

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
VIDES ZINĀTNES NODAĻA

**MIKROPLASTMASAS IZPLATĪBA BALTIJAS JŪRAS
AUSTRUMGOTLANDES UN RĪGAS LĪČA LATVIJAS JURISDIKCIJAS
ŪDEŅU SEDIMENTU VIRSĒJĀ SLĀNĪ**
BAKALaura DARBS

Autors: **Sanda Sviņa**

Stud. apl. ss18094

Darba vadītājs: Juris Aigars

Doc., Dr. ģeogr.

RĪGA 2021

ANOTĀCIJA

Bakalaura darba veikšanai tika ievākti 13 mikroplastmasas paraugi no Baltijas jūras Austrumgotlandes un Rīgas līča Latvijas jurisdikcijas ūdeņu sedimentu virsējā slāņa. Tie secīgi tika apstrādāti izmantojot blīvumseparāciju un organiskā materiāla ķīmiskās sadalīšanas metodi. Tika veikta paraugu vizuālā analīze un noteikts plastmasas daļiņu veidojošais polimērs, izmantojot Mikro Furjē transformācijas infrasarkanās gaismas spektroskopijas metodi.

Tika izstrādāta un attīstīta sedimentu mikroplastmasas paraugu apstrādes metode, nosakot piemērotāko apakšējā izmēra robežu, šķirpiltuves tilpumu, blīvumseparācijas atkārtotības skaitu, kā arī enzimatisko reakciju piemērošanu paraugu apstrādei.

Mikroplastmasa bija sastopama visos paraugos. Izplatītākais daļiņu veids bija šķiedras (83,03%), savukārt dominējošais polimēru veids polipropilēns (11,11%). Visvairāk daļiņas sastopamas izmēru grupā no 50 līdz 1000 μm .

Atslēgas vārdi: Mikro Furjē transformācijas infrasarkanās gaismas (μFTIR) spektroskopijas metode, vizuālās analīzes metode, mikroplastmasas izplatība, polimēri, piesārņojums, metodes aprobācija

ANNOTATION

Within the framework of the bachelor's thesis 13 samples were collected in the upper layer of sediments of waters under the jurisdiction of Latvia in the Baltic Sea East Gotland and the Gulf of Riga. They were sequentially treated using density separation and chemical decomposition method for organic materials. Visual analysis of the samples was performed and the polymer type for the plastic particles was determined by using the Micro Fourier Transform Infrared Spectroscopy Method.

A method for processing microplastic in sediments was developed by determining the most suitable lower size limit, separating funnel volume, the number of repetitions of the density separation, as well as application of enzymatic reaction for sample processing.

Microplastic was present at all sampling sites. The most common type of particles in the upper layer of sediments was fibers (83,03%), meanwhile the dominant type of polymer – polypropylene (11,11%). The most particles are found in a size group of 50-1000 μm .

Key words: Micro - Fourier-transform infrared (μFTIR) spectroscopy method, visual analysis method, spread of microplastics, polymers, pollution, method approbation

