

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Centa, M., 2016. Ugotavljanje koncentracij mikroplastike v slovenskih vodotokih in jezerih. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Panjan, J., somentor Drev, D.): 115 str.

Datum arhiviranja: 29-06-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Centa, M., 2016. Ugotavljanje koncentracij mikroplastike v slovenskih vodotokih in jezerih. M.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Panjan, J., co-supervisor Drev, D.): 115 pp.

Archiving Date: 29-06-2016

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

Jamova 2, p.p. 3422
1115 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



**MAGISTRSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
HIDROTEHNIČNA SMER**

Kandidat:

MITJA CENTA, univ. dipl. inž. grad.

**UGOTAVLJANJE KONCENTRACIJ MIKROPLASTIKE
V SLOVENSКИH VODOTOKIH IN JEZERIH**

Magistrsko delo štev.: 257

**ASSESSMENT OF MICROPLASTIC
CONCENTRATIONS IN SLOVENIAN WATERCOURSES
AND LAKES**

Master of Science Thesis No.: 257

Mentor:

izr. prof. dr. Jože Panjan

Predsednik komisije:

prof. dr. Matjaž Četina

Somentor:

doc. dr. Darko Drev

Člani komisije:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

izr. prof. dr. Andreja Žgajnar Gotvajn

Ljubljana, 16. junij 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Mitja Centa izjavljam, da sem avtor magistrskega dela z naslovom »Ugotavljanje koncentracij mikroplastike v slovenskih vodotokih in jezerih«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Mitja Centa

Ljubljana, 16. junij 2016

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	628.4.043:691.175:614.7:351.777.6 Ljubljana: 351.777 Blejsko jezero
Avtor:	Mitja Centa, univ. dipl. inž. grad.
Mentor:	izr. prof. dr. Jože Panjan
Somentor:	doc. dr. Darko Drev
Naslov:	Ugotavljanje koncentracij mikroplastike v slovenskih vodotokih in jezerih
Tip dokumenta:	magistrsko delo
Obseg in oprema:	115 str., 28 pregl., 5 graf., 64 sl., 1 en., 1 pril.
Ključne besede:	mikroplastika, epi-neustonska mreža, bencinska črpalka za vodo, Van Veen-ovo grabilo, Blejsko jezero, Ljubljana, povprečna koncentracija mikroplastike

Izvleček

V magistrskem delu smo s tremi različnimi metodami po celotnem vodnem stolpcu vzorčili mikroplastiko na reki Ljubljani in Blejskem jezeru. Razvili in preizkusili smo metodologijo vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo po vodnem stolpcu ter ugotavljali koncentracije mikroplastike oz. mezoplastike. V delu smo opisali zakonodajo o plastičnih odpadkih v Evropi in Sloveniji, glavne značilnosti plastike, vpliv plastičnih odpadkov na vodno okolje in vpliv plastike in mikroplastike na ekosistem in človeka. S tremi metodami vzorčenja: a) gladina – epi-neustonska mreža, b) med gladino in dnem – bencinska črpalka za vodo, c) sediment – Van Veen-ovo grabilo, smo skupaj dobili 38 vzorcev, ki smo jih v laboratoriju z različnima metodama glede na metodo vzorčenja natančno pregledali in izločili najdeno mikroplastiko oz. mezoplastiko. Posebej za mikroplastiko in posebej za mezoplastiko smo med seboj primerjali rezultate vzorčenj s posamezno metodo tako na Ljubljani kot tudi Blejskem jezeru in rezultate vzorčenj posameznih metod med Ljubljano in Blejskim jezerom. Iz izračunov smo ugotovili, da je mikroplastika prisotna na Ljubljani in Blejskem jezeru po celotnem vodnem stolpcu, največ pa jo je na gladini. Rezultati magistrskega dela so pokazali, da je mikroplastika v slovenskih vodotokih in jezerih že prisotna in predstavlja potencialni okoljski problem. Prav tako so rezultati pokazali, da je bencinska črpalka za vodo z uporabljeno metodologijo za vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu bolj primerna za vzorčenje mikroplastike na jezerih kot pa na vodotokih. Primerjava rezultatov vzorčenj mikroplastike z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani in Blejskem jezeru z rezultati vzorčenj z epi-neustonsko mrežo na nekaterih vodotokih in jezerih po svetu je pokazala, da so dobljeni rezultati primerljivi z ostalimi po svetu.

BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION

- UDC:** 628.4.043:691.175:614.7:351.777.6 Ljubljana: 351.777 Blejsko jezero
- Author:** Mitja Centa, univ. dipl. inž. grad.
- Supervisor:** assoc. prof. Jože Panjan, Ph.D.
- Cosupervisor:** assist. prof. Darko Drev, Ph.D.
- Title:** Assessment of Microplastic Concentrations in Slovenian Watercourses and Lakes
- Document type:** M. Sc. Thesis
- Scope and tools:** 115 p., 28 tab., 5 graph, 64 fig., 1 eq., 1 app.
- Keywords:** microplastics, epi-neuston net, petrol water pump, Van Veen grab, Lake Bled, Ljubljana River, average microplastic concentration

Abstract

This master thesis focuses on microplastic sampling in the Ljubljana River and Lake Bled using three different methods through the entire water column. We have developed and tested the sampling methodology by a petrol water pump through the water column for assessing microplastic and mesoplastic concentrations. Waste legislation and regulations in Slovenia and in Europe, the main properties of plastic, the impact of plastic waste on the water environment and the impact of plastic and microplastics on the ecosystem and on humans have also been discussed. 38 samples were gathered using three sampling methods: a) surface – epi-neuston net, b) between the surface and the bottom – petrol water pump, c) sediment – Van Veen grab. The samples were examined thoroughly in a laboratory by two different methods according to the sampling method. Microplastics or mesoplastics were separated from the samples. Microplastic or mesoplastic sampling results obtained throughout the methods used in sampling in the Ljubljana River and Lake Bled were first compared separately. Furtheron, the results of the sampling methods between the Ljubljana and Lake Bled were analysed. We have found out that microplastics can be identified in the Ljubljana as well as in Lake Bled through the entire water column, mostly on the surface. On the basis of the results of this research, it can be concluded that microplastics are already present in Slovenian watercourses as well as in lakes which leads to potential ecological problems. The results show that a petrol water pump and its sampling methodology through the water column is more suitable for microplastic sampling in lakes than in watercourses. The comparison of the microplastic sampling results obtained by an epi-neuston net in the Ljubljana and Lake Bled with the sampling results in certain watercourses and lakes around the world demonstrates that the results obtained in Slovenia are comparable to the ones around the world.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju magistrskega dela se zahvaljujem mentorju prof. dr. Jožetu Panjanu in somentorju doc. dr. Darku Drevu.

Za strokovno pomoč in nasvete pri izdelavi magistrskega dela se najlepše zahvaljujem tudi bivšim sodelavcem Inštituta za vode Republike Slovenije in sedanjim sodelavcem Direkcije Republike Slovenije za vode.

Izredna zahvala gre moji družini, še posebno ženi Mateji, ter staršem, ki so me skozi ves študij in nastajanje magistrskega dela podpirali in verjeli v moj uspeh.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA.....	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
1.1 Splošno.....	1
1.2 Namen, cilji in hipoteza dela.....	2
2 ZAKONODAJA O PLASTIČNIH ODPADKIH V EVROPI IN SLOVENIJI.....	4
3 GLAVNE ZNAČILNOSTI PLASTIKE	7
3.1 Zgodovina nastanka plastičnih materialov	7
3.2 Osnovne kemične karakteristike plastike.....	8
3.3 Delitev polimernih gradiv	10
3.4 Količine in ravnanje z odpadno embalažo v tujini in Sloveniji	12
4 VPLIV PLASTIČNIH ODPADKOV NA VODNO OKOLJE	14
4.1 Glavni viri plastike in poti gibanja plastike	14
4.2 Delitev plastičnih odpadkov po velikosti	16
4.3 Razpad in razgradnja plastike	20
4.4 Porazdelitev mikroplastike po vodnem stolpcu in vpliv vzgona.....	21
4.5 Vplivi plastike in mikroplastike na ekosistem in človeka	23
4.5.1 Ekonomski in socialni vplivi	23
4.5.2 Okoljski vplivi	24
4.5.2.1 Zapletanje v plastične odpadke.....	24
4.5.2.2 Potovanja invazivnih vrst s plastičnimi odpadki	27
4.5.2.3 Zaužitje plastike in mikroplastike.....	28
4.5.3 Ekotoksikološki vplivi.....	31
4.5.3.1 Sproščanje aditivov.....	31
4.5.3.2 Adsorbicija in kasnejši izpust obstojnih organskih onesnaževal	32
5 MIKROPLASTIKA V EKOSISTEMIH CELINSKIH VODA	33
5.1 Vodotoki	34
5.1.1 Dosedanje študije o mikroplastiki v vodotokih	34
5.1.2 Dosedanje študije o mikroplastiki v rečnih sedimentih	38
5.1.3 Dosedanje študije o mikroplastiki v rečnih organizmih	38
5.2 Jezera	39

5.2.1	Dosedanje študije o mikroplastiki v jezerih	39
5.2.2	Dosedanje študije o mikroplastiki na obalah jezer	41
6	METODOLOGIJA OBSTOJEČIH VZORČENJ MIKROPLASTIKE	44
6.1	Vzorčenje mikroplastike na morski gladini.....	44
6.1.1	Vzorčenja mikroplastike na morski gladini na slovenskem morju in ocene	45
6.2	Vzorčenje mikroplastike v sedimentih	45
6.3	Vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu.....	48
7	METODOLOGIJE VZORČENJ, KI SO BILE UPORABLJENE V MAGISTRSKEM DELU.....	51
7.1	Izbira lokacij vzorčenj	51
7.1.1	Ljubljana.....	51
7.1.1.1	Izbira lokacij vzorčenj na Ljubljani.....	53
7.1.2	Blejsko jezero.....	55
7.1.2.1	Izbira lokacij vzorčenj na Blejskem jezeru	56
7.2	Izbira črpalke za vodo.....	58
7.3	Vzorčenja	60
7.3.1	Metodologija vzorčenja na gladini z epi-neustonsko mrežo	66
7.3.2	Metodologija vzorčenja med gladino in dnom z bencinsko črpalko za vodo	70
7.3.3	Metodologija vzorčenja sedimenta z Van Veen-ovim grabilom.....	73
8	ANALIZA VZORCEV V LABORATORIJU	75
8.1	Metodologija izločanja mikroplastike iz vzorcev, pridobljenih z vzorčenjem z epi-neustonsko mrežo in bencinsko črpalko za vodo.....	76
8.2	Metodologija izločanja mikroplastike iz vzorcev sedimenta s postopkom ločevanja na osnovi gostote.....	77
8.3	Slikovna analiza in tehtanje mikroplastike po posameznih kategorijah posameznega vzorca	78
9	REZULTATI IN RAZPRAVA	81
9.1	Mikroplastika	81
9.1.1	Rezultati vzorčenja, razdeljeni po kategorijah mikroplastike za posamezni vzorec	81
9.1.2	Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja s posamezno metodo in njihova primerjava	84
9.1.3	Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja, porazdeljenih po vodnem stolpcu.....	91
9.1.4	Povprečni feretov premer najdenih delcev mikroplastike	92
9.2	Mezoplastika	93
9.2.1	Rezultati vzorčenja, razdeljeni po kategorijah mezoplastike za posamezni vzorec	93
9.2.2	Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja s posamezno metodo in njihova primerjava	94
9.2.3	Povprečni feretov premer najdenih delcev mezoplastike.....	96
9.3	Razprava	96

10 ZAKLJUČEK	100
11 POVZETEK	102
12 SUMMARY	104
VIRI	106
PRILOGE	115

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Ravnanje z odpadno embalažo v Sloveniji po letih v tonah (SURs, 2014)	13
Preglednica 2: Seznam lokacij vzorčenja z epi-neustonsko mrežo	61
Preglednica 3: Seznam lokacij vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo in Van Veen-ovim grabilom ..	62
Preglednica 4: Rezultati meritev z multiparametrično sondo YSI Professional Plus na Ljubljani in temperatura zraka	65
Preglednica 5: Rezultati meritev z multiparametrično sondo YSI Professional Plus na Blejskem jezeru in temperatura zraka	65
Preglednica 6: Najdena mikroplastika razdeljena po kategorijah za posamezni vzorec	82
Preglednica 7: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani.....	85
Preglednica 8: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo na Ljubljani	85
Preglednica 9: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z Van Veen-ovim grabilom na Ljubljani..	86
Preglednica 10: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo na Blejskem jezeru	86
Preglednica 11: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo na Blejskem jezeru	87
Preglednica 12: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z Van Veen-ovim grabilom na Blejskem jezeru	87
Preglednica 13: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja na Ljubljani – primerjava metod vzorčenja	88
Preglednica 14: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja na Blejskem jezeru – primerjava metod vzorčenja	88
Preglednica 15: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani in Blejskem jezeru	89
Preglednica 16: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo na Ljubljani (skupaj), Gruberjevem prekopolu in Blejskem jezeru.....	90
Preglednica 17: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z Van Veen-ovim grabilom na Ljubljani in Blejskem jezeru	91
Preglednica 18: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja po vodnem stolpcu na Ljubljani in Blejskem jezeru	92
Preglednica 19: Rezultati meritve feretovega premera delcev mikroplastike po kategorijah – Ljubljani.....	93
Preglednica 20: Rezultati meritve feretovega premera delcev mikroplastike po kategorijah – Blejsko jezero	93
Preglednica 21: Najdena mezoplastika razdeljena po kategorijah za posamezni vzorec	94
Preglednica 22: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani – mezoplastika.....	95

Preglednica 23: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo na Blejskem jezeru – mezoplastika	95
Preglednica 24: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani in Blejskem jezeru – mezoplastika	96
Preglednica 25: Rezultati meritve feretovega premera delcev mezoplastike po kategorijah	96
Preglednica 26: Koncentracija mikroplastike (n/km^2) na jezerih (Free in sod., 2014: str. 161).....	98
Preglednica 27: Povprečna koncentracija mikroplastike (n/km^2) na vodotokih.....	99
Preglednica 28: Povprečna koncentracija mikroplastike (n/m^3) – različne črpalke za vodo.....	99

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Odpadna embalaža v Sloveniji po letih – skupaj in plastika (SURs, 2014).....	13
Grafikon 2: Število delcev plastike iz celotnega vzorčenja (Sadri in Thompson, 2014: str. 58)	35
Grafikon 3: Povprečna koncentracija mikroplastike (n/km^2) pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani in Blejskem jezeru	89
Grafikon 4: Povprečna koncentracija mikroplastike (n/m^3) pri vzorčenju z bencinsko črpalko za vodo na Ljubljani (skupaj), Gruberjevem prekopu in Blejskem jezeru	90
Grafikon 5: Povprečna koncentracija mikroplastike (n/m^3) po vodnem stolpcu na Ljubljani in Blejskem jezeru.....	92

KAZALO SLIK

Slika 1: Polimerizacija etena – nastanek polietilena (Šprajcar in sod., 2012: str. 6).....	8
Slika 2: Estrifikacija – nastanek polietilen tereftalata (PET) (Šprajcar in sod., 2012: str. 6).....	9
Slika 3: Deskanje med plastiko (Vir: http://www.theguardian.com/global-development-professionals-network/gallery/2015/apr/01/over-population-over-consumption-in-pictures?CMP=share_btn_fb#img-7) (Pridobljeno 3. 4. 2015).....	14
Slika 4: Glavni viri plastike in poti gibanja plastike v morskem okolju (Ryan in sod., 2009: str. 2000).....	15
Slika 5: Koncentracije plastičnih odpadkov v površinskih vodah svetovnih oceanov (Cozar in sod., 2014: str. 10240).....	16
Slika 6: Akumuliranje odpadkov v globokomorskih okoljih (kanjon Marseille) (Barnes in sod., 2009: str. 1992).....	16
Slika 7: Plastični peleti (UNEP, 2011: str. 27).....	17
Slika 8: Kategorije mikroplastike (Lechner in sod., 2014: str. 178).....	19
Slika 9: Primer mikroplastike v štirih čistilih za obraz (Fendall in Sewell, 2009: str. 1226).....	19
Slika 10: Delec polistirena (PS) pod vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM) (Imhof in sod., 2013: str. 868).....	20
Slika 11: Potencialne poti za transport mikroplastike in njenih bioloških interakcij (Wright in sod., 2013: str. 485).....	22
Slika 12: Zapuščena ribiška oprema (Vir: http://www.ghostfishing.org/the-problem) (Pridobljeno 1. 4. 2015).....	25
Slika 13: Mrtva morska želva (Vir: http://www.ghostfishing.org/the-problem) (Pridobljeno 1. 4. 2015).....	25
Slika 14: Poginula delfinka (Vir: http://www.24ur.com/novice/slovenija/foto-za-delfinko-je-bila-usodna-ribiska-mreza.html) (Pridobljeno 9. 4. 2015).....	26
Slika 15: Tjulenj z zapleteno plastično vrečko (UNEP, 2011: str. 20).....	26
Slika 16: Zadavljeni grbasti kit na nizozemski obali (Slat in sod., 2014: str. 51).....	27
Slika 17: Razpadajoči mrtvi albatros na obali (Vir: http://www.theguardian.com/global-development-professionals-network/gallery/2015/apr/01/over-population-over-consumption-in-pictures?CMP=share_btn_fb#img-10) (Pridobljeno 3. 4. 2015).....	28
Slika 18: Konceptualni model potencialnih trofičnih poti mikroplastike (Ivar do Sul in Costa, 2014: str. 360).....	30
Slika 19: Lokacije vzorčenj (Moore in sod., 2011: str. 67).....	34
Slika 20: Povprečna obremenitev s plastiko (g/s) reke Donave pri njenem povprečnem pretoku (Lechner in sod., 2014: str. 180).....	37
Slika 21: Primeri mikroplastike v prebavnih traktih navadnih globočkov (<i>Gobio gobio</i>) (Sanchez in sod., 2014: str. 100).....	39

Slika 22: Primer manta mreže z velikostjo odprtin 333 μm (Eriksen in sod., 2011)	39
Slika 23: Porazdelitev delcev mikroplastike v 21 vzorcih (lokacijah vzorčenja) na Velikih jezerih (Eriksen in sod., 2013: str. 178)	40
Slika 24: Primeri mikroplastike iz jezera Hovsgol: (A) razlomljeni delec, (B) folija, (C) polistiren, (D) vlakna, (E) podolgovati delec, (F) pelet (Free in sod., 2014: str. 160).....	42
Slika 25: Prikaz pozicije manta mreže med vzorčenjem (DeFishGear, 2015: str. 5).....	44
Slika 26: Van Veen-ovo grabilo (Centa, 2015).....	46
Slika 27: Prikaz vzorčenja majhne mikroplastike v sedimentih na obali (DeFishGear, 2015: str. 15) ..	47
Slika 28: Namestitev lesenega okvirja na peščeno podlago (DeFishGear, 2015: str. 15).....	47
Slika 29: Material na situ (5 mm) (levo), in plastični predmeti večji od 5 mm (desno) (DeFishGear, 2015: str. 16)	48
Slika 30: Sistem mrež (Slat in sod., 2014: str. 104)	48
Slika 31: Bencinska črpalka za vodo (Magnusson in Norén, 2011: str. 9)	50
Slika 32: Nastavek s 300 μm filtrom (Magnusson in Norén, 2011: str. 9).....	50
Slika 33: Digitalni ortofoto posnetek (DOF) (A) plavajočega pontona pred Gostilno Livada (Atlas okolja, 2015a).....	53
Slika 34: Digitalni ortofoto posnetek (DOF) (B) zapornice na Gruberjevem prekopu in mesto vzorčenja (Atlas okolja, 2015b)	54
Slika 35: Digitalni ortofoto posnetek (DOF) (C) zapornice na Ambroževem trgu in (D) Fabianovega mostu ter mesti vzorčenja (Atlas okolja, 2015c).....	54
Slika 36: Digitalni ortofoto posnetek (DOF) (E) mostu na Zaloški cesti pred iztokom iz CCN Ljubljana in (F) lokacije vzorčenja za iztokom iz CCN Ljubljana ter mesti vzorčenja (Atlas okolja, 2015d)	55
Slika 37: Začetne lokacije vzorčenj na različnih globinah z bencinsko črpalko za vodo na Blejskem jezeru (Atlas okolja, 2015e)	57
Slika 38: Lokacije vzorčenj sedimenta z Van Veen-ovim grabilom na Blejskem jezeru (Atlas okolja, 2015e).....	57
Slika 39: Trase vzorčenj z epi-neustonsko mrežo na Blejskem jezeru (Atlas okolja, 2015e).....	58
Slika 40: Bencinska črpalka za vodo Makita EW1060HX (Centa, 2015)	59
Slika 41: Multiparametrična sonda YSI Professional Plus (Centa, 2015).....	64
Slika 42: Epi-neustonska mreža s končnim tulcem (Centa, 2015).....	66
Slika 43: Sito (150 μm) (Centa, 2015)	67
Slika 44: Merilna naprava MCM1 – SEBA (Centa, 2015)	67
Slika 45: Čoln z električnim motorjem in celotno opremo za vzorčenje (Centa, 2015)	68
Slika 46: Vzorčenje z epi-neustonsko mrežo in meritev hitrosti vodnega toka Ljubljanice (Centa, 2015)	68
Slika 47: Izpiranje epi-neustonske mreže z bencinsko črpalko za vodo (Centa, 2015)	69

Slika 48: Vzorčenje z epi-neustonsko mrežo na Blejskem jezeru (Centa, 2015).....	70
Slika 49: Sesalne cevi različnih dolžin (od leve proti desni: 6 m, 9 m in 23 m) (Centa, 2015)	70
Slika 50: Sesalni filter z utežjo (Centa, 2015).....	71
Slika 51: Leseni nosilec za sito (Centa, 2015).....	71
Slika 52: Vzorčenje po vodnem stolpcu z bencinsko črpalko za vodo na Ljubljanici (Centa, 2015) ...	72
Slika 53: Tlačna cev z lijakom in sito (150 µm) na lesenem nosilcu med vzorčenjem na Blejskem jezeru (Centa, 2015)	73
Slika 54: Van Veen-ovo grabilo z vzorčenim sedimentom (Centa, 2015).....	74
Slika 55: Primer razlomljenih delcev (Centa, 2015)	75
Slika 56: Primer peletov (Centa, 2015)	75
Slika 57: Primer granul (Centa, 2015).....	75
Slika 58: Primer vlaken (Centa, 2015)	75
Slika 59: Primer folij (Centa, 2015)	76
Slika 60: Primer stiroporjev (Centa, 2015).....	76
Slika 61: Stereomikroskop (Discovery.V8, Zeiss, Germany) (Centa, 2015)	76
Slika 62: Büchnerjev lijak (Centa, 2015)	77
Slika 63: Primer slikovne analize razlomljenih delcev iz vzorca GR-1 (Centa, 2015)	79
Slika 64: Shematični prikaz nekaterih parametrov velikosti delca (Pavlovič, 2014: str. 2).....	79

LIST OF TABLES

Table 1: Packaging wastemanagement in Slovenia in a given year in tonnes (SURS, 2014).....	13
Table 2: List of epi-neuston net sampling locations.....	61
Table 3: List of petrol water pump and Van Veen grab sampling locations.....	62
Table 4: Measuring results with a YSI Professional Plus multiparameter meter in the Ljubljana and the air temperature.....	65
Table 5: Measuring results with a YSI Professional Plus multiparameter meter in Lake Bled and the air temperature.....	65
Table 6: Detected microplastic separated by categories for each sample	82
Table 7: Average values of epi-neuston net sampling results in the Ljubljana	85
Table 8: Average values of petrol water pump sampling results in the Ljubljana	85
Table 9: Average values of Van Veen grab sampling results in the Ljubljana	86
Table 10: Average values of epi-neuston net sampling results in Lake Bled.....	86
Table 11: Average values of petrol water pump sampling results in Lake Bled.....	87
Table 12: Average values of Van Veen grab sampling results in Lake Bled.....	87
Table 13: Average values of sampling results in the Ljubljana – the comparison of sampling methods	88
Table 14: Average values of sampling results in Lake Bled – the comparison of sampling methods ..	88
Table 15: Average values of epi-neuston net sampling results in the Ljubljana and Lake Bled.....	89
Table 16: Average values of petrol water pump sampling results in the Ljubljana (altogether), Gruber Canal and Lake Bled.....	90
Table 17: Average values of Van Veen grab sampling results in the Ljubljana and Lake Bled	91
Table 18: Average values of sampling results through the water column in the Ljubljana and Lake Bled	92
Table 19: Measuring results of the feret diameter of microplastic particles by categories – the Ljubljana.....	93
Table 20: Measuring results of the feret diameter of microplastic particles by categories – Lake Bled	93
Table 21: Detected mesoplastic separated by categories for each sample	94
Table 22: Average values of epi-neuston net sampling results in the Ljubljana – mesoplastics.....	95
Table 23: Average values of epi-neuston net sampling results in Lake Bled – mesoplastics	95
Table 24: Average values of epi-neuston net sampling results in the Ljubljana and Lake Bled – mesoplastics	96
Table 25: Measuring results of the feret diameter of mesoplastic particles by categories	96
Table 26: Microplastic concentration (n/km ²) in lakes (Free et al., 2014: p. 161).....	98
Table 27: Average microplastic concentration (n/km ²) in watercourses.....	99

Table 28: Average microplastic concentration (n/m^3) – various water pumps.....	99
---	----

LIST OF GRAPHS

Graph 1: Packaging waste in Slovenia in a given years – altogether and plastic only (SURS, 2014) ...	13
Graph 2: Number of plastic particles from the entire sampling (Sadri and Thompson, 2014: p. 58)	35
Graph 3: Average microplastic concentration (n/km^2) at epi-neuston net sampling in the Ljubljana and Lake Bled	89
Graph 4: Average microplastic concentration (n/m^3) at petrol water pump sampling in the Ljubljana (altogether), Gruber Canal and Lake Bled	90
Graph 5: Average microplastic concentration (n/m^3) through the water column in the Ljubljana and Lake Bled	92

LIST OF FIGURES

Figure 1: Polymerization of ethylene – the formation of polyethylene (Šprajcar et al., 2012: p. 6).....	8
Figure 2: Esterification – the formation of polyethylene terephthalate (PET) (Šprajcar et al., 2012: p. 6).....	9
Figure 3: Surfing within plastic (Source: http://www.theguardian.com/global-development-professionals-network/gallery/2015/apr/01/over-population-over-consumption-in-pictures?CMP=share_btn_fb#img-7 (Acquired 3. 4. 2015).....	14
Figure 4: Main sources of plastic and the movement path of plastic in the marine environment (Ryan et al., 2009: p. 2000).....	15
Figure 5: Plastic waste concentrations in surface waters in the world's oceans (Cozar et al., 2014: p. 10240).....	16
Figure 6: Accumulation of wastes in deep sea environments (Marseille canyon) (Barnes et al., 2009: p. 1992).....	16
Figure 7: Plastic pellets (UNEP, 2011: p. 27).....	17
Figure 8: Categories of microplastics (Lechner et al., 2014: p. 178).....	19
Figure 9: Examples of microplastics in four facial cleansers (Fendall and Sewell, 2009: p. 1226).....	19
Figure 10: Polystyrene (PS) particle under a scanning electron microscope (SEM) (Imhof et al., 2013: p. 868).....	20
Figure 11: Potential pathways for the transport of microplastics and its biological interactions (Wright et al., 2013: p. 485).....	22
Figure 12: Abandoned fishing gear (Source: http://www.ghostfishing.org/the-problem) (Acquired 1. 4. 2015).....	25
Figure 13: Dead sea turtle (Source: http://www.ghostfishing.org/the-problem) (Acquired 1. 4. 2015)	25
Figure 14: Dead female dolphin (Source: http://www.24ur.com/novice/slovenija/foto-za-delfinko-je-bila-usodna-ribiska-mreza.html) (Acquired 9. 4. 2015).....	26
Figure 15: Seal with an entangled plastic bag (UNEP, 2011: p. 20).....	26
Figure 16: Strangled humpback whale on the Dutch coast (Slat et al., 2014: p. 51).....	27
Figure 17: Decaying dead albatross on the coast (Source: http://www.theguardian.com/global-development-professionals-network/gallery/2015/apr/01/over-population-over-consumption-in-pictures?CMP=share_btn_fb#img-10) (Acquired 3. 4. 2015).....	28
Figure 18: Conceptual model of potential trophic routes of microplastics (Ivar do Sul and Costa, 2014: p. 360).....	30
Figure 19: Sampling locations (Moore et al., 2011: p. 67).....	34
Figure 20: Average plastic load (g/s) of the Danube River in its average flow (Lechner et al., 2014: p. 180).....	37
Figure 21: Examples of microplastics in the digestive tracts of gudgeons (<i>Gobio gobio</i>) (Sanchez et al., 2014: p. 100).....	39

Figure 22: Example of manta net with mesh size 333 μm (Eriksen et al., 2011).....	39
Figure 23: Microplastic distribution in 21 samples (sampling locations) at the Great Lakes (Eriksen et al., 2013: p. 178)	40
Figure 24: Examples of microplastic in Hovsgol Lake: (A) fragment, (B) film, (C) foam, (D) fibers, (E) line, (F) pellet (Free et al., 2014: p. 160)	42
Figure 25: Manta net position during sampling (DeFishGear, 2015: p. 5)	44
Figure 26: Van Veen grab (Centa, 2015)	46
Figure 27: Sampling of small microplastics in beach sediments (DeFishGear, 2015: p. 15)	47
Figure 28: Placing of a wooden frame on a sandy surface (DeFishGear, 2015: p. 15).....	47
Figure 29: Material on a sieve (5 mm) (left), plastic items larger than 5 mm (right) (DeFishGear, 2015: p. 16)	48
Figure 30: Net system (Slat et al., 2014: p. 104).....	48
Figure 31: Petrol water pump (Magnusson and Norén, 2011: p. 9).....	50
Figure 32: 300 μm filter attachment (Magnusson and Norén, 2011: p. 9).....	50
Figure 33: Digital orthophoto recording (DOF) of (A) a floating pontoon in front of Livada Inn (Atlas okolja, 2015a).....	53
Figure 34: Digital orthophoto recording (DOF) of (B) locks on Gruber Canal and the sampling location (Atlas okolja, 2015b).....	54
Figure 35: Digital orthophoto recording (DOF) of (C) locks on Ambrož Square and (D) Fabiani Bridge and the sampling locations (Atlas okolja, 2015c)	54
Figure 36: Digital orthophoto recording (DOF) of (E) a bridge on Zaloška Road in front of Central Waste Water Treatment Plant Ljubljana effluent and (F) the sampling location after Central Waste Water Treatment Plant Ljubljana effluent and the sampling locations (Atlas okolja, 2015d)	55
Figure 37: Initial locations of petrol water pump sampling at various depths in Lake Bled (Atlas okolja, 2015e).....	57
Figure 38: Locations of sediment sampling with Van Veen grab in Lake Bled (Atlas okolja, 2015e).....	57
Figure 39: Routes of epi-neuston net sampling in Lake Bled (Atlas okolja, 2015e)	58
Figure 40: Makita EW1060HX petrol water pump (Centa, 2015).....	59
Figure 41: YSI Professional Plus multiparameter meter (Centa, 2015).....	64
Figure 42: Epi-neuston net with a cod end (Centa, 2015).....	66
Figure 43: Sieve (150 μm) (Centa, 2015).....	67
Figure 44: MCM1 – SEBA measuring device (Centa, 2015)	67
Figure 45: Electric boat and the entire sampling equipment (Centa, 2015).....	68
Figure 46: Epi-neuston net sampling and measuring water flow velocity of the Ljubljanica river (Centa, 2015).....	68
Figure 47: Epi-neuston net rinsing with a petrol water pump (Centa, 2015)	69
Figure 48: Epi-neuston net sampling in Lake Bled (Centa, 2015).....	70

Figure 49: Suction tubes of different lengths (from left to right: 6 m, 9 m and 23 m) (Centa, 2015)...	70
Figure 50: Weighted suction filter (Centa, 2015).....	71
Figure 51: Sieve wooden bearer (Centa, 2015).....	71
Figure 52: Petrol water pump sampling through the water column in the Ljubljanica (Centa, 2015) ..	72
Figure 53: Pressure tube and a sieve (150 µm) on a wooden carrier during sampling in Lake Bled (Centa, 2015).....	73
Figure 54: Van Veen grab with sediment sample (Centa, 2015).....	74
Figure 55: Example of fragments (Centa, 2015).....	75
Figure 56: Example of pellets (Centa, 2015).....	75
Figure 57: Example of granules (Centa, 2015).....	75
Figure 58: Example of filaments (Centa, 2015).....	75
Figure 59: Example of films (Centa, 2015).....	76
Figure 60: Example of foams (Centa, 2015).....	76
Figure 61: Stereomicroscope (Discovery.V8, Zeiss, Germany) (Centa, 2015).....	76
Figure 62: The Büchner funnel (Centa, 2015).....	77
Figure 63: Example of fragments image analysis from GR-1 sample (Centa, 2015).....	79
Figure 64: Schematic diagram of certain parameters of the size of the particle (Pavlovič, 2014: p. 2)	79

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Lokacije vzorčenj na Ljubljani.....	A
--	---

KRATICE

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
BPA	Bisfenol
CČN	Centralna čistilna naprava
DeFishGear	Derelict Fishing Gear Project in the Adriatic Sea
DOF	Digitalni ortofoto posnetek
EPS	Ekstrudiran polistiren
EU	Evropska unija
GIS	Geografski informacijski sistem
GPS	Globalni sistem pozicioniranja
HDPE	Polietilen z visoko gostoto
HELCOM	Konvencija o varstvu morskega okolja območja Baltiškega morja – Helsinška konvencija
HOCs	Hidrofobna organska onesnaževala
IzVRS	Inštitut za vode Republike Slovenije
KČN	Komunalna čistilna naprava
MARPOL	Mednarodna konvencija o preprečevanju onesnaževanja morja z ladij
ODMS	Okvirna direktiva o morski strategiji
OSPAR	Konvencija o varstvu morskega okolja severovzhodnega Atlantika
PAH	Policiklični aromatski ogljikovodik
PBDE	Polibromiran difenil eter
PBT	Polibutilen tereftalat
PCB	Poliklorirani bifenil
PET	Polietilen tereftalat
POPs	Obstojna organska onesnaževala
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PTFE	Politetrafluoretilen ali teflon

PUR	Poliuretan
PVC	Polivinil klorid
PVDC	Poliviniliden klorid ali saran
SEM	Vrstični elektronski mikroskop
SURS	Statistični urad Republike Slovenije
UNEP	Globalni akcijski program za zaščito morskega okolja zaradi aktivnosti na kopnem
WFW	Waste Free Waters

1 UVOD

1.1 Splošno

Vsakdanjega življenja si danes brez plastike ne predstavljamo, saj je plastika v različnih oblikah prisotna na vsakem našem koraku in je prinesla številne družbene koristi (Eyerer in sod., 2008). Plastični materiali (plastika) vsebujejo kot ključno sestavino umetne polimere, ki jih označujejo visoke molske mase. Zaradi enostavne predelave in številnih možnosti za pridelavo stroškovno učinkovitih proizvodov, ki višajo življenjski standard in kvaliteto ter lagodnost življenja, so polimerni materiali uspešno prodrli na svetovna tržišča. Vsak izmed nas se dnevno srečuje z velikim številom različnih plastičnih materialov in proizvodov, narejenih iz njih, saj polimerni materiali zaradi svoje raznolikosti pokrivajo neverjetno širok spekter lastnosti in uporabnosti. Hrana, ki jo kupujemo v trgovini, je embalirana v različnih tipih plastike, prav tako kot tudi proizvodi za osebno higieno. Iz plastike so narejeni športna oprema, otroške igrače, pisarniški materiali, kuhinjski pripomočki itd. Ob izjemni rasti proizvodnje in uporabe polimerov so razmišljanja o posledicah uporabe plastičnih produktov ter končnega ravnanja s temi proizvodi, ko postanejo odpadki, aktualna in pereča tema. Pomisleki se osredotočajo na možen vpliv umetnih snovi na zdravje ljudi ter škodo, ki jo utрпи okolje. Skoraj vsa plastika je danes sintetizirana iz surovin, ki jih preko petrokemijske industrije pridobivamo iz fosilnih virov. Z izkoriščanjem fosilnih virov je povezano globalno segrevanje ozračja hkrati pa izrabljamo dragocen neobnovljiv vir surovin. Poleg tega del plastike zaide tudi v naravo, kjer predstavlja trajni tujek, saj sestoji iz umetno sintetiziranih polimerov, ki se v naravi sami po sebi ne pojavljajo. Kot taka lahko predstavlja vir sproščanja organskih onesnaževal v okolje in vstopanje slednjih v prehranjevalno verigo. Ker plastiko uporabljamo v tako velikih količinah »še le« v zadnjih desetletjih, nam vsi vplivi ter potencialne nevarnosti niti še niso znani. Neizpodbitno pa je, da v naše okolje vstopa ogromna količina materialov in snovi, ki jih v osnovi tam nikdar ni bilo in nanje narava skozi evolucij ni bila prilagojena. Ne samo da plastični (kot tudi vsi drugi) odpadki kazijo izgled pokrajine, organizmi jih lahko po pomoti zaužijejo, se vanje zapletejo, ali se zadušijo (Šprajcar in sod., 2012).

Trenutno približno 80 % vseh polimernih materialov proizvede petrokemijska industrija, torej so proizvedeni iz fosilnih (neobnovljivih) virov. Skupaj s povečano rabo plastičnih polimerov se večja tudi breme na okolje. Poleg vplivov na okolje, ki nastanejo zaradi same proizvodnje polimerov in plastike, je vedno večje tudi breme odpadkov, ki nastanejo, ko uporabniki zavržejo proizvode, ki jih ne potrebujejo več. Odpadki so že veliko let pereč problem, saj z vedno bolj množično potrošnjo izdelkov s kratko življenjsko dobo skokovito narašča tudi količina odpadkov. Odlagališča odpadkov imajo številne potencialne negativne vplive na okolje (pronicanje izcednih voda v podtalnico, smrad, uničenje lokalne flore in favne, lokalna sprememba površja, onesnaženje prsti itd), prav tako je zanje potrebno veliko prostora. Še večjo nevarnost pa seveda predstavljajo odpadki iz plastike, ki po takšni ali drugačni poti zaidejo v naravo (Šprajcar in sod., 2012).

Oceani so končno smetišče za plastiko, saj plastika pride v morsko okolje zlasti s površinskimi odtoki, rekami, z odpadki iz obal, izgubljenimi tovari, namernim odlaganjem v morje in drugimi dogodki. Reke s svojim transportom bistveno pripomorejo k onesnaženju morja, saj prinesejo plastiko z že onesnaženih zemeljskih področij (Ryan in sod., 2009). Ko plastični odpadki pridejo v okolje, zlasti v morsko okolje, lahko v njem ostanejo več sto let. Obalnemu in morskemu okolju ter vodnim organizmom škoduje 10 milijonov ton odpadkov, večinoma plastičnih, ki letno končajo v svetovnih

oceanih in morjih ter jih spremenijo v največje odlagališče plastike na svetu (Evropska komisija, 2013). Plastični odpadki večinoma razpadejo v mikroplastiko, ki jo morski organizmi pomotoma zamenjajo za hrano in nato zaužijejo.

Mikroplastika so majhni plastični delci, ki so manjši od 5 mm (Palatinus in sod., 2012; Arthur in sod., 2009). Ločimo primarne vire mikroplastike, ki v morje vstopajo kot predhodno formirani majhni plastični delci, ter sekundarne vire, kjer mikroplastika nastaja zaradi erozije in razpada večjih kosov plastike (Hammer in sod., 2012; Cole in sod., 2011; Derraik, 2002; Moore, 2008; Gorycka, 2009).

Prvi problem mikroplastike v vodnem okolju je, da jo lahko tekom prehranjevalne verige zaužijejo številna živa bitja npr. plankton, ptice, školjke, ribe in številni drugi organizmi ter na koncu tudi človek (Cole in sod., 2011; Thompson in sod., 2009a; Wright in sod., 2013; Slat in sod., 2014). Drugi problem mikroplastike v vodnem okolju je, da plastiki tekom izdelave dodajajo različne aditive za boljšo toplotno in mikrobiološko odpornost, za zmanjšanje teže in podobno. Kasneje pa se ti aditivi izločajo v okolje (Cole in sod., 2011; Thompson in sod., 2009b, Teuten in sod., 2009; Slat in sod., 2014; Koelmans in sod., 2014). Delci mikroplastike se lahko dodatno kontaminirajo tudi z drugimi onesnaževali, kar še poveča nevarnost pri zaužitju (Gorycka, 2009; Thompson in sod., 2009a; Slat in sod., 2014).

Študije so pokazale, da se v morskem okolju mikroplastiko večinoma vzorči na gladini in sedimentih na obalah, redkeje pa po vodnem stolpcu (Hidalgo – Ruz in sod., 2012) in sedimentih na dnu (Van Cauwenberghe in sod., 2013). Največ mikroplastike se nahaja na vodni gladini (Ryan in sod., 2009). Zato se največ vzorčenj opravi s filtriranjem epineustona (gladina morja) s t. i. epi-neustonsko mrežo.

Ker vodotoki bistveno pripomorejo k onesnaženosti morja z mikroplastiko (Ryan in sod., 2009), je pomembno, da se na vodotokih poleg makroplastike (večje od 5 mm) vzorči tudi mikroplastiko. Zaznano je, da so tudi jezera onesnažena z mikroplastiko (Eriksen in sod., 2013; Imhof in sod., 2013). Ker je problem mikroplastike v vodotokih in jezerih še dokaj neraziskan, je bilo dosedanjih vzorčenj mikroplastike v vodotokih in jezerih zelo malo (Moore in sod., 2011; Wagner in sod., 2014; Lechner in sod., 2014; Van der Wal in sod., 2015; Faure in sod., 2012; Free in sod., 2014).

1.2 Namen, cilji in hipoteza dela

V magistrskem delu bomo najprej predstavili problem plastike in mikroplastike, saj večinoma ne vemo, kaj sploh mikroplastika je in kako velik problem predstavlja za naše okolje. Problem mikroplastike je v ekosistemih celinskih voda še zelo neraziskan, medtem ko je problematika mikroplastike v morjih in oceanih bolj raziskana. Zato bomo metodologije vzorčenj na jezerih in vodotokih večinoma povzeli iz preizkušenih vzorčenj, kot so to počeli raziskovalci v Evropi, Jadranskem morju, svetovnih oceanih in Velikih jezerih (Eriksen in sod. 2013; Faure in sod., 2012; Palatinus in sod., 2012; Slat in sod., 2014).

Namen magistrskega dela je vzorčiti mikroplastiko na slovenskih vodotokih in jezerih po celotnem vodnem stolpcu (gladina, med gladino in dnom ter sediment na dnu), razviti in preizkusiti metodologijo vzorčenja s črpalko za vodo med gladino in dnom oz. v vodnem stolpcu ter ugotavljati koncentracije mikroplastike na izbranem slovenskem vodotoku in jezeru.

Vzorčenje na gladini bomo izvedli z že preizkušeno metodo vzorčenja z epi-neustonsko mrežo, vzorčenje sedimenta na dnu, ki je prav tako že preizkušena metoda, pa bomo izvedli z modificiranim Van Veen-ovim grabilom. Vzorčenje med gladino in dnom bomo izvedli z bencinsko črpalko za vodo in sistemom cevi, katerega smo razvili in preizkušali v okviru tega dela. Vsak posamezni vzorec bomo natančno pregledali v laboratoriju in iskali morebitno mikroplastiko.

Rezultate posameznega vzorčenja bomo v delu predstavili tabelarično in grafično, prav tako tudi povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja s posamezno metodo in njihovo primerjavo.

V magistrskem delu je cilj ugotoviti, ali je tudi v izbranem slovenskem vodotoku in jezeru že prepoznana prisotnost mikroplastike in testirati črpalko za vodo ter tudi pripadajočo metodologijo vzorčenja, za vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu. Ker je bila za delo na terenu izmed vseh obstoječih črpalk za vodo najbolj primerna bencinska črpalka za vodo, smo za vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu (med gladino in dnom) preizkušali ta tip črpalke za vodo.

V magistrskem delu preverjamo dve hipotezi:

- prva hipoteza, da je mikroplastika v slovenskih vodotokih in jezerih že prisotna;
- druga hipoteza, da je črpalka za vodo primerna za vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu.

2 ZAKONODAJA O PLASTIČNIH ODPADKIH V EVROPI IN SLOVENIJI

Plastični odpadki niso posebej obravnavani v zakonodaji EU, čeprav imajo vedno večji vpliv na okolje. Le v Direktivi o embalaži in odpadni embalaži 2013/2/EU so zastavljeni posebni cilji za recikliranje plastične embalaže. V Okvirni direktivi o odpadkih 2008/98/ES je zastavljen splošen cilj za recikliranje odpadkov iz gospodinjstev, ki poleg drugih materialov zajema tudi plastične odpadke. Okvirna direktiva o odpadkih je relevantna tudi v nekaterih drugih vidikih. Direktiva na primer vzpostavlja razširjeno odgovornost proizvajalca kot ključno načelo pri ravnanju z odpadki. Določa tudi hierarhijo ravnanja z odpadki, pri kateri imajo preprečevanje nastajanja odpadkov, ponovna uporaba in recikliranje prednost pred predelavo, vključno z energetsko predelavo, ter odstranjevanjem. Vendar ostaja velik prepad med zakonodajnimi zahtevami in dejanskim ravnanjem z odpadki v praksi (Evropska komisija, 2013).

Stockholmska konvencija o obstojnih organskih onesnaževalih je relevantna za plastiko, saj omejuje uporabo komercialnih zaviralcev gorenja, kot sta penta- in oktabromodifenil eter. Konvencija prepoveduje tudi recikliranje materialov, ki vsebujejo obstojna organska onesnaževala, kot so nekateri bromirani zaviralci gorenja. Konvencije o regionalnih morjih, kot so OSPAR (Konvencija o varstvu morskega okolja severovzhodnega Atlantika), Barcelonska konvencija (Zakon o ratifikaciji sprememb Konvencije o varstvu Sredozemskega morja pred onesnaženjem), HELCOM (Konvencija o varstvu morskega okolja območja Baltiškega morja – Helsinška konvencija), MARPOL (Mednarodna konvencija o preprečevanju onesnaževanja morja z ladij), Londonska konvencija (Konvencija o preprečevanju onesnaževanja morja z odpadnimi in drugimi snovmi), Bukareška konvencija (Konvencija o varstvu Črnega morja pred onesnaženjem) in UNEP (Globalni akcijski program za zaščito morskega okolja zaradi aktivnosti na kopnem), imajo prav tako lahko vlogo pri spopadanju z morskimi odpadki. Na konferenci pogodbenic Barcelonske konvencije sta bila na primer leta 2012 sprejeta dokumenta o politiki in z njim povezan strateški okvir za ravnanje z morskimi odpadki. Ukrepi v okviru sporazumov o regionalnih morjih bi prav tako pomagali državam članicam pri boljšem izvajanju njihovih obveznosti v okviru Okvirne direktive o morski strategiji 2008/56/ES (ODMS), da se doseže ali ohranja dobro okoljsko stanje v morskem okolju do leta 2020 (Evropska komisija, 2013).

