



Gimnazija Franca Miklošiča Ljutomer

Pilotske meritve mikroplastike v sladkovodnih ribah rdečeokah (*Rutilus rutilus*) v porečju reke Mure na območju Slovenije

Raziskovalna naloga na področju ekologije

Avtorja:
Tamara Kolerič
Domen Bogan

Letnik: 3. b

Mentorici:
dr. Marija Meznarič, prof. biol. in kem.
dr. Manca Kovač Viršek, univ. dipl. biol.

Šolsko leto: 2020/2021

Zahvala

Zahvaljujeva se mentorici profesorici biologije dr. Mariji Meznarič in laborantki kemije in biologije Sonji Koroša za pomoč pri eksperimentalnem delu raziskovalne naloge, za uporabne nasvete in podporo. Prav tako se zahvaljujeva Inštitutu za vode Slovenija, še posebej dr. Manci Kovač Viršek za pomoč pri informacijah, eksperimentalnem delu in izvrstno mentorstvo. Hvala tudi profesorici slovenščine Klaudiji Tivadar za lektoriranje raziskovalne naloge in profesorju angleščine Saši Pergarju za pregled povzetka v angleščini. Posebna zahvala gre tudi mnogim posameznikom in pomurskim ribiškim društvom, ki so nama priskrbeli ustrezne ribe za najino raziskovalno nalogo.

Povzetek

V raziskovalni nalogi sva proučevala količino mikroplastike v rdečeokah (*Rutilus rutilus*) na območju toka reke Mure v Sloveniji. Pregledala sva 50 vzorcev rib, ulovljenih na petih različnih lokacijah (rokav reke Mure v Sladkem Vrhu, umetno jezero Stara jama v Zgornjem Konjišču, rokav reke Mure v Hrastju – Moti, akumulacijsko jezero v Gajševcih in počasi tekoč rokav reke Mure na Krapju). V raziskovalni nalogi sva želela ugotoviti količino mikroplastike v ribah in kateri dejavniki na to vplivajo. Ribe sva po ulovu stehtala in izmerila njihovo dolžino. Iz ulovljenih rib sva pobrano drobovje položila v 10 % KOH, ki je povzročil razgradnjo drobovja. Nato sva vse skupaj prefiltrirala in vzorce analizirala pod stereo mikroskopom. Uporabila sva tri metode dela: opazovanje, merjenje in zbiranje podatkov. V vseh vzorcih rib sva našla skupno 239 delcev mikroplastike. Od tega je bilo 230 vlaken in 9 fragmentov. Najmanjšo količino mikroplastike so vsebovale rdečeoke iz Sladkega Vrha, in sicer 3,8 delcev na osebek, največ pa ribe iz Krapja, 5,8 delcev na osebek. Ugotovila sva, da se preučevane lokacije glede na količino mikroplastike statistično značilno ne razlikujejo. Na podlagi tega sva sklepala, da čistilne naprave in industrijski obrati na količino mikroplastike niso imeli bistvenega vpliva. Število mikroplastike je bilo odvisno predvsem od teže in dolžine vzorcev. Največji delež mikroplastike so predstavljala vlakna, od ostalih kategorij mikroplastike pa sva našla le še fragmente. Ugotovila sva, da so ribe v slovenskih vodah ob vodotoku reke Mure precej onesnažene z mikroplastiko, s katero se še vedno nismo začeli učinkovito spopadati.

Ključne besede: mikroplastika, plastika, riba, *Rutilus rutilus*, jezero, reka, Mura, celinske vode.

Abstract

In this research project, we studied the amount of microplastics in the common roach (*Rutilus rutilus*) in the area of the Mura River in Slovenia. We examined 50 fish samples caught at five different locations (the Mura meander in Sladki Vrh, the artificial lake Stara jama in Zgornje Konjišče, the Mura meander in Hrastje-Mota, the accumulation lake in Gajševci and the slow-flowing Mura meander in Krapje). In our research, we wanted to determine the amount of microplastics in fish, as well as discover the factors which influence this phenomenon. We weighed the fish after catching them and measured their length. We placed the offal taken from the caught fish in 10% KOH, which decomposed the offal. We then filtered everything and analysed the samples under a stereomicroscope. We used three methods of work: observation, measurement and data collection. A total of 239 microplastic particles were found in all fish samples. There were 230 fibres and 9 fragments. The smallest amount of microplastics, 3.8 particles per individual, was contained in common roaches from Sladki Vrh, and the largest in fish from Krapje, 5.8 particles per individual. We discovered that the studied locations did not differ statistically significantly regarding the amount of microplastics. Based on this, we concluded that wastewater treatment plants and industrial plants did not have a significant impact on the amount of microplastics. The number of microplastics depended mainly on the weight and length of the samples. The largest amount of microplastics was represented by fibres, while the other categories of microplastics were only found in fragments. We found out that fish in Slovenian waters along the Mura River watercourse are quite polluted with microplastics, and this is an issue, which we have not yet begun to handle effectively.

Key words: microplastic, plastic, fish, *Rutilus rutilus*, lake, river, the Mura, fresh water.

Kazalo

Kazalo vsebine

Zahvala	I
Povzetek	II
Abstract	III
1 Uvod	1
2 Teoretični del.....	2
2.1 Mikroplastika.....	2
2.1.1 Splošno	2
2.1.2 Kategorije mikroplastike	2
2.1.3 Pot mikroplastike od nastanka do organizmov	5
2.1.4 Nahajališča mikroplastike	6
2.1.5 Vpliv mikroplastike na organizme	7
2.2 Rdečeoka	9
2.2.1 Anatomija	9
2.2.2 Značilnosti	10
2.2.3 Habitat	10
3 Metode dela	11
3.1 Izbira vrste rib in lokacij ulovov.....	11
3.2 Analiza vzorcev v laboratoriju	12
3.2.1 Material in oprema	12
3.2.2 Predpriprava rib.....	13
3.2.3 Razgradnja drobovja	14
3.2.4 Analiza vzorcev s stereo mikroskopom	15
3.3 Smernice za prepoznavo mikroplastike pod lupo	16
3.4 Preprečevanje kontaminacij mikroplastike iz zraka	16
3.5 Določanje kemijske sestave delcev	16
3.6 Statistična analiza	17

4	Rezultati	18
5	Analiza rezultatov	31
5.1	Primerjava količine najdene mikroplastike glede na lokacijo ulova rib.....	31
5.2	Primerjava količine najdene mikroplastike v tekočih in stoečih vodah	32
5.3	Primerjava količine najdenih fragmentov glede na lokacijo ulova rib	34
5.4	Razmerje med vlakni in fragmenti glede na lokacijo ulova rib.....	34
5.5	Primerjava količine najdene mikroplastike glede na lokacijo ulova in težo rib.....	35
5.6	Primerjava količine najdene mikroplastike v odvisnosti od teže in dolžine rib	36
5.6.1	Količina mikroplastike v odvisnosti od teže osebkov	36
5.6.2	Količina mikroplastike v odvisnosti od dolžine osebkov.....	37
6	Zaključki.....	38
6.1	Potrditev/zavrnitev hipotez.....	38
6.2	Sklep in komentar.....	38
7	Viri in literatura.....	40
7.1	Viri in literatura vsebine	40
7.2	Viri slik	42
7.3	Viri tabel	42
7.4	Viri grafov	42

Kazalo slik

Slika 1: Primer fragmenta	2
Slika 2: Primer filma	3
Slika 3: Primer peleta	3
Slika 4: Primer granule.....	4
Slika 5: Primer vlakna	4
Slika 6: Primer pene	4
Slika 7: Rdečeoka (<i>Rutilus rutilus</i>)	9
Slika 8: Razširjenost rdečeoke	10

Slika 9: Zemljevid lokacij ulovov, večjih industrijskih obratov in čistilnih naprav	12
Slika 10: Merjenje dolžine rdečeok.....	13
Slika 11: Tehtanje rdečeok s precizno tehtnico.....	13
Slika 12: Tehtanje drobovja rdečeok.....	14
Slika 13: Filtriranje razgrajenega drobovja	14
Slika 14: Filracija z Buechnerjevim lijem oz. nučo	14
Slika 15: Stereo mikroskop	15
Slika 16: Razdelitev vzorca na četrtine	15
Slika 17: Pinceta in spatula	15
Slika 18: Temno modro vlakno	20
Slika 19: Rdeče vlakno.....	20
Slika 20: Dolgo črno vlakno.....	21
Slika 21: Vijolično vlakno.....	21
Slika 22: Svetlo rdeče vlakno	21
Slika 23: Temno modro vlakno	21
Slika 24: Bel fragment (polietilen), velikosti 0,89 mm, najden v vzorcu št. 18	22
Slika 25: Bel fragment (polietilen), velikosti 0,89 mm, najden v vzorcu št. 23.....	23
Slika 26: Zelen fragment (polietilen), velikosti 0,76 mm, najden v vzorcu št. 47	24
Slika 27: Prozoren fragment (polietilen tereftalat), velikosti 0,37 mm, najden v vzorcu št. 4 ..	25
Slika 28: Prozoren fragment (polietilen tereftalat), velikosti 0,55 mm, najden v vzorcu št. 33	26
Slika 29: Roza fragment (polipropilen), velikosti 0,46 mm, najden v vzorcu št. 36	27
Slika 30: Roza fragment (polipropilen), velikosti 0,55 mm, najden v vzorcu št. 32	28
Slika 31: Rdeč fragment (polistiren), velikosti 0,66 mm, najden v vzorcu št. 43	29
Slika 32: Moder fragment (stiren kopolimer), velikosti 0,7 mm, najden v vzorcu št. 28	30

Kazalo tabel

Tabela 1: Znanstvena klasifikacija rdečeoke	9
Tabela 2: Podatki o posameznih osebkih in količini najdene mikroplastike	18
Tabela 3: Povzetek analize variance	32

Tabela 4: Analiza variance s programskim orodjem Excel.....	32
Tabela 5: T-test.....	33

Kazalo grafov

Graf 1: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 18	22
Graf 2: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 23	23
Graf 3: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 47	24
Graf 4: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 4	25
Graf 5: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 33	26
Graf 6: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 36	27
Graf 7: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 32	28
Graf 8: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 43	29
Graf 9: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 28	30
Graf 10: Primerjava količine mikroplastike na osebek v odvisnosti od lokacije ulova	31
Graf 11: Primerjava količine mikroplastike na ribo v odvisnosti od lokacije ulova.....	33
Graf 12: Primerjava količine fragmentov v odvisnosti od lokacije ulova.....	34
Graf 13: Primerjava razmerja med vlakni in fragmenti v odvisnosti od lokacije ulova	35
Graf 14: Primerjava količine mikroplastike na osebek v odvisnosti od lokacije ulova in teže rib	36
Graf 15: Primerjava količine najdene mikroplastike v odvisnosti od teže osebkov	37
Graf 16: Primerjava količine najdene mikroplastike v odvisnosti od velikosti osebkov	37

1 Uvod

V zadnjih letih se je proizvodnja plastike in plastičnih izdelkov izrazito povečala in predstavlja velik okoljski problem. Manj znan svetovni problem pa je problem mikroplastike, ki mu še vedno ne posvečamo dovolj pozornosti. Onesnažuje zrak, morske in celinske vode, pot pa najde celo v notranjost organizmov. Odločila sva se, da bova ta problem podrobnejše raziskala v slovenskih vodah ob reki Muri. Za lokacijo Mure sva se odločila, ker sva oba Pomurca in nama je ta regija najbolj poznana ter zanimiva. Za raziskovanje mikroplastike v ribah pa sva se odločila zato, ker v zadnjih nekaj letih naravovarstveniki dajejo zelo velik poudarek pomenu reke Mure in njenemu obvarovanju pa tudi sama sva že lela prispevati nekaj znanja na to temo, in sicer tako, da sva poskušala ugotoviti njeno onesnaženost z mikroplastiko. Povezala sva se z Inštitutom za vode Republike Slovenije, kjer sva kmalu ugotovila, da raziskave o mikroplastiki v ribah slovenskih celinskih voda še ni bilo narejene, kar nama je vlilo še večjo željo in voljo za raziskovanje te tematike. Z raziskovalno nalogo želiva ljudi seznaniti s problematiko mikroplastike in prispevati k ozaveščanju o boljšem ravnanju z odpadki. Odgovore sva poiskala na podlagi opazovanja, merjenja in zbiranja podatkov.

Cilj: Ugotoviti količino mikroplastike v ribah rdečeokah (*Rutilus rutilus*), ulovljenih vzdolž Mure v Sloveniji in ugotoviti, kateri dejavniki imajo pri tem največji vpliv.

Hipoteza 1: Količina mikroplastike v ribah narašča z velikostjo rib.

Hipoteza 2: Po toku reke Mure navzdol se povečuje količina mikroplastike na ribo.

Hipoteza 3: Ribe vsebujejo različne oblike mikroplastike, kot npr.: vlakna, fragmente, pene, pelete in granule.

Hipoteza 4: Količina mikroplastike je večja v ribah iz stoječih voda in manjša v ribah iz tekočih voda.

2 Teoretični del

2.1 Mikroplastika

2.1.1 Splošno

Plastika se v naravi ne razgradi, temveč le razpada na vedno manjše delce. Mikroplastika so drobni delci plastičnih materialov, veliki od 1 µm do 5 milimetrov (Frias in Nash, 2019), torej na meji med vidnim in mikroskopskim. Prva uradna poročila o obstoju mikroplastike segajo v leto 1971. Dandanes je postala sodobno onesnaževalo, ki ga je z naraščajočo proizvodnjo plastičnih izdelkov v naravi vedno več (Evropski parlament, 2018).

2.1.2 Kategorije mikroplastike

»Mikroplastiko delimo v 6 osnovnih kategorij: fragmenti, filmi, peleti, granule, filamenti in pene. Delce, ki so antropogenega izvora in niso plastični, uvrstimo v kategorijo »drugo«. So najrazličnejših tekstur, barv in oblik« (Kovač Viršek in sod., 2019).

Fragmenti

»Za fragmente je značilno, da so nepravilnih oblik, trdi, debelejši, z ostrimi vogali in zelo različnih pisanih barv. Ko jih s pinceto stisnemo, najpogosteje ne počijo (razen tanjših)« (Kovač Viršek in sod., 2019).



*Slika 1: Primer fragmenta
(vir: Kovač Viršek in sod., 2019)*

Filmi

»Za filme je značilno, da so nepravilnih oblik, zelo fleksibilni in tanki. Njihova struktura spominja na koščke plastične vrečke. Lahko so različnih barv, toda prevladujejo transparentni delci« (Kovač Viršek in sod., 2019).



*Slika 2: Primer filma
(vir: Kovač Viršek in sod., 2019)*

Plejeti

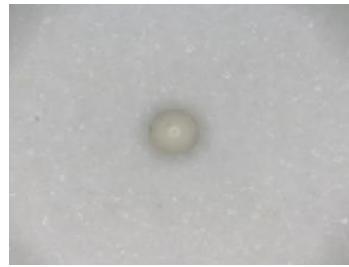
»Za pelete je značilna okrogla, diskasta oblika. Največkrat so umazano bele barve, lahko tudi drugih barv. Njihova velikost je v premeru blizu 5 mm. Zaradi drugih vplivov so lahko tudi nepravilnih okrogligh oblik« (Kovač Viršek in sod., 2019).



*Slika 3: Primer peleta
(vir: Kovač Viršek in sod., 2019)*

Granule

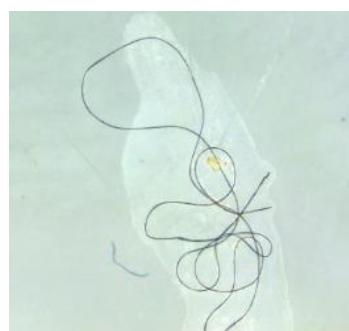
»Za granule je značilna oblika kroglice, ki ima okrog 1 mm v premeru. Zaradi svoje okroglo oblike so zelo izmazljive pod pinceto. Največkrat jih najdemo v umazano belih barvah in črni barvi, redkeje v drugih barvah. So tudi ena izmed najredkeje najdenih kategorij mikroplastike« (Kovač Viršek in sod., 2019).



