



Gimnazija Franca Miklošiča Ljutomer

# **Pojavnost in opredelitev mikroplastike v jedilnih morskih in rečnih soleh**

Raziskovalna naloga na področju ekologije

Avtorji: Nela Copot  
Rene Zorman  
Rene Žižek

Letnik: 3. b

Mentorici: Mateja Godec, prof.  
mag. Nina Žuman, prof.

Šolsko leto: 2021/2022

## **ZAHVALA**

Iskreno se zahvaljujemo mentoricama, profesoricama Mateji Godec in mag. Nini Žuman, ki sta nas usmerjali na naši raziskovalni poti in nam vedno bili pripravljeni pomagati. Zahvala gre tudi ge. Sonji Koroša, laborantki v šolskem laboratoriju, ki nas je vedno prijazno sprejela v laboratoriju in pomagala pri tehnični izvedbi dela. Za pomoč bi se radi zahvalili tudi dr. Lidiji Fras Zemljič, laborantki Tanji Kos ter Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru za pomoč pri izvedbi raziskav, ki nam jih naš šolski laboratorij ne omogoča. Zahvala gre tudi profesorici Tjaši Lipovec za lektoriranje naloge.

## POVZETEK

V raziskovalni nalogi smo proučevali število mikroplastičnih delcev v komercialno prosto dostopnih jedilnih morskih in rečnih soleh. V raziskavo smo vključili 9 vzorcev morskih in 2 vzorca rečnih jedilnih soli. Od tega je 7 vrst soli pridobljenih iz Sredozemskega morja. Soli so bile pakirane v treh vrstah embalaže: 6 v plastični, 3 v papirnati in 2 v aluminijasti embalaži. Zanimalo nas je število, oblika in barva mikroplastičnih delcev v analiziranih soleh. Primerjali smo jih z referenčnimi vzorci kamenih soli in sladkorjev. Preiskovane vzorce smo primerjali tudi glede na vrsto embalaže in geografsko območje, iz katerega jih pridobivajo. Analizo smo izvedli v laboratoriju, kjer smo soli raztopili in raztopine filtrirali preko filtrirne membrane z velikostjo por 0,45 µm. Filtrate smo opazovali pod mikroskopom in karakterizirali zaznane mikroplastične delce. Mikroplastiko smo zaznali v vseh analiziranih soleh. Rečne soli v povprečju vsebujejo več mikroplastike od morskih. V referenčnih vzorcih kamenih soli in sladkorjev smo v povprečju zaznali nižje število mikroplastičnih delcev kot v morskih in rečnih soleh. Ugotovili smo, da je v soleh iz Sredozemskega morja v povprečju manj mikroplastike kot v ostalih morskih in rečnih soleh. Največ zaznanih delcev je bilo prozorne/bele barve in v obliki vlaken. Z ANOVA (analiza variance; *ang. analysis of variance*) testom za varianco smo ugotovili, da število mikroplastičnih delcev in material embalaže nista statistično povezana.

**Ključne besede:** mikroplastika, morska sol, jedilna sol, rečna sol, kamena sol, plastika.

## **ABSTRACT**

In this paper, we investigated the number of microplastic particles in commercially freely available edible marine and river salts. Nine samples of sea and two samples of river edible salts were included in the study. Of these, 7 types of salt were obtained from the Mediterranean Sea. The salts were packed in three types of packaging; 6 in plastic, 3 in paper and 2 in aluminium. We were interested in the number, shape and colour of microplastic particles in the salts analysed. They were compared with reference samples of rock salts and sugar. The samples examined were also compared according to the type of packaging and the geographical area from which they were obtained. The analysis was carried out in the laboratory, where the salts were dissolved and the solutions filtered through a filter membrane with a pore size of 0,45  $\mu\text{m}$ . The filters were observed under a microscope and the microplastic particles detected were characterised. Microplastics were detected in all salts analysed. On average, river salts contain more microplastics than sea salts. On average, a lower number of microplastic particles was detected in the reference samples of rock salts and sugar than in the sea and river salts. Salts from the Mediterranean Sea were found to contain on average less microplastics than other sea and river salts. Most of the particles detected were transparent/white and fibrous. Using an analysis of variance (ANOVA) test for variance, we found that the number of microplastic particles and the packaging material were not statistically correlated.

**Keywords:** microplastics, sea salt, table salt, river salt, rock salt, plastics.

## KAZALO VSEBINE

<b>ZAHVALA</b> .....	<b>I</b>
<b>POVZETEK</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2 TEORETIČNE OSNOVE</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1 Plastika</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2 Mikroplastika</b> .....	<b>3</b>
2.2.1 Viri mikroplastike .....	5
2.2.2 Vpliv mikroplastike na okolje in biologijo organizmov .....	6
2.2.3 Razširjenost mikroplastike v svetovnih morjih in oceanih .....	9
<b>2.3 Sol</b> .....	<b>11</b>
2.3.1 Vrste in postopki pridelave kuhinjske soli.....	11
<b>3 METODE DELA</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Vzorci soli</b> .....	<b>13</b>
3.1.1 Referenčni vzorci.....	16
<b>3.2 Analiza vzorcev</b> .....	<b>16</b>
3.2.1 Materiali in oprema.....	16
3.2.2 Priprava vzorcev morskih in rečnih soli (MRS) .....	17
3.2.3 Analiza vzorcev z mikroskopom .....	21
3.2.4 Določanje sestave delcev s tehniko FTIR.....	22
<b>3.3 Zagotavljanje in nadzor kakovosti</b> .....	<b>23</b>
<b>3.4 Statistična obdelava podatkov</b> .....	<b>23</b>
<b>4 REZULTATI</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1 Rezultati analize z mikroskopom</b> .....	<b>24</b>
<b>4.2 Rezultati FTIR</b> .....	<b>38</b>
<b>5 ANALIZA REZULTATOV</b> .....	<b>41</b>
<b>5.1 Število delcev mikroplastike v vzorcih morskih in rečnih soleh (MRS), primerjalno...</b>	<b>41</b>
<b>5.2 Barva in oblika mikroplastičnih delcev</b> .....	<b>43</b>

5.3 Število mikroplastičnih delcev v morski/rečni soli glede na izvor .....	45
5.4 Število mikroplastičnih delcev v morski/rečni soli glede na embalažo.....	46
5.5 Določanje kemijske sestave mikroplastičnih delcev z metodo FTIR.....	47
6 RAZPRAVA IN SKLEPI.....	49
7 ZAKLJUČEK .....	51

## KAZALO SLIK

SLIKA 1: DELCI MIKROPLASTIKE POD MIKROSKOPOM.....	4
SLIKA 2: SHEMA RAZGRADNJE PLASTIKE IN NASTANKA MIKROPLASTIKE .....	6
SLIKA 3: KONCENTRACIJA MIKROPLASTIKE V SVETOVNIH MORJIH .....	10
SLIKA 4: TRADICIONALNA PRIDELAVA SOLI V SEČOVELJSKIH SOLINAH .....	12
SLIKA 5: PRIPRAVLJENE RAZTOPINE ŠTIRIH VZORCEV .....	18
SLIKA 6: LOČEVANJE OBORINE Z LIJEM LOČNIKOM.....	18
SLIKA 7: NASTANEK OBORINE PRI RAZTAPLJANJU V 15 % KOH (LEVO) V PRIMERJAVI Z RAZTAPLJANJEM V VODI (DESNO) .....	19
SLIKA 8: FILTRIRANJE Z NAPRAVO ZA VAKUUMSKO FILTRACIJO ISOLAB.....	20
SLIKA 9: POSUŠENI FILTRATI VZORCEV .....	20
SLIKA 10: PRIMERJAVA MIKROPLASTIKE IN NEPLASTIČNIH DELCEV .....	21
SLIKA 11: FUNKCIONALNE SKUPINE IN NJIHOVE FREKVENCE ABSORPCIJE NA FTIR .....	22
SLIKA 12: ZELENO MIKROPLASTIČNO VLAJKO V VZORCU 1/3.....	24
SLIKA 13: RUMENO, MODRO IN PROZORNO MIKROPLASTIČNO VLAJKO V VZORCU 1/3 .....	25
SLIKA 14: ČRNO MIKROPLASTIČNO VLAJKO V VZORCU 3/1 .....	26
SLIKA 15: RDEČE MIKROPLASTIČNO VLAJKO V VZORCU 3/2.....	26
SLIKA 16: MIKROPLASTIČNA VLAJKNA V VZORCU 3/1 .....	26
SLIKA 17: DELEC PENE V VZORCU 4/2 .....	27
SLIKA 18: PROZORNI FRAGMENT V VZORCU 5/1.....	28
SLIKA 19: RUMENI FRAGMENT V VZORCU 5/2 .....	28
SLIKA 20: ZELENI FRAGMENT V VZORCU 5/3 .....	28
SLIKA 21: RDEČE VLAJKO V VZORCU 6/1 .....	29
SLIKA 22: MODRO VLAJKO V VZORCU 6/3.....	29
SLIKA 23: MIKROPLASTIČNA VLAJKNA V VZORCU 7/1 .....	30
SLIKA 24: MIKROPLASTIČNI VLAJKNI V VZORCU 7/2.....	30
SLIKA 25: KROGLICA V VZORCU 7/3 .....	31
SLIKA 26: PENA V VZORCU 7/2 .....	31

<b>SLIKA 27:</b> ZELENO VLAKNO V VZORCU 8/1 .....	32
<b>SLIKA 28:</b> ZELENI FRAGMENT V VZORCU 9/1 .....	33
<b>SLIKA 29:</b> VLAKNA IN PENA V VZORCU 10/2 .....	34
<b>SLIKA 30:</b> FRAGMENTI V VZORCU 11/1 .....	34
<b>SLIKA 31:</b> VLAKNA V VZORCU KAMENE SOLI 1 .....	35
<b>SLIKA 32:</b> FTIR SPEKTER VZORCA PLA .....	38
<b>SLIKA 33:</b> FTIR SPEKTER VZORCA PET .....	38
<b>SLIKA 34:</b> FTIR SPEKTER VZORCA PP .....	38
<b>SLIKA 35:</b> FTIR SPEKTER REFERENČNEGA VZORCA (PRAZNA FILTRIRNA MEMBRANA) .....	39
<b>SLIKA 36:</b> FTIR SPEKTER VZORCA 5/3 .....	39
<b>SLIKA 37:</b> FTIR SPEKTER VZORCA 7/3 .....	40
<b>SLIKA 38:</b> FTIR SPEKTER VZORCA 9/1 .....	40
<b>SLIKA 39:</b> FTIR SPEKTER REFERENČNEGA VZORCA (PRAZNA FILTRIRNA MEMBRANA) IN VZORCA 5/3 .....	47
<b>SLIKA 40:</b> FTIR SPEKTER REFERENČNEGA VZORCA (PRAZNA FILTRIRNA MEMBRANA) IN VZORCA 7/3 .....	48
<b>SLIKA 41:</b> FTIR SPEKTER REFERENČNEGA VZORCA (PRAZNA FILTRIRNA MEMBRANA) IN VZORCA 9/1 .....	48

## **KAZALO TABEL**

<b>TABELA 1:</b> NAJPOGOSTEJŠI PLASTIČNI MATERIALI .....	3
<b>TABELA 2:</b> VKLJUČENE SOLI IN FOTOGRAFIJE NJIHOVIH RAZSIPOV .....	13
<b>TABELA 3:</b> VZORCI SOLI, PRIMERJALNO .....	15
<b>TABELA 4:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU 1 .....	24
<b>TABELA 5:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU 2 .....	25
<b>TABELA 6:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU 3 .....	26
<b>TABELA 7:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU 4 .....	27
<b>TABELA 8:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU 5 .....	28
<b>TABELA 9:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU 6 .....	29
<b>TABELA 10:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU 7 .....	30
<b>TABELA 11:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU 8 .....	32
<b>TABELA 12:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU 9 .....	33
<b>TABELA 13:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU 10 .....	33
<b>TABELA 14:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU 11 .....	34
<b>TABELA 15:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU KAMENE SOLI 1 .....	35
<b>TABELA 16:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU KAMENE SOLI 2 .....	36

<b>TABELA 17:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU KAMENE SOLI 3 .....	36
<b>TABELA 18:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU SLADKORJA 1 .....	37
<b>TABELA 19:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU SLADKORJA 2 .....	37
<b>TABELA 20:</b> ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCU SLADKORJA 3 .....	38
<b>TABELA 21:</b> POVPREČNO ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCIH MRS .....	41
<b>TABELA 22:</b> ANOVA TEST ZA PRIMERJAVO ŠTEVILA MIKROPLASTIČNIH DELCEV V SOLEH, PRIDOBLENJIH IZ SREDOZEMSKEGA MORJA IN SOLEH, KI NISO PRIDOBLENE IZ SREDOZEMSKEGA MORJA.....	46
<b>TABELA 23:</b> ANOVA TEST ZA PRIMERJAVO ŠTEVILA MIKROPLASTIČNIH DELCEV V SOLEH, PAKIRANIH V PLASTIČNIH IN NEPLASTIČNIH EMBALAŽAH .....	47

## KAZALO GRAFOV

<b>GRAF 1:</b> POVPREČNO ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV NA 15 G SOLI V VZORCIH MRS (MODRO: MORSKE SOLI, SIVO: REČNE SOLI) .....	42
<b>GRAF 2:</b> PRIMERJAVA POVPREČNEGA ŠTEVILA MIKROPLASTIČNIH DELCEV V 15 G SOLI V VZORCIH MRS Z REFERENČNIMI VZORCI .....	42
<b>GRAF 3:</b> BARVNA ZASTOPANOST NAJDENE MIKROPLASTIKE V VZORCIH MRS .....	43
<b>GRAF 4:</b> ZASTOPANOST MIKROPLASTIČNIH DELCEV PO OBLIKAH.....	44
<b>GRAF 5:</b> POVPREČNO ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV IN IZVOR SOLI, PRIMERJALNO .....	45
<b>GRAF 6:</b> POVPREČNO ŠTEVILO MIKROPLASTIČNIH DELCEV V VZORCIH MRS GLEDE NA MATERIAL EMBALAŽE.....	46



# 1 UVOD

S plastiko se srečujemo vsak dan. Zaradi velike proizvodnje in vsesplošne uporabe (embalaža, elektrotehnika, tekstil, transport ...) se plastični materiali kot odpadki v vedno večjih količinah znajdejo tudi v naravnih ekosistemih. Tam negativno vplivajo na organizme in okolje. Aktualen in pereč problem predstavlja predvsem mikroplastika, to so delci plastike, manjši od 5 mm. Zaradi majhnosti se mikroplastični delci enostavno širijo v številne ekosisteme. Zelo zaskrbljujoč je problem onesnaženosti v morskih ekosistemih. Zaradi poročanja številnih avtorjev o prisotnosti delcev v morski vodi predpostavljamo tudi na prisotnost mikroplastike v jedilnih morskih solih. Ker se jedilna sol stalno uporablja, smo se odločili raziskati pojavnost in opredeliti delce mikroplastike, prisotne v jedilni morski soli.

**Cilj:** Ugotoviti število, barvo, obliko in kemijsko sestavo mikroplastičnih delcev, prisotnih v jedilnih morskih solih.

**Hipoteza 1:** V jedilni morski in rečni soli je v povprečju prisotnih več mikroplastičnih delcev kot v jedilni kameni soli.

**Hipoteza 2:** Največ najdenih mikroplastičnih delcev v jedilni morski soli je prozornih fragmentov.

**Hipoteza 3:** Število mikroplastičnih delcev v soli, ki izvira iz Sredozemskega morja, se razlikuje od števila delcev v soli, ki ne izvira iz Sredozemskega morja.

**Hipoteza 4:** Jedilne morske soli, pakirane v plastični embalaži, v povprečju vsebujejo več mikroplastičnih delcev kot tiste, ki niso pakirane v plastični embalaži.

## 2 TEORETIČNE OSNOVE

### 2.1 Plastika









Plastika kot širok pojem zajema naravno ali sintetično pridobljene organske polimere z dodanimi aditivi. Polimerni materiali imajo veliko molekulsko maso in jih je termalno ter s silo moč oblikovati oz. modelirati. Zaradi svojih ugodnih fizikalno-kemijskih lastnosti, kot so trdnost, prevodnost, gostota, prožnost itd., lahko iz polimerov izdelujemo številne izdelke in jih uporabljamo kot večnamenske materiale (Rodriguez, 2021).

Polimeri so snovi, sestavljene iz več ponavljajočih se monomernih enot. Lahko so sestavljeni iz ene same vrste monomera (homopolimeri) ali iz več različnih vrst monomerov (kopolimeri) (How are Plastics Made, b. d.). Polimere delimo na naravne in sintetične. Postopek pridobivanja polimera je kompleksen, v ospredju so reakcije polimerizacije – sestavljanja monomernih enot v dolgo polimerno verigo (Gregersen idr., 2021). Proces izdelave plastičnih materialov zajema ekstrakcijo surovin (največkrat nafte, zemeljskega plina, tudi premoga ali bio-surovin), refiniranje surovin v derivate (proces pridobivanja monomerov iz nafte, plina, premoga ...), polimerizacijo (združevanje monomernih enot v polimerne verige) in predelovanje (mešanje polimerov in dodajanje aditivov, oblikovanje matric, vlaken) (Baheti, 2021).