Slovenska zakonodaja, ki zadeva plastične odpadke v vodah in morju:

- Zakon o vodah (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdrI-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14 in 56/15) ureja upravljanje z morjem, celinskimi in podzemnimi vodami ter vodnimi in priobalnimi zemljišči. Upravljanje z vodami ter vodnimi in priobalnimi zemljišči obsega varstvo voda, urejanje voda in odločanje o rabi voda. Zakon v 68. členu določa, da je v vode prepovedano izlivati, odlagati ali odmetavati odpadke, prav tako je prepovedano na vodnem in priobalnem zemljišču odlagati odpadke;
- Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 39/06 – uradno prečiščeno besedilo, 49/06 – ZMetD, 66/06 – odl. US, 33/07 – ZPNačrt, 57/08 – ZFO-1A, 70/08, 108/09, 108/09 – ZPNačrt-A, 48/12, 57/12, 92/13, 56/15, 102/15 in 30/16) ureja varstvo okolja pred obremenjevanjem kot temeljni pogoj za trajnostni razvoj in v tem okviru določa temeljna načela varstva okolja, ukrepe varstva okolja, spremljanje stanja okolja in informacije o okolju, ekonomske in finančne instrumente varstva okolja, javne službe varstva okolja in druga z varstvom okolja povezana vprašanja. Izmed ciljev varstva okolja sta glede obremenitve okolja

pomembna zlasti preprečitev in zmanjšanje obremenjevanja okolja ter ohranjanje in izboljševanje kakovosti okolja;

- Uredba o odpadkih (Uradni list RS, št. 37/15 in 69/15) z namenom varstva okolja in varovanja človekovega zdravja določa pravila ravnanja in druge pogoje za preprečevanje ali zmanjševanje škodljivih vplivov nastajanja odpadkov in ravnanja z njimi ter zmanjševanje celotnega vpliva uporabe naravnih virov in izboljšanje učinkovitosti uporabe naravnih virov v skladu z Direktivo 2008/98/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. novembra 2008 o odpadkih;
- Uredba o podrobnejši vsebini načrta upravljanja z morskim okoljem (Uradni list RS, št. 92/10 in 20/13) v skladu z ODMS določa podrobnejšo vsebino in način priprave načrta upravljanja z morskim okoljem ter časovnice za pripravo posameznih vsebin načrta;
- Uredba o načrtu upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja (Uradni list RS, št. 61/11 in 49/12) potrjuje načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja za obdobje do leta 2015. Ta uredba določa tudi podaljšanje rokov za doseganje ciljev, ki se nanašajo na doseganje dobrega stanja ali dobrega ekološkega potenciala posameznih vodnih teles zaradi razlogov, povezanih s tehnično izvedljivostjo ali z naravnimi pogoji.

Republika Slovenija je kot polnopravna članica Evropske unije dolžna upoštevati tudi direktive, ki jih postavlja Evropski parlament. To pa so:

- Direktiva Evropskega Parlamenta in Sveta 2008/56/ES z dne 17. junija 2008 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju politike morskega okolja (ODMS), katere cilj je evropska morja pripeljati do »dobrega okoljskega stanja« najpozneje do leta 2020. V ODMS so odpadki prikazani kot deskriptor 10, eden od 11 kakovostnih deskriptorjev za določanje dobrega okoljskega stanja, katerega eden od kazalnikov je tudi mikroplastika;
- Direktiva Sveta 1999/31/ES z dne 26. aprila 1999 o odlaganju odpadkov na odlagališčih, katere cilj je zmanjšati obremenjevanje okolja, vključno z onesnaževanjem površinskih voda, zaradi obstoja odlagališč odpadkov. Nepravilno urejena odlagališča in tista na izpostavljenih območjih lahko postanejo vir odpadkov v rekah, jezerih in na koncu v morju;
- Direktiva Sveta 91/271/EGS z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode, katere cilj je zmanjšati onesnaženost okolja zaradi neprečiščenih komunalnih odpadnih vod in nekaterih industrijskih odpadnih vod. Večina trdnih odpadkov izvira s kopnega, pri tem reke in neočiščeni kanalizacijski izpusti verjetno predstavljajo znaten delež trdnih odpadkov v morju;
- Direktiva Evropskega Parlamenta in Sveta 2000/59/ES z dne 27. novembra 2000 o pristaniških zmogljivostih za prevzem ladijskih odpadkov in ostankov tovora, ki obvezuje pristanišča in marine, da uredijo sprejem odpadkov in ostankov tovora z ladij ter jih ustrezno oddajo v nadaljnjo obdelavo ali odlaganje;
- Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 94/62/ES z dne 20. decembra 1994 o embalaži in odpadni embalaži, katere glavni cilj je preprečevati nastajanje odpadne embalaže. Spodbuja ponovno uporabo in recikliranje ter določa konkretne cilje;
- Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2006/7/ES z dne 15. februarja 2006 o upravljanju kakovosti kopalnih voda in razveljavitvi Direktive 76/160/EGS, ki ob vsakem vzorčenju kopalnih voda narekuje tudi njen vizualni pregled zaradi odkrivanja onesnaženja vode s trdnimi odpadki (na primer steklom, plastiko, gumo in drugim);
- Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike (Vodna direktiva), katere cilj je

doseganje dobrega ekološkega in kemijskega stanja površinskih voda do leta 2015. V tem okviru se obravnavajo celinske površinske vode ter obalno morje, ki sega po definiciji 1 navtično miljo od temeljne obalne črte;

- Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta (EU) 2015/720 z dne 29. aprila 2015 o spremembi Direktive 94/62/ES glede zmanjšanja potrošnje lahkih plastičnih nosilnih vrečk;
- Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2010/75/EU z dne 24. novembra 2010 o industrijskih emisijah (celovito preprečevanje in nadzorovanje onesnaževanja), katere cilj je celostni pristop k nadzoru onesnaževanja, ob upoštevanju ravnanja z odpadki, je preprečevati emisije v zrak, vodo ali tla, če je to izvedljivo, če pa ni, je potrebno emisije zmanjšati na najmanjšo možno raven, da bi dosegli visoko stopnjo varstva okolja kot celote;
- Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2008/98/ES z dne 19. novembra 2008 o odpadkih in razveljavitvi nekaterih direktiv uveljavlja nov pristop k obravnavi odpadkov. Odpadki so vir surovin in ne samo nekaj, kar je potrebno čim ceneje odložiti. Zato morajo države članice sprejeti ukrepe, da se odpadki v čim večji meri ponovno uporabijo. Direktiva določa 5-stopenjsko hierarhijo ravnanja z odpadki, ki se upošteva kot prednostni vrstni red pri načrtovanju politike in pripravi zakonodaje na področju odpadkov, in sicer: preprečevanje nastajanja odpadkov, priprava odpadkov za ponovno uporabo, recikliranje, druga predelava (npr. energetska predelava) in odstranjevanje.

3 GLAVNE ZNAČILNOSTI PLASTIKE

3.1 Zgodovina nastanka plastičnih materialov

Polimere so okoli 1600 let pr. n. št. uporabljali že ljudstva Srednje Amerike, in sicer tako, da so predelovali naravni kavčuk in iz njega izdelovali razne figurice in trakove (Hammer in sod., 2012).

Sodobni začetki plastičnih mas segajo v leto 1869, ko je John Wesley Hyatt izumil nitrocelulozo, kompozitni material, ki je bil najprej uporabljen za krogle za biljard. Nitroceluloza (kasneje znana pod komercialnim imenom celuloid) je bila prva industrijska plastika (Hammer in sod., 2012; Šprajcar in sod., 2012). Polsintetična plastika, kot sta polistiren (PS) in polivinil klorid (PVC), je bila iznajdena v devetnajstem stoletju in ponazarja začetek plastične ere, katera traja še danes. Polistiren (PS) je leta 1839 iznašel Edurd Simon (Hammer in sod., 2012).

Sprva plastike zaradi njene pogosto toge in krhke strukture ni bilo mogoče uporabiti v komercialnih izdelkih. To se je spremenilo leta 1907, ko je Leo Baekeland iznašel prvi pravi sintetični fenol – formaldehidni plastični material, imenovani bakelit. Uporabljen je bil v številnih različnih produktih, od telefonskih slušalk, do delov avtomobilskih motorjev (Hammer in sod., 2012). Leta 1913 je Friedrich Heinrich Avgust Klatte postal prvi izumitelj polivinil klorida (PVC) z metodo polimerizacije vinilklorida s pomočjo sončne svetlobe. Vendar se praktično ni uporabljal do leta 1926, ko je Waldo Semon izpopolnil že poznani polivinil klorid (PVC) in tako je nastal plastificirani polivinil klorid (vinil) (Hammer in sod., 2012; PlasticsEurope, 2015). Nekaj let kasneje, leta 1933 je Ralph Wiley dokaj po nesreči iznašel poliviniliden klorid (PVDC) ali saran. PVDC je odporen na kisik, vodo, kisline, baze in topila. Leta 1937 je bila iznajdena fleksibilna pena ali poliuretan (PUR). Polistiren (PS) je leta 1938 postal bolj praktičen v komercialnem smislu, saj so ga začeli uporabljati za embalažo za arašide. Istega leta je Roy Plunket iznašel politetrafluoretilen (PTFE) ali teflon. Leto kasneje je Wallace Carothers iznašel najlon in neopren. Leta 1941 je John Rex Whinfield iznašel polietilen tereftalat (PET). Sedaj se ga največ uporablja za izdelavo plastenk za vodo in razne pijače. Je eden najbolj uporabljenih plastičnih materialov po vsem svetu (Hammer in sod., 2012).

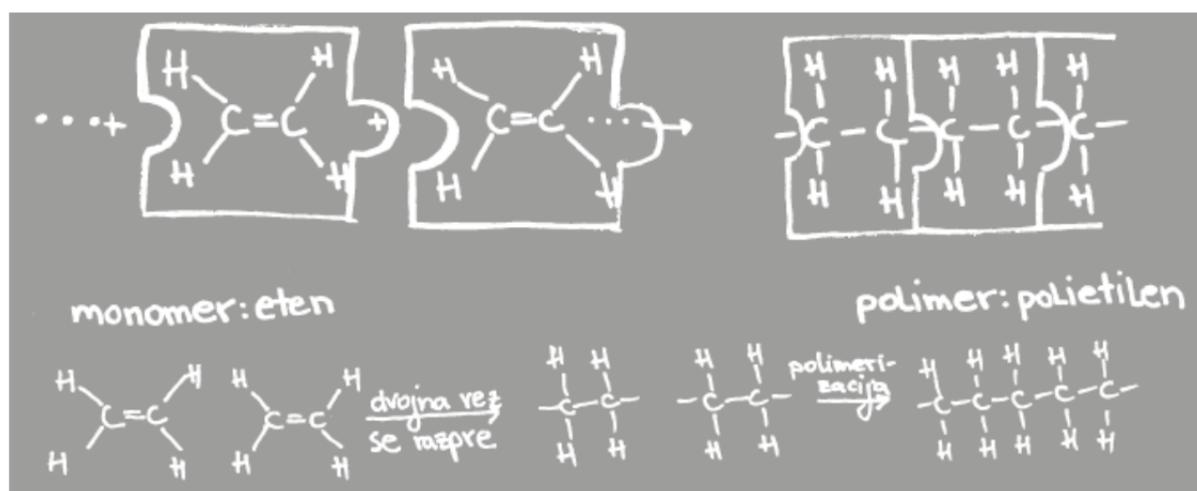
Ker so bili v času druge svetovne vojne baker, jeklo in aluminij zelo dragoceni za vojaško uporabo, se je povečalo svetovno povpraševanje po plastiki. Po drugi svetovni vojni so se tovarne plastike ohranile in hitro je bil trg prenasičen s plastičnimi izdelki, ki so v družbi veljali za enkratne in poceni. V ZDA je leta 1979 proizvodnja plastike presegla proizvodnjo jekla. Zato lahko rečemo, da je druga svetovna vojna spremenila svet in začela ero plastične industrije. Leta 1951 so sintetizirali polietilen z visoko gostoto (ang. HDPE) in polipropilen (PP), leta 1954 pa so iznašli stiropor, ki je blagovna znamka za ekstrudiran polistiren (EPS), ki tehta 30-krat manj od običajnega polistirena. Termoplastični polimer, ki temelji na polibutilen tereftalatu (PBT) je bil prvič predstavljen leta 1970. Ker ima visoko trdnost in dobro stabilnost pri visokih temperaturah, se uporablja kot material za visoko kakovostne in zelo obremenjene inženirske dele v številnih industrijskih sektorjih (Hammer in sod., 2012).

3.2 Osnovne kemične karakteristike plastike

Naziv polimeri izhaja iz grških besed poly – polys, kar pomeni mnog, in meros, kar pomeni del. Iz teh dveh besed torej sledi naziv polimer (Fakulteta za strojništvo, 2015). Živi organizmi v presnovnih procesih sami sintetizirajo različne polimere, ki jih potrebujejo za opravljanje različnih funkcij, nosilce dednega zapisa (DNK), material za zagotavljanje rigidnosti v celičnih stenah (celuloza), snovi za shranjevanje energije (v nekaterih mikroorganizmih poliesteri) itd. Te polimere imenujemo naravni polimeri. Nekateri izmed naravnih polimerov so: celuloza, lignin, škrob, hitin, pektin, agar itd. Poleg naravnih polimerov poznamo še številne umetne polimere, ki so v osnovi in principu bolj ali manj podobni naravnim, vendar pa jih proizvaja človek umetno iz fosilnih goriv in v naravi kot taki ne obstajajo. V to skupino sodi skoraj vsa plastika, ki jo uporabljamo (Šprajcar in sod., 2012).

Naziv plastične mase izhaja iz grške besede plastikos, kar pomeni oblikovnost, gnetljivost. Te snovi imajo namreč lastnost, da se pri določenih pogojih zelo dobro preoblikujejo, imajo visoko korozijsko odpornost, majhno težo, odpornost na vodo in razbitje ter zračno nepropustnost. Pri pridobivanju polimernih snovi razlikujemo tri vrste reakcijskih procesov: polimerizacija, polikondenzacija in poliadicija. Lastnosti polimernih materialov niso odvisne od načina povezovanja monomerov, ampak od končne oblike polimerne verige, ki se tvori. Po polimerizaciji so polimeri večinoma v prahu ali v enem kosu. Prav zato se jih ponavadi predela v pelete. Peleti so majhne plastične granule, premera nekaj mm, ki so osnovna surovina za izdelovanje različnih plastičnih izdelkov.

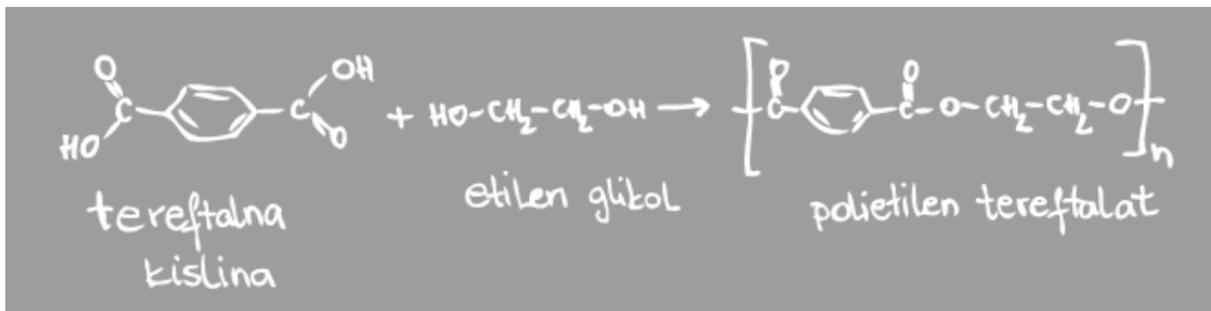
Polimerizacija je najbolj razširjen industrijski postopek sinteze termoplastičnih mas. Monomeri tekočih ali plinastih substanc se nalagajo drug na drugega na mestih dvojnih valenc, ki razpadejo. Pri tem se ena valenca porabi za zvezo z drugim monomernim delcem, pri čemer se ne izloča noben stranski produkt. S polimerizacijo nastane npr. polietilen (PE) (Slika 1).



Slika 1: Polimerizacija etena – nastanek polietilena (Šprajcar in sod., 2012: str. 6)

Figure 1: Polymerization of ethylene – the formation of polyethylene (Šprajcar et al., 2012: p. 6)

Pri polikondenzacijskem procesu se različni monomeri preko reakcijsko sposobnih končnih skupin spojijo, pri čemer se kot stranski produkt izloči voda, amonijak ali drugi nizkomolekularni stranski produkti. Značilni produkti so poliestri (polietilen tereftalat (PET)) (Slika 2), polikarbonati in poliamidi.



Slika 2: Estrifikacija – nastanek polietilen tereftalata (PET) (Šprajcar in sod., 2012: str. 6)

Figure 2: Esterification – the formation of polyethylene terephthalate (PET) (Šprajcar et al., 2012: p. 6)

Pri poliadiciji se združujeta dva različna monomerna delca, ki vsebujeta atomske skupine in sta sposobna za reakcijo. Reakcijo spajanja monomernih delcev sproži preseljevanje vodikovega atoma iz enega monomera k drugemu. Pri tem ne nastajajo nobeni stranski produkti. Značilni produkti poliadicije so npr. poliuretani in epoksidne smole (Fakulteta za strojništvo, 2015).

Plastični izdelki imajo različno obliko in teksturo. Z njimi se srečujemo vsakodnevno in življenja brez njih si sploh ne moremo več predstavljati. Zato so večinoma obogateni z različnimi aditivi (bioaktivnimi monomeri), da se zmanjša stroške izdelave in izboljša njihove splošne lastnosti, kot npr. boljša vročinska in mikrobiološka odpornost, zmanjšanje teže in podobno. Približno 25 % plastične proizvodnje uporablja aditive (Gorycka, 2009). Veliko plastičnih izdelkov, ki se uporabljajo v komercialne namene, vsebuje visoke koncentracije aditivov, kot so npr. UV stabilizatorji, plastifikatorji, zaviralci gorenja, spojine proti sprijemanju, antioksidanti, barvila in težke kovine. Ocenjuje se, da so plastični izdelki po teži v celoti sestavljeni iz okoli 50 % polnila, ojačitev in dodatkov (Moore, 2008). Obstaja skrb, da bi se potencialno škodljivi kemični dodatki, vključno z ftalati, bisfenol A (BPA) in polibromiranih difenil etrov (PBDE), lahko prenesli neposredno iz plastike na ljudi (npr., ko malčki neposredno dajejo v usta igrače, ali pa prek pakirane hrane in pijače) (Thompson in sod., 2009a). Še posebno skrb nam lahko povzročajo ftalati in BPA, saj jih je moč odkriti v vodnih okoljih, v prahu, in zaradi svoje hlapljivosti tudi v zraku, skratka skoraj povsod (Thompson in sod., 2009b).

Nedavna pozornost na plastiko je osredotočena na t. i. bioplastiko. Definicija, ki je danes priznana in nekako največ v uporabi, označuje bioplastiko kot biorazgradljivo plastiko in/ali plastiko iz obnovljivih virov. Ta definicija je v uporabi v industriji in pove, da ni nujno, da je bioplastika tudi biorazgradljiva. Po tej definiciji med bioplastiko prištevamo tudi plastiko, ki ni biorazgradljiva, je pa narejena iz obnovljivega vira (Šprajcar in sod., 2012). Biorazgradljiva plastika je plastika, ki se v odvisnosti od pogojev procesa aerobno ali anaerobno v celoti razgradi v ogljikov dioksid, metan, vodo, biomaso in anorganske snovi (Kržan, 2012). Biorazgradljivost je specifična lastnost nekaterih plastičnih materialov oz. polimerov, iz katerih so plastični materiali sestavljeni. Biorazgradnja pa

označuje proces degradacije polimernega materiala pod vplivom biotskih (živih) dejavnikov. Biorazgradljiva plastika razpada pod kombiniranim vplivom abiotskih (npr. UV svetloba, voda, toplota) in biotskih (npr. bakterije, glive, alge) dejavnikov. V prvi fazi material izgubi trdnost in fizično razpade – fragmentira, v drugem koraku pa organizmi nastale delce presnovijo, pride do mineralizacije (proces pretvorbe organske snovi v anorganske oblike). Končni produkti biološke razgradnje so biomasa, CO₂ in voda (Šprajcar in sod., 2012).

3.3 Delitev polimernih gradiv

Polimerna gradiva se delijo na tri glavne skupine: termoplaste, duroplaste in elastomere. Posamezne glavne skupine pa se delijo na različne tipe plastike.

Termoplasti

Najbolj razširjene v svetu so termoplastične mase. Njihova prednost pred ostalimi je možnost recikliranja, kar z drugimi besedami pomeni možnost večkratne predelave. Z okoljskega vidika imajo torej pred seboj še svetlo prihodnost. Termoplasti so linearni razvejani polimeri, ki se največkrat predelujejo pri povišani temperaturi. Od tod izvira tudi ime termoplasti – thermos, kar pomeni toplo. Pri višjih temperaturah postane polimer tekoč in primeren za brizganje. Po ohladitvi talina otrdi in obdrži dano obliko. Njihova slaba lastnost je torej v tem, da niso odporni proti povišani temperaturi, saj se dokaj hitro začnejo mehčati in zgubijo svoje mehanske lastnosti. Primeri termoplastov so npr.: polistiren (PS), polivinil klorid (PVC), polietilen tereftalat (PET), polietilen (PE), polipropilen (PP) in ekstrudiran polistiren (EPS) (Fakulteta za strojništvo, 2015).

Polistiren (PS) je sintetični aromatski polimer, izdelan iz monomera stirena. Lahko je tog ali penast in kot material slaba ovira za kisik in vodno paro ter ima relativno nizko tališče. Zaradi svojih lastnosti ima širok krog uporabe kot npr.: igrače, petrijevke, obešalniki, oprema za pisarne, pribor za enkratno uporabo, lončki za kavo idr. Polistirenske smole imajo odlično razmerje med ceno in zmogljivostjo in v mnogih primerih lahko nadomestijo dražje polimere. Večina izdelkov iz polistirena se trenutno ne reciklira (PlasticsEurope, 2015).

Polivinil klorid (PVC) je vsestransko uporaben material, ki ga odlikujejo slaba gorljivost, visoka odpornost na kemikalije, nizek termični koeficient deformacije, stabilne izolacijske lastnosti, možnost varjenja in oblikovanja pri višji temperaturi. Z dodajanjem številnih različnih aditivov v proizvodnji PVC izdelkov, se povečajo zahteve kot so moč, togost, barva in prosojnost. Zaradi njegove prilagodljivosti in lastnosti je PVC po izdelani količini druga najbolj pogosta plastika na svetu (Hammer in sod., 2012; PlasticsEurope, 2015).

Polietilen tereftalat (PET) se uporablja za izdelavo plastičnih steklenic, v katerih so shranjeni različni sadni sokovi, gazirane pijače itd. PET je eden izmed najpogosteje uporabljenih plastičnih mas v evropski industriji embalaže iz več razlogov. Je zelo močen, da zdrži visoke pritiske, npr. da pri padcu steklenica ne poči. Je odlična plinska pregrada, tako da ohranja mehurčke v gaziranih pijačah in ščiti

okus pijač v steklenicah. PET je široko reciklirani material in z recikliranjem le tega države članice močno prispevajo k zadostitvi pogojev recikliranja, ki jih narekuje EU direktiva. Ko recikliranje PET ni izvedljivo (preveč umazan ali preveč onesnažen), se ga lahko uporabi kot vir energije, saj ponavadi ne vsebuje težkih kovin in/ali nevarnih snovi za okolje (PlasticsEurope, 2015).

Polipropilen (PP) je termoplast iz skupine olefinov, ki ga oblikujejo relativno dobre mehanske lastnosti pri temperaturi uporabe do 100 °C. Je izrazito termično obstojen in zato zelo razširjen v vseh vejah kemične industrije. Zaradi zanemarljive absorpcije vode in medijev, gotove izdelke odlikuje izjemna dimenzionalna stabilnost. Uspešno in enostavno se vari in obdeluje. PP se uporablja v črni in barvni metalurgiji, elektroindustriji, cementarnah, galvanah za galvanske kadi in bobne, v tekstilni, prehrabni, lesni in avtomobilski industriji, industriji usnja in obutve itd. (Italtehnica, 2015).

Polietilen (PE) je termoplast s širokim kvalitativnim razponom in sicer od vrhunskih visoko molekularnih tipov, primernih za najzahtevnejše strojne dele, do normalnih in nižjih kvalitet primernih za manj zahtevne in mehansko manj obremenjene izdelke. Kemično je zelo obstojen, zanemarljivo absorbira vodo in medije, zaradi česar ga odlikuje odlična dimenzijska stabilnost. Zaradi svojih dobrih lastnosti se PE proizvodi dobro obdelujejo in varijo. Uporabljajo se v različnih industrijskih panogah: prehrabni, pakirnikemijski, papirni in tekstilni industriji, strojogradnji, rudarstvu, pri vodooskrbi in odvajanju onesnaženih voda itd. Najpogosteje se uporablja v črni, beli (naravni) in zeleni barvi. Končni proizvodi iz PE so: drsni in vodilni elementi, delovni pulti, kuhinjske deske, kolesa, drsne puše, zobniki, verižniki itd (Italtehnica, 2015).

Ekstrudiran polistiren (EPS) ali stiropor je eden izmed polimerov, ki se jih največ proizvede v svetu. EPS je trdna pena z edinstveno kombinacijo lastnosti, kot so lahkost, izvrstne izolacijske lastnosti, trpežnost, odpornost proti vlagi, odpornost na udarce, velika možnost preoblikovanja in odlične predelovalne lastnosti ter enostavnost uporabe. EPS ima širok spekter uporabe kot npr.: toplotno izolacijske plošče v stavbah, pakiranje, oblaginjenje dragocenega blaga in embalaže za živila. EPS se da v celoti reciklirati (PlasticsEurope, 2015).

Duroplasti

Za razliko od termoplastov, katerih proizvodnja nenehno narašča, pa proizvodnja duroplastov ne narašča tako hitro. Vzrok je verjetno v tem, da duroplastov ne moremo reciklirati, preoblikovanje se namreč lahko opravi le enkrat. Ko se pri termoreaktivni snovi pod vplivom visoke temperature sproži kemična reakcija, pri kateri snov polimerizira, se makromolekule, ki so med seboj mrežasto prepletene, čvrsto združijo na zelo kratkih razdaljah v toge, trde členkaste spoje, tako da je celotno telo ena sama velika, prostorskoumrežena makromolekula z amorfnno strukturo. To duroplastom omogoča veliko trdnost in obstojnost oblike (od tod tudi ime duros, kar pomeni trd). Vez, ki nastane med makromolekulami se ne sprostí niti s segrevanjem, zato so te snovi po reakciji neraztaljive in se razkrojijo šele pri sežigu. Kljub temu pa so duroplasti na številnih področjih nezamenljivi. Odlikuje jih predvsem velika temperaturna obstojnost in trdnost. Primera duroplastov so npr.: epoksi smole in poliuretani (PUR) (Fakulteta za strojništvo, 2015).

Poliuretan (PUR) je najpogosteje uporabljen polimer za izdelavo pene. Mehka poliuretanska pena je zaradi svoje elastičnosti, celične strukture, relativno nizke gostote in odpornosti na mehanske obremenitve najbolj razširjena. Odprta celična struktura omogoča dobro zračno prepustnost, po mehanskih obremenitvah pa vrnitev v prvotno stanje. Poliuretanske pene se uporabljajo na različnih področjih, zlasti v inženirstvu, kjer se zahtevajo stabilni in trpežni materiali, odporni proti razjedam in strukturnim spremembam in z dobro odpornostjo na kemikalije in olja. PUR se lahko reciklira na dva načina, in sicer mehansko recikliranje, v katerem je material ponovno uporabljen v svoji polimerni obliki, in kemično recikliranje, v katerem se material razbije v oligomere ali monomere, ki so nato primerni za izdelavo novih poliuretanov. Poleg tega so lahko zaradi svoje lepilne lastnosti v pomoč recikliranju drugih materialov, kot so guma in les (PlasticsEurope, 2015).

Elastomeri

Elastomeri nastanejo tako, da se nitaste makromolekule kavčuka med vulkanizacijo na redkih mestih elastično povezujejo. Ta elastična vez omogoča veliko raztegljivost snovi, vendar pa kljub tej elastičnosti členkastih vezi molekule niso razdružljive in je ponovna taljivost, tako kot pri duroplastih, nemogoča. Snov se pri segrevanju ne tali in se razkroji šele pri sežigu, tako da je tudi ta proces ireverzibilen. Najbolj znan elastomer je guma (Fakulteta za strojništvo, 2015).

3.4 Količine in ravnanje z odpadno embalažo v tujini in Sloveniji

Proizvodnja plastičnih mas in njihova uporaba je iz leta v leto večja zaradi njihovih številnih prednosti pred bolj tradicionalnimi materiali. Svetovna proizvodnja plastike raste iz leta v leto. Leta 2011, ko je svetovna proizvodnja plastike znašala 279 milijonov ton, je znašala leta 2015 že 311 milijonov ton. Po letu 2007, ko se je v Evropi proizvedlo rekordnih 65 milijonov ton plastike, se je v naslednjih letih trend proizvodnje plastike obrnil navzdol in se v letu 2014 ustalil. Proizvedlo se je 59 milijonov ton plastike in te vrednosti so podobne tistim iz leta 2002. Največji delež proizvedene plastike, skoraj 40 % predstavlja embalaža, 20 % proizvedene plastike se porabi v gradbeništvu, 8,5 % v avtomobilski industriji, 5,6 % v proizvodnji elektronike, 4,3 % v kmetijstvu ter 21,7 % v ostalih panogah. Leta 2014 se je v Evropi proizvedlo 25,8 milijonov ton plastičnih odpadkov. Od tega se je 69,2 % odpadkov izločilo skozi procese recikliranja in energetske predelave, medtem ko se je 30,8 % odpadkov še vedno odložilo na odlagališča (PlasticsEurope, 2016).

Količina odpadne embalaže v Sloveniji se je od leta 2004 do leta 2008 v Sloveniji povečevala, po tem letu pa z izjemo enega leta upadala. Leta 2004 je bilo odložene okoli 161.000 t embalaže, leta 2008 pa je ta količina dosegla vrh z 215.000 t. Do leta 2012 se je ta količina zmanjšala na 202.000 t (Preglednica 1), za katero so zadnji dostopni podatki (SURS, 2014).

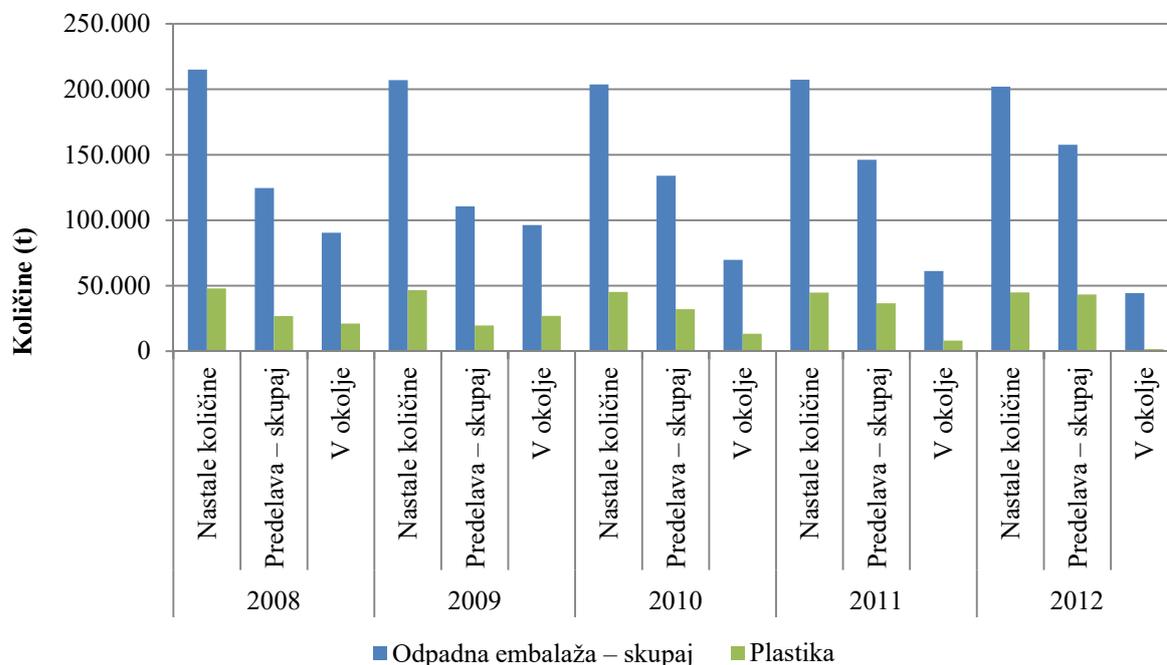
Preglednica 1: Ravnanje z odpadno embalažo v Sloveniji po letih v tonah (SURs, 2014)

Table 1: Packaging wastemanagement in Slovenia in a given year in tonnes (SURs, 2014)

Količina (t)	2008			2009			2010			2011			2012		
	Nastale količine	Predelava – skupaj	V okolje	Nastale količine	Predelava – skupaj	V okolje	Nastale količine	Predelava – skupaj	V okolje	Nastale količine	Predelava – skupaj	V okolje	Nastale količine	Predelava – skupaj	V okolje
Odpadna embalaža – skupaj	215.110	124.629	90.481	20.6994	110.634	96.360	203.763	134.010	69.753	207.396	146.208	61.188	202.021	157.636	4.439
Steklo	31.373	25.030	6.343	31.627	16.575	15.052	31.347	23.546	7.801	31.146	25.632	5.514	31.993	27.928	4.065
Plastika	47.890	26.767	21.123	46.603	19.683	26.920	45.268	32.024	13.244	44.729	36.635	8.094	44.841	43.269	1.572
Papir in karton	80.331	53.322	27.009	82.312	59.357	22.955	80.904	60.936	19.968	82.226	63.275	18.951	79.305	64.163	15.142
Kovine – skupaj	18.476	3.950	14.526	15.988	4.295	11.693	14.966	4.921	10.045	15.043	6.075	8.968	15.225	6.336	8.889
Les	35.717	13.883	21.834	28.912	10.724	18.188	29.813	12.356	17.457	32.843	13.425	19.418	28.688	15.783	12.905
Drugo	1.323	/	/	1.552	0	1.552	1.465	227	1.238	1.409	1.166	243	1.969	157	1.812

/ - ni podatka

Količina plastike je od leta 2008 padla in je zadnja leta približno na istem nivoju. Od leta 2008 do leta 2012, razen leta 2009 pa je izrazito naraščala skupna predelava plastike. Leta 2012 se je predelalo 96 % (okoli 43.200 t) plastike. To pomeni da se je odvrlo v okolje 4 % (okoli 1.600 t) plastike, kar pa je iz okoljskega vidika še vedno preveč. Grafikon 1 prikazuje od leta 2008 do leta 2012 nastale količine v tonah skupne odpadne embalaže in plastike, predelavo skupne odpadne embalaže in plastike ter skupne odpadne embalaže in plastike, ki se jih je odložilo v okolje.



Grafikon 1: Odpadna embalaža v Sloveniji po letih – skupaj in plastika (SURs, 2014)

Graph 1: Packaging waste in Slovenia in a given years – altogether and plastic only (SURs, 2014)

4 VPLIV PLASTIČNIH ODPADKOV NA VODNO OKOLJE

Plastika je ponavadi lahek, poceni in trpežen material. Ker jo lahko poceni proizvedemo, jo največkrat uporabimo samo enkrat in potem kot odpadke odvržemo. Dejstvo, da je plastika lahka in trpežna, povzroči, da se tak odpadke lahko akumulira na odlagališčih ali da se transportira od samih virov pa vse do oceanov. Okoli 49 % proizvedene plastike je plavajoče, kar da plastiki možnost, da lahko potuje po oceanih s pomočjo tokov in vetra kamorkoli po svetu (Hammer in sod., 2012). Slika 3 prikazuje indonezijskega deskarja Dedeja Surinaya, ki med deskanjem ujame val, ki je poln odpadkov, večinoma plastike.



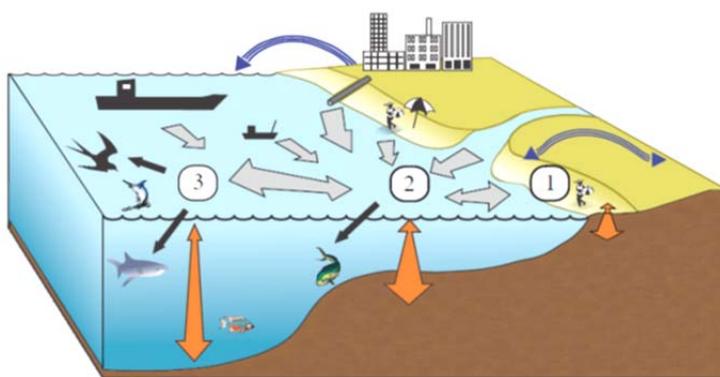
Slika 3: Deskanje med plastiko (Vir: http://www.theguardian.com/global-development-professionals-network/gallery/2015/apr/01/over-population-over-consumption-in-pictures?CMP=share_btn_fb#img-7 (Pridobljeno 3. 4. 2015)

Figure 3: Surfing within plastic (Source: http://www.theguardian.com/global-development-professionals-network/gallery/2015/apr/01/over-population-over-consumption-in-pictures?CMP=share_btn_fb#img-7 (Acquired 3. 4. 2015)

4.1 Glavni viri plastike in poti gibanja plastike

Slabo gospodarjenje z odpadki na kopnem, zlasti majhni deleži predelave plastičnih odpadkov, zaostrejuje problem onesnaževanja morij s plastiko, ki je eden od najpomembnejših globalnih okoljskih problemov prihodnosti. Morski plastični odpadki prihajajo iz kopnega in iz aktivnosti na morju (Slika 4). Večino plastike se akumulira na plažah (1), v obalnih vodah in njihovih sedimentih (2), in na odprtem morju (3). Temno modre puščice prikazujejo plastiko, ki jo prinese veter; sive puščice prikazujejo plastiko v vodi; oranžne puščice prikazujejo prehod plastike skozi vodni stolpec,

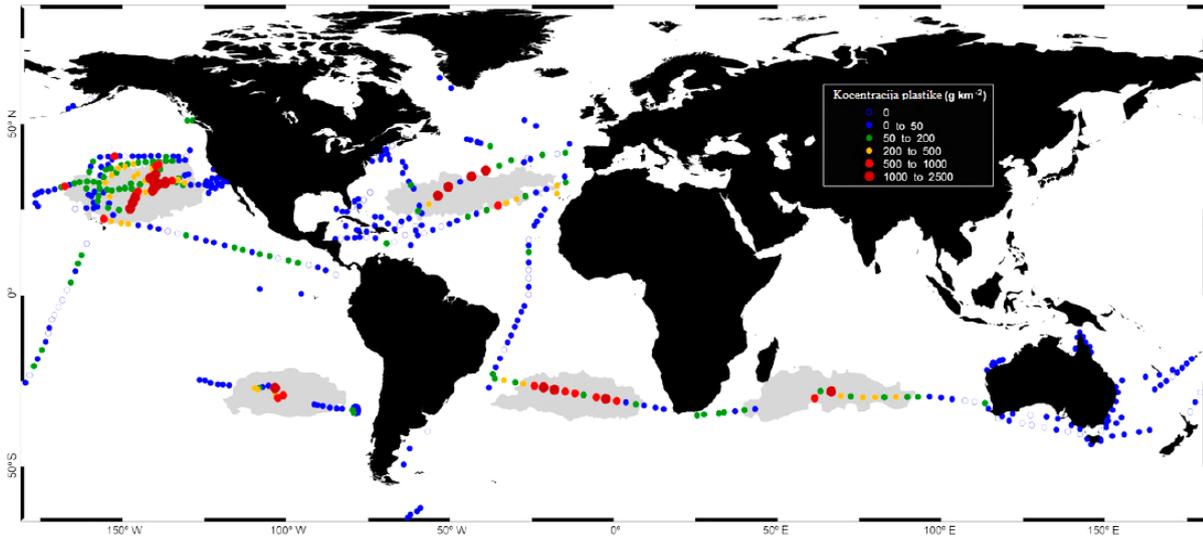
vključno z usedanjem v sedimente; črne puščice pa zaužitje plastike s strani morskih organizmov (Evropska komisija, 2013). Glavni viri plastičnih morskih odpadkov na kopnem so: komunalna odlagališča, ki se nahajajo blizu obal; transport odpadkov po rekah in drugih celinskih plovih poteh; izpusti neprečiščenih komunalnih odpadnih in padavinskih vod (vključno s posledicami občasnih močnih nalivov); industrijski objekti (trdni odpadki iz odlagališč; neprečiščene industrijske odpadne vode) in turizem (predvsem občasni obiskovalci na obalah) (UNEP, 2005). Reke s svojim transportom bistveno pripomorejo k onesnaženju morja, saj prinesejo plastiko iz že onesnaženih zemeljskih območij (Ryan in sod., 2009). Glavni viri plastičnih odpadkov na morju so: trgovski ladijski promet, trajekti, potniške križarke, ribiška plovila, vojaške flote, raziskovalna plovila, naftne in plinske ploščadi, naprave za ribogojstvo in uporabniki rekreacijskih plovil (UNEP, 2005).



Slika 4: Glavni viri plastike in poti gibanja plastike v morskem okolju (Ryan in sod., 2009: str. 2000)

Figure 4: Main sources of plastic and the movement path of plastic in the marine environment (Ryan et al., 2009: p. 2000)

Ko plastični odpadki pridejo v okolje, zlasti v morsko okolje, lahko v njem ostanejo več sto let. Obalnemu in morskemu okolju ter vodnim organizmom škoduje ogromno odpadkov, večinoma plastičnih, ki letno končajo v svetovnih oceanih in morjih ter jih spremenijo v največje odlagališče plastike na svetu (UNEP, 2005). Do sedaj so raziskovalci našli oz. opisali pet območij, kjer manjši koščki odpadkov predvsem plastike lebdijo tik pod morsko gladino ali na gladini ter se zbirajo na teh območjih v vseh oceanih sveta (Palatinus in sod., 2012; Slat in sod., 2014) (severni in južni Tihi ocean, severni in južni Atlantski ocean ter Indijski ocean) (Slika 5). Slika 5 prikazuje povprečne koncentracije na 442 mestih vzorčenja (1.127 površinskih vzorčenj z mrežo). Barvne pike prikazujejo masno koncentracijo plastičnih odpadkov v površinskih vodah svetovnega oceana (rdeča največjo koncentracijo, modra najmanjšo), s sivinami pa so označena območja, kjer se zbirajo plastični odpadki.



Slika 5: Koncentracije plastičnih odpadkov v površinskih vodah svetovnih oceanov (Cozar in sod., 2014: str. 10240)

Figure 5: Plastic waste concentrations in surface waters in the world's oceans (Cozar et al., 2014: p. 10240)

Pod težo obraščanja različnih bakterij, alg, živali in nakopičenih usedlin lahko plastični odpadki potonejo na morsko dno (Slika 6) (Barnes in sod., 2009). Poleg večjih plastičnih odpadkov na globoko morsko dno oceanov potone tudi mikroplastika (Van Cauwenberghe in sod., 2013).



Slika 6: Akumuliranje odpadkov v globokomorskih okoljih (kanjon Marseille) (Barnes in sod., 2009: str. 1992)

Figure 6: Accumulation of wastes in deep sea environments (Marseille canyon) (Barnes et al., 2009: p. 1992)

4.2 Delitev plastičnih odpadkov po velikosti

Plastični odpadki se po velikosti delijo na 3 kategorije: makroplastiko (večje od 20 mm), mezoplastiko (5–20 mm) in mikroplastiko (manjšo od 5 mm) (Ryan in sod., 2009; Thompson in sod., 2009b; Barnes in sod., 2009), čeprav nekateri avtorji predlagajo drugačne delitve po velikosti (Cheshire in sod., 2009; Cole in sod., 2011; Palatinus in sod., 2012; Arthur in sod., 2009). Termin mezoplastika je predlagal Andrady (2011) za znanstveno nomenklaturu, za razlikovanje med majhnimi delci plastike, vidnimi za človeško oko, in tistimi, ki so opazni pri uporabi mikroskopa (Cole in sod., 2011). Nekateri avtorji opozarjajo, da problem predstavljajo tudi plastični delci, ki so po definiciji nekaterih avtorjev manjši

od 100 nm, imenovani nanoplastika. Točna meja med mikroplastiko in nanoplastiko pa je med avtorji še vedno nedorečena (Ahlert in sod., 2012; Andrady, 2011; Wright in sod., 2013).

Makroplastika

Med makroplastiko štejemo večje plastične odpadke, ki so večji od 20 mm pa vse do nekaj metrov. Ti odpadki lahko vključujejo plastične stole, čevlje, dele avtomobilov, letal, čolnov, boje, žoge itd. Skoraj vsaka stvar, ki je večja od 20 mm in je bila kdaj narejena iz plastike, se nahaja v oceanih. Pomemben del in tudi pogosto najdena makroplastika je t. i. fantomska mreža. To je ribiška mreža, ki je izrabljena in so jo ribiči enostavno vrgli v morje ali pa so jo med ribolovom izgubili. Taka mreža potuje s tokom in plimo ter vseskozi lovi živali ter druge odpadke. Velikokrat postane taka mreža pretežka in prevelika, da bi jo lahko sploh odstranili iz oceana (Hammer in sod., 2012).

Mezoplastika

Med mezoplastiko štejemo plastične delce, katerih velikost znaša med 5 in 20 mm. Mednje največkrat štejemo plastične delce, ki so nastali z razpadom večjih kosov plastike ali pa smolnate pelete (Andrady, 2011; Hammer in sod., 2012). Peleti so majhne granule, premera do 5 mm in imajo obliko cilindra ali diska in so osnovna surovina za izdelovanje različnih plastičnih izdelkov (Slika 7). Velikokrat so nenamerno med transportom (Rochman, 2013) in samim izdelovanjem izpuščeni v okolje. Ker so peleti zelo obstojni, jih najdemo na skoraj vseh večjih vodnih gladinah po vsem svetu (Barnes in sod. 2009; Hammer in sod., 2012).