*Slika 4: Primer granule
(vir: Kovač Viršek in sod., 2019)*

Vlakna ali filamenti

»Vlakna obstajajo v najrazličnejših debelinah, dolzinah in barvah. To je najpogosteje najdena kategorija mikroplastike, ki kroži tudi po zraku in zato povzroča tudi kontaminacije vzorcev. Glavna značilnost, po kateri jih prepoznamo, je njihova fleksibilnost in zvijanje« (Kovač Viršek in sod., 2019).



*Slika 5: Primer vlakna
(vir: Kovač Viršek in sod., 2019)*

Pene

»Za pene je značilno, da so mehke, ko jih stisnemo s pinceto in umazano bele barve. Prevladujejo stiroporne kroglice. Lahko pa se najdejo tudi pene, ki spominjajo na čistilne gobice« (Kovač Viršek in sod., 2019).



*Slika 6: Primer pene
(vir: Kovač Viršek in sod., 2019)*

2.1.3 Pot mikroplastike od nastanka do organizmov

Obstaja več vrst plastike glede na kemično sestavo, in sicer polietilen, polipropilen, polistiren in druge. Umetni polimeri so lahki, trpežni, imajo odlično topotno in električno izolacijo. Zaradi teh lastnosti jih je mogoče oblikovati v skoraj vse oblike. Posledično se je proizvodnja teh povečala z 1,5 milijona ton, leta 1950, na 368 milijonov ton, leta 2019 (Tiseo, 2021). A velik delež plastične embalaže se uporablja le enkrat. Letno se v EU reciklira samo 26,3 % plastike. Zato velik delež pride v okolje s slabo upravljenih odlagališč ali pa zaradi nepravilnega ravnanja z izdelki iz plastike (Bellasi in sod., 2020).

Mikroplastika ima lahko različni obliko in sestavo, kar pa je odvisno od izvora mikroplastike. Mikroplastika izvira iz mnogo različnih virov, kljub temu je mogoče izpostaviti štiri pomembnejše mehanizme formacije:

- razpadanje večjih delcev,
- neposreden izpust v vodne poti,
- nemerna izguba industrijske surovine,
- odvajanje maceriranih odpadkov (Bellasi in sod., 2020).

Na podlagi teh faktorjev mikroplastiko lahko razdelimo v primarno in sekundarno kategorijo. Primarna mikroplastika je posebej izdelana v velikosti, manjši od 5 mm in so jo po vsej verjetnosti vodni tokovi prinesli iz industrijskih ali gospodinjskih drenažnih sistemov. Primarna mikroplastika se uporablja v številnih industrijskih dejavnostih, od proizvodnje sredstev za razstreljevanje do proizvodnje trupov za čolne. Največ primarnih delcev uporabijo v izdelkih za osebno nego in kozmetiki. Tudi pralni stroji iz oblačil odstranijo ogromno sintetičnih vlaken v odpadno vodo. Sekundarni delci nastanejo kot rezultat fragmentacije makroplastike, ki poteka zaradi izpostavljenosti UV-žarkom, kar pa vodi v zmanjševanje življenske dobe plastike na prostem in oksidativne reakcije, kar vodi do razgradnje na vedno manjše delce. To imenujemo tudi mehanska razgradnja. Tako se delci plastike lahko razgradijo na manjše kose tudi zaradi sil trenja, ki se pojavi med premikanjem po različnih okoljih. Danes so plastični delci razpršeni po vsem svetu, na močno prizadetih plažah pa koncentracije mikroplastike lahko dosežejo 3 % mase v primerjavi z maso naravnih usedlin. Pomemben vir onesnaževanja z mikroplastiko je obraba pnevmatik. Zaradi trenja nastali ostanki, po navadi v velikosti mikro- ali nanometrov, predstavljajo približno 5-10 % vseh delcev, ki letno končajo v oceanih (Bellasi in sod., 2020).

Po najnovejših raziskavah lahko vlakna v vode prinašajo padavine. V izvedeni študiji na območju okoli Pariza pada 110 ± 96 delcev na m^2 na dan. Okoli 30 % teh vlaken pa naj bi bilo plastičnih polimerov (Dris, 2016). Poleg mikroplastike, ki preko dežja pride v čistilne naprave, nekatere tipe mikroplastike lahko speremo neposredno v domače odpadne vode s pranjem oblačil, kar pa je največji vir mikroplastike v čistilnih napravah. Na območjih, za katere je značilna visoka gostota prebivalstva, so čistilne naprave eden najpomembnejših virov

mikroplastike. Cheung in Fok (2017) sta ocenila, da je 80 % emisij delcev mikroplastike v vodnem okolju na Kitajskem posledica odplak iz čistilnih naprav. Študija 17 čistilnih naprav v ZDA (Mason in sod., 2016) ocenjuje, da je med 50.000 in 15 milijonov delcev mikroplastike na dan posledica odplak iz čistilnih naprav. V reke, potoke in jezera mikroplastika tako pride preko čistilnih naprav, odplak, dežja, razgradnje večjih plastičnih delov itd. (Bellasi in sod., 2020). Raziskava Inštituta za vode Republike Slovenije (Kovač Viršek in sod., 2017) je pokazala, da imajo tudi slovenske čistilne naprave dokaj visoko kapaciteto za zadrževanje mikroplastike (>90 %).

Reke so glavni vir onesnaževanja oceanov z mikroplastiko. Raziskave v delti reke Segre v Španiji so pokazale prisotnost 3,5 delca mikroplastike na kubični meter vode. To pomeni, da reka Segra letno v Sredozemsko morje spusti 2,2 milijarde delcev mikroplastike (Barbuzano, 2019).

V vodnih ekosistemih mikroplastiko nevede pogoltnejo živi organizmi. Tako se mikroplastika prenaša po prehranjevalni verigi, vse do človeka.

2.1.4 Nahajališča mikroplastike

2.1.4.1 Mikroplastika v vodnih biotopih

Mnoge raziskave že več let opozarjajo na masivne količine mikroplastike v morskih ekosistemih po svetu, ki predstavljajo grožnjo tamkajšnjim organizmom. Sladkovodni ekosistemi so na drugi strani pritegnili veliko manj pozornosti, četudi je večina plastike proizvedene na kopnem in jo prav reke prinašajo v morje (Dris idr., 2015).

Razlike med omenjenima ekosistemoma se kažejo v tem, da se v ekosistemih celinskih voda lahko bolj približamo točkovnim virom in da so ekosistemi celinskih voda manjši ter v manjših prostorskih ter časovnih razlikah mešanja in transporta delcev. Prav to pa lahko privede do razlik v vrstah prisotne mikroplastike. Npr. reke lahko kažejo predvidljiv vzorec značilnosti mikroplastike (velikost, oblika, številčnost) glede na vire (npr. gospodinjski ali industrijski) v bližini rek in oddaljenostjo vodnega od točkovnega vira (Centa, 2016).

Redke študije pa ne poročajo le o prisotnosti mikroplastike v sladkovodnih ekosistemih, ampak tudi o zelo visokih koncentracijah le-te, podobnim kot v morjih. V celinskih vodah so mikroplastiko zasledili ne le v vodi, temveč tudi v sedimentih. Veliko študij je poročalo o mikroplastični onesnaženosti obal jezer in rek, od celinskih voda Evrope do Severne in Južne Amerike ter Azije (Dris in sod., 2015).

Imhof in sodelavci (2013) so ugotovili, da severna obala jezera Garda (Italija) vsebuje 1.108 ± 983 delcev/m², medtem ko je na južni strani bilo odkritih le 108 ± 55 delcev/m². V sedimentu jezera Garda je bilo najdenih 1–7 delcev mikroplastike na m². Največ izmed odkritih delcev je

bilo tekstilnih vlaken. Prav tako je bilo najdene precej mikroplastike (3.209 delcev) na obali nekaterih Velikih jezer v Severni Ameriki (Zbyszewski in Corcoran, 2011). V izoliranem gorskem jezeru Hovsgol, Mongolija, je bila potrjena povprečna gostota 20.264 delcev mikroplastike/km² (Free in sod., 2014).

Na Inštitutu za vode Republike Slovenije (2015) so se ukvarjali z vnosi mikroplastike v morja z rekami. V projektu Riverine, ki ga je financirala EC, so vzorčili makro- in mikroodpadke na deltah štirih večjih evropskih rek: Donava, Pad, Ren in Dal ter iz rezultatov koncentracije mikroplastike preračunali količine, ki jih posamezna reka prinese v morje. Ugotovili so, da glede na število delcev v povprečju največ mikroplastike prinese Donava v Črno morje, sledi Pad s skoraj 1000 milijardami delcev v Jadransko morje, nato Ren in Dal. Rezultati glede na težo delcev pa obrnejo vrstni red in opaziti je bilo, da reka Pad prinese največ ton mikroplastike na leto v Jadransko morje. Najbolj čista reka je bila Dal.

Slovenska raziskava mikroplastike v Ljubljanici in Blejskem jezeru je v kar 37 od 38 vzorcev potrdila delce mikroplastike. Več mikroplastike je bilo v Ljubljanici. Na obeh lokacijah je bila večja koncentracija na gladini vode. V Blejskem jezeru je bila ugotovljena koncentracija 133.782 delcev na km², v Ljubljanici je koncentracija znašala 607.968 delcev mikroplastike na km² (Centa, 2016).

2.1.4.2 Mikroplastika v ribah

V vodah živi ogromno živih organizmov, ki mikroplastiko zaužijejo. Mnogo raziskav je že potrdilo mikroplastiko v morskih ribah, rakih, nekaj manj pa v sladkovodnih organizmih (Dris idr., 2015). V jezeru Geneva v Švici je bilo v študijo (Faure in sod., 2012) vključenih 21 odraslih navadnih ščuk (*Esox lucius*), 18 rdečeok (*Rutilus rutilus*) in 2 ploščiča (*Aramis brama*). V vzorcih so preverjali prisotnost mikroplastičnih fragmentov, vendar teh niso našli v nobeni ribi. Druga raziskava (Sanchez in sod., 2014) je v 11 francoskih rekah preverjala prisotnost trdih in obarvanih vlaken oz. filamentov. Prisotnost teh je bila 11–26 %. Ribe iz urbanih rek so bile bolj onesnažene z mikroplastiko kot tiste s področij z nizko človekovo dejavnostjo.

Kušmierek in Popiołek (2020) sta raziskovala mikroplastiko v ribah poljskih rek. Vključenih je bilo 389 rib, od tega 202 primerka navadnih globočkov (*Gobio gobio*) in 187 primerkov rdečeok (*Rutilus rutilus*). Od vseh rib jih je 212 (54,5 %) zaužilo 452 delcev mikroplastike.

Po zbranih podatkih lahko vidimo, da je mikroplastika globalni problem, ki se pojavlja vsepozd, tako v stoječih kot v tekočih vodah; v morskih in kontinentalnih ekosistemih.

2.1.5 Vpliv mikroplastike na organizme

Mikroplastika se pojavlja v vseh ekosistemih, tako je posledično vstopila v prehranjevalne verige mnogih organizmov.

2.1.5.1 Vpliv na ribe

Publikacije so pokazale, da delci mikroplastike v ekosistemih povzročijo negativne učinke. Ko vodne živali pogoltnejo delce mikroplastike, lahko sledi fizična poškodba, ki blokira ali poškoduje prebavne organe, delci pa lahko prispevajo tudi k iluziji sitosti, zmanjšujejo količino zaužite hrane in v nekaterih primerih povzročijo celo smrt. Manjsi delci mikroplastike lahko poškodujejo črevesje, prebavni kanal, želodec, jetra, trebušno slinavko, jajčnike in povzročijo veliko škodo. Kadar je mikroplastika dovolj majhna, se lahko prenese tudi v tkiva in celice (Zhang in sod., 2018). Na mikroplastiko se uspešno vežejo obstojna organska onesnaževala, ki lahko močno vplivajo na zdravje organizmov (Kovač Viršek, 2018), in škodljive vrste alg (Bellasi in sod., 2020). Na mikroplastiki se vodi začne hitro razvijati biofilm, ki je lahko sestavljen tudi iz patogenih in invazivnih vrst mikroorganizmov. Eno izmed patogenih vrst bakterij, ki povzroča furunkulozo pri ribah, so odkrili na mikroplastiki iz slovenskega morja (Kovač Viršek in sod., 2017).

2.1.5.2 Vpliv na ljudi

Na podlagi raziskav Američan v povprečju zaužije vsaj 74.000 delcev mikroplastike letno. Obstajajo dokazi, vsaj pri živalih, da lahko mikroplastika preide skozi trdo membrano, ki ščiti možgane pred številnimi tujki, ki vstopijo v krvni obtok. Obstaja nekaj dokazov, da bi lahko matere skozi placento prenašale mikroplastiko do zarodka (Consumer Reports, 2019).

Kot ugotavlja Svetovna zdravstvena organizacija, bi mikroplastika iz pitne vode lahko vplivala na zdravje ljudi na tri načine, in sicer fizično, kemijsko in mikrobiološko. Kako delci fizično vplivajo na naše telo, še ni znano. Vemo le, da se delci, večji od 150 mikrometrov, težko absorbirajo v človeško tkivo, zato predvidevajo, da je v našem telesu lahko bistveno več nanoplastike, torej delcev, velikih od enega do tisoč nanometrov. Vendar obsežnejših raziskav, ki bi obravnavale količino mikroplastike v človeškem telesu, njen transport in vpliv na zdravje, še ni bilo. Do zdaj so v laboratoriju proučevali predvsem njen vpliv na živali, pri čemer so bile testne živali večinoma izpostavljene zelo visokim koncentracijam mikroplastike. V nedavni študiji so dokazali, da se število odraslih vodnih bolh, izpostavljenih mikroplastiki, statistično pomembno zmanjša. Zmanjšanje populacije vodnih bolh vpliva na celoten ekosistem, saj je pomemben člen v prehranjevalni verigi. Od sesalcev so bile doslej opravljene raziskave na miškah in podganah, vendar le pri visokih koncentracijah in kratki časovni izpostavljenosti, zato izsledki raziskav ne izražajo potencialne toksičnosti, ki bi se morebiti pojavila že pri nižjih koncentracijah in dolgotrajni izpostavljenosti mikroplastiki. Mikroplastika je potencialno nevarna za organizme tudi s kemijskega vidika. Iz nje se namreč sproščajo monomeri (nevezani gradniki, ki ne polimerizirajo med proizvodnjo plastike, ter monomeri, ki se sprostijo iz plastike zaradi razgradnje v okolju) ter aditivi, dodani plastiki za izboljšanje njenih lastnosti, kot so plastifikatorji in zaviralci gorenja. Za aditive so ugotovili, da naj bi bile koncentracije, sproščene iz mikroplastike, razmeroma majhne v primerjavi s sproščanjem iz drugih večjih virov plastike. Tako je WHO zaključila, da je nevarnost za zdravje človeka s kemijskega vidika

majhna, razen pri visokih koncentracijah mikroplastike v pitni vodi. Kako visoka bi naj bila ta koncentracija, da bi vplivala na zdravje človeka, še ne vemo (Kovač Viršek, 2019).

2.2 Rdečeoka

Rdečeoka ali črnovka (znanstveno ime *Rutilus rutilus*) je evropska sladkovodna riba iz družine pravih krapovcev. Ime je dobila po značilni rdeče-oranžni barvi oči (Hofer, 1991).



Slika 7: Rdečeoka (*Rutilus rutilus*)
(Vir: CGtrader, b. d.)

Tabela 1: Znanstvena klasifikacija rdečeoke

Prirejeno po Nelson, J. S., Grande, T. C., Wilsmon, M. V. H. (2016). Fishes of the World. Wiley. 181–186.