SATURS

IEVADS.....	6
1. PLASTMASAS VEIDI UN TO IZMANTOŠANAS IESPĒJAS	8
1.1. Plastmasas daudzums globālā skatījumā.....	8
1.2. Plastmasas sastāvs un izmantošana.....	9
1.3. Mikroplastmasas raksturojums	11
1.4. Plastmasas daudzuma samazināšanas iespējas	13
1.4.1. Plastmasas samazināšana Latvijā.....	15
2. MIKROPLASTMASAS NONĀKŠANA ŪDENS VIDĒ UN IETEKME UZ DZĪVAJIEM ORGANISMIEM.....	17
2.1. Plastmasas nonākšana ūdenstilpē.....	17
2.2. Mikroplastmasas ietekme uz jūras faunu.....	19
3. VEIKTIE PĒTĪJUMI PAR MIKROPLASTMASAS KONCENTRĀCIJĀM SEDIMENTOS	21
3.1. Mikroplastmasas sadalīšanās un akumulācija jūras vidē	21
3.2. Pasaulē veiktie pētījumi par mikroplastmasas koncentrācijām sedimentos.....	22
3.3. Baltijas jūrā veiktie pētījumi par mikroplastmasas koncentrācijām sedimentos.....	23
3.3.1. Mikroplastmasas pētījumi piekrastē	23
3.3.2. Mikroplastmasas pētījumi sedimentos.....	24
4. MATERIĀLI UN METODEDES	25
4.1. Baltijas jūras un Rīga līča raksturojums	25
4.2. Novērojumu staciju izvēle un paraugu iegūšana.....	26
4.3. Mikroplastmasas paraugu sagatavošana un analīze	26
4.3.1. Paraugu apstrādes metodes aprobācija.....	26
4.3.3. Paraugu sagatavošana	27
4.3.4. Paraugu vizuālā analīze	29
4.3.5. Paraugu daļiņu sastāva analīze izmantojot Mikro Furjē transformācijas infrasarkanās gaismas spektroskopijas (μ FTIR) metodi.....	30
5. METODEDES APROBĀCIJAS REZULTĀTI.....	31
5.1. Tilpuma pārbaudes rezultāti.....	31
5.2. Daļiņu izmēru grupas noteikšanas rezultāti	31
5.3. Enzimātiskās degradācijas metodes testēšanas rezultāti	34
6. PARAUGU ANALĪZES REZULTĀTI.....	37
6.1. Vizuālā analīze.....	37
6.2. Automatizētā daļiņu analīze.....	39
DISKUSIJA	41
SECINĀJUMI.....	45
PATEICĪBAS	47
IZMANTOTĀS LITERATŪRAS UN AVOTU SARAKSTS	48
PIELIKUMI.....	55

JĒDZIENU UN SAĪSINĀJUMU SARAKSTS

μ FTIR – Mikro Furjē transformācijas infrasarkanās gaismas spektroskopija (no angļu valodas – *Micro Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

Ekstrakcija – ķīmijā, vielu atdalīšanas process, kas pamatojas uz vielas atdalīšanu no šķīduma vai cietu vielu maisījuma ar piemērota šķīduma palīdzību

IS – infrasarkanais

rpm – apgriezieni minūtē (no angļu valodas – *rotation per minute*)

Sonicēšana – ultraskaņas izmantošana daļiņu atdalīšanai no filtra virsmas

TRIS – tris(hidroksimetil)aminometāns

IEVADS

Tādas plastmasas īpašības kā izturīgums, elastīgums un vieglums padara to par ideālu materiālu ar neskaitāmām pielietojuma iespējām. To izmanto iepakojumu, medicīnas preču, ēku un transporta un daudzu citu preču ražošanā. Tomēr lielākā daļa saražotās plastmasas ir vienreizējās lietošanas plastmasa ar ļoti īsu izmantošanas periodu, pēc kura tā tiek izmesta, kas izraisa plastmasas atkritumu uzkrāšanos, piesārņojumu un vērtīgu resursu zudumu (Narancic, O'Connor 2018).

Kopējais saražotais plastmasas daudzums, pēc 2019. datiem, ir sasniedzis 368 miljonus tonnu, Eiropā sasniedzot gandrīz 51 miljonus tonnu (Plastic Europe 2020). Tā kā pasaulē vidēji tiek pārstrādātas tikai aptuveni 8% no visas saražotās plastmasas un aptuveni 12% tiek sadedzinātas, tad pārējā plastmasa ~80% nonāk poligonos vai apkārtējā vidē, no kurienes tālāk liela daļa (~4,8-12,7 miljoni tonnas 2012. gadā) galu galā nonāk okeānā (Jambeck et al. 2015; Parker 2019).

Mūsdienās plastmasas piesārņojums nenoliedzami ir kļuvis par globālu problēmu, bet viens no visgrūtāk raksturojamajiem piesārņojuma veidiem ir tieši mikroplastmasa.