Zaradi svoje velikosti (do 5 mm) in razširjenosti pa pelete številni avtorji (Palatinus in sod., 2012; Arthur in sod., 2009; Desforges in sod., 2014; Gorycka, 2009) štejejo med mikroplastiko.



Slika 7: Plastični peleti (UNEP, 2011: str. 27)

Figure 7: Plastic pellets (UNEP, 2011: p. 27)

Mikroplastika

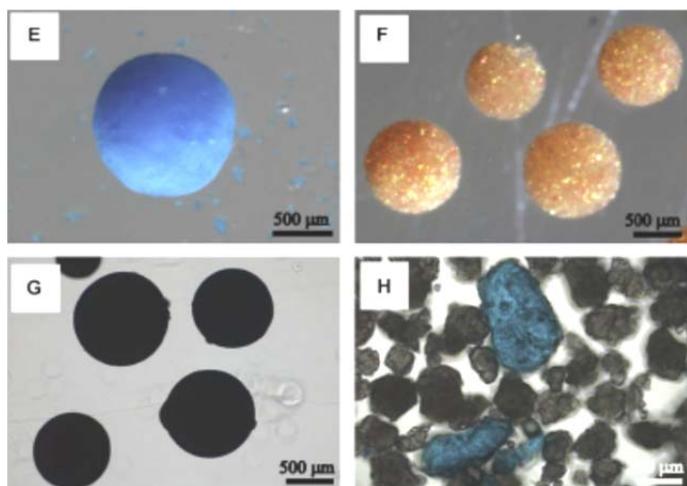
Mikroplastika so plastični delci, ki so manjši od 5 mm. Prva uradna poročila o obstoju mikroplastike segajo v leto 1971 (Ivar do Sul in Costa, 2014). Definicija je bila sprejeta na prvi mednarodni konferenci o mikroplastiki leta 2008 v Washingtonu, ZDA (Arthur in sod., 2009). Nekateri strokovnjaki še dodatno delijo mikroplastiko po velikosti na majhne (manjše od 1 mm v premeru) in velike (1–5 mm v premeru) delce (Laglbauer in sod., 2014). Ker se za vzorčenje mikroplastike največkrat uporablja planktonske mreže (neustonska, epi-neustonska in manta mreža), je v takem primeru spodnja meja velikosti mikroplastike 300 ali 333 μm (Evropa ali ZDA) (Andrady, 2011; Palatinus in sod., 2012). Zaradi svoje majhnosti in uporabnosti plastike so navzoči povsod ter dosežejo tudi najbolj oddaljena območja in globoka morska dna oceanov (Van Cauwenberghe in sod., 2013). Njihova koncentracija v vodi pa je včasih višja od koncentracije planktona (Evropska komisija, 2013). Tudi če se vnos plastičnih odpadkov v okolje popolnoma ustavi, se bo količina mikroplastike še vedno povečevala, ker bo še vedno potekal razpad že obstoječih plastičnih odpadkov (Eerkes – Medrano in sod., 2015).

Trenutne metode za prepoznavanje odpadkov mikroplastike omogočajo, da znanstveniki raziščejo mikroplastiko do velikosti do približno 20 μm (Gorycka, 2009), vendar je znano, da je v okolju prisotna tudi v veliko manjši velikosti, celo do 1,6 μm (Barnes in sod., 2009).

Ločimo primarne in sekundarne vire mikroplastike. Primarni viri mikroplastike so: čistila za stranišča, kreme za roke, telo in obraz, drugi kozmetični izdelki, drobne plastične kroglice v pralnih produktih in praških ter peleti, kroglice, granule in kosmiči kot osnovna industrijska surovina za izdelovanje različnih plastičnih izdelkov (Slika 8) ter abrazivni mediji za čiščenje ladij (Hammer in sod., 2012; Cole in sod., 2011; Derraik, 2002; Moore, 2008; Gorycka, 2009). Slika 9 prikazuje primer mikroplastike iz štirih čistil za obraz na vodni osnovi (E – H), ki vsebujejo polietilen (PE). Mikroplastika te vrste se verjetno v vodne ekosisteme transportira z odplakami iz komunalnih čistilnih naprav (Gorycka, 2009, Thompson in sod., 2007; Cole in sod., 2011). Thompson in sod. (2007) domnevajo, da se te vrste mikroplastike lahko akumulirajo tako v morskih ekosistemih kot tudi v ekosistemih celinskih voda. Za te delce so ugotovili, da so manjši od 1 mm in da so sestavljeni iz polietilena (PE) in polistirena (PS) (Gorycka, 2009). Del primarne mikroplastike, natančneje delce melamina, akrila in poliestra v velikosti od 0,25 mm do 1,7 mm, se uporablja v ladjedelnicah pri peskanju ladijskih trupov in motorjev, da se iz njih odstrani staro barvo in rjo (Gorycka, 2009; Derraik, 2002). Ti delci se uporabljajo toliko časa (običajno 10 ciklov), dokler se njihova velikost ne zmanjša in s tem izgubi moč peskanja. Takrat jih zamenjajo z večjimi delci. Tako tekom procesa peskanja velikokrat lahko postanejo onesnaženi s težkimi kovinami (Derraik, 2002).



Slika 8: Kategorije mikroplastike (Lechner in sod., 2014: str. 178)
Figure 8: Categories of microplastics (Lechner et al., 2014: p. 178)



Slika 9: Primer mikroplastike v štirih čistilih za obraz (Fendall in Sewell, 2009: str. 1226)
Figure 9: Examples of microplastics in four facial cleansers (Fendall and Sewell, 2009: p. 1226)

Za sekundarno mikroplastiko se šteje tiste majhne delce plastike, ki nastanejo z razgradnjo večjih plastičnih odpadkov tako na morju kot tudi na kopnem (Cole in sod., 2011).

Plastični odpadki so na kopnem bolj izpostavljeni kisiku in sončni svetlobi in zato se razgradijo hitreje kot pa v vodi (Cole in sod., 2011). Razkroj oz. razgradnjo plastike lahko v morskem okolju povzroča tudi valovanje in pa abrazija delcev sedimentov (Thompson in sod., 2007; Cole in sod., 2011). Proces razgradnje se nikoli ne konča, saj se razpadanje nadaljuje do vključno molekularnega nivoja (Ivar do Sul in Costa, 2014). Slika 10 prikazuje delec polistirena (PS) pod vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM), na katerem se vidi razpoka (rdeča puščica), kar nakazuje na to, da bo delec polistirena (PS) razpadel še na manjše delce.



Slika 10: Delec polistirena (PS) pod vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM) (Imhof in sod., 2013: str. 868)
Figure 10: Polystyrene (PS) particle under a scanning electron microscope (SEM) (Imhof et al., 2013: p. 868)

Razgradnja plastike pa se lahko zgodi še preden mikroplastika vstopi v vodno okolje npr. sintetična vlakna pri pranju perila (Palatinus in sod., 2012) ali razgradnja plastike v nevodnem okolju. Sekundarna mikroplastika, ki nastane pri pranju sintetičnega perila, je v glavnem iz poliestra, akrila in poliamida in lahko doseže celo do 100 vlaken na liter iztoka (Eerkes – Medrano in sod., 2015). Vir sekundarne mikroplastike, ki nastane pri pranju perila, so v vodnih okoljih večinoma komunalne čistilne naprave (Wagner in sod., 2014). Za sekundarne vire mikroplastike velja prepričanje, da so glavni viri mikroplastike v morskih okoljih (Eerkes – Medrano in sod., 2015).

Nanoplastika

Nanoplastika so plastični delci, ki so po definiciji nekaterih avtorjev manjši od 100 nm. Nanoplastika je premajhna, da bi jo količinsko določili in identificirali z neustonskimi mrežami, tako je njihova koncentracija v naravnem okolju skoraj popolnoma neznan. Viri nanoplastike so enaki kot pri mikroplastiki, primarni in sekundarni (Ahlert in sod., 2012; Andrady, 2011; Wright in sod., 2013).

4.3 Razpad in razgradnja plastike

Fizične lastnosti večine plastike kažejo visoko odpornost proti staranju in minimalno biorazgradnjo. Več dejavnikov lahko prispeva k krhkosti plastike in razpadu na posamezne molekule polimera (Gorycka, 2009). Razgradnja se običajno razvršča glede na proces, ki jo povzroča (Andrady, 2011):

- biorazgradnja – delovanje živih organizmov, običajno mikroorganizmi;
- fotokemijska razgradnja – delovanje svetlobe (običajno sončne svetlobe na izpostavljenosti na prostem);
- termooksidacija – počasni oksidativni razpad pri zmernih temperaturah;
- toplotna razgradnja – pri visokih temperaturah, vendar to ni mehanizem okoljske razgradnje;
- hidroliza – reakcija z vodo.

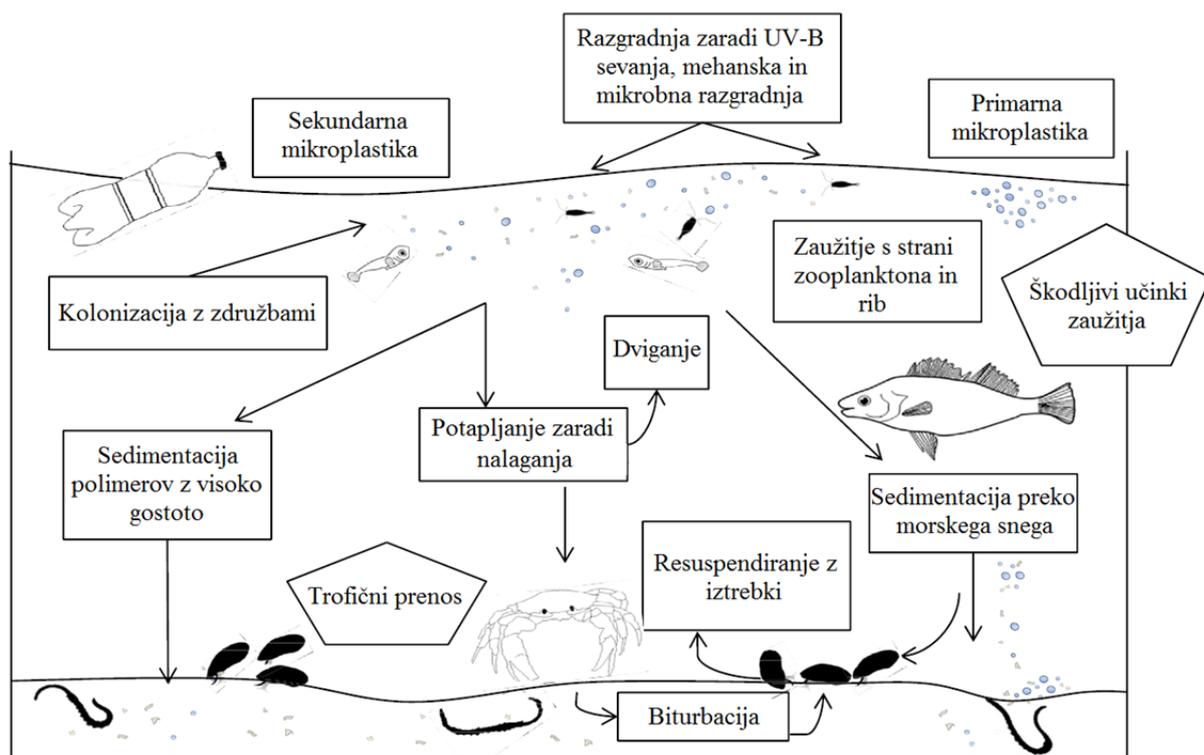
Plastika se lahko razgradi v prisotnosti sončnega ultravijoličnega (UV – B) sevanja, vendar če pa plastika vsebuje učinkoviti svetlobni – stabilizator (kar velja npr. za ribiško opremo), lahko to zlahka zmanjša učinkovitost fotokemijske razgradnje (Gorycka, 2009; UNEP, 2011). Zato sončna svetloba nima veliko efekta v tem procesu. Drug dejavnik, ki pomaga fotokemijski razgradnji, je počasna oksidacija plastike, ki s kisikom in zrakom pospeši njeno razgradnjo. Hidroliza tudi prispeva k razgradnji plastike. Vendar sta tako oksidacija kot hidroliza zelo počasna procesa, primerljiva s časovnim obdobjem same biorazgradnje same plastike, katero lastnost imajo le posebne in zelo redke vrste plastike. Zato ne obstaja učinkovit in zanesljiv mehanizem, ki bi prispeval k biorazgradnji plastike v morskem okolju. Kolikšna je točna življenjska doba plastike ni mogoče določiti. To je odvisno od dejavnikov, kot so: temperatura vodnega stolpca, količina sončnega UV – B sevanja in biotski potencial okolja. Strokovnjaki ocenjujejo, da je doba razgradnje plastičnih peletov od 3 do 10 let, vendar pa jo lahko razni dodatki podaljšajo od 30 do 50 let (Gorycka, 2009). V morskem okolju se plastika lahko razgradi tudi zaradi efekta kombinacije valovanja in abrazije delcev v sedimentu (Thompson in sod., 2007).

4.4 Porazdelitev mikroplastike po vodnem stolpcu in vpliv vzgona

Ker je plastika sestavljena iz velikega števila različnih polimerov in je odvisna od njihove sestave, gostote in oblike, je lahko plavajoča ali pa se enostavno potopi (Cole in sod., 2011). Gostota t. i. potrošniške plastike se giblje med 0,85 in 1,41 g/ml. Polipropilen (PP) in polietilen (PE) z visoko gostoto in nizko gostoto (ang. HDPE in LDPE), ki se štejejo med plastiko z nizko gostoto, imajo gostoto nižjo od 1 g/ml. Polistiren (PS), najlon 6, polivinil klorid (PVC), in polietilen tereftalat (PET) pa imajo gostoto večjo kot 1 g/ml. Ta meja predstavlja približno gostoto čiste vode. Morska voda ima zaradi raztopljenih soli malenkost višjo gostoto. Ravno zaradi te meje se lahko plastiko deli na plastiko, ki ima manjšo, enako ali večjo gostoto kot voda. Tako se lahko plastika kot tudi mikroplastika porazdeli po celotnem vodnem stolpcu (Eerkes – Medrano in sod., 2015).

Mikroplastiko z nizko gostoto se pretežno najde na morski gladini, kar je razvidno iz številnih študij, ki vsebujejo rezultate vzorčenj na vodnih gladinah. Vendar pa lahko tudi ta vrsta mikroplastike potone, npr. zaradi neviht ali pa zaradi nalaganja organizmov, ki povzročijo, da zaradi njih tudi taka mikroplastika postane vse težja in ima vse večjo gostoto (Slika 11). Vendar tudi mikroplastika z visoko gostoto ni stalno na dnu, saj jih lahko začasno v vodni stolpec lahko dvignejo turbulenca ali tokovi na dnu. Ko pa izgubijo vzgon, neizogibno zopet potonejo na dno (Cole in sod., 2011). Slat in sod. (2014) so ugotovili, da v kolikor se poveča hitrost vetra, se s turbulenco večji del mikroplastike iz gladine prestavi v večje globine.

Začetne študije mikroplastike v celinskih vodah kažejo na to, da na transport in razpršenost mikroplastike po vodnem stolpcu vplivajo podobne fizikalne sile kot v morjih. Na podlagi študij suspendiranih sedimentov v celinskih vodah so dodatni faktorji, ki vplivajo na transport delcev naslednji: hitrost toka, globina vode, tip podlage, topografija dna in sezonska spremenljivost vodnih tokov. Cikel plimovanja v estuarjih, nevihte, poplave in druge antropogene dejavnosti (npr. izpust vode iz jezov) pa so dejavniki, ki imajo v celinskih vodah časovni vpliv na transport delcev. Študije so pokazale, da se lahko povečano usedanje mikroplastike pojavi tam, kjer prihaja do mešanja celinske in slane vode (Eerkes – Medrano in sod., 2015).



Slika 11: Potencialne poti za transport mikroplastike in njenih bioloških interakcij (Wright in sod., 2013: str. 485)

Figure 11: Potential pathways for the transport of microplastics and its biological interactions (Wright et al., 2013: p. 485)

Pri visoki turbulenci hitrost plastičnega delca v vodi vedno določa, kje se bo delec nahajal, bodisi na gladini, na dnu ali v vodnem stolpcu. Hitrost delca v vodi je funkcija razmerja površine delca glede na prostornino delca. Čim višje je razmerje med površino in prostornino delca, manjša je hitrost delca, bodisi navzgor ali navzdol. Npr. delec PE folije, ki tehta 1 g, ima večje razmerje med površino in prostornino kot PE pelet enake teže. To pomeni, da se bo v turbulentnih razmerah PE pelet verjetno nahajal blizu gladine in PE folija nekje v vodnem stolpcu. Razmerje med površino in prostornino je tudi funkcija velikosti, kadar imajo delci enako obliko. Okrogli delec z majhnim polmerom ima večje razmerje med površino in prostornino kot pa okrogli delec z večjim polmerom. To bi lahko pomenilo, da se bodo manjši delci plastike, kot npr. mikroplastika, bolj enakomerno porazdelili po vodnem stolpcu kot večji delci, npr. makroplastika (Tweehuijsen, 2015).

Hitrost usedanja ali plavljenja plastike v laminarnem področju lahko ocenimo po Stokesovem zakonu usedanja. Enačba (1) je le ilustrativna in nam služi le za grobo oceno hitrosti usedanja plastike:

$$v_s = v_0 = \frac{g}{18} \frac{d^2}{\nu} \left(\frac{\rho_p}{\rho} - 1 \right) \quad (1)$$

kjer pomenijo:

v_s – hitrost usedanja ali plavljenja (m/s);

v_0 – površinska hitrost plavljenja (m/s);

g – gravitacijski pospešek (m/s^2);

d – premer delca plastike (m);

ν – kinematična viskoznost (m^2/s);

ρ_p – gostota plastike (kg/m^3);

ρ – gostota vode (kg/m^3).

4.5 Vplivi plastike in mikroplastike na ekosistem in človeka

Lastnosti, zaradi katerih je plastika tako zelo zaželen material v modernem svetu, lahko naredijo plastiko usodno za številne morske in kopenske živalske vrste. Plastični odpadki v morju imajo vplive na tri načine: ekonomski in socialni vplivi, okoljski vplivi in ekotoksikološki vplivi (Slat in sod., 2014; Palatinus in sod., 2012). Ker je plastika lahka in vzdržljiva, lahko prepotuje velike razdalje od samega izvora. Zato ni nič neobičajnega, da številne živalske vrste pridejo v stik s plastiko celo na zelo nedostopnih mestih. Tipična okoljska vpliva sta zapletanje in zaužitje. Velik problem predstavlja tudi transport invazivnih vrst in s tem tudi zavzemanje novih ekosistemov in s tem lahko tudi izumrtje nekaterih živalskih vrst (Hammer in sod., 2012). S plastičnimi odpadki so povezani tudi številni stroški, ki pa jih je zelo težko določiti. V sestavi plastike se nahajajo številni aditivi, kateri izboljšajo osnovne lastnosti plastike. Ti dodatki pa predstavljajo resne grožnje za zdravje številnih živalskih vrst. To velja še posebno za mikroplastiko, saj se jo zaradi svoje majhnosti lahko zaužije in s tem se onesnaževala iz plastike prenesejo v organizme (Teuten in sod., 2009).

Nekatere študije (Zbyszewski in sod., 2014; Eerkes – Medrano in sod., 2015) so pokazale, da so procesi, ki vodijo k onesnaženju s plastiko in degradacijo le-te tako na morju kot tudi v celinskih vodah ter tako vplivi plastike oz. mikroplastike med seboj primerljivi. V nadaljevanju magistrskega dela smo v poglavjih, ki opisujejo vplive plastike in mikroplastike, pisali o vplivih, ki so bili zaznani v morskih ekosistemih. Glede na primerljivost iz študij pa se ti vplivi lahko privzamejo tudi za ekosisteme celinskih voda.

4.5.1 Ekonomski in socialni vplivi

Določitev stroškov, ki jih povzročajo plastični odpadki, je velik izziv. Medtem, ko se zamenjavo in popravilo razne opreme lahko meri neposredno, je bolj težko izračunati vse stroške, ki nastanejo zaradi motenj ekosistemskih storitev. Stroške zaradi morskih odpadkov se lahko označi kot neposredne in posredne.

Primeri za neposredne stroške vpliva odpadkov so: izgubljena in poškodovana ribiška oprema; ribe, katere ne smejo prodati, ker so zaužile mikroplastiko ali pa so umrle zaradi zaužitja le-te; »fantomski ribolov« zaradi zapuščenega plastičnega ribolovnega orodja povzroča visok gospodarski strošek in znatno škodo okolju (Evropska komisija, 2013; Robič, 2014); potapljaške nesreče zaradi potopljenih

odpadkov; izgubljeni prihodki turizma zaradi umazanih plaž, zalivov in potapljaških območij; stroški čiščenja onesnaženih območij (Slat in sod., 2014), poškodbe morske industrije (zapletanje v ladijske propelerje in blokiranje hladilnih sistemov) (Hammer in sod., 2012).

Posredne stroške vpliva odpadkov je zelo težko oceniti in taki so npr.: zmanjšanje estetske vrednosti obal in morja, zdravstvena nevarnost za kopalce in obiskovalce plaž (Palatinus in sod., 2012; UNEP, 2011).

4.5.2 Okoljski vplivi

Lastnosti, zaradi katerih je plastika tako zelo zaželen material v modernem svetu, lahko naredijo plastiko usodno za številne morske in kopenske živalske vrste. Lahko se zapletejo v plastične mreže, ribiške žice in druge predmete ali zaužijejo plastiko, ker jo enostavno zamenjajo za hrano. Podatki kažejo, da vsaj 267 morskih vrst po svetu trpi zaradi zapletanja s plastiko in zaužitve le-te (Slat in sod., 2014; Hammer in sod., 2012). Poleg tega invazivne vrste uporabljajo plastične odpadke, da z njimi prepotujejo velike razdalje v oceanih.

4.5.2.1 Zapletanje v plastične odpadke

Zapletanje v plastične odpadke je najbolj vidni efekt plastičnih odpadkov na organizme in zato se ga lahko enostavno ocenjuje in opazuje. Ker pa se zapletanje dogaja tudi na nedostopnih in oddaljenih področjih, je težko podati točno oceno škode, ki jo dejansko povzroča. Ocenjuje se, da je vsaj 136 morskih vrst podvrženih zapletanju s plastičnimi odpadki. Zapletanje povzroči smrt z utopitvijo, zadušitvijo, zadavitvijo ali s stradanjem (Slat in sod., 2014; Hammer in sod., 2012).

Težko je dokazati naključno zapletanje rib v plastične odpadke kot npr. v zapuščeno ribiško opremo (Slika 12), saj se ulovljeni organizmi v teh mrežah hitro razgradijo in ne pustijo nikakršnih sledi, da so se zapletle. Izgubljene ali zapuščene mreže, t. i. fantomske mreže kontinuirano lovijo več let. Ribe, ki se ulovijo v te mreže, privlačijo večje plenilce, ki se prav tako lahko ujamejo v mrežo. Ribe in plenilci se razgradijo, mreže pa ostanejo in še naprej tavajo in lovijo po svetovnih oceanih in rekah (UNEP, 2009).



Slika 12: Zapuščena ribiška oprema (Vir: <http://www.ghostfishing.org/the-problem>) (Pridobljeno 1. 4. 2015)
Figure 12: Abandoned fishing gear (Source: <http://www.ghostfishing.org/the-problem>) (Acquired 1. 4. 2015)

Drug način za določitev količine nenamernega zapletanja rib v plastične odpadke je prilov. Medtem ko prilova večinoma ne povzročajo plastični odpadki, lahko še vedno poudarja vpliv zavrženih ribiških mrež na različne vrste rib. Tako se npr. v mreže, ki varujejo kopalce v zavarovanih kopalnih območjih pred morskimi psi, prav ti lahko ujamejo (Slat in sod., 2014).

Veliko ptic v vodnih okoljih se potaplja za hrano in tako lahko pride v stik s plastičnimi odpadki. Največkrat meduze ali majhne ribe zamenjajo s prozornim laksom in plastičnimi obroči, ki se uporabljajo pri pakiranju pločevink (Hammer in sod., 2012). Njihovo zapletanje se največkrat konča z zadušitvijo (Slat in sod., 2014). Ptice, katere so najbolj dovzetne za zapletanje, so: strmoglavci, albatrosi, galebi, pingvini in vihariki (Hammer in sod., 2012).

Plastični odpadki pogosto prizadenejo tudi morske želve, ki se zlahka ujamejo v zapuščene ribiške mreže (Slika 13). Morske želve so znane po tem, da se prehranjujejo z meduzami, ki jih velikokrat zamenjajo s plastičnimi vrečkami (Slat in sod., 2014).



Slika 13: Mrtva morska želva (Vir: <http://www.ghostfishing.org/the-problem>) (Pridobljeno 1. 4. 2015)
Figure 13: Dead sea turtle (Source: <http://www.ghostfishing.org/the-problem>) (Acquired 1. 4. 2015)

Posledica zapletanja morskih sesalcev v plastične odpadke (npr. zapuščene ribiške mreže) je največkrat utopitev (Slat in sod., 2014) (Slika 14).



Slika 14: Poginula delfinka (Vir: <http://www.24ur.com/novice/slovenija/foto-za-delfinko-je-bila-usodna-ribiska-mreza.html>) (Pridobljeno 9. 4. 2015)

Figure 14: Dead female dolphin (Source: <http://www.24ur.com/novice/slovenija/foto-za-delfinko-je-bila-usodna-ribiska-mreza.html>) (Acquired 9. 4. 2015)

Tjulnji, še posebno mladiči, so pogosto žrtve zapletanja, saj jih zaradi svoje radovednosti in igrivosti plastični odpadki še posebno privlačijo in se na nek način igrajo z njimi. Tako se z glavo hitro zataknejo v odpadek in ga zaradi njihovega gostega kožuha ne morejo več sneti in tako sčasoma pride do zadušitve (Slika 15). In ko se mrtvi tjulenj razgradi, plastični odpadek pa ne, ga lahko žal ponovno pobere naslednji organizem in je lahko tudi on nova žrtev plastičnih odpadkov (Derraik, 2002).



Slika 15: Tjulenj z zapleteno plastično vrečko (UNEP, 2011: str. 20)

Figure 15: Seal with an entangled plastic bag (UNEP, 2011: p. 20)

Veliki kiti, ki se zapletejo v ribiško opremo, jo največkrat vlečejo s seboj, kar lahko privede do zadušitve ali pa stradanja. Kiti se največkrat zapletejo v odpadke z glavo ali repnim delom (Slat in sod., 2014). Slika 16 prikazuje kita, ki se je zapletel v najlonsko vrv, ki se je zarezala v njegovo telo in povzročila njegovo smrt.



Slika 16: Zadavljeni grbasti kit na nizozemski obali (Slat in sod., 2014: str. 51)

Figure 16: Strangled humpback whale on the Dutch coast (Slat et al., 2014: p. 51)

4.5.2.2 Potovanja invazivnih vrst s plastičnimi odpadki

Naravni odpadki kot npr. drevesna debla ali vulkansko kamenje so bili od nekdaj priročen način za transport organizmov po svetovnih oceanih. Ob povečanju vnosa plastičnih odpadkov v morsko okolje se je zaznalo tudi povečanje transporta številnih organizmov, kar pomeni resno grožnjo v morskem okolju (Hammer in sod., 2012). Školjke in alge se pogosto najdejo kot eksotične vrste, ki so pritrjene na plastične odpadke in naplavljenе na obale (Slat in sod., 2014). Večino naravnih odpadkov je težkih in jih lahko prenašajo samo tokovi. Nasprotno pa so plastični odpadki lažji in jih lahko prenašajo tudi vetrovi, a le, če niso popolnoma potopljeni. Zato lahko vrste organizmov, ki se pritrjujejo na plastične odpadke, potujejo v vse smeri in kolonizirajo nova območja. Ker plastični odpadki po naravi niso biorazgradljivi, so v morskem okolju lahko dolgo prisotni kot transportna sredstva. Vse večja razširjenost antropogenih naplavin je več kot podvojila možnost transporta organizmov in je resna grožnja za svetovno biotsko raznovrstnost (Hammer in sod., 2012).

4.5.2.3 Zaužitje plastike in mikroplastike

Zaužitje plastike s strani morskih organizmov je predmet mnogih raziskav in se upravičeno šteje med najpomembnejša vprašanja svetovnega merila. Številni dokumenti in študije dokazujejo, da makroplastiko (večje od 5 mm) številni organizmi (ribe, ptiči, želve in nekateri sesalci) redno uživajo. Zaužitje mikroplastike zaradi metodoloških problemov še ni dobilo tako velike pozornosti (Gorycka, 2009).

Medtem ko se plastične odpadke, v katere se morski organizmi zapletejo, lahko identificira, se jih v primeru, ko jih morski organizmi zaužijejo, zelo težko (Slat in sod., 2014). Zaužitje plastike se v glavnem zgodi, ko je zamenjana za hrano, ali pa se jo zaužije čisto naključno. Zaužita plastika je največkrat sestavljena iz mezo in mikroplastike, katera gre včasih po zaužitju direktno v želodec organizma, ne da bi ga s tem poškodovala. Tako se v organizmu, ki ima zaužito plastiko, pojavi občutek sitosti, kar vodi v stradanje in na koncu v smrt (Slika 17) (Hammer in sod., 2012).

Malo je znanega o vplivu zaužitja plastičnih odpadkov pri ribah, saj je težko določiti, če zaužitje vpliva na njihovo smrtnost. To pa je lažje določiti v primeru morskih ptic. Morske ptice zaužijejo plastiko direktno ali pa s plenom, ki je že prej zaužil plastiko. Za albatrose je značilno, da se pogosto hranijo s plastiko, misleč, da je to hrana. Ko jo izbljuvajo, hranijo s tem tudi svoje mladiče (Hammer in sod., 2012). Za veliko vrsto ptic je značilno, da se prehranjujejo s točno določeno obliko in barvo plastike in zato je lahko zaužitje plastike pogosto neposredno povezano z njihovimi prehranjevalnimi navadami in iskalnimi tehnikami hrane (Slat in sod., 2014).



Slika 17: Razpadajoči mrtvi albatros na obali (Vir: http://www.theguardian.com/global-development-professionals-network/gallery/2015/apr/01/over-population-over-consumption-in-pictures?CMP=share_btn_fb#img-10) (Pridobljeno 3. 4. 2015)

Figure 17: Decaying dead albatross on the coast (Source: http://www.theguardian.com/global-development-professionals-network/gallery/2015/apr/01/over-population-over-consumption-in-pictures?CMP=share_btn_fb#img-10) (Acquired 3. 4. 2015)

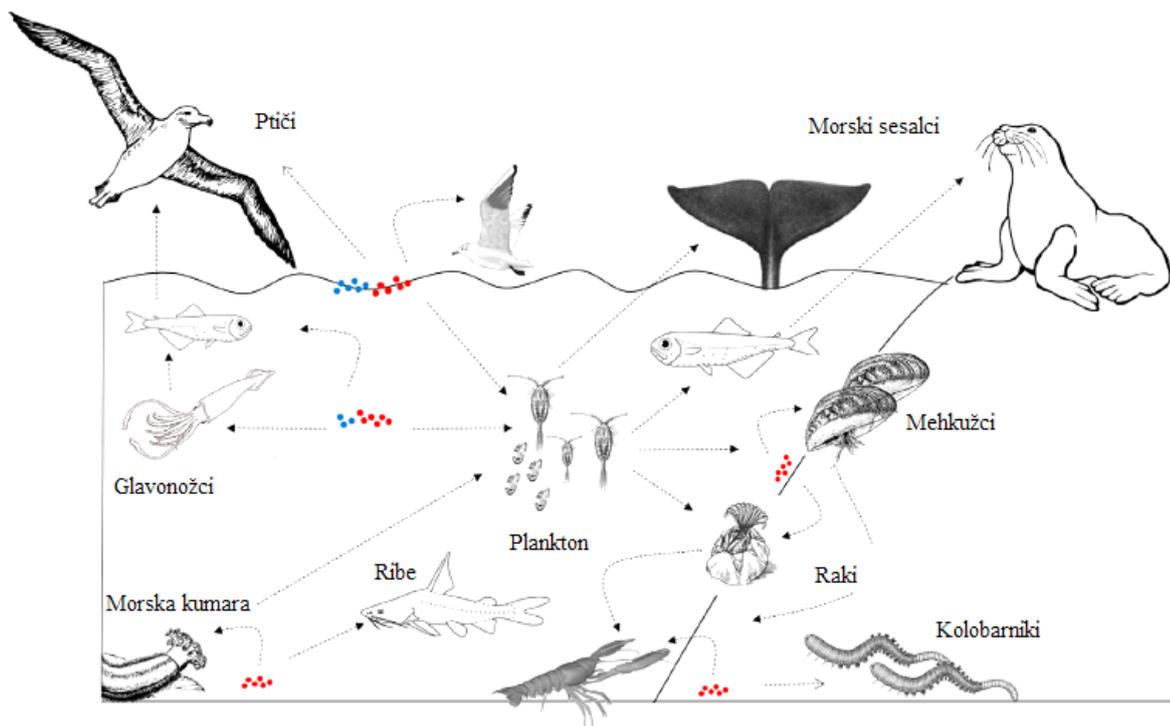
Poleg ptic so morske želve največkrat žrtve zaužitja plastike. Ker se prehranjujejo z meduzami, jih zelo velikokrat zamenjajo s prozornimi vrečkami in podobno plastiko. Poleg tega so morske želve tako ali tako že ogrožene vrste in zaužitje plastike samo povečuje njihovo umrljivost in zmanjšuje njihov obstoj (Hammer in sod., 2012). Zaužito plastiko so odkrili tudi v sesalcih in kitih, vendar so

strokovnjaki menja, da so jo zaužili naključno s plenom, s katerim se prehranjujejo (Slat in sod., 2014).

Glede na to, da je mikroplastika postala razširjena in prisotna po vsem svetu, je tudi informacij o škodljivem vplivu le te na organizme v morskem okolju vsako leto več. Zaradi svoje majhnosti in razširjenosti predstavlja resno grožnjo številnim organizmom, kar skrbi vedno več znanstvenikov po vsem svetu (Cole in sod., 2011). Zaradi majhnosti mikroplastike (velikost planktona) in njene prisotnosti v različnih ekosistemih, jo lahko zaradi zamenjave za hrano zaužije veliko število organizmov. Sam proces zaužitja je precej odvisen od fizikalnih lastnosti mikroplastike, kot so npr. oblika (vlakna, kroglice, delci nepravilnih oblik itd.), tip polimera (npr. polistiren (PS), polietilen (PE), poliester) in naboj delcev (Gorycka, 2009).

Škodljivi učinki zaužitja mikroplastike na organizme so razdeljeni na tri oblike. Prva je povezana s fizično blokado in poškodbo prebavnega trakta, druga z izpiranjem kemikalij iz zaužite mikroplastike v organizmu in tretja je kopičenje kemikalij v organizmu (Gorycka, 2009).

Po zaužitju se lahko mikroplastika zadrži v prebavnem traktu, se izloči z odvajanjem ali pa se preko epitelija črevesne sluznice prenese v tkivo organizma. Samo zaužitje je odvisno od parametrov, ki določajo položaj mikroplastike v vodnem stolpcu, ki so: velikost, oblika in gostota delcev. Plastika z nizko gostoto (npr. polietilen (PE) in polipropilen (PP)) ponavadi plava in s tem se poveča možnost, da jo zaužijejo organizmi, ki se hranijo s planktonom in majhnimi delci. Plastika z visoko gostoto (npr. polivinil klorid (PVC)) pa potone na dno in se kopiči v sedimentih in tako jo lahko zaužijejo organizmi, ki živijo pri dnu oz. v sedimentih (Slika 18) (Gorycka, 2009). Na sliki modre pike predstavljajo polimere, ki imajo manjšo gostoto kot morska voda (npr. PE in PP), rdeče pike pa predstavljajo polimere, ki imajo večjo gostoto kot morska voda (npr. PVC). Prekinjene puščice predstavljajo hipotetične prenose mikroplastike. Barva mikroplastike lahko tudi potencialno vpliva na možnost zaužitve, saj jo organizmi lažje zamenjajo za svoj plen (Wright in sod., 2013).



Slika 18: Konceptualni model potencialnih trofičnih poti mikroplastike (Ivar do Sul in Costa, 2014: str. 360)

Figure 18: Conceptual model of potential trophic routes of microplastics (Ivar do Sul and Costa, 2014: p. 360)

Za večje organizme, predvsem ribe in ptice, je iz študij znano, da zaužitje mikroplastike lahko privede do notranjih in zunanjih odrgnin, razjed in blokad prebavnega trakta, kar povzroči občutek sitosti ali lakote. Po drugi strani pa lahko vodi tudi do zmanjšanja reprodukcije organizmov, utopitve, zmanjšanja izogibanju predatorjem, zmanjšanja sposobnosti hranjenja, prenos toksičnih snovi iz plastike in same vode v organizem in na koncu smrt. Taki negativni učinki mikroplastike verjetno vplivajo tudi na manjše organizme (plankton, razni črvi in školjke) kot npr. blokada in poškodbe celotnega prebavnega trakta (Wright in sod., 2013). Razne študije so pokazale, da lahko večji organizmi zaužijejo mikroplastiko posredno in neposredno. Posredno jo zaužijejo, ker jo zamenjajo za hrano, neposredno pa tako, da jo zaužijejo s plenom (organizmi, ki so nižje v prehranjevalni verigi), ki je že predhodno zaužila mikroplastiko (Slika 18) (Cole in sod., 2011; Wright in sod., 2013). Nekateri organizmi, predvsem črvi, pa imajo to možnost, da skupaj z blatom in drugimi snovmi lahko mikroplastiko tudi izločijo (Wright in sod., 2013). Galgani in sod. (2010) so preučili tudi druge mogoče vplive zaužitja mikroplastike na organizme, kot so blokada proizvodnje encimov, zmanjšanje potrebe po hranjenju, zmanjšanje učinka hranil, zmanjšanje stopnje rasti, zmanjšanje stopnje steroidnih hormonov, odložitev ovulacije in napake pri razmnoževanju.

Susan Freinkel v svoji knjigi »Plastic: A toxic love story« omeni, da so našli sledi delcev mikroplastike v tkivih človeškega telesa že v 50. letih prejšnjega stoletja. Drugih raziskav s tega področja zaenkrat še ni (Palatinus in sod., 2012).

4.5.3 Ekotoksikološki vplivi

Plastika oz. mikroplastika je narejena iz osnovnih polimerov, s katerimi so pomešane kompleksne mešanice kemikalij, znanih kot aditivi (npr. UV stabilizatorji, plastifikatorji, zaviralci gorenja, spojine proti sprijemanju, antioksidanti, barvila in težke kovine). Aditivi imajo sposobnost spremeniti ali izboljšati lastnosti plastike. Bistveni polimeri v plastiki imajo relativno veliko molekularno strukturo in zato se pogosto štejejo, da so biokemično inertni. Glede na njihovo majhno velikost molekul, dodane kemikalije pogosto niso vezane na polimer in se zato lahko sproščajo iz materiala. Ker je večina teh dodatkov lipofilnih, se po zaužitju adsorbirajo na celične membrane in ostanejo v notranjosti organizma, namesto da bi se iz organizmov izločili. Ti aditivi lahko povzročijo biokemične interakcije in vplivajo na zdravje organizmov (Slat in sod., 2014). Lahko tudi povzročajo endokrine motnje, so rakotvorni ali izzovejo druge strupene reakcije ter lahko načeloma preidejo v okolje, čeprav v majhnih količinah (Evropska komisija, 2013).

Mikroplastika je v vodnem okolju lahko tudi prenašalka različnih kemikalij (Eerkes – Medrano in sod., 2015). Poleg aditivov, lahko plastika oz. mikroplastika v morskem okolju vsebuje tudi adsorbirane kemikalije iz vode, v kateri se delec nahaja. Ker je plastika hidrofobna, imajo druge hidrofobne (ali lipofilne) kemikalije afiniteto do polimerov. Večina onesnaževalcev v morskem okolju, kot so težke kovine, endokrini motilci in obstojna organska onesnaževala (ang. POPs), je hidrofobnih in se zato kopičijo na površinah plastike oz. mikroplastike. Na sproščanje aditivov in adsorpcijo onesnaževal je potrebno biti pozoren še posebno pri mikroplastiki, saj se ti delci zlahka zaužijejo in tako lahko kemikalije brez težav vstopijo v organizem (Slat in sod., 2014).

4.5.3.1 Sproščanje aditivov

Znano je, da se aditivi iz plastike oz. mikroplastike zaradi naravnega razpada plastike oz. mikroplastike sproščajo neposredno v celinske in morske vode (Koelmans in sod., 2014). Širok razpon potencialno strupenih kemikalij, vključno z zaviralci gorenja (polibromirani difenil eter), plastifikatorji (ftalati), dodatki proti mikrobnemu razgradnji (triklosan), antioksidanti (nonilfenol), UV stabilizatorji, barvila, bisfenol A (ang. BPA), se pogosto doda že med proizvodnjo plastičnih mas. Ti aditivi imajo dobro dokumentirane toksične učinke (Galgani in sod., 2010). Polibromirani difenil etri, ftalati in monomer bisfenola A so znani kot endokrini motilci, ki lahko posnemajo ali motijo sintezo endogenih hormonov. Hormonska neuravnoteženost lahko povzroči trajne morfološke probleme v razvojnih fazah organizmov, ali spolne motnje pri odraslih. Bisfenol A je mogoče najti v steklenicah za vodo, otroških stekleničkah, športni opremi, zobnih plombah, lečah, CD-jih, DVD-jih ter tudi v plastenkah hrane in pijače. Kronična in široko razširjena izpostavljenost populacij ljudi na bisfenol A je še naprej povezana s škodljivimi učinki na zdravje, vključno z boleznimi srca, diabetesom in spremembami v kroženju hormonov (Cole in sod., 2011).

Posebno pozornost je potrebno nameniti mikroplastiki, ki jo vsebujejo kozmetični izdelki in čistila za roke (Fendall in Sewell, 2009), proizvodni odpadki v plastičnih predelovalnih obratih in abrazivni mediji za čiščenje. Plastični delci, ki so pri peskanju nadomestili pesek, se uporabljajo pri peskanju ladijskih trupov ter motorjev in tako obstaja možnost, da so lahko onesnaženi s težkimi kovinami (Gorycka, 2009).

4.5.3.2 Adsorbpcija in kasnejši izpust obstojnih organskih onesnaževal

Mikroplastika je s svojo relativno veliko površino delcev glede na volumen delcev zelo dovzetna za adsorbpcijo onesnaževal iz vode, kot so težke kovine, endokrini motilci in obstojna organska onesnaževala (ang. POPs) ali redko imenovani hidrofobna organska onesnaževala (ang. HOCs). Takšne kemikalije se običajno najdejo v najvišjih koncentracijah v mikroplastiki morske gladine, kjer se najbolj pogosto nahaja mikroplastika z nizko gostoto. Obstojna organska onesnaževala, ki vključujejo poliklorirane bifenile (PCB), policiklične aromatske ogljikovodike (PAH) (npr. fenantren) in organoklorne pesticide (npr. DDT in DDE), so stabilne lipofilne kemikalije, ki se adsorbirajo in koncentrirajo na hidrofobno površino plastike oz. mikroplastike. Dokazi o onesnaženju mikroplastike je bilo poudarjeno v številnih študijah, opravljenih v zadnjih letih (Cole in sod., 2011). Mato in sod. (2001) so na peletih iz polipropilenskih smol v Japonskih vodah identificirali PCB, nonilfenol in DDE. Vrednosti le-teh so bile podobne ali večje kot pa v sedimentih. Nekatere študije so pokazale, da so koncentracije PCB na peletih polistirena lahko tudi za red velikosti 10^6 večje kot v vodi, v kateri se nahajajo peleti (Cole in sod., 2011).

Mikroplastika, ki vsebuje obstojna organska onesnaževala, se lahko transportira po svetovnih oceanih in tako onesnaži do tistega časa neoporečne ekosisteme ali jo lahko zaužijejo številni organizmi in tako organska onesnaževala prenesejo v organizme (t. i. efekt trojanskega konja), kjer se po naravni poti ne razgradijo zlahka, temveč se kopičijo v telesnem tkivu. Za večino obstojnih organskih onesnaževal se smatra, da povzročajo endokrine motnje, mutagenezo in/ali karcinogenezo in se lahko biomagnificirajo v organizmih višjih trofičnih nivojev (Cole in sod., 2011).

Raziskave so pokazale, da se adsorbpcija onesnaževal razlikuje med različnimi plastični materiali. Npr., Mato in sod. (2001) so pokazali, da najdeni polietilenski peleti adsorbirajo štirikrat več PCB-jev kot polipropilenski peleti. Nedavna študija o adsorbpciji različnih onesnaževal na različne plastične materiale je pokazala, da polietilen z visoko in nizko gostoto (ang. HDPE in LDPE) in polipropilen (PP) vsebujejo veliko večje koncentracije PAH-ov in PCB-jev kot polietilen tereftalat (PET) in PVC. Čeprav je koncentracija onesnaževal v vodi običajno prenizka, da bi se merila neposredno, lahko plastični peleti delujejo kot trdni medij za onesnaževala, ki se lahko uporablja kot poceni in hitra metoda vzorčenja za določitev stopnje onesnaženja z onesnaževali na obalnih območjih (Slat in sod., 2014).

5 MIKROPLASTIKA V EKOSISTEMIH CELINSKIH VODA

Zgodnje in prve raziskave sistemov celinskih voda kažejo, da je prisotnost in interakcija mikroplastike v ekosistemih celinskih voda enako razširjena kot v morskih ekosistemih. Mikroplastika je bila odkrita v celinskih vodah Evrope, Severne Amerike in Azije. Prve študije mikroplastike so pokazale, da tudi organizmi, ki živijo v celinskih vodah, lahko zaužijejo mikroplastiko (Eerkes – Medrano in sod., 2015).

Pri primerjavi študij mikroplastike v morskih ekosistemih in ekosistemih celinskih voda so Eerkes – Medrano in sod. (2015) prišli do zaključka, da si omenjeni ekosistemi delijo podobnosti v:

- tipih sil, ki transportirajo mikroplastiko (npr. površinski tokovi);
- razširjenosti mikroplastike;
- pristopih za odkrivanje in identificiranje mikroplastike (npr. postopek ločevanja na osnovi gostote, filtriranje, sejanje, infrardeča spektroskopija itd.);
- možnih vplivih mikroplastike (npr. fizične poškodbe organizmov ob zaužitju in kemični prenos strupenih snovi).

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. gospodinjiski ali industrijski) v bližini rek in oddaljenostjo dolvodno od točkovnega vira.