Deblo (Phylum)	strunarji – Chordata
Razred (Classis)	žarkoplavutarice – Actinopterygii
Red (Ordo)	krapovci – Cypriniformes
Družina (Familia)	pravi krapovci – Cyprinidae
Rod (Genus)	rdečeoke – Rutilus
Vrsta (Species)	rdečeoka – <i>Rutilus rutilus</i>

2.2.1 Anatomija

Ribe ločimo v dve glavni skupini: hrustančnice in kostnice. Rdečeoka spada med kostnice. Kostnice imajo škržni poklopec, zato posamezne škržne reže pri njih za razliko od hrustančnic niso vidne. Številne kostnice imajo tudi ribji mehur, ki ga uporabljajo za nadzorovanje plovnosti, torej je hidrostatski organ. Izločala so enostavna, krvni obtok je enojen. Srce je zgrajeno iz enega preddvora in prekata. Ribe imajo dokaj dobro razvita čutila. Uho je le notranje, oči pa so prilagojene na gledanje od blizu in je akomodacijsko. Ribe imajo posebno čutilo pobočnico, vidno kot črto na boku ribe, s katero zaznavajo premikanje vode. Pline

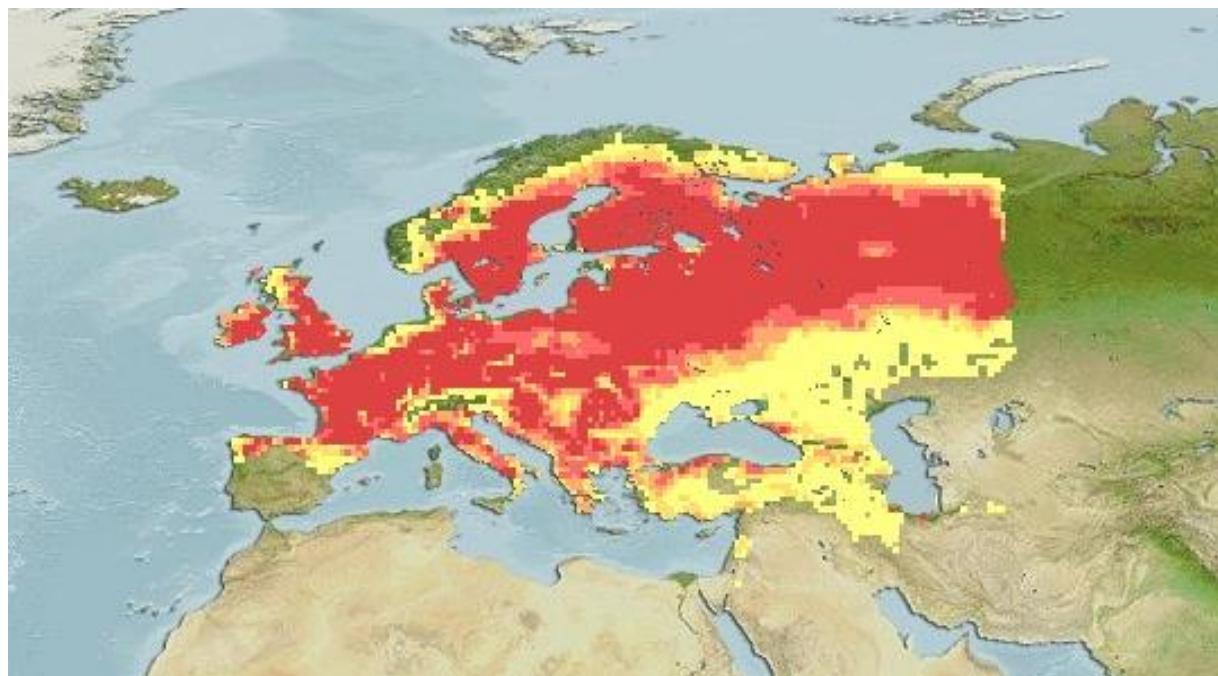
izmenjavajo v škrgah na obeh straneh žrela, ki jih sestavljajo nitaste strukture, imenovane filamenti (Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, b. d.).

2.2.2 Značilnosti

Rdečeoka zraste v dolžino od 20 do 40 cm, največ do 50 cm, živi do 18 let. Je riba z visokim, vretenastim, nekoliko višje grajenim telesom, pokritim z velikimi luskami. Ima izrazito veliko glavo z majhnimi, končnimi ustmi. Je temno zelene barve, boki so srebrni ali zlato rumeni, trebuhi je rumen ali bel. Telo je bočno sploščeno, trebušne plavuti so točno pod hrbtno. Plavuti na spodnji strani telesa so običajno rdečkaste. Boki so srebrni, luske velike, oko (šarenica) rdeče. So vsejede, glavna hrana so plankton, vodne žuželke, razni vodni nevretenčarji, črvi, ličinke, ikre in odmrlo vodno rastlinje. Spolno dozori v drugem, tretjem oz. četrtem letu starosti, drsti se od aprila do maja, samica takrat prilepi od 50.000 do 100.000 iker na vodno rastlinje ali kamenje (Hofer, 1991).

2.2.3 Habitat

Rdečeoka je razširjena po celi Evropi, razen na skrajnjem severu, jugu in zahodu, kjer so Pireneji skrajna zahodna točka. Živi v jatah pri dnu v vseh vodotokih, pa tudi v jezerih in drugih stoečih vodah. Rada ima mirno in počasi tekočo vodo. Ni občutljiva na onesnaževanje, zato je ena najpogostejših ribjih vrst v Evropi. Razširjena je v vseh ribjih pasovih, razen v postrvjem (Hofer, 1991).



Slika 8: Razširjenost rdečeoke
(vir: Evropska komisija, b. d.)

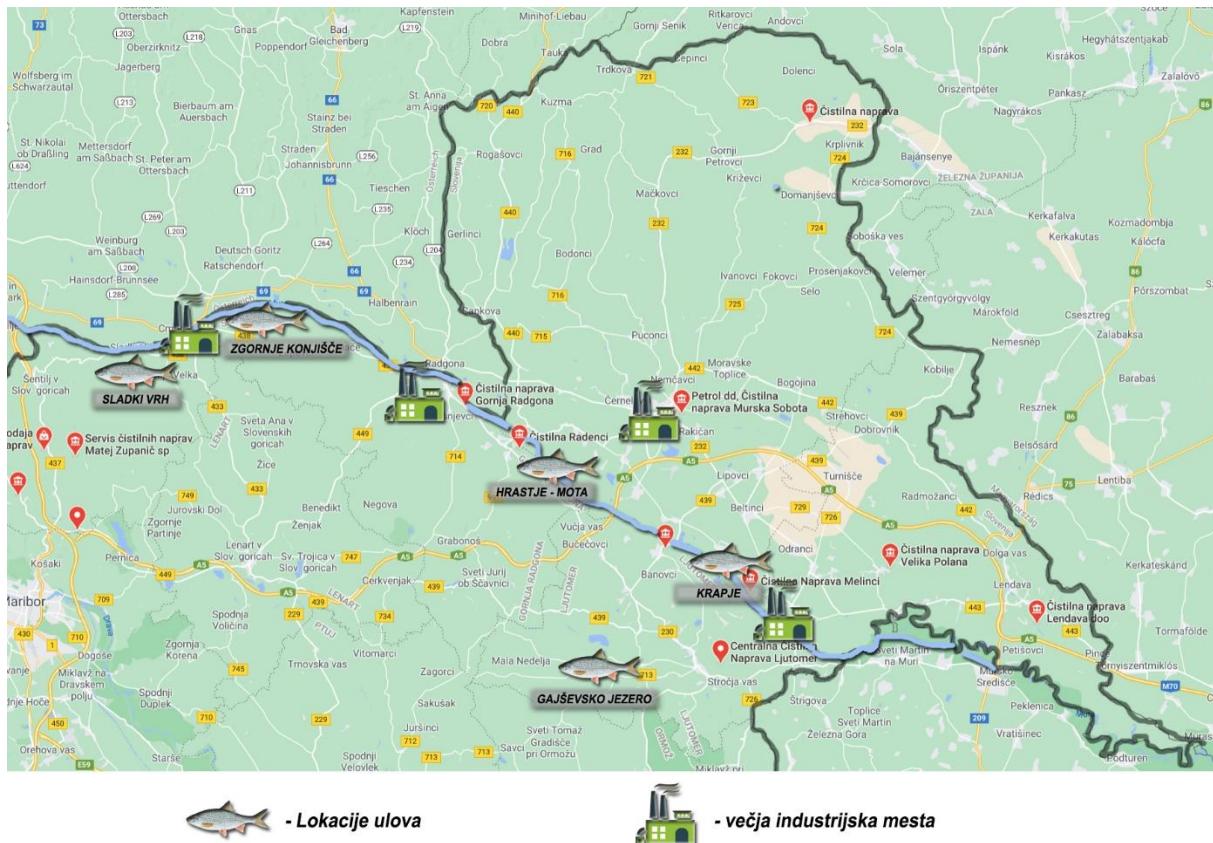
3 Metode dela

3.1 Izbira vrste rib in lokacij ulovov

Analizo mikroplastike sva naredila na 50-ih osebkih rdečeoke (*Rutilus rutilus*), ulovljenih med 15. 10. in 25. 10. 2020. Vzorce sva analizirala v januarju. Rdečeoko sva izbrala, ker ni ogrožena, jo je lahko uloviti in se pojavlja tako v stoječih kot tudi v tekočih celinskih vodah. Ribe so ulovili lokalni ribiči.

Pri načrtovanju sva izbrala različne lokacije ulova. Pri tem sva upoštevala, da so enakomerno porazdeljene po Pomurju in da so vključevale lokacije večjih industrijskih obratov, ki se nahajajo v Sladkem vrhu, Gornji Radgoni, Murski Soboti in Ljutomeru. Prav tako sva upoštevala mesta čistilnih naprav, ki naj bi na podlagi raziskav (Cheung in Fok, 2017; Mason in sod., 2016; Bellasi in sod., 2020; Kovač Viršek, 2017) močno vplivale na količino mikroplastike v vodotokih. Ribe so bile ulovljene na petih različnih lokacijah, na vsaki po deset osebkov. Tri lokacije so bile na reki Muri, dve pa na umetnem jezeru (Gajševsko jezero in jezero Stara jama v Zgornjem Konjišču). S tem so bili pridobljeni podatki o količini mikroplastike v tekočih in stoječih vodah. Lokacije so sledeče:

- **rokav reke Mure v Sladkem Vrhu** - to lokacijo sva izbrala kot začetno točko, ki se nahaja pred vsemi večjimi slovenskimi industrijskimi obrati ob reki Muri in slovenskimi občinskim čistilnimi napravami, da bi pozneje lahko ugotovila, ali se količina mikroplastike s tokom reke Mure v Sloveniji povečuje,
- **jezero Stara jama** - ki se nahaja v Zgornjem Konjišču in je umetnega izvora,
- **rokav reke Mure v Hrastju – Moti** - to lokacijo sva izbrala, ker se med Sladkim Vrhom in Hrastjem – Moto nahajata kar dve čistilni napravi (ČN Gornja Radgona in ČN Radenci), ki prečiščeno vodo spuščata posredno v Muro,
- **Gajševsko jezero** - ki je umetno akumulacijsko jezero na reki Ščavnici in je znano po veliki količini rib, občasni onesnaženosti s pesticidi in z gnojili ter visoko vsebnostjo fosforja in dušika,
- **rokav reke Mure v Spodnjem Krapju** - to lokacijo sva izbrala, ker se med Hrastjem – Moto in Spodnjim Krapjem nahaja še ČN Veržej in je zelo počasi tekoč del reke Mure.



*Slika 9: Zemljevid lokacij ulovov, večjih industrijskih obratov in čistilnih naprav
(vir: Google Maps, 2021)*

3.2 Analiza vzorcev v laboratoriju

3.2.1 Material in oprema

Pri vzorčenju rib sva uporabila:

- hladilno torbo,
 - zamrzovalnik.

Pri delu v laboratoriju sva potrebovala:

- kapalko,
 - pinceto,
 - stekleno palčko,
 - spatulo,
 - rokavice,
 - laboratorijsko haljo,
 - meter.

- precizno tehtnico (Kern 6W; $d = 0,01$),
- pribor za seciranje,
- petrijevke,
- celulozne filtre z velikostjo por $12 \mu\text{m}$,
- erlenmajerice,
- 10 % raztopino KOH,
- destilirano vodo,
- Buechnerjev lij oz. nučo,
- steklen kozarec s pokrovom,
- stereo mikroskop (Leica ES2; binokularni; možnost 10-kratne in 30-kratne povečave).

3.2.2 Predpriprava rib

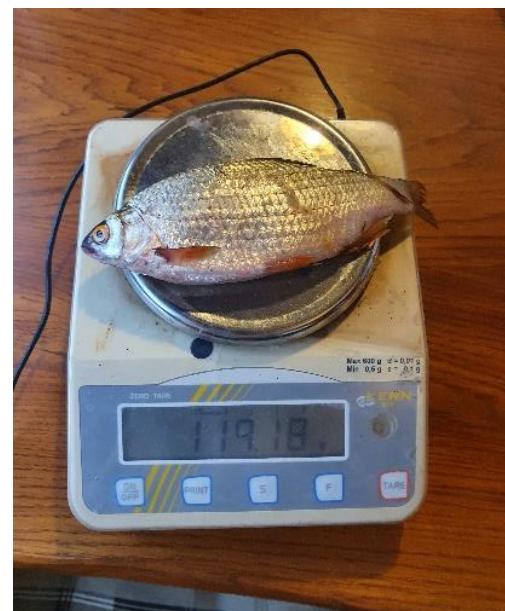
Ob prejemu rib sva si zabeležila sledeče podatke:

- datum in mesto ulova,
- tip vabe, s katero so bile ribe ujete.

Po prevzemu rib sva si zabeležila njihovo dolžino in težo. Še isti dan sva očistila notranje organe.



Slika 10: Merjenje dolžine rdečeok
(vir: Bogdan, 2020)



Slika 11: Tehtanje rdečeok s precizno tehtnico
(vir: Bogdan, 2020)

3.2.3 Razgradnja drobovja

Ribo sva odprla na trebušnem delu, iz nje previdno pobrala drobovje, ki sva ga stehtala s precizno tehtnico in ga dala v zamrzovalnik.

V januarju sva drobovje odmrznila, mu dodala 1-kratno količino 10 % KOH glede na težo posameznega drobovja in ga 72 ur inkubirala na sobni temperaturi. Po 72 urah sva razgrajeno vsebino kozarca prefiltrirala s pomočjo Buechnerjevega lija oz. nuče. Uporabila sva celulozne filtre (velikost por 12 µm). Filtre sva temeljito sprala z destilirano vodo, da sva sprala čim več KOH. Po končani filtraciji sva filtre, s pomočjo pincete, previdno prenesla v čiste petrijevke, ki sva jih ustrezno označila.



Slika 12: Tehtanje drobovja rdečeok
(vir: Bogdan, 2021)



Slika 13: Filtriranje razgrajenega drobovja
(vir: Bogdan, 2021)



Slika 14: Filracija z Buechnerjevim lijem oz. nučo
(vir: Bogdan, 2021)

3.2.4 Analiza vzorcev s stereo mikroskopom

Petrijevke s filtri sva pregledala pod stereo mikroskopom pri 30-kratni povečavi ter najdene delce mikroplastike fotografirala. Posamezen vzorec sva si zaradi lažje preglednosti razdelila na četrtine in sistematično pregledala enega za drugim. Pri pregledovanju vzorcev sva si pomagala s spatulo. Najdene delce sva kategorizirala. Najdene fragmente in vlakna sva s pomočjo pincete prenesla v drugo petrijevko.