Poznamo različne vrste reakcij polimerizacije glede na mehanizem; pri adicijski polimerizaciji se nenasičene monomerne molekule povežejo v verigo, pri čemer se monomeri povezujejo posamezno in nastajajo homopolimeri – takšno reakcijo imenujemo tudi verižna polimerizacija. Reakcija poteka s pomočjo katalizatorja. Pri adicijski polimerizaciji v reakciji ni stranskih produktov. Tipični adicijski polimeri so polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinilklorid (PVC) ... Kadar pri združevanju monomerov nastajajo stranski produkti (voda, vodikov klorid ...), manjša organska molekula ali industrijsko pomembna surovina, poteče kondenzacijska polimerizacija (običajno ob prisotnosti katalizatorja). Monomeri se pri tej vrsti polimerizacije združujejo v dimere, ki se lahko naprej združujejo v tetramere in tako dalje; ne nujno gre za posamično daljšanje verige, saj je v reakcijo lahko vključenih več različnih monomerov – nastajajo kopolimeri (How are Plastics Made, b. d.). Tipični kondenzacijski polimeri so poliester, najlon, poliuretan ... (Baheti, 2021)

Pridobljenim polimernim molekulam se v postopku izdelave željenega polimernega materiala dodajo ustrezni aditivi, ki vplivajo na njegove lastnosti. Z aditivi dosežemo željeno stopnjo zmogljivosti in funkcionalnosti ter vplivamo na staranje materiala. Najpogosteje so dodani antioksidanti, mehčala, zaviralci gorenja, svetlobni stabilizatorji, regulatorji kislosti, biocidi, maziva, barvila, antistatiki, toplotni stabilizatorji in drsne spojine (Hahladakis idr., 2017). S taljenjem se snovi premešajo, z ekstrudiranjem ali drugim oblikovalnim procesom pa se materiali v paleti spremenijo v polizdelek ali končni izdelek (Baheti, 2021). Najpogostejši plastični materiali so prikazani v tabeli 1.

**Tabela 1:** Najpogostejši plastični materiali

družina in tip polimera	simbol	identifikacijska koda plastike RIC	uporaba	specifična teža*
polietilen tereftalat		#1 PET(E)	plastenke, tekstil, trakovi, vrečke	1.34–1.39
polietilen visoke gostote		#2 PEHD ali HDPE	plastenke, živilske vrečke, zabojniki, lončki, otroška igrišča	0.95–0.98
polivinil klorid		#3 PVC	cevi, okenski profili, ograje, neživilska embalaža, igrače	1.16–1.30
polietilen nizke gostote		#4 PELD ali LDPE	vrečke, posode, plastenke za pranje, laboratorijska oprema	0.91–0.95
polipropilen		#5 PP	posode za hrano, avtomobilski deli, industrijska vlakna	0.90–0.92
polistiren		#6 PS	stiropor, igrače, plastični pribor, pladnji, pisarniški pribor	1.04–1.09
akrilonitril butadien stiren		#ABS	ohišja naprav, računalniška plastika, kocke Lego	1.04–1.07
poliamid		#PA	ščetine ščetk, tekstilna vlakna	1.25–1.27

\*količnik med gostoto materiala in gostoto destilirane vode pri 4 °C

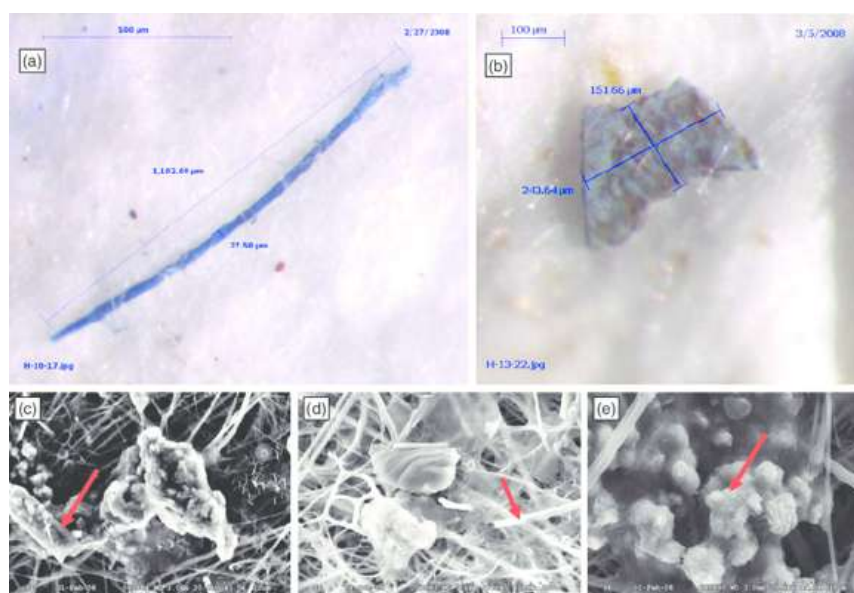
## 2.2 Mikroplastika

Z masivno proizvodnjo plastičnih materialov in izdelkov se je povečala njihova akumulacija v naravi (80 % vseh morskih odpadkov predstavlja plastika) (IUCN, 2020). Okoli 9 % do danes proizvedene plastike je bilo reciklirane, 12 % sežgane in 79 % odložene na smetiščih, odlagališčih ali v naravnem okolju (Andrady, 2017). Še posebej kritični so delci mikroplastike, ki jih je zaradi svoje majhnosti težko odkriti in odstraniti, zlahka prehajajo v

notranjost organskih sistemov morskih živali in rastlin ter povzročajo nepravilnost bioloških in ekoloških procesov, zato predstavljajo velik okolijski problem (Cole idr., 2011).

Termin mikroplastika je v literaturi zelo ohlapno določen, saj mere velikosti delcev, ki spadajo v to kategorijo, nihajo in niso natančno začrtane. Metodologija vzorčenja ni standardizirana, saj terensko delo v kategorijo prišteva le delce, skladne z velikostjo očesnih mrež, ki se uporabljajo za vzorčenje vod; zaradi vseh kriterijev in pestrega območja raziskovanja so delci mikroplastike subkategorizirani v več razredov, glede na morfološke značilnosti delcev (Andrady, 2017).

Skupina strokovnjakov GESAMP je vse delce odpadnih polimernih materialov (glede na velikost) razdelila na megaplastiko, makroplastiko, mezoplastiko in mikroplastiko – pod slednjo prištevamo vse delce v velikosti  $<5$  mm (Kershaw in Rochman, 2016). Delci mikroplastike različnih velikosti drugače vplivajo na okolje in različno prehajajo v organizme, zato potrebujejo različno opremo za vzorčenje in posebne analitične tehnike v laboratoriju. Velikost mikroplastičnih delcev določa tudi stopnjo vpliva na življenjske procese in razmere v okolju (GESAMP, 2015). Glede na obliko mikroplastične delce delimo na fragmente (delci nepravilnih oblik, zrnca, prah, kristali, ostružki), vlakna (niti, filamenti, prameni), kroglice (zrna, sferični delci), pene (delci polistirena) in pelete (predproizvodni peleti, iglice, tulci) (Lusher idr., 2017).



**Slika 1:** Delci mikroplastike pod mikroskopom<sup>1</sup>

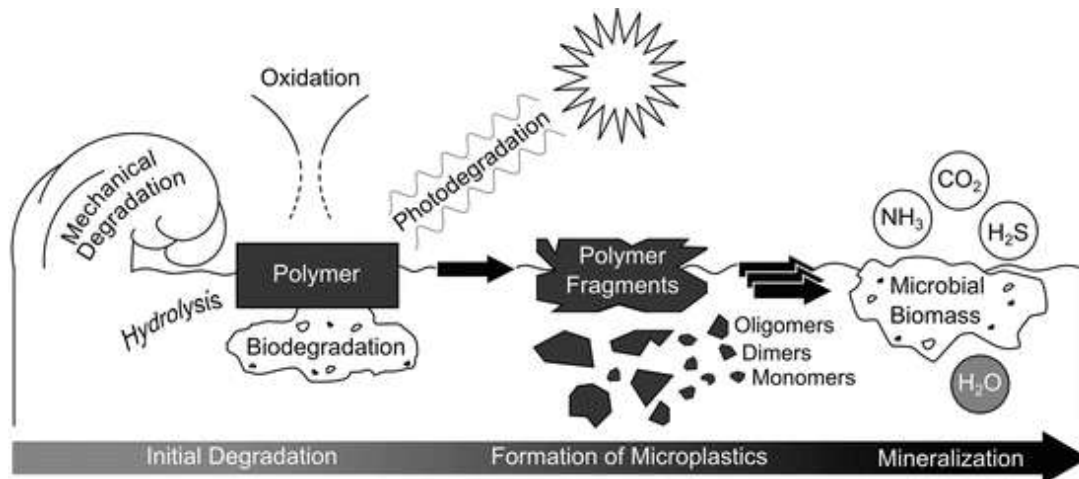
<sup>1</sup> Vir: <https://www.researchgate.net/profile/Lorena-Rios-2/publication/281653062/figure/fig2/AS:338115685306369@1457624469650/a-b-Microplastic-fragments-found-in-seawater-under-a-dissection-microscope-c-e.png>

### 2.2.1 Viri mikroplastike

Na leto proizvedemo okoli 300 milijonov ton plastičnih materialov, njihova uporaba pa je raznolika (IUCN, 2020); viri mikroplastike so zato raznoliki in različnih okoliščin. Vire mikroplastike – glede na nastanek mikroplastičnih delcev – delimo na primarne in sekundarne. Mikroplastika obeh virov prehaja v okolje in predstavlja nevarnost.

Primarna mikroplastika vključuje delce mikroplastike, ki prihajajo iz primarnih virov mikroplastike, tj. virov, ki namensko proizvajajo plastične delce mikroskopskih velikosti. Pod primarno mikroplastiko prištevamo tudi mikroplastične delce, ki namenoma ali nenamenoma nastajajo kot stranski produkt ob uporabi nekega izdelka. Primarni viri dodajajo mikroplastične delce v okolje že v njihovi izvorni velikosti (Wang idr., 2019). Primarne delce najdemo v različnih kozmetičnih produktih (največkrat v produktih za piling in drugih odstranjevalcih kožnih nečistoč – naravne materiale so zamenjali plastični delci), napravah za zračno visokotlačno odstranjevanje barve in rje (predvsem pri vzdrževanju naprav), zdravilih (Cole idr., 2011) ali kot surovine za izdelavo drugih izdelkov (Andrady, 2017). Delce primarne mikroplastike lahko v okolju prenašajo tekoče vode, veter, izpusti iz čistilnih naprav ali površinsko odtekanje v vodno okolje (Li idr., 2017).

Pod sekundarno mikroplastiko uvrščamo delce, ki nastanejo z drobljenjem oz. razgradnjo večjih kosov plastičnih materialov, tj. megaplastike ali makroplastike. Proučevanje virov sekundarne mikroplastike je zato močno odvisno od virov makroplastičnih materialov in kemijskih, bioloških ali fizikalnih procesov, ki sčasoma povzročijo proces razgradnje plastike (Kershaw in Rochman, 2016). Material je lahko izpostavljen mehanskim, foto/oksidativnim ali biološkim procesom razgradnje. Izpostavljenost UV žarkom in kisiku povzroča oksidacijo polimerne matrice in posledično cepitev vezi v polimernih verigah. To povzroči izločanje aditivov iz plastičnih materialov, ki skrbijo za trdnost in druge pomembne fizikalne lastnosti plastike, zato njihova odsotnost povzroča pokanje, korozijo in krhkost. Takšna plastika je ob drgnjenju, valovanju in turbulencam bolj dovzetna za tvorbo mikroplastičnih delcev. Materiali so lahko izpostavljeni tudi biološkim razgrajevalcem, tj. mikroorganizmom, oz. mehanski razgradnji preko zunanjih sil, mehanskega drgnjenja, zvijanja, odnašanja plasti ... Proces razgradnje se nadaljuje in makroplastični delci postajajo vse manjši, mikroplastični, tudi nanoplastični (Cole idr., 2011).



**Slika 2:** Shema razgradnje plastike in nastanka mikroplastike<sup>2</sup>

### 2.2.2 Vpliv mikroplastike na okolje in biologijo organizmov

Mikroplastika od primarnih in sekundarnih virov zaradi svojih lastnosti zlahka vstopa v ekosisteme, v katerih akumulira in jih onesnažuje. Najbolj je razširjena v morskih ekosistemih. Delce mikroplastike so zaznali na vseh geografskih širinah in dolžinah, globinah morij, habitatih zaprtih in odprtih morij, poseljenih in neposeljenih območjih ter površinskih in globokomorskih sedimentih. Poročajo predvsem o onesnaženosti z materiali LDPE, HDPE, PP, PS in najlona (zaradi vsakdanje uporabe materialov ter njihove gostote, ki plastiki omogoča lebdenje v vodi in se ne useda), z drugimi materiali bolj redko. Od gostote, vzgona in s tem specifične teže materiala je odvisno, kje v vodnem stolpcu se bo delec nahajal. Gostejši polimeri (glej tabelo 1), z večjo specifično težo od morske vode (1.027) bodo potonili na dno, redkejši materiali bodo plavali na gladini ali v vmesnem območju vodnega stolpca (Lusher idr., 2017).

Večina odpadkov v morju izvira iz kopenskih virov; pri tem velja, da so reke ter komunalne in industrijske odplake pomembna pot za vstop mikroplastičnih odpadkov v morske ekosisteme. Povečanje mikroplastike v kopenskih ekosistemih je posledica zračnih usedlin in namakalnih vod, onesnaženih z mikroplastiko, ter plastičnega mulčenja v kmetijstvu; makroplastika je zaradi prisotnosti kisika in UV svetlobe v kopenskih ekosistemih dovzetnejša za razgradnjo na mikro delce. Plastični odpadki, predvsem mikro delci, lahko

<sup>2</sup> Vir: <https://www.semanticscholar.org/paper/Analysis%2C-Occurrence%2C-and-Degradation-of-in-the-Klein-Dimzon/5af59ceb7d2dd44e7000924dd7dccb4f7c487ca4>

preko vetra preidejo v atmosfero, njihovo prisotnost so kljub večji gostoti zraka potrdili tudi v atmosferskih padavinah (Peng idr., 2017).

Mikroplastika je bila v večjih količinah (zaradi povečane količine in biorazpoložljivosti) najdena v veliko organizmih – kolobarnikih, rakah (največ v razredu dvoklopnikov – *Ostracoda*), glavaču in drugih sladkovodnih ribah ... Vodna bolha (*Daphania*) v laboratorijskih pogojih hitro zaužije mikroplastične delce, ki skozi črevesni epitelij zlahka preidejo v lipidni mehurček. Takšni delci, ki prehajajo skozi membrane in prodirajo v tkiva, so kritični, saj lahko povzročijo hujše učinke na delovanje organizma (Jiang, 2017).

Mikroplastika ima velik biološki in ekološki vpliv na organizme. Večje količine mikroplastike lahko vplivajo na fizikalno strukturo sedimentov – ki delujejo kot bioti nekaterim vrstam – ter na strukturo jajc. Majhni delci mikroplastike lahko služijo kot novi habitati za mikrobne organizme, ki se s prenašanjem delcev plastike kot vsiljivci širijo v novo okolje oz. prekomerno razmnožujejo. Plavajoča mikroplastika v vodi vpliva na širjenje svetlobe, ki lahko s spremembo bioritma vpliva na potek življenjskih procesov organizmov (Peng idr., 2017).

Zaužitje mikroplastike za organizme predstavlja največji biološki problem. Z zaužitjem mikroplastike se iz materialov v telo organizma lahko prenese veliko nevarnih snovi. Več kot 50 % vseh plastičnih materialov vsebuje strupene oz. okolju nevarne nereagirane monomere, aditive (topila, barvila, stabilizatorje, mehčala, zaviralce gorenja) ali stranske produkte proizvodnje. Snovi lahko vplivajo na pravilnost reprodukcije organizmov, pojav mutacij in razvoj rakavih tkiv. Mikroplastični delci lahko zaradi svoje površine, hidrofobnosti in por kopičijo organske snovi iz okolja, med drugim tudi nevarne pesticide in težke kovine (Peng idr., 2017). Delci z oprijetiimi snovmi lahko preidejo v organske sisteme organizmov in povzročijo zastrupitve in ogrozijo delovanje normalnih fizioloških procesov ter vplivajo na zdravje organizma, tako na ravni posameznika kot celotne populacije (Wright idr., 2013).

Zaužitje plastike lahko, še posebej v majhnih organizmih, blokira prehranjevalne poti oz. prebavne sisteme. Z bioakumulacijo se lahko neizločena mikroplastika s snovmi z organizmom premika po prehranjevalni verigi. S kopičenjem v celicah organizmov nižjega trofičnega nivoja je prenos mikroplastičnih delcev v višje trofične organizme lažji (Wright idr., 2013).