Mikroplastmasa ir sīkas plastmasas daļiņas, kas ir mazākas par 5 mm. Tās pēc izcelsmes avota tiek iedalītas divās grupās – primārajā un sekundārajā mikroplastmasā. Primārajā ietilpst visas mikroplastmasas daļiņas izmērā < 5 mm, kuras tiek izmantotas, kā rūpnieciskais izejmateriāls lielāku plastmasas izstrādājumu ražošanai, tekstilpreču ražošanā, ceļu būves materiālos, kosmētikas līdzekļos u.c. Turpretī, sekundārā mikroplastmasa veidojas ūdens vidē, lielākiem plastmasas izstrādājumiem laika gaitā fragmentējoties saules, vēja un viļņu iedarbības rezultātā (Crawford, Quinn 2016).

Mikroplastmasai, nonākot jūrās un okeānos, tā tiek izplatīta lielos attālumos, radot draudus gan jūras organismiem, gan ekosistēmai kopumā. Mūsdienās mikroplastmasa ir atrodamā visā ūdens kolonā un ir atrasta ikvienā zemeslodes nostūrī, sākot ar Everesta virsotni beidzot ar Marianas dziļvagu (Parker 2019). Flokulācijas procesa, bioloģiskā piesārņojuma vai dzīvo organismu norīšanas rezultātā plastmasa, kas nonākusi ūdenstilpē, galu galā nogrimst gultnē (Harris 2020).

Ir paredzēts īstenot vairākus pasākumus, lai samazinātu plastmasas izstrādājumu nonākšanu vidē – depozīta sistēma, vienreizējo plastmasas trauku tirgošanas aizliegšana u.c., taču šobrīd nav precīzi iespējams novērtēt šo pasākumu efektivitāti attiecībā uz vidi.

Aktualizējot šo problēmu, pasaulē aizvien vairāk tiek veikti pētījumi par mikroplastmasas izplatību, uzkrāšanos un tās piesārņojumu jūrās un okeānos. Pagaidām informācija par mikroplastmasas apriti, uzturēšanās laiku vidē, transformāciju, sadalīšanās procesiem,

nonākšanu sedimentos un akumulāciju jūras vidē ir nepietiekama, kā arī vienas standartizētas mikroplastmasas sedimentos metodes izveides trūkums pagaidām kavē un apgrūtina pētījuma rezultātu salīdzināšanu, paraugu atšķirīgās ievākšanas, apstrādes un rezultātu interpretēšanas dēļ.

Tādējādi, turpinot pētījumus šajā jomā, tika veikts aktuāls un nozīmīgs pētījums, kas sniegs jaunu informāciju par mikroplastmasas izplatību sedimentos un mikroplastmasas sedimentos paraugu apstrādes metodes izstrādāšanas un aprobācijas iespējām.

Bakalaura darba mērķis: izpētīt mikroplastmasas izplatību Baltijas jūras Austrumgotlandes un Rīgas līča Latvijas jurisdikcijas ūdeņu sedimentu virsējā slānī un veikt metodes aprobāciju.

Bakalaura darba mērķa sasniegšanai tiek izvirzīti sekojoši uzdevumi:

1. Apkopot un analizēt publicēto informāciju par mikroplastmasas analīzes metodēm, kā arī par tās sastāvu, izplatību un ietekmi uz vidi;
2. Veikt paraugu apstrādes metodes izvērtēšanu un pilnveidošanu;
3. Veikt paraugu ievākšanu Baltijas jūras Austrumgotlandes un Rīgas līča ūdens sedimentos, un to sagatavošanu analīzēm;
4. Veikt paraugu vizuālu analīzi, nosakot mikroplastmasas veidu, izmēru un krāsu;
5. Veikt mikroplastmasas sastāva analīzi;
6. Novērtēt mikroplastmasas izplatību Baltijas jūras Austrumgotlandes un Rīgas līča sedimentu virsējā slānī.