Glede na to, da se je preučevanje mikroplastike v ekosistemih celinskih voda začelo šele zadnja leta, je zato odprtih še veliko vprašanj glede:

- prisotnosti in porazdelitve mikroplastike v okolju;
- transporta mikroplastike in dejavnikov, ki vplivajo na njeno porazdelitev;
- metod za natančno detekcijo in kvantifikacijo mikroplastike;
- obsega in pomena njihovih učinkov na vodne organizme.

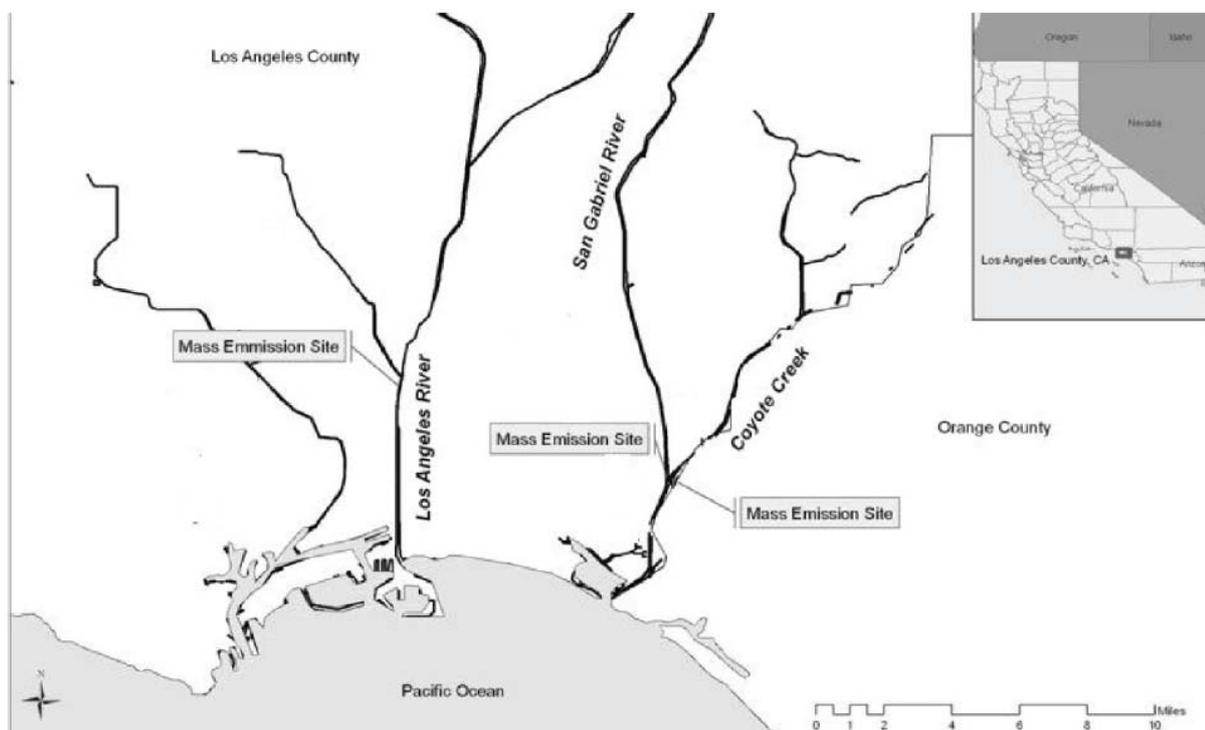
Prav tako ni znano, kako bi se lahko mikroplastika iz ekosistemov celinskih voda lahko prenesla na kopenske ekosisteme in če, in kako, bi lahko vplivala na zdravje ljudi. To vprašanje je zelo pomembno, saj je človeška populacija za svoj obstoj zelo odvisna od celinskih voda (Eerkes – Medrano in sod., 2015).

V nadaljevanju dela so predstavljene pomembnejše študije, ki obravnavajo problematiko mikroplastike v ekosistemih celinskih voda.

5.1 Vodotoki

5.1.1 Dosedanje študije o mikroplastiki v vodotokih

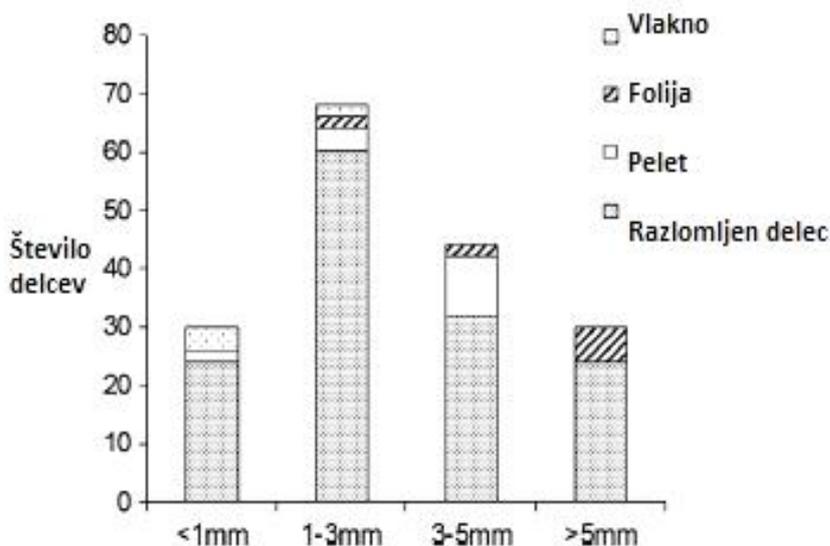
Prvo študijo, ki opisuje problem mikroplastike v vodotokih, so pripravili Moore in sod. (2011) že leta 2005, vendar so ga uradno objavili šele leta 2011. Mikroplastiko so vzorčili na dveh kalifornijskih rekah v ZDA, in sicer rekah Los Angeles in San Gabriel (Slika 19). Ti dve reki so avtorji izbrali, ker so se v obdobju vzorčenja na tem območju (Orange County) nahajali številni industrijski obrati, v katerih so izdelovali surovino za pelete sintetičnih smol. Na reki Los Angeles so izbrali eno lokacijo vzorčenja, na reki San Gabriel pa dve lokaciji vzorčenja. Vzorčenje so opravljali v suhem in padavinskem obdobju, saj se je pretok rek v obeh primerih močno razlikoval. Na sredini rečnega kanala na gladini so vzorčili z manta mrežo (Slika 22), na robu rečnega kanala pa z dvema različnima ročnima mrežama. Od sredine vodnega stolpca navzdol vse do dna so vzorčili s posebnim obteženim vzorčevalnikom. Vse mreže so imele velikost odprtin manjšo od 1 mm, ročni mreži 800 in 500 μm ter manta mreža in posebni obteženi vzorčevalnik 300 μm . Najbolj pogosta kategorija plastike na obeh rekah je bil ekspaniran polistiren, druga najbolj pogosta kategorija pa so bili peleti. V celotni študiji je mikroplastika predstavljala 81 % vseh plastičnih delcev. Avtorji navajajo, da vzorci niso bili vzeti na vrhuncu poplavnega vala, in zato so rezultati študije nekoliko podcenjeni ter da bi bolj točne količine plastike, ki se transportirajo navzdol po rekah in naprej v morje, lahko dobili z bolj sistematičnim in celovitim monitoringom.



Slika 19: Lokacije vzorčenj (Moore in sod., 2011: str. 67)

Figure 19: Sampling locations (Moore et al., 2011: p. 67)

Sadri in Thompson (2014) sta s študijo poskušala prikazati količino in sestavo plavajočih plastičnih odpadkov, ki sta jih vzorčila v estuarju reke Tamar v Veliki Britaniji, in ugotoviti, ali različna višina plime vpliva na količino plavajočih delcev plastike. Vsako vzorčenje so opravili z manta mrežo z velikostjo odprtin 300 μm (Slika 22). Mikroplastika je predstavljala 82 % vseh najdenih plastičnih delcev in je bila v vseh vzorcih v različnih oblikah. Najbolj pogost velikostni razred je bil 1–3 mm in je vseboval vse kategorije polimerov (Grafikon 2).



Grafikon 2: Število delcev plastike iz celotnega vzorčenja (Sadri in Thompson, 2014: str. 58)

Graph 2: Number of plastic particles from the entire sampling (Sadri and Thompson, 2014: p. 58)

Avtorja sta ugotovila, da različna višina plime vpliva na velikost in količino delcev plastike, ki se lahko zaradi različne višine plime premikajo gorvodno po reki, dokler sega vpliv plime, ali pa se z reko transportirajo v morje.

Podobno kot v študiji Sadri in Thompson (2014) so tudi Zhao in sod. (2014) poskušali preučiti prisotnost in porazdelitev mikroplastike v površinski vodi estuarja reke Yangtze in v sosednjem Vzhodnem kitajskem morju. V estuarju reke Yangtze so vzorčili z 12 VDC teflonsko črpalko na globini 1 m, na kateri je bilo 32 μm sito, na Vzhodnem kitajskem morju pa so vzorčili z neustonsko mrežo z velikostjo odprtin 333 μm . V obeh območjih vzorčenja je bilo več kot 90 % najdenih delcev mikroplastike. V obeh območjih vzorčenja je bilo približno enak % mikroplastike glede na kategorijo mikroplastike. Največ je bilo vlaken, nato granul in folij in najmanj kroglic. To nakazuje na to, da se verjetno mikroplastika iz estuarja prenese v morje. Študija je prikazala osnovo za določitev onesnaženja z mikroplastiko v estuarju reke Yangtze in hkrati prvi kvantitativni opis naplavin mikroplastike na Kitajskem.

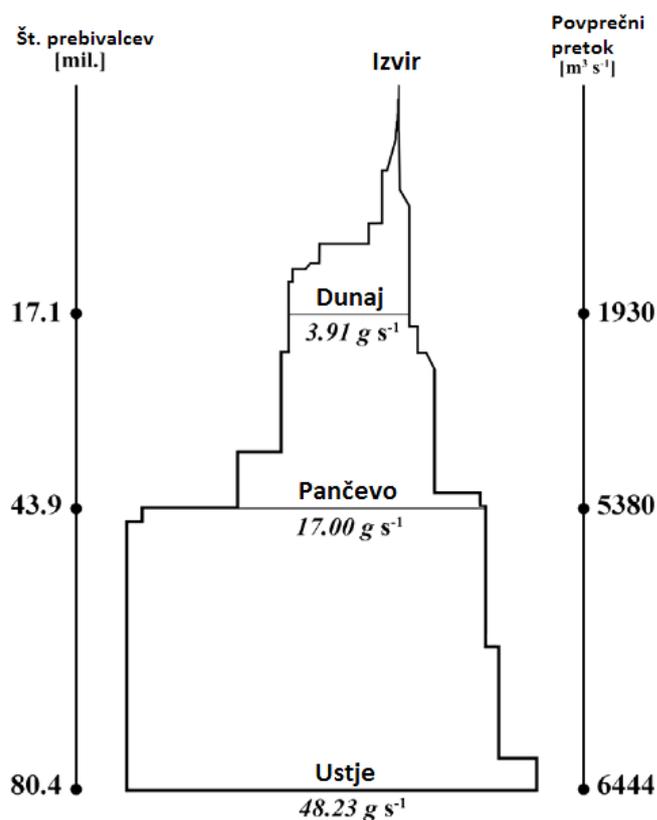
McCormick in sod. (2014) so v svoji študiji v umetnem kanalu North Shore Channel v Chicagu, Illinois v ZDA poskušali izmeriti koncentracijo mikroplastike in pokazati, da je komunalna čistilna naprava (KČN) točkovni vir mikroplastike in da je mikroplastika lahko tudi prenašalec različnih bakterijskih biofilmov. To je prva študija, ki preiskuje mikrobiološko koloniziranje mikroplastike v

ekosistemih celinskih voda. Vzorčili so z dvema neustonskima mrežama z velikostjo odprtih 333 μm . 4 vzorčenja so naredili nad lokacijo iztoka iz KČN, 4 pa pod lokacijo iztoka KČN. 4 dodatna vzorčenja pod lokacijo KČN pa so opravili za bakteriološke preiskave mikroplastike. Na koncu so delce mikroplastike še prešteli in ločili po kategorijah: razlomljeni delci, peleti, polistiren in vlakna. Mikroplastiko iz vzorcev za bakteriološke preiskave so pregledali z vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM), da so na njih lahko določili količino gostote mikrobnih celic.

Rezultati so pokazali, da so mikroplastiko našli v vsakem vzorcu in da je koncentracija mikroplastike višja dolvodno od lokacije iztoka iz KČN. To je potrdilo hipotezo, da je na tej reki KČN točkovni vir mikroplastike. Analiza s SEM je pokazala obsežno mikrobiološko kolonizacijo peletov in razlomljenih delcev. Kar potrjuje dejstvo, da mikroplastika lahko služi različnim organizmom kot transport v vodnih ekosistemih. Ta študija potrjuje dejstvo, da so reke v urbaniziranih območjih pomembna komponenta globalnega življenjskega kroga mikroplastike.

Študija Lechner in sod. (2014) je prva študija, ki opisuje transport plastike in mikroplastike na večjem evropskem vodotoku, Donavi. Glavni cilj študije je bil kategorizirati in kvantificirati plavajoče delce plastike. V naslednjem koraku so primerjali število delcev plastike s številom ihtiplanktona (jajčeca in ličinke rib ter mladice). Na koncu so ocenili količino plastike, ki jo reka Donava prinese v Črno morje. S študijo so se omejili na odsek reke, ki se razteza od Dunaja do Bratislave. Za vzorčenje so uporabili konusno obliko mreže z velikostjo odprtih 500 μm . Iz vsakega vzorca so v laboratoriju ločili delce plastike in ličinke rib in jih prešteli. Delce plastike so ločili po štirih kategorijah: peleti, kosmiči in kroglice ter ostalo (Slika 8). Prve tri kategorije so osnovna industrijska surovina za izdelovanje različnih plastičnih izdelkov.

Rezultati študije so pokazali, da je reka Donava prepoznana kot transportna pot za surove industrijske delce plastike. Skupna količina plastike, ki jo reka Donava prinese v Črno morje je ocenjena na 48,23 g/s ali 173,6 kg/h ali 4,2 t/dan ali 1533 t/leto (Slika 20).



Slika 20: Povprečna obremenitev s plastiko (g/s) reke Donave pri njenem povprečnem pretoku (Lechner in sod., 2014: str. 180)

Figure 20: Average plastic load (g/s) of the Danube River in its average flow (Lechner et al., 2014: p. 180)

Vendar avtorji opozarjajo, da so izračunane količine plastike, ki jih reka Donava prinese v Črno morje podcenjene, ker v njihovi študiji niso upoštevani delci plastike, ki so manjši od 500 μm in večji od 5 cm, ter dejstvo, da imajo druge države ob reki Donavi v primerjavi z Avstrijo in Nemčijo nižji življenjski standard in slabše urejeno čiščenje komunalne odpadne vode.

V letu 2014 se je s projektom Riverine Litter (Van der Wal in sod., 2015) uradno prvič v EU vzorčilo mikroplastiko na ustjih večjih evropskih rek (Ren – Nizozemska, Pad – Italija, Donava – Romunija in Dal – Švedska). Cilj projekta je bil preučiti stopnjo onesnaženja v EU rekah s plastičnimi odpadki in oceniti stopnjo vnosa plastičnih odpadkov iz rek v štiri evropska regionalna morja (Severno morje, Sredozemsko morje, Črno morje in Baltičsko morje). Vzorčenje je potekalo na tri načine:

- epi-neustonska mreža (Slika 42), s katero so vzorčili mikroplastiko večjo od 333 μm na gladini rek (Ren, Donava in Pad);
- kombinacija črpalke in epi-neustonske mreže na rekah Dal in Pad, kjer so s črpalko za vodo z različnih globin prečrpali vodo skozi epi-neustonsko mrežo;
- Waste Free Waters (WFW) vzorčevalnik, s katerim so vzorčili na vseh rekah. Vzorčevalnik je sestavljen iz dveh kovinskih mrež (za vzorčenje na gladini in vzorčenje od 20 do 70 cm pod gladino) z velikostjo odprtin 3,2 mm.

Za vsak vzorec so določili število, težo, kemično sestavo, kategorijo in velikost mikroplastike. Na podlagi rezultatov vzorčenja so ocenili obremenitev z mikroplastiko za vse štiri reke. Na reki Dal so ocenili število mikroplastike na $5 \cdot 10^{10}$ letno. Največje število mikroplastike pa so ocenili na reki Donavi, in sicer na $2 \cdot 10^{12}$. Po teži so ocenili, da reka Ren letno v Severno morje prenese 330 t plastike. Za reko Donavo so ocenili, da letno v Črno morje prenese 240 t plastike, reka Pad v Sredozemsko morje okoli 360 t plastike, reka Dal v Baltiško morje pa okrog 6 t plastike.

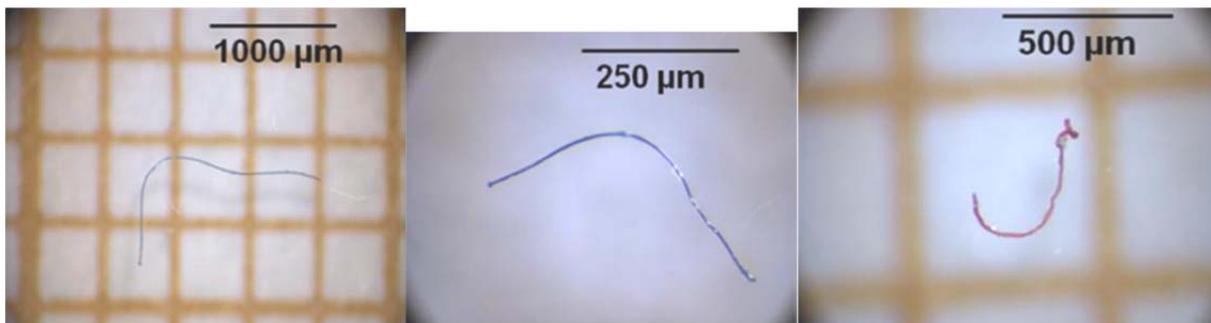
5.1.2 Dosedanje študije o mikroplastiki v rečnih sedimentih

Edina študija do sedaj, ki se je ukvarjala z mikroplastiko v rečnih sedimentih, so izvedli Castenada in sod. (2014) na Reki svetega Lovrenca v Kanadi. Avtorji so na začetku študije navedli, da bi se lahko plavajoča mikroplastika, ki se uporablja v kozmetiki, iz Velikih jezer in mest ob sami reki lahko transportirala dolvodno po reki do samega morja ali pa se med transportom usedla na dno v sedimente. Sedimente na Reki svetega Lovrenca so vzorčili z gravitacijskim jedrnikom na desetih lokacijah vzorčenja. Delce mikroplastike so s presejanjem vzorcev skozi 500 μm sito našli na osmih od desetih lokacijah vzorčenja. Pojavljala se je tudi v različnih barvah in velikostih. Rezultati študije so pokazali, da je mikroplastika prisotna v sedimentih Reke svetega Lovrenca. Ker so za sejanje vzorcev uporabili 500 μm sito, lahko trdijo, da je dejansko v reki več mikroplastike, saj niso upoštevali mikroplastike, ki je manjša od 500 μm . Domnevajo, da se mikroplastika lahko pojavi v sedimentih v večini rek in jezer, na katere lahko človek vpliva s svojo poselitvijo. Rezultat študije tudi zvišuje verjetnost, da lahko ribe in drugi organizmi v celinskih vodah zaužijejo mikroplastiko.

5.1.3 Dosedanje študije o mikroplastiki v rečnih organizmih

Do sedaj edina študija, ki so jo opravili Sanchez in sod. (2014), je pokazala, da je mikroplastika prisotna tudi v ribah (*Gobio gobio*) v enajstih francoskih vodotokih. *Gobio gobio* ali navadni globoček je ciprinidna riba, ki stalno živi na enem mestu in se ne seli. Za analizo pojava mikroplastike v omenjenih ribah so ribe razdelili v tri skupine: ribe, ki niso vsebovale mikroplastike; ribe, ki so vsebovale mikroplastiko; ribe, pri katerih so sumili, da vsebujejo mikroplastiko, vendar ne morejo to zagotovo dokazati. Rezultati so pokazali, da je 12 % ujetih rib vsebovalo mikroplastiko (Slika 21). Na sedmih vodotokih, kjer so v ribah našli mikroplastiko, je bila prisotnost mikroplastike v ujetih primerkih rib ocenjena na 11 do 26 %. Če bi upoštevali še sume mikroplastike v ujetih primerkih rib, bi se ocena prisotnosti mikroplastike dvignila na 40 %.

Rezultati študije so potrdili dejstvo, da so tudi ekosistemi celinskih voda onesnaženi z mikroplastiko in da za morske ekosisteme predstavljajo vire onesnaženja z mikroplastiko.



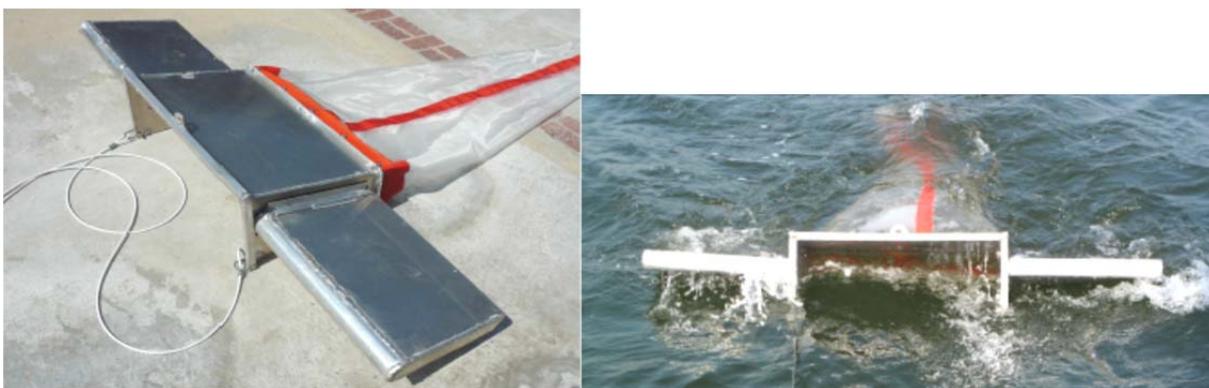
Slika 21: Primeri mikroplastike v prebavnih traktih navadnih globočkov (*Gobio gobio*) (Sanchez in sod., 2014: str. 100)

Figure 21: Examples of microplastics in the digestive tracts of gudgeons (*Gobio gobio*) (Sanchez et al., 2014: p. 100)

5.2 Jezera

5.2.1 Dosedanje študije o mikroplastiki v jezerih

Eriksen in sod. (2013) so na odpravi, ki je trajala 3 tedne, na 21 vzorčenjih z manta mrežo z velikostjo odprtin 333 µm (Slika 22) prvič na Velikih jezerih v ZDA ugotavljali, kako so ta onesnažena z mikroplastiko. Obale Velikih jezer so močno urbanizirane. Velika jezera se z Reko svetega Lovrenca izlivajo v severni del Atlantskega oceana. Tako Velika jezera predstavljajo potencialno velik vir onesnaženja s plastiko za t. i. severno atlantsko območje, enega izmed 5 območij v svetovnih oceanih, kjer se zbirajo majhni delci plastike in plavajo na gladini morja.

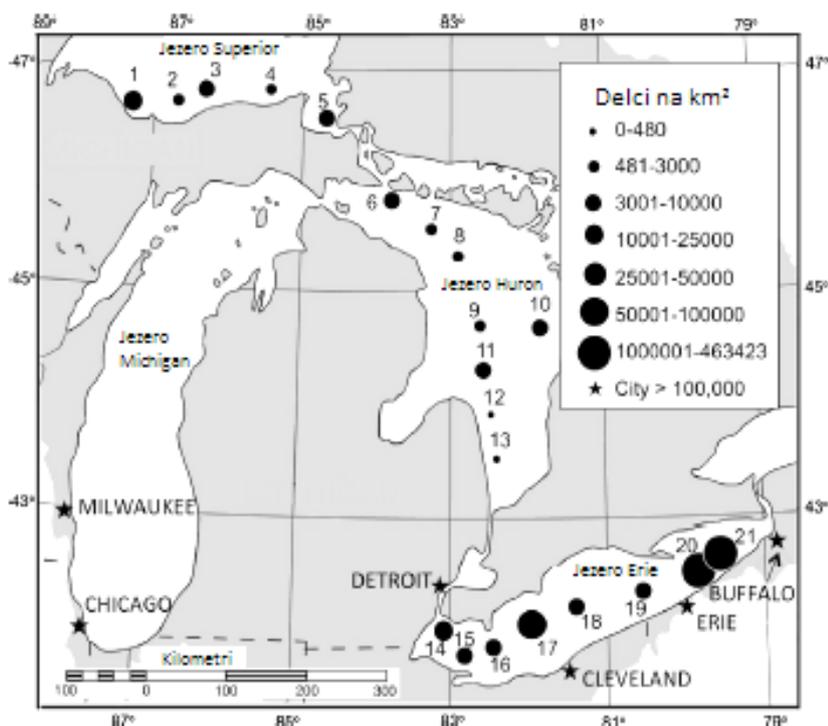


Slika 22: Primer manta mreže z velikostjo odprtin 333 µm (Eriksen in sod., 2011)

Figure 22: Example of manta net with mesh size 333 µm (Eriksen et al., 2011)

Iz vsakega vzorca so od ostalih materialov izločili delce plastike, jih presejali skozi sito in jih ločili po treh velikostih: 0,355–0,999 mm, 1–4,749 mm in večje od 4,75 mm. Nato so jih razdelili še po kategorijah: razlomljeni delci, ekspaniran polistireni, peleti, vlakna in folije ter jih na koncu še prešteli. Rezultati so pokazali, da samo v enem vzorcu od 21 ni bilo sledi mikroplastike. Glede na

število preštete mikroplastike na km² je v primerjavi z jezeroma Superior in Huron najbolj onesnaženo jezero Erie (Slika 23). Najbolj pogosta mikroplastika so bili peleti in razlomljeni delci.



Slika 23: Porazdelitev delcev mikroplastike v 21 vzorcih (lokacijah vzorčenja) na Velikih jezerih (Eriksen in sod., 2013: str. 178)

Figure 23: Microplastic distribution in 21 samples (sampling locations) at the Great Lakes (Eriksen et al., 2013: p. 178)

Ženevsko jezero v Švici je edino jezero v Evropi, na katerem se je doslej opravila raziskava onesnaženja jezera s plastiko in mikroplastiko. Faure in sod. (2012) so v prispevku prikazali dve študiji. V prvi študiji so poskušali najti plastiko in mikroplastiko na obalah jezera, v prebavnih traktih ptic in rib, v katerih so preiskovali večinoma večje delce plastike, v drugi študiji pa z manta mrežo na gladini jezera. Vzorčenje z manta mrežo so najprej preizkusili na Jadranskem morju, nato pa so z uporabo enake metodologije vzorčili še na Ženevskem jezeru.

V vseh vzorcih iz obal so prevladovali delci polistirena. Analizirali so tudi vsebino prebavnih traktov 41 rib in 1 ptice in niso našli nobenega delca plastike. V vzorcih iz jezera so našli 17 delcev makroplastike in 107 delcev mikroplastike. V vseh vzorcih so našli delce plastike, ki so bili primarnega in sekundarnega vira. Dejstvo, da so avtorji študije našli tudi plastiko, ki je sekundarnega izvora, nakazuje na to, da je zadrževalni čas jezera dovolj velik, da se plastika razgradi na delce mikroplastike. Rezultati študije so pokazali, da se mikroplastika lahko najde tudi v drugih vodnih virih in ne samo v morjih in oceanih in da mikroplastika nasploh predstavlja vedno večji problem.

5.2.2 Dosedanje študije o mikroplastiki na obalah jezer

Froklage in sod. (2013) v so v svojem poročilu na splošno predstavili in preučili vpliv vseh tipov onesnaženja s plastiko (makroplastika, mikroplastika in peleti) na obali jezera Huron, ki je del Velikih jezer. Velika jezera v ZDA so geografsko locirana in povezana v naslednjem vrstnem redu: jezero Huron, jezero St. Clair in jezero Erie. Čeprav je to poročilo namenjeno le jezeru Huron, bi lahko informacije, ki jih vključuje, povezali tudi z ostalimi jezeri iz Velikih jezer.

Prav tako na obalah jezera Huron sta Zbyszewski in Corcoran (2011) v svoji študiji predstavila porazdelitev, kategorije in količino delcev plastike in pojasnila vlogo kemičnega preprevanja in mehanske razgradnje pri razpadu plastike. Rezultati študije so bili prvi, ki so pokazali razpad plastike na obalah celinskih voda, in ki temeljijo na kemični analizi delcev in njihovi sestavi.

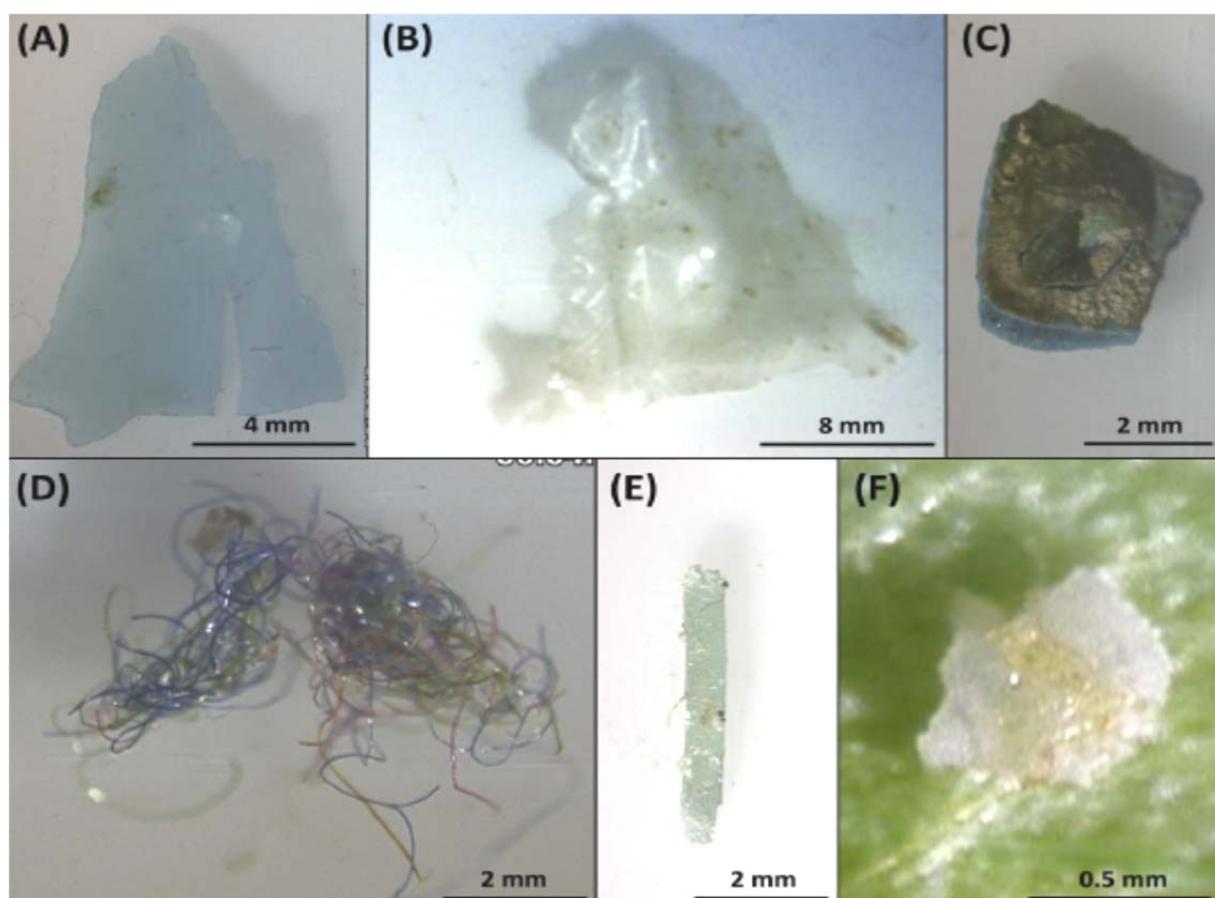
Največ delcev plastike so našli na najbolj južnem delu obale jezera Huron. Na preostalih treh lokacijah, kjer so našli delce, se njihovo število z oddaljenostjo od najbolj južnega dela obale zmanjšuje. To je potrdilo hipotezo avtorjev, da vir onesnaženja z delci plastike lahko izvira iz industrije in da se potem delci s tokovi premikajo proti vzhodni obali jezera. V mestu Sarnia, katerega obala je vsebovala največ delcev plastike, se nahaja kar 18 industrijskih obratov, ki se ukvarjajo z izdelovanjem plastičnih izdelkov.

V svoji naslednji študiji Zbyszewski in sod. (2014) predstavljajo porazdelitev plastike na obalah jezer Erie in St. Claire in primerjavo rezultatov s študijo Zbyszewski in Corcoran (2011), v kateri sta avtorja predstavila porazdelitev plastike na obalah jezera Huron. Cilj študije je tudi pokazati transportno pot in potencialne vire delcev plastike ter predstaviti potencialni učinek tipa obale na razpadanje delcev plastike. Za popolno razumevanje transporta in porazdelitve mikroplastike so avtorji preučili vlogo vetra, premikanje vodne gladine jezer, tokovanje v jezerih ter upoštevali bližino urbanih centrov, proizvajalcev plastike in tip sedimentov na obalah.

Porazdelitev delcev plastike na obalah vseh treh jezer je pokazala, da je večino plastike naplavljen na obalah zaradi valov, ki so bili posledica neviht. Manjše število delcev plastike na jezeru St. Clair v primerjavi z ostalima dvema jezeroma je lahko posledica številnih valobranov in obalnih zidov, ki so nadomestili naravno obalo, in tako onemogočajo akumuliranje plastike na obalah. Možno pa je tudi, da delci plastike z večjo gostoto od vode enostavno potonejo v predelu jezera, kjer skoraj ni pretoka. Najdeni delci plastike iz jezera Huron in jezera Erie so pokazali večjo prisotnost razpok in mehanskih poškodb kot najdeni delci plastike iz jezera St. Clair.

Prisotnost delcev plastike na vseh treh jezerih je pokazala, da problematika plastike ni pereča samo na morju, ampak tudi na jezerih. Ko so avtorji primerjali študijo s študijami, ki so obravnavale problematiko plastike na morju, so ugotovili, da so v morju in celinskih vodah našli podobne tipe in strukture polimerov, kar nakazuje na to, da so procesi, ki vodijo k onesnaženju s plastiko in degradacijo le-te tako na morju kot tudi v celinskih vodah, med seboj primerljivi.

Da se lahko mikroplastika pojavi tudi na velikem odmaknjenem gorskem jezeru, in sicer jezeru Hovsgol v Mongoliji, je potrdila študija Free in sod. (2014), ki je prva in edina študija, v kateri so ocenili in prikazali prisotnost onesnaženja z mikroplastiko na kakšnem gorskem jezeru. Po velikosti je jezero Hovsgol devetnajsto na svetu in je primerljivo z jezerom Erie iz Velikih jezer v ZDA. Ima 100 pritokov in samo en odtok, reko Eg. Poleg vzorčenja mikroplastike na jezeru z manta mrežo so vzorčili tudi odpadke na obali. Mikroplastiko so našli med vsakim od 9 vzorčenj. Z meritvami vetra in valov so poskušali ugotoviti njihov vpliv na samo akumuliranje odpadkov. Povprečna koncentracija vzorčene mikroplastike je znašala 20.264 delcev na km² površine jezera. Najbolj pogoste kategorije mikroplastike so bili razlomljeni delci, folije in vlakna (Slika 24). Ugotovili so, da se koncentracija mikroplastike povečuje z energijo valov in zemljepisno dolžino in da se zmanjšuje z zemljepisno širino in oddaljenostjo od obale.



Slika 24: Primeri mikroplastike iz jezera Hovsgol: (A) razlomljeni delec, (B) folija, (C) polistiren, (D) vlakna, (E) podolgovati delec, (F) pelet (Free in sod., 2014: str. 160)

Figure 24: Examples of microplastic in Hovsgol Lake: (A) fragment, (B) film, (C) foam, (D) fibers, (E) line, (F) pellet (Free et al., 2014: p. 160)

Študija je pokazala, da je jezero Hovsgol kljub svoji odmaknjenosti in majhni poseljenosti bolj onesnaženo z mikroplastiko kot bolj razvita in bolj poseljena jezera Superior in jezero Huron, ki sta del Velikih jezer, pa vendar manj kot jezero Erie, ki je tudi del Velikih jezer, in manj kot Ženevsko jezero (Faure in sod., 2012) ter tudi manj kot številni svetovni oceani. Visoka koncentracija makroplastike in mikroplastike v jezeru Hovsgol je po besedah avtorjev najverjetneje posledica neustreznega ravnanja z odpadki. V jezeru so v vseh vzorcih našli le 4 delce peletov, kar je posledica

dejstva, da v okolici jezera ni veliko industrije. Veliko število razlomljenih delcev, folij in vlaken je posledica razgraditve in degradacije večjih kosov plastike, ki so prevladovali na obalah jezera. Rezultati študije so pokazali, da lahko tudi nizka gostota prebivalstva s potrošniško plastiko močno onesnaži veliko območje celinskih voda.

Najbližje jezero Sloveniji, v katerem so kakorkoli vzorčili mikroplastiko, je jezero Garda. Subalpsko jezero Garda se nahaja v severni Italiji in je vir pitne vode ter zelo popularna turistična destinacija. Imhof in sod. (2013) so v študiji preučevali onesnaženost sedimentov z mikroplastiko na obalah jezera. Sedimente so vzorčili tehniko naključnega vzorca na dveh obalah jezera, severni in južni. Priprava vzorca je temeljila na postopku ločevanja na osnovi gostote.

Večino mikroplastike so našli na severni obali jezera. Vzrok za razliko so avtorji našli v tem, da na tem predelu jezera piha veter iz juga proti severu in povzroči močno površinsko tokovanje v nasprotni smeri urinega kazalca. V primerjavi z rezultati študije na jezeru Huron (Eriksen in sod. 2013) so rezultati te študije pokazali, da so rezultati med seboj primerljivi. Po številu najdenih delcev so prevladovali razlomljeni delci in vlakna. 9 naključno izbranih delcev so pregledali tudi z analizo SEM, katere rezultati so pokazali podobne poškodbe mikroplastike kot pri mikroplastiki iz morja iz drugih študij (Slika 10). Avtorji so v študiji pokazali, da so tudi nekateri organizmi v jezeru že zaužili mikroplastiko. Rezultati študije so dokazali, da lahko tudi v subalpskem jezeru najdemo podobne količine mikroplastike kot v morskih ekosistemih.

6 METODOLOGIJA OBSTOJEČIH VZORČENJ MIKROPLASTIKE

Študije so pokazale, da se v morskem okolju mikroplastiko večinoma vzorči na gladini in sedimentih na obalah, redkeje pa po vodnem stolpcu (Hidalgo – Ruz in sod., 2012) in sedimentih na dnu (Van Cauwenberghe in sod., 2013).

6.1 Vzorčenje mikroplastike na morski gladini

Mikroplastiko se na morski gladini največkrat vzorči z neustonskimi mrežami (Hidalgo – Ruz in sod., 2012), natančneje z manta mrežo (Slika 22), katera se je s svojo obliko in velikostjo izkazala za najbolj primerno. Manta mreža ima velikost odprtin 300 μm (Europa) ali 333 μm (ZDA). Odprtina za zajem vode je visoka cca. 16 cm in široka cca. 60 cm. Velikost mreže in same odprtine je odvisna od proizvajalca do proizvajalca. Na koncu mreže, ki je dolga cca. 3 m, je pripet končni tulec (ang. cod end), v katerega se zbira vzorec. Mreža vzorči zgornjih 10 cm morske gladine pri povprečni hitrosti okrog 2,5 vozla. Mreža mora biti nameščena ob boku plovila vendar tako, da je med samim vzorčenjem ne dosežejo vplivi valovanja, ki ga povzroča plovilo (Slika 25). Trajanje vzorčenja traja od 20 do 60 minut, kar pa je odvisno od količine naravnih materialov v vodi (npr. cvetenje planktona). Po koncu vzorčenja se mrežo izpere in na koncu se vzorec, ki se je ujel v končni tulec (ang. cod end), shrani v 2,5–5 % formalin ali 70 % etanol. Tako je vzorec pravilno shranjen in pripravljen za nadaljnjo obdelavo v laboratoriju (Collignon in sod., 2012; Eriksen in sod., 2013; DeFishGear, 2015).



Slika 25: Prikaz pozicije manta mreže med vzorčenjem (DeFishGear, 2015: str. 5)

Figure 25: Manta net position during sampling (DeFishGear, 2015: p. 5)

V zadnjih letih pa so znanstveniki razvili različne tipe mrež, ki so primerne za različne tipe ladij, s katerimi poteka vzorčenje in hkrati tudi za različne hitrosti vzorčenja (Eriksen in sod., 2011).

6.1.1 Vzorčenja mikroplastike na morski gladini na slovenskem morju in ocene

Vzorčenje mikroplastike v Sloveniji je zaenkrat potekalo samo na morju in sta ga izvajala Inštitut za vode Republike Slovenije (IzVRS) v okviru projekta DeFishGear in Univerza v Novi Gorici.

Vzorčenja v okviru raziskave Univerze v Novi Gorici, skupno 17 vzorcev, so se izvajala decembra 2012, maja 2012 ter marca in avgusta 2014. Vzorčili so zepi-neustonsko mrežo z velikostjo odprtih 300 μm (Slika 42), ki vzorči gladino vode, s povprečnim trajanjem vzorčenja 20 minut in s povprečno hitrostjo vlečenja mreže 5,5 km/h. Skupno so našli več kot 8 milijonov delcev mikroplastike. Približen izračun je pokazal, da se na km^2 slovenskega morja nahaja 472.000 delca mikroplastike, kar je ena izmed najvišjih izmerjenih koncentracij mikroplastike (Gajšt in sod., 2015).

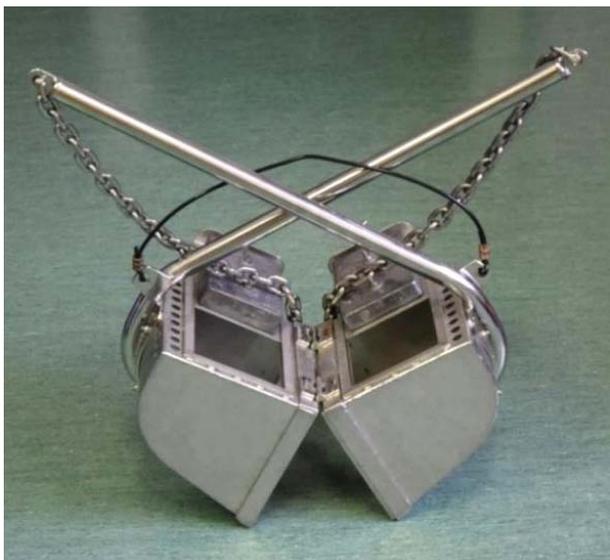
Raziskave projekta DeFishGear so pokazale na vrednost koncentracije od 150.000 do treh milijonov delcev mikroplastike na km^2 . Tudi tu gre za eno najvišjih koncentracij doslej izmerjenih na svetu, ki se lahko primerjajo le s podatki iz severozahodnega dela Tihega oceana. K temu prispeva tudi relativna zaprtost Jadranskega morja ter prisotnost industrije (DeFishGear, 2015).

Rezultati obeh raziskav so med seboj primerljivi in so pokazali zaskrbljujoče koncentracije mikroplastike v slovenskem morju in v obeh primerih gre za doslej najvišje izmerjene koncentracije mikroplastike na svetu. V zakup je potrebno vzeti tudi dejstvo, da v večini delov sveta raziskave sploh še niso bile opravljene.

6.2 Vzorčenje mikroplastike v sedimentih

Vzorčenje mikroplastike v sedimentih se pogosteje opravlja na obalah in redkeje na morskem dnu. Za vzorčenje sedimentov iz morskega dna se uporablja različne variante grabil (npr. Van Veen-ovo) (Claessens in sod., 2011; Van Cauwenberghe in sod., 2013). Van Veen-ovo grabilo smo uporabili tudi v okviru tega dela. Na splošno velja, da se za neporušene oz. intaktne vzorce uporablja globinske jedrnike, ki pa ga v okviru tega dela žal nismo imeli možnost uporabiti. Slabost vseh grabil je, da se lahko že pri zapiranju grabila vzorec deloma poruši, najbolj pa pri samem odpiranju, ko se vsebina vzorca dobesedno strese na površino, kjer se odpre grabilo. Da bi se izognili popolnemu porušenju vzorca z odpiranjem, smo Van Veen-ovo grabilo modificirali (Slika 26). Modificirali smo ga tako, da grabilu lahko odstranimo uteži in s tem lahko teoretično pridemo do zgornjih nekaj centimetrov sedimenta. Tako pa s tem nismo upoštevali dejstva, da se že pri zapiranju grabila lahko vzorec poruši.

Teža grabila je 11 kg in z enim vzorčenjem zajame 0,027 m^2 površine dna. Uporaba grabila je enostavna. Odprto grabilo se počasi spušča v vodo, zadnjih nekaj metrov preden doseže dno pa se ga spusti z večjo hitrostjo. Grabilo se zaradi lastne teže ugrezne v sediment. Ko se ga začne vleči na površje, se enostavno zapre in skupaj s sedimentom se ga povleče ven iz vode. Nato se odpre uteži (modifikacija) in se pod njima pobere le nekaj zgornjih centimetrov sedimenta in se tako dobi vzorec. Tako je vzorec pripravljen za nadaljnjo obdelavo v laboratoriju.



Slika 26: Van Veen-ovo grabilo (Centa, 2015)

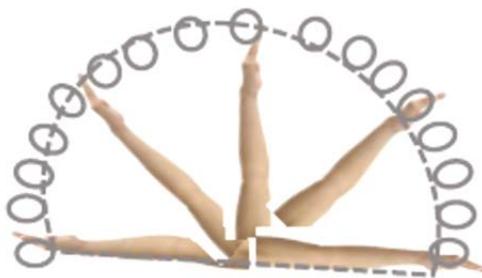
Figure 26: Van Veen grab (Centa, 2015)

Območje vzorčenja sedimentov na obali je od študije do študije različen. Nekatere študije so pokrivalo celotno območje obale, od območja med nizko in visoko plimo do območja, kjer je obala redko ali skoraj nikoli pod vodno gladino. Večino študij se je osredotočilo na območje, kjer material odlaga visoka plima. Za pelete je bilo ugotovljeno, da se kopičijo tudi v bližini linije visoke plime, vendar se velike količine le teh najdejo tudi na območjih višje od te linije. To pomanjkanje enotnosti v določitvi območja vzorčenja v študijah kaže, da je potrebno v bodoče sistematično preučiti, na katerem območju plaže se ponavadi kopiči mikroplastika. Za natančnejšo določitev dinamike kopičenja mikroplastike vzdolž linije izpostavljenosti valov, višine plimovanja in morskih tokov je potrebno opraviti dodatne primerjalne študije (Hidalgo – Ruz in sod., 2012).

Natančnejša metodologija vzorčenja je predstavljena po navodilih iz projekta DeFishGear (DeFishGear, 2015). Območje vzorčenja se razteza od linije visoke plime do zgornjega dela obale. Vzorec se deli na:

- vzorčenje majhne mikroplastike (20 μm – 1 mm);
- vzorčenje velike mikroplastike (1 mm – 5 mm).

Za vzorčenje majhne mikroplastike je priporočljivo, da se izvede pred vzorčenjem velike mikroplastike, ker se s tem zmanjša možnost kontaminacije, ki bi jo lahko povzročile osebe med vzorčenjem velike mikroplastike. Vzorec se izvaja tako, da se na izbranem mestu vzorčenja poklekne in z lopatko ali žlico v radiju iztegnjene roke pobira zgornje 3 cm sloja peska (Slika 27). Skupaj se pobere cca. 250 ml sedimenta, ki se ga preseje skozi 1 mm sito in potem se material, ki se je presejal, shrani v železno ali stekleno posodo. Tako je vzorec pravilno shranjen in pripravljen za nadaljnjo obdelavo v laboratoriju.



Slika 27: Prikaz vzorčenja majhne mikroplastike v sedimentih na obali (DeFishGear, 2015: str. 15)
Figure 27: Sampling of small microplastics in beach sediments (DeFishGear, 2015: p. 15)

Vzorčenje velike mikroplastike naj bi potekalo ločeno od vzorčenja majhne mikroplastike, in sicer po vzorčenju majhne mikroplastike, da se zmanjša možnost dodatnega onesnaženja, ki bi ga lahko zakrivila oseba, ki izvaja vzorčenje majhne mikroplastike. Lokacije vzorčenja majhne in velike mikroplastike, se naj ne bi prepeletalo, razen, če je dolžina obale prekratka za ločeno vzorčenje. Vzorčenje poteka tako, da se na peščeno podlago položi železen ali lesen okvir (100 cm krat 100 cm) (Slika 28) in se nato z lopatko ali večjo žlico pobere zgornje 3 cm površine peska.



Slika 28: Namestitev lesenega okvirja na peščeno podlago (DeFishGear, 2015: str. 15)
Figure 28: Placing of a wooden frame on a sandy surface (DeFishGear, 2015: p. 15)

Zaradi lažje določitve volumna vzorca, se pesek odlaga v stekleno posodo z znanim volumnom. Ko se steklena posoda napolni, se pesek sproti seje skozi 1 mm sito. Postopek se ponavlja tako dolgo, dokler se ne pobere in preseje celoten 3 cm sloj peska znotraj položenega okvirja. Na koncu se ves material, ki je ostal na situ, shrani v železno ali stekleno posodo. Tako je vzorec pravilno shranjen in pripravljen za nadaljnjo obdelavo v laboratoriju. Če se želi vzorčenje razširiti še na mezoplastiko (5–20 mm), se pred sejanjem na sito velikosti 1 mm doda 5 mm sito in se tako na koncu sejanja material, ki je ostal na 5 mm situ (Slika 29), shrani v železno ali stekleno posodo. Tako se hkrati pridobi dva ločena vzorca za določitev dveh velikostnih razredov mikroplastike, ki se jih kasneje v laboratoriju natančno pregleda (DeFishGear, 2015).



Slika 29: Material na situ (5 mm) (levo), in plastični predmeti večji od 5 mm (desno) (DeFishGear, 2015: str. 16)
Figure 29: Material on a sieve (5 mm) (left), plastic items larger than 5 mm (right) (DeFishGear, 2015: p. 16)

6.3 Vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu

Iz preteklih študij je razvidno, da so najbolj pogost pripomoček za vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu mreže za vzorčenje zooplanktona z velikostjo odprtin od 50 μm do 300 μm ter nekateri drugi vzorčevalniki planktona. Vzorci so bili odvzeti iz globine 1 m do globine 212 m (Hidalgo – Ruz in sod., 2012).

Vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu je bilo izvedeno še na nekaj drugih načinov. Z enim izmed njih so Slat in sod. (2014) s sistemom mrež poskušali ugotoviti vpliv vetra na porazdelitev plastike v vodnem stolpcu na morju. Sistem mrež je sestavljen iz 11 posameznih mrež z velikostjo odprtin 150 μm , katerih je posamezna odprtina vzorčenja velika 0,5 m krat 0,3 m (Slika 30).



Slika 30: Sistem mrež (Slat in sod., 2014: str. 104)
Figure 30: Net system (Slat et al., 2014: p. 104)

S sistemom mrež so vzorčili do skupne globine 5 m. Med samim vzorčenjem sta bili zaradi valovanja najvišja in nato polovica naslednje mreže nepotopljeni, ostale mreže pa so bile potopljene. Vsebino vsake posamezne mreže posameznega vzorčenja so shranili v stekleno posodo in potem v laboratoriju natančno pregledali.

Ugotovili so, da je kljub močnim vetrovom glavna plastična masa ostala na morski gladini. Vzrok bi lahko bil v tem, da imajo večji in težji delci plastike višje vrednosti vzgona in so zato bolj odporni na turbulenco, ki jo povzročajo vetrovi na morski gladini, manjši in lažji pa se lahko premaknejo v nižje sloje.

Drugi način vzorčenja mikroplastike v vodnem stolpcu, ki je tudi še zelo redek, je vzorčenje s črpalko za vodo. Slednje omogoča vzorčenje na točno določeni globini. V dveh študijah, ki sta se izvajali na oceanih, se je za črpanje uporabil kar sesalni sistem slane vode na plovilu. V prvi študiji (Desforges in sod., 2014) je bil pred sistemom filter, ki je preprečeval, da bi delce večje od 5 mm potegnili v sistem. Sistem se je zaključil s sistemom filtrov z velikostjo odprtin: 250 μm , 125 μm in 62,5 μm . Trajanje posameznega vzorčenja je na globini 4,5 m trajalo od 10 do 20 minut. Prečrpano količino vode so sproti merili z merilcem pretoka. Vsebino prefiltriranega materiala, ki se je nabrala na posameznem filtru, so shranili v primerne posode in potem v laboratoriju natančno pregledali. V drugi študiji (Lusher in sod., 2014) so vzorčili po metodologiji, ki so jo razvili Desforges in sod. (2014). Razlika je v tem, da so pred sistem postavili finejši filter, ki je preprečeval, da bi delce večje od 1 mm potegnili v sistem, hkrati pa so namesto sistema filtrov imeli samo filter z velikostjo odprtin 250 μm . S preizkušnji na globini 3 m so določili optimalno količino prefiltrirane vode, ki je znašala 2 m³. Ko so omenjeno količino vode prefiltrirali, so odstranili filter z velikostjo odprtin 250 μm in vsebino shranili v primerne posode ter jo potem v laboratoriju natančno pregledali.

Magnusson in Norén (2011) so edini do sedaj uporabili bencinsko črpalko za vodo (Slika 31) za vzorčenje mikroplastike na morju. Na črpalko so namestili sesalno cev, na katero so namestili nastavek za filter (Slika 32). Vzorčenja so opravili na globini 0,5 m in vedno so uporabili filtra z velikostjo odprtin 300 μm in 10 μm . S filtrom z velikostjo odprtin 300 μm so med vsakim vzorčenjem prečrpali 2 m³, z manjšim filtrom pa le od 4 do 10 l, saj se je filter zaradi majhnosti odprtin takoj zamašil. Takoj po končanem vzorčenju so nastavek dvignili iz vode in filter shranili v petrijevko in potem v laboratoriju natančno pregledali.



Slika 31: Bencinska črpalka za vodo (Magnusson in Norén, 2011: str. 9)

Figure 31: Petrol water pump (Magnusson and Norén, 2011: p. 9)



Slika 32: Nastavek s 300 µm filtrom (Magnusson in Norén, 2011: str. 9)

Figure 32: 300 µm filter attachment (Magnusson and Norén, 2011: p. 9)

Predstavljene metode so se uporabile za vzorčenje mikroplastike v morskih ekosistemih. Podobne metode pa se lahko uporabljajo tudi za vzorčenje mikroplastike v ekosistemih celinskih voda. Razlika je v tem, da je pri postopku ločevanja na osnovi gostote pri celinskih vodah potrebno uporabljati finejše filtre in pri ločevanju plastike od ostalega materiala v primerjavi z morskimi vodami v vzorec s celinsko vodo dodajati snovi (npr. NaCl), da se poveča gostota vzorca, da plastika lažje priplava na gladino vzorca (Eerkes – Medrano in sod., 2015).

7 METODOLOGIJE VZORČENJ, KI SO BILE UPORABLJENE V MAGISTRSKEM DELU

V magistrskem delu smo poskusili vzorčiti mikroplastiko po celotnem vodnem stolpcu. V delu smo združili tri različne metode vzorčenja in tako pokrili celotni vodni stolpec od gladine do dna. Ker je vzorčenje mikroplastike na gladini z epi-neustonsko mrežo bistveno bolj primerno kot s črpalko za vodo in ker je metoda že preizkušena, smo vzorčenje mikroplastike na gladini izvedli s slednjo. Ena izmed metod za vzorčenje sedimentov je vzorčenje z Van Veen-ovim grabilom, katero smo v magistrskem delu tudi uporabili za vzorčenje mikroplastike v sedimentih. Vzorce po preostalem delu vodnega stolpca, med gladino in dnom, pa smo izvedli s črpalko za vodo.

7.1 Izbira lokacij vzorčenj

Do sedaj se je mikroplastika po vodnem stolpcu vzorčila le v morjih in oceanih, nikoli pa še v celinskih vodah. Namen magistrskega dela je bil, da se poskusi s črpalko za vodo vzorčiti mikroplastiko po vodnem stolpcu na slovenskih vodotokih in jezerih. Ker se je vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu prvič izvajalo v Sloveniji in tako nima še nihče nobenih izkušenj s takim načinom vzorčenja, smo namesto večih vodotokov in jezer izbrali le eno reko (Ljubljana) in eno jezero (Blejsko jezero) in na njih več lokacij vzorčenja.

7.1.1 Ljubljana

Reko Ljubljanico smo izbrali, ker je relativno počasna reka in omogoča vzorčenje po vodnem stolpcu z več različnimi metodami, kot bo predstavljeno v nadaljevanju dela. Obenem Ljubljana teče skozi Ljubljano, ki je največje in glavno mesto v Republiki Sloveniji, katero je imelo po podatkih statističnega urada Republike Slovenije (SURŠ) na dan 1. 1. 2015 278.789 prebivalcev (SURŠ, 2015), veliko industrije, eno centralno čistilno napravo – Centralno čistilno napravo Ljubljana (CČN Ljubljana) in tako združuje veliko različnih onesnaževalcev, ki bi lahko vplivali na količino in pojav mikroplastike v sami reki.

Ljubljana je 41 km dolga tipična kraška reka, ki izvira na več mestih v okolici Vrhnike, kjer se dinarski kras stika z neprepustnimi sedimenti Ljubljanskega barja, ki preprečujejo nadaljnji podzemni tok kraških voda. Izvire lahko glede na njihovo mikrolokacijo razdelimo v naslednje tri večje skupine:

- skupina izvirov Retovje, ki tvorijo Veliko Ljubljanico (izvir Pod skalo, izvir Pod orehom, Veliko okence, Malo okence, Furlanove toplice);
- skupina izvirov Močilnik, ki tvorijo Malo Ljubljanico (Mali Močilnik, Veliki Močilnik);
- izviri v Bistri, ki se združijo v istoimenski krak Bistra (Pasji studenec, Ribičev studenec, Zupanov izvir, Trebinja oz. Galetov izvir, trije povirni kraki reke v samostanskem območju (Grajski izvir)).

Poleg zgoraj naštetih obstaja še večje število manjših izvirov, studencev in izvirkov (Ljubija, Lintvern itd.), ki s svojo vodo napajajo Ljubljanico (Grajš, 2013).

S počasnim površinskim tokom teče Ljubljanica od izvirov preko Ljubljanskega barja, kjer se ji priključi reka Iška, nato skozi Ljubljano in Gruberjev prekop ter nato po južnem obrobju Ljubljanskega polja do naselja Podgrad pri Ljubljani (v bližini Zaloga), kjer se, kot desni pritok, izliva v Savo (gre za sotočje treh rek, saj se na tem mestu kot levi pritok v Savo izliva tudi Kamniška Bistrica). Povprečni srednji letni pretok za obdobje od leta 1961 do leta 2000 na merilni postaji Moste znaša $56,47 \text{ m}^3/\text{s}$ (Grajš, 2013).

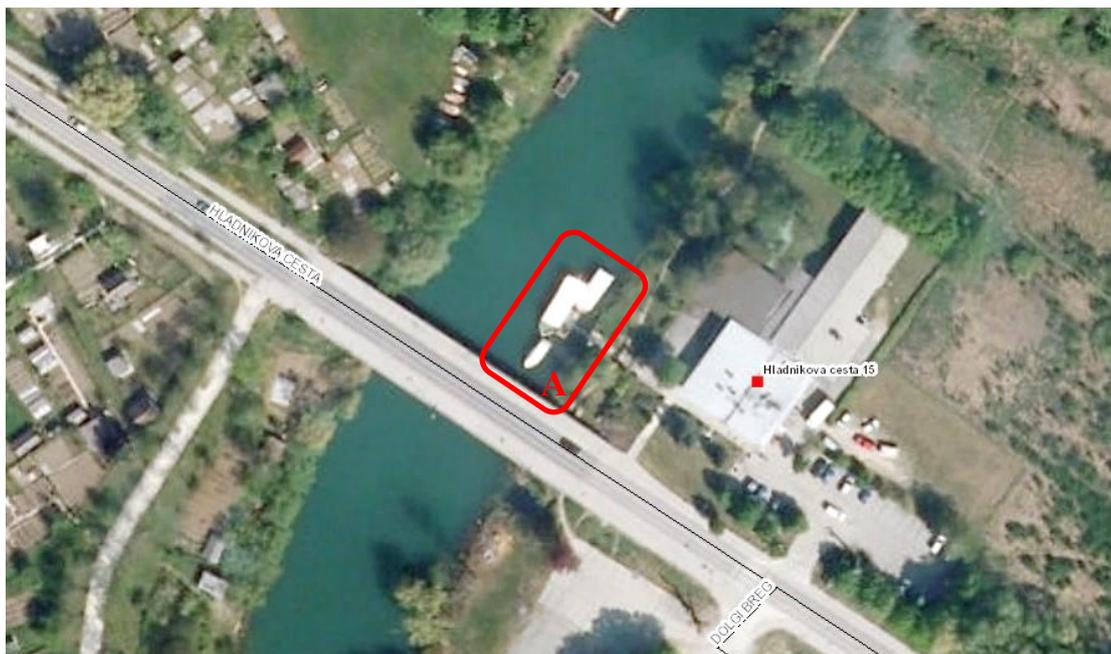
Celotno porečje Ljubljanice še ni dokončno opredeljeno. V porečje sta vključena tudi Cerkniško in Planinsko polje (kraško podolje). Po uradnih podatkih meri 1.779 km^2 , od tega je skoraj dve tretjini površja (1.100 km^2) kraškega. Po najnovejših opravljenih meritvah pa je izmerjena površina porečja večja in znaša $1.889,5 \text{ km}^2$, kar predstavlja slabo desetino površja Slovenije (Grajš, 2013).

7.1.1.1 Izbira lokacij vzorčenj na Ljubljani

Na Ljubljani je bila želja vzorčiti mikroplastiko pred samim mestnim naseljem, v mestnem naselju, pred zapornicami kot primer zadrževalnika, pred iztokom iz CCN Ljubljana in za iztokom CCN Ljubljana. Po ogledu digitalnih ortofoto posnetkov (DOF) na Atlasu okolja smo približno določili lokacije vzorčenj. Atlas okolja je spletna storitev, v okviru katere Agencija Republike Slovenije za okolje omogoča dostop do prostorskih vsebin najširšemu krogu uporabnikov. Storitev je zasnovana na uporabi spletnih geoinformacijskih (GIS) tehnologij. Za točno določitev vzorčenj pa smo si možne lokacije ogledali še na terenu. Pri tem so na točno določitev lokacije vzorčenja vplivali dostop in možnost vzorčenja po vodnem stolpcu z različnimi metodami.

Tako smo izbrali naslednje lokacije vzorčenj na Ljubljani (PRILOGA A: Lokacije vzorčenj na Ljubljani) (Atlas okolja, 2016):

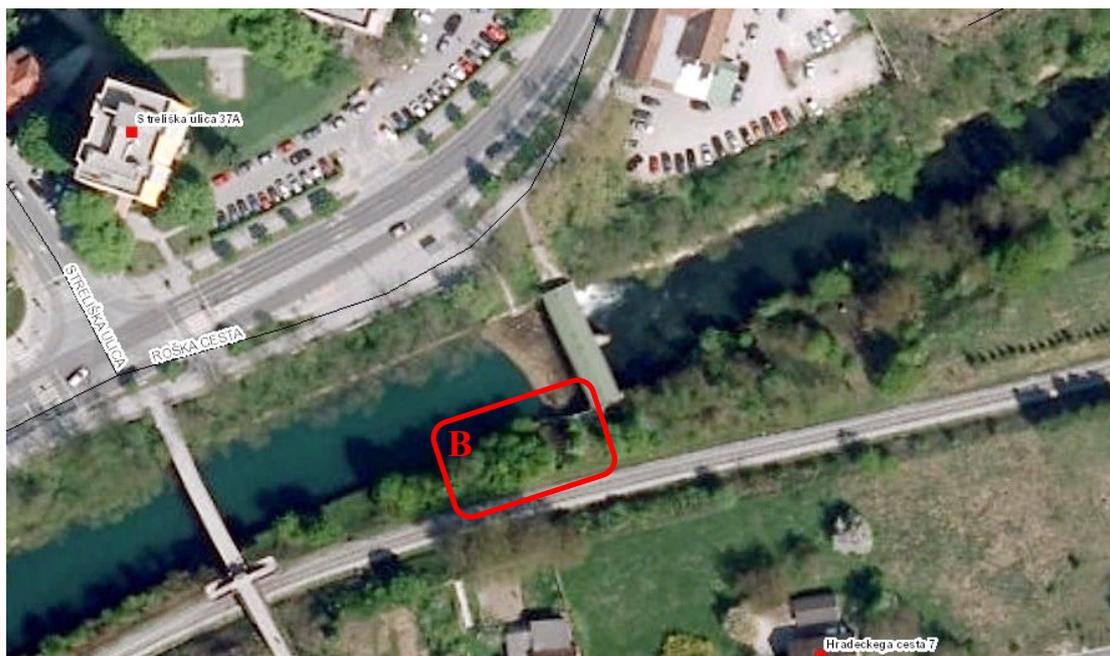
- (A) plavajoči ponton pred gostilno Livada (Slika 33) kot mesto vzorčenja pred mestom Ljubljana;



Slika 33: Digitalni ortofoto posnetek (DOF) (A) plavajočega pontona pred Gostilno Livada (Atlas okolja, 2015a)

Figure 33: Digital orthophoto recording (DOF) of (A) a floating pontoon in front of Livada Inn (Atlas okolja, 2015a)

- (B) pred zapornicami na Gruberjevem prekopu (Slika 34) kot mesto vzorčenja na t. i. zadrževalniku;



Slika 34: Digitalni ortofoto posnetek (DOF) (B) zapornice na Gruberjevem prekopu in mesto vzorčenja (Atlas okolja, 2015b)

Figure 34: Digital orthophoto recording (DOF) of (B) locks on Gruber Canal and the sampling location (Atlas okolja, 2015b)

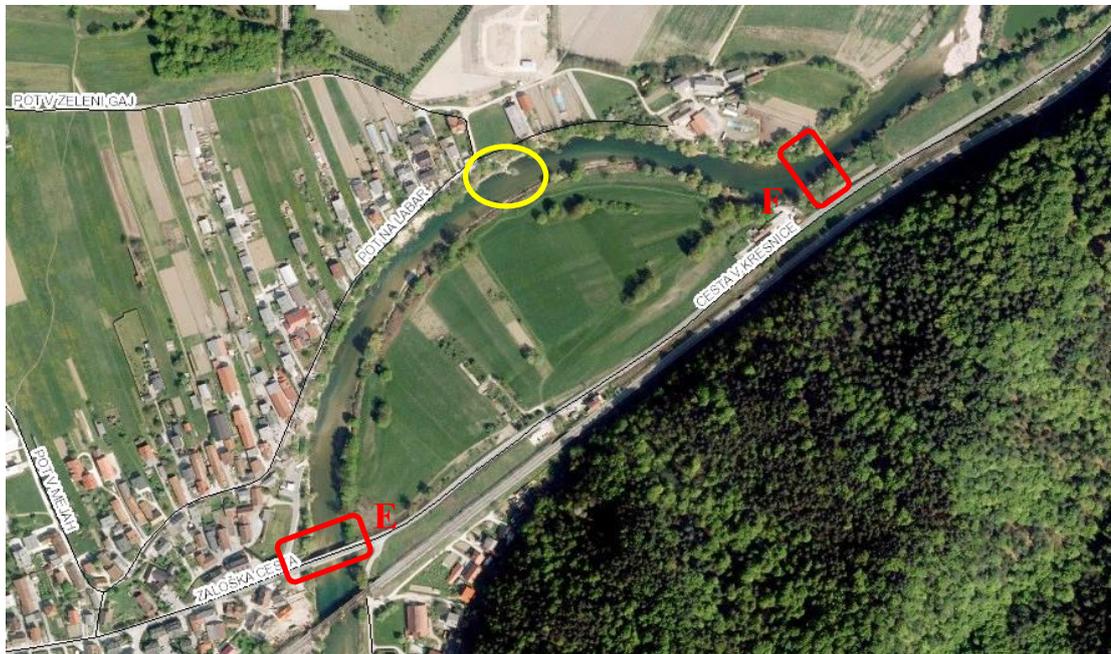
- (C) pred zapornicami na Ambroževem trgu (Slika 35) kot mesto vzorčenja v mestu Ljubljana;
- (D) Fabianijev most (Slika 35) za zapornicami na Ambroževem trgu kot mesto vzorčenja za epi-neustonsko mrežo, saj le-to na zapornicah zaradi počasnega toka Ljubljanice ni bilo možno;



Slika 35: Digitalni ortofoto posnetek (DOF) (C) zapornice na Ambroževem trgu in (D) Fabianovega mostu ter mesti vzorčenja (Atlas okolja, 2015c)

Figure 35: Digital orthophoto recording (DOF) of (C) locks on Ambrož Square and (D) Fabiani Bridge and the sampling locations (Atlas okolja, 2015c)

- (E) most na Zaloški cesti pred iztokom iz CCN Ljubljana (na sliki označen z rumeno) (Slika 36);
- (F) lokacija vzorčenja za iztokom iz CCN Ljubljana (na sliki označen z rumeno) (Slika 36).



Slika 36: Digitalni ortofoto posnetek (DOF) (E) mostu na Zaloški cesti pred iztokom iz CCN Ljubljana in (F) lokacije vzorčenja za iztokom iz CCN Ljubljana ter mesti vzorčenja (Atlas okolja, 2015d)

Figure 36: Digital orthophoto recording (DOF) of (E) a bridge on Zaloška Road in front of Central Waste Water Treatment Plant Ljubljana effluent and (F) the sampling location after Central Waste Water Treatment Plant Ljubljana effluent and the sampling locations (Atlas okolja, 2015d)

7.1.2 Blejsko jezero

Blejsko jezero je zaradi turistične tradicije in naravnih lepote naše najbolj znano jezero. Je turistično najbolj obiskano pri nas. V preteklosti je bilo žal deležno nenadzorovanega odvajanja onesnaženih voda v samo jezero. Sodi med občutljiva območja podvržena eutrofikaciji, kjer se je s sanacijskimi ukrepi (dotok Radovne in natega) in izgraditvijo kanalizacijskega omrežja stanje jezera izrazito popravilo. Velik turistični obisk in odvajanje onesnaženih voda v jezero v preteklosti bi lahko vplivala na pojav mikroplastike tudi v našem jezerskem biseru.

Blejsko jezero (476 m n. m.) leži v osredju Blejskega kota. Njegova površina meri 1,44 km², obseg 6 km, največja globina 30 m, prostornina pa 25,7 milijonov m³. Jezersko kotanjo sestavljata dve globeli (kotanji), ločeni s podvodnim grebenom, katerega del je tudi otok. Zahodna kotanja je globlja. Napajajo ga le neznatni studenci, zato ga uvrščamo med jezera studenčnega tipa. Od skupaj 22 studencev, jih v Blejsko jezero priteka le še 12. Ostali, zlasti tisti iz urbanizirane vzhodne obale, so bili zaradi onesnaženosti speljani v kanalizacijo. Njihov povprečni dotok v Blejsko jezero je leta 1978 znašal samo 210 l/s. Pred sanacijskimi posegi v dotok in iztok je ocenjeni zadrževalni čas vode v Blejskem jezeru znašal skoraj 4 leta, kar je 9 krat več kot v Bohinjskem jezeru (Bat in sod., 2003).

Majhna naravna pretočnost jezera zmanjšuje samočistilne sposobnosti. Zato je jezero ekološko izredno ranljivo. Ker je lega jezera zatišna, je mirovanje vode še izrazitejše. Prvi znaki onesnaženja in spremljajoči pojavi pospešenega staranja so se v Blejskem jezeru začeli kazati že v začetku 20. stoletja, v petdesetih letih pa je kakovost jezera občutno nazadovala. Glavni razlog je bila pomanjkljiva kanalizacija, ki zaradi razvoja množičnega turizma ni več zadoščala potrebam. Hranilne snovi, ki so pritekale v jezero, so spodbujale razvoj rastlinskega planktona. Pogosta so bila dolgotrajna »cvetenja«, ki so vplivala na vedno obsežnejše in dolgotrajnejše pomanjkanje kisika. V razmerah brez kisika so nastajale strupene snovi, propadale so občutljive rastlinske in živalske vrste. Tako se je v jezeru porušilo naravno ravnovesje in jezero je začelo postopno odmirati (Bat in sod., 2003).

Že leta 1964 je bila z namenom, da se poveča pretok in jezero prezrači, v Blejsko jezero na globino 18 m speljana Radovna. Z dotokom vode iz Radovne (cca. $4\text{m}^3/\text{s}$) pa se je bistveno povečalo prispevno področje jezera, kar je povzročilo dodaten prispevek hranil. Ker se je stanje jezera še naprej slabšalo, je bila v letih 1980/81 zgrajena natega – globinski iztok jezera (240 l/s). Tudi kanalizacija je bila v letih od 1982 do 1985 delno popravljena in dograjena. Vnos fekalij v jezero se je tako zmanjšal za približno 80 %. Občasna »cvetenja« še vedno opozarjajo, da stanje Blejskega jezera zaradi porušenega biološkega ravnotežja v preteklosti še vedno ni stabilno in je vnos hranilnih snovi iz pojezerja občasno še vedno prevelik (Bat in sod., 2003).

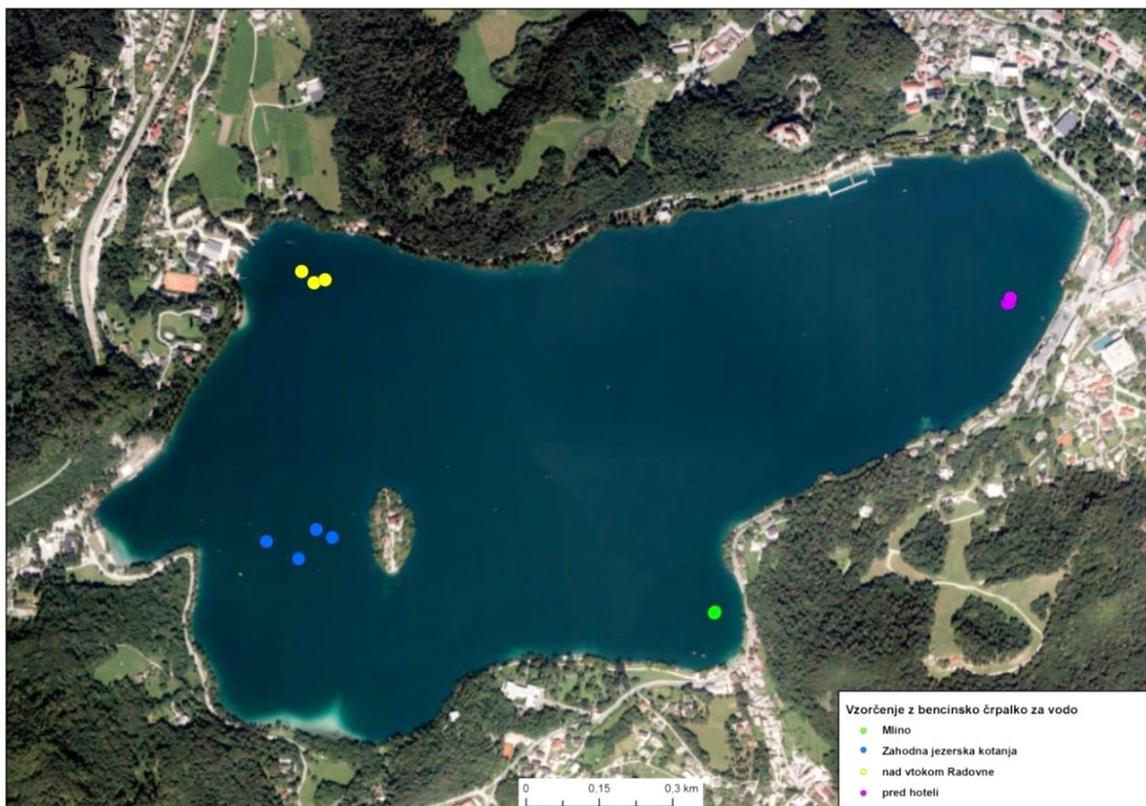
Kanalizacijsko omrežje po okoliških vaseh iz leta v leto raste. Celotno kanalizacijsko omrežje Bleda in okoliških vasi pa je od leta 2006 priključeno na Centralno čistilno napravo Bled.

7.1.2.1 Izbira lokacij vzorčenj na Blejskem jezeru

Lokacije vzorčenja mikroplastike na Blejskem jezeru smo izbrali tako, da bi se nekako tlorisno pokrilo celotno jezero in hkrati takšne, kjer bi se lahko akumulirala mikroplastika. Tako smo izbrali naslednje lokacije vzorčenj:

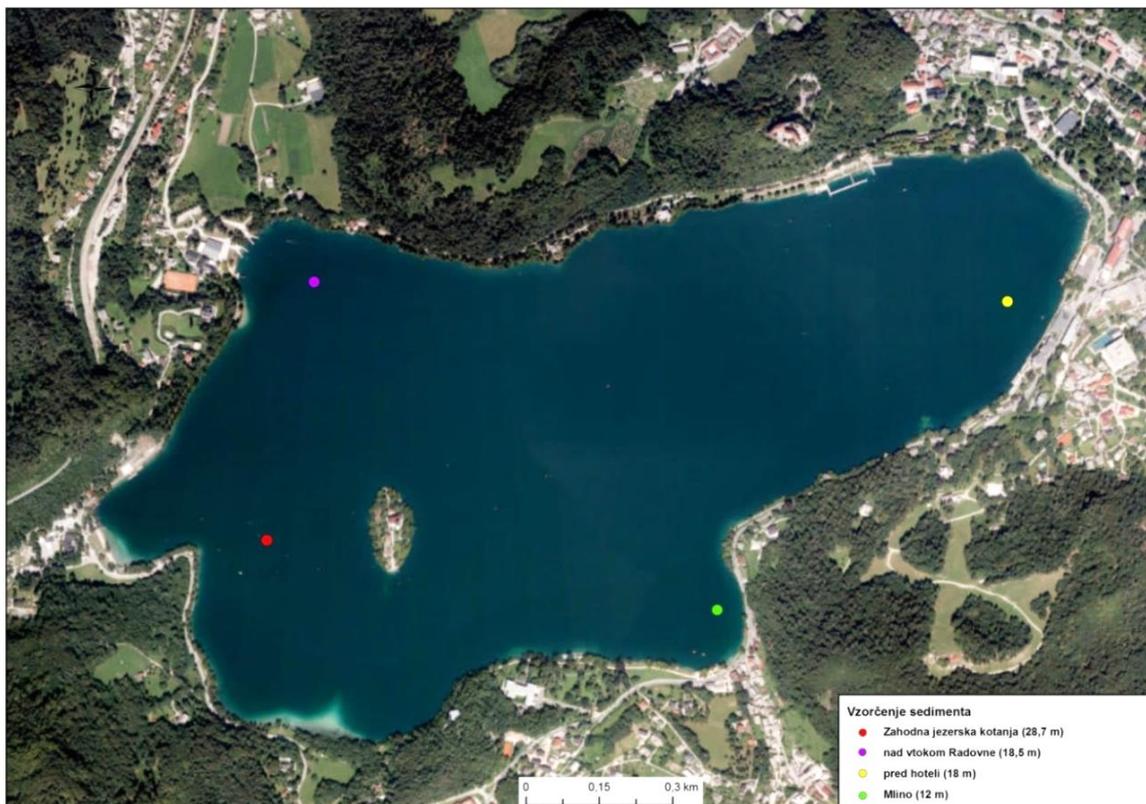
- zahodna jezerska kotanja, ki je tudi najgloblji del jezera;
- nad vtokom Radovne, kjer je največji dotok v jezero;
- pred hoteli, ki predstavlja najbolj vzhodni del jezera;
- Mlino, kjer je iztok iz jezera.

Zaradi vetra in slabega sidranja čolna na dan vzorčenja so se točne lokacije posameznega vzorčenja stalno spreminjale. Tako so na naslednjih treh kartah prikazane lokacije začetkov vzorčenj na posameznih globinah (Slika 37), lokacije vzorčenja sedimenta (Slika 38) in trase vzorčenj z epi-neustonsko mrežo (Slika 39). Digitalni ortofoto posnetek (DOF) Blejskega jezera na omenjenih kartah smo pridobili iz Atlasa okolja (Atlas okolja, 2015e). Podatke za izris lokacij in tras vzorčenj pa smo uporabili iz podatkov o vzorčenjih (Preglednica 2 in Preglednica 3).



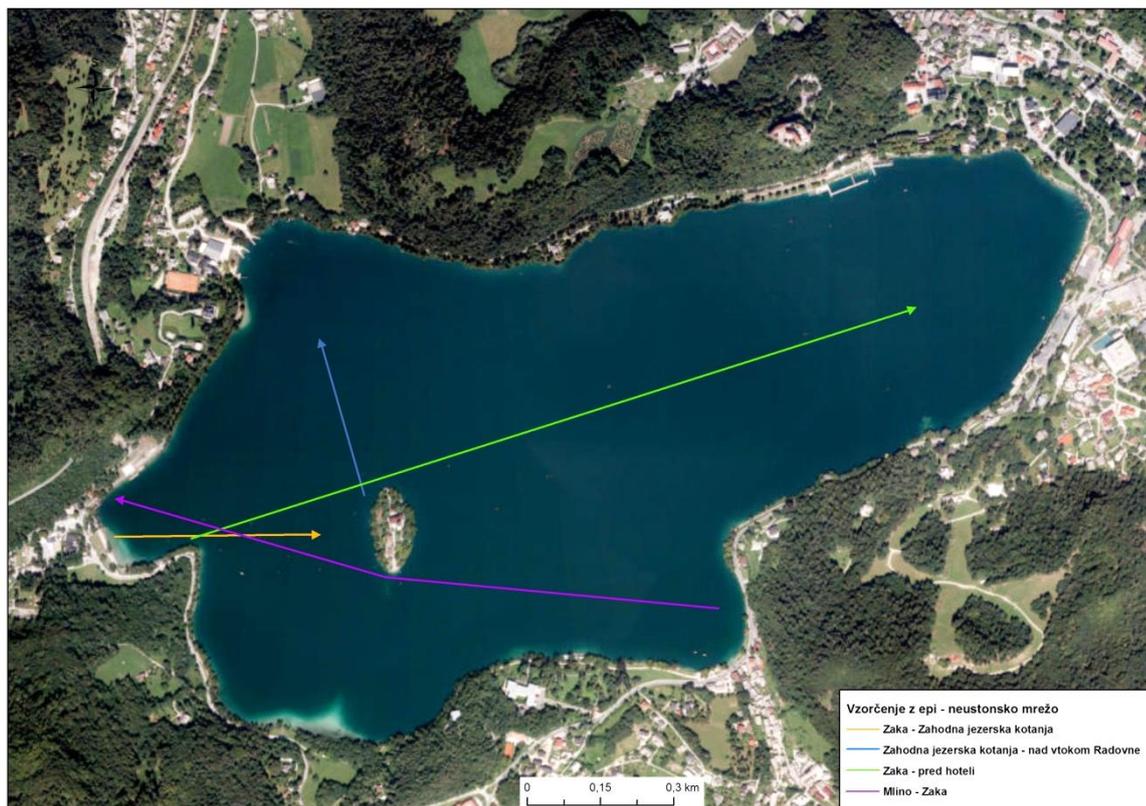
Slika 37: Začetne lokacije vzorčenj na različnih globinah z bencinsko črpalko za vodo na Blejskem jezeru (Atlas okolja, 2015e)

Figure 37: Initial locations of petrol water pump sampling at various depths in Lake Bled (Atlas okolja, 2015e)



Slika 38: Lokacije vzorčenj sedimenta z Van Veen-ovim grabilom na Blejskem jezeru (Atlas okolja, 2015e)

Figure 38: Locations of sediment sampling with Van Veen grab in Lake Bled (Atlas okolja, 2015e)



Slika 39: Trase vzorčenj z epi-neustonsko mrežo na Blejskem jezeru (Atlas okolja, 2015e)

Figure 39: Routes of epi-neuston net sampling in Lake Bled (Atlas okolja, 2015e)

7.2 Izbira črpalke za vodo

Ena izmed delovnih hipotez v magistrskem delu je bila, da je črpalka za vodo primerna za vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu.

Glavni kriterij pri izbiri primernih črpalk za vodo je bil, da imajo zadostno prepustnost delcev (večje od 5 mm). Tako smo iskali črpalke, ki bi zadostile pogoju za prepustnost delcev. Na slovenskem tržišču bi temu pogoju zadostile: samosesalne, centrifugalne, pretočne, potopne in peristaltične črpalke. Pri vzorčenju raznih delcev, kjer je pomembno število delcev, npr. mikroplastike, je zelo pomembno, da rotor črpalke ne pride v stik s posameznim delcem, saj lahko le-ta ob stiku z rotorjem razpade še na manjše delce, kar lahko vpliva na same rezultate vzorčenja. Tako bi bila najbolj primerna črpalka za vzorčenje mikroplastike peristaltična črpalka, saj za črpanje ne potrebuje rotorja in je črpani medij (voda z delci) v stiku samo z notranjostjo gibke (peristaltične) cevi.

Vse omenjene črpalke, kot tudi peristaltična črpalka, za svoje delovanje potrebujejo električno energijo in za svoje delovanje potrebujejo zagonsko moč vsaj 1 kW. Ker bi se vzorčilo na terenu, bi za vir električne energije potrebovali agregat, ki bi zadostil dovolj veliko zagonsko moč črpalke in kasneje konstantno napetost za nemoteno delovanje. Agregat s tako izhodno močjo tehta vsaj 20 kg. Tako bi črpalka z elektromotorjem skupaj z agregatom tehtala vsaj 30 kg in več. Kar pa je za vzorčenje na terenu sila neugodno in velikokrat zaradi dostopnosti do lokacije vzorčenja celo

neizvedljivo. Na Blejskem jezeru bi vzorčenje izvajali s čolnom, na katerem bi poleg 3 ali 4 oseb in vse potrebne opreme za vzorčenje ostalo le malo prostora za črpalko in agregat, ki bi bil potreben za delovanje peristaltične ali katerekoli črpalke, ki za svoje delovanje potrebujejo električno energijo. Obstajajo tudi črpalke, ki se napajajo preko akumulatorja, vendar so tako slabo zmogljive in imajo tako majhno avtonomijo delovanja, da bi težko z vsakim vzorčenjem prevzorčili 2 m³ vode.

Zaradi svoje majhnosti in majhne teže smo se za vzorčenje mikroplastike odločili za bencinsko črpalko za vodo. Čeprav medij črpa s pomočjo rotorja in s tem lahko vpliva na rezultate vzorčenja, smo se zaradi že omenjenih lastnosti in tudi razmeroma nizke cene črpalke odločili, da poskusimo vzorčiti prav s slednjo.

Tako smo morali najti bencinsko črpalko za vodo, ki je dovolj zmogljiva, da posamezno vzorčenje (2 m³) ne traja več kot eno uro, da ima prepustnost delcev vsaj 5 mm, da je čimbolj tiha in da ima čim večjo avtonomijo delovanja s polnim rezervoarjem.

Bencinska črpalka za vodo, ki je najbolj ustrezala zgornjim pogojem, je Makita EW1060HX (Slika 40). Črpalka je dovolj zmogljiva, saj zmore sesati z višine 8 m. V idealnih pogojih je zmožna prečrpati 130 l/min ali 7,8 m³/h. Hkrati pa je zaradi svoje majhnosti in majhne teže idealna za uporabo na terenu.



Slika 40: Bencinska črpalka za vodo Makita EW1060HX (Centa, 2015)

Figure 40: Makita EW1060HX petrol water pump (Centa, 2015)

Tehnični podatki bencinske črpalke za vodo Makita EW1060HX (Makita, 2015):

- navoj vretena: 1";
- motor: 4-taktni;
- delovna prostornina: 33,5 cm³;
- največja globina črpanja: 8 m;
- rezervoar za gorivo: 0,65 l;
- maksimalni pretok: 130 l/min ali 7,8 m³/h;

- maksimalna črpalna višina: 45 m;
- maksimalni premer delcev v vodi: 8 mm,
- hrup: zvočni tlak: 88,4 dB(A);
- hrup: glasnost: 109 dB(A);
- teža: 7,3 kg.

Sesalna višina črpanja teoretično znaša 10 m in je odvisna od zračnega tlaka. V praksi te vrednosti ne moremo nikdar doseči, ker v sesalni cevi nastanejo tlačne izgube zaradi ne tesnosti sistema in trenja v cevi, kolenih in ventilih. Dejansko dosežemo le od 7 do 8 m višine, odvisno od kakovosti črpalke. Sesalna višina je odvisna od izgub zaradi trenja v ceveh in ventilih ter od vertikalne razdalje med najnižjim nivojem vode (gladina) in sredino črpalke. Izgube zaradi trenja naraščajo z zmanjšano hitrostjo vode. V našem primeru je bila vertikalna razdalja največja (cca. 2 m) pri vzorčenju na lokaciji (C) pred zapornicami na Ambroževem trgu. Pri vzorčenju na Blejskem jezeru je vertikalna razdalja znašala le nekaj 10 cm in je bila tako sesalna višina največ odvisna od dolžine cevi in posledično trenja v cevi. Tako smo z uporabo daljše cevi zaradi večjega trenja v njej, določeno količino prefiltrirane vode črpali več časa kot pa z uporabo krajše cevi. Ker kljub relativno veliki globini vzorčenja na Blejskem jezeru (27,5 m), omejitev sesalne višine 8 m, ki jo ima izbrana črpalčka za vodo, ni bila presežena, smo lahko vzorčenje izvedli tudi na tej globini.

7.3 Vzorčenja

V magistrskem delu smo združili tri različne metode vzorčenja in tako na vsaki lokaciji vzorčenja poskusili pokriti celotni vodni stolpec.

Seznam lokacij vzorčenja, na katerih smo izvedli vzorčenje na gladini z epi-neustonsko mrežo, prikazuje Preglednica 2, na kateri so za posamezno lokacijo prikazani naslednji podatki: lokacija ali trasa vzorčenja, začetni in končni GPS koordinati lokacije vzorčenja, začetna in končna ura vzorčenja, trajanje vzorčenja, hitrost toka vode na Ljubljani oz. hitrost, s katero smo vlekli mrežo po Blejskem jezeru, izračunana dolžina vzorčenja in količina prevzorčene vode ter ID vzorca. Pri izračunu prevzorčene vode z epi-neustonsko mrežo smo upoštevali podatek, da je bila potopljena le polovica ustja (8 cm) epi-neustonske mreže.

Seznam lokacij vzorčenja, na katerih smo izvedli vzorčenje z bencinsko črpalčko za vodo in vzorčenje sedimenta, pa prikazuje Preglednica 3, na kateri so za posamezno lokacijo prikazani naslednji podatki: lokacija vzorčenja z maksimalno globino, globine vzorčenja na posamezni lokaciji vzorčenja, GPS koordinati lokacije vzorčenja, začetna in končna ura vzorčenja, trajanje vzorčenja, pretok vode v bencinski črpalčki za vodo in ID vzorca.

Preglednica 2: Seznam lokacij vzorčenja z epi-neustonsko mrežo

Table 2: List of epi-neuston net sampling locations

	Lokacija ali trasa vzorčenja	Začetek vzorčenja			Konec vzorčenja			Datum vzorčenja	Trajanje vzorčenja (min)	Hitrost (km/h)	Dolžina vzorčenja (m)	Količina prevzorčene vode (m ³)	Površina vzorčenja (km ²)	ID vzorca
		Y koordinata	X koordinata	Ura	Y koordinata	X koordinata	Ura							
Ljubljana	(D) Fabianijev most za zapornicami na Ambroževem trgu	463184	100800	9:45	463184	100800	10:15	17. september 2015	30	2,41	1206	57,9	0,00072	CUK-1
	(E) most na Zaloški cesti pred iztokom iz CCN Ljubljana	471105	102070	12:41	471105	102070	13:41	17. september 2015	30	4,14	2070	99,4	0,00124	PKČN-1
Blejsko jezero	Zaka – zahodna jezerska kotanja	429782	135747	9:52	430186	135752	10:00	20. avgust 2015	18	3,20	960	46,1	0,00058	BL-5
	zahodna jezerska kotanja – nad vtokom Radovne	430293	135832	14:09	430206	136140	14:15	20. avgust 2015	6	3,30	330	15,8	0,00020	BL-6
	zahodna jezerska kotanja – pred hoteli	429938	135743	9:35	431408	136213	10:05	21. avgust 2015	30	3,00	1500	72,0	0,00090	BL-16
	Mlino – Zaka	431019	135599	13:46	429801	135821	14:10	21. avgust 2015	24	3,00	1200	57,6	0,00072	BL-15

Preglednica 3: Seznam lokacij vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo in Van Veen-ovim grabilom

Table 3: List of petrol water pump and Van Veen grab sampling locations

	Lokacija vzorčenja z maksimalno globino (m)	Globina vzorčenja (m)	Vrsta vzorčenja	Y koordinata	X koordinata	Ura začetek	Ura konec	Datum vzorčenja	Trajanje vzorčenja (min)	Pretok (l/s)	ID vzorca	
Ljubljana	(A) plavajoči ponton pred gostilno Livada (3,8 m)	0,2	bencinska črpalka za vodo	462351	99148	7:30	7:49	13. avgust 2015	19	1,76	LI-1	
		1,5	bencinska črpalka za vodo	462351	99148	8:50	9:09	13. avgust 2015	19	1,76	LI-2	
		3,5	bencinska črpalka za vodo	462351	99148	9:20	9:39	13. avgust 2015	19	1,76	LI-3	
		3,8	Van Veen-ovo grabilo	462325	99127	7:50	/	13. avgust 2015	/	/	LISED3-1 in LISED3-2	
	(B) pred zapornicami na Gruberjevem prekopu (2,4 m)	0,2	bencinska črpalka za vodo	463117	100163	12:10	12:29	13. avgust 2015	19	1,76	GR-1	
		1,25	bencinska črpalka za vodo	463117	100163	12:40	12:59	13. avgust 2015	19	1,76	GR-2	
		2	bencinska črpalka za vodo	463117	100163	13:10	13:29	13. avgust 2015	19	1,76	GR-3	
	(C) pred zapornicami na Ambroževem trgu (4,4 m)	0,2	bencinska črpalka za vodo	463068	100778	9:54	10:19	17. september 2015	25	1,38	AMB-1	
		2	bencinska črpalka za vodo	463068	100778	9:15	9:40	17. september 2015	25	1,38	AMB-2	
		4	bencinska črpalka za vodo	463068	100778	8:43	9:08	17. september 2015	25	1,38	AMB-3	
	(F) lokacija vzorčenja za iztokom iz CN Ljubljana	gladina	ročni zajem (5 l)	471625	102487	14:20	/	17. september 2015	/	/	ZKČN-1	
	Blejsko jezero	zahodna jezerska kotanja (28,7 m)	2	bencinska črpalka za vodo	430162	135703	13:32	13:52	20. avgust 2015	20	1,67	BL-1
			10	bencinska črpalka za vodo	430231	135747	12:45	13:19	20. avgust 2015	34	1,00	BL-4
20			bencinska črpalka za vodo	430198	135763	11:55	12:29	20. avgust 2015	34	1,00	BL-2	
27,5			bencinska črpalka za vodo	430096	135739	10:47	11:21	20. avgust 2015	34	1,00	BL-3	
28,7			Van Veen-ovo grabilo	430096	135739	10:16	/	20. avgust 2015	/	/	BLSED1-1 in BLSED1-2	
nad vtokom Radovne (18,5 m)		2	bencinska črpalka za vodo	430193	136271	14:30	14:50	20. avgust 2015	20	1,67	BL-10	
		10	bencinska črpalka za vodo	430216	136277	15:02	15:36	20. avgust 2015	34	1,00	BL-7	
		17,5	bencinska črpalka za vodo	430168	136294	15:41	16:15	20. avgust 2015	34	1,00	BL-8	
		18,5	Van Veen-ovo grabilo	430193	136271	14:30	/	20. avgust 2015	/	/	BLSED5-1 in BLSED5-2	
pred hoteli (18 m)		2	bencinska črpalka za vodo	431612	136229	10:36	11:02	21. avgust 2015	26	1,30	BL-11	
		10	bencinska črpalka za vodo	431616	136230	11:06	11:32	21. avgust 2015	26	1,30	BL-12	
		17	bencinska črpalka za vodo	431618	136240	11:40	12:06	21. avgust 2015	26	1,30	BL-9	
		18	Van Veen-ovo grabilo	431612	136231	10:43	/	21. avgust 2015	/	/	BLSED4-1 in BLSED4-2	
Mlino (12 m)		2	bencinska črpalka za vodo	431014	135594	13:15	13:41	21. avgust 2015	26	1,30	BL-14	
		11	bencinska črpalka za vodo	431013	135592	12:42	13:08	21. avgust 2015	26	1,30	BL-13	
	12	Van Veen-ovo grabilo	431018	135595	12:33	/	21. avgust 2015	/	/	BLSED2-1 in BLSED2-2		

/ - ni podatka

Metode vzorčenja na posamezni lokaciji

Zaradi počasnosti toka Ljubljanice ni bilo možno vzorčiti z epi-neustonsko mrežo na vseh lokacijah vzorčenja na Ljubljani, medtem ko je na Blejskem jezeru vzorčenje z epi-neustonsko mrežo potekalo med vožnjo s čolnom do posameznih lokacij vzorčenja po vodnem stolpcu z bencinsko črpalko za vodo.

Tako smo za vzorčenje na gladini namesto z epi-neustonsko mrežo izvedli z bencinsko črpalko za vodo Makita EW1060HX (Slika 40) tik pod vodno gladino na globini 0,2 m, tako da je bil sesalni filter z utežjo (Slika 50) v celoti pod vodo na naslednjih lokacijah vzorčenja na Ljubljani: (A) plavajoči ponton pred gostilno Livada, (B) pred zapornicami na Gruberjevem prekopu in (C) pred zapornicami na Ambroževem trgu.

Na lokaciji vzorčenja (D) Fabianijev most za zapornicami na Ambroževem trgu smo vzorčili le z epi-neustonsko mrežo, saj smo to lokacijo vzorčenja izbrali le zato, ker na lokaciji vzorčenja (C) pred zapornicami na Ambroževem trgu zaradi počasnega toka Ljubljanice le-tega ni bilo možno izvesti. Na lokaciji vzorčenja (E) most na Zaloški cesti pred iztokom iz CČN Ljubljana smo vzorčili tudi le z epi-neustonsko mrežo, saj je bila globina vode za vzorčenje z bencinsko črpalko za vodo prenizka.

Na lokaciji vzorčenja (F) lokacija vzorčenja za iztokom iz CČN Ljubljana zaradi počasnega toka Ljubljanice in samega terena ni bilo možno vzorčiti ne z epi-neustonsko niti z bencinsko črpalko za vodo. Zato smo vzorčili tako, da smo na gladini ročno zajeli 5 l vode in to količino vode obravnavali kot vzorec.

Vzorčenje sedimenta z Van Veen-ovim grabilom (Slika 26) smo poskušali izvesti na vsaki lokaciji vzorčenja. Ker se z grabilom lahko vzorči le na lokacijah, kjer je dno muljasto ali temu podobno, smo vzorčenje na Ljubljani uspešno izvedli le na lokaciji vzorčenja (A) plavajoči ponton pred gostilno Livada. Za razliko od vzorčenja sedimenta na Ljubljani, smo vzorčenje sedimenta na Blejskem jezeru uspešno izvedli na vseh štirih lokacijah.

Vzorčenje po celotnem vodnem stolpcu smo v celoti izvedli na vseh lokacijah vzorčenja na Blejskem jezeru, na Ljubljani pa le na lokaciji vzorčenja (A) plavajoči ponton pred gostilno Livada.

Meritve z multiparametrično sondo

Pred začetkom in koncem vsakega vzorčenja, razen pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo na Blejskem jezeru in na (D) Fabianijevem mostu za zapornicami na Ambroževem trgu na Ljubljani, smo z multiparametrično sondo YSI Professional Plus (Slika 41) na globini 1 m izmerili temperaturo, pH, ORP (oksidacijsko-redukcijski potencial), električno prevodnost, kisik in tlak (Preglednica 4 in Preglednica 5). Ko smo sondo vstavili v vodo, je bilo potrebno počakati nekaj minut, da se je sonda umirila in nato smo lahko odčitali rezultate. Po koncu vzorčenja z multiparametrično sondo nismo odčitali rezultatov le na dveh lokacijah vzorčenja na Ljubljani, in sicer na (E) most na Zaloški cesti

pred iztokom iz CČN Ljubljana in (F) lokacija vzorčenja za iztokom iz CČN Ljubljana. Temperaturo zraka smo na dan vzorčenja za lokacije na Ljubljanici odčitali iz meritev, ki jih izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) na najbližji meteorološki postaji, in sicer meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad (Preglednica 4), na Blejskem jezeru pa iz meritev na meteorološki postaji Lesce (Preglednica 5).



Slika 41: Multiparametrična sonda YSI Professional Plus (Centa, 2015)

Figure 41: YSI Professional Plus multiparameter meter (Centa, 2015)

Preglednica 4: Rezultati meritev z multiparametrično sondo YSI Professional Plus na Ljubljani in temperatura zraka
Table 4: Measuring results with a YSI Professional Plus multiparameter meter in the Ljubljana and the air temperature

Mesto odčitka	Čas odčitka	Datum odčitka	Temperatura vode (°C)	pH	ORP (oksidacijsko–redukcijski potencial) (mV)	Električna prevodnost (µS/cm)	Kisik (mg/l)	Tlak (mbar)	Temperatura zraka (°C) glede na odčitane podatke meritev na najbližji meteorološki postaji, Ljubljana – Bežigrad
(A) plavajoči ponton pred gostilno Livada (začetek vzorčenja)	8:15	13. avgust 2015	17,7	8,50	45,0	55,0	9,90	984,8	21,0
(A) plavajoči ponton pred gostilno Livada (konec vzorčenja)	9:45	13. avgust 2015	17,7	8,60	61,0	51,5	9,90	984,8	25,0
(B) pred zapornicami na Gruberjevem prekopu (začetek vzorčenja)	11:50	13. avgust 2015	18,3	8,68	47,4	378,2	8,09	983,6	30,4
(B) pred zapornicami na Gruberjevem prekopu (konec vzorčenja)	13:20	13. avgust 2015	18,8	8,69	55,2	379,2	9,25	982,8	33,0
(C) pred zapornicami na Ambroževem trgu (začetek vzorčenja)	8:25	17. september 2015	15,4	8,35	45,9	367,1	7,12	978,3	18,9
(C) pred zapornicami na Ambroževem trgu (konec vzorčenja)	10:32	17. september 2015	15,4	8,42	81,1	368,6	7,22	978,5	24,6
(E) most na Zaloški cesti pred iztokom iz CCN Ljubljana	12:53	17. september 2015	16,9	8,78	74,1	52,2	9,24	979,7	27,9
(F) lokacija vzorčenja za iztokom iz CCN Ljubljana	13:56	17. september 2015	17,0	8,84	88,2	56,7	9,18	979,9	28,4

Preglednica 5: Rezultati meritev z multiparametrično sondo YSI Professional Plus na Blejskem jezeru in temperatura zraka
Table 5: Measuring results with a YSI Professional Plus multiparameter meter in Lake Bled and the air temperature

Mesto odčitka	Čas odčitka	Datum odčitka	Temperatura vode (°C)	pH	ORP (oksidacijsko–redukcijski potencial) (mV)	Električna prevodnost (µS/cm)	Kisik (mg/l)	Tlak (mbar)	Temperatura zraka (°C) glede na odčitane podatke meritev na najbližji meteorološki postaji, Lesce
zahodna jezerska kotanja (začetek vzorčenja)	10:25	20. avgust 2015	23,4	9,08	55,7	300,7	8,98	963,9	18,9
zahodna jezerska kotanja (konec vzorčenja)	11:25	20. avgust 2015	23,4	9,09	60,8	301,5	9,02	964,2	20,3
nad vtokom Radovne (začetek vzorčenja)	14:36	20. avgust 2015	23,9	9,08	70,5	304,6	9,15	965,8	22,3
nad vtokom Radovne (konec vzorčenja)	16:17	20. avgust 2015	23,9	9,07	54,6	302,9	9,18	964,9	20,6
pred hoteli (začetek vzorčenja)	10:40	21. avgust 2015	23,2	9,07	92,5	301,2	9,59	968,7	18,1
pred hoteli (konec vzorčenja)	11:55	21. avgust 2015	23,2	9,07	51,2	301,5	9,22	968,4	19,5
Mlino (začetek vzorčenja)	12:30	21. avgust 2015	23,3	9,13	40,7	299,9	9,37	968,1	19,2
Mlino (konec vzorčenja)	13:29	21. avgust 2015	23,3	9,14	48,4	300,1	8,72	967,7	19,7

7.3.1 Metodologija vzorčenja na gladini z epi-neustonsko mrežo

Vzorčenje mikroplastike na gladini z epi-neustonsko mrežo (Slika 42) smo izvedli tako na Ljubljani kot na Blejskem jezeru. Vendar smo na Ljubljani zaradi njenega počasnega toka vzorčenje na gladini izvedli le iz Fabianijevega mostu za zapornicami na Ambroževem trgu in z mostu na Zaloški cesti pred iztokom iz CCN Ljubljana. Metodologija vzorčenja na gladini z epi-neustonsko mrežo je povzeta po navodilih iz projekta DeFishGear, ki je napisana za uporabo mreže na čolnu na morju (DeFishGear, 2015), katera je dodatno spremenjena za vzorčenje mikroplastike na rekah in jezerih. Po navodilih naj bi posamezno vzorčenje trajalo 30 minut. Na Blejskem jezeru pa je bilo trajanje posameznega vzorčenja odvisno od avtonomije baterije električnega motorja in je trajalo samo za čas vožnje do posamezne lokacije vzorčenja, kjer se je izvajalo vzorčenje po vodnem stolpcu z bencinsko črpalko za vodo in vzorčenje sedimenta. Za uspešno vzorčenje z epi-neustonsko mrežo je bila potrebna taka hitrost vode oz. čolna, da je bilo ustje mreže potopljeno približno do polovice.

Uporabljena oprema:

- epi-neustonska mreža s končnim tulcem (velikost odprtin: 300 μm , odprtina ustja: višina 16 cm in širina 60 cm, dolžina mreže: 2 m) (Slika 42);



Slika 42: Epi-neustonska mreža s končnim tulcem (Centa, 2015)

Figure 42: Epi-neuston net with a cod end (Centa, 2015)

- naprava GPS za točno določitev lokacije začetka in konca vzorčenja na Blejskem jezeru;
- sito (150 μm) (Slika 43);



Slika 43: Sito (150 µm) (Centa, 2015)
Figure 43: Sieve (150 µm) (Centa, 2015)

- 10 l vedro z oznakami volumna;
- merilna naprava MCM1 – SEBA za merjenje hitrosti vodnega toka reke (Slika 44) (uporabljena samo na Ljubljani). Palico (81 cm) s krilcem smo potopili v reko (71 cm) pravokotno na tok vode in na interval 30 sekund odčitali število vrtljajev krilca. Glede na izbrano krilce smo s pomočjo pripadajoče enačbe izračunali hitrost vodnega toka Ljubljani. Vsako krilce je glede na obrate krilca umerjeno v laboratoriju;



Slika 44: Merilna naprava MCM1 – SEBA (Centa, 2015)
Figure 44: MCM1 – SEBA measuring device (Centa, 2015)

- bencinska črpalka za vodo Makita EW1060HX (Slika 40) za izpiranje mreže;
- čoln z električnim motorjem za vzorčenje na Blejskem jezeru (Slika 45). Čoln z električnim motorjem je za vzorčenje na Blejskem jezeru posodila Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Čoln je zaradi večje stabilnosti med vzorčenjem sestavljen iz dveh manjših čolnov.

Poganjal ga je električni motor Torqeedo Travel 503 L, na katerem se je s pomočjo vgrajenega GPS modula lahko tudi odčitala hitrost čolna med samim vzorčenjem z epi-neustonsko mrežo.



Slika 45: Čoln z električnim motorjem in celotno opremo za vzorčenje (Centa, 2015)
Figure 45: Electric boat and the entire sampling equipment (Centa, 2015)

Postopek vzorčenja

Ljubljana

Epi-neustonsko mrežo smo spustili z mostu v vodo, tako da je bilo polovico ustja (8 cm) v vodi, in jo zavezali za most (Slika 46). Vzorec je trajalo 30 minut. Med tem smo z merilno napravo MCM1 – SEBA izmerili hitrost vodnega toka Ljubljance (Slika 46), katero smo potrebovali za izračun količine prevzorčene vode.



Slika 46: Vzorec z epi-neustonsko mrežo in meritev hitrosti vodnega toka Ljubljance (Centa, 2015)
Figure 46: Epi-neuston net sampling and measuring water flow velocity of the Ljubljana river (Centa, 2015)

Po končanem vzorčenju smo epi-neustonsko mrežo z zunanje strani izprali z bencinsko črpalko za vodo iz smeri ustja do končnega tulca (Slika 47), da so se vsi delci v epi-neustonski mreži skoncentrirali v končnem tulcu.



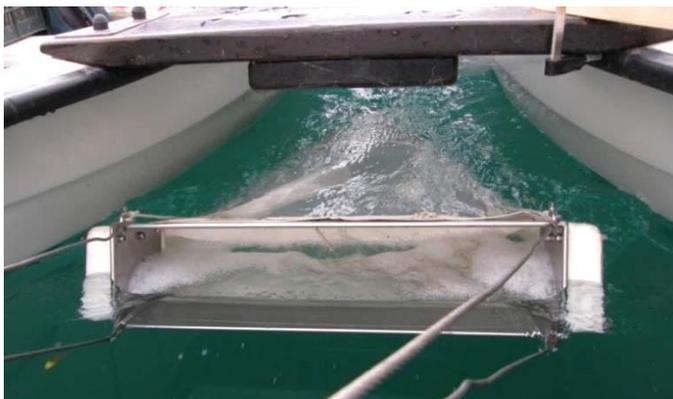
Slika 47: Izpiranje epi-neustonske mreže z bencinsko črpalko za vodo (Centa, 2015)

Figure 47: Epi-neuston net rinsing with a petrol water pump (Centa, 2015)

Paziti smo morali, da nismo izpirali skozi ustje epi-neustonske mreže, saj bi lahko prišlo do kontaminacije vzorca, Vsebino končnega tulca smo s pomočjo sita (150 μm) predstavili v posodo, v katero smo shranili vzorec.

Blejsko jezero

Epi-neustonsko mrežo smo namestili spredaj med oba čolna (Slika 48). Pred začetkom vzorčenja smo z napravo GPS določili začetni koordinati lokacije vzorčenja. Ker je bilo trajanje vzorčenja odvisno od avtonomije baterije električnega motorja, je trajalo samo za čas vožnje do posamezne lokacije vzorčenja ter na poti med točkami vzorčenja, kjer smo izvedli vzorčenje po vodnem stolpcu z bencinsko črpalko za vodo in vzorčenje sedimenta. Ko smo se pripeljali do naslednje točke vzorčenja, smo ustavili štoparico in z napravo GPS določili končni koordinati lokacije vzorčenja. Po končanem vzorčenju smo epi-neustonsko mrežo pazljivo izprali z bencinsko črpalko za vodo. Vsebino končnega tulca smo s pomočjo sita (150 μm) predstavili v posodo, v katero se je shranil vzorec.



Slika 48: Vzorčenje z epi-neustonsko mrežo na Blejskem jezeru (Centa, 2015)

Figure 48: Epi-neuston net sampling in Lake Bled (Centa, 2015)

7.3.2 Metodologija vzorčenja med gladino in dnom z bencinsko črpalko za vodo

Vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu z bencinsko črpalko za vodo smo izvedli tako na Ljubljani kot na Blejskem jezeru. Na Blejskem jezeru smo vzorčenje z bencinsko črpalko za vodo izvedli na vseh štirih lokacijah, na Ljubljani pa zaradi narave terena in posledično nezmožnosti postavitve celotnega sesalnega sistema ni bilo možno izvesti vzorčenja na lokacijah med mostom na Zaloški cesti in iztokom iz komunalne čistilne naprave Ljubljana in za iztokom iz CCN Ljubljana. Metodologijo vzorčenja po vodnem stolpcu z bencinsko črpalko za vodo na reki in jezeru smo razvili in preizkusili v okviru tega dela. Prav tako smo v okviru tega dela razvili sistem sesalnih cevi (Slika 49) in sesalni filter z utežjo (Slika 50). Količino prefiltrirane vode za posamezno vzorčenje, to je 2 m³, smo povzeli po študijah Desforges in sod. (2014) ter Magnusson in Norén (2011).

Na vsaki posamezni točki vzorčenja smo zaradi uporabe sesalnih cevi različnih dolžin (6 m, 9 m in 23 m) (Slika 49) in sestavljanja skupaj le teh (različne vrednosti trenja) ter vertikalne razdalje sredine bencinske črpalke za vodo od vodne gladine, izmerili pretok vode v bencinski črpalki za vodo pri polnem plinu. Na vsaki posamezni lokaciji vzorčenja smo za vse globine uporabili sesalno cev enake dolžine, ki smo jo izbrali glede na maksimalno globino vode na lokaciji vzorčenja.



Slika 49: Sesalne cevi različnih dolžin (od leve proti desni: 6 m, 9 m in 23 m) (Centa, 2015)

Figure 49: Suction tubes of different lengths (from left to right: 6 m, 9 m and 23 m) (Centa, 2015)

Na sesalnem filtru (Slika 50) je nameščena 3 kg utež, ki s svojo težo pomaga, da je celoten sistem sesalnih cevi s filtrom po vodnem stolpcu med vzorčenjem čim bolj vertikalni. Notranji del sesalnega filtra sestavlja mreža v velikosti 6 mm krat 6 mm, ki preprečuje, da bi delce, ki so večji od 8 mm, potegnili v črpalko in onemogočilo normalno delovanje črpalke. Pred to mrežo pa se nahaja mreža v velikosti 25 mm krat 25 mm, katere namen je preprečitev zamašitve manjše mreže z organskimi predmeti večjega formata (npr. listje). Obe mreži sta pred mehanskimi poškodbami zaščiteni z ogrodjem.

Uporabljena oprema:

- bencinska črpalka za vodo Makita EW1060HX (Slika 40);
- čoln z električnim motorjem za vzorčenje na Blejskem jezeru (Slika 45);
- sesalni filter z utežjo (Slika 50);



Slika 50: Sesalni filter z utežjo (Centa, 2015)

Figure 50: Weighted suction filter (Centa, 2015)

- sito (150 μ m) (Slika 43),
- 10 l vedro z oznakami volumna;
- lata za določitev globine na Ljubljani;
- naprava GPS za točno določitev lokacije začetka in konca vzorčenja na Blejskem jezeru;
- leseni nosilec za sito (Slika 51);



Slika 51: Leseni nosilec za sito (Centa, 2015)

Figure 51: Sieve wooden bearer (Centa, 2015)

- sesalne cevi (6 m, 9 m in 23 m) (Slika 49);
- 10 kg utež z vrvjo, na kateri so oznake na razdaljah 2,5 m za določitev maksimalne globine na lokacijah vzorčenja na Blejskem jezeru.

Postopek vzorčenja

Ljubljana

Najprej smo na mestu vzorčenja z lato izmerili maksimalno globino vode. Na podlagi globine vode smo izbrali dolžino sesalne cevi, na katero smo namestili sesalni filter z utežjo. Ker je deklarirani maksimalni pretok črpalke odvisen od uporabljene sesalne cevi, je bilo potrebno za vsako uporabljeno sesalno cev določiti pretok. To smo naredili tako, da smo najprej s štoparico izmerili čas, v katerem je pri polnem plinu bencinska črpalka za vodo napolnila 10 l vedro. Nato smo izračunali pretok črpalke v l/s. Potem smo na podlagi izmerjenega pretoka določili čas vzorčenja oz. črpanja, da črpalka prečrpa 2 m³ vode. V času, ki smo ga določili, je črpalka pri polnem plinu prečrpala 2 m³ vode (Slika 52). Vsebino, ki se je nabrala na situ (150 µm), smo prestavili v posodo, v katero smo shranili vzorec. Nato smo sesalni filter z utežjo namestili na naslednjo globino vzorčenja in z istim postopkom ponovili vzorčenje.



Slika 52: Vzorcevanje po vodnem stolpcu z bencinsko črpalko za vodo na Ljubljani (Centa, 2015)

Figure 52: Petrol water pump sampling through the water column in the Ljubljana (Centa, 2015)

Blejsko jezero

S čolnom (Slika 45) smo se pripeljali na lokacijo vzorčenja in ga zasidrati. Z utežjo na vrvi smo določili maksimalno globino na približni lokaciji vzorčenja. Na podlagi maksimalne globine smo izbrali dolžino sesalne cevi, ki smo jo po potrebi tudi podaljšali (npr. 9 m + 23 m). S štoparico smo izmerili čas, v katerem je pri polnem plinu bencinska črpalka za vodo napolnila 10 l vedro. Nato smo izračunali pretok črpalke v l/s. Potem smo na podlagi izmerjenega pretoka določili čas vzorčenja oz. črpanja, da črpalka prečrpa 2 m³ vode. Pred začetkom vzorčenja smo na posamezni globini z GPS napravo določili začetni koordinati lokacije vzorčenja. V času, ki smo ga določili, je črpalka pri polnem plinu prečrpala 2 m³ vode (Slika 53). Vsebino, ki se je nabrala na situ (150 µm), smo prestavili v posodo, v katero smo shranili vzorec. Nato smo sesalni filter z utežjo namestili na naslednjo globino vzorčenja in z istim postopkom ponovili vzorčenje.



Slika 53: Tlačna cev z lijakom in sito (150 µm) na lesenem nosilcu med vzorčenjem na Blejskem jezeru (Centa, 2015)

Figure 53: Pressure tube and a sieve (150 µm) on a wooden carrier during sampling in Lake Bled (Centa, 2015)

7.3.3 Metodologija vzorčenja sedimenta z Van Veen-ovim grabilom

Vzorčenje sedimenta z Van Veen-ovim grabilom (Slika 26) smo izvedli tako na Ljubljani kot na Blejskem jezeru. Na Blejskem jezeru smo vzorčenje sedimenta izvedli na vseh štirih lokacijah, na Ljubljani pa le na lokaciji vzorčenja (A) plavajoči ponton pred gostilno Livada. Zaradi pretrde sestave dna vzorčenje na ostalih lokacijah na Ljubljani ni bilo možno.

Uporabljena oprema:

- lata za določitev globine na Ljubljani;
- 10 kg utež z vrvjo, na kateri so oznake na razdaljah 2,5 m za določitev maksimalne globine na točkah vzorčenja na Blejskem jezeru;
- Van Veen-ovo grabilo (Slika 26);
- naprava GPS za točno določitev lokacije vzorčenja na Blejskem jezeru;
- čoln z električnim motorjem za vzorčenje na Blejskem jezeru (Slika 45).

Postopek vzorčenja

Ljubljana

Na mestu vzorčenja smo z lato izmerili maksimalno globino vode. Van Veen-ovo grabilo smo maksimalno odprli in pripeli na vrv z oznakami na razdaljah 2,5 m. Grabilo smo počasi spuščali v vodo in ko smo dosegli približno globino 2 m nad dnom, smo ga spustili z veliko hitrostjo, da se je zarilo v dno. Potem smo ga potegnili iz vode in mu odstranili obe uteži, da smo lahko z vsake strani z žlico pobrali cca. 2 cm zgornjega sloja sedimenta pod obema utežema in ga shranili v aluminijasto posodo (Slika 54).



Slika 54: Van Veen-ovo grabilo z vzorčenim sedimentom (Centa, 2015)

Figure 54: Van Veen grab with sediment sample (Centa, 2015)

Blejsko jezero

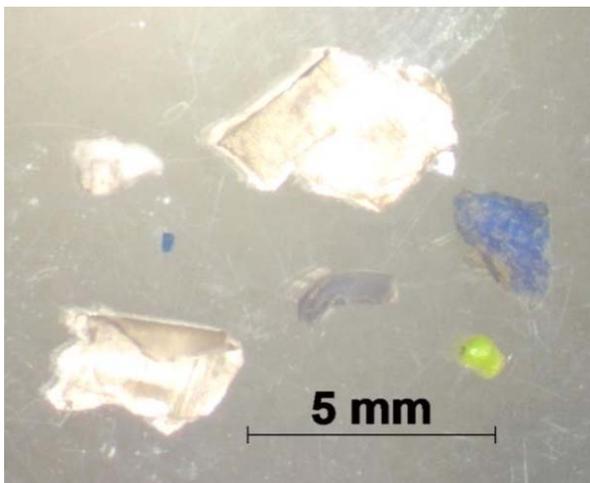
S čolnom (Slika 45) smo se pripeljali na lokacijo vzorčenja in ga zasidrati. Z utežjo na vrvi smo določili maksimalno globino na približni lokaciji vzorčenja. Z napravo GPS smo določili koordinati lokacije vzorčenja. Van Veen-ovo grabilo smo maksimalno odprli in pripeli na vrv z oznakami na razdaljah 2,5 m. Grabilo smo počasi spuščali v vodo in ko smo dosegli približno globino 2 m nad dnom, smo ga spustili z veliko hitrostjo, da se je zarilo v dno. Potem smo ga potegnili iz vode in mu odstranili obe uteži, da smo lahko iz vsake strani z žlico pobrali cca. 2 cm zgornjega sloja sedimenta pod obema utežema in ga shranili v aluminijasto posodo (Slika 54).

8 ANALIZA VZORCEV V LABORATORIJU

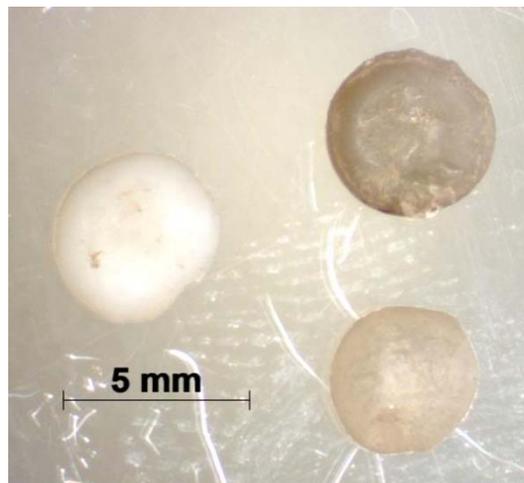
Po končanih vzorčenjih smo vse vzorce sedimenta (5 vzorcev) shranili v zamrzovalnik, vzorce pridobljene z vzorčenjem z epi-neustonsko mrežo (6 vzorcev) in bencinsko črpalko za vodo (21 vzorcev) ter z ročnim zajemom iz gladine (1 vzorec) pa smo shranili v hladilnik.

Mikroplastiko in mezoplastiko, ki smo jih našli v vzorcih, smo na podlagi kategorizacije iz navodil iz projekta DeFishGear (DeFishGear, 2015) razdelili na 6 kategorij:

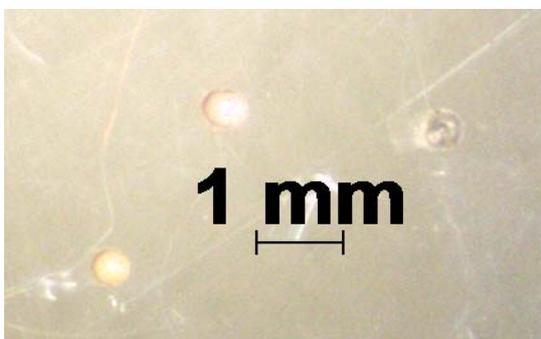
- razlomljeni delci (Slika 55);
- peleti (Slika 56);
- granule (Slika 57);
- vlakna (Slika 58);
- folije (Slika 59);
- ekstrudirani polistireni (EPS) ali stiroporji (Slika 60).



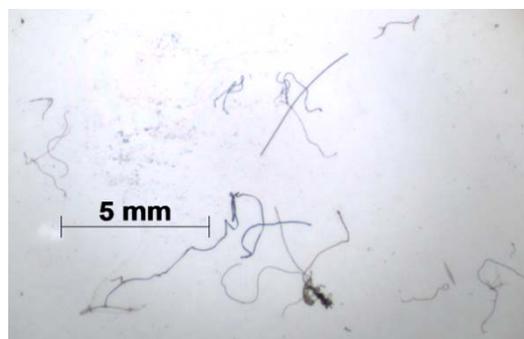
Slika 55: Primer razlomljenih delcev (Centa, 2015)
Figure 55: Example of fragments (Centa, 2015)



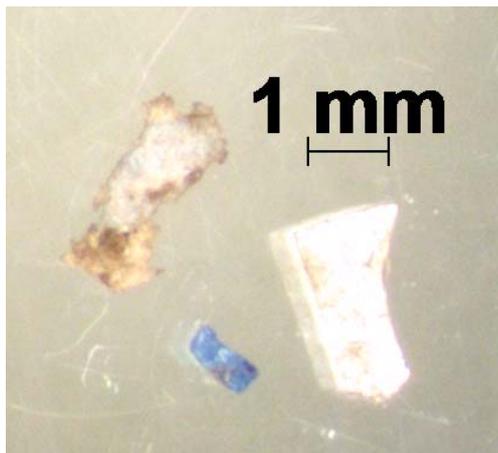
Slika 56: Primer peletov (Centa, 2015)
Figure 56: Example of pellets (Centa, 2015)



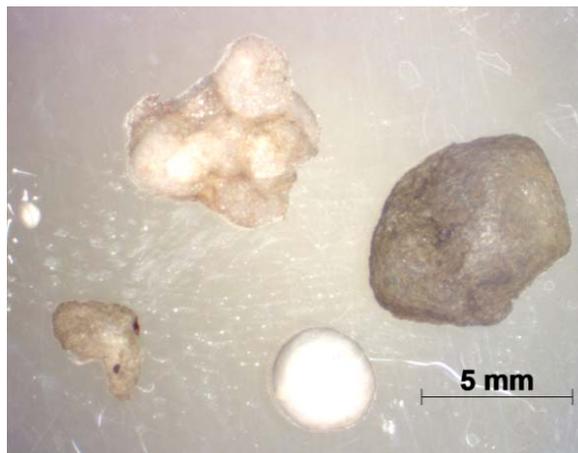
Slika 57: Primer granul (Centa, 2015)
Figure 57: Example of granules (Centa, 2015)



Slika 58: Primer vlaken (Centa, 2015)
Figure 58: Example of filaments (Centa, 2015)



Slika 59: Primer folij (Centa, 2015)
Figure 59: Example of films (Centa, 2015)



Slika 60: Primer stiroporjev (Centa, 2015)
Figure 60: Example of foams (Centa, 2015)

8.1 Metodologija izločanja mikroplastike iz vzorcev, pridobljenih z vzorčenjem z epineustonsko mrežo in bencinsko črpalko za vodo

Uporabljena oprema:

- sito (150 μm);
- pinceta;
- puhalka;
- plastične in steklene petrijevke;
- stereomikroskop (Discovery.V8, Zeiss, Germany) (Slika 61);
- Büchnerjev lijak (Slika 62).



Slika 61: Stereomikroskop (Discovery.V8, Zeiss, Germany) (Centa, 2015)
Figure 61: Stereomicroscope (Discovery.V8, Zeiss, Germany) (Centa, 2015)

Postopek izločanja mikroplastike iz vzorcev

Vzorec smo prelili skozi sito (150 μm) in s pinceto odstranili vse naravne in umetne predmete, večje od 5 mm. Vsak odstranjen predmet je bilo potrebno izprati nad sitom (150 μm), da smo iz njega odstranili morebitno mikroplastiko. Večje plastične predmete smo shranili v posebno petrijevko. Preostanek vzorca na situ (150 μm) smo prestavili v eno stekleno petrijevko, po potrebi tudi več. Vsebino petrijevke smo nato pregledali s stereomikroskopom (Slika 61) (12,5-kratna povečava) in iskali mikroplastiko. Vsako posamezno mikroplastiko smo kategorizirali in prestavili v stekleno petrijevko, ki smo jo predvideli za posamezno kategorijo mikroplastike. Vseskozi smo morali sproti pokrivati petrijevke, da bi zmanjšali možnost kontaminacije vzorcev.

V kolikor je začetni vzorec vizualno vseboval malo delcev, je bil vzorec deležen nekoliko drugačnega postopka izločanja mikroplastike. Vzorec smo prefiltrirali z Büchnerjevim lijakom (Slika 62). Po končanem filtriranju celotnega vzorca smo filter papir (MN-751) s pinceto prestavili v plastično petrijevko. Vsebino na filter papirju smo nato pregledali s stereomikroskopom (Slika 61) (12,5-kratna povečava) in iskali mikroplastiko. Vsak posamezni delec mikroplastike smo kategorizirali in prestavili v stekleno petrijevko, ki smo jo predvideli za posamezno kategorijo mikroplastike. Vseskozi smo morali sproti pokrivati petrijevke, da bi zmanjšali možnost kontaminacije vzorcev.



Slika 62: Büchnerjev lijak (Centa, 2015)

Figure 62: The Büchner funnel (Centa, 2015)

8.2 Metodologija izločanja mikroplastike iz vzorcev sedimenta s postopkom ločevanja na osnovi gostote

Največji problem pri pregledu vzorca sedimenta vedno predstavlja ločevanje plastičnih delcev od preostanka sedimenta. Najbolj pogost postopek se imenuje postopek ločevanja na osnovi gostote, ki ga bomo opisali v nadaljevanju in smo ga tudi uporabili v samem magistrskem delu.

Uporabljena oprema:

- pinceta;
- nasičena raztopina NaCl (360 g NaCl na 1 l destilirane vode);
- magnetno mešalo;
- puhalka;
- plastične in steklene petrijevke;
- stereomikroskop (Discovery.V8, Zeiss, Germany) (Slika 61);
- Büchnerjev lijak (Slika 62).

Postopek izločanja mikroplastike iz vzorcev

Postopek izločanja mikroplastike iz vzorcev je povzet po navodilih iz projekta DeFishGear (DeFishGear, 2015). Ker pa so ta navodila pripravljena za ločevanje mikroplastike iz sedimentov na obali, smo jih za naše potrebe nekoliko priredili.

V aluminijasti posodici s pokrovom smo posušili le del vzorca sedimenta, približno 200 g, da smo dobili popolnoma suh vzorec. Del vzorca sedimenta smo 24 ur sušili v pečici pri temperaturi 60 °C. S sušenjem smo prenehali, ko se teža sušenega vzorca po večkratni kontroli nekaj ur ni zmanjšala. 25 g suhega vzorca sedimenta, smo v čaši z magnetnim mešalom z 200 ml nasičene raztopine NaCl mešali tako dolgo, da se je sediment popolnoma premešal. Po usedanju smo vzorec prefiltrirali z Büchnerjevim lijakom (Slika 62). Po končanem filtriranju vzorca do usedlin smo filter papir (MN-751) s pinceto predstavili v plastično petrijevko. Preostali vzorec smo ponovno premešali z magnetnim mešalom in ga pustili usedati. Postopek smo ponovili še dvakrat, da smo skupaj dobili tri filter papirje za isti vzorec. Vsebino na filter papirju smo nato pregledali s stereomikroskopom (Slika 61) (12,5-kratna povečava) in iskali mikroplastiko. Vsak posamezni delec mikroplastike smo kategorizirali in predstavili v stekleno petrijevko, ki smo jo predvideli za posamezno kategorijo mikroplastike.

Celoten postopek smo za posamezen vzorec sedimenta opravili dvakrat po 25 g suhega vzorca sedimenta. Tako smo za posamezen vzorec sedimenta iz terena dobili dva vzorca, ki smo ju nato pregledali pod stereomikroskopom (12,5-kratna povečava). Skozi celoten postopek smo morali sproti pokrivati petrijevke, da bi zmanjšali možnost kontaminacije vzorcev.

8.3 Slikovna analiza in tehtanje mikroplastike po posameznih kategorijah posameznega vzorca

Vso najdeno mikroplastiko, ki smo jo za vsak posamezni vzorec kategorizirali, smo slikovno analizirali s stereomikroskopom (Slika 61) in nato še stehali s tehtnico (KERN ALJ 310-4A). Zaradi izredne majhnosti in mase najdenih vlaken v posameznih vzorcih pri slikovni analizi in tehtanju nismo upoštevali.

Kot je bilo že povedano, smo vso najdeno mikroplastiko in nekaj mezoplastike za vsak posamezni vzorec razdelili po kategorijah po posameznih petrijevkah. Vsako petrijevko oz. vsebino le-te, razen

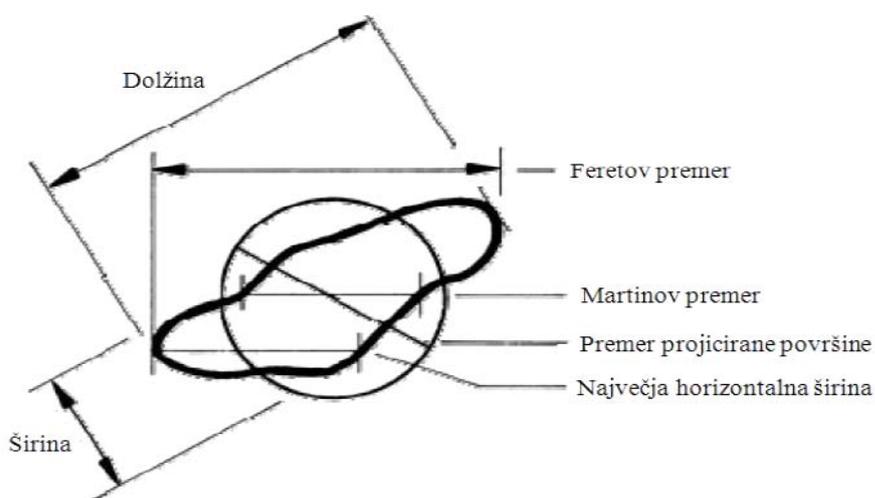
vlaknen, smo s pomočjo kamere, ki je bila pritrjena na stereomikroskop, slikali. Programska oprema AxioVision je posamezne delce preštela, jim določila skupno površino ter za vsak posamezni delec določila: površino, njegovo oznako, pasovno širino, premer, maksimalno širino, polmer in feretov premer.

V mikroskopski analizi feretov premer (Slika 64) predstavlja razdaljo med imaginarnima paralelnima tangentama na naključno orientiran delec in pravokotno na okularno skalo (Pavlovič, 2014) in se uporablja pri analizi velikosti delcev. Izmerjen premer nam je služil kot dodatna kontrola ali se delec po velikosti uvršča med mikroplastiko ali mezoplastiko. Spodnja slika je primer slikovne analize za razlomljene delce iz vzorca GR-1 (Slika 63), kjer se lepo vidi oznaka (indeks) posameznega delca in obseg, s pomočjo katerega je programska oprema izračunala omenjene podatke.



Slika 63: Primer slikovne analize razlomljenih delcev iz vzorca GR-1 (Centa, 2015)

Figure 63: Example of fragments image analysis from GR-1 sample (Centa, 2015)



Slika 64: Shematični prikaz nekaterih parametrov velikosti delca (Pavlovič, 2014: str. 2)

Figure 64: Schematic diagram of certain parameters of the size of the particle (Pavlovič, 2014: p. 2)

Slikane delce posamezne kategorije najdene mikroplastike v posameznem vzorcu smo predstavili v steklene vialo s pokrovčkom in tehtali s tehtnico (KERN ALJ 310-4A), katere natančnost je omejena na 0,0001 g. Rezultati tehtanja posamezne kategorije najdene mikroplastike v posameznem vzorcu so prikazani v nadaljevanju pri analizi rezultatov.

9 REZULTATI IN RAZPRAVA

Rezultati vzorčenj so pokazali, da samo en vzorec (AMB-2) izmed vseh vzorcev (38) ni vseboval nobenega delca mikroplastike. Vsi preostali vzorci so vsebovali delce mikroplastike (Preglednica 6), nekateri vzorci pa tudi delce mezoplastike (Preglednica 21). V nadaljevanju dela so rezultati in analize predstavljeni posebej za mikroplastiko in posebej za mezoplastiko.

9.1 Mikroplastika

9.1.1 Rezultati vzorčenja, razdeljeni po kategorijah mikroplastike za posamezni vzorec

V vseh vzorcih skupaj (Preglednica 6) smo našli 2.010 delcev mikroplastike, od tega 1.454 na Ljubljani in 556 na Blejskem jezeru, čeprav smo več vzorčenj (20) izvedli na Blejskem jezeru, medtem ko smo na Ljubljani izvedli 13 vzorčenj. Največ delcev mikroplastike smo našli v vzorcih, ki smo jih dobili z vzorčenjem z epi-neustonsko mrežo. Na Ljubljani smo našli 1.061 delcev mikroplastike, na Blejskem jezeru pa 358 delcev mikroplastike. Na Ljubljani so prevladovali delci stiroporja (549) in vlakna (493). Poleg slednjih smo našli še 9 razlomljenih delcev, 3 pelete in 7 folij. Na Blejskem jezeru so tudi prevladovala vlakna (339). Poleg njih pa smo našli še 14 razlomljenih delcev, 4 granule in 1 folijo. Iz rezultatov je razvidno, da delci stiroporja prevladujejo izrazito na gladini, saj zaradi svoje majhne gostote večinoma plavajo na gladini. Nekaj delcev stiroporja pa smo našli tudi v sedimentu Blejskega jezera, kar pomeni, da delci stiroporja lahko tudi potonejo, če se na njih vežejo delci večje gostote, kot jo imajo sami. V sedimentu Blejskega jezera smo poleg 8 delcev stiroporja našli tudi 109 vlaken in 5 razlomljenih delcev. V edinem vzorcu sedimenta na Ljubljani pa smo našli le 15 vlaken.

Z vzorčenjem z bencinsko črpalko za vodo smo na Ljubljani našli skupaj 328 delcev mikroplastike, od tega: 82 razlomljenih delcev, 243 vlaken, 2 foliji in 1 stiropor. Na Blejskem jezeru pa smo našli le 2 razlomljena delca in 74 vlaken. Iz omenjenih rezultatov je razvidno, da smo z vzorčenjem z bencinsko črpalko za vodo na različnih globinah našli največ vlaken.

Vse kategorije mikroplastike posameznega vzorca (v preglednici označeno z modro), razen vlaken, smo slikovno analizirali in stehtali. Ime ID vzorca oz. mersko mesto (MM) v tej preglednici in vseh naslednjih je vezano na ime lokacije vzorčenja.