Poleg fizikalnih lahko mikroplastika povzroča tudi kemične in biološke zdravstvene zaplete v organizmu. Po zaužitju se iz mikroplastike lahko sproščajo absorbirani ali adsorbirani toksini, ki imajo toksični učinek na organizem. Polistiren je npr. odporen na biološko razgradnjo, zato se lahko kopiči v želodcu ali se translocira v krvni obtok (Li idr., 2017).

Kemikalije, ki jih mikroplastični delci lahko izločijo v organizem, lahko blokirajo, posnemajo ali vplivajo na normalno delovanje telesnih hormonov in endokrinega sistema oz. žlez. Imenujejo se EDC-kemikalije ali endokrini/hormonski motilci. Njihovi kemični in biološki vplivi so povezani z razvojem raka, z osteoporozo, z reproduktivnimi motnjami, z debelostjo, s sladkorno boleznijo, z nevrološkimi težavami, z motnjami imunskega sistema idr. (Endocrine Society, b. d.). Najpogostejši EDC v plastiki so bisfenoli, ftalati, alkilfenoli, perflourirane spojine, dioksini, kemijski UV-filtri, bromirani zaviralci gorenja in težke kovine (Jurič idr., 2020).

Bisfenoli (BPA) so prisotni v polikarbonatnih plastikah; največkrat v embalaži za večkratno uporabo (plastenke, embalaža za hrano), ceveh iz plastike in športni ter medicinski opremi. Obstajajo dokazi, da izpostavljenost BPA lahko vpliva na vedenje, razvoj možganov, depresijo, anksioznost, razvoj rakastih tkiv in sindroma policističnih jajčnikov, pojav spolnih motenj ... Ftalati delujejo kot funkcionalni aditivi k materialom za povečanje prožnosti materiala; uporabljeni so predvsem v PVC plastiki in drugih prožnih plastikah. Snov je rakotvorna in povezana predvsem s povzročanjem neplodnosti. Prisotna je v več kot 90 % vseh vzorcev popkovine, materinega mleka in plodovnice od 4. do 6. meseca (Endocrine Society, 2020). Alkilfenoli so aditivi za izboljšanje lastnosti barv, lakov, lepil in gum, saj so površinsko aktivne snovi; delujejo tudi kot emulgatorji in stabilizatorji. Perflourirane kemikalije vplivajo na imunsko delovanje in delovanje ščitnice; uporabljajo se kot insekticidi, lepila in površinske snovi. Imajo zelo dolgo razpolovno dobo, zato v organizmih akumulirajo dlje časa (Ye idr., 2014). Dioksini spadajo med najbolj strupene snovi in nastajajo med procesom preoblikovanja, segrevanja ali sežiga plastičnega materiala, zato so prisotni v reciklirani plastiki. Zaužitje bromiranih zaviralcev gorenja, protivnetnih snovi, je povezano z možnostjo za nepravilno delovanje ščitnice in moteni psihomotorični razvoj. Težke kovine (v plastiki sta prisotna predvsem kadmij in svinec) delujejo kot stabilizatorji, katalizatorji in pigmenti. Vplivajo na normalno delovanje živčnega sistema in razvoj možganov, nižanje inteligentnega kvocienta in razvoj raka (Endocrine Society, 2020).



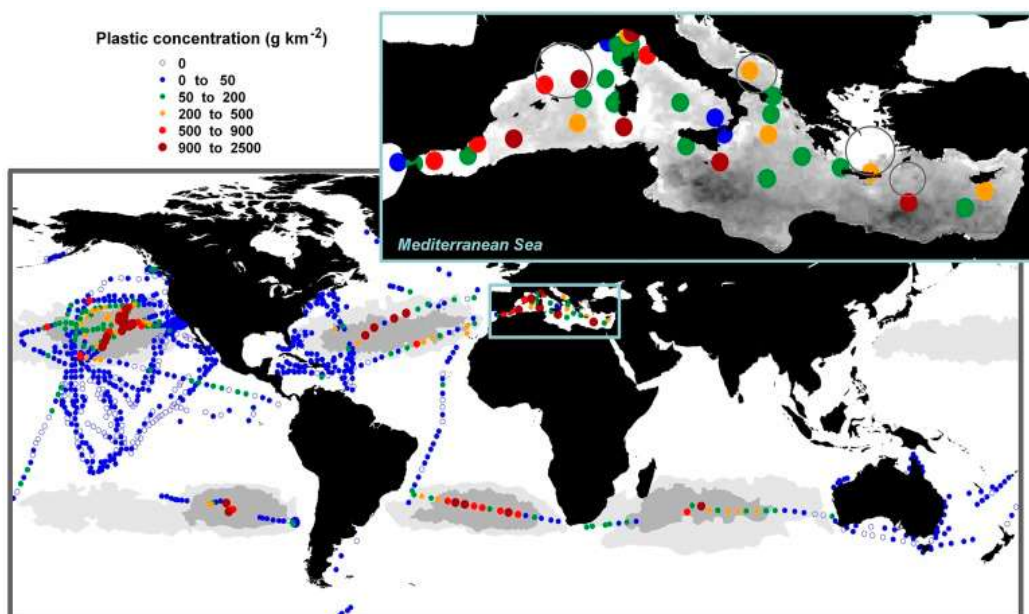
### 2.2.3 Razširjenost mikroplastike v svetovnih morjih in oceanih

Mikroplastika zaradi dejavnikov transporta neprestano prehaja v okolje, kjer akumulira v sedimentih, sladkovodnih sistemih in tleh, prenese se tudi v svetovna morja in oceane (Koutnik idr., 2021). Količina oz. prisotnost mikroplastičnih delcev je v obalnih območjih večja kot v odprtem oceanu, iz česar sledi, da so kopenski viri glavni viri onesnaženosti morij z mikroplastiko; zato je pri proučevanju onesnaženosti morij potrebno upoštevati veliko dejavnikov, ki lahko vplivajo na prenos mikroplastike s kopnih na morske ekosisteme (Li idr., 2022).

Prisotnost mikroplastike je povezana s procesi razporeditve delcev, oddaljenosti območja od virov mikroplastike, morfološkimi lastnostmi obale, kot tudi stopnjo antropogenosti območij. Večja razčlenjenost obale in hrapavost tal lahko prispeva k boljšemu zadrževanju mikroplastike v priobalnem območju, medtem ko lahko nerazgiban relief in odprtost obale pospeši transport delcev v morje (Simon-Sánchez idr., 2021). Na količino mikroplastike v morju vpliva bližina reke (ustje reke), izpusti odplak, čistilne naprave, smetišča in odlagališča. Na prenos plastike v morje vplivata tudi hitrost rečnega pretoka in vremenske razmere (Koutnik idr., 2021). Pomembna je tudi stopnja antropogenosti morskega okolja – v mestnih območjih so v vodi in organizmih odkrite večje količine mikroplastike – in lastnosti samih mikroplastičnih delcev (kemijska sestava, gostota, velikost, oblika ...). Onesnaženje z mikroplastiko je zaradi vseh dejavnikov na območju morskih ekosistemov vsesplošno razširjeno; delci so prisotni v sedimentih, globokomorski vodi, površinski vodi, na obalnih območjih (Gola idr., 2021).

Količina mikroplastike se spreminja glede na njihovo lego v vodnem stolpcu. Količina delcev v severnem Atlantskem oceanu z globino eksponentno pada, zmanjšuje se tudi njihova površina. Prav tako so raziskave v Italiji v površinskih vodah dokazale  $0,32 \pm 0,24$  enote/ $m^3$  mikroplastike, 20 m v vodnem stolpcu pa  $0,18 \pm 0,10$  enot/ $m^3$ . Podobne rezultate prikazujejo vzorci ob obali Toskane ( $0,27 \pm 0,33$  enot/ $m^3$  v površinskih vodah ter  $0,16 \pm 0,47$  enot/ $m^3$  do 100 m pod gladino v vodnem stolpcu). Nasprotno so v zalivu Monterrey v Kaliforniji največjo količino mikroplastike našli v mezopelagičnem območju (200–600 m v vodnem stolpcu), meritve so izvajali v območju 5–1000 m v vodnem stolpcu (Simon-Sánchez idr., 2021).

Na sredi severnega Tihega oceana je bilo povprečno zaznanih  $0,51 \pm 0,36$  enot/m<sup>3</sup> mikroplastike, prevladoval je material PP (53 %) svetlih barv in nepravilnih oblik (Pan idr., 2021). Količina mikroplastike v severnem Atlantskem oceanu je bila ocenjena na 0,01 delcev/m<sup>3</sup>, z večjimi koncentracijami v šelfnih (plitvih in robnih) morjih severozahodnega dela Evrope (Turner idr., 2021). V območju od Južnokitajskega morja (od ustja reke Zhujiang) do Indijskega oceana je bilo v povprečju najdenih  $0,40 \pm 0,62$  enot/m<sup>3</sup>, prevladovali so materiali PET, PP in PE (Li idr., 2022). V Južnem Oceanu in ob Antarktiki je bila mikroplastika prisotna v 93 % sedimentov;  $1,30 \pm 0,51$  enot/g sedimenta na Antarktičnem polotoku,  $1,09 \pm 0,22$  enot/g na Južnih Sandwichovih otokih in  $1,04 \pm 0,39$  enot/g na Južni Georgii. Prevladovali so materiali PP, PS, PU, PVC in guma (TPE) (Cunningham idr., 2020). Na območju Sredozemlja (Španija) so v sedimentih zaznali v povprečju  $113,2 \pm 88,9$  enot/kg(sedimenta) mikroplastike. V Franciji (Lionski zaliv) poročajo o 103-112 enot/km<sup>2</sup>, v sedimentu na plaže v Cassisu pa 124 enot/kg (Fytianos idr., 2021). Čeprav 61,5 % vzorcev iz Sredozemlja prihaja iz območij do 10 km oddaljenih od obale, se količina mikroplastike z oddaljevanjem od obale v povprečju zmanjšuje (Simon-Sánchez idr., 2021). V študiji mikroplastičnih delcev v prebavilih rib v Sredozemskem morju so mikroplastiko odkrili pri 48 % rib, s prevladujočim materialom PE (v obliki fragmentov in vlaken) (Esposito idr., 2021).



Slika 3: Koncentracija mikroplastike v svetovnih morjih<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Vir: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25831129/>

## 2.3 Sol

Sol je kemijsko opredeljena kot ionska spojina, ki nastane ob reakciji nevtralizacije med kislino in bazo, sestavljena iz kovinskega kationa in ostanka kisline oz. nekovinskega aniona. Kuhinjska sol je mešanica različnih soli, pri čemer prevladuje natrijev klorid (NaCl), drugi minerali in spojine pa so prisotni v različnih količinah, kar je odvisno od postopka pridelave in vrste soli. Pri naravnem izhlapevanju v obrežnih kotanjah nastaja sol z vsebnostjo okoli 77,8 % NaCl, 10,9 % MgCl<sub>2</sub>, 3,6 % CaSO<sub>4</sub>, 2,5 % KCl, 0,2 % MgBr<sub>2</sub> in 0,3 % CaCO<sub>3</sub> (Škornik in Gogala, 2008).

Zadosten vnos kuhinjske soli ima velik vpliv na zdravje ljudi in živali. Uporablja se kot začimba in konzervans, predvsem pri pridelavi klobas ter pakiranju mesa in rib. Soli se uporabljajo tudi v kemični industriji (največ pri elektrolizah), tekstilni industriji (barvanje), kozmetiki, medicini, mehčanju vode ... Z zaužitjem kuhinjske soli v telo vnesemo esencialne elemente, najpomembnejša sta jod in fluor. Zaužitje prevelike količine soli pa lahko dolgotrajno vodi v pojav zdravstvenih težav (Ralston idr., 2021).

### 2.3.1 Vrste in postopki pridelave kuhinjske soli

Kuhinjske soli ločimo na evaporirane, morske in kamene soli, razlikujejo pa se po načinu proizvodnje. Evaporirane soli nastajajo v tovarnah, kjer raztopljeno sol v raztopini kristalizirajo v posebnih kristalizatorjih. Raztopino soli dobijo z raztapljanjem slane rude, ki jo izkopljejo, ali s črpanjem že raztopljene soli v morski in drugih vodah. Morske soli nastajajo s pomočjo sonca in vetra, kjer v izhlapevalnih bazenih z izhlapevanjem poteka zgoščevanje morske vode. Ločimo rafinirano in nerafinirano morsko sol. Nerafinirano morsko sol pridobivajo pri velikih slanosti v minimalni količini morske vode, tako dobijo karseda čist NaCl. Rafinirana sol nastane s pranjem nerafinirane soli. Kameno sol kopljejo v rudnikih kot rudo (Škornik in Gogala, 2008).



**Slika 4:** Tradicionalna pridelava soli v Sečoveljskih solinah<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Vir: <https://www.feel-taste.info/si/ponudniki/8244->

## 3 METODE DE LA

### 3.1 Vzorc i soli

Uporabili smo 11 različnih jedilnih soli; od tega 9 morskih in 2 vrsti soli iz slan ih rek. V nadaljevanju jih bomo vse označevali oz. imenovali kot vzorci MRS (morske in rečne soli). Gre za vzorce 15 g v raziskavo vključenih jedilnih morskih in rečnih soli. Vse vzorce smo označili s številkami. Zaradi ustrežnejše statistične obdelave podatkov, smo za vsak vzorec izvedli tri meritve. Zaporedne meritve posameznega vzorca smo označili s številkami 1–3 za poševnico (npr. 1/1, 1/2, 1/3), kjer prva številka označuje vzorec, druga pa posamezno meritev vzorca.

Vse soli so komercialno prosto dostopne in smo jih kupili v veleblagovnicah oz. naročili preko spleta. Soli smo izbrali naključno oz. po razpoložljivosti. Raziskave glede lokacije pridelave soli nismo omejili, zato so soli pridobljene iz različnih morij, oceanov in slan ih rek.

Za zagotovitev anonimnosti so vse vrste soli razvrščene po naključnem vrstnem redu, da iz rezultatov in ugotovitev ni moč sklepati na vrsto soli posameznih vzorcev. Soli, ki smo jih vključili, so prikazane v tabeli 2. Dodane so fotografije razsipov soli.

**Tabela 2:** Vključene soli in fotografije njihovih razsipov

Aquasale: Grobes Meersalz



5

Azafran: Quellwasser Salz



6

---

<sup>5</sup> Razsip soli Aquasale

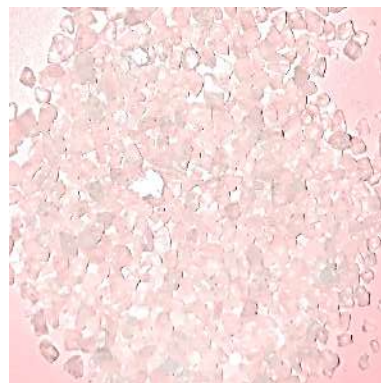
<sup>6</sup> Razsip soli Azafran

Droga: Morska sol



7

La Baleine: Grobes Meersalz



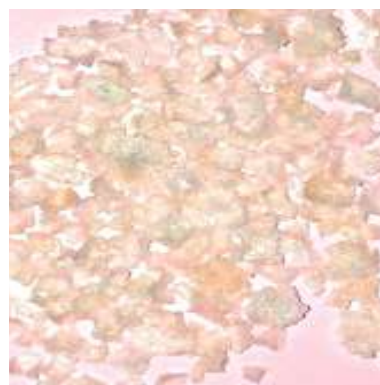
8

Maldon: Meersalzflocken



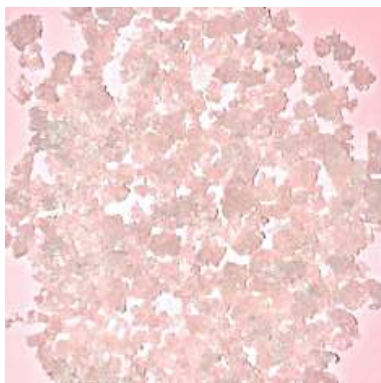
9

Murray River Salt: Salt Flakes



10

Piranske Soline: Piranska sol



11

Saldoro: Meersalz



12

---

<sup>7</sup> Razsip soli Droga

<sup>8</sup> Razsip soli La Baleine

<sup>9</sup> Razsip soli Maldon

<sup>10</sup> Razsip soli Murray River Salt

<sup>11</sup> Razsip soli Piranske Soline

<sup>12</sup> Razsip soli Saldoro

S Budget: Morska sol



13

Solana Pag: Paška sol



14

Spar Premium: Fleur de Sel



15

Spodnja tabela prikazuje oštevilčene vzorce MRS (v naključnem vrstnem redu) in njihove lastnosti.