Darba autore ir piedalījies mikroplastmasas paraugu ievākšanā no sedimentu virsējā slāņa, veikusi paraugu sagatavošanu, apstrādi, vizuālo analīzi, kā arī piedalījies apstrādes metodes izvērtēšanā un pilnveidošanā.

Bakalaura darba apjoms ir 59 lapaspuses, darbā iekļauti 16 attēli un 4 tabulas, to papildina 4 pielikumi. Darbs sastāv no ievada, 6 nodaļām, diskusijas, secinājumiem un izmantotās literatūras un avotu saraksta.

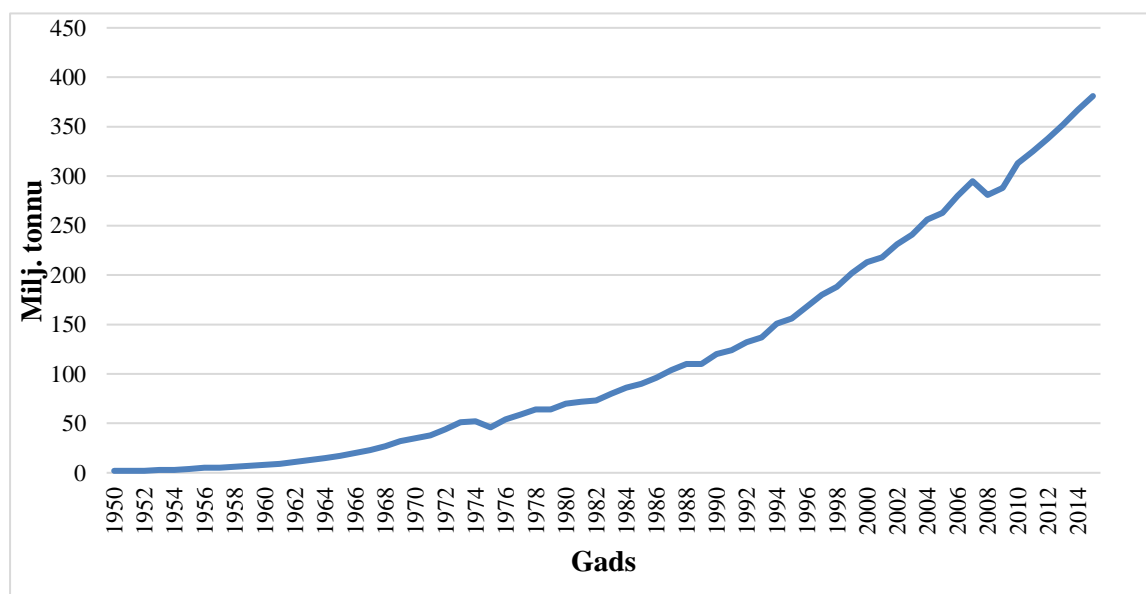
1. PLASTMASAS VEIDI UN TO IZMANTOŠANAS IESPĒJAS

1.1. Plastmasas daudzums globālā skatījumā

Termins “plastmasa” pirmo reizi tika pieminēts 1632. gadā no grieķu vārda “plastikos”, kas nozīmēja “piemērots liešanai”. Plastmasas izstrāde sākās, izmantojot dabiskus materiālus ar labām plastiskām īpašībām – košļājamo gumiju un šellaku. Nedaudz vēlāk sāka izmantot ķīmiski modificētus dabiskos materiālus, piemēram, gumiju un nitrocelulozi (Hester, Harrison 2019). Visbeidzot, plastmasa no pilnīgi sintētiskiem materiāliem, kādu to pazīstam šodien, sāka attīstīties pirms aptuveni 100 gadiem. Par plastmasas izgudrotāju uzskata Aleksandru Parkesu, kurš 1862. gadā radīja pirmo plastmasas materiālu ar nosaukumu – celuloīds (Hester, Harrison 2019).

Šobrīd plastmasa tiek uzskatīta par mūsdienu laikmeta vislietotāko un daudzpusīgāko materiālu. 1950. gadā pasaulē tika saražots ~1,5 milj. tonnu plastmasas. Kopš tā laika, neraugoties uz ražošanas apjoma samazināšanos 1973. gadā naftas krīzes laikā un 2007. gada finanšu krīzes laikā, 2009. gadā pasaulē plastmasas materiālu ražošanas apjoms pieauga, sasniedzot 250 milj. tonnu 2014. gadā (Crawford, Quinn 2016; Eerkes et al. 2015). (1.1. attēls). Līdz 2019. gadam kopējais saražotais plastmasas apjoms sasniedzis 368 milj. tonnu (Plastic Europe 2020).

Trīs lielākie plastmasas ražotāji laika periodā no 2018. līdz 2019. gadam ir Āzija (51%), Ķīna (31%) un Eiropa (16%), no kurām plastmasu visvairāk ražo Vācijā (24,2 milj. tonnu) (Plastic Europe 2020).



1.1.attēls. Saražotās plastmasas daudzums pasaulē gada laikā (Geyer et al. 2017, autores vizualizācija)

Plastmasai ir neskaitāmas pielietojanas iespējas daudzveidīgās jomās; mūsdienu sabiedrība nav iedomājama bez tās. Lielākā nozare, kur plastmasa tiek izmantota, ir preču iepakojšana (Hester, Harrison 2019). Eiropā pēc 2019. gada datiem 39,6% no plastmasas kopprodukta, kas saražots laika posmā no 2018.- 2019. gadam, tiek izmantota tieši iepakojumu ražošanā, jo plastmasa ir lēts, drošs, viegls materiāls, kas nodrošina pārtikas ilgāku uzglabāšanu (Hester, Harrison 2019; Plastic Europe 2020).

Pēc Eiropas datiem, otrā nozare ar 20,4%, kur visvairāk tiek izmantota plastmasa 2018.-2019. gada griezumā, ir būvniecība (Plastic Europe 2020). Plastmasas izstrādājumi sniedz ievērojamu ieguldījumu ēku negatīvās ietekmes uz vidi samazināšanā, it īpaši to enerģijas patēriņā. Būvniecībā plastmasu visvairāk izmanto logu rāmjiem, siltumu instalācijās un ūdens, gāzes un notekūdeņu caurulēs (Hester, Harrison 2019).

Transporta nozarē Eiropā (izmanto 9,6% no kopējā gadā saražotā apjoma) plastmasa tiek izmantota transportlīdzekļu (mašīnu, lidmašīnu) ražošanā (Plastic Europe 2020). Plastmasa šajā segmentā nodrošina transportlīdzekļu lielāku komfortu, drošību (drošības spilveni, siksnas, sēdekļi), kā arī samazina transportlīdzekļu korpusa smagumu, tādējādi nodrošinot mazāku degvielas patēriņu un attiecīgi arī mazākas oglekļa dioksīda emisijas (Hester, Harrison 2019).

Elektropreču nozarē (izmanto 6,2% no kopējā apjoma) plastmasas tiek izmantota sākot no vienkāršiem kabeļiem un sadzīves ierīcēm līdz viedtālruniem, lielākā daļa jaunāko elektrisko ierīču tiek ražotas izmantojot plastmasu (Hester, Harrison 2019; Plastic Europe 2020). Plastmasa plaši tiek izmantota arī mājāsaimniecībā, sportā un izklaidē (4,1%), lauksaimniecībā (3,4%) (Plastic Europe 2020). Bez šīm konkrētajām nozarēm, 16,7 % no saražotās plastmasas Eiropā tiek izmantota arī citviet – medicīnā, mehānisko ierīču ražošanā, kosmētikā, apģērba un mēbeļu ražošanā (Hester, Harrison 2019; Plastic Europe 2020).

1.2. Plastmasas sastāvs un izmantošana

Plastmasa ir materiāls, kas tiek izgatavots no sintētiskajiem vai daļēji sintētiskajiem organiskajiem savienojumiem (Hadi plastics S.a.). Tā sastāv no lielmolekulāriem polimēriem, kas veidoti, savienojoties kopā daudzām, nereti tūkstošiem, mazākām molekulām (monomēriem) un dažādām papildvielām, kas piešķir plastmasai vēlamās īpašības, piemēram, krāsu, tekstūru vai karstumizturību (Stapleton 2003).

Parasti plastmasa ir sintētiska, jo tiek iegūta no naftas produktiem, kas ir lēts izejmateriāls, bet ir arī tehnoloģijas, ar kurām plastmasa tiek iegūta no atjaunojamiem biomasas avotiem – biopolimēriem. Tos ražo, piemēram, no polimerizētas pienskābes, ko iegūst no kukurūzas, vai celulozes, kas iegūta no kokvilnas (Hadi plastics S.a.; Persin et al. 2011).

Tiek izšķirti vairāki plastmasas veidi un katram no tiem piemīt savs sastāvs un īpašības (Beiras 2018; Schulzki 2017). Globāli vissastopamākie polimēru veidi:

1. Polietilēntereftalāts (PET) – ķīmiski stabils poliesteris kura lietošana ir dramatiski palielinājusies pēdējo 30 gadu laikā. Augstās mehāniskās izturības un nelielās mitruma absorbcijas dēļ galvenokārt izmanto pārtikas un dzērienu iepakojumu ražošanā, kā arī apģērba ražošanā (Crawford, Quinn 2016; Bahraini 2017). Pēc PET otrreizējas pārstrādes iegūst šķiedras, no kurām tālāk tiek ražotas jaunas preces – paklāji, apģērbi, jaunas pudeles un rūpniecībā izmantojami materiāli (Jambeck 2018; Shen, Worrell 2014);

2. augsta blīvuma polietilēns (HDPE) – sastāv no garām, lineārām, praktiski nesazarotām polimēru virknēm, kā rezultātā augsta blīvuma polietilēns ir daudz blīvāks, izturīgāks un stingrāks nekā citi polimēru veidi. Tāpēc tiek plaši izmantots sadzīves ķīmiju iepakojumu, šampūnu, iepirkumu maisu un medicīnas trauku ražošanā (Crawford, Quinn 2016; Jambeck 2018);

3. polivinilhlorīds (PVC) – vairāk nekā puse no pasaulē saražotā PVC tiek izmantota būvniecības industrijā – santehnikas cauruļu, logu, durvju rāmji, grīdas un jumta segumu ražošana. Polivinilhlorīdam parasti pievieno dažādas piedevas tā īpašību uzlabošanai, piemēram, pildvielas, plastifikatorus un stabilizatorus, kas padara to par toksicitātes ziņā bīstamāko plastmasas veidu (Bahraini 2017; Kobetičová, Černý 2018);

4. zema blīvuma polietilēns (LDPE) – sastāv no vienkāršākās polimēru ķīmiskās struktūras, kas padara to par ļoti viegli un lēti pārstrādājamu plastmasu. Visplašāk izmanto iepirkumu maisiņu, plēvju, rotaļlietu ražošanā (Bahraini 2017);

5. polipropilēns (PP) – tiek uzskatīts par vienu no vieglākajiem un daudzpusīgākajiem polimēriem. Visbiežāk to izmanto cieto pārtikas iepakojumu ražošanā. Savukārt, polipropilēna šķiedras izmanto arī paklāju, sienu segumu un dažādu transportlīdzekļu apdarei (Jambeck 2018; Crawford, Quinn 2016);

6. polistirols (PS) – ir visizplatītākais plastmasas veids, jo tā ieguve ir lēta, tiek izmantots vienreizējo pārtikas trauku, olu kastu, putuplasta ražošanā. Polistirola pