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023> (02.02.2023)
10. Potek izlova rib iz dvojnega jezera. Medmrežje 20: <https://www.tnp.si/sl/javni-zavod/obvestila/Potek-izlova-rib-iz-Dvojnega-jezera> (15.02.2023)
11. Renewable resources (bioplastics). Plastics Europe. Medmrežje 19: <https://plasticseurope.org/sustainability/climate/sustainable-feedstocks/renewable-resources-bioplastics/> (15.02.2023)
12. Seabirds eat floating plastic debris because it smells like food, study finds. The Guardian. Medmrežje 15: <https://www.theguardian.com/environment/2016/nov/09/seabirds-eat-floating-plastic-debris-because-it-smells-like-food-study-finds-algae-sulfur> (15.02.2023)
13. The history of the Invention of Plastics. Medmrežje 7: <https://mini-ielts.com/1492/reading/the-history-of-the-invention-of-plastics> (12.12.2022)
14. The LibreTexts libraries, Polymers and Plastics. Medmrežje 5: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Chem1_\(Lower\)/07%3A_Solids_and_Liquids/7.09%3A_Polymers_and_Plastics](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Chem1_(Lower)/07%3A_Solids_and_Liquids/7.09%3A_Polymers_and_Plastics) (05.04.2022)
15. Urad Vlade Republike Slovenije za komuniciranje, Portal GOV.SI., Sprejeta prepoved za mikroplastiko. Medmrežje 22: <https://www.gov.si/novice/2023-09-29-sprejeta-prepoved-za-mikroplastiko> (16.11.2023)
16. Whales ingest millions of microplastic particles a day, study finds. Plastics. The Guardian. Medmrežje 17: <https://www.theguardian.com/environment/2022/nov/01/whales-ingest-millions-of-microplastic-particles-a-day-study-finds> (15.02.2023)

17. Wikipedia – The Origins of Plastics. Medmrežje 3:
<https://www.thermalpress.com/the-origins-of-plastics/> (02.04.2022)
18. Wikipedia – Alexander Parkes. Medmrežje 6:
https://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_Parkes5 (05.04.2022)
19. Wikipedia – Celuloza. Medmrežje 21:
<https://sl.wikipedia.org/wiki/Celuloza> (05.07.2023)
20. Wikipedia – John Wesley Hyatt. Medmrežje 8:
https://en.wikipedia.org/wiki/John_Wesley_Hyatt (12.12.2022)
21. Wikipedia – Plastika. Medmrežje 2: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Plastika> (24.12.2022)
22. Wikipedia – Poly(methyl methacrylate). Medmrežje 10:
[https://en.wikipedia.org/wiki/Poly\(methyl_methacrylate\)#History](https://en.wikipedia.org/wiki/Poly(methyl_methacrylate)#History) (02.02.2023)
23. Zelenci – onesnaževanje s plastiko. Medmrežje 1: <https://trg.ebm.si/onesnazevanje-s-plastiko> (22.12.2022)

PRILOGE

Priloga 1



Številka: 35611-6/2022-2
Datum: 20. 5. 2022

Javni zavod Triglavski narodni park izdaja na podlagi 130. člena Zakona o splošnem upravnem postopku (Uradni list RS, št. 24/06 – UPB, 105/06 – ZUS-1, 126/07, 65/08, 8/10, 82/13, 175/20 – ZIUOPDVE, 3/22 – ZDeb) v zadevah izdaje soglasij za izvajanje znanstvenih raziskav in odvzema mivke, peska in proda iz strug vodotokov ter vodnih in priobalnih zemljišč na zahtevka stranke Fakulteta za varstvo okolja, Trg mladosti 7, 3320 Velenje z dne 19. 4. 2022, ki se vodita pod opravljenima številka 35611-6/2022 in 35612-1/2022, naslednji

SKLEP

Postopka v zvezi z zahtevama stranke Fakulteta za varstvo okolja, Trg mladosti 7, 3320 Velenje z dne 19. 4. 2022, ki se vodita pod opravljenima številka 35611-6/2022 in 35612-1/2022, se združita v en postopek in se vodita pod opravilno številko 35611-6/2022.

Obrazložitev:

Javni zavod Triglavski narodni park (v nadaljnjem besedilu: JZ TNP) je dne 19. 4. 2022 v pristojno reševanje prejel vloge stranke Fakulteta za varstvo okolja, Trg mladosti 7, 3320 Velenje (v nadaljnjem besedilu: stranka), s katerima je zaprosila za pridobitev soglasij za izvajanje znanstvenih raziskav in odvzema mivke, peska in proda iz strug vodotokov ter vodnih in priobalnih zemljišč na območju Triglavskega narodnega parka.