**Tabela 3:** Vzorci soli, primerjalno

Številka vzorca soli	Vrsta soli	Kraj izvora	Barva	Vrsta pakiranja
1	morska	Karibsko morje in Indijski ocean	bela	plastika
2	morska	Sredozemsko morje	bela	plastika
3	morska	Severno morje	bela	papir
4	rečna	Slana reka	rožnata	aluminij
5	rečna	Slani rečni izvir	bela	plastika
6	morska	Sredozemsko morje	bela	plastika
7	morska	Sredozemsko morje	bela	aluminij
8	morska	Sredozemsko morje	bela	plastika
9	morska	Sredozemsko morje	bela	plastika
10	morska	Sredozemsko morje	bela	papir
11	morska	Sredozemsko morje	bela	papir

<sup>13</sup> Razsip soli S Budget

<sup>14</sup> Razsip soli Solana Pag

<sup>15</sup> Razsip soli Spar Premium

### 3.1.1 Referenčni vzorci

Odločili smo se, da vzorce MRS primerjamo z referenčnimi vzorci sladkorja in kamene soli, saj se kamena sol in sladkor ne pridobivata iz morij oz. rek. S to primerjavo bi lahko namreč ugotovili, ali je vir mikroplastičnih delcev le morska oz. rečna voda, ali pa je razlog tudi sekundaren vnos mikroplastike preko proizvodnje, transporta, prenosa, pakiranja itd. Vključili smo 3 vrste kamenih soli in 3 vrste sladkorja.

Vzorci kamene soli smo označili z oznako *k* (npr. *k1/1*, *k1/2*, *k1/3*), vzorec sladkorja pa z oznako *s* (npr. *s1/1*, *s1/2*, *s1/3*), kjer številka pred poševnico predstavlja vzorec, druga številka pa posamezno meritev.

Kamene soli in sladkorji, vključeni v raziskavo, so zaradi zagotavljanja anonimnosti urejeni po abecednem vrstnem redu. Uporabili smo soli Bad Reichenhaller: Alpen JodSalz; Solana: Tuzlanska sol; Tuš: Sol in sladkorje Agragold: Sladkor; Tuš: Sladkor; Viro Sladkor: Beli kristalni sladkor.

## 3.2 Analiza vzorcev

Vzorci smo analizirali v laboratoriju v obdobju od decembra 2021 do aprila 2022. Število mikroplastičnih delcev v posameznih vzorcih smo ugotavljali po postopkih za raziskovanje mikroplastike v vodnih vzorcih, opisanih v Masura idr., 2015. Metode smo si prilagodili oz. jih kombinirali, saj postopki za raziskovanje količine mikroplastike še niso standardizirani.

### 3.2.1 Materiali in oprema

Pri analizi smo uporabljali naslednje materiale in opremo:

- Leica ES2 binokularni stereo mikroskop (10–30 x povečava),
- Traveler USB mikroskop (10x–200 x povečava),
- sistem za vakuumsko filtracijo ISOLAB (500 mL),
- filtrirni membranski lističi PORAFIL CA (velikost por 0,45 µm, premer 50 mm),
- analizna tehtnica Kern ABS 320-4N (d=0,1 mg),
- sterilizator in sušilnik Instrumentaria ST-01/02,
- magnetno mešalo Tehtnica ROTAMIX,
- FTIR spektrofotometer,
- spatula,
- pinceta,

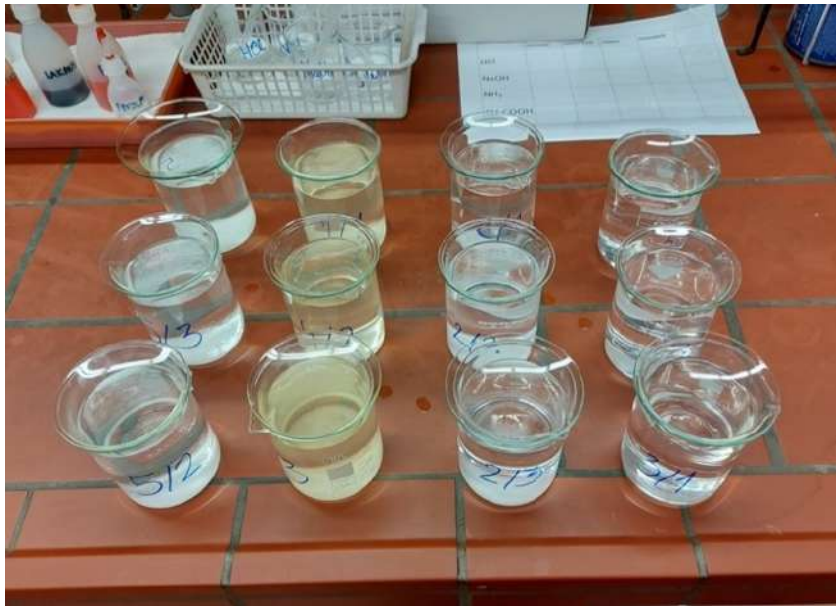


- žlička,
- steklena in plastična petrijevka,
- čaša,
- urno steklo,
- merilni valj,
- kapalka,
- laboratorijski plašč,
- rokavice,
- steklena palčka,
- lij ločnik,
- stojalo,
- prižema,
- mufa,
- destilirana voda,
- vzorci soli,
- kalijev hidroksid (KOH),
- vodikov peroksid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

### 3.2.2 Priprava vzorcev morskih in rečnih soli (MRS)

Vzorci MRS smo pripravili z vsemi vrstami soli, ki smo jih kupili. Označili smo jih s številkami od 1 do 11. Vzorec posamezne soli so sestavljali trije identično pripravljene vzorci, s katerimi smo zagotavljali statistično ustrežnejše meritve in rezultate. Vsi pripravljene vzorci posamezne soli se v pripravi niso razlikovali, saj smo jih pripravili po enakih postopkih.

Vzorci MRS smo začeli pripravljati s tehtanjem vseh vrst soli. Uporabljali smo analizno tehtnico, ki nam je omogočala meritve do 0,1 mg natančno. 15 g soli smo z žličko ali spatulo prenesli v 250 mililitrske čaše in jih oštevilčili. Dodali smo 250 mL destilirane vode, ki smo jo odmerili z merilnim valjem. Sol se je raztopila in dobili smo solne raztopine (slika 5).



**Slika 5:** Pripravljene raztopine štirih vzorcev

Pri nekaterih vrstah soli smo opazili nastanek usedline, ki je vsebovala različne mineralne in kamene ostanke, netopne v vodi. Za pripravo homogene raztopine smo uporabili metodi ločevanja snovi na podlagi gostote z lijem ločnikom (slika 6) in odlivanjem. Del raztopine smo odlili, preostanek z usedlino pa prenesli v lij ločnik. Usedlino smo ločili od raztopine. Potencialnih delcev mikroplastike, ki bi jih s to metodo lahko odstranili iz raztopin, je bilo zanemarljivo malo. Na podlagi gostote in specifične teže (tabela 1) posameznih polimernih materialov se namreč pričakuje, da bi se v solni raztopini usedal le majhen delež delcev.



**Slika 6:** Ločevanje oborine z lijem ločnikom

Uporabljali smo tudi metodo razgradnje biooblog oz. drugih neplastičnih organskih snovi iz vzorcev z reaktanti KOH (5 % in 15 %) in H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (15 % in 30 %), vendar se je metoda izkazala za neustrezno, saj je vplivala na topnost soli in čistost raztopin. Nastala je neznana trdna snov oz. oborina – sklepamo na nastanek kompleksne spojine. Postopka odstranitve biooblog v nadaljevanju torej nismo uporabili, temveč smo na podlagi izgleda delcev (mikroplastični delci nimajo opaznih celičnih struktur, so ostrih robov in živih barv, imajo homogeno zgradbo, se ob dotiku ne prelomijo, odbijajo svetlobo, se svetlikajo itd.) ločili med mikroplastiko in drugimi neplastičnimi organskimi ostanki.



**Slika 7:** Nastanek oborine pri raztapljanju v 15 % KOH (levo) v primerjavi z raztapljanjem v vodi (desno)

Iz slike 7 je razvidno, da so soli ob raztapljanju v 15 % KOH (5/1, 5/2, 5/3) tvorile oborino, opazno kot belo trdno snov na dnu erlenmajerice (prve tri erlenmajerice iz leve proti desni). Soli smo raztopili tudi v destilirani vodi (prvi dve erlenmajerici iz desne proti levi), poskus smo ponovili z zdrobljenimi in nezdobljenimi solnimi kristali. Pri nobeni nismo opazili takšne oborine. Sklepamo, da se težava pojavi ob dodatku KOH.

Vse vzorce MRS smo filtrirali z napravo za vakuumsko filtracijo ISOLAB (slika 8) preko membranskih filtrirnih papirjev z velikostjo por 0,45 µm. Pri tem smo zajeli mikroplastične delčke vseh velikostnih kategorij. Stene filtrirne naprave smo izpirali z destilirano vodo, da smo zajeli delčke, ki so morebiti ostali na stenah naprave. Filtrate smo prenesli v steklene petrijevke in jih oštevilčili.



**Slika 8:** Filtriranje z napravo za vakuumsko filtracijo ISOLAB

Na 60 °C smo filtrate posušili v sušilniku in jih po 10 minutah sušenja odstranili. Dokončno pripravljene vzorce smo analizirali po nadaljnjih metodah.



**Slika 9:** Posušeni filtrati vzorcev

Na enak način smo pripravili tudi referenčne vzorce kamene soli in sladkorja, ki so poleg vzorcev MRS prikazani na sliki 9.

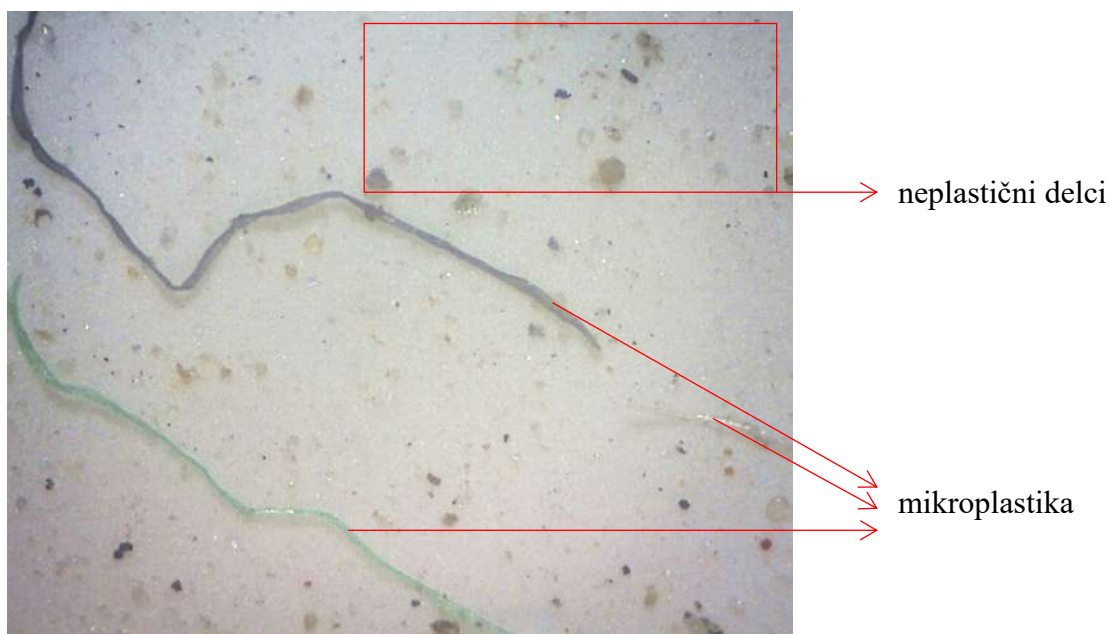
### 3.2.3 Analiza vzorcev z mikroskopom

Kvantitativno določevanje delcev mikroplastike v vzorcih smo izvedli s pomočjo stereo mikroskopa Leica ES2 in USB mikroskopa Traveler. Ugotavljali smo število mikroplastičnih delcev na masno enoto raztopljene soli (št. delcev/15 g soli).

Vzorci smo analizirali tako, da smo si membranske lističe s filtrati razdelili na območja, ustrezno smo kategorizirali preštete delce in jih zapisali v tabelo ter jih fotografirali z USB mikroskopom. Delec smo opredelili kot mikroplastiko, če je ustrezal kriterijem:

- nima opaznih celičnih struktur,
- ni razvejan,
- odbija svetlobo (se svetli),
- je žive barve in enobarven,
- je homogeno zgrajen,
- se ob dotiku ne prelomi ali zdrobi.

V raziskavo smo vključili le delce, ki so ustrezali kriterijem, vseh potencialno neplastičnih ostankov oz. biooblog v analizo nismo vključili. Pri vzorcih, pri katerih je med filtracijo nastala oborina na filtrirni membrani, dopuščamo odstopanje pri številu prešteti delcev, saj so nekateri lahko zaradi oborine nevidni. Slika 10 prikazuje nekatere delce v enem od vzorcev.



**Slika 10:** Primerjava mikroplastike in neplastičnih delcev

### 3.2.4 Določanje sestave delcev s tehniko FTIR

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru smo delcem poskušali določiti kemijsko sestavo z metodo FTIR (*angl.* fourier-transform infrared spectroscopy). Delcem, ki ustrezajo zgornjim kriterijem in s tipičnim izgledom mikroplastike smo na podlagi spektrov absorbcije IR-svetlobe želeli določiti vrsto polimera, ki prevladuje v njihovi sestavi. Naše rezultate smo primerjali s spektri filtrirnih membran (kot referenco) in najbolj razširjenimi polimeri (PP – polipropilen, PET – polietilen tereftalat in PLA – polilaktična kislina). FTIR spektrofotometrija deluje na principu absorbcije IR-svetlobe, ki povzroči različno nihanje molekule glede na njene funkcionalne skupine (slika 11). Le-te je moč odčitati iz grafa/spektra, ki ga naprava izriše. Spektre odčitamo glede na temena premice na grafu. Tako je moč prepoznati kemijsko sestavo, ki jo spekter opisuje.

Vzorce smo položili na merilno površino, na vzorec smo pritrdili diamantno konico. Spektrofotometer, ki smo ga uporabljali, je izmeril območje 0,25 cm<sup>2</sup> vzorca. Zaradi majhnosti mikroplastičnih delcev smo spektre primerjali z referenčnim vzorcem (prazno filtrirno membrano) in opazovali, ali je med referenčnim in testnim vzorcem opazna razlika v temenih spektrov.

Peak position on FTIR spectra (cm <sup>-1</sup> )	Assignment of bonds	Mode of vibration
3005	=C-H ( <i>cis</i> )	stretching
2953	-C-H (CH <sub>3</sub> )	Stretching a symmetric
2922	-C-H (CH <sub>2</sub> )	Stretching a symmetric
2853	-C-H (CH <sub>2</sub> )	Stretching symmetric
1746	-C=O (ester)	stretching
1654	-C=C- ( <i>cis</i> )	stretching
1463	-C-H (CH <sub>2</sub> )	Bending(scissoring)
1417	=C-H ( <i>cis</i> )	Bending(rocking)
1377	-C-H (CH <sub>3</sub> )	Bending symmetric
1160	-C-O	Stretching
	-CH <sub>2</sub> -	Bending
1118, 1098, 1030	C-O	Stretching
962	<i>trans</i> -CH=CH-	bending out of plane
854	=CH <sub>2</sub>	wagging
757	-C-H	bending out of plane
722	<i>cis</i> -CH=CH-	bending out of plane

**Slika 11:** Funkcionalne skupine in njihove frekvence absorbcije na FTIR<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Vir: [https://www.researchgate.net/figure/Functional-groups-and-mode-of-vibration-from-FTIR-spectra-of-the-evaluated-oils\\_tbl1\\_289549866](https://www.researchgate.net/figure/Functional-groups-and-mode-of-vibration-from-FTIR-spectra-of-the-evaluated-oils_tbl1_289549866)

### **3.3 Zagotavljanje in nadzor kakovosti**

Zaradi zagotavljanja čistega okolja ter preprečevanja kontaminacije delcev tekom raziskave smo se ravnali v skladu s priporočili v Masura idr., 2015. Uporabljali smo steklene pripomočke in s tem preprečili potencialno krušenje plastičnih pripomočkov ter vnos plastike v vzorce. Nosili smo bombažne halje iz naravnih materialov.

Embalažo soli in sladkorja smo odprli tik pred tehtanjem, takoj po tehtanju pa smo vzorce pokrili z urnim steklom. Enako smo storili po dodatku 250 mL destilirane vode. Destilirano vodo smo pred uporabo kontrolno prefiltrirali. V njej nismo zaznali nobenega delca mikroplastike. S tem rezultatom lahko sklepamo, da destilirana voda sama po sebi ne vsebuje delcev mikroplastike. Obenem pa smo s tem dokazali, da v vzorcu ne bo prisotne mikroplastike, kot posledice zunanjih vplivov ob našem laboratorijskem delu.

### **3.4 Statistična obdelava podatkov**

Vse potrebne izračune statistične narave (povprečja, standardni odkloni) smo izračunali s pomočjo programa Microsoft Excel. Za izračun povprečij smo uporabili funkcijo (=AVERAGE), za izračun standardnih odklonov pa funkcijo (=STDEV.S), saj smo odklon merili le za nekaj naključno zajetih vzorcev v raziskavo vključenih soli. Hipotezi 3 in 4 smo se odločili preverjati z ANOVA testom za varianco, ki smo ga prav tako izvedli s pomočjo programa Microsoft Excel. Za ANOVA test smo se odločili, ker preverjamo kvantitativne spremenljivke (število delcev) v dveh kategorijah (nominalnih spremenljivkah). ANOVA v tovrstnih primerih dokaže statistično značilno različnost oz. nerazličnost spremenljivk.