Preglednica 6: Najdena mikroplastika razdeljena po kategorijah za posamezni vzorec

Table 6: Detected microplastic separated by categories for each sample

ID vzorca	Reka ali jezero	Lokacija vzorčenja	Globina vzorčenja (m)	Vrsta vzorčenja	Razlomljeni delci	Vlakna	Granule	Peleti	Folije	Stiroporji	Seštevek delcev
LI-1	Ljubljana	plavajoči ponton pred gostilno Livada	0,2	bencinska črpalka za vodo	31	28	0	0	1	0	60
LI-2	Ljubljana	plavajoči ponton pred gostilno Livada	1,5	bencinska črpalka za vodo	15	12	0	0	0	0	27
LI-3	Ljubljana	plavajoči ponton pred gostilno Livada	3,5	bencinska črpalka za vodo	7	3	0	0	0	0	10
LISED3-1	Ljubljana	plavajoči ponton pred gostilno Livada	3,8	Van Veen-ovo grabilo	0	7	0	0	0	0	7
LISED3-2	Ljubljana	plavajoči ponton pred gostilno Livada	3,8	Van Veen-ovo grabilo	0	8	0	0	0	0	8
GR-1	Ljubljana	pred zapornicami na Gruberjevem prekopu	0,2	bencinska črpalka za vodo	24	67	0	0	0	0	91
GR-2	Ljubljana	pred zapornicami na Gruberjevem prekopu	1,2	bencinska črpalka za vodo	5	17	0	0	0	0	22
GR-3	Ljubljana	pred zapornicami na Gruberjevem prekopu	2	bencinska črpalka za vodo	0	19	0	0	0	0	19
AMB-1	Ljubljana	pred zapornicami na Ambroževem trgu	0,2	bencinska črpalka za vodo	0	39	0	0	0	1	40
AMB-2	Ljubljana	pred zapornicami na Ambroževem trgu	2	bencinska črpalka za vodo	0	0	0	0	0	0	0
AMB-3	Ljubljana	pred zapornicami na Ambroževem trgu	4	bencinska črpalka za vodo	0	58	0	0	1	0	59
CUK-1	Ljubljana	Fabianijev most za zapornicami na Ambroževem trgu	gladina	epi-neustonska mreža	9	398	0	0	0	220	627
PKČN-1	Ljubljana	most na Zaloški cesti pred iztokom iz CČN Ljubljana	gladina	epi-neustonska mreža	0	95	0	3	7	329	434
ZKČN-1	Ljubljana	lokacija vzorčenja za iztokom iz CČN Ljubljana	gladina	ročni zajem 5 l	1	49	0	0	0	0	50
BL-1	Blejsko jezero	zahodna jezerska kotanja	2	bencinska črpalka za vodo	0	3	0	0	0	0	3
BL-4	Blejsko jezero	zahodna jezerska kotanja	10	bencinska črpalka za vodo	0	4	0	0	0	0	4
BL-2	Blejsko jezero	zahodna jezerska kotanja	20	bencinska črpalka za vodo	0	11	0	0	0	0	11
BL-3	Blejsko jezero	zahodna jezerska kotanja	27,5	bencinska črpalka za vodo	1	11	0	0	0	0	12
BLSED1-1	Blejsko jezero	zahodna jezerska kotanja	28,7	Van Veen-ovo grabilo	1	14	0	0	0	0	15
BLSED1-2	Blejsko jezero	zahodna jezerska kotanja	28,7	Van Veen-ovo grabilo	0	14	0	0	0	0	14

»se nadaljuje ...«

»... nadaljevanje Preglednice 6«

ID vzorca	Reka ali jezero	Lokacija vzorčenja	Globina vzorčenja (m)	Vrsta vzorčenja	Razlomljeni delci	Vlakna	Granule	Peleti	Folije	Stiroporji	Seštevek delcev
BL-10	Blejsko jezero	nad vtokom Radovne	2	bencinska črpalka za vodo	1	2	0	0	0	0	3
BL-7	Blejsko jezero	nad vtokom Radovne	10	bencinska črpalka za vodo	0	4	0	0	0	0	4
BL-8	Blejsko jezero	nad vtokom Radovne	17,5	bencinska črpalka za vodo	0	16	0	0	0	0	16
BLSED5-1	Blejsko jezero	nad vtokom Radovne	18,5	Van Veen-ovo grabilo	0	10	0	0	0	5	15
BLSED5-2	Blejsko jezero	nad vtokom Radovne	18,5	Van Veen-ovo grabilo	4	19	0	0	0	0	23
BL-11	Blejsko jezero	pred hoteli	2	bencinska črpalka za vodo	0	5	0	0	0	0	5
BL-12	Blejsko jezero	pred hoteli	10	bencinska črpalka za vodo	0	1	0	0	0	0	1
BL-9	Blejsko jezero	pred hoteli	17	bencinska črpalka za vodo	0	4	0	0	0	0	4
BLSED4-1	Blejsko jezero	pred hoteli	18	Van Veen-ovo grabilo	0	15	0	0	0	0	15
BLSED4-2	Blejsko jezero	pred hoteli	18	Van Veen-ovo grabilo	0	11	0	0	0	0	11
BL-14	Blejsko jezero	Mlino	2	bencinska črpalka za vodo	0	5	0	0	0	0	5
BL-13	Blejsko jezero	Mlino	11	bencinska črpalka za vodo	0	8	0	0	0	0	8
BLSED2-1	Blejsko jezero	Mlino	12	Van Veen-ovo grabilo	0	13	0	0	0	3	16
BLSED2-2	Blejsko jezero	Mlino	12	Van Veen-ovo grabilo	0	13	0	0	0	0	13
BL-5	Blejsko jezero	Zaka – zahodna jezerska kotanja	gladina	epi-neustonska mreža	7	45	4	0	0	0	56
BL-6	Blejsko jezero	zahodna jezerska kotanja – nad vtokom Radovne	gladina	epi-neustonska mreža	1	18	0	0	0	0	19
BL-16	Blejsko jezero	zahodna jezerska kotanja – pred hoteli	gladina	epi-neustonska mreža	6	177	0	0	1	0	184
BL-15	Blejsko jezero	Mlino – Zaka	gladina	epi-neustonska mreža	0	99	0	0	0	0	99
SKUPAJ – LJUBLJANICA					92	800	0	3	9	550	1.454
%					6,3	55,0	0,0	0,2	0,6	37,9	100
SKUPAJ – BLEJSKO JEZERO					21	522	4	0	1	8	556
%					3,8	93,9	0,7	0,0	0,2	1,4	100
SKUPAJ					113	1.322	4	3	10	558	2.010

V vseh nadaljnjih preračunih in interpretacijah rezultatov, rezultate vzorca ZKČN-1 nismo upoštevali. Z ročnim zajemom 5 l vode na gladini smo v vzorcu našli 1 razlomljen delec in kar 49 vlaken. Izračun števila delcev mikroplastike na m^3 (n/m^3) (v nadaljevanju besedila koncentracije mikroplastike (n/m^3)) je pokazal, da naj bi se kar 10.000 delcev mikroplastike nahajalo v m^3 vode. Kar pa je zelo nerealno, saj je lahko vzorec (5 l) zajel npr. šop vlaken iz sušilnega stroja, ki so obšli sistem čiščenja CČN Ljubljana. Da bi bil vzorec reprezentativen in da bi lahko rezultate le-tega primerjali z rezultati vzorčenja z ostalima metodama, bi morala biti količina prevzorčene vode vsaj $2 m^3$ kot pri vzorčenju z bencinsko črpalko za vodo.

9.1.2 Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja s posamezno metodo in njihova primerjava

V nadaljevanju je v preglednicah za vzorčenje s posamezno metodo za posamezen vzorec na Ljubljani in Blejskem jezeru prikazano:

- število najdenih delcev mikroplastike (n) (v nadaljevanju besedila število mikroplastike (n));
- masa delcev mikroplastike – brez vlaken (g) (v nadaljevanju besedila masa mikroplastike – brez vlaken (g));
- masa mikroplastike – brez vlaken (mg) (v nadaljevanju besedila masa mikroplastike – brez vlaken (mg));
- število delcev mikroplastike (n) na m^3 (n/m^3) (v nadaljevanju besedila koncentracija mikroplastike (n/m^3));
- pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo število delcev mikroplastike (n) na km^2 (n/km^2) (v nadaljevanju besedila koncentracija mikroplastike (n/km^2));
- masa delcev mikroplastike (mg) na m^3 (mg/m^3) (v nadaljevanju besedila koncentracija mikroplastike (mg/m^3));
- pri vzorčenju z Van Veen-ovim grabilom število delcev mikroplastike (n) na gram suhe teže vzorca (n/g) (v nadaljevanju besedila koncentracija mikroplastike (n/g));
- pri vzorčenju z Van Veen-ovim grabilom število delcev mikroplastike (n) na kilogram suhe teže vzorca (n/kg) (v nadaljevanju besedila koncentracija mikroplastike (n/kg));
- zgoraj naštetih skupne (razen koncentracije mikroplastike) in povprečne vrednosti za vzorčenje s posamezno metodo.

Ker smo za vzorec sedimenta iz Van Veen-ovega grabila, zaradi konstrukcije le-tega pobrali le približno 2 cm sedimenta direktno pod obema utežema in ne celotne površine grabila, za vzorčenje z Van Veen-ovim grabilom ni bilo možno izračunati koncentracije delcev (n/m^3) in (mg/m^3). Smo pa pri vzorcih sedimenta tako iz Ljubljane kot tudi iz Blejskega jezera iz podatka, da je vsak pregledan vzorec sedimenta tehtal 25 g suhe teže, izračunali koncentracijo mikroplastike (n/g) in (n/kg).

Pri vzorcih, ki smo jih dobili z vzorčenjem z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani in Blejskem jezeru, smo izračunali koncentracijo mikroplastike (n/km^2). Pri drugih dveh metodah vzorčenja pa te koncentracije mikroplastike (n/km^2) zaradi samih metod vzorčenja nismo mogli izračunati.

Vse kategorije mikroplastike posameznega vzorca, razen vlaken, smo stehali. Zaradi omejitve natančnosti tehtnice na 0,0001 g je pri delcih mikroplastike, ki so tehtali manj kot 0,0001 g, masa

delcev mikroplastike v preglednicah označena z $< 0,0001$ g oz. $< 0,1$ mg. Če so bili najdeni delci mikroplastike v vzorcu samo vlakna, jih ni bilo mogoče stehtati in je posledično vrednost v preglednicah označena s simbolom /. Prav tako je z istim simbolom označena tudi koncentracija mikroplastike (mg/m^3) za posamezni vzorec, če so bili najdeni delci mikroplastike samo vlakna, ker jih zaradi že naštetih razlogov ni bilo možno stehtati. Z istim simbolom so označene tudi vse koncentracije mikroplastike, katerim ni bilo mogoče izračunati skupne vrednosti. Ker v vzorcu (AMB-2) nismo našli nobene mikroplastike, so v preglednici vrednosti označene z 0. Izračun koncentracije delcev (n/m^3), (mg/m^3) in (n/km^2) smo za vzorčenje z epi-neustonsko mrežo izračunali s pomočjo podatka o količini prevzorčene vode ter površini vzorčenja (Preglednica 2), za vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo pa iz metodologije vzorčenja (2 m^3).

Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja na Ljubljani s posamezno metodo so prikazane v naslednjih treh preglednicah (Preglednica 7, Preglednica 8 in Preglednica 9).

Preglednica 7: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani
Table 7: Average values of epi-neuston net sampling results in the Ljubljana

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mikroplastike (n)	Masa mikroplastike – brez vlaken (g)	Masa mikroplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mikroplastike (n/m^3)	Koncentracija mikroplastike (n/km^2)	Koncentracija mikroplastike (mg/m^3)
CUK-1	Ljubljana	epi-neustonska mreža	627	0,02750	27,50	10,83	866.501	0,475
PKČN-1	Ljubljana	epi-neustonska mreža	434	0,10570	105,70	4,37	349.436	1,064
Skupaj	Ljubljana	epi-neustonska mreža	1061	0,13320	133,20	/	/	/
Povprečje	Ljubljana	epi-neustonska mreža	530,5	0,06660	66,60	7,60	607.969	0,769

/ - ni podatka

Preglednica 8: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo na Ljubljani
Table 8: Average values of petrol water pump sampling results in the Ljubljana

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mikroplastike (n)	Masa mikroplastike – brez vlaken (g)	Masa mikroplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mikroplastike (n/m^3)	Koncentracija mikroplastike (mg/m^3)
LI-1	Ljubljana	bencinska črpalka za vodo	60	$< 0,00010$	$< 0,10$	30,00	$< 0,050$
LI-2	Ljubljana	bencinska črpalka za vodo	27	$< 0,00010$	$< 0,10$	13,50	$< 0,050$
LI-3	Ljubljana	bencinska črpalka za vodo	10	$< 0,00010$	$< 0,10$	5,00	$< 0,050$
GR-1	Ljubljana	bencinska črpalka za vodo	91	0,00080	0,80	45,50	0,400
GR-2	Ljubljana	bencinska črpalka za vodo	22	0,00070	0,70	11,00	0,350
GR-3	Ljubljana	bencinska črpalka za vodo	19	/	/	9,50	/
AMB-1	Ljubljana	bencinska črpalka za vodo	40	$< 0,00010$	$< 0,10$	20,00	$< 0,050$
AMB-2	Ljubljana	bencinska črpalka za vodo	0	0	0	0	0
AMB-3	Ljubljana	bencinska črpalka za vodo	59	$< 0,00010$	$< 0,10$	29,50	$< 0,050$

»se nadaljuje ...«

»... nadaljevanje Preglednice 8«

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mikroplastike (n)	Masa mikroplastike – brez vlaken (g)	Masa mikroplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mikroplastike (n/m ³)	Koncentracija mikroplastike (mg/m ³)
Skupaj	Gruberjev prekop	bencinska črpalka za vodo	132	0,00150	1,50	/	/
Povprečje	Gruberjev prekop	bencinska črpalka za vodo	44	0,00050	0,50	22,00	0,250
Skupaj	Ljubljana (skupaj)	bencinska črpalka za vodo	328	0,00150	1,50	/	/
Povprečje	Ljubljana (skupaj)	bencinska črpalka za vodo	41	0,00021	0,21	20,50	0,107

/ - ni podatka

Preglednica 9: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z Van Veen-ovim grabilom na Ljubljani

Table 9: Average values of Van Veen grab sampling results in the Ljubljana

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mikroplastike (n)	Masa mikroplastike – brez vlaken (g)	Masa mikroplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mikroplastike (n/g)	Koncentracija mikroplastike (n/kg)
LISED3-1	Ljubljana	Van Veen-ovo grabilo	7	/	/	0,28	280
LISED3-2	Ljubljana	Van Veen-ovo grabilo	8	/	/	0,32	320
Skupaj	Ljubljana	Van Veen-ovo grabilo	15	/	/	/	/
Povprečje	Ljubljana	Van Veen-ovo grabilo	7,5	/	/	0,30	300

/ - ni podatka

Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja na Blejskem jezeru s posamezno metodo so prikazane v naslednjih treh preglednicah (Preglednica 10, Preglednica 11 in Preglednica 12).

Preglednica 10: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo na Blejskem jezeru

Table 10: Average values of epi-neuston net sampling results in Lake Bled

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mikroplastike (n)	Masa mikroplastike – brez vlaken (g)	Masa mikroplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mikroplastike (n/m ³)	Koncentracija mikroplastike (n/km ²)	Koncentracija mikroplastike (mg/m ³)
BL-5	Blejsko jezero	epi-neustonska mreža	56	0,00150	1,50	1,22	97.222	0,033
BL-6	Blejsko jezero	epi-neustonska mreža	19	< 0,00010	< 0,10	1,20	95.960	< 0,006
BL-16	Blejsko jezero	epi-neustonska mreža	184	0,00070	0,70	2,56	204.444	0,010
BL-15	Blejsko jezero	epi-neustonska mreža	99	/	/	1,72	137.500	/
Skupaj	Blejsko jezero	epi-neustonska mreža	358	0,00220	2,20	/	/	/
Povprečje	Blejsko jezero	epi-neustonska mreža	89,5	0,00073	0,73	1,67	133.782	0,014

/ - ni podatka

Preglednica 11: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo na Blejskem jezeru

Table 11: Average values of petrol water pump sampling results in Lake Bled

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mikroplastike (n)	Masa mikroplastike – brez vlaken (g)	Masa mikroplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mikroplastike (n/m ³)	Koncentracija mikroplastike (mg/m ³)
BL-1	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	3	/	/	1,50	/
BL-4	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	4	/	/	2,00	/
BL-2	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	11	/	/	5,50	/
BL-3	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	12	0,00010	0,10	6,00	0,050
BL-10	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	3	< 0,00010	< 0,10	1,50	< 0,050
BL-7	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	4	/	/	2,00	/
BL-8	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	16	/	/	8,00	/
BL-11	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	5	/	/	2,50	/
BL-12	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	1	/	/	0,50	/
BL-9	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	4	/	/	2,00	/
BL-14	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	5	/	/	2,50	/
BL-13	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	8	/	/	4,00	/
Skupaj	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	76	0,00010	0,10	/	/
Povprečje	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	6,3	0,00005	0,05	3,17	0,025

/ - ni podatka

Preglednica 12: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z Van Veen-ovim grabilom na Blejskem jezeru

Table 12: Average values of Van Veen grab sampling results in Lake Bled

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mikroplastike (n)	Masa mikroplastike – brez vlaken (g)	Masa mikroplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mikroplastike (n/g)	Koncentracija mikroplastike (n/kg)
BLS1D1-1	Blejsko jezero	Van Veen-ovo grabilo	15	< 0,00010	< 0,10	0,60	600
BLS1D1-2	Blejsko jezero	Van Veen-ovo grabilo	14	/	/	0,56	560
BLS1D5-1	Blejsko jezero	Van Veen-ovo grabilo	15	0,00080	0,80	0,60	600
BLS1D5-2	Blejsko jezero	Van Veen-ovo grabilo	23	< 0,00010	< 0,10	0,92	920
BLS1D4-1	Blejsko jezero	Van Veen-ovo grabilo	15	/	/	0,60	600
BLS1D4-2	Blejsko jezero	Van Veen-ovo grabilo	11	/	/	0,44	440
BLS1D2-1	Blejsko jezero	Van Veen-ovo grabilo	16	< 0,00010	< 0,10	0,64	640
BLS1D2-2	Blejsko jezero	Van Veen-ovo grabilo	13	/	/	0,52	520
Skupaj	Blejsko jezero	Van Veen-ovo grabilo	122	0,00080	0,80	/	/
Povprečje	Blejsko jezero	Van Veen-ovo grabilo	15,3	0,00020	0,20	0,61	610

/ - ni podatka

Primerjava povprečnega števila mikroplastike (n) s posamezno metodo vzorčenja na Ljubljani (Preglednica 13) je pokazala, da smo več delcev mikroplastike našli z vzorčenjem z epi-neustonsko mrežo (530,5) kot pa z bencinsko črpalko za vodo (41), kar sovpada z dejstvom, da se večino

mikroplastike nahaja na vodni gladini. Ko pa se primerja povprečno koncentracijo mikroplastike (n/m^3), pa je bila večja koncentracija pri vzorčenju z bencinsko črpalko za vodo ($20,5 n/m^3$) kot pa pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo ($7,6 n/m^3$). Upoštevati pa je potrebno dejstvo, da smo z epi-neustonsko mrežo vzorčili na gladini (zgornjih 8 cm), z bencinsko črpalko za vodo pa pod gladino na različnih globinah. Povprečna koncentracija mikroplastike (mg/m^3) je bila zopet večja pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo ($0,769 mg/m^3$) kot pa pri vzorčenju z bencinsko črpalko za vodo ($0,107 mg/m^3$). Primerjava je potrdila rezultate, da smo pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo našli občutno več delcev mikroplastike, predvsem stiroporjev, ki smo jih lahko tudi stehali. Rezultati vzorčenja z Van Veen-ovim grabilom se z ostalima dvema metodama lahko primerjajo le s povprečnim številom delcev mikroplastike ($7,5$), ki pa je bilo kar občutno manjše od povprečnega števila delcev mikroplastike pri ostalih dveh metodah vzorčenja.

Preglednica 13: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja na Ljubljani – primerjava metod vzorčenja
Table 13: Average values of sampling results in the Ljubljana – the comparison of sampling methods

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mikroplastike (n)	Masa mikroplastike – brez vlaken (g)	Masa mikroplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mikroplastike (n/m^3)	Koncentracija mikroplastike (mg/m^3)
Povprečje	Ljubljana	epi-neustonska mreža	530,5	0,06660	66,60	7,60	0,769
Povprečje	Ljubljana (skupaj)	bencinska črpalka za vodo	41,0	0,00021	0,21	20,50	0,107
Povprečje	Ljubljana	Van Veen-ovo grabilo	7,5	/	/	/	/

/ - ni podatka

Primerjava povprečnega števila mikroplastike (n) s posamezno metodo vzorčenja na Blejskem jezeru (Preglednica 14) je pokazala, da smo tudi tu več delcev mikroplastike našli pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo ($89,5$) kot pa z bencinsko črpalko za vodo ($6,3$), kar sovpada z dejstvom, da se večino mikroplastike nahaja na vodni gladini. Ko pa se primerja povprečno koncentracijo mikroplastike (n/m^3), pa je bila večja koncentracija pri vzorčenju z bencinsko črpalko za vodo ($3,17 n/m^3$) kot pa pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo ($1,67 n/m^3$). Upoštevati pa je potrebno dejstvo, da smo z epi-neustonsko mrežo vzorčili na gladini (zgornjih 8 cm), z bencinsko črpalko za vodo pa pod gladino na različnih globinah. Tudi povprečna koncentracija delcev (mg/m^3) je bila večja pri vzorčenju z bencinsko črpalko za vodo ($0,025 mg/m^3$) kot pa pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo ($0,14 mg/m^3$). Rezultati vzorčenja z Van Veen-ovim grabilom se z ostalima dvema metodama lahko primerja le s povprečnim številom delcev mikroplastike ($15,3$) in s povprečno maso delcev – brez vlaken in v obeh primerih so bile vrednosti manjše kot pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo in večje kot pri vzorčenju z bencinsko črpalko za vodo.

Preglednica 14: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja na Blejskem jezeru – primerjava metod vzorčenja
Table 14: Average values of sampling results in Lake Bled – the comparison of sampling methods

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mikroplastike (n)	Masa mikroplastike – brez vlaken (g)	Masa mikroplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mikroplastike (n/m^3)	Koncentracija mikroplastike (mg/m^3)
Povprečje	Blejsko jezero	epi-neustonska mreža	89,5	0,00073	0,73	1,67	0,014
Povprečje	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	6,3	0,00005	0,05	3,17	0,025
Povprečje	Blejsko jezero	Van Veen-ovo grabilo	15,3	0,00020	0,20	/	/

/ - ni podatka

V nadaljevanju dela smo za vsako metodo vzorčenja primerjali povprečne vrednosti rezultatov na Ljubljani in Blejskem jezeru.

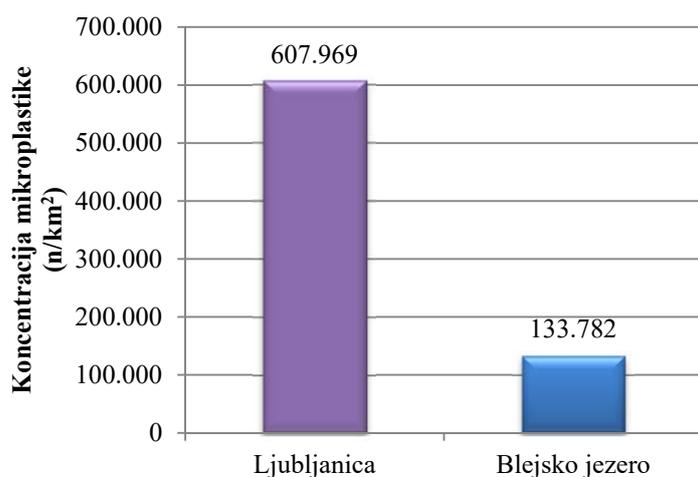
Pri primerjavi povprečnih vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo (Preglednica 15) je razvidno, da je bilo več delcev mikroplastike najdenih na Ljubljani. Najdeni delci mikroplastike na Ljubljani so imeli tudi večjo maso. Posledično je bila povprečna koncentracija mikroplastike (n/m^3) večja na Ljubljani ($7,59 n/m^3$) kot pa na Blejskem jezeru ($1,67 n/m^3$). Prav tako je bila tudi povprečna koncentracija mikroplastike (mg/m^3) večja na Ljubljani ($0,769 mg/m^3$) kot pa na Blejskem jezeru ($0,014 mg/m^3$). Enako je bila tudi povprečna koncentracija mikroplastike (n/km^2) večja na Ljubljani ($607.969 n/km^2$) kot pa na Blejskem jezeru ($133.782 n/km^2$). Bolj slikovito interpretacijo rezultatov prikazuje Grafikon 3.

Tako smo lahko za Blejsko jezero izračunali, da se na celotni površini jezera ($1,44 km^2$) povprečno nahaja skoraj 193.000 delcev mikroplastike. Poudariti je potrebno, da smo izračun izvedli na podlagi enkratnih vzorčenj in da bi bilo za točno oceno potrebno izvesti dodatna vzorčenja.

Preglednica 15: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani in Blejskem jezeru

Table 15: Average values of epi-neuston net sampling results in the Ljubljana and Lake Bled

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mikroplastike (n)	Masa mikroplastike – brez vlaken (g)	Masa mikroplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mikroplastike (n/m^3)	Koncentracija mikroplastike (n/km^2)	Koncentracija mikroplastike (mg/m^3)
Povprečje	Ljubljana	epi-neustonska mreža	530,5	0,06660	66,60	7,59	607.969	0,769
Povprečje	Blejsko jezero	epi-neustonska mreža	89,5	0,00073	0,73	1,67	133.782	0,014



Grafikon 3: Povprečna koncentracija mikroplastike (n/km^2) pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani in Blejskem jezeru

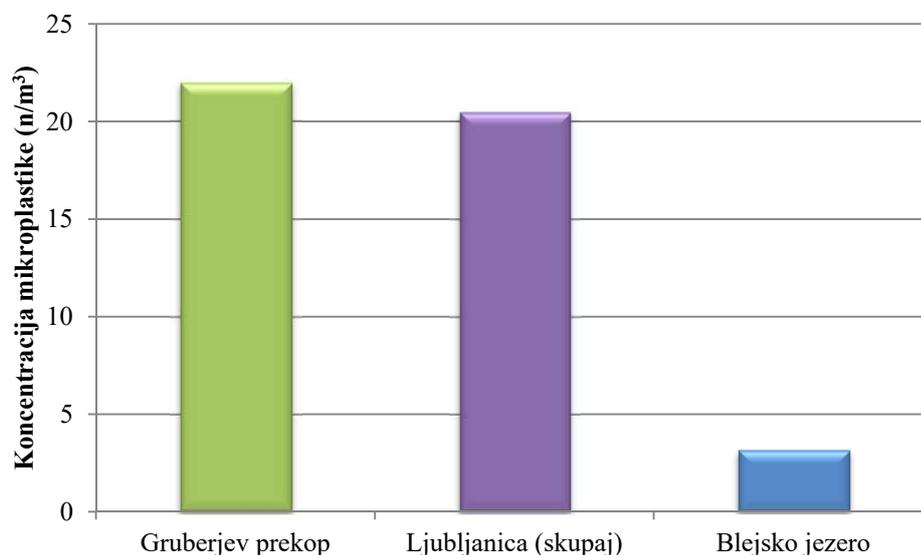
Graph 3: Average microplastic concentration (n/km^2) at epi-neuston net sampling in the Ljubljana and Lake Bled

Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo (Preglednica 16) smo primerjali med Ljubljani (skupaj z Gruberjevim prekopom), Gruberjevim prekopom in Blejskim jezerom. Razvidno je, da je bilo največ delcev mikroplastike najdenih na Gruberjevem prekopu, le malo manj pa na Ljubljani (skupaj z Gruberjevim prekopom). Najdeni delci mikroplastike na Gruberjevem prekopu so imeli tudi največjo maso. Na Gruberjevem prekopu je bila največja koncentracija mikroplastike (n/m^3) ($22,5 n/m^3$), najmanjša pa na Blejskem jezeru ($3,17 n/m^3$). Bolj slikovito interpretacijo rezultatov prikazuje Grafikon 4. Prav tako je bila največja tudi povprečna koncentracija mikroplastike (mg/m^3) na Gruberjevem prekopu ($0,25 mg/m^3$), najmanjša pa na Blejskem jezeru ($0,025 mg/m^3$). Iz tega se lahko sklepa, da se kljub manjšemu pretoku, kot ga ima Ljubljana čez samo mesto Ljubljana, na Gruberjevem prekopu v primerjavi z Ljubljano akumulira nekoliko več mikroplastike.

Preglednica 16: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo na Ljubljani (skupaj), Gruberjevem prekopu in Blejskem jezeru

Table 16: Average values of petrol water pump sampling results in the Ljubljana (altogether), Gruber Canal and Lake Bled

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mikroplastike (n)	Masa mikroplastike – brez vlaken (g)	Masa mikroplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mikroplastike (n/m^3)	Koncentracija mikroplastike (mg/m^3)
Povprečje	Gruberjev prekop	bencinska črpalka za vodo	44,0	0,00050	0,50	22,00	0,250
Povprečje	Ljubljana (skupaj)	bencinska črpalka za vodo	41,0	0,00021	0,21	20,50	0,107
Povprečje	Blejsko jezero	bencinska črpalka za vodo	6,3	0,00005	0,05	3,17	0,025



Grafikon 4: Povprečna koncentracija mikroplastike (n/m^3) pri vzorčenju z bencinsko črpalko za vodo na Ljubljani (skupaj), Gruberjevem prekopu in Blejskem jezeru

Graph 4: Average microplastic concentration (n/m^3) at petrol water pump sampling in the Ljubljana (altogether), Gruber Canal and Lake Bled

Pri primerjavi povprečnih vrednosti rezultatov vzorčenja z Van Veen-ovim grabilom (Preglednica 17) je razvidno, da smo več delcev mikroplastike v sedimentu našli na Blejskem jezeru. Najdeni delci mikroplastike na Ljubljani so bila samo vlakna, tako da jih ni bilo možno stehtati. Posledično je bila povprečna koncentracija mikroplastike (n/kg) na Blejskem jezeru (610 n/kg) večja kot pa na Ljubljani (300 n/kg).

Preglednica 17: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z Van Veen-ovim grabilom na Ljubljani in Blejskem jezeru

Table 17: Average values of Van Veen grab sampling results in the Ljubljana and Lake Bled

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mikroplastike (n)	Masa mikroplastike – brez vlaken (g)	Masa mikroplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mikroplastike (n/g)	Koncentracija mikroplastike (n/kg)
Povprečje	Ljubljana	Van Veen-ovo grabilo	7,5	/	/	0,30	300
Povprečje	Blejsko jezero	Van Veen-ovo grabilo	15,3	0,0002	0,20	0,61	610

/ - ni podatka

9.1.3 Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja, porazdeljenih po vodnem stolpcu

Glede na to, da smo vzorčenje na različnih lokacijah izvajali na različnih globinah, smo za interpretacijo rezultatov vzorčenja po vodnem stolpcu, vodni stolpec razdelili na tri dele: gladina, območje med gladino in dnem ter dno. Tako smo za izračun povprečnih vrednosti rezultatov vzorčenja na gladini Ljubljane upoštevali vse rezultate vzorčenja z epi-neustonsko mrežo (Preglednica 7), prav tako pa tudi na Blejskem jezeru (Preglednica 10). Za izračun povprečnih vrednosti rezultatov vzorčenja na območju med gladino in dnem smo na Ljubljani upoštevali rezultate vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo (Preglednica 8), enako pa tudi na Blejskem jezeru (Preglednica 11). Za izračun povprečnih vrednosti rezultatov na dnu smo tako na Ljubljani kot tudi na Blejskem jezeru upoštevali rezultate vzorčenja z Van Veen-ovim grabilom (Preglednica 9 in Preglednica 12).

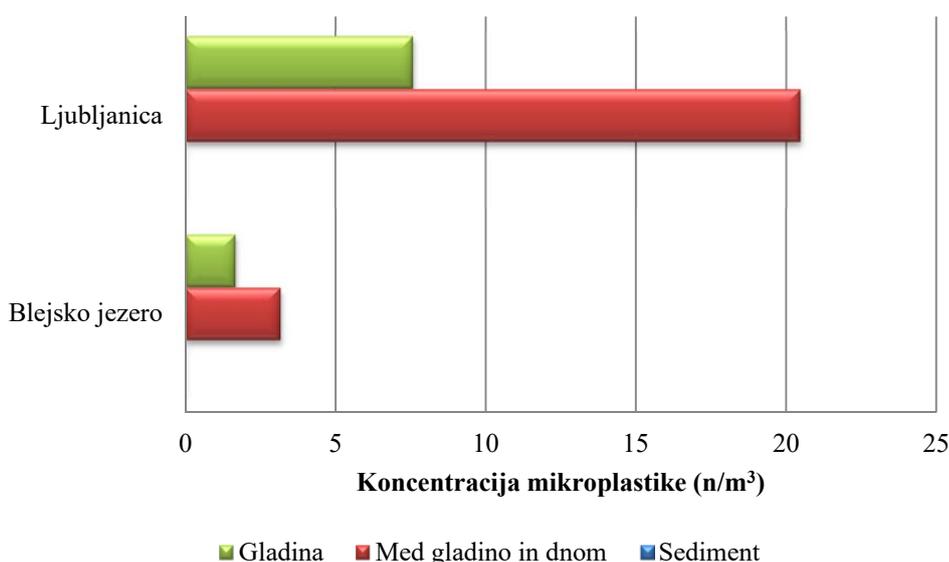
Primerjava povprečnih vrednosti rezultatov najdene mikroplastike po vodnem stolpcu (Preglednica 18) je pokazala, da so bile skoraj vse vrednosti večje na Ljubljani kot pa na Blejskem jezeru, le število najdenih delcev mikroplastike v sedimentu Blejskega jezera (15,3) je bilo večje kot pa na Ljubljani (7,5). Povprečno število mikroplastike (n) se je na Ljubljani po vodnem stolpcu zmanjševalo, na Blejskem jezeru pa najprej padalo in se v sedimentu zopet povečalo. Povprečnih koncentracij mikroplastike (n/m^3) in (mg/m^3) v sedimentu Ljubljane in Blejskega jezera zaradi konstrukcije Van Veen-ovega grabila ni bilo možno izračunati. Povprečna koncentracija mikroplastike (n/m^3) na gladini se je v primerjavi z vrednostjo na območju med gladino in dnem na Ljubljani in Blejskem jezeru povečala. Bolj slikovito interpretacijo rezultatov prikazuje Grafikon 5. Povprečna koncentracija mikroplastike (mg/m^3) na gladini se je v primerjavi z vrednostjo na območju med gladino in dnem na Ljubljani zmanjševala, na Blejskem jezeru pa se je vrednost za približno še za enkrat povečala.

Preglednica 18: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja po vodnem stolpcu na Ljubljani in Blejskem jezeru

Table 18: Average values of sampling results through the water column in the Ljubljana and Lake Bled

Reka ali jezero	Povprečno število mikroplastike (n)			Povprečna koncentracija mikroplastike (n/m ³)			Povprečna koncentracija mikroplastike (mg/m ³)		
	Gladina	Med gladino in dnom	Sediment	Gladina	Med gladino in dnom	Sediment	Gladina	Med gladino in dnom	Sediment
Ljubljana	530,5	41,0	7,5	7,60	20,50	/	0,769	0,107	/
Blejsko jezero	89,8	6,3	15,3	1,67	3,17	/	0,014	0,025	/

/ - ni podatka

Grafikon 5: Povprečna koncentracija mikroplastike (n/m³) po vodnem stolpcu na Ljubljani in Blejskem jezeruGraph 5: Average microplastic concentration (n/m³) through the water column in the Ljubljana and Lake Bled

9.1.4 Povprečni feretov premer najdenih delcev mikroplastike

Vso najdeno mikroplastiko, ki smo jo za vsak posamezni vzorec kategorizirali, smo slikovno analizirali s stereomikroskopom (Slika 61). Zaradi izredne majhnosti in mase najdenih vlaken v posameznih vzorcih pri slikovni analizi nismo upoštevali. Vsakemu posameznemu delcu mikroplastike je programska oprema AxioVision določila feretov premer. Na podlagi feretovega premera smo za vsako kategorijo za Ljubljano in Blejsko jezero določili povprečni, minimalni in maksimalni feretov premer delcev mikroplastike ter izračunali skupno povprečje feretovega premera delcev mikroplastike za Ljubljano (2,105 mm) in Blejsko jezero (0,826 mm) (Preglednica 19 in Preglednica 20).

Preglednica 19: Rezultati meritve feretovega premera delcev mikroplastike po kategorijah – Ljubljana
Table 19: Measuring results of the feret diameter of microplastic particles by categories – the Ljubljana

Dolžina delcev mikroplastike (mm)	Ljubljana					
	Razlomljeni delci	Granule	Peleti	Folije	Stiroporji	Povprečje
Povprečje	0,627	/	4,666	1,224	1,905	2,105
Minimum	0,093	/	4,347	0,320	0,086	1,211
Maksimum	4,857	/	4,855	2,658	4,944	4,328

/ - ni podatka

Preglednica 20: Rezultati meritve feretovega premera delcev mikroplastike po kategorijah – Blejsko jezero
Table 20: Measuring results of the feret diameter of microplastic particles by categories – Lake Bled

Dolžina delcev mikroplastike (mm)	Blejsko jezero					
	Razlomljeni delci	Granule	Peleti	Folije	Stiroporji	Povprečje
Povprečje	1,306	0,530	/	0,677	0,792	0,826
Minimum	0,204	0,456	/	0,677	0,364	0,425
Maksimum	4,441	0,605	/	0,677	2,000	1,930

/ - ni podatka

9.2 Mezoplastika

Analize rezultatov najdene mezoplastike v nadaljevanju magistrskega dela so zgolj informativne narave, saj so izračunane na zelo majhnem številu najdenih delcev.

9.2.1 Rezultati vzorčenja, razdeljeni po kategorijah mezoplastike za posamezni vzorec

V samo treh vzorcih (Preglednica 21) smo skupaj našli 36 delcev mezoplastike, od tega 1 razlomljen delec in 35 delcev stiroporja. Preglednica 21 ne vsebuje podatkov o granulah in peletih, saj omenjeni kategoriji zaradi svoje velikosti ne sodita v mikroplastiko. Na Ljubljani smo skupaj v dveh vzorcih našli 35 delcev mezoplastike in vsi so bili stiroporji. Na Blejskem jezeru pa smo v enem vzorcu našli samo 1 delec mezoplastike (razlomljen delec). Vse delce mezoplastike smo našli v vzorcih, ki smo jih dobili z vzorčenjem z epi-neustonsko mrežo. Obe najdeni kategoriji mezoplastike posameznega vzorca smo slikovno analizirali in stehtali (v preglednici označeno z modro) (Preglednica 21), razen vlaken. Rezultati so prikazani v nadaljevanju dela.

Preglednica 21: Najdena mezoplastika razdeljena po kategorijah za posamezni vzorec

Table 21: Detected mesoplastic separated by categories for each sample

ID vzorca	Reka ali jezero	Lokacija vzorčenja	Globina vzorčenja (m)	Vrsta vzorčenja	Razlomljeni delci	Vlakna	Folije	Stiroporji	Seštevek delcev
BL-16	Blejsko jezero	zahodna jezerska kotanja – pred hoteli	gladina	epi-neustonska mreža	1	0	0	0	1
CUK-1	Ljubljana	Fabianijev most za zapornicami na Ambroževem trgu	gladina	epi-neustonska mreža	0	0	0	3	3
PKČN-1	Ljubljana	most na Zaloški cesti pred iztokom iz CCN Ljubljana	gladina	epi-neustonska mreža	0	0	0	32	32
SKUPAJ – LJUBLJANICA					0	0	0	35	35
%					0	0	0	100	100
SKUPAJ – BLEJSKO JEZERO					1	0	0	0	1
%					100	0	0	0	100
SKUPAJ					1	0	0	35	36

9.2.2 Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja s posamezno metodo in njihova primerjava

V nadaljevanju je v preglednicah za vzorčenje s posamezno metodo za posamezen vzorec na Ljubljani in Blejskem jezeru prikazano:

- število najdenih delcev mezoplastike (n) (v nadaljevanju besedila število mezoplastike (n));
- masa delcev mezoplastike – brez vlaken (g) (v nadaljevanju besedila masa mezoplastike – brez vlaken (g));
- masa delcev mezoplastike – brez vlaken (mg) (v nadaljevanju besedila masa mezoplastike – brez vlaken (mg));
- število delcev mezoplastike (n) na m^3 (n/m^3) (v nadaljevanju besedila koncentracija mezoplastike (n/m^3));
- število delcev mezoplastike (n) na km^2 (n/km^2) (v nadaljevanju besedila koncentracija mezoplastike (n/km^2));
- masa delcev mezoplastike (mg) na m^3 (mg/m^3) (v nadaljevanju besedila koncentracija mezoplastike (mg/m^3));
- zgoraj naštetih skupne (razen koncentracije mezoplastike) in povprečne vrednosti.

Obe kategoriji mezoplastike posameznega vzorca smo stehali. S pomočjo podatka o količini prevzorčene vode in površini vzorčenja (Preglednica 2) smo za vzorčenje z epi-neustonsko mrežo izračunali koncentracije delcev mezoplastike (n/m^3), (mg/m^3) in (n/km^2). S simbolom / so označene vse koncentracije mezoplastike, ki jim ni bilo mogoče izračunati skupne vrednosti.

Preglednica 22 prikazuje povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja (mezoplastika) z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani, Preglednica 23 pa na Blejskem jezeru.

Preglednica 22: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani – mezoplastika
Table 22: Average values of epi-neuston net sampling results in the Ljubljana – mesoplastics

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mezoplastike (n)	Masa mezoplastike – brez vlaken (g)	Masa mezoplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mezoplastike (n/m ³)	Koncentracija mezoplastike (n/km ²)	Koncentracija mezoplastike (mg/m ³)
CUK-1	Ljubljana	epi-neustonska mreža	3	0,00030	0,30	0,05	4.146	0,005
PKČN-1	Ljubljana	epi-neustonska mreža	32	0,14080	140,80	0,32	25.765	1,417
Skupaj	Ljubljana	epi-neustonska mreža	35	0,14110	141,10	/	/	/
Povprečje	Ljubljana	epi-neustonska mreža	17,5	0,07055	70,55	0,19	14.955	0,711

/ - ni podatka

Preglednica 23: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo na Blejskem jezeru – mezoplastika
Table 23: Average values of epi-neuston net sampling results in Lake Bled – mesoplastics

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mezoplastike (n)	Masa mezoplastike – brez vlaken (g)	Masa mezoplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mezoplastike (n/m ³)	Koncentracija mezoplastike (n/km ²)	Koncentracija mezoplastike (mg/m ³)
BL-16	Blejsko jezero	epi-neustonska mreža	1	0,00180	1,80	0,01	1.111	0,025
Povprečje	Blejsko jezero	epi-neustonska mreža	1	0,00180	1,80	0,01	1.111	0,025

Pri primerjavi povprečnih vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo (Preglednica 24) je razvidno, da smo več delcev mezoplastike našli na Ljubljani. Najdeni delci mezoplastike na Ljubljani so imeli tudi večjo maso. Posledično je bila povprečna koncentracija mezoplastike (n/m³) večja na Ljubljani (0,19 n/m³) kot na Blejskem jezeru (0,01 n/m³). Prav tako je bila večja tudi povprečna koncentracija mezoplastike (mg/m³) na Ljubljani (0,711 mg/m³) kot pa na Blejskem jezeru (0,025 mg/m³). Enako je bila večja tudi povprečna koncentracija mezoplastike (n/km²) na Ljubljani (14.955 n/km²) kot pa na Blejskem jezeru (1.111 n/km²).

Tako smo lahko za Blejsko jezero grobo izračunali, da se na celotni površini jezera (1,44 km²) povprečno nahaja skoraj 1.600 delcev mezoplastike. Poudariti je potrebno, da smo izračun izvedli na podlagi enkratnih vzorčenj in da bi bilo za točno oceno potrebno izvesti dodatna vzorčenja.

Preglednica 24: Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani in Blejskem jezeru – mezoplastika

Table 24: Average values of epi-neuston net sampling results in the Ljubljana and Lake Bled – mesoplastics

ID vzorca	Reka ali jezero	Vrsta vzorčenja	Število mezoplastike (n)	Masa mezoplastike – brez vlaken (g)	Masa mezoplastike – brez vlaken (mg)	Koncentracija mezoplastike (n/m ³)	Koncentracija mezoplastike (n/km ²)	Koncentracija mezoplastike (mg/m ³)
Povprečje	Ljubljana	epi-neustonska mreža	17,5	0,0706	70,55	0,19	14.955	0,711
Povprečje	Blejsko jezero	epi-neustonska mreža	1,0	0,0018	1,80	0,01	1.111	0,025

9.2.3 Povprečni feretov premer najdenih delcev mezoplastike

Vso najdeno mezoplastiko, ki smo jo za vsak posamezni vzorec kategorizirali, smo slikovno analizirali s stereomikroskopom (Slika 61). Vsakemu posameznemu delcu mezoplastike je programska oprema AxioVision določila feretov premer. Na podlagi feretovega premera smo za vsako kategorijo za Ljubljano in Blejsko jezero določili povprečni, minimalni in maksimalni feretov premer delcev mezoplastike ter izračunali skupno povprečje feretovega premera delcev mezoplastike za Ljubljano (7,445 mm) in Blejsko jezero (5,505 mm) (Preglednica 25).

Feretov premer enega delca (20,140 mm) presega mejo 20 mm in bi ga zato morali uvrstiti med makroplastiko. Ker pa je preseganje minimalno, smo ga vseeno uvrstili med mezoplastiko in upoštevali pri vseh izračunih mezoplastike.

Preglednica 25: Rezultati meritve feretovega premera delcev mezoplastike po kategorijah

Table 25: Measuring results of the feret diameter of mesoplastic particles by categories

Dolžina delcev mezoplastike (mm)	Ljubljana		Blejsko jezero	
	Stiroporji	Povprečje	Razlomljeni delci	Povprečje
Povprečje	7,434	7,434	5,505	5,505
Minimum	5,118	5,118	5,505	5,505
Maksimum	20,140	20,140	5,505	5,505

9.3 Razprava

V magistrskem delu smo prikazali tri različne metode vzorčenja mikroplastike, med katerimi smo metodologijo vzorčenja po vodnem stolpcu z bencinsko črpalko za vodo, sistem sesalnih cevi in sesalni filter z utežjo tudi razvili in prvič preizkušali v okviru tega dela.

V magistrskem delu smo izvedli tri metode vzorčenja mikroplastike, uporabili dve metodi izločanja mikroplastike iz vzorcev, slikovno analizo in tehtanje najdenih delcev mikroplastike. Pri tako različnih metodah vzorčenja in različnega dela v laboratoriju lahko pride do kontaminacije vzorcev. Še posebno

so zaradi majhnosti in majhne teže najbolj problematična vlakna. Med vzorčenjem bi lahko tudi različne vrvi, ki smo jih uporabili med samim vzorčenjem, dodatno kontaminirale vzorce. Sami smo poskušali zmanjšati kontaminacijo tako, da smo bili v času vzorčenja in potem v laboratoriju oblečeni v bombažna oblačila in čim manj v sintetična oblačila. Med pregledovanjem vzorcev v laboratoriju smo bili vedno oblečeni v halje. Velja pa dejstvo, da se tudi z vsakim odpiranjem petrijevke ali vzorca poveča možnost kontaminacije. Zavedamo se, da kontaminacije vzorcev v pogojih, ki so nam bili na voljo, nismo mogli popolnoma odpraviti. Kolikšen je bil dejanski vpliv kontaminacije na vzorce, nam v raziskavi ni uspelo ugotoviti.