V skladu s prvim odstavkom 36. člena Zakona o Triglavskem narodnem parku (Uradni list RS, št. 52/10, 46/14 – ZON-C, 60/17; v nadaljnjem besedilu: ZTNP-1) je Javni zavod Triglavski narodni park (v nadaljnjem besedilu: JZ TNP) upravljavec Triglavskega narodnega parka in na področju upravljanja slednjega deluje kot javna služba ohranjanja narave, ki izvaja z zakonom predpisane strokovne in upravne naloge. V okviru slednjih se ravnanja, posegi in dejavnosti, ki so opredeljeni v prvem odstavku 31. člena ZTNP-1, na območju narodnega parka lahko opravljajo samo na podlagi soglasja JZ TNP, vključno z ravnanji, ki jih je stranka opredelila v obravnavanih vlogah.



Zakon o splošnem upravnem postopku (Uradni list RS, št. 24/06 – UPB, 105/06 – ZUS-1, 126/07, 65/08, 8/10, 82/13, 175/20 – ZIUOPDVE, 3/22 – ZDeb; v nadaljnjem besedilu: ZUP) v svojem prvem odstavku 130. člena določa, če se pravice ali obveznosti strank opirajo na isto ali podobno dejansko stanje in isto pravno podlago in če je organ, ki vodi postopek, za vse zadeve stvarno pristojen, lahko začne in vodi en sam postopek tudi takrat, kadar gre za pravice in obveznosti več strank. ZUP v drugem odstavku 130. člena določa tudi, da lahko stranka uveljavlja v enem postopku več zahtevkov, če so izpolnjeni pogoji iz prvega odstavka 130. člena ZUP. V skladu s tretjim odstavkom navedenega člena ZUP pa pristojni organ o združitvi zadev v en postopek odloči s posebnim sklepom, zoper katerega je dovoljena pritožba.

Ker so izpolnjeni pogoji, ki jih predpisuje 130. člen ZUP, je JZ TNP odločanje o obeh zahtevah stranke, ki se vodita pod opravljenima številka 35611-6/2022 in 35612-1/2022, združil in bo o njih odločil z eno odločbo. Takšno ravnanje narekuje tudi načelo ekonomičnosti postopka, ki ga določa 14. člen ZUP. Organ bo o vseh zahtevah odločil v okviru upravne zadeve, ki se vodi pod opravilno številko 35611-6/2022.

Na podlagi navedenega je upravni organ odločil tako, kot je navedeno v izreku tega sklepa.

POUK O PRAVNEM SREDSTVU:

Zoper ta sklep ima stranka pravico do pritožbe na Ministrstvo za okolje in prostor, v roku 15 dni od dneva vročitve sklepa. Pritožba se vložijo pisno ali ustno na zapisnik pri organu, ki je izdal sklep. Zanj je potrebno plačati 18,10 € upravne takse po tarifni številki 2 Zakona o upravnih taksah (Ur. l. RS, št. 106/10 – ZUT-UPB, 14/15 – ZUUJFO, 84/15 – ZZelP-J in 32/16). Upravna taksa se lahko plača na podračun javnofinančnih prihodkov z nazivom: Upravne takse in številko računa: 01100-1000315637 z navedbo reference: 11 25429-7111002-35611 ali na vložišču upravnega organa.

Postopek vodil:

Andrej Arih, univ.dipl.biol.
Oddelek za varstvo narave



Vročiti:

- Fakulteta za varstvo okolja, Trg mladosti 7, 3320 Velenje – osebno
- spis.

Priloga 2



Številka: 35611-6/2022-3

Datum: 20. 5. 2022

Javni zavod Triglavski narodni park izdaja na podlagi 1. in 4. točke prvega odstavka 31. člena v povezavi s 4. točko prvega odstavka 46. člena Zakona o Triglavskem narodnem parku (Uradni list RS, št. 52/10, 46/14 – ZON-C, 60/17, 82/20) na zahtevo stranke Fakulteta za varstvo okolja, Trg mladosti 7, 3320 Velenje v upravni zadevi izdaje soglasja za izvajanje znanstvenih raziskav in odvzema mivke, peska in prod iz strug vodotokov ter vodnih in priobalnih zemljišč, naslednje

SOGLASJE

1. Stranki Fakulteta za varstvo okolja, Trg mladosti 7, 3320 Velenje (v nadaljnjem besedilu: stranka) se izda soglasje za izvajanje znanstvenoraziskovalnih nalog na območju Triglavskega narodnega parka v zvezi z odvzemom sedimenta iz izbranih visokogorskih jezer za ugotavljanje prisotnosti mikroplastike.
2. Predmetno soglasje je veljavno za izvedbo nalog v okviru izdelave magistrske naloge, nosilec katere je Matej Kovač, [REDACTED]
3. Predmetno soglasje je veljavno za izvajanje znanstvenoraziskovalnih nalog na celotnem območju Triglavskega narodnega parka, prednostno na Dvojnem jezeru in Velikem jezeru.
4. Ravnanja v okviru predmetnega soglasja se dovoljuje osebam, ki jih za njihovo izvedbo določi stranka in o tem obvesti Javni zavod Triglavski narodni park na način iz 6. točke izreka te odločbe.
5. Dovoljeni načini za izvedbo ravnanj v zvezi z vzorčenjem sedimenta na posameznem jezeru iz 3. točke predmetnega soglasja vključujejo odvzem po tri (3) vzorce v obrežnem pasu, njihovo zbiranje ter prenos v laboratorij za nadaljnje analize ugotavljanja prisotnosti mikroplastike.
6. Stranka mora vsaj pet (5) dni pred izvedbo načrtovanih nalog obvestiti Javni zavod Triglavski narodni park o imenih in priimkih izvajalcev, lokacijah in predvidenih datumih posameznih raziskovalnih aktivnosti.
7. Evidenca o dovoljenih ravnanjih, ki jo mora stranka voditi in v obliki poročila predložiti Javnemu zavodu Triglavski narodni park, Ljubljanska cesta 27, 4260 Bled najkasneje do 31. marca 2023, vključuje
 - najmanj podatke o lokacijah, datumih in uporabljeni metodologiji dejanskega odvzema vzorcev sedimenta ter
 - drugih s predmetnim soglasjem dovoljenih ravnanj.
8. To soglasje se izdaja za določen čas in sicer velja do 31. 12. 2022.
9. V postopku izdaje soglasja posebni stroški niso nastali.



O b r a z l o ž i t e v:

Javni zavod Triglavski narodni park (v nadaljnjem besedilu: JZ TNP) je dne 19. 4. 2022 v pristojno reševanje prejel vlogo stranke Fakulteta za varstvo okolja, Trg mladosti 7, 3320 Velenje (v nadaljnjem besedilu: stranka) za izdajo soglasja za izvajanje znanstvenoraziskovalnih nalog na območju Triglavskega narodnega parka v zvezi z odvzemom sedimenta iz izbranih visokogorskih jezer za ugotavljanje prisotnosti mikroplastike.

V skladu s prvim odstavkom 36. člena Zakona o Triglavskem narodnem parku (Uradni list RS, št. 52/10, 46/14 – ZON-C, 60/17, 82/20; v nadaljnjem besedilu: ZTNP-1) je JZ TNP upravljavec Triglavskega narodnega parka in na področju upravljanja slednjega deluje kot javna služba ohranjanja narave, ki izvaja z zakonom predpisane strokovne in upravne naloge. V okviru slednjih se ravnanja, posegi in dejavnosti, ki so opredeljeni v prvem odstavku 31. člena ZTNP-1, na območju narodnega parka lahko opravljajo samo na podlagi soglasja JZ TNP, vključno z izvajanjem znanstvenih raziskav in odvzemu mivke, peska in proda iz strug vodotokov ter vodnih in priobalnih zemljišč.

Pogoji za izvajanje znanstvenih raziskav na območju narodnega parka so predpisani v 28. členu ZTNP-1, ki v svojem drugem odstavku določa, da se v soglasju odloči o raziskavi, njenem obsegu in načinu, času in poteku njenega trajanja, morebitnem strokovnem nadzoru, drugih pogojih poteka znanstvene raziskave in o vsebini poročila o opravljeni raziskavi. Podrobnejša merila, ki se upoštevajo v postopkih izdaje soglasij za izvajanje znanstvenih raziskav in odvzema mivke, peska in proda iz strug vodotokov ter vodnih in priobalnih zemljišč, pa opredeljuje Uredba o Načrtu upravljanja Triglavskega narodnega parka za obdobje 2016–2025 (Uradni list RS, št. 34/16; v nadaljnjem besedilu: Načrt upravljanja TNP) v svojem Poglavlju 17.