## 4 REZULTATI

### 4.1 Rezultati analize z mikroskopom

V tabelah 4–14 so prikazani rezultati kvantitativnega določanja mikroplastičnih delcev v posameznih vzorcih MRS. Tabela je razdeljena po obliki in barvi delcev ter posameznih vzorcih, izračunana so tudi povprečja in standardni odklon (SD) za povprečno število vseh delcev.

**Tabela 4:** Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu 1

Legenda barve vlaken, pene ali fragmenta/kroglice/pelete: prozorna bela: PB, črna: Č, modra: M, rdeča: R, zelena: Z, rumena: RU, drugo: D.

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	1/1	42	19	23	6	0	0	0	90	109,00
	1/2	23	40	25	3	1	0	1	93	
	1/3	71	40	24	5	1	2	1	144	
pena	1/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,67
	1/2	1	0	0	0	0	0	0	1	
	1/3	1	0	0	0	0	0	0	1	
fragment /kroglica /pelet	1/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	1/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Skupaj vseh oblik:	1/1	42	19	23	6	0	0	0	90	<b>109,67</b> <b>SD = 30,66</b>
	1/2	24	40	25	3	1	0	1	94	
	1/3	71	40	24	5	1	2	1	145	



**Slika 12:** Zeleno mikroplastično vlakno v vzorcu 1/3





Slika 13: Rumeno, modro in prozorno mikroplastično vlakno v vzorcu 1/3

Tabela 5: Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu 2

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	2/1	50	11	27	2	2	1	1	94	69,33
	2/2	30	7	16	2	0	0	0	55	
	2/3	38	8	11	2	0	0	0	59	
pena	2/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	2/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
fragment /kroglica /pelet	2/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	2/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Skupaj vseh oblik:	2/1	50	11	27	2	2	1	1	94	<b>69,33</b>
	2/2	30	7	16	2	0	0	0	55	
	2/3	38	8	11	2	0	0	0	59	

**SD = 21,46**

**Tabela 6:** Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu 3

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	3/1	14	26	55	4	0	0	0	99	79,67
	3/2	10	11	15	4	0	0	3	43	
	3/3	37	34	19	7	0	0	0	97	
pena	3/1	1	0	0	0	0	0	0	1	5,67
	3/2	8	0	0	0	0	0	0	8	
	3/3	8	0	0	0	0	0	0	8	
fragment /kroglica /pelet	3/1	0	1	0	0	0	0	0	1	0,33
	3/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Skupaj vseh oblik:	3/1	15	27	55	4	0	0	0	101	<b>85,67</b> <b>SD = 30,09</b>
	3/2	18	11	15	4	0	0	0	51	
	3/3	45	34	19	7	0	0	0	105	



**Slika 14:** Črno mikroplastično vlakno v vzorcu 3/1



**Slika 15:** Rdeče mikroplastično vlakno v vzorcu 3/2



**Slika 16:** Mikroplastična vlakna v vzorcu 3/1

**Tabela 7:** Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu 4

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	4/1	13	18	45	8	0	0	0	84	88,67
	4/2	7	42	55	15	0	0	0	119	
	4/3	7	24	28	4	0	0	0	63	
pena	4/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33
	4/2	1	0	0	0	0	0	0	1	
	4/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
fragment /kroglica /pelet	4/1	0	1	0	0	0	0	0	1	0,33
	4/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Skupaj vseh oblik:	4/1	13	19	45	8	0	0	0	85	<b>89,33</b>
	4/2	8	42	55	15	0	0	0	120	
	4/3	7	24	28	4	0	0	0	63	



**Slika 17:** Delec pene v vzorcu 4/2

**Tabela 8:** Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu 5

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	5/1	31	33	65	13	2	0	2	146	132,00
	5/2	30	37	55	8	6	0	1	137	
	5/3	20	51	32	8	1	0	1	113	
pena	5/1	0	0	0	0	0	0	0	0	1,00
	5/2	0	0	0	0	2	0	0	2	
	5/3	0	0	0	0	1	0	0	1	
fragment /kroglica /pelet	5/1	1	0	0	0	0	0	0	1	2,67
	5/2	1	1	1	0	0	1	1	5	
	5/3	1	0	0	0	1	0	0	2	
Skupaj vseh oblik:	5/1	32	33	65	13	2	0	2	147	<b>135,67</b>
	5/2	31	38	56	8	8	1	2	144	
	5/3	21	51	32	8	3	0	1	116	



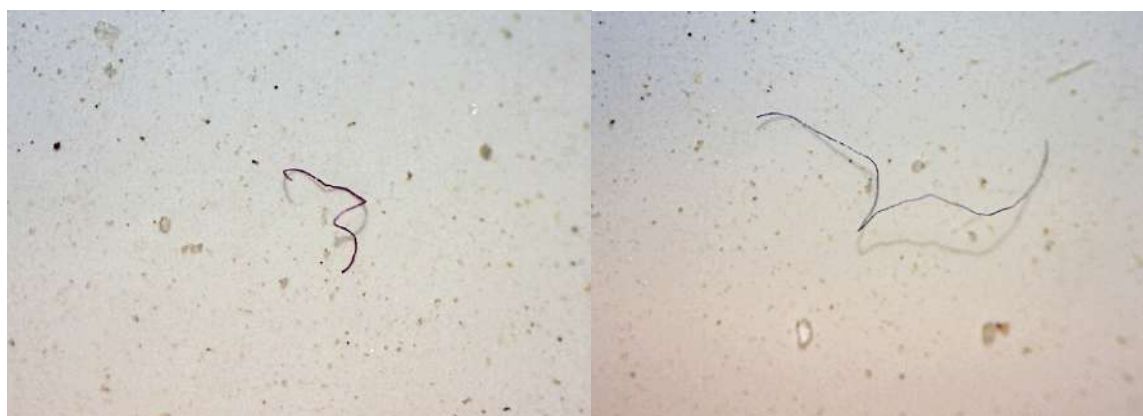
**Slika 18:** Prozorni fragment v vzorcu 5/1    **Slika 19:** Rumeni fragment v vzorcu 5/2



**Slika 20:** Zeleni fragment v vzorcu 5/3

**Tabela 9:** Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu 6

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	6/1	22	12	23	3	1	0	0	62	53,33
	6/2	12	10	10	2	0	0	0	34	
	6/3	33	10	20	0	0	0	1	64	
pena	6/1	1	0	0	0	0	0	0	1	1,67
	6/2	4	0	0	0	0	0	0	4	
	6/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
fragment /kroglica /pelet	6/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33
	6/2	0	0	0	1	0	0	0	1	
	6/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Skupaj vseh oblik:	6/1	23	12	23	3	1	0	0	63	<b>55,33</b> <b>SD = 14,15</b>
	6/2	16	10	10	3	0	0	0	39	
	6/3	33	10	20	0	0	0	1	64	



**Slika 21:** Rdeče vlakno v vzorcu 6/1

**Slika 22:** Modro vlakno v vzorcu 6/3

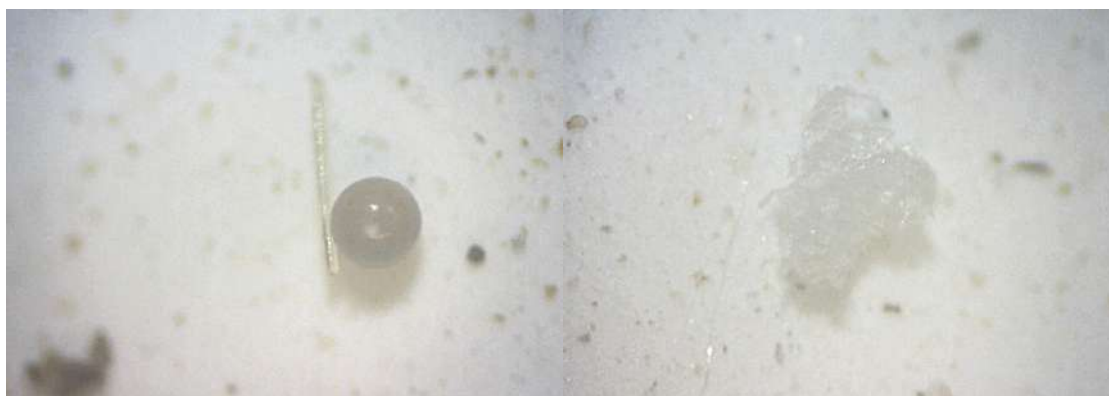
**Tabela 10:** Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu 7

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	7/1	34	20	16	8	1	0	1	80	84,00
	7/2	29	25	14	12	3	0	1	84	
	7/3	28	20	28	8	4	0	0	88	
pena	7/1	1	0	2	0	0	0	0	3	4,00
	7/2	2	0	0	0	0	0	0	2	
	7/3	4	0	3	0	0	0	0	7	
fragment /kroglica /pelet	7/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33
	7/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7/3	0	0	0	0	0	0	1	1	
Skupaj vseh oblik:	7/1	35	20	18	8	1	0	1	83	<b>88,33</b> <b>SD = 6,81</b>
	7/2	31	25	14	12	3	0	1	86	
	7/3	32	20	31	8	4	0	1	96	



**Slika 23:** Mikroplastična vlakna v vzorcu 7/1

**Slika 24:** Mikroplastični vlakni v vzorcu 7/2



**Slika 25:** Kroglica v vzorcu 7/3

**Slika 26:** Pena v vzorcu 7/2

**Tabela 11:** Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu 8

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	8/1	14	17	6	1	1	0	0	39	46,00
	8/2	11	9	6	0	0	0	0	26	
	8/3	28	16	24	3	2	0	0	73	
pena	8/1	1	0	0	0	0	0	0	1	0,33
	8/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
fragment /kroglica /pelet	8/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	8/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Skupaj vseh oblik:	8/1	15	17	6	1	1	0	0	40	<b>46,33</b> <b>SD = 24,13</b>
	8/2	11	9	6	0	0	0	0	26	
	8/3	28	16	24	3	2	0	0	73	



**Slika 27:** Zeleno vlakno v vzorcu 8/1

Tabela 12: Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu 9

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	9/1	6	17	12	2	0	0	0	37	40,00
	9/2	3	23	11	3	0	0	0	40	
	9/3	5	22	13	2	0	0	1	43	
pena	9/1	4	0	1	0	0	0	1	6	2,00
	9/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
fragment /kroglica /pelet	9/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	9/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Skupaj vseh oblik:	9/1	10	17	13	2	0	0	1	43	<b>42,00</b> SD = 1,73
	9/2	3	23	11	3	0	0	0	40	
	9/3	5	22	13	2	0	0	1	43	



Slika 28: Zeleni fragment v vzorcu 9/1

Tabela 13: Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu 10

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	10/1	27	14	11	0	0	0	0	52	39,00
	10/2	21	8	10	0	3	0	2	44	
	10/3	8	6	5	1	0	0	1	21	
pena	10/1	1	0	0	0	0	0	0	1	1,67
	10/2	0	0	2	0	0	0	0	2	
	10/3	1	0	1	0	0	0	0	2	
fragment /kroglica /pelet	10/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	10/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Skupaj vseh oblik:	10/1	28	14	11	0	0	0	0	53	<b>40,67</b> SD = 15,70
	10/2	21	8	12	0	3	0	2	46	
	10/3	9	6	6	1	0	0	1	23	





Slika 29: Vlakna in pena v vzorcu 10/2

Tabela 14: Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu 11

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	11/1	54	10	14	2	0	0	0	80	78,67
	11/2	66	7	23	3	0	0	1	100	
	11/3	40	8	7	1	0	0	0	56	
pena	11/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	11/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
fragment /kroglica /pelet	11/1	2	0	0	0	1	0	0	3	2,00
	11/2	0	0	2	0	0	0	0	2	
	11/3	0	0	1	0	0	0	0	1	
Skupaj vseh oblik:	11/1	56	10	14	2	1	0	0	83	<b>80,67</b> SD = 22,59
	11/2	66	7	25	3	0	0	1	102	
	11/3	40	8	8	1	0	0	0	57	



Slika 30: Fragmenti v vzorcu 11/1

V tabelah 15-20 so prikazani rezultati kvantitativnega določanja mikroplastičnih delcev v referenčnih vzorcih kamenih soli in sladkorjev. Tabele so razdeljene po obliki in barvi delcev ter posameznih vzorcih, izračunana so tudi povprečja in standardni odklon (SD) za povprečno število vseh delcev.

**Tabela 15:** Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu kamena sol 1

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	k1/1	13	11	19	3	0	0	0	46	41,67
	k1/2	14	13	9	2	0	0	0	38	
	k1/3	19	8	13	1	0	0	0	41	
pena	k1/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33
	k1/2	0	0	0	0	0	0	1	1	
	k1/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
fragment /kroglica /pelet	k1/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33
	k1/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	k1/3	1	0	0	0	0	0	0	1	
Skupaj vseh oblik:	k1/1	13	11	19	3	0	0	0	46	<b>42,33</b>
	k1/2	14	13	9	2	0	0	1	39	
	k1/3	20	8	13	1	0	0	0	42	



**Slika 31:** Vlakna v vzorcu kamene soli 1

**Tabela 16:** Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu kamena sol 2

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	k2/1	55	7	16	0	0	0	0	78	67,67
	k2/2	40	13	5	1	0	1	1	61	
	k2/3	37	16	9	2	0	0	0	64	
pena	k2/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	k2/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	k2/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
fragment /kroglica /pelet	k2/1	1	0	0	0	0	0	0	1	1,00
	k2/2	1	0	0	0	0	0	0	1	
	k2/3	0	0	1	0	0	0	0	1	
Skupaj vseh oblik:	k2/1	56	7	16	0	0	0	0	79	<b>68,67</b> SD = 9,07
	k2/2	41	13	5	1	0	1	1	62	
	k2/3	37	16	10	2	0	0	0	65	

**Tabela 17:** Število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcu kamena sol 3

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	k3/1	18	4	8	1	0	1	0	32	38,67
	k3/2	26	8	7	1	0	0	0	42	
	k3/3	26	8	6	2	0	0	0	42	
pena	k3/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	k3/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	k3/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
fragment /kroglica /pelet	k3/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	k3/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	k3/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Skupaj vseh oblik:	k3/1	18	4	8	1	0	1	0	32	<b>38,67</b> SD = 5,77
	k3/2	26	8	7	1	0	0	0	42	
	k3/3	26	8	6	2	0	0	0	42	

**Tabela 18:** Število mikroplastičnih delcev na 15 g sladkorja v vzorcu sladkor 1

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	s1/1	30	13	20	3	1	0	0	67	54,33
	s1/2	30	11	3	1	0	0	0	45	
	s1/3	29	9	12	1	0	0	0	51	
pena	s1/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	s1/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s1/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
fragment /kroglica /pelet	s1/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	s1/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s1/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Skupaj vseh oblik:	s1/1	30	13	20	3	1	0	0	67	<b>54,33</b>
	s1/2	30	11	3	1	0	0	0	45	
	s1/3	29	9	12	1	0	0	0	51	

**SD = 11,37**

**Tabela 19:** Število mikroplastičnih delcev na 15 g sladkorja v vzorcu sladkor 2

Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	RU	D		
vlakno	s2/1	18	6	5	0	0	0	0	29	24,00
	s2/2	11	6	5	1	0	0	0	23	
	s2/3	9	6	4	1	0	0	0	20	
pena	s2/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	s2/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s2/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
fragment /kroglica /pelet	s2/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	s2/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s2/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Skupaj vseh oblik:	s2/1	18	6	5	0	0	0	0	29	<b>24,00</b>
	s2/2	11	6	5	1	0	0	0	23	
	s2/3	9	6	4	1	0	0	0	20	

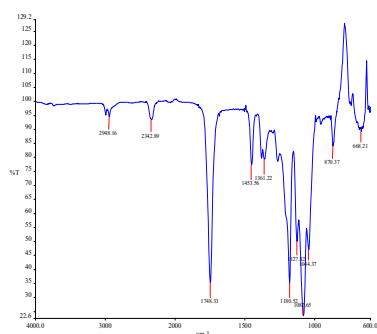
**SD = 4,58**

**Tabela 20:** Število mikroplastičnih delcev na 15 g sladkorja v vzorcu sladkor 3

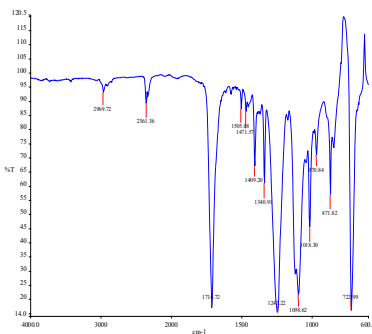
Oblika:	Vzorec:	Barva:							Skupaj vseh barv:	Povprečje:
		PB	Č	M	R	Z	R	D		
vlakno	s3/1	7	8	3	0	0	0	0	18	20,00
	s3/2	12	9	0	0	0	0	0	21	
	s3/3	15	3	3	0	0	0	0	21	
pena	s3/1	0	0	0	0	0	0	0	0	1,00
	s3/2	2	0	0	0	0	0	0	2	
	s3/3	1	0	0	0	0	0	0	1	
fragment /kroglica /pelet	s3/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	s3/2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s3/3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Skupaj vseh oblik:	s3/1	7	8	3	0	0	0	0	18	<b>20,00</b> <b>SD = 2,65</b>
	s3/2	14	9	0	0	0	0	0	23	
	s3/3	16	3	3	0	0	0	0	22	

## 4.2 Rezultati FTIR

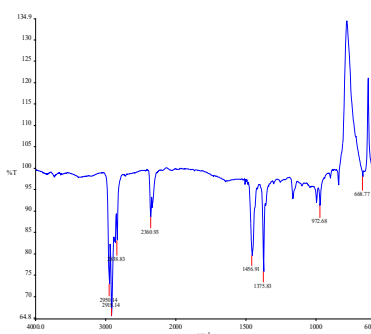
Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru smo z metodo FTIR določevali kemijsko sestavo pripravljenih membran in filtratov vzorcev (mikroplastičnih delcev), navedenih v tabelah 4–16. Grafi prikazujejo spektre; absorpcija IR svetlobe v odvisnosti od valovne dolžine.