V raziskavi smo ugotovili, da rezultatov metod vzorčenja, ki smo jih izvedli v magistrskem delu, med seboj ne moremo primerjati, saj je vzorčenje sedimenta izrazito točkovno vzorčenje, kar ne moremo reči za vzorčenje z bencinsko črpalko za vodo, pa čeprav se z njo vseskozi vzorči na eni globini, hkrati pa se vodni tokovi v globinah stalno spreminjajo, kar lahko vpliva na pojav mikroplastike na globini vzorčenja. Vzorčenje z epi-neustonsko mrežo je izrazito linijsko vzorčenje. Prav tako smo vzorčenje z epi-neustonsko mrežo izvedli izključno na gladini (zgornjih 8 cm), kjer se tudi nahaja večina mikroplastike, medtem ko smo vzorčenje z bencinsko črpalko za vodo izvedli pod gladino na različnih globinah.

Rezultati vzorčenj so pokazali, da je povprečna koncentracija mikroplastike (n/m^3) na Ljubljani in Blejskem jezeru večja pri vzorčenju z bencinsko črpalko za vodo kot pa pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo, pa čeprav je število najdene mikroplastike na Ljubljani in Blejskem jezeru znatno večje pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo, kar sovпада z dejstvom, da se večina mikroplastike nahaja na vodni gladini. Pri primerjavi povprečne koncentracije mikroplastike (n/m^3) z različnima metodama je potrebno upoštevati dejstvo, da smo primerjali dve različni metodi vzorčenja.

Ugotovili smo, da je povprečna koncentracija mikroplastike (mg/m^3) na Ljubljani večja pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo kot pa pri vzorčenju z bencinsko črpalko za vodo, kar tudi sovпада z večjim številom najdene mikroplastike pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo. Na Blejskem jezeru primerjave povprečne koncentracije mikroplastike (mg/m^3) med obema metodama skorajda ne moremo narediti, saj je bilo mogoče stehtati delce mikroplastike le iz enega vzorca, ki je bil rezultat vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo, saj smo v skoraj vseh vzorcih našli samo vlakna, ki pa jih ni bilo možno stehtati.

Primerjava povprečnih koncentracij mikroplastike (n/m^3) in (mg/m^3) na Ljubljani in Blejskem jezeru pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo in z bencinsko črpalko za vodo je pokazala, da so vrednosti večje pri vzorčenju na Ljubljani. Hkrati je na Ljubljani v primerjavi z Blejskim jezerom večja povprečna koncentracija mikroplastike (n/km^2) tudi pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo. Pri vzorčenju sedimenta na dnu pa je povprečna koncentracija mikroplastike (n/kg) dvakrat višja na Blejskem jezeru kot na Ljubljani. Razlog je lahko v tem, da se mikroplastika na Ljubljani v primerjavi z mikroplastiko na Blejskem jezeru zaradi toka vode enostavno ne more usedati na dno oz. se izpira, kot pa na Blejskem jezeru, ko cirkulacije vode skorajda ni oz. je zelo majhna.

Povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja, porazdeljenih po vodnem stolpcu so pokazale, da se povprečna koncentracija mikroplastike (n/m^3) na Ljubljani in Blejskem jezeru od gladine proti dnu

povečuje. Tudi tu tiči razlog v tem, da smo primerjali različni metodi vzorčenja, saj smo z epi-neustonsko mrežo vzorčili na gladini (zgornjih 8 cm), z bencinsko črpalko za vodo pa pod gladino na različnih globinah.

Meritve feretovega premera najdenih delcev mikroplastike so pokazale, da je povprečni feretov premer delcev mikroplastike še enkrat večji na Ljubljani kot pa na Blejskem jezeru. Vzrok je lahko v tem, da smo z vzorčenjem z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani poleg vlaken našli tudi veliko stiroporjev, ki smo jim lahko izmerili premer, med tem ko smo z vsemi metodami vzorčenja na Blejskem jezeru našli večinoma vlakna, katerim premera nismo mogli izmeriti.

Poleg mikroplastike smo v vzorcih našli tudi nekaj mezoplastike. Vse delce mezoplastike smo našli pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo. Vse povprečne koncentracije mezoplastike (n/m^3), (mg/m^3) in (n/km^2) kot tudi število mezoplastike, so bile v primerjavi z Blejskim jezerom, večje na Ljubljani.

V nadaljevanju dela so prikazane primerjave naših rezultatov vzorčenj mikroplastike z nekaterimi rezultati vzorčenj, ki so se izvajala drugje po svetu. Ocenjena onesnaženosti z mikroplastiko Ljubljane in Blejskega jezera v primerjavi s primerjanimi vodotoki in jezeri sta podani glede na rezultate vzorčenj s primerjano metodo vzorčenja. Primerjava rezultatov druge metode vzorčenja bi lahko podala drugačno oceno.

Preglednica 26 prikazuje lastnosti jezer in povprečno koncentracijo mikroplastike (n/km^2), na katerih se je do sedaj z epi-neustonsko mrežo vzorčila mikroplastika. Preglednica je povzeta iz študije Free in sod. (2014). V omenjeno preglednico smo dodali še naše rezultate vzorčenj z epi-neustonsko mrežo na Blejskem jezeru. Primerjava med jezeri je pokazala, da so naši rezultati vzorčenja primerljivi z ostalimi in da je Blejsko jezero med vsemi primerjanimi jezeri najbolj onesnaženo z mikroplastiko, največ z vlakni. V primerjavi z morji in oceani je Blejsko jezero občutno manj onesnaženo z mikroplastiko. Dejstvo pa je, da je naše jezero izrazito najmanjše, ima najmanjši zadrževalni čas in je tako kot jezero Hovsgol najmanj industrijsko obremenjeno. Vendar to še ne pomeni, da je najbolj onesnaženo z mikroplastiko, saj se je do sedaj le na nekaj jezerih na svetu vzorčilo mikroplastiko.

Preglednica 26: Koncentracija mikroplastike (n/km^2) na jezerih (Free in sod., 2014: str. 161)

Table 26: Microplastic concentration (n/km^2) in lakes (Free et al., 2014: p. 161)

Jezero, država	Površina jezera (km^2)	Število prebivalstva v pojezerju (n)	Zadrževalni čas (leto)	Število vzorčenj	Koncentracija mikroplastike (n/km^2)		
					Povprečje	Maksimum	Prevladujoča kategorija
Ženevsko jezero, Švica	584,00	950.000	11,8	3	51.556	82.713	Razlomljeni delci/folije
Jezero Superior, ZDA	82.097,00	673.000	173,0	5	5.391	12.645	Peleti/razlomljeni delci
Jezero Huron, ZDA	59.565,00	3.000.000	21,0	8	2.779	6.541	Peleti/razlomljeni delci
Jezero Erie, ZDA	25.655,00	12.400.000	2,7	8	105.503	466.305	Peleti/razlomljeni delci
Jezero Hovsgol, Mongolija	2.760,00	6.000	300,0-600,0	9	20.264	44.435	Razlomljeni delci/folije
Blejsko jezero, Slovenija	1,44	7.500	1-1,5	4	133.782	204.444	Vlakna

Preglednica 27 prikazuje povprečno koncentracijo mikroplastike (n/km^2), ki je rezultat vzorčenj z epi-neustonsko mrežo na nekaterih vodotokih po svetu. Razvidno je, da so naši rezultati vzorčenja primerljivi z ostalimi in da je Ljubljana najmanj onesnažena z mikroplastiko med primerjanimi vodotoki. Res pa je, da je Ljubljana najmanjši vodotok med vsemi primerjanimi in da so vzorčenja na naštetih evropskih rekah izvajala samo na njihovih ustjih, tik preden se izlivajo v morje, med tem ko so vzorčenja na Ljubljani izvajali na različnih lokacijah.

Preglednica 27: Povprečna koncentracija mikroplastike (n/km^2) na vodotokih
Table 27: Average microplastic concentration (n/km^2) in watercourses

Vodotok, država	Koncentracija mikroplastike (n/km^2)	Prevladujoča kategorija	Referenca
North Shore Channel, ZDA	3.714.302	Vlakna	McCormick in sod. (2014)
Pad, Italija	2.043.070	Razlomljeni delci	Van der Wal in sod. (2015)
Ren, Nizozemska	1.042.527	Razlomljeni delci/peleti	Van der Wal in sod. (2015)
Donava, Romunija	1.061.126	Vlakna	Van der Wal in sod. (2015)
Ljubljana, Slovenija	607.968	Stiroporji/vlakna	/

/ - magistrsko delo

V raziskavi smo primerjali tudi povprečne koncentracije mikroplastike (n/m^3), kar prikazuje Preglednica 28, na kateri so rezultati vzorčenj z različnimi črpalkami za vodo na morju in treh vodotokih. Tudi tu so naši rezultati vzorčenja primerljivi z ostalimi. Razvidno je, da imata reka Pad in Ljubljana skoraj identično povprečno koncentracijo mikroplastike in največ med vsemi štirimi rezultati vzorčenj, čeprav za reko Pad velja dejstvo, da je zelo onesnažena in obremenjena reka.

Preglednica 28: Povprečna koncentracija mikroplastike (n/m^3) – različne črpalke za vodo
Table 28: Average microplastic concentration (n/m^3) – various water pumps

Vodotok ali morje, država	Koncentracija mikroplastike (n/m^3)	Prevladujoča kategorija	Referenca
Morje, Švedska	13,0	Vlakna	Magnusson in Norén (2011)
Pad, Italija	20,3	Razlomljeni delci	Van der Wal in sod. (2015)
Dal, Švedska	4,5	Vlakna	Van der Wal in sod. (2015)
Ljubljana, Slovenija	20,5	Vlakna/razlomljeni delci	/

/ - magistrsko delo

V magistrskem delu smo zaupali vizualnemu pregledu in izločanju delcev mikroplastike in mezoplastike iz vzorcev in tako privzeli, da so vsi najdeni delci resnično mikroplastika oz. mezoplastika. Da bi ugotovili, ali so posamezni najdeni delci mikroplastike oz. mezoplastike resnično plastika in ne npr. organski material, bi morali vsak posamezni najdeni delec, ki predstavlja potencialno mikroplastiko oz. mezoplastiko, analizirati npr. z infrardečo spektroskopijo s fourierjevo transformacijo (FTIR). Tako se vsak posamezni potencialni delec mikroplastike oz. mezoplastike preveri, ali je najdeni delec res plastika in iz katerega tipa plastike je sestavljen. Na ta način bi za vsak vzorec dobili pravo število najdenih delcev mikroplastike oz. mezoplastike. Poleg tega bi lahko naredili še dodatno analizo najdenih delcev mikroplastike oz. mezoplastike po tipih plastike ter določili potencialne onesnaževalce.

10 ZAKLJUČEK

V magistrskem delu smo postavili dve delovni hipotezi. Prva delovna hipoteza je bila, da je mikroplastika v slovenskih vodotokih in jezerih že prisotna. Ugotovili smo, da je mikroplastika prisotna na Ljubljanici kot tudi v Blejskem jezeru. Tako smo potrdili prvo delovno hipotezo. Ob tem smo izvedli različne analize najdene mikroplastike in mezoplastike. Rezultate vzorčenja smo za vsak posamezni vzorec razdelili po kategorijah mikroplastike in mezoplastike. Tako smo za vsak posamezni vzorec dobili število delcev mikroplastike in mezoplastike po kategorijah in skupno število najdenih delcev mikroplastike in mezoplastike po kategorijah za Ljubljanico in Blejsko jezero. To je bila osnova za izračun povprečnih vrednosti rezultatov vzorčenja s posamezno metodo in njihovo primerjavo ter za izračun povprečnega feretovega premera najdenih delcev mikroplastike in mezoplastike tako za Ljubljanico kot tudi za Blejsko jezero. Za mikroplastiko smo izračunali tudi povprečne vrednosti rezultatov vzorčenja porazdeljenih po vodnem stolpcu Ljubljanice in Blejskega jezera, ki zaradi različnih metod vzorčenja med seboj niso ravno primerljive. Iz izračunov smo ugotovili, da je mikroplastika prisotna na Ljubljanici in Blejskem jezeru po celotnem vodnem stolpcu, največ pa jo je na gladini.

Primerjava rezultatov vzorčenja z epi-neustonsko mrežo, in sicer povprečne koncentracije mikroplastike (n/km^2) na Ljubljanici in Blejskem jezeru, z rezultati vzorčenja na nekaterih vodotokih in jezerih po svetu je pokazala, da se meritve lahko primerjajo med seboj in da je Blejsko jezero najbolj onesnaženo z mikroplastiko med primerjanimi jezери, medtem ko Ljubljanica ni najbolj onesnažena z mikroplastiko med primerjanimi vodotoki. Vendar to še ne pomeni, da je Blejsko jezero najbolj onesnaženo z mikroplastiko, saj se je do sedaj le na nekaj jezerih na svetu vzorčilo mikroplastiko in tako obstaja še veliko jezer, na katerih se še ni vzorčilo mikroplastike in se za njih lahko samo ocenjuje, da so med najbolj onesnaženimi z mikroplastiko na svetu. Prav tako je primerjava rezultatov vzorčenja z različnimi črpalkami za vodo, in sicer povprečna koncentracija mikroplastike (n/km^2) na Ljubljanici, z rezultati vzorčenja na Severnem morju Švedske in dveh evropskih vodotokih pokazala, da se meritve lahko primerjajo med seboj in da se lahko Ljubljanica po onesnaženosti z mikroplastiko primerja z reko Pad. Oцени onesnaženosti z mikroplastiko Ljubljanice in Blejskega jezera v primerjavi s primerjanimi vodotoki in jezeri sta podani glede na rezultate vzorčenj s primerjano metodo vzorčenja. Primerjava rezultatov druge metode vzorčenja bi lahko podala drugačno oceno.

Druga delovna hipoteza je bila, da je črpalka za vodo primerna za vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu. V magistrskem delu smo za vzorčenje po vodnem stolpcu uporabili bencinsko črpalko za vodo. Rezultati vzorčenja po vodnem stolpcu z omenjeno črpalko in uporabljena metodologija vzorčenja so potrdili drugo delovno hipotezo. Odločitev, da poskusimo vzorčiti z bencinsko črpalko za vodo, se je za delo na terenu izkazalo za pravilno, saj je s svojo močjo in majhno težo upravičila našo odločitev. Črpalka za vodo s sesalnim filtrom z utežjo (Slika 50) se po opravljenem vzorčenju zdi po našem mnenju bolj primerna za vzorčenje po vodnem stolpcu, in sicer v območju med gladino in dnom, na jezerih in zadrževalnikih, kjer je hitrost vodnih tokov majhna in tako le malo vpliva na položaj samega sesalnega filtra z utežjo med vzorčenjem kot pa za vzorčenje po vodnem stolpcu na vodotokih. Za vzorčenje na gladini bi bilo potrebno uporabiti drugačno obliko sesalnega filtra, da bi lahko ujel delce mikroplastike tudi na gladini in malo pod njo. Če pa niso pomembni velikost črpalke za vodo, njena teža ter primernost za terensko delo, pa bila najbolj primerna peristaltična črpalka, saj ta tip črpalke za vodo za svoje delovanje ne potrebuje rotorja. Delec lahko ob stiku z rotorjem razpade

še na manjše delce, kar lahko vpliva na same rezultate vzorčenja. Pri peristaltični črpalki pa je črpani medij (voda z delci) v stiku samo z notranjostjo gibke (peristaltične) cevi in je skoraj nemogoče, da bi posamezni delec med vzorčenjem razpadel na manjše delce in s tem povečal število najdenih delcev. Da bi lahko vzorčili večjo površino vode na določeni globini vzorčenja, bi lahko uporabili sesalni filter z utežjo s čim večjim premerom in primerno težo uteži, da je sistem cevi od gladine do samega filtra čimbolj vertikalni. Idealno velikost premera sesalnega filtra in teže uteži, da bi na določeni globini prečrpali največje število delcev, bi določili na podlagi dodatnih testiranj celotnega sistema vzorčenja. Tako bi bila po našem mnenju peristaltična črpalka za vodo s primerno velikostjo sesalnega filtra in teže uteži najboljša izbira črpalke za vodo za vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu jezera ali zadrževalnika. Za vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu vodotoka pa bi bil po našem mnenju najbolj primeren sistem mrež, kot so to z vzorčenjem na morju prikazali Slat in sod. (2014) (Slika 30). Prav tako menimo, da bi šele primerjava vzorčenja s črpalko za vodo in npr. vzorčenje z epi-neustonsko mrežo na enaki globini pokazala, ali je črpalka za vodo dovolj dobra metoda za vzorčenje po vodnem stolpcu.

Rezultati magistrskega dela so pokazali, da je mikroplastika v slovenskih vodotokih in jezerih že prisotna in predstavlja potencialni okoljski problem. Rezultate vzorčenj smo prikazali na različne načine, jih primerjali med seboj in tudi z drugimi rezultati vzorčenj po svetu. Rezultati vzorčenj so rezultati enkratnih meritev in so primerni samo za prvo začetno oceno onesnaženosti. Za določitev bolj točne ocene onesnaženosti Ljubljane in Blejskega jezera z mikroplastiko oz. mezoplastiko bi morali izvesti več meritev večkrat letno in dodatno kemijsko analizo najdenih delcev.

Ljudje se bomo morali vedno bolj zavedati, da sta plastika in mikroplastika velik okoljski problem in se spraševati in iskati rešitve, kako zaščititi vodo pred onesnaženjem s plastiko in mikroplastiko oz. kako zmanjšati velikost onesnaženja s plastiko in mikroplastiko. Dve izmed možnosti za zmanjšanje količine odložene plastike in tudi mikroplastike sta ponovna raba izdelkov in njihovo recikliranje. Alternativno možnost predstavljajo tudi polimeri, ki so biološko razgradljivi ali narejeni iz obnovljivih virov. To so novejši in manj poznani materiali, ki obetajo večjo sonaravnost plastike v prihodnosti. Vsekakor pa je glavna rešitev za zmanjšanje onesnaženja s plastiko ozaveščanje ljudi, da je plastika vedno večji okoljski problem.

11 POVZETEK

V magistrskem delu smo s tremi različnimi metodami po celotnem vodnem stolpcu vzorčili mikroplastiko na reki Ljubljanici (6 lokacij) in Blejskem jezeru (4 lokacije), razvili in preizkusili metodologijo vzorčenja z bencinsko črpalko za vodo po vodnem stolpcu ter ugotavljali koncentracije mikroplastike oz. mezoplastike.

V prvem sklopu magistrskega dela smo opisali zakonodajo o plastičnih odpadkih v Evropi in Sloveniji, glavne značilnosti plastike, vplive plastičnih odpadkov na vodno okolje in vplive plastike in mikroplastike na ekosistem in človeka. Predstavili smo problem plastike in mikroplastike, saj večinoma ne vemo, kaj sploh je mikroplastika in kako velik problem predstavlja za naše okolje.

Zaradi svoje majhnosti in razširjenosti mikroplastika predstavlja resno grožnjo številnim organizmom, kar skrbi vedno več znanstvenikov po vsem svetu. Mikroplastika ima lahko ob zaužitju škodljive učinke na zdravje, vključno z boleznimi srca, diabetesom in spremembami v kroženju hormonov, lahko povzroči endokrine motnje, mutagenozo in/ali karcinogenozo (Cole in sod., 2011).

V nadaljevanju magistrskega dela smo opisali dosedanje študije, ki opisujejo mikroplastiko v ekosistemih celinskih voda, ter metodologijo obstoječih vzorčenj mikroplastike. Lokacije vzorčenja mikroplastike na Ljubljanici smo določili z ogledom digitalnih ortofoto posnetkov (DOF) in terenskim ogledom, na Blejskem jezeru pa določili take, da smo nekako pokrili celotno jezero in hkrati take, kjer bi se lahko akumulirala mikroplastika. S tremi metodami vzorčenja: a) gladina – epi-neustonska mreža, b) med gladino in dnom – bencinska črpalka za vodo, c) sediment – Van Veen-ovo grabilo, smo skupaj dobili 38 vzorcev, ki smo jih v laboratoriju z različnima metodama glede na metodo vzorčenja natančno pregledali in izločili najdeno mikroplastiko oz. mezoplastiko. Najdeno mikroplastiko oz. mezoplastiko iz posameznega vzorca smo na podlagi kategorizacije iz navodil iz projekta DeFishGear (DeFishGear, 2015) razdelili na 6 kategorij: razlomljeni delci, peleti, granule, vlakna, folije in stiroporji. Vse omenjene najdene kategorije iz posameznega vzorca, razen vlaken, smo tudi stehali in slikovno analizirali.

Rezultati vzorčenj so pokazali, da samo en vzorec izmed vseh vzorcev (38) ni vseboval mikroplastike. Vsi preostali vzorci so vsebovali mikroplastiko, nekateri vzorci pa tudi mezoplastiko. Več mikroplastike smo našli pri vzorčenju na Ljubljanici. Posebej za mikroplastiko in posebej za mezoplastiko smo med seboj primerjali rezultate vzorčenj s posamezno metodo tako na Ljubljanici kot tudi Blejskem jezeru in rezultate vzorčenj posameznih metod med Ljubljano in Blejskim jezerom. Primerjava rezultatov vzorčenj s posamezno metodo je pokazala, da zaradi različnih metod vzorčenja med seboj niso ravno primerljivi. Izračuni so pokazali, da je mikroplastika prisotna na Ljubljanici in Blejskem jezeru po celotnem vodnem stolpcu, največ pa jo je na gladini.

Ugotovili smo, da je povprečna koncentracija mikroplastike (n/m^3) na Ljubljanici in Blejskem jezeru večja pri vzorčenju z bencinsko črpalko za vodo kot pa pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo zaradi upoštevanja dejstva, da smo z epi-neustonsko mrežo vzorčili na gladini, z bencinsko črpalko za vodo pa pod gladino na različnih globinah. Povprečna koncentracija mikroplastike (mg/m^3) na Ljubljanici je večja pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo kot pa pri vzorčenju z bencinsko črpalko za vodo, kar

sovpada tudi z večjim številom najdenih delcev mikroplastike pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo. Primerjava povprečnih koncentracij mikroplastike (n/m^3) in (mg/m^3) na Ljubljani in Blejskem jezeru pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo in z bencinsko črpalko za vodo je pokazala, da so vrednosti večje pri vzorčenju na Ljubljani. Hkrati je na Ljubljani v primerjavi z Blejskim jezerom večja povprečna koncentracija mikroplastike (n/km^2) tudi pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo. Pri vzorčenju sedimenta z Van Veen-ovim grabilom pa je povprečna koncentracija mikroplastike (n/kg) za enkrat večja na Blejskem jezeru kot na Ljubljani. Razlog je lahko v tem, da se mikroplastika na Ljubljani v primerjavi z mikroplastiko na Blejskem jezeru zaradi toka vode enostavno ne more usedati na dno oz. se izpira, kot pa na Blejskem jezeru, ko cirkulacije vode skorajda ni oz. je zelo majhna. Poleg mikroplastike smo v vzorcih našli tudi nekaj mezoplastike. Vso mezoplastiko smo našli pri vzorčenju z epi-neustonsko mrežo. Vse povprečne koncentracije mezoplastike (n/m^3), (mg/m^3) in (n/km^2) kot tudi število delcev mezoplastike, so bile v primerjavi z Blejskim jezerom večje na Ljubljani.

V zadnjem delu magistrskega dela smo rezultate vzorčenj z epi-neustonsko mrežo na Blejskem jezeru primerjali z rezultati vzorčenj z epi-neustonsko mrežo na nekaterih jezerih po svetu (Ženevsko jezero, Velika jezera in jezero Hovsgol). Ugotovili smo, da so naši rezultati vzorčenja primerljivi z ostalimi in da je Blejsko jezero s povprečno koncentracijo 133.782 delcev mikroplastike na km^2 med vsemi primerjanimi jezeri najbolj onesnaženo, največ z vlakni. V primerjavi z morji in oceani je Blejsko jezero občutno manj onesnaženo z mikroplastiko. Primerjava rezultatov vzorčenj z epi-neustonsko mrežo na Ljubljani in na nekaterih vodotokih po svetu (North Shore Channel v ZDA, Pad, Ren in Donava) je pokazala, da so naši rezultati vzorčenja primerljivi z ostalimi in da je Ljubljana s povprečno koncentracijo 607.968 delcev mikroplastike na km^2 najmanj onesnažena z mikroplastiko med primerjanimi vodotoki.

Rezultati magistrskega dela so pokazali, da je mikroplastika v slovenskih vodotokih in jezerih že prisotna in predstavlja potencialni okoljski problem. Prav tako so rezultati pokazali, da je bencinska črpalka za vodo z uporabljeno metodologijo za vzorčenje mikroplastike po vodnem stolpcu bolj primerna za vzorčenje na jezerih ali zadrževalnikih kot pa na vodotokih.

Ljudje se bomo morali vedno bolj zavedati, da sta plastika in mikroplastika velik okoljski problem in se spraševati in iskati rešitve, kako zaščititi vodo pred onesnaženjem s plastiko in mikroplastiko oz. kako zmanjšati velikost onesnaženja s plastiko in mikroplastiko. Poleg biološko razgradljive plastike je glavna rešitev za zmanjšanje onesnaženja s plastiko ozaveščanje ljudi, da je plastika vedno večji okoljski problem.

12 SUMMARY

This master thesis focuses on microplastic sampling in the Ljubljana River (6 locations) and Lake Bled (4 locations) using three different methods through the entire water column. We have developed and tested the sampling methodology by a petrol water pump through the water column for assessing microplastic and mesoplastic concentrations.

In the first part of the study plastic waste legislation and regulations in Slovenia and in Europe have been presented, and the main properties of plastic, the impact of plastic waste on the water environment and impacts of plastic and microplastics on the ecosystem and on humans have also been discussed. The problem of plastic and microplastics was exposed because generally people do not know what microplastics are and what are its consequences on the environment.

Being extremely tiny and widely spread, microplastics are a serious threat to many organisms, which is of a great concern of many scientists all around the world. Consuming microplastics can have harmful effects on human health such as heart diseases, diabetes and changes in the circulation of hormones, which can cause endocrine disorder, mutagenesis and/or carcinogenesis (Cole et al., 2011).

Further on, the study deals with microplastics in freshwater ecosystems and with the methodology of existing microplastic sampling. The sampling locations in the Ljubljana were chosen on the basis of digital orthophoto recordings (DOF) and field inspections. At Lake Bled we intended to cover the whole area and specific spots where microplastic could be accumulated. 38 samples were gathered using three sampling methods: a) surface – epi-neuston net, b) between the surface and the bottom – petrol water pump, c) sediment – Van Veen grab. The samples were examined thoroughly in a laboratory by two different methods according to the sampling method. Microplastics or mesoplastics were separated from the samples. According to the categorisation of the DeFishGear project (DeFishGear, 2015) they were arranged into 6 categories: fragments, pellets, granules, fibres, foils and polystyrene or foams. All categories except fibres were weighed and analysed.

The sampling results have showed that only one sample did not contain microplastics. The rest of the samples contained microplastics, some of them mesoplastics as well. More microplastics were found in the Ljubljana. We compared the sampling results using individual methods in the Ljubljana as well as the ones in Lake Bled. We also compared the sampling results using individual methods between the Ljubljana and Lake Bled, for microplastics or mesoplastics separately. The comparison of sampling results by each method has shown that due to different sampling methods the results are not exactly comparable. We have found out that microplastics is present in the Ljubljana and in Lake Bled, through the entire water column, mostly on the surface.

The results suggest that an average microplastic concentration (n/m^3) in the Ljubljana and Lake Bled is higher in petrol water pump samples than in epi-neuston net samples considering the fact that the samples with epi-neuston net were taken from the surface whereas the samples with a petrol water pump were taken below the surface at various depths. The average microplastic concentration (mg/m^3) in the Ljubljana is higher in epi-neuston net samples than the one in petrol water pump samples. This corresponds to a greater number of microplastic particles found in epi-neuston net samples. The

comparison of the average microplastic concentration (n/m^3) and (mg/m^3) in epi-neuston net samples and the ones in petrol water pump samples in the Ljubljana and Lake Bled has showed that the value is higher in the Ljubljana samples. At the same time the average microplastic concentration (n/km^2) in the Ljubljana compared to Lake Bled is also higher in epi-neuston net samples. The average microplastic concentration (n/kg) in Van Veen grab sediment samples is 100 % higher in Lake Bled than the one in the Ljubljana. The possible reason is that microplastics in the Ljubljana can not subside into the bottom because of the flow. The circulation in the lake is very weak. Besides microplastic, some mesoplastic was also found in epi-neuston net samples. All average mesoplastic concentration values (n/m^3), (mg/m^3) and (n/km^2) as well as the number of mesoplastics in the Ljubljana were higher compared to the ones at Lake Bled.

In the last part of this thesis we compared the results of epi-neuston net samples in Lake Bled with the results of samples in some other lakes around the world (Geneva Lake, Great Lakes and Hovsgol Lake). We have found out that our results are comparable with the others and that Lake Bled with an average concentration of 133.782 microplastic particles per km^2 is the most polluted of the four lakes, especially as far as fibres is concerned. Compared to the seas and the oceans, Lake Bled is less polluted with microplastics. The comparison of the results of epi-neuston net samples in the Ljubljana and some other watercourses around the world (North Shore Channel in the USA, the Po, the Rhine, the Danube) has showed that our sampling results are comparable with the others and that the Ljubljana with an average concentration of 607.968 microplastic particles per km^2 is the least polluted with microplastics among the compared watercourses.

On the basis of the results of this research, it can be concluded that microplastics are already present in Slovenian watercourses and lakes representing a potential ecological problem. These data support the view that a petrol water pump and its sampling methodology through the water column is more suitable for sampling in lakes than in watercourses.

People will have to be more and more aware of the fact that plastic and microplastics represent a huge ecological problem. There is a need in finding out ways and solutions on how to protect the waters against plastic and microplastic pollution. One of the ways is to reduce its use, by replacing it with biodegradable materials as well as by making people aware of a negative impact it has on our environment.

VIRI

Ahlert, A., Proskurowski, G., Swallowell, J., Masura, J. Characterization of Nanoplastic Marine Debris Using Flow Cytometry. 2012. Poster.

http://jisao.washington.edu/sites/default/files/PDFs/InternPosters/Abby_poster_2012.pdf (Pridobljeno 1. 8. 2014).

Andrady, A.L. 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 62: 1596–1605.

Arthur, C., Baker, J., Bamford, H. (ur.). 2009. Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects, and fate of microplastic marine debris. Sept 9–11 2008. NOAA Technical Memorandum NOS–OR&R–30: 49 str.

Atlas okolja. 2015a.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL%40Arso&initialExtent=462350.81%2C99145.45%2C0.26458 (Pridobljeno 26. 11. 2015).

Atlas okolja. 2015b.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL%40Arso&initialExtent=463122.6%2C100181.82%2C0.26458 (Pridobljeno 26. 11. 2015).

Atlas okolja. 2015c.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL%40Arso&initialExtent=463125.56%2C100795.96%2C0.26458 (Pridobljeno 26. 11. 2015).

Atlas okolja. 2015d.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL%40Arso&initialExtent=471343.06%2C102300.24%2C1.32292 (Pridobljeno 26. 11. 2015).

Atlas okolja. 2015e.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL%40Arso&initialExtent=430751.01%2C135985.47%2C2.64583 (Pridobljeno 26. 11. 2015).

Atlas okolja. 2016.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL%40Arso&initialExtent=466760.49%2C101044.55%2C13.22917 (Pridobljeno 6. 6. 2016).

Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364: 1985–1998.

Bat, M., Beltram, G., Cegnar, T., Dobnikar-Tehovnik, M., Grbovič, J., Krajnc, M., Mihorko, P., Rejec Brancelj, I., Remec-Rekar, Š., Uhan, J. 2003. *Vodno bogastvo Slovenije*. Ljubljana: Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija Republike Slovenije za okolje: 131 str.

Castaneda, R.A., Avlijas, S., Anouk Simard, M., Ricciardi, A. 2014. Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 71: 1767–1771.

Centa, M. 2015. Vzorčenje mikroplastike na Ljubljani in Blejskem jezeru. Osebna slikovna zbirka.

Cheshire, A., Adler, E., Barbière, J., Cohen, Y., Evans, S., Jarayabhand, S., Jetic, L., Jung, R.T., Kinsey, S., Kusui, E.T., Lavine, I., Manyara, P., Oosterbaan, L., Pereira, M.A., Sheavly, S., Tkalin, A., Aradarajan, S., Wenneker, B., Westphalen, G. 2009. UNEP/IOC guidelines on survey and monitoring of marine litter, UNEP regional seas reports and studies. No. 186, IOC Technical Series No. 83: 131 str.

Claessens, M., De Meester, S., Van Landuyt, L., De Clerck, K., Janssen, C.R. 2011. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin* 62: 2199–2204.

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62: 2588–2597.

Collignon, A., Hecq, J.H., Galgani, F., Voisin, P., Collard, F. 2012. Neustonic microplastic and zooplankton in the North Western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin* 64: 861–864.

Cozar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., Palma, A.T., Navarro, S., García-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernández-de-Puelles, M.L., Duarte, C.M. 2008. Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 111, No. 28: 10239–10244.

Derelict Fishing Gear Project in the Adriatic Sea (DeFishGear). 2015. <http://www.defishgear.net/media-items/publications> (Pridobljeno 15. 10. 2015).

Derraik, J.G.B. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. *Marine Pollution Bulletin* 44: 842–852.

Desforges, J.P.W., Galbraith, M., Dangerfield, N., Ross, P.S. 2014. Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 79: 94–99.

Eerkes – Medrano, D., Thompson, R.C., Aldridge, D.C. 2015. Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water research* 75: 63–82.

Eriksen, M., Moore, C., Lattin, G.L., Wilson, S. Three easy-to-ship and easy-to-use aluminium neuston trawls designed and fabricated for use on different vessels of opportunity. Results of field tests and preliminary intercalibration efforts. 2011. Poster.

<http://www.algalita.org/uploads/TrawlComparisonPoster.pdf> (Pridobljeno 2. 8. 2014).

Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., Amato, S. 2013. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin* 77: 177–182.

Evropska komisija. 2013. ZELENA KNJIGA o evropski strategiji za plastične odpadke v okolju. Bruselj: 23 str.

Eyerer, P., Hirth, T., Elsner, P. 2008. *Polymer Engineering*, Springer – Verlag, 687 str.

Fakulteta za strojništvo – FS. 2015.

<http://lab.fs.uni-lj.si/lap/html/pages/si-polimerna-gradiva-materiali.htm> (Pridobljeno 2. 3. 2015).

Faure, F., Corbaz, M., Baecher, H., De Alencastro, L.F. 2012. Pollution due to plastics and microplastics in Lake Geneva and in the Mediterranean Sea. *Archives des Sciences* 65: 157–164.

Fendall, L.S., Sewell, M.A. 2009. Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin* 58: 1225–1228.

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. *Marine Pollution Bulletin* 85: 156–163.

Froklage, R., Lant, C., Misbah, A., O'Leary, E., Payton, E. 2013. Assessing and Mitigating Plastic Pollution in Lake Huron. Report: 60 str.

<http://lakehuron.ca/uploads/pdf/Assessing.and.Mitigating.Plastic.Pollution.in.Lake.Huron-Hydra.Horizons.Consulting.Final.Report.%28April.19.2013%29.pdf> (Pridobljeno 18. 9. 2014).

Gajšt, T., Bizjak, T., Česnik, U., Grivec, T., Pipan, U. 2015. Plastic debris and microplastic in the Marine Environment. Group project: Final report. Nova Gorica, University of Nova Gorica, School of environmental sciences: 98 str.

Galgani, F., Fleet, D., Van Franeker, J., Katsanevakis, S., Maes, T., Mouat, J., Oosterbaan, L., Poitou, I., Hanke, G., Thompson, R., Amato, E., Birkun, A., Janssen, C. 2010. Marine Strategy Framework Directive, Task Group 10 Report, Marine Litter. Zampoukas, N. (ur.): 57 str.

Google maps. 2016.

<https://www.google.si/maps/place/Lake+Geneva/@46.29965,6.2641101,10z/data=!4m2!3m1!1s0x478c3d06fcbe3e07:0x3282c0cb7f4bf243> (Pridobljeno 5. 3. 2016).

Grajš, A. 2013. Sanacija jezua na mestni Ljubljani pri Ambroževem trgu. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 124 str.

Gorycka, M. 2009. Environmental risks of microplastics. Faculteit der Aard – en Levenswetenschappen, Vrije Universiteit: 171 str.

Hammer, J., Kraak, H.S.M., Parsons, J.R. 2012. Plastics in the Marine Environment: The Dark Side of a Modern Gift. V: Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Whitacre, D.M. (ur.) Reviews of Environmental Contamination and Toxicology 220: 1–44.

Hidalgo – Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C., Thiel, M. 2012. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. Environmental Science & Technology 46: 3060–3075.

Imhof, H.K., Ivleva, N.P., Schmid, J., Niessner, R., Laforsch, C. 2012. A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments. Limnology and Oceanography: Methods 10: 524–537.

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, Volume 23(19): 867–868.

Ivar do Sul, J.A., Costa, M.F. 2014. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. Environmental Pollution 185: 352–364.

Italtehna. 2015.

<http://italtehna.si/prodajni-program.html> (Pridobljeno 2. 3. 2015).

Koelmans, A.A., Besseling, E., Foekema, E. M. 2014. Leaching of plastic additives to marine organisms. *Environmental Pollution* 187: 49–54.

Kržan, A. 2012. Biorazgradljivi polimeri in plastika, 8 str.
http://www.plastice.org/fileadmin/files/Biorazgradljivi_polimeri_in_plastika.pdf (Pridobljeno 18. 9. 2014).

Laglbauer, B.J.L., Franco – Santos, R.M., Andreu – Cazenave, M., Brunelli, L., Papadatou, M., Palatinus, A., Grego, M., Deprez, T. 2014. Macrodebris and microplastics from beaches in Slovenia. *Marine Pollution Bulletin* 89: 356–366.

Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger–Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Glas, M., Schludermann, E. 2014. The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental Pollution* 188: 177–181.

Lusher, A.L., Burke, A., O'Connor, I., Officer, R. 2014. Microplastic pollution in the Northeast Atlantic Ocean: Validated and opportunistic sampling. *Marine Pollution Bulletin* 88: 325–333.

Magnusson, K., Norén, F. 2011. Mikroskopiskt skräp i havet – metodutveckling för miljöövervakning (Mikroskopske naplavine v oceanu – razvoj metod za spremljanje stanja okolja). Report, Lysekil, N – research: 22 str.

Makita. 2015.
<http://www.makita.si/tool/22016/EW1060HX.html> (Pridobljeno 3. 12. 2015).

Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., Kaminuma, T. 2001. Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental Science & Technology* 35: 318–324.

McCormick, A., Hoellein, T., Mason, S. A., Schluep, J., Kelly, J.J. 2014. Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river. *Environmental Science & Technology* 48: 11863–11871.

Moore, C.J. 2008. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long – term threat. *Environmental Research* 108: 131–139.

Moore, C.J., Lattin, G.L., Zellers, A.F. 2011. Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 11(1): 65–73.

Palatinus, A., Kržan, A., Forte, J., Peterlin, M. 2012. Odpadki v morju in prva ocena prisotnosti mikrodelcev plastike v slovenskem morju. *Gospodarjenje z okoljem*, letn. 21, 82: 2–8.

Pavlovič, S. 2014. Vpliv parametrov oblike delcev na primerljivost rezultatov vrednotenja velikosti delcev z lasersko difrakcijo in slikovno analizo. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo, Industrijska farmacija: 66 str.

PlasticsEurope. 2015.
<http://www.plasticseurope.org> (Pridobljeno 2. 3. 2015).

PlasticsEurope. 2016.
<http://www.plasticseurope.org> (Pridobljeno 5. 1. 2016).

Robič, U. 2014. Fantomski ribolov. *Gea*, letn. XXIV, avgust 2014: 58–61.

Rochman, C.M. 2013. Plastics and Priority Pollutants: A Multiple Stressor in Aquatic Habitats. *Environmental Science & Technology* 47: 2439–2440.

Ryan, P.G., Moore, C.J., van Franeker, J.A., Moloney, C.L. 2009. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364: 1999–2012.

Sadri, S.S., Thompson, R.C., 2014. On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. *Marine Pollution Bulletin* 81: 55–60.

Sanchez, W., Bender, C., Porcher, J.M. 2014. Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence. *Environmental Research* 128: 98–100.

Slat, B., Ardiyanti, A., Arens, E. et al. 2014. How the oceans can clean themselves. A Feasibility Study: 535 str.
http://www.theoceancleanup.com/fileadmin/media-archive/theoceancleanup/press/downloads/TOC_Feasibility_study_lowres_V2_0.pdf (Pridobljeno 4. 3. 2015).

Statistični urad Republike Slovenije – SURS. 2014.
http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=2771820S&ti=&path=../Database/Okolje/27_okolje/02_Odpadki/05_27718_odpadki_posebni/&lang=2 (Pridobljeno 28. 12. 2014).

Statistični urad Republike Slovenije – SURS. 2015.

<http://www.stat.si/krajevnaimena/default.asp?txtIme=LJUBLJANA&selNacin=&selTip=naselja&ID=2370> (Pridobljeno 26. 11. 2015).

Šprajcar, M., Horvat, P., Kržan, A. 2012. Biopolimeri in plastika – plastika skladna z naravo. Informacijsko – izobraževalno gradivo za profesorje in laborante kemije na osnovnih in srednjih šolah. Ljubljana, Kemijski inštitut: 32 str.

Teuten, E. L., Saquing, J.M., Knappe, D.R.U, Barlaz, M.A., Jonsson, S., Björn A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., Galloway, T.S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Hung Viet, P., Seang Tana, P., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M.P., Akkhavong, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizukawa, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M., Takada, M. 2009. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364: 2027–2045.

Thompson, R.C., Browne, M.A., Galloway, T. 2007. Microplastic – an emerging contaminant of potential concern. *Integrated Environmental Assessment and Management* 3(4): 559–561.

Thompson, R.C., Swan, S.H., Moore, C.J., vom Saal, F.S. 2009a. Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364: 1973–1976.

Thompson, R.C., Swan, S.H., Moore, C.J., vom Saal, F.S. 2009b. Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364: 2153–2166.

Tweehuijsen, G. 2015. Vertical location of plastic debris in the water column. Osebna komunikacija (Pridobljeno 29. 5. 2015).

UNEP. 2005. *Marine Litter – An analytical overview*, United Nations Environment Programme, Nairobi: 58 str.

UNEP. 2009. *Marine Litter – A Global Challenge*, United Nations Environment Programme, Nairobi: 234 str.

UNEP. 2011. *UNEP Year Book 2011: Emerging issues in our global environment*, United Nations Environment Programme, Nairobi: 92 str.

Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., Janssen, C.J. 2013. Microplastic pollution in deep – sea sediments. *Environmental pollution* 182: 495–499.

Van der Wal, M., Van der Meulen, M., Tweehuijzen, G., Peterlin, M., Palatinus, A., Kovač Viršek, M., Coscia, L., Kržan, A. 2015. SFRA0025: Identification and Assessment of Riverine Input of (Marine) Litter (Final report): 203 str.

Van Krevelen, D.W. 2009. Properties of Polimers, Elsevier, 1031 str.

Wagner, M. Scherer, C., Alvarez – Munoz, D., in sod. 2014. Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. Environmental Sciences Europe, 26:12: 9 str.

Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. Environmental Pollution 178: 483–492.

Zbyszewski, M., Corcoran, P. L. 2011. Distribution and Degradation of Fresh Water Plastic Particles Along the Beaches of Lake Huron, Canada. Water, Air, & Soil Pollution 220: 365–372.

Zbyszewski, M., Corcoran, P. L., Hockin, A. 2014. Comparison of the distribution of plastic debris along shorelines of the Great Lakes, North America. Journal of Great Lakes Research 40: 288–299.

Zhao, S., Zhu, L., Wang, T., Li, D. 2014. Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: First observations on occurrence, distribution. Marine Pollution Bulletin 86: 562–568.

PREDPISI

Direktiva (EU) 2015/720 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 29. aprila 2015 o spremembi Direktive 94/62/ES glede zmanjšanja potrošnje lahkih plastičnih nosilnih vrečk.

Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 94/62/ES z dne 20. decembra 1994 o embalaži in odpadni embalaži.

Direktiva Evropskega Parlamenta in Sveta 2000/59/ES z dne 27. novembra 2000 o pristaniških zmogljivostih za prevzem ladijskih odpadkov in ostankov tovora.

Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike.

Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2006/7/ES z dne 15. februarja 2006 o upravljanju kakovosti kopalnih voda in razveljavitvi Direktive 76/160/EGS.

Direktiva 2008/56/ES Evropskega Parlamenta in Sveta z dne 17. junija 2008 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju politike morskega okolja.

Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2008/98/ES z dne 19. novembra 2008 o odpadkih in razveljavitvi nekaterih direktiv.

Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2010/75/EU z dne 24. novembra 2010 o industrijskih emisijah (celovito preprečevanje in nadzorovanje onesnaževanja).

Direktiva Sveta 91/271/EGS z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode.

Direktiva Sveta 1999/31/ES z dne 26. aprila 1999 o odlaganju odpadkov na odlagališčih.

Uredba o odpadkih (Uradni list RS, št. 37/15 in 69/15).

Uredba o podrobnejši vsebini načrta upravljanja z morskim okoljem (Uradni list RS, št. 92/10 in 20/13).

Uredba o načrtu upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja (Uradni list RS, št. 61/11 in 49/12).

Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 39/06 – uradno prečiščeno besedilo, 49/06 – ZMetD, 66/06 – odl. US, 33/07 – ZPNačrt, 57/08 – ZFO-1A, 70/08, 108/09, 108/09 – ZPNačrt-A, 48/12, 57/12, 92/13, 56/15, 102/15 in 30/16).

Zakon o vodah (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdrI-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14 in 56/15).

PRILOGE

PRILOGA A: Lokacije vzorčenj na Ljubljani

Legenda oznak:

- (A) plavajoči ponton pred gostilno Livada
- (B) pred zapornicami na Gruberjevem prekopu
- (C) pred zapornicami na Ambroževem trgu
- (D) Fabianijev most za zapornicami na Ambroževem trgu
- (E) most na Zaloški cesti pred iztokom iz CCN Ljubljana
- (F) lokacija vzorčenja za iztokom iz CCN Ljubljana

PRILOGA A: Lokacije vzorčenj na Ljubljani