Ob upoštevanju določbe 7. točke prvega odstavka 42. člena ZTNP-1 izvaja JZ TNP kot javna služba ohranjanja narave ukrepe varstva in naravovarstvenih nalog tako na območju Triglavskega narodnega parka kot tudi na delih posebnih varstvenih območij, ki segajo zunaj zavarovanega območja.

Iz vsebine vloge stranke z dne 19. 4. 2022 za izdajo soglasja za izvedbo znanstvenoraziskovalnih nalog v zvezi z odvzemom sedimenta iz izbranih visokogorskih jezer za ugotavljanje prisotnosti mikroplastike je med drugim razvidno, da se bodo načrtovana ravnanja predvidoma izvajala v obdobju med junijem in avgustom 2022 v Triglavskem narodnem parku, prednostno na Dvojnem in Velikem jezeru. Predvidena ravnanja so po zagotovitvi stranke namenjena izključno znanstvenoraziskovalnemu delu, to je vzorčenju sedimenta v obrežnem pasu navedenih visokogorskih jezer, pri čemer naj bi se za vsako jezero zbralo po tri (3) vzorce, v katerih naj bi se v okviru izdelave magistrske naloge z laboratorijskimi analizami ugotavljala prisotnost mikroplastike. Po prepričanju stranke načrtovane aktivnosti temeljijo na neinvazivnem zbiranju podatkov brez vplivov na naravne ekosisteme.



Po pregledu predložene dokumentacije ter vseh zbranih dejstev in okoliščin v postopku izdaje predmetnega soglasja je JZ TNP ugotovil, da nameravano ravnanje ne ogroža temeljnih ciljev narodnega parka in da stranka ob izpolnjevanju v izreku navedenih zahtev izpolnjuje pogoje za izdajo soglasja na podlagi 31. člena ZTNP-1 za izvedbo znanstvenoraziskovalnih nalog v zavarovanem območju. Podatki, ki jih bo stranka zbrala v okviru ugotavljanja prisotnosti mikroplastike v sedimentu visokogorskih jezer, bodo prispevali k boljšemu poznavanju problematike obremenitve naravnih okolij z delci plastike, manjših od 150 mikrometrov, ki poleg ogrožanja posameznih sestavin naravnih ekosistemov predstavljajo tudi potencialno tveganje za zdravje ljudi. Tovrstni daljnjski vplivi so na območju Triglavskega narodnega parka nepopolno preučeni, vsekakor pa so pomemben dejavnik, ki ga je treba upoštevati na področjih izvajanja potrebnih varstvenih ukrepov za doseg zakonodajno predpisanih ciljev in učinkovitega upravljanja zavarovanega območja. Načrtovano raziskovalno delo stranke je tudi v celoti skladno z merili in pogoji, ki jih za izvajanje znanstvenih raziskav določa Poglavlje 17 Načrta upravljanja TNP.

Usposobljenost in izkušnje stranke pri dosedanjem raziskovalnem delu zagotavljajo, da se bodo ravnanja izvajala z uporabo sprejemljivih in uveljavljenih raziskovalnih metod, prav tako ne obstajajo razlogi strokovne narave za morebitno dodatno časovno ali prostorsko omejevanje izvajalčevega raziskovalnega dela. Ob upoštevanju drugega in četrtega odstavka 28. člena ZTNP-1 mora stranka poleg upoštevanja pogojev iz izreka odločbe tudi predhodno obvestiti JZ TNP o dejanskih izvajalcih, lokacijah in predvidenih datumih znanstvene raziskave, upravljavca narodnega parka pa tudi seznaniti s poročilom, ki vključuje najmanj točne podatke, podrobno opredeljene v izreku predmetnega soglasja.

Na podlagi navedenega je upravni organ odločil tako, kot je navedeno v izreku tega soglasja.

Upravlavec Triglavskega narodnega parka stranko opozarja, da izdano soglasje ne nadomešča soglasij ali drugih upravnih aktov, ki jih je potrebno pridobiti na podlagi drugih predpisov.

Upravna taksa po Zakonu o upravnih taksah (Uradni list RS, št. 106/10 – UPB, 14/15 – ZUUJFO, 84/15 – ZZelP-J, 32/16, 30/18 – ZKZaš, 189/20 – ZFRO) v višini 22,66 € je bila plačana.