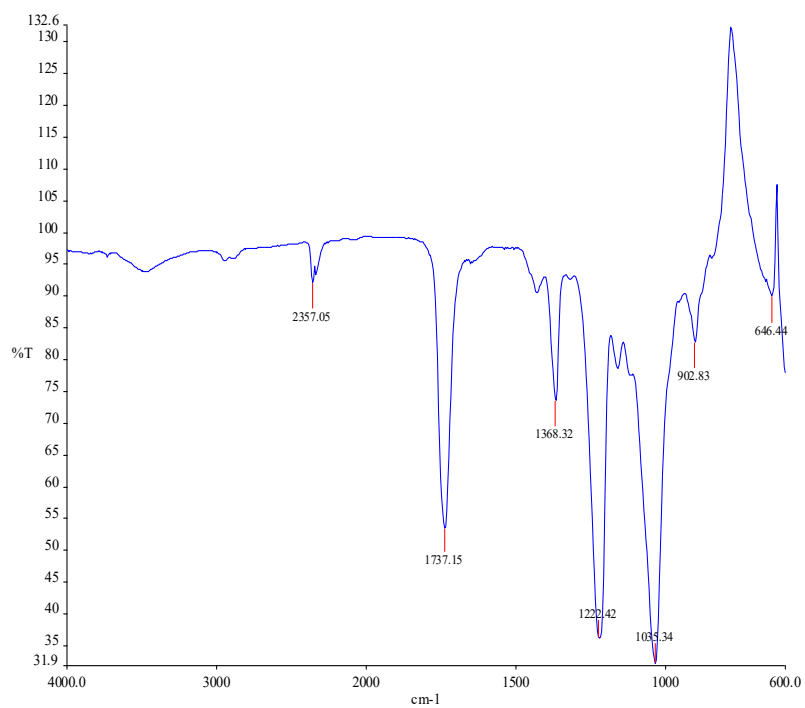
**Slika 32:** FTIR spekter vzorca PLA



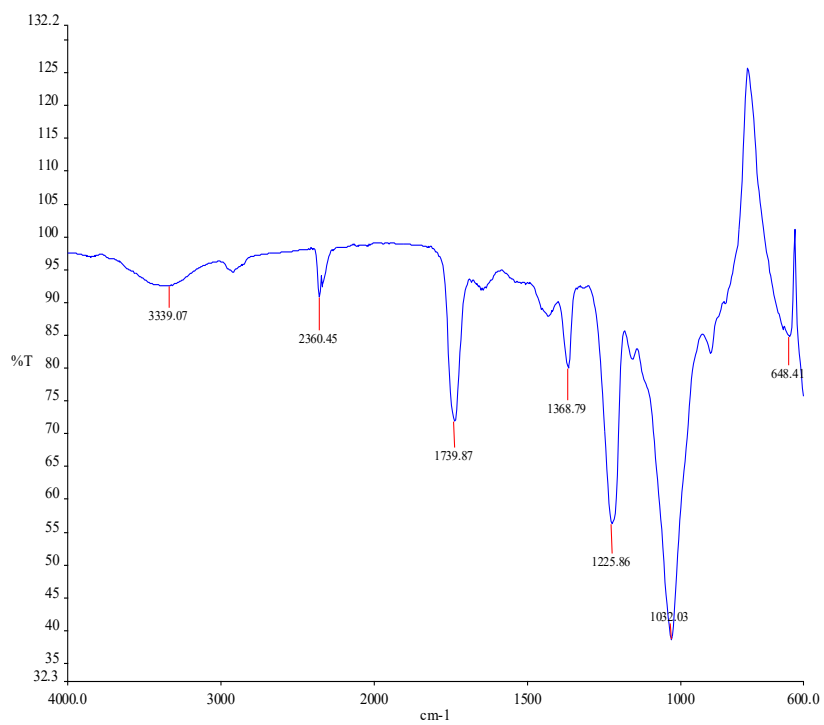
**Slika 33:** FTIR spekter vzorca PET



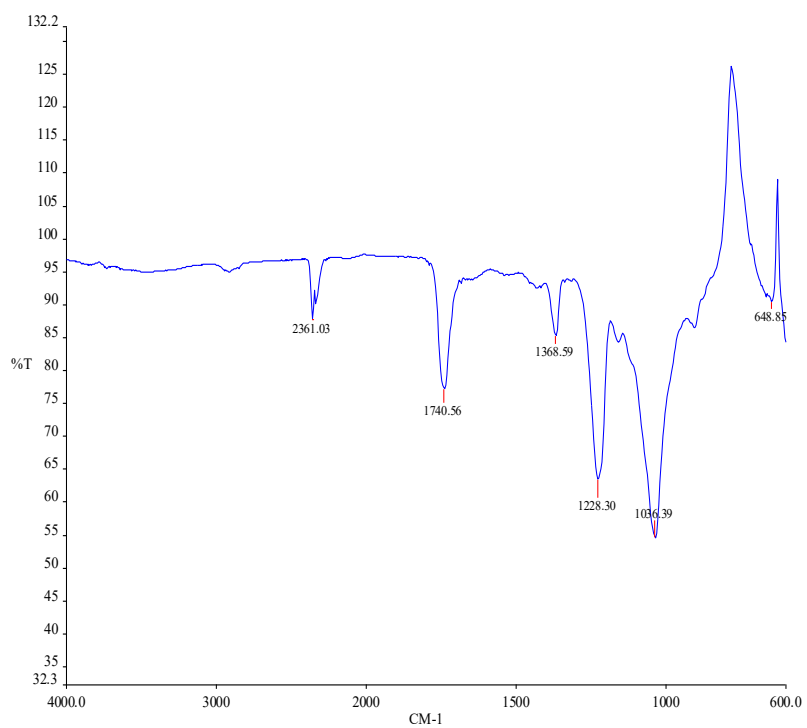
**Slika 34:** FTIR spekter vzorca PP



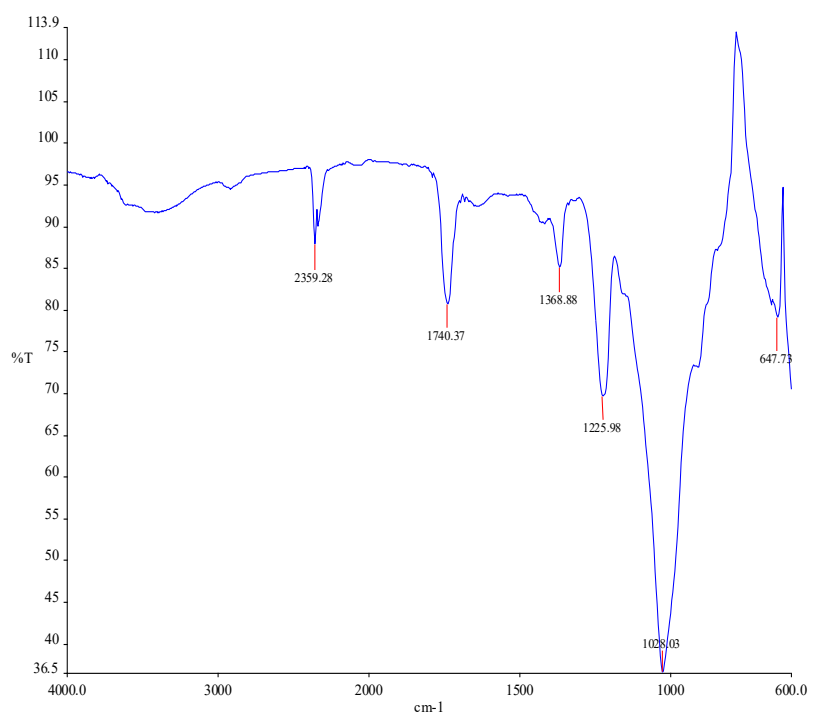
**Slika 35:** FTIR spekter referenčnega vzorca (prazna filtrirna membrana)



**Slika 36:** FTIR spekter vzorca 5/3



**Slika 37: FTIR spekter vzorca 7/3**



**Slika 38: FTIR spekter vzorca 9/1**

## 5 ANALIZA REZULTATOV

### 5.1 Število delcev mikroplastike v vzorcih morskih in rečnih solih (MRS), primerjalno

Tabela 17 prikazuje povprečno število mikroplastičnih delcev v vzorcih morskih in rečnih soli v treh analiziranih vzorcih (povprečje  $n/1$ ,  $n/2$ ,  $n/3$ ), po padajoči vrednosti delcev.

**Tabela 21:** Povprečno število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcih MRS

vzorec MRS	povprečno število delcev (na 15 g soli)
5	135,67
1	109,67
4	89,33
7	88,33
3	85,67
11	80,67
2	69,33
6	55,33
8	46,33
9	42,00
10	40,67
<b>povprečje</b>	76,64

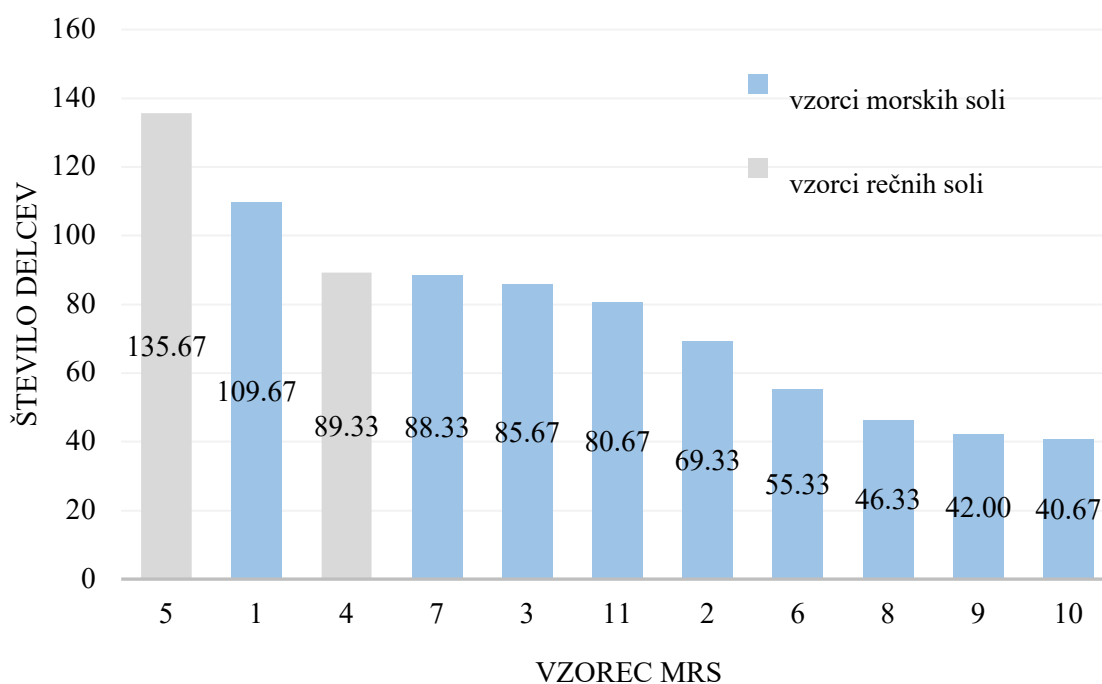
Mikroplastiko smo zaznali v vseh vzorcih. Največ delcev smo našli v vzorcu 5 (135,67 delcev/15 g soli), najmanj pa v vzorcu 10 (40,67 delcev/15 g soli).

Povprečno število mikroplastičnih delcev v vseh vzorcih MRS je  $76,64 \pm 29,82$  delcev/15 g soli.

Vzorec 4 in vzorec 5 sta soli iz slanih rek in sta po povprečnem številu mikroplastičnih delcev na 1. in 3. mestu glede na vse vzorce MRS. Peng idr., 2017, navajajo, da večina odpadkov v morju izvira iz kopenskih virov. Pri tem velja, da reke ter komunalne in industrijske odplake predstavljajo pomembno pot za vstop mikroplastičnih odpadkov v morja in oceane. Naši rezultati se skladajo s teoretičnimi izhodišči.

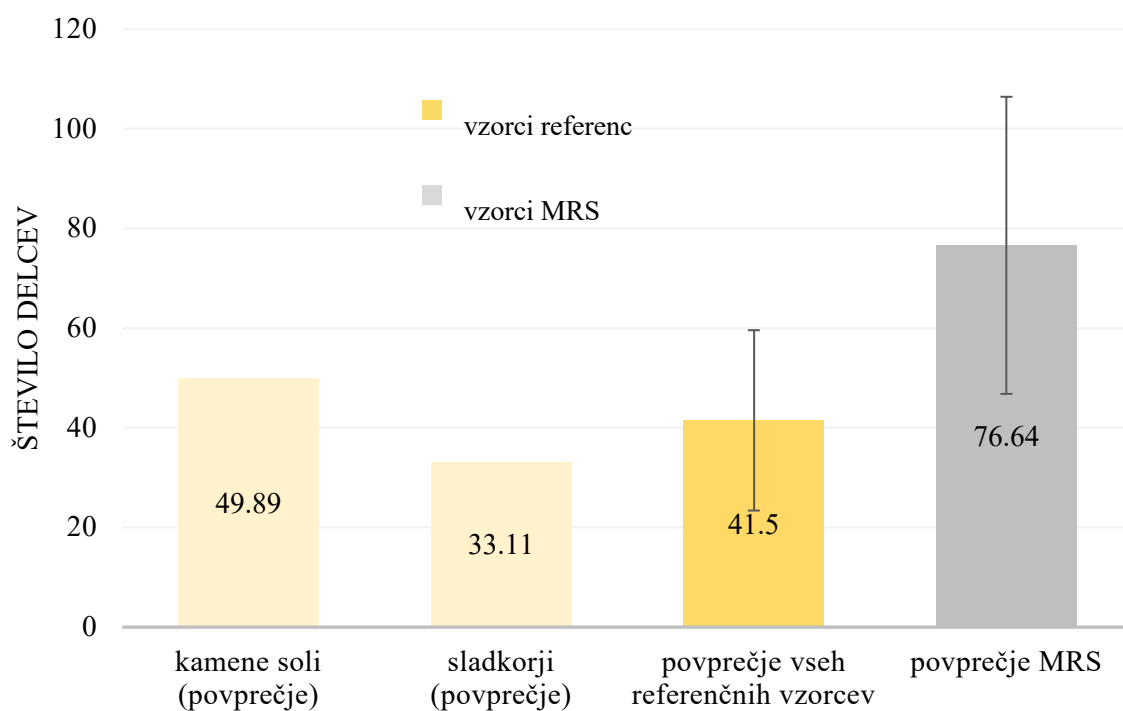
Vsak vzorec soli smo izmerili trikrat in v več primerih zaznali odstopanje ene izmed meritev. Ker sta priprava vzorcev in štetje delcev potekala na enak način, sklepamo, da je mikroplastika v soli neenakomerno porazdeljena. Zato odstopanj iz meritev nismo izključevali. Meritev nismo ponavljali, s tem smo zagotavljali naključnost vzorcev.





**Graf 1:** Povprečno število mikroplastičnih delcev na 15 g soli v vzorcih MRS (modro: morske soli, sivo: rečne soli)

Graf 2 prikazuje povprečno število mikroplastičnih delcev v 15 g soli v vseh vzorcih MRS in v referenčnih vzorcih (kamene soli in sladkorji (15 g)).

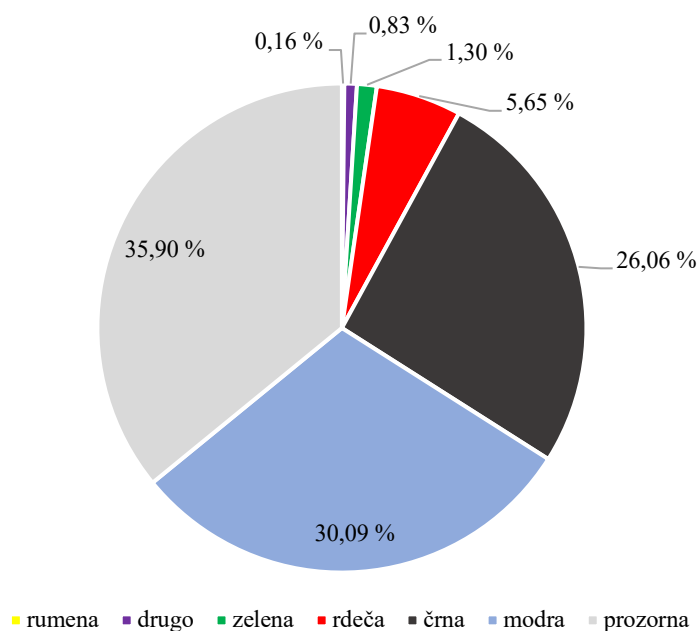


**Graf 2:** Primerjava povprečnega števila mikroplastičnih delcev v 15 g soli v vzorcih MRS z referenčnimi vzorci

Razvidno je, da je povprečno število delcev v vzorcih MRS večje kot v referenčnih vzorcih. Na podlagi tega sklepamo, da vira mikroplastike ne predstavlja samo morska oz. rečna voda, temveč tudi drugi dejavniki, prisotni ob postopku pridobivanja soli (proizvodnja, pakiranje, transport ...).