Slika 15: Stereo mikroskop
(vir: Bogdan, 2021)



Slika 16: Razdelitev vzorca na četrtine
(vir: Bogdan, 2021)



Slika 17: Pinceta in spatula
(vir: Bogdan, 2021)

3.3 Smernice za prepoznavo mikroplastike pod lupo

Nekatere delce mikroplastike sva zelo enostavno prepoznala, največkrat zaradi intenzivne barve, medtem ko sva druge delce zelo težko ločila od delcev organske narave. Značilnosti, na podlagi katerih sva lažje prepozna mikroplastiko pod lupo, so bile sledeče:

- Niso imele vidnih celičnih struktur pri večjih povečavah.
- Nekatere so bile nenaravnih barv.
- Ob dotiku s pinceto se niso drobile v prah, temveč so počile na dva dela.
- Fragmenti so imeli ostre robove.

Pri uvrstitvi delcev v prave kategorije mikroplastike sva si pomagala s foto vodičem.

3.4 Preprečevanje kontaminacij mikroplastike iz zraka

Ker mikroplastika (vlakna) kroži tudi po zraku, je izrednega pomena, da sva pri svojem delu skušala zagotoviti ustrezne pogoje za preprečevanje kontaminacije vzorcev. Upoštevala sva naslednje smernice:

- Uporabila sva čisto sobo.
- Vse pripomočke sva pred uporabo sprala z destilirano vodo.
- Petrijevke sva skrbno zapiralna s pokrovi.
- V vseh postopkih sva uporabljala destilirano vodo.
- Pri delu sva uporabljala rokavice in bombažno laboratorijsko haljo.
- Med delom sva v sobo preprečila vstop drugim osebam.

3.5 Določanje kemijske sestave delcev

Kemijsko sestavo fragmentov smo 12. februarja 2021 identificirali na Inštitutu za vode Republike Slovenije z metodo Fourier transform infrardečo spektrometrijo (Spectrum Two, Perkin Elmer), ki zagotavlja informacije o kemijskih vezeh delcev. Polimerne materiale na osnovi ogljika se s to metodo zlahka analizira, saj imajo različne kemijske vezi specifične vibracijske značilnosti pri absorpciji infrardeče svetlobe, zaradi česar oddajajo specifične spekture, ki ločujejo plastiko od drugih organskih in anorganskih delcev. S primerjavo spektrov vzorcev s spektri v knjižnici spektrov polimerov smo uspeli identificirati določene vrste polimerov.

Za določanje kemijske sestave vlaken žal niso imeli ustreznih aparatur, zato zanje nismo mogli s popolno gotovostjo trditi, da gre za plastične delce.

3.6 Statistična analiza

Statistično analizo podatkov sva naredila s pomočjo programa Excel.

Podatke sva primerjala s T-testom, s katerim ugotavljamo, ali obstajajo statistično pomembne razlike med dvema neodvisnima skupinama.

Uporabila sva tudi analizo variance (ANOVA), ki je statistična metoda za preverjanje hipotez, ker primerja variance povprečij med skupinami vzorcev in variance povprečij znotraj vzorcev. Podobna je T-testu za neodvisne vzorce, le da se pri analizi variance primerja povprečja treh ali več skupin med seboj.

4 Rezultati

Tabela 2 prikazuje podatke o posameznih rdečeokah, in sicer mesto in datum ulova, njihovo težo, dolžino, maso drobovja ter število najdenih delcev mikroplastike. Vse ribe so bile ulovljene z enako vabo (beli črv). V Sladkem Vrhu so ribe vsebovale skupno 38 delcev mikroplastike, v Zgornjem Konjišču 47 delcev, v Hrastju – Moti 43 delcev, v Krapju 58 delcev, v Gajševskem jezeru 53 delcev.

Tabela 2: Podatki o posameznih osebkih in količini najdene mikroplastike

OPOMBA: SV = SLADKI VRH; ZG = ZGORNJE KONJIŠČE; HM = HRASTJE – MOTA; K = KRAPJE; GJ = GAJŠEVSKO JEZERO

Vzorec	Mesto ulova	Datum (2020)	Teža (g)	Dolžina (cm)	Drobovje (g)	Število delcev mikroplastike		
						Vlakna	Fragmenti	Skupaj
1.	SV	18. 10.	66,4	18	7,57	6		6
2.	SV	18. 10.	64,5	18	7,22	2		2
3.	SV	18. 10.	52,3	17	5,85	3		3
4.	SV	18. 10.	109,4	20	13,24	6	1	7
5.	SV	18. 10.	54,3	18	5,99	1		1
6.	SV	18. 10.	72,8	19	8,21	3		3
7.	SV	18. 10.	99,5	20	11,09	6		6
8.	SV	18. 10.	49,4	16	5,43	0		0
9.	SV	18. 10.	76,1	19	8,66	5		5
10.	SV	18. 10.	86,4	19	9,32	5		5
11.	K	17. 10.	57,7	17	6,37	2		2
12.	K	17. 10.	72,3	18	7,84	5		5
13.	K	17. 10.	88,4	19	9,56	7		7
14.	K	17. 10.	48,6	16	5,31	0		0
15.	K	17. 10.	111,3	21	13,54	7		7
16.	K	17. 10.	119,7	22	16,47	6		6

17.	K	17. 10.	98,1	20	10,78	4		4
18.	K	17. 10.	122,9	22	17,21	8	1	9
19.	K	17. 10.	67,5	19	7,54	1		1
20.	K	17. 10.	102,6	19	13,03	6		6
21.	HM	22. 10.	50,8	16	5,72	0		0
22.	HM	22. 10.	74,8	19	8,97	5		5
23.	HM	22. 10.	87,2	19	9,83	4	1	5
24.	HM	22. 10.	71,0	18	8,12	6		6
25.	HM	22. 10.	106,5	21	11,32	8		8
26.	HM	22. 10.	62,1	18	6,94	3		3
27.	HM	22. 10.	76,3	19	8,44	5		5
28.	HM	22. 10.	99,2	20	10,11	6	1	7
29.	HM	22. 10.	45,8	16	5,12	1		1
30.	HM	22. 10.	58,9	17	6,31	3		3
31.	K	25. 10.	66,6	18	7,65	4		4
32.	K	25. 10.	79,0	19	8,86	5	1	6
33.	K	25. 10.	92,3	20	9,01	8	1	9
34.	K	25. 10.	68,8	19	6,81	4		4
35.	K	25. 10.	54,8	16	5,91	2		2
36.	K	25. 10.	119,2	21	17,73	13	1	14
37.	K	25. 10.	106,4	20	11,11	8		8
38.	K	25. 10.	55,2	18	6,02	3		3
39.	K	25. 10.	82,4	19	9,15	5		5
40.	K	25. 10.	62,9	17	6,24	3		3

41.	GJ	22. 10.	76,8	19	8,56	6		7
42.	GJ	22. 10.	101,2	21	9,87	6		6
43.	GJ	22. 10.	98,1	20	11,67	6	1	8
44.	GJ	22. 10.	58,9	17	6,76	4		5
45.	GJ	22. 10.	66,0	18	7,49	3		3
46.	GJ	22. 10.	71,3	19	8,34	4		6
47.	GJ	22. 10.	106,5	20	10,62	8	1	10
48.	GJ	22. 10.	76,1	19	8,22	4		4
49.	GJ	22. 10.	54,9	17	7,88	2		2
50.	GJ	22. 10.	49,0	16	5,67	2		2

Naslednje slike (18–23) prikazujejo nekaj primerov vlaken, najdenih v pregledanih vzorcih. Vlakna smo fotografirali na IzVRS s stereo mikroskopom s kamero (StereoDiscovery V8 z AxioCam 108, Zeiss) in programsko opremo (AxioVision, Zeiss). V vseh vzorcih skupaj sva našla 230 vlaken, ki so bila različnih barv in dolžin.



Slika 18: Temno modro vlakno
(vir: IzVRS, 2021)



Slika 19: Rdeče vlakno
(vir: IzVRS, 2021)



Slika 20: Dolgo črno vlakno
(vir: IzVRS, 2021)



Slika 21: Vijolično vlakno
(vir: IzVRS, 2021)

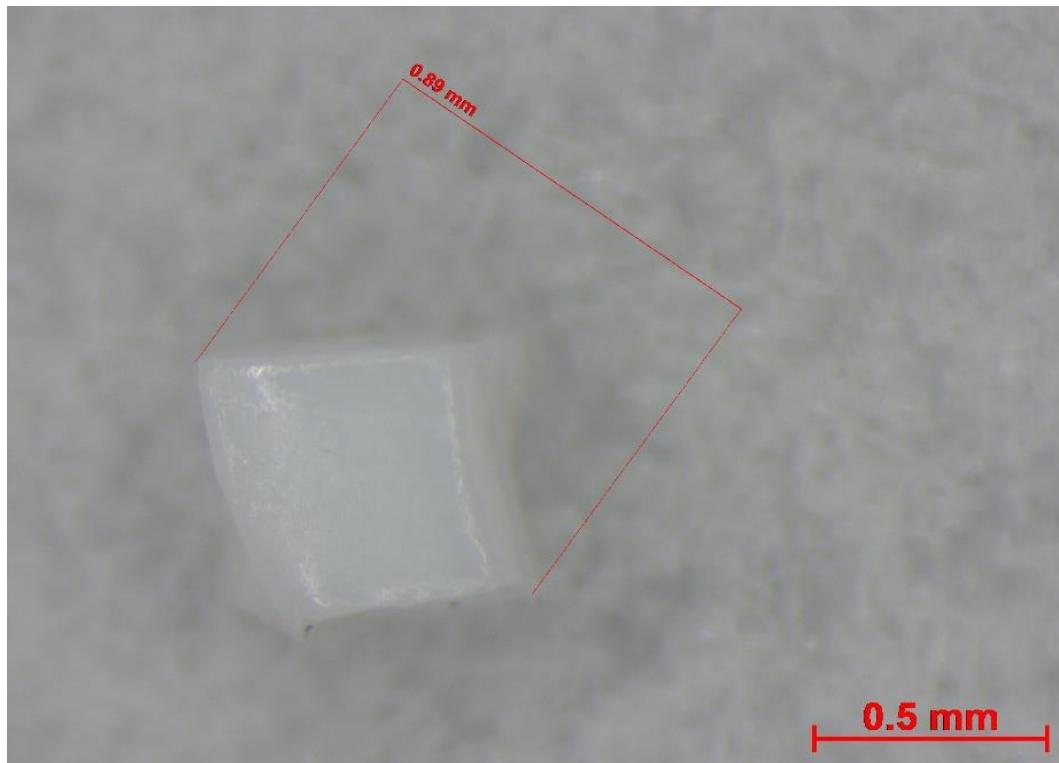


Slika 22: Svetlo rdeče vlakno
(vir: IzVRS, 2021)

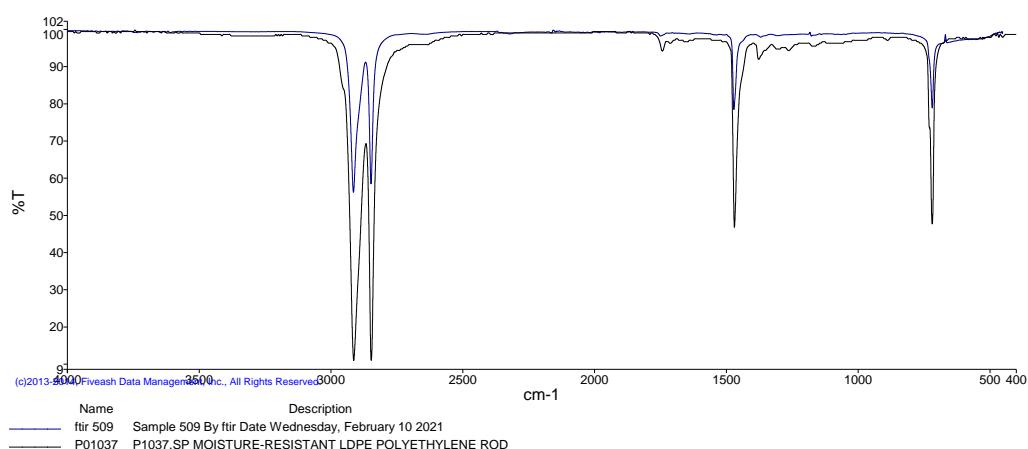


Slika 23: Temno modro vlakno
(vir: IzVRS, 2021)

Naslednje slike (24–32) prikazujejo fragmente, najdene v pregledanih vzorcih. Skupno so našla 9 fragmentov, ki so se razlikovali po barvi, kemični sestavi, obliki in velikosti. Tudi te fotografije smo posneli na IzVRS. Pod vsako sliko fragmenta se nahaja še graf spektra njegove kemične analize, ki smo jo opravili na IzVRS. Rezultati kemične analize so pokazali, da so bili fragmenti iz polietilena, polietilen tereftalata, polipropilena, polistirena in stiren kopolimera.



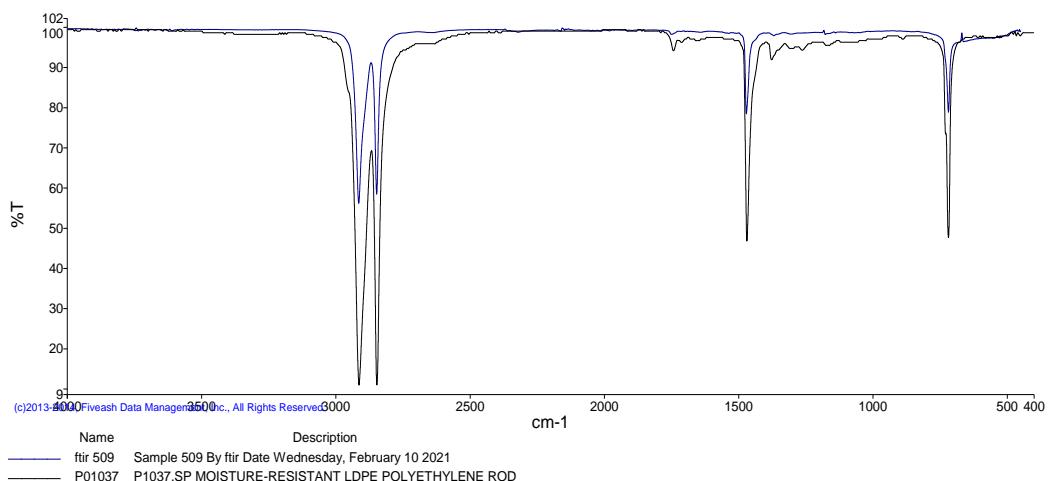
Slika 24: Bel fragment (polietilen), velikosti 0,89 mm, najden v vzorcu št. 18
(vir: IzVRS, 2021)



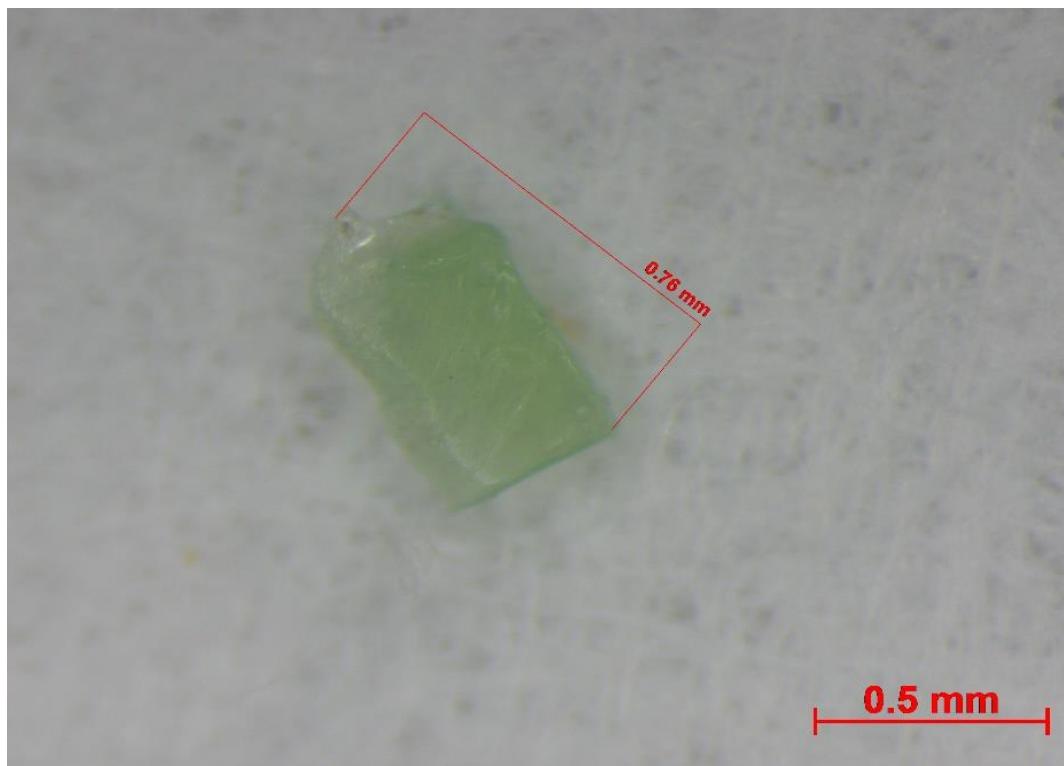
Graf 1: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 18
(vir: IzVRS, 2021)



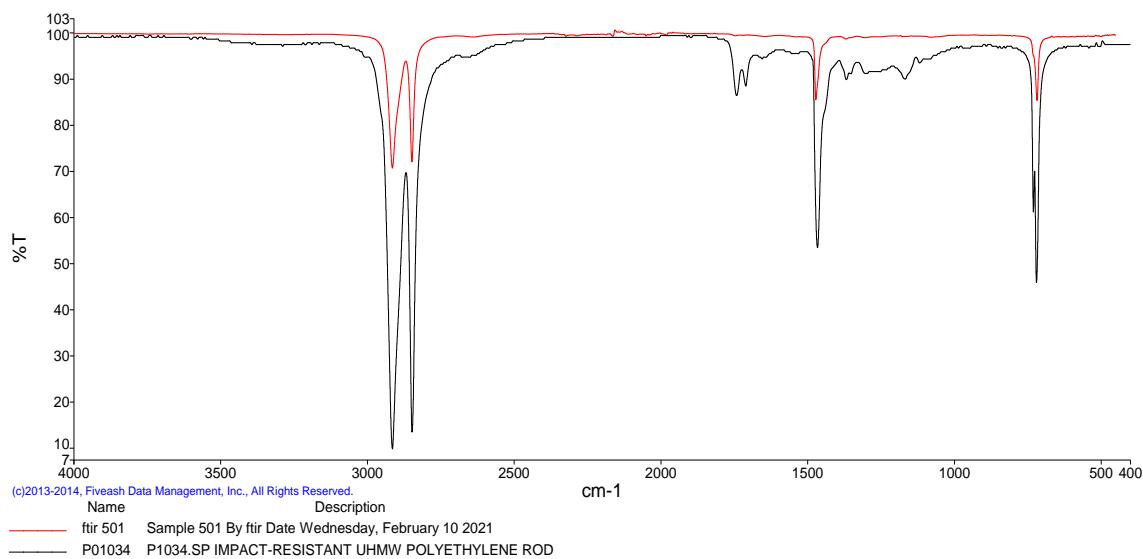
Slika 25: Bel fragment (polietilen), velikosti 0,89 mm, najden v vzorcu št. 23
(vir: IzVRS, 2021)



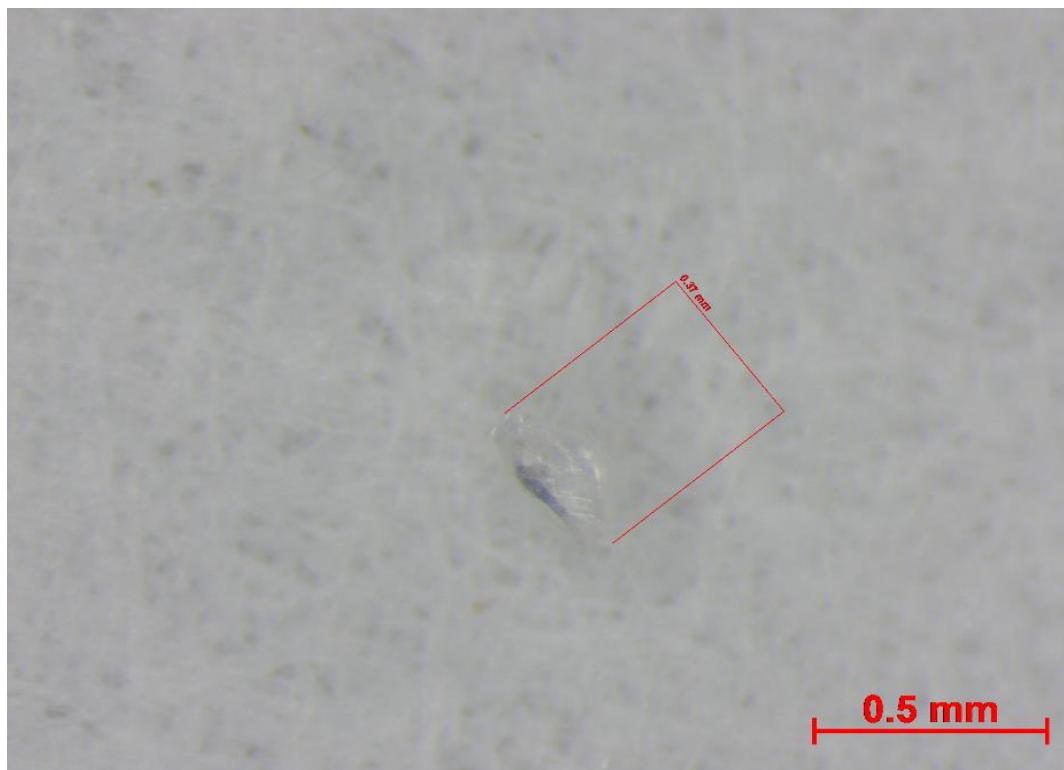
Graf 2: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 23
(vir: IzVRS, 2021)



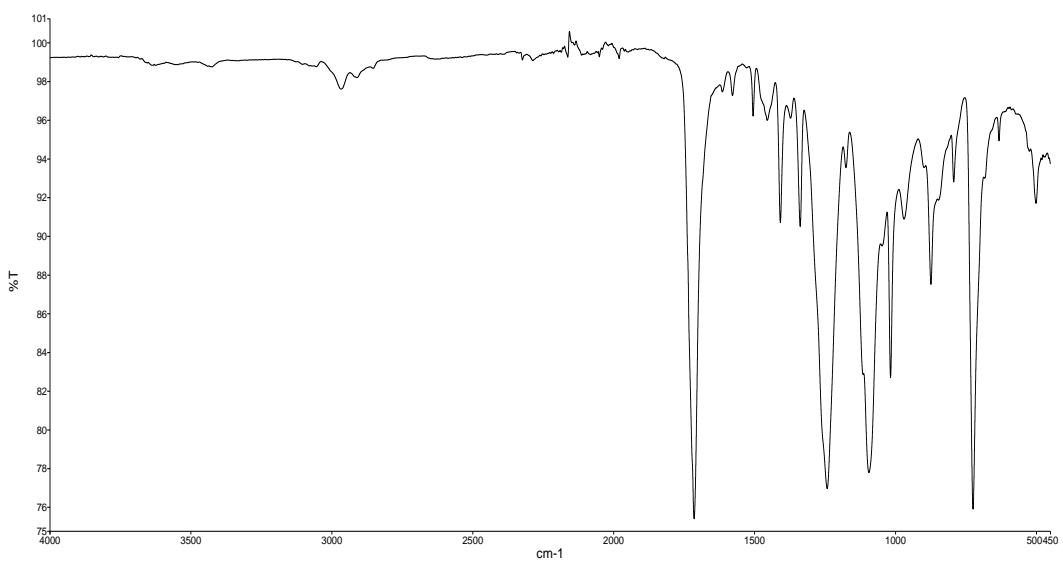
Slika 26: Zelen fragment (polietilen), velikosti 0,76 mm, najden v vzorcu št. 47
(vir: IzVRS, 2021)



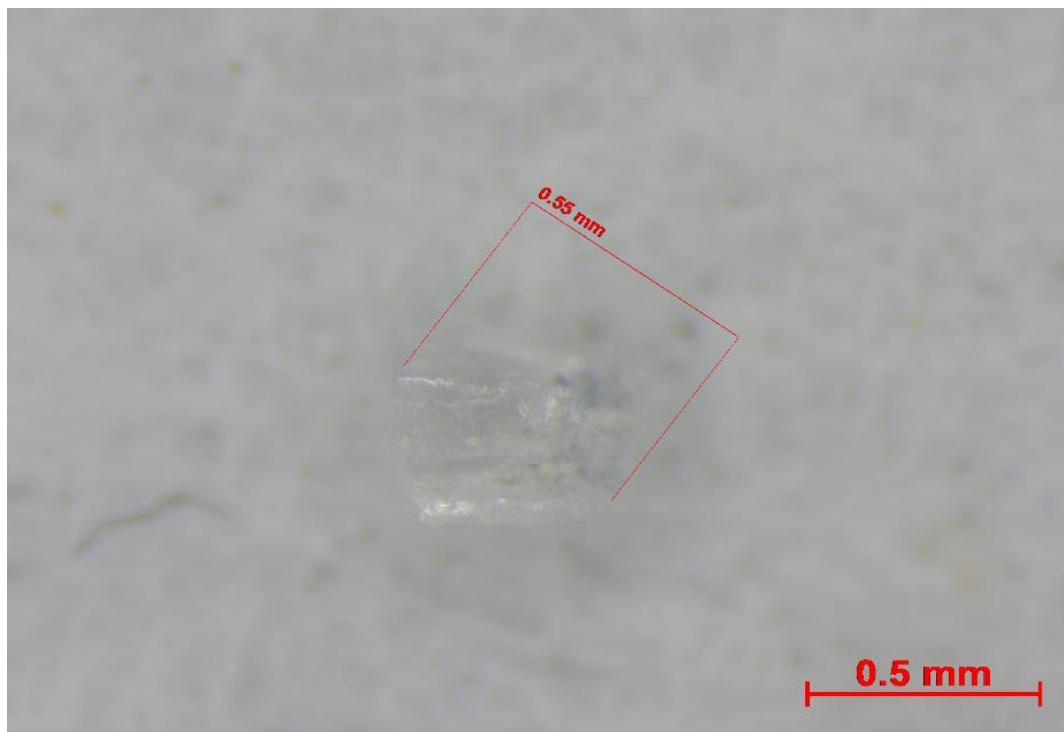
Graf 3: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 47
(vir: IzVRS, 2021)



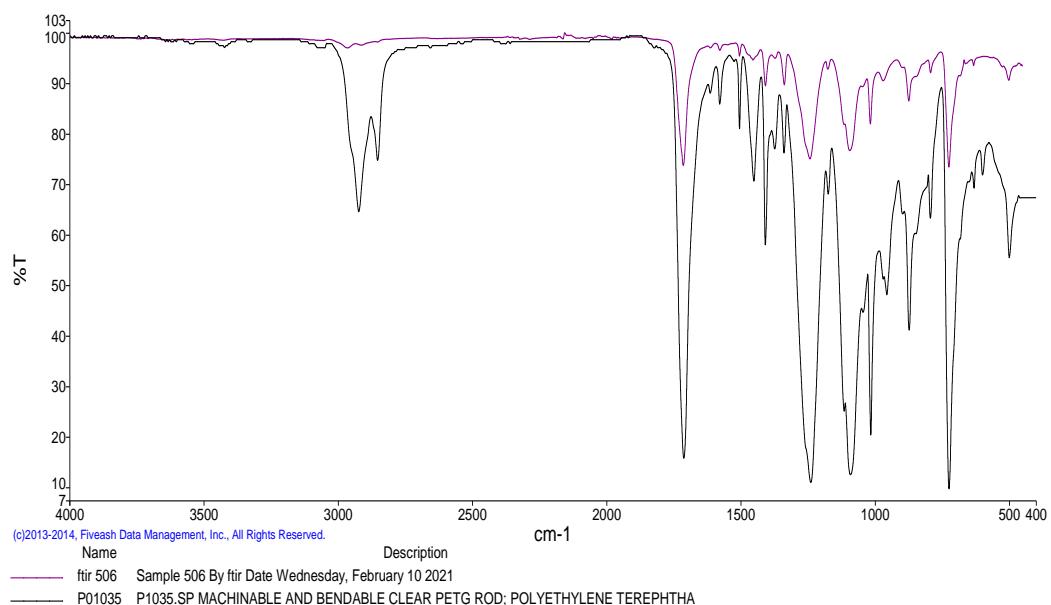
Slika 27: Prozoren fragment (polietilen tereftalat), velikosti 0,37 mm, najden v vzorcu št. 4
(vir: IzVRS, 2021)



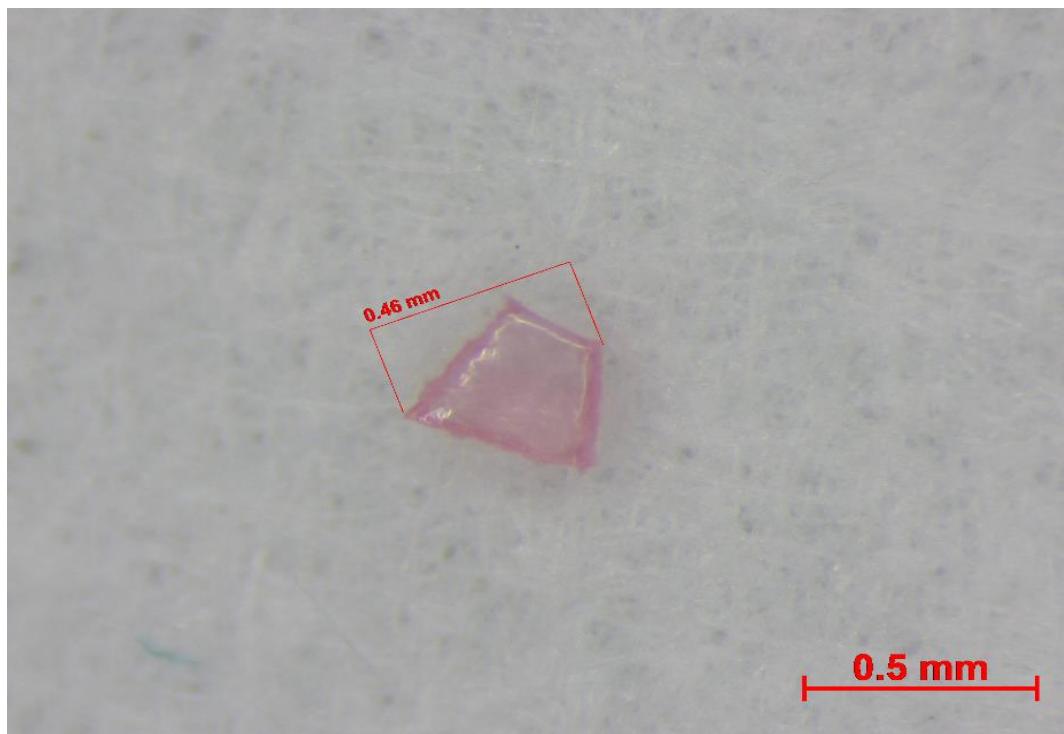
Graf 4: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 4
(vir: IzVRS, 2021)



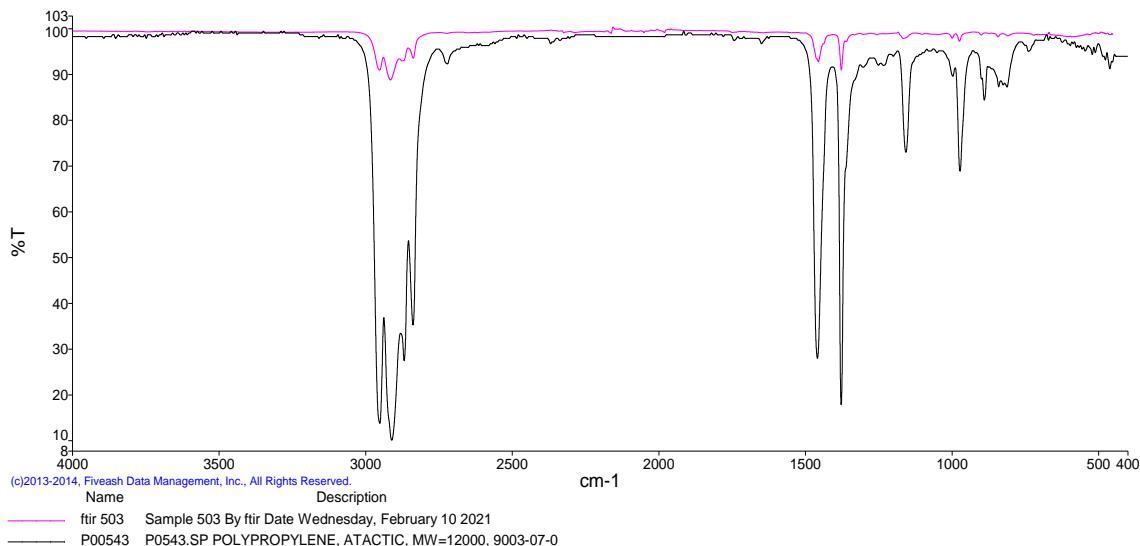
Slika 28: Prozoren fragment (polietilen tereftalat), velikosti 0,55 mm, najden v vzorcu št. 33
(vir: IzVRS, 2021)



Graf 5: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 33
(vir: IzVRS, 2021)



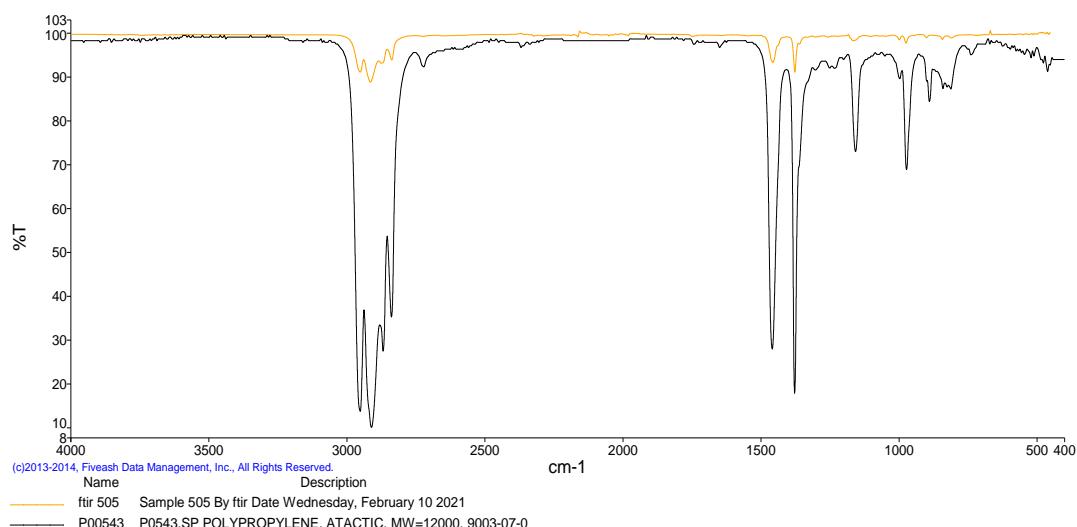
Slika 29: Roza fragment (polipropilen), velikosti 0,46 mm, najden v vzorcu št. 36
(vir: IzVRS, 2021)



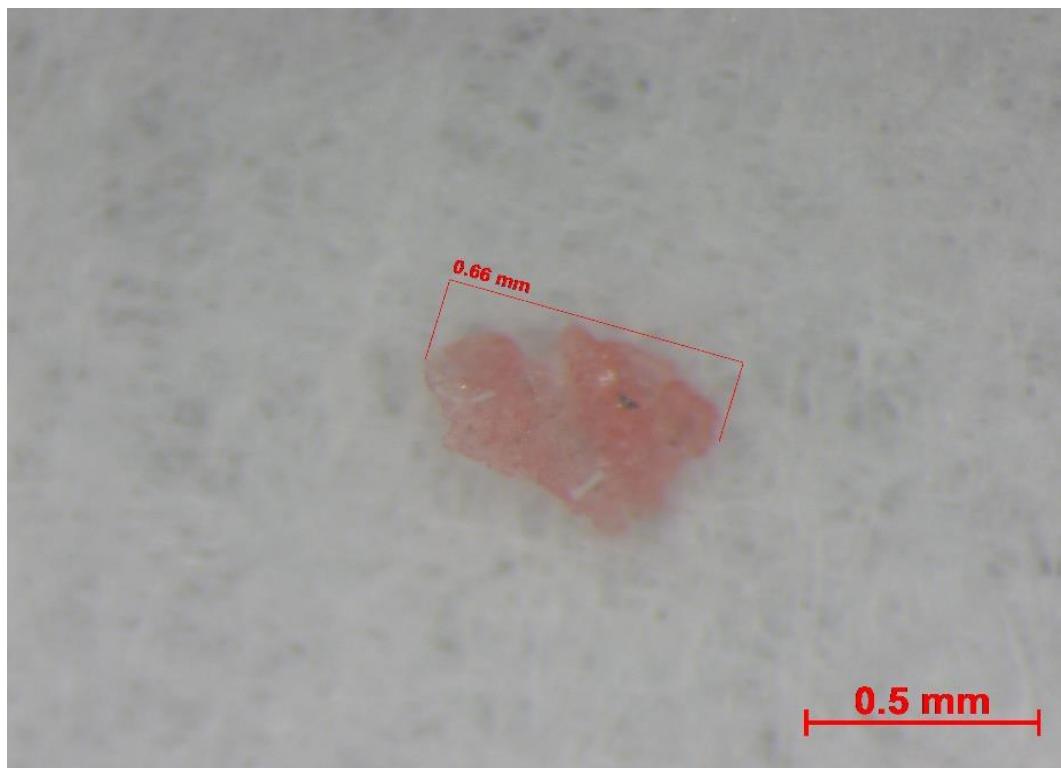
Graf 6: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 36
(vir: IzVRS, 2021)



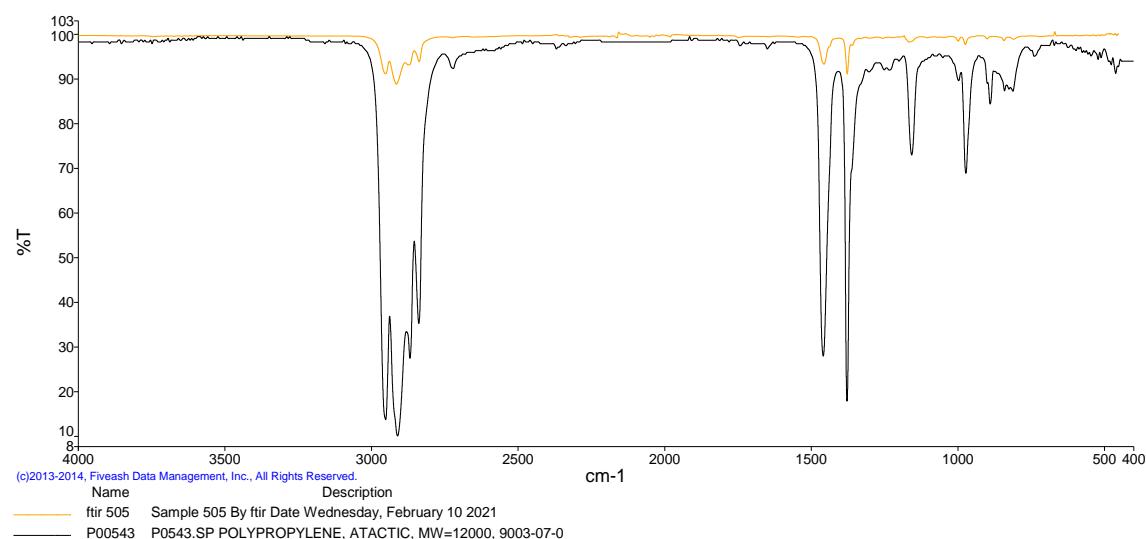
Slika 30: Roza fragment (polipropilen), velikosti 0,55 mm, najden v vzorcu št. 32
(vir: IzVRS, 2021)



Graf 7: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 32
(vir: IzVRS, 2021)



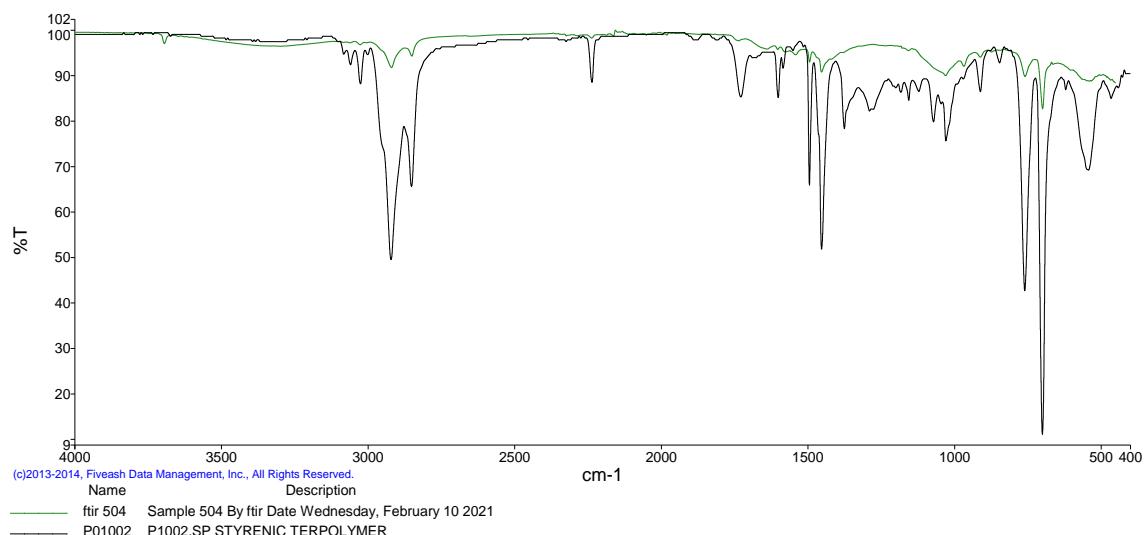
Slika 31: Rdeč fragment (polistiren), velikosti 0,66 mm, najden v vzorcu št. 43
(vir: IzVRS, 2021)



Graf 8: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 43
(vir: IzVRS, 2021)



Slika 32: Moder fragment (stiren kopolimer), velikosti 0,7 mm, najden v vzorcu št. 28
(vir: IzVRS, 2021)



Graf 9: Graf spektra fragmenta iz vzorca št. 28
(vir: IzVRS, 2021)

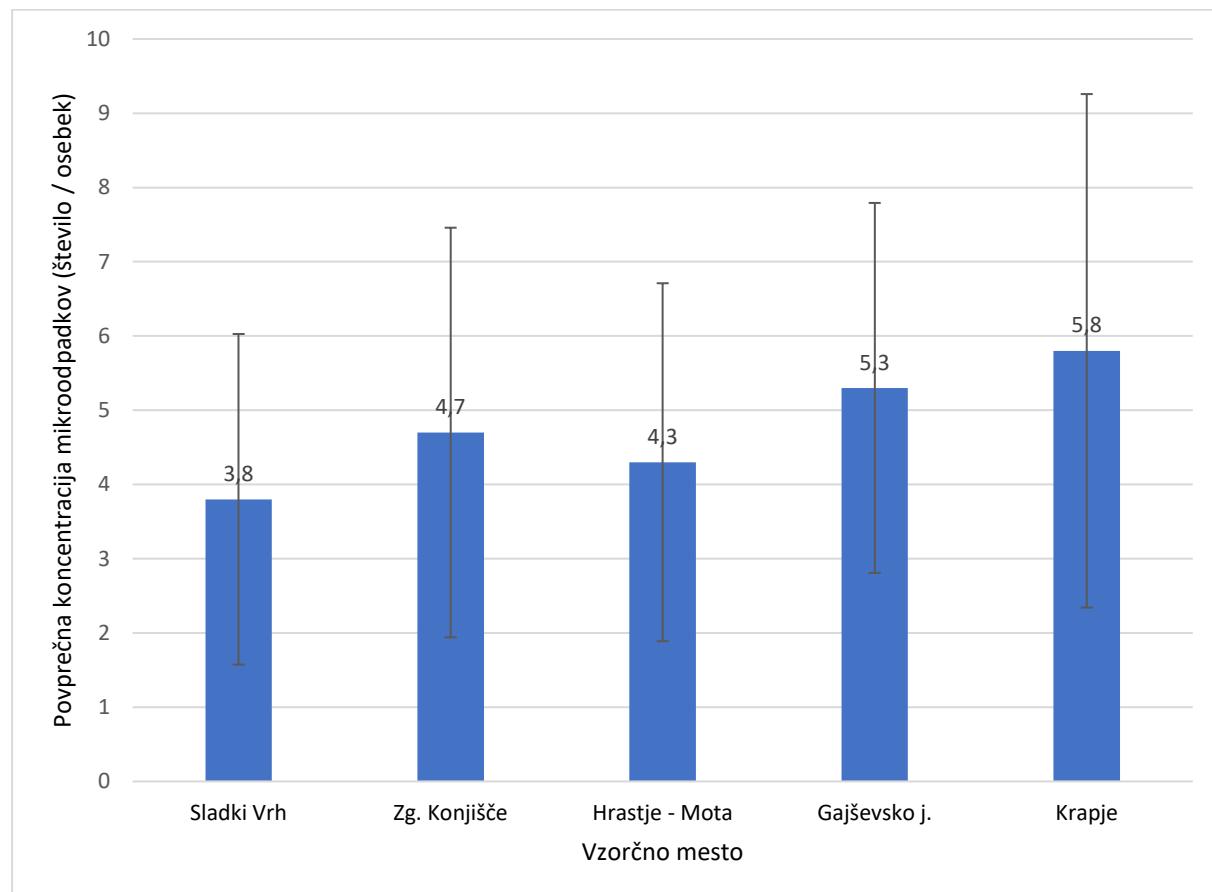
5 Analiza rezultatov

5.1 Primerjava količine najdene mikroplastike glede na lokacijo ulova rib

Graf 10 nam prikazuje primerjavo koncentracije najdene mikroplastike na osebek v odvisnosti od lokacije ulova: Sladki Vrh, Zgornje Konjišče, Hrastje – Mota, Gajševsko jezero in Krapje.

Najmanjša količina mikroplastike je bila v Sladkem Vrhu in je znašala 3,8 delcev na osebek. Največ mikrodelcev so vsebovali osebki, ulovljeni na lokaciji Krapje, katerih vrednost je znašala 5,8 delcev na osebek.

V programu Excel sva naredila statistično analizo dobljenih podatkov z analizo variance (ANOVA), ki je pokazala, da razlike v količini mikroplastike med lokacijami niso statistično značilno različne. V tabelah 3 in 4 so prikazani rezultati statistične analize. Ker je $F < F_{crit}$, vemo, da podatki niso statistično značilno različni.



Graf 10: Primerjava količine mikroplastike na osebek v odvisnosti od lokacije ulova
(vir: Kolerič, 2021)

Tabela 3: Povzetek analize variance
 (vir: Bogdan, 2021)

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Sladki Vrh	10	38	3,8	5,5111111
Zg. Konjišče	10	47	4,7	8,4555556
Hrastje – Mota	10	43	4,3	6,4555556
Krapje	10	58	5,8	13,288889
Gajševsko j.	10	53	5,3	6,9

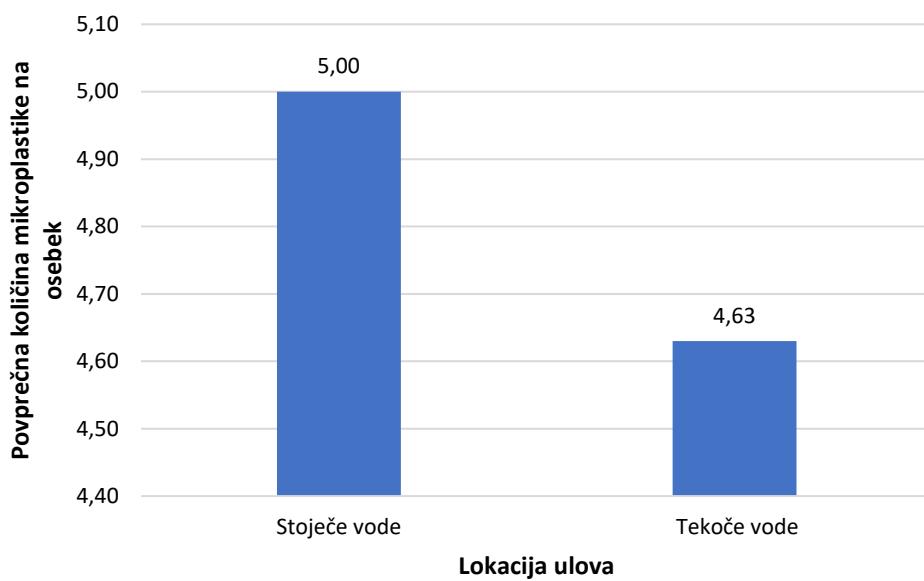
Tabela 4: Analiza variance s programskim orodjem Excel
 (vir: Bogdan, 2021)

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	25,08	4	6,27	0,7719562	0,549199	2,578739
Within Groups	365,5	45	8,1222222			
Total	390,58	49				

5.2 Primerjava količine najdene mikroplastike v tekočih in stoječih vodah

Graf 11 nam prikazuje primerjavo količine najdenih fragmentov v odvisnosti od lokacije ulova rib v stoječih ali tekočih vodah. Osebki, ulovljeni v stoječih vodah (Gajševsko jezero in Zgornje Konjišče), so v povprečju vsebovali 5,00 delcev mikroplastike na ribo, medtem ko so tisti, ulovljeni v tekočih vodah (Sladki Vrh, Hrastje – Mota in Krapje), v povprečju vsebovali 4,63 delcev mikroplastike na ribo.

Statistično analizo podatkov sva naredila v programu Excel s T-testom. Tabela 5 nam prikazuje rezultate opravljene analize. Ker je t Stat > $-t$ Critical two-tail, vemo, da podatki niso statistično značilno različni.



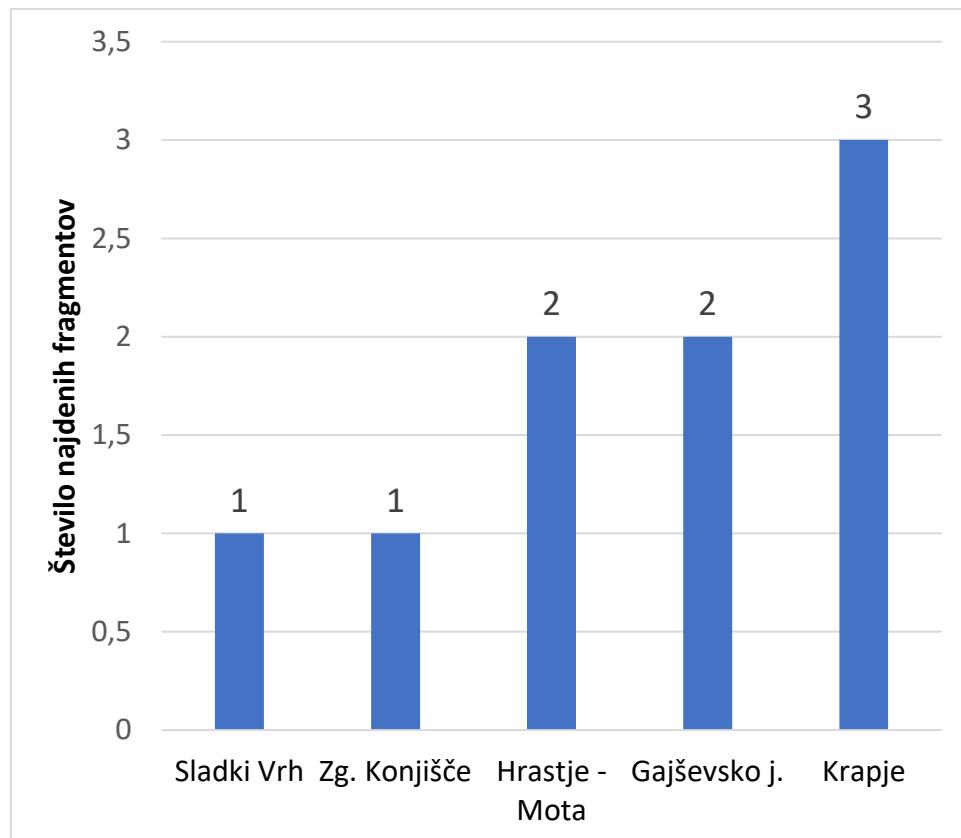
Graf 11: Primerjava količine mikroplastike na ribo v odvisnosti od lokacije ulova
(vir: Bogdan, 2021)

Tabela 5: T-test
(vir: Bogdan, 2021)

	Variable 1	Variable 2
Mean	5	4,633333
Variance	7,368421	8,585057
Observation	20	30
Hypothesized Mean Difference	0	
df	43	
t Stat	0,453197	
P(T<=t) one-tail	0,326343	
t Critical one-tail	1,681071	
P(T<=t) two-tail	0,652686	
t Critical two-tail	2,016692	

5.3 Primerjava količine najdenih fragmentov glede na lokacijo ulova rib

Graf 12 nam prikazuje primerjavo količine najdenih fragmentov v odvisnosti od lokacije ulova. Osebki iz Sladkega Vrha in Zgornjega Konjišča so skupno vsebovali en fragment na lokacijo, v Hrastju – Moti in Gajševskem jezeru dva fragmenta na lokacijo, največ fragmentov (tri) pa so vsebovali osebki, ulovljeni v Krapju.

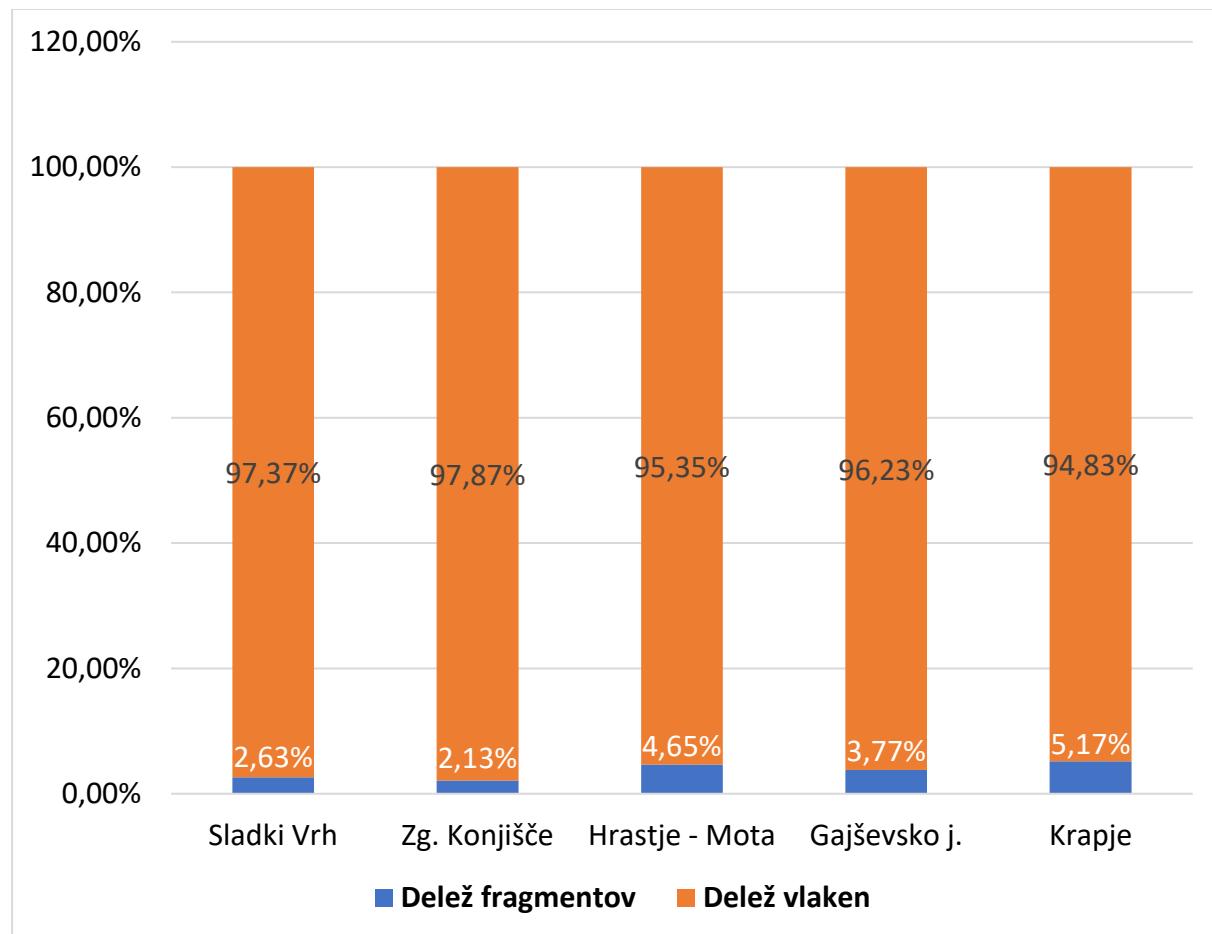


Graf 12: Primerjava količine fragmentov v odvisnosti od lokacije ulova
(vir: Kolerič, 2021)

5.4 Razmerje med vlakni in fragmenti glede na lokacijo ulova rib

Na podlagi grafa 13, ki prikazuje razmerje med vlakni in fragmenti na posamezno lokacijo, lahko opazimo, da povsod močno prevladujejo vlakna, ki jih je skupno 230, v primerjavi s fragmenti, ki jih je devet.

Razmerje med vlakni in fragmenti se med lokacijami bistveno ne spreminja, znaša delež vlaken med 94,83 % in 97,83 %, delež fragmentov pa med 2,13 % in 5,17 %.

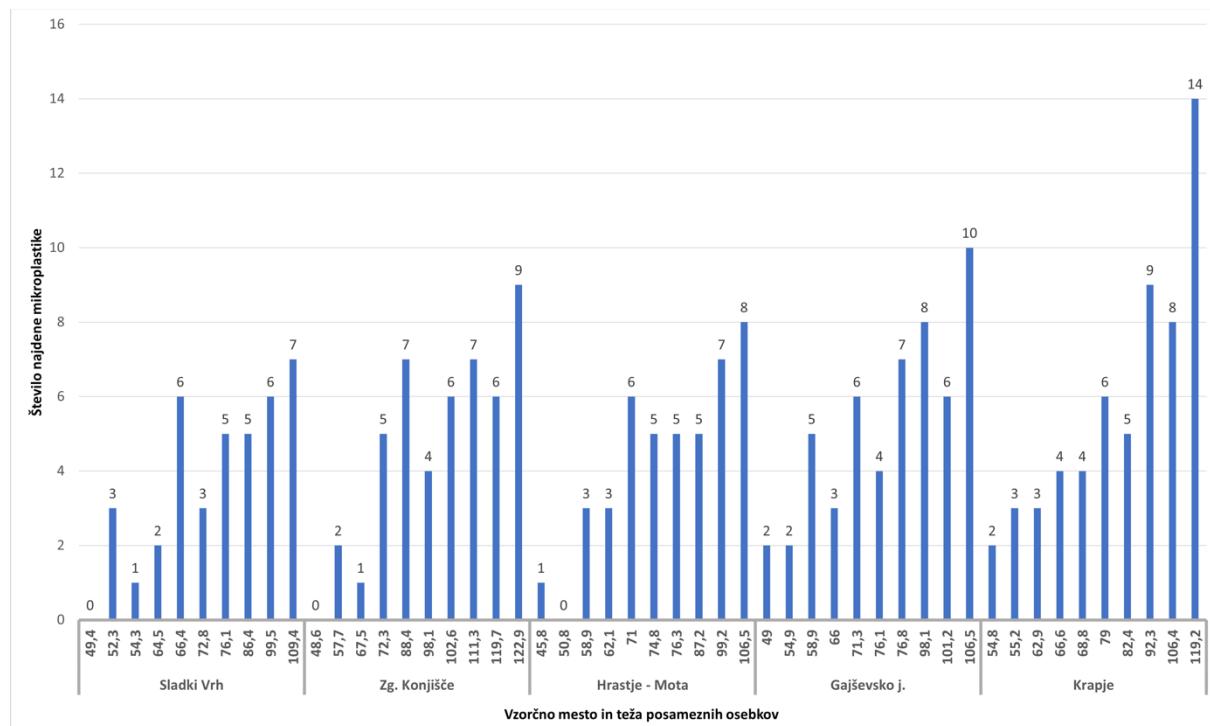


Graf 13: Primerjava razmerja med vlakni in fragmenti v odvisnosti od lokacije ulova
(vir: Kolerič, 2021)

5.5 Primerjava količine najdene mikroplastike glede na lokacijo ulova in težo rib

Graf 14 nam prikazuje primerjavo količine najdene mikroplastike na osebek glede na lokacijo ulova in težo rib.

Na lokaciji Sladki Vrh so ribe vsebovale od 0 do 7 delcev mikroplastike na osebek, v Zgornjem Konjišču od 0 do 9 delcev, v Hrastju – Moti od 0 do 8, v Gajševskem jezeru od 2 do 10 in v Krapju od 2 do 14 delcev mikroplastike na osebek.



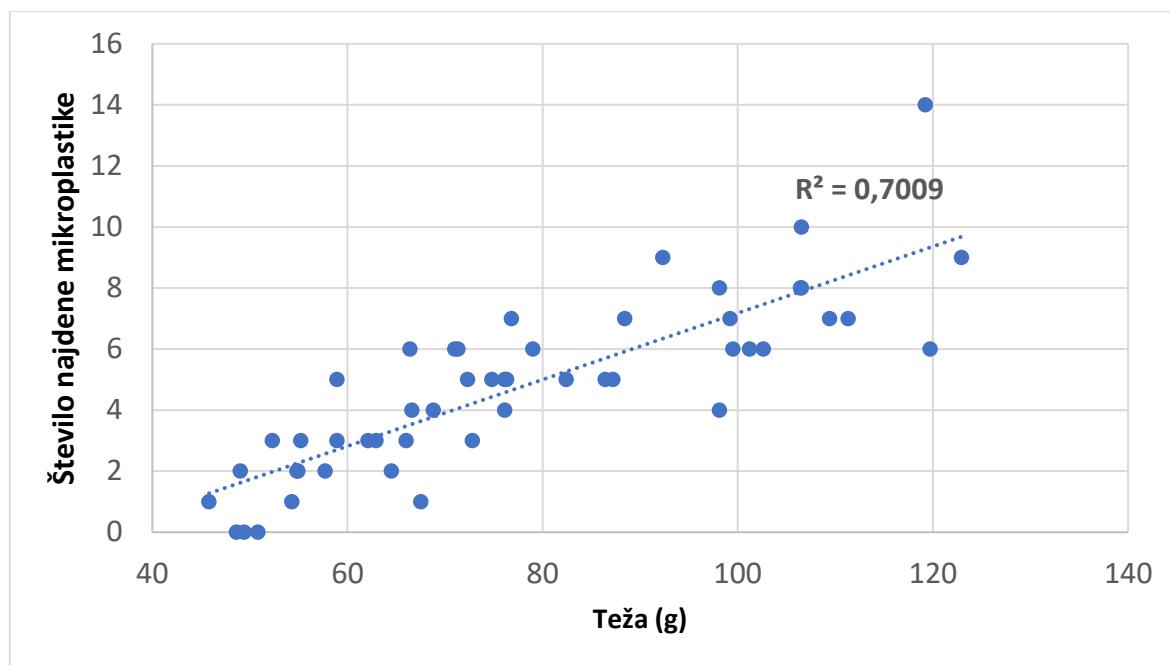
Graf 14: Primerjava količine mikroplastike na osebek v odvisnosti od lokacije ulova in teže rib
(vir: Kolerič, 2021)

5.6 Primerjava količine najdene mikroplastike v odvisnosti od teže in dolžine rib

Iz grafov 15 in 16 je razvidna korelacija med količino mikroplastike in težo ter velikostjo osebkov. Faktor R^2 pokaže, da je korelacija med količino mikroplastike in težo rib ($R^2 = 0,7009$) statistično izrazitejša kot korelacija med količino mikroplastike in dolžino rib ($R^2 = 0,6094$).

5.6.1 Količina mikroplastike v odvisnosti od teže osebkov

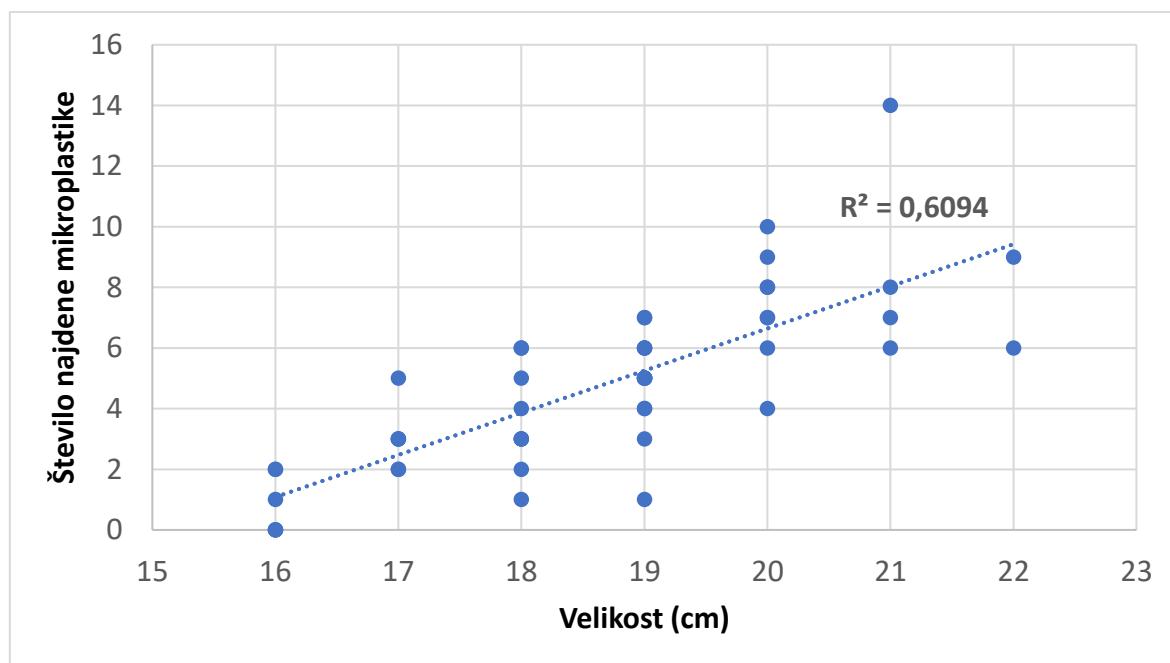
V grafu 15 je jasno razvidna odvisnost količine mikroplastike od teže rib. Raztreseni grafikon z linearno trendno črto nam pokaže visok faktor R^2 in linearno povezavo med spremenljivkama. Višji je faktor R^2 , močnejša je linearna odvisnost. Na grafu je faktor R^2 visok, zato lahko govorimo o korelacijski med težo osebkov in številom mikroplastike.



Graf 15: Primerjava količine najdene mikroplastike v odvisnosti od teže osebkov
(vir: Kolerič, 2021)

5.6.2 Količina mikroplastike v odvisnosti od dolžine osebkov

V grafu 16 vidimo linearno povezavo med količino mikroplastike in velikostjo/dolžino rib. Z dolžino osebkov narašča tudi število mikroplastike. Faktor R^2 je visok, zato lahko govorimo o korelacijski med dolžino osebkov in številom mikroplastike.



Graf 16: Primerjava količine najdene mikroplastike v odvisnosti od velikosti osebkov
(vir: Kolerič, 2021)

6 Zaključki

6.1 Potrditev/zavrnitev hipotez

Hipoteza 1: Količina mikroplastike v ribah narašča z velikostjo rib. ✓

To hipotezo sva potrdila, saj sva ugotovila, da je količina mikroplastike v korelaciji s težo in z dolžino rib.

Hipoteza 2: Po toku reke Mure navzdol se povečuje količina mikroplastike na ribo. X

To hipotezo sva zavrnila, saj je opravljena statistična analiza pokazala, da podatki niso statistično značilno različni. Pri tej hipotezi sva sicer upoštevala le tiste lokacije, ki so na reki Muri (Sladki Vrh, Hrastje – Mota in Krapje).

Hipoteza 3: Ribe vsebujejo različne oblike mikroplastike, na primer: vlakna, fragmente, pene, granule, pelete, filme. ✓

To hipotezo sva potrdila. Ribe so res vsebovale različne oblike mikroplastike, vendar le vlakna in fragmente.

Hipoteza 4: Količina mikroplastike je večja v ribah iz stoječih voda in manjša v ribah iz tekočih voda. X

To hipotezo sva zavrnila, saj podatki niso bili statistično značilno različni. Tudi če bi primerjala konkretno, minimalno različne primere, ugotovimo, da hipoteza ne drži, saj so nekatere ribe iz stoječih voda vsebovale manj mikroplastike kot tiste v tekočih.

6.2 Sklep in komentar

Ugotovila sva, da mikroplastika ni le problem morskih voda, temveč tudi celinskih. Najdemo jo tudi v slovenskih vodah, tudi na območju, ki sva ga raziskovala midva (porečje reke Mure v Sloveniji). Zaslediti jo je mogoče tako v stoječih kot tekočih vodah.

Razlike v količini najdene mikroplastike med lokacijami so minimalne. Test ANOVA pokaže, da razlike niso statistično značilno različne. Tudi razmerje med vlakni in fragmenti med posameznimi lokacijami se bistveno ne spreminja. Od kategorij mikroplastike močno prevladujejo vlakna, od preostalih pa so bili najdeni le fragmenti. Njihovo število se po lokacijah bistveno ne razlikuje, a vseeno pokaže višanje vrednosti vsebovanih fragmentov na osebek po toku reke Mure navzdol. Tudi primerjava količine mikroplastike v stoječih in tekočih vodah s T-testom je pokazala, da podatki niso statistično značilno različni.

Prišla sva do spoznanja, da čistilne naprave in industrijski obrati na raziskovalnem območju bistveno ne vplivajo na količino mikroplastike, zaznala pa sva korelacijo med količino mikrodelcev ter težo in velikostjo osebkov. Faktor R^2 je pokazal, da je količina mikroplastike glede na težo vzorca statistično izrazitejša kot količina mikroplastike glede na dolžino vzorca, kar pa je lahko posledica zaokroževanja dolžine osebkov na centimeter natančno.

Raziskovanje te tematike nama je razširilo obzorja in naju podrobnejše seznanilo s problematiko mikroplastike. Ugotovitve raziskovalne naloge sva posredovala ribičem in lokalnemu prebivalstvu in jih tako seznanila z najinimi izsledki. Upava, da se bo nad količino mikroplastike v slovenskih vodah kdo zamislil in začel prispevati k reševanju problema. Možnosti nadaljnjih raziskav je veliko, od iskanja mikroplastike v še drugih organizmih in ekosistemih do iskanja možnih rešitev za spopadanje s problematiko le-te.

7 Viri in literatura

7.1 Viri in literatura vsebine

- Barbuzano, J. (2019). Rivers Are a Highway for Microplastics into the Ocean. *Eos*. <https://eos.org/articles/rivers-are-a-highway-for-microplastics-into-the-ocean>
- Bellasi, A., Binda, G., Pozzi, A., Galafassi, S., Volta, P., Bettinetti, R. (2020). Microplastic Contamination in Freshwater Environments: *A Review, Focusing on Interactions with Sediments and Benthic Organisms*. Environments 2020. <https://doi.org/10.3390/environments7040030>
- Centa, M. (2016). *Ugotavljanje koncentracij mikroplastike v slovenskih vodotokih in jezerih* [Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo]. <http://drugg.fgg.uni-lj.si/5555/>
- Cheung, P.K. in Fok, L. (2017). Characterisation of plastic microbeads in facial scrubs and their estimated emissions in Mainland China. 53–61.
- Consumer Reports. (2019). You're literally eating microplastics. How you can cut down exposure to them. *The Washington Post*. https://www.washingtonpost.com/health/youre-literally-eating-microplastics-how-you-can-cut-down-exposure-to-them/2019/10/04/22ebdfb6-e17a-11e9-8dc8-498eabc129a0_story.html
- Dris, R.; Gasperi, J.; Saad, M.; Mirande, C.; Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? 290–293.
- Dris, R., Imhof, H., Sanchez, W., Gasperi, J., Galgani, F., Tassin B., Laforsch, C. (2015) Beyond the ocean: Contamination of freshwater ecosystems with (micro-) plastic particles. Environmental Chemistry. <https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-01136690/document>
- Evropski parlament. (2018). *Mikroplastika – izvor, vpliv in rešitve*. <https://www.europarl.europa.eu/news/sl/headlines/society/20181116STO19217/mikroplastika-izvor-vpliv-in-resitve>
- Faure, F., Corbaz, M., Baecher, H., de Alencastro, L. (2012). Pollution due to plastics and microplastics in Lake Geneva and in the Mediterranean Sea. 157–164.
- Free, C. M., Jensen, O. P., Mason, S. A., Eriksen, M., Williamson, N. J., Boldgiv, B. (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Mar Pollut Bull*. 156–163.
- Florida Fish and Wildlife Conservation Commission. *Fish Anatomy*. <https://myfwc.com/fishing/freshwater/fishing-tips/anatomy/>
- Hofer, R. (1991). Sladkovodne rive. *Sprehodi v naravo*. Cankarjeva založba.

- Imhof, H. K., Ivleva, N. P., Schmid, J., Niessner, R., Laforsch, C. (2013). Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles. *Current Biology*.
- Kovač Viršek, M., Jarni, K., Koren, Š. (2017). Mikroplastika v čistilnih napravah – v kolikšni meri so jo čistilne naprave sposobne zadržati. *Zbornik 7. konference komunalnega gospodarstva*. Ljubljana: GZS, Zbornica komunalnega gospodarstva. 199-208. https://konferenca-komunala.gzs.si/Portals/Portals-Konf-Komunala/Vsebine/2017/II%20DAN_ODVAJANJE KOVA%C4%8C VIR%C5%A0EK.pdf
- Kovač Viršek, M. (2019). Pri mikroplastiki še veliko neznank. *V telo mikroplastiko vnašamo tudi s pitno vodo, a so vplivi še slabo raziskani. Delo.* <https://www.delo.si/novice/znanoteh/pri-mikroplastiki-se-veliko-neznank/#>
- Kovač Viršek, M., Lovšin, M. N., Koren, Š., Kržan, A., Peterlin, M. (2017). Microplastics as a vector for the transport of the bacterial fish pathogen species *Aeromonas salmonicida*. *Marine pollution bulletin*. 301–309.
- Kovač Viršek, M., Robič, U., Cerar, N., Jarni, K., Caserman, H., Koren, Š., Suhadolnik, P., Trdan, Š. (2019). Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2019: III Razvoj metodologij za področje morskega okolja : III/7 Analiza vnosa makroodpadkov iz vodotokov v morsko okolje in vnosa mikroodpadkov iz vodotokov in odpadnih voda ter določitev stopnje soodvisnosti (pomembna obremenitev) med virom obremenitve in stanjem morskega okolja – nadgradnja metodologije za določitev pomembnih obremenitev na morsko okolje. Ljubljana: Inštitut za vode Republike Slovenije.
- Kuśmierek, N. in Popiołek, M. (2020). Microplastic in freshwater fish from Central European lowland river (Widawa R., SW Poland). <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-08031-9>
- Mason, S.A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimos, D., Rogers, D. L. (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. 1045–1054.
- Sanchez, W., Bender, C., Porcher, J.-M. (2014). Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by micropalstics: Preliminary study and first evidence. 98–100.
- Tiseo, I. (2021). Global plastic production 1950-2019. <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>
- Wagner, M. in Lambert, S. (2017). Freshwater microplastics: Emerging Environmental Contaminants? https://www.researchgate.net/publication/321225506_Freshwater_Microplastics_Emerging_Environmental_Contaminants/link/5a159eaeaca272dfc1ecfb1/download

- Zbyszewski, M., Corcoran, P. (2011). Distribution and Degradation of Fresh Water Plastic Particles Along the Beaches of Lake Huron, Canada. Water, Air, and Soil Pollution.
- Zhang, S., Wang, J., Liu, X., Qu, F., Wang, X., Li, Y., Sun, Y. (2018). Microplastics in the environment: A review of analytical methods, distribution, and biological effects. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016599361830520X>

7.2 Viri slik

- Slike 1–6: Kovač Viršek, M., Robič, U., Cerar, N., Jarni, K., Caserman, H., Koren, Š., Suhadolnik, P., Trdan, Š. (2019). *Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2019 : III Razvoj metodologij za področje morskega okolja : III/7 Analiza vnosa makroodpadkov iz vodotokov v morsko okolje in vnosa mikroodpadkov iz vodotokov in odpadnih voda ter določitev stopnje soodvisnosti (pomembna obremenitev) med virom obremenitve in stanjem morskega okolja - nadgradnja metodologije za določitev pomembnih obremenitev na morsko okolje*. Ljubljana: Inštitut za vode Republike Slovenije.
- Slika 7: CGtrader. (b. d.). <https://www.cgtrader.com/3d-models/animals/fish/common-roach-fish-rutilus-rutilus>
- Slika 8: Evropska komisija. (b. d.). https://mare.istc.cnr.it/fisheriesv2/species_sl?sn=32193
- Slika 9: Google Maps. (2021). <https://www.google.com/maps/search/%C4%8Distilne+naprave/@46.6757658,16.114936,11z>
- Slike 10–17 ustvaril Bogdan D.
- Slike 18–32 so bile ustvarjene na Inštitutu za vode Republike Slovenije.

7.3 Viri tabel

- Tabela 1: Prirejeno po Nelson, J. S., Grande, T. C., Wilson, M. V. H. (2016). *Fishes of the World*. Wiley. 181–186.
- Tabele 3–5 so bile ustvarjene v programu Excel v sklopu statističnih analiz.

7.4 Viri grafov

- Grafi 1–9 so bili ustvarjeni v sklopu kemične analize fragmentov na Inštitutu za vode Republike Slovenije.
- Grafi 10–16 so bili ustvarjeni v programu Excel.