V skladu z določbami petega odstavka 213. člena v povezavi s 118. členom Zakona o splošnem upravnem postopku (Uradni list RS, št. 24/06 – UPB, 105/06 – ZUS-1, 126/07, 65/08, 8/10, 82/13, 175/20 – ZIUOPDVE, 3/22 – ZDeb) je bilo treba v izreku te odločbe odločiti tudi o stroških postopka. Glede na to, da v tem postopku stroški niso nastali, je bilo glede stroškov odločeno, kot izhaja iz izreka te odločbe.



POUK O PRAVNEM SREDSTVU:

Zoper to odločbo ima stranka pravico do pritožbe na Ministrstvo za okolje in prostor, v roku 15 dni od dneva vročitve odločbe. Pritožba se vloži ustno na zapisnik pri organu, ki je izdal odločbo, oziroma se vloži neposredno ali po pošti. Zanj je potrebno plačati 18,12 € upravne takse po tarifni številki 2 Zakona o upravnih taksah (Uradni list RS, št. 106/10 – UPB, 14/15 – ZUUJFO, 84/15 – ZZelP-J, 32/16, 30/18 – ZKZaš, 189/20 – ZFRO).

Postopek vodil:

Andrej Arih, univ.dipl.biol.
Oddelek za varstvo narave

dr. Tit Potočnik,
direktor



Vročiti:

- Fakulteta za varstvo okolja, Trg mladosti 7, 3320 Velenje – osebno
- spis.

Priloga 3

Vzorec	Oblika	Barva	Dolžina mm	FT-IR	Delec MP
A1	vlakno	modra	2,987	nedoločeno	/
A1	vlakno	rjava	3,324	nedoločeno	/
A1	vlakno	prozorna	4,531	celuloza	/
A1	vlakno	modra	0,31	polsintetično	1
A1	vlakno	prozorna	4,213	celuloza	/
A2	film	/	/	film	1
A2	pelet	/	/	PP	1
A2	vlakno	modra	5,823	nedoločeno	/
A2	vlakno	rjava	2,521	celuloza	/
A2	vlakno	modra	3,985	celuloza	/
A2	vlakno	rjava	0,687	nedoločeno	/
A2	vlakno	prozorna	3,965	celuloza	/
A2	vlakno	črna	1,398	nedoločeno	/
B1	/	/	/	/	/
B2	/	/	/	/	/
C1	fragment	/	/	fragment	1
C1	film	/	/	film	1
C1	vlakno	črna	4,321	celuloza	/
C1	vlakno	modra	4,354	polsintetično	1
C1	vlakno	črna	5,387	celuloza	/
C1	vlakno	modra	5,498	nedoločeno	/
C2	vlakno	črna	5,923	polsintetično	1
C2	vlakno	modra	4,872	celuloza	0
C2	vlakno	prozorna	0,782	celuloza	0
C2	vlakno	modra	5,671	nedoločeno	/
C2	vlakno	rdeča	3,896	nedoločeno	/
D1	fragment	/	/	fragment	1
D1	vlakno	modra	5,928	polsintetično	1
D1	vlakno	rjava	4,872	celuloza	/
D1	vlakno	prozorna	0,782	nedoločeno	/
D1	vlakno	rjava	5,671	nedoločeno	/
D1	vlakno	rdeča	3,896	celuloza	/
D2	vlakno	rdeča	3,481	celuloza	/
D2	vlakno	modra	3,254	nedoločeno	/
D2	vlakno	modra	4,843	nedoločeno	/
D2	vlakno	črna	5,219	polsintetično	1
D2	vlakno	rjava	0,423	celuloza	/
D1*	vlakno	modra	0,365	celuloza	/
D1*	vlakno	siva	0,423	nedoločeno	/
D2*	film	/	/	film	1
D2*	vlakno	modra	0,441	nedoločeno	/
E1	vlakno	črna	0,678	nedoločeno	/
E1	vlakno	črna	0,321	nedoločeno	/
E2	film	/	/	film	1
E2	vlakno	modra	1,235	celuloza	/
E2	vlakno	siva	1,131	nedoločeno	/
E2	vlakno	modra	0,211	celuloza	/
F1	vlakno	modra	1,575	celuloza	/
F1	vlakno	črna	1,321	nedoločeno	/
F2	/	/	/	/	/
G1	/	/	/	/	/
G2	/	/	/	/	/