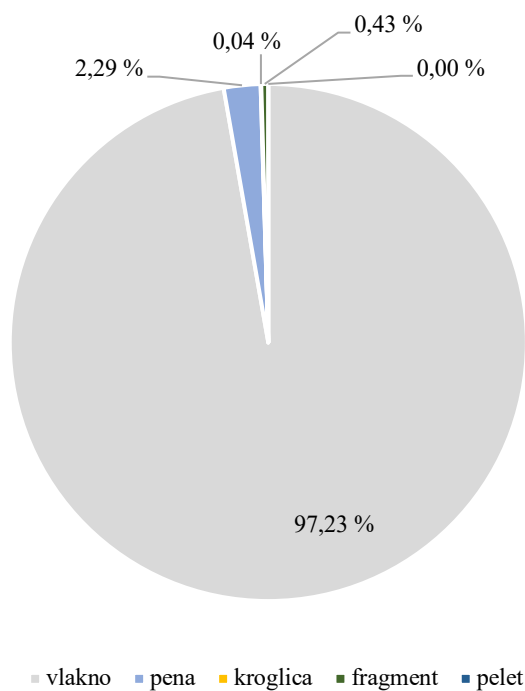
## 5.2 Barva in oblika mikroplastičnih delcev

Graf 3 prikazuje deležno zastopanost barv najdenih mikroplastičnih delcev. Prevladujejo prozorni oz. beli delci (35,90 %), sledijo modri delci (30,09 %), črni (26,06 %), rdeči (5,65 %), zeleni (1,30 %) in rumeni (0,16 %) ter delci drugih barv (0,83 %).



**Graf 3:** Barvna zastopanost najdene mikroplastike v vzorcih MRS

Iz grafa 4 je razvidna močna prevlada vlaknastih mikroplastičnih struktur (97,23 %), na drugem mestu smo po zastopanosti opazili mikroplastiko v obliki pene (2,29 %), drugih oblik je bilo zelo malo: fragmentov (0,43 %), kroglic (0,04 %) in peletov (0,00 %).



**Graf 4:** Zastopanost mikroplastičnih delcev po oblikah

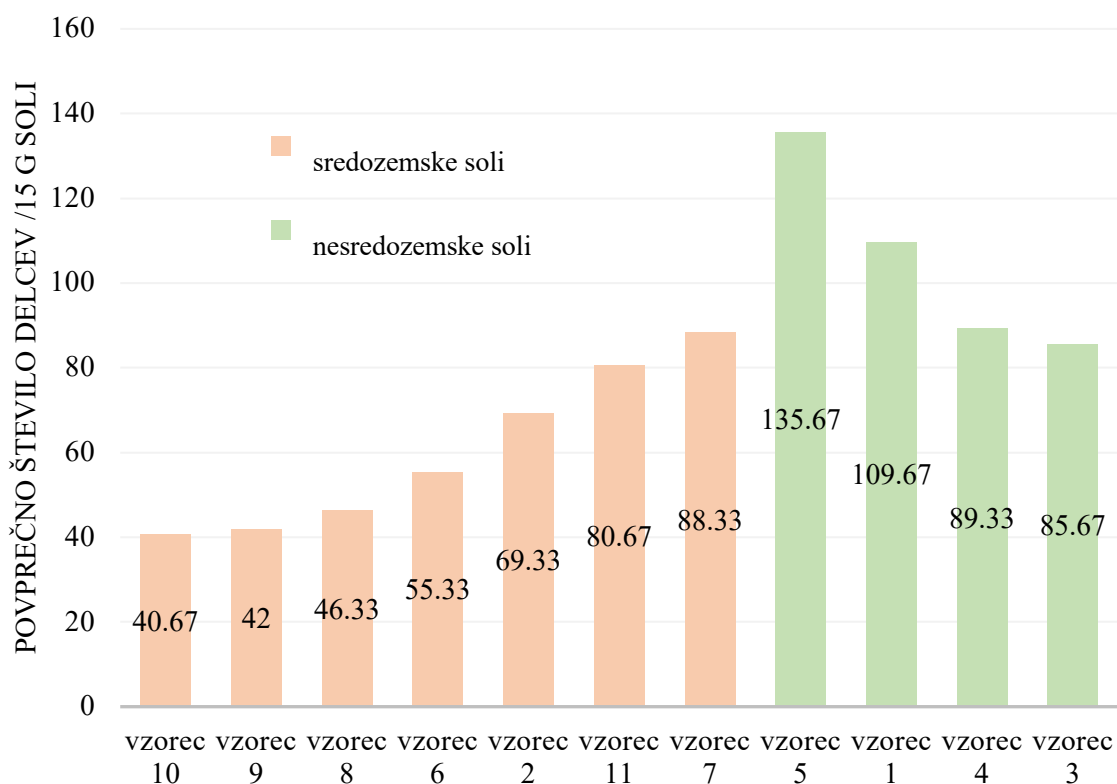
V povprečju se v 15 g v raziskavo vključene jedilne morske in rečne soli nahaja 74,52 vlaknastih delcev/15 g soli, 1,76 penastih delcev/15 g soli, 0,33 fragmentnih delcev/15 g soli, 0,03 kroglastih delcev/15 g soli. Peletov mikroplastike ni v nobenem vzorcu.

V povprečju se v vzorcih MRS nahaja 27,52 prozornih/belih, 23,06 modrih, 19,97 črnih, 4,33 rdečih, 1,00 zelenih, 0,12 rumenih delcev in 0,64 delcev drugih barv.

### 5.3 Število mikroplastičnih delcev v morski/rečni soli glede na izvor

Iz tabele 2 je razvidno, da soli v vzorcih 2, 6, 7, 8, 9, 10 in 11 izvirajo iz Sredozemskega morja. Vsi ostali vzorci vsebujejo soli, ki ne izvirajo iz Sredozemskega morja.

Graf 5 prikazuje povprečna števila delcev mikroplastike v vzorcih MRS. Vzorci so razdeljeni na dve kategoriji soli: tiste, ki izvirajo iz Sredozemskega morja so prikazane z oranžno barvo, tiste, ki ne izvirajo iz Sredozemskega morja pa z zeleno barvo.



**Graf 5:** Povprečno število mikroplastičnih delcev in izvor soli, primerjalno

V soleh, ki ne izvirajo iz Sredozemskega morja je v povprečju več mikroplastičnih delcev, kot v tistih, ki so sredozemskega izvora. Od sredozemskih soli ima samo vzorec 7 primerljivo število mikroplastičnih delcev z nesredozemskimi solmi.

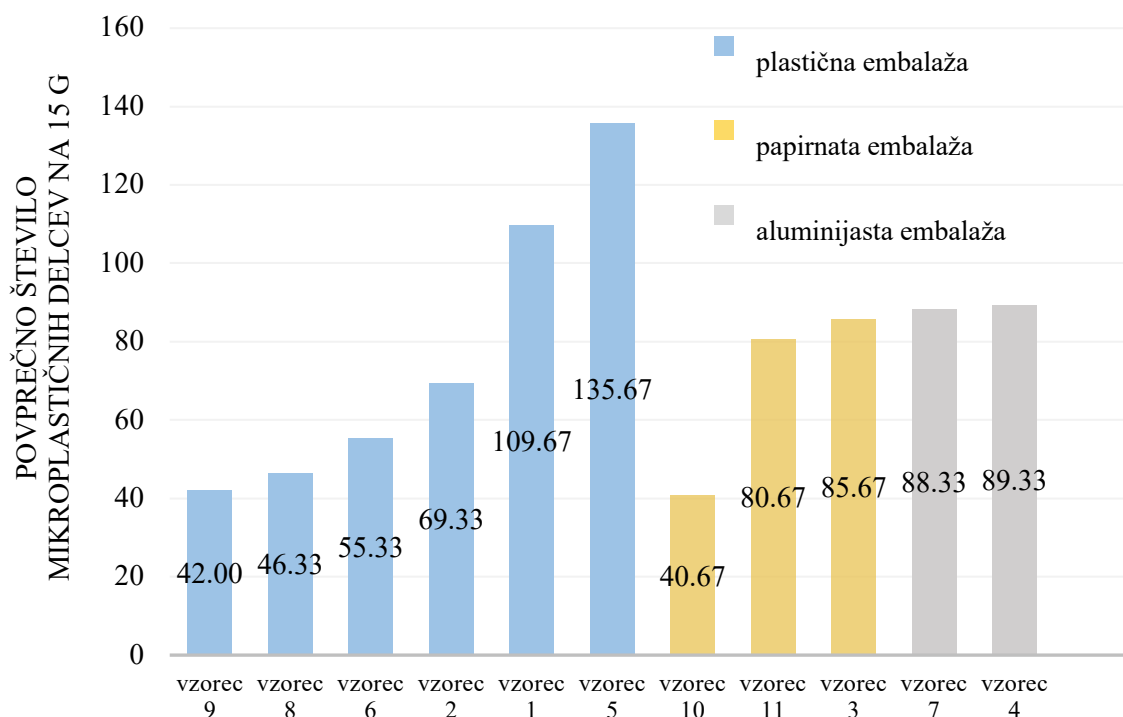
Ker so podatki o številu delcev razdeljeni v dve nominalni kategoriji, smo za ugotavljanje variance oz. različnosti kategorij izvedli test ANOVA. Rezultati testa (tabela 18) so pokazali, da sta kategoriji soli glede na število delcev statistično različni. Vrednost P (*P-value*) je manjša od 0,05. Test je dokazal varianco med kategorijama, kar pomeni, da je število mikroplastičnih delcev statistično značilno različno glede na izvor soli.

**Tabela 22:** ANOVA test za primerjavo števila mikroplastičnih delcev v solih, pridobljenih iz Sredozemskega morja in solih, ki niso pridobljene iz Sredozemskega morja

SKUPNO				
Skupina	Število	Vsota	Povprečje	Varianca
Sredozemsko morje	7	422,66	60,38	370,37
Drug izvor	4	420,34	105,09	527,21

ANOVA						
Variacija	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Med skupinami	5087,19	1	5087,19	12,04	<b>0,01</b>	5,12
Znotraj skupine	3803,83	9	422,65			
Skupno	8891,01	10				

#### 5.4 Število mikroplastičnih delcev v morski/rečni soli glede na embalažo



**Graf 6:** Povprečno število mikroplastičnih delcev v vzorcih MRS glede na material embalaže

Iz grafa 6 razberemo povprečno število mikroplastičnih delcev glede na material embalaže, v kateri je sol pakirana. Modra barva prikazuje kategorijo plastične, rumena papirnate in siva aluminijaste embalaže. V povprečju največ mikroplastike vsebuje sol v aluminijasti embalaži ( $88.83 \pm 0,71$  delcev/15 g soli), manj delcev v povprečju vsebujejo soli v plastičnih embalažah ( $76,39 \pm 37,95$  delcev/15 g soli), najmanj pa soli v papirnatih embalažah ( $69,00 \pm 24,66$  delcev/15 g soli).

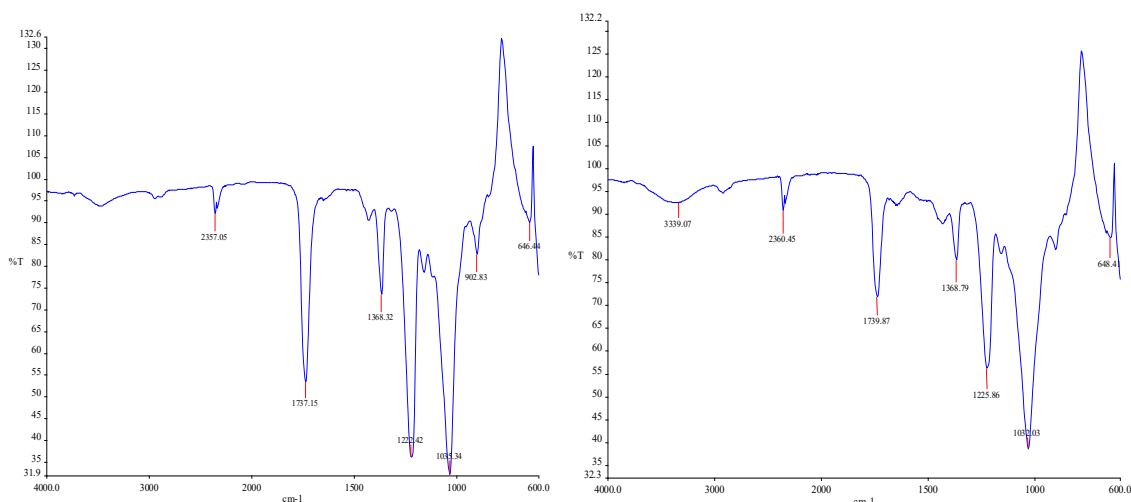
**Tabela 23:** ANOVA test za primerjavo števila mikroplastičnih delcev v soleh, pakiranih v plastičnih in neplastičnih embalažah

SKUPNO				
Skupina	Število	Vsota	Povprečje	Varianca
plastična embalaža	6	458,33	76,39	1440,26
neplastična embalaža	5	384,67	76,93	422,22

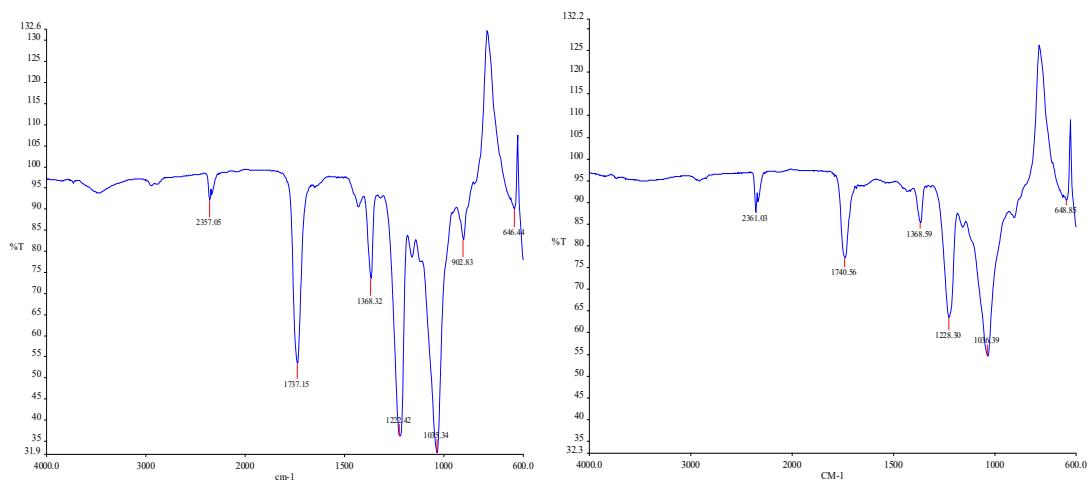
ANOVA						
Variacija	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Med skupinami	0,81	1	0,81	0,001	<b>0,98</b>	5,12
Znotraj skupine	8890,20	9	987,80			
Skupno	8891,04	10				

Izvedli smo ANOVA test za varianco (tabela 19) in preverili, ali je število mikroplastičnih delcev v soli odvisno od materiala embalaže, v kateri je sol pakirana. Primerjali smo dve nominalni spremenljivki (kategoriji): število delcev v soleh, pakiranih v plastični embalaži, ter število delcev v soleh, pakiranih v papirnati in aluminijasti embalaži. Vrednost P (*P-value*) je 0,98. Ker vrednost *P-value* = 1,00 predstavlja najnižjo stopnjo statistično značilne različnosti podatkov, je analiza s testom ANOVA dokazala, da kategoriji materiala embalaže nista statistično značilno različni. Zaključimo lahko, da material embalaže nima značilnega vpliva na število mikroplastičnih delcev v soli.

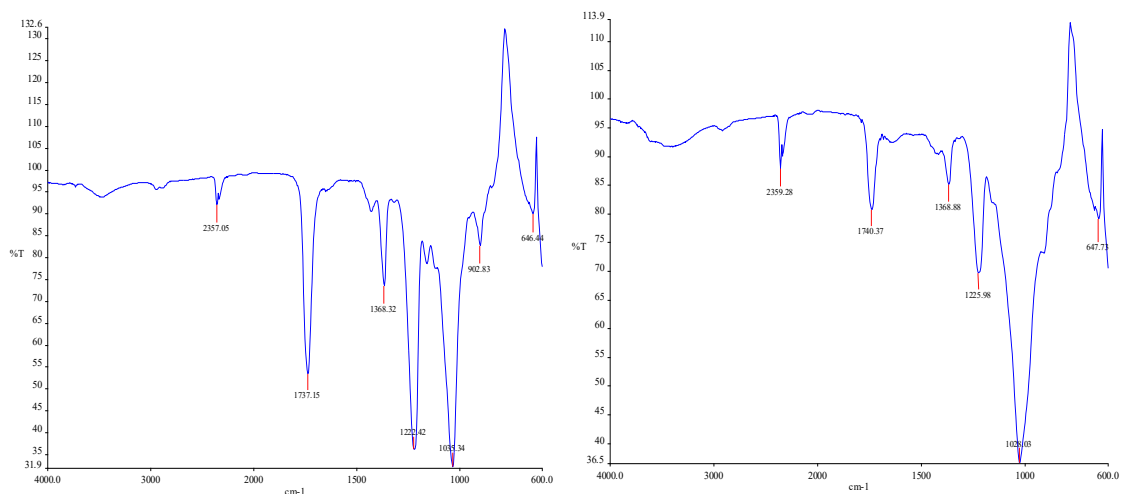
### 5.5 Določanje kemijske sestave mikroplastičnih delcev z metodo FTIR



**Slika 39:** FTIR spekter referenčnega vzorca (prazna filtrirna membrana) in vzorca 5/3



**Slika 40:** FTIR spekter referenčnega vzorca (prazna filtrirna membrana) in vzorca 7/3



**Slika 41:** FTIR spekter referenčnega vzorca (prazna filtrirna membrana) in vzorca 9/1

Temena grafov FTIR spektrov referenčnega vzorca in vseh drugih vzorcev se nahajajo na enakih valovnih dolžinah. Razlikujejo se le v intenziteti absorpcije, ki pri odčitavanju kemijske sestave delca nima pomena.

Metode FTIR nismo uspeli uspešno opraviti. Predpostavljamo, da so mikroplastični delci bili pod mejo detekcije. Niso pokrivali dovolj velike površine, zato smo v spektrih dobili enake rezultate kot ob merjenju referenčnega vzorca (prazne filtrirne membrane).

## 6 RAZPRAVA IN SKLEPI

Predpostavljali smo, da je v jedilni morski in rečni soli v povprečju prisotnih več mikroplastičnih delcev kot v jedilni kameni soli. Z našo raziskavo smo ugotovili, da je v kamenih soleh v povprečju prisotnih  $49,89 \pm 16,37$  delcev/15 g soli. V vzorcih morske in rečne soli smo v povprečju zaznali  $76,64 \pm 29,82$  delcev/15 g soli. Iz tega lahko povzamemo, da smo sklepali pravilno. **Hipotezo 1 lahko potrdimo.**

Tudi Kapukotuwa in sodelavci (2021) so zaznali delce mikroplastike v kameni soli. Delce so iskali tudi v morski soli in jih v povprečju našli več kot v kameni soli. Raziskava je bila opravljena na soleh iz Šrilanke.

Glede na rezultate meritev na kamenih soleh in sladkorjih, kjer smo v njunem skupnem povprečju zaznali  $41,50 \pm 18,10$  delcev/15 g soli, sklepamo, da vir mikroplastike v soli ne predstavlja le onesnaženo okolje, iz katerega sol pridobivamo, ampak tudi proces proizvodnje končnega izdelka.

V hipotezi 2 smo predvidevali, da bomo našli največ prozornih mikroplastičnih delcev v obliki fragmentov. Ugotovili smo, da je v vzorcih morskih in rečnih soli najbolj zastopana oblika vlaken (97,23 % vseh zaznanih delcev). Prevladovali so delci prozorne/bele barve (35,90 % vseh zaznanih delcev), kar se sklada z našimi predvidevanji. **Hipotezo 2 ovržemo**, saj oblika fragmentov ni bila najbolj zastopana.

Nithin idr., 2021, prav tako poročajo o vlaknih kot najpogostejših oblikah mikroplastičnih delcev v morski soli. Zaznali so delce vseh barv, kot smo jih zaznali mi.

V hipotezi 3 smo proučevali, kako se razlikuje število mikroplastičnih delcev med solmi sredozemskega izvora in solmi, ki ne izvirajo iz Sredozemskega morja. Ugotovili smo, da se v soleh iz Sredozemskega morja v povprečju nahaja manj mikroplastičnih delcev. Z ANOVA testom za varianco smo dokazali, da sta spremenljivki statistično značilno različni ( $P\text{-value} \leq 0,05$ ). Iz tega sledi, da se število mikroplastičnih delcev razlikuje med solmi iz Sredozemskega morja ter tistimi, ki ne izvirajo iz Sredozemskega morja. **Hipotezo 3 potrdimo.**

V hipotezi 4 smo predpostavili, da bodo soli, pakirane v plastični embalaži, v povprečju vsebovale več mikroplastičnih delcev. Ugotovili smo, da se v soli v plastični embalaži v povprečju nahaja  $76,39 \pm 37,95$  delcev/15 g soli. V soli v papirnati embalaži smo v povprečju



zaznali  $69,00 \pm 24,66$  delcev/15 g soli. V soli, pakirani v aluminijasti embalaži, pa  $88,33 \pm 0,71$  delcev/15 g soli. Največ delcev smo opazili v soleh, pakiranih v aluminiju. Iz tega je moč zaključiti, da je treba pri količini mikroplastike v soli upoštevati več faktorjev in da embalaža, v kateri je sol pakirana, ne predstavlja edinega vira mikroplastike. **Hipotezo 4 ovržemo.**

Raziskavo bi lahko razširili, če bi imeli dostop do naprednejše naprave za FTIR spektrofotometrijo, preko katere bi lahko natančno določili spekter željenega delca in njegovo velikost. Na žalost so bile naprave na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru še v procesu vzpostavitve in jih nismo mogli uporabiti.

Poleg velikosti in kemijske sestave bi se v nadaljnjih raziskavah lahko osredotočili še na maso mikroplastičnih delcev v posameznih vzorcih soli. Eno vrsto soli bi lahko proučevali tudi skozi daljše časovno obdobje in primerjali rezultate po obdobjih (letni časi, serija proizvoda, vrsta pakiranja, velikost pakiranja ...). Določili bi lahko delež mikroplastike, ki se v sol sprosti ob proizvodnji, in delež mikroplastike, ki se v soli pojavi zaradi onesnaženosti okolja, iz katerega sol pridobivajo. V raziskave bi lahko vključili še več vzorcev različnih soli, morda naredili primerjavo še več različnih morij/rek.

## 7 ZAKLJUČEK

Tekom raziskovalne naloge smo spoznali problematiko mikroplastike. Rezultati so nas negativno presenetili. Nismo pričakovali, da bomo v solih zaznali tolikšno število mikroplastičnih delcev. Sklepi in ugotovitve se skladajo z dejstvom, da se globalno pridelava vedno več plastike in plastičnih odpadkov, s tem tudi mikroplastike. To predstavlja velik okoljski problem. Sol namreč v telo vnašamo neposredno in v večjih količinah, saj je veliko industrijsko pripravljenih živil soljenih, sol pa je uporabna na mnogo področjih (za konzerviranje živil, kot začimba, kot vir natrija, klora in drugih mineralov ...). Mikroplastika ima lahko na kvaliteto življenja velik vpliv, njeni dolgoročni vplivi na zdravje in okolje pa še niso popolnoma znani. Za rešitev problematike bi bilo potrebno temeljito ukrepati. Prvi ukrep k dolgoročnemu reševanju problematike bi bil deliti naše izsledke in ljudi ozaveštrati, da se mikroplastika nahaja dobesedno povsod in predstavlja veliko večji problem, kot si predstavljamo; predvsem zaradi dejstva, da je ne vidimo, ker je dovolj majhna. Zadali smo si cilj, da bomo za začetek napisali članek za šolsko revijo, ljudi o problematiki ozaveščali preko radia in posneli prispevek za šolsko oddajo.

Med raziskovanjem smo se seznanili z veliko novimi metodami raziskovanja in se naučili dobrega skupinskega dela.

## Seznam virov in literature

- Andrady, A.L. (2017). *The plastic in microplastics: A review*, Marine Pollution Bulletin. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>
- Baheti, P. *British Plastics Federation: How Is Plastic Made? A Simple Step-By-Step Explanation* (online). 2021. (citirano 29. 12. 2021). Dostopno na naslovu: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/how-is-plastic-made.aspx#%5B1%20NEW>
- Besbelli, N. in Zastenskaya, I. (ur.). (2014). *Identification of risks from exposure to endocrine-disrupting chemicals at the country level*. World Health Organization. Dostopno na: <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/identification-of-risks-from-exposure-to-endocrine-disrupting-chemicals-at-the-country-level>
- Cole, M., Galloway, T. S., Halsband, C. in Lindeque, P. (2011). *Microplastics as contaminants in the marine environment: A review*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Cunningham, E. M., Ehlers, S. M., Dick, J. T. A., Sigwart, J. D., Linse, K., Dick, J. J. in Kiriakoulakis, K. (2020). High Abundances of Microplastic Pollution in Deep-Sea Sediments: Evidence from Antarctica and the Southern Ocean. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c03441>
- Endocrine Society. (2020). *Endocrine-Disrupting Chemicals: Plastics, EDCs & Health: Authoritative Guide*. Dostopno na: <https://www.endocrine.org/topics/edc/plastics-edcs-and-health#1>
- Endocrine Society. (b. d.). *Endocrine-Disrupting Chemicals: Why You Should Care*. Dostopno na: <https://www.endocrine.org/topics/edc/why-you-should-care>
- Esposito, G., Prearo, M., Renzi, M., Anselmi, S., Cesarani, A., Barcelò, D., Dondo, A. in Pastorino, P. (2021). *Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of benthic by-catches from an eastern Mediterranean deep-sea environment*. Marine Pollution Bulletin. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113231>
- Fytianos, G., Kyzas, G. Z., Ioannidou, E., Thysiadou, A. in Mitropoulos, A. C. (2021). *Microplastics in Mediterranean Coastal Countries: A Recent Overview*. Journal of Marine Science and Engineering. <http://dx.doi.org/10.3390/jmse9010098>
- GESAMP. *Sources, fate & effects of microplastics in the marine environment – a global assessment: Microplastics in the ocean*. (2015). Dostopno na naslovu: [http://www.gesamp.org/site/assets/files/1720/24472\\_gesamp\\_leaflet\\_pq.pdf](http://www.gesamp.org/site/assets/files/1720/24472_gesamp_leaflet_pq.pdf)
- Gola, D., Tyagi, P. K. Arya, A., Chauhan, N., Agarwal, M., Singh, S. K. in Gola, S. (2021). *The impact of microplastics on marine environment: A review*. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100552>
- Gregersen, E. et al. *Encyclopedia Britannica, Inc.: Polymer*. (online). 22. 10. 2021. (citirano: 28. 12. 2021). Dostopno na naslovu: <https://www.britannica.com/science/polymer>
- Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E. in Purnell, P. (2017). *An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and*

- environmental impact during their use, disposal and recycling.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014>
- Humar Jurič, T., Orhini Valjavec, T., Cerovšek, M. in Samec, J. (2020). *Kemikalije*. Republika Slovenija, Ministrstvo za zdravje. Dostopno na: <https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Publikacije/Kemikalije.pdf>
  - IUCN: International Union for Conservation of Nature (november, 2020). *Issues brief: Marine plastic pollution*. Dostopno na naslovu: <https://www.iucn.org/resources/issues-briefs/marine-plastic-pollution>
  - Jiang, J. (2017). *Occurrence of microplastics and its pollution in the environment: A review*. Sustainable Production and Consumption. <http://dx.doi.org/10.1016/j.spc.2017.11.003>
  - Kershaw, P. J. in Rochman, C. M. (ur.). (2016). *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment*. GESAMP. Dostopno na naslovu: <http://www.gesamp.org/site/assets/files/1720/rs93e.pdf>
  - Koutnik, V. S., Leonard, J., Alkidim, S., DePrima, F. J., Ravi, S., Hoek, E. M. V. in Mohanty, S. K. (2021). *Distribution of microplastics in soil and freshwater environments: Global analysis and framework for transport modeling*. Environmental pollution. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116552>
  - Kapukotuwa, R. W. M. G. K., Jayasena, N., Weerakoon, K. C., Abayasekara, C. I. in Rajakaruna, R. S. (2021). High levels of microplastics in commercial salt and industrial salterns in Sri Lanka. *Marine Pollution Bulletin*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113239>
  - Li, C., Zhu, L., Wang, X., Liu, K. in Li, D. (2022). *Cross-oceanic distribution and origin of microplastics in the subsurface water of the South China Sea and Eastern Indian Ocean*. *Science of The Total Environment*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150243>
  - Li, J., Liu, H. in Paul Chen, J. (2017). *Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection*, *Water Research*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
  - Lusher, A. L., Hollman, P. C. H. in Mendoza-Hill, J.J. (2017). *Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety*. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* (št. 615). Rim, Italija.
  - Masura, J., Baker, J., Foster, G. in Arthur, C. (2015). *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. NOAA Marine Debris Division. [https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/noaa\\_microplastics\\_methods\\_manual.pdf](https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/noaa_microplastics_methods_manual.pdf)
  - Nithin, A., Sundaramanickam, A., Surya, P., Sathish, M., Soundharapandiyam, B. in Balachandar, K. (2021). Microplastic contamination in salt pans and commercial salts – A baseline study on the salt pans of Marakkanam and Parangipettai, Tamil Nadu, India. *Marine Pollution Bulletin*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112101>
  - Pan, Z., Liu, Q., Sun, X., Li, W., Zou, Q., Cai, S. in Lin, H. (2021). *Widespread occurrence of microplastic pollution in open sea surface waters: Evidence from the*

mid-North Pacific Ocean. *Gondwana Research*.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2021.10.024>

- Peng, J., Wang, J. in Cai, L. (2017). *Current Understanding of Microplastics in the Environment: Occurrence, fate, risks, and what we should do*. *Integrated Environmental Assessment and Management*. <http://dx.doi.org/10.1002/ieam.1912>
- Plastics New Zealand. (b. d.). *How are Plastics Made?* Dostopno na: <https://www.plastics.org.nz/environment/educational-resources/general-plastics-resources/how-are-plastics-made>
- Ralston, R. H., Wood, F. O. in Hills, J. M. *Encyclopedia Britannica, Inc.*: Salt. (online). 29. 7. 2021. (citirano: 12. 2. 2022). Dostopno na naslovu: <https://www.britannica.com/science/salt>
- Rodriguez, F. *Encyclopaedia Britannica, Inc.*: Plastic (online). 2021. (citirano 28. 12. 2021). Dostopno na naslovu: <https://www.britannica.com/science/plastic>
- Simon-Sánchez, L., Grelaud, M., Franci, M. in Ziveri, P. (2021). *Are research methods shaping our understanding of microplastic pollution? A literature review on the seawater and sediment bodies of the Mediterranean Sea*. *Environmental Pollution*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118275>
- Škornik, I., Gogala, A. (2008). *Spoznajmo soline*. (1. izd.). Portorož: Soline.
- Turner, A., Ostle, C. in Wootton, M. (2021). *Occurrence and chemical characteristics of microplastic paint flakes in the North Atlantic Ocean*. *Science of The Total Environment*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150375>
- UNEP. *Single-use Plastics: A Roadmap for Sustainability*. (2018). [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25496/singleUsePlastic\\_sustainability.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25496/singleUsePlastic_sustainability.pdf)
- Wang, T., Li, B., Zou, X., Wang, Y., Li, Y., Xu, Y., Zhang, C. in Yu, W. (2019). *Emission of primary microplastics in mainland China: Invisible but not negligible*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2019.06.042>
- Wright, S. L., Thompson, R. C. in Galloway, T. S. (2013). *The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Ye, L., Guo, J. in Ge, R. (2014). *Vitamins and Hormones. Environmental Pollutants and Hydroxysteroid Dehydrogenases* (str. 349-389). Elsevier Inc. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-800095-3.00013-4>

## Seznam virov fotografij

- Rios, L. (2015). *Characterisation of microplastics and toxic chemicals extracted from microplastic samples from the North Pacific Gyre*. *Environ. Chem. Environmental Chemistry*. <http://dx.doi.org/10.1071/EN14236>
- Sascha M. Klein, I. K. Dimzon, Jan P. Eubeler in T. Knepper. (2018). *Analysis, Occurrence, and Degradation of Microplastics in the Aqueous Environment*.

- Cózar, A., Sanz-Martín, M., Martí, E., González-Gordillo, J. I., Ubeda, B., Gálvez, J. Á., Irigoien, X. in Duarte, C. M. (2015). Plastic accumulation in the Mediterranean sea. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0121762>
- Feel&Taste. (2019). [online]. Dostopno na: <https://www.feel-taste.info/si/ponudniki/8244->.
- Setyaningrum, D., Riyanto, S. in Rohman, A. (2013). Analysis of corn and soybean oils in red fruit oil using FTIR spectroscopy in combination with partial least square. *International Food Research Journal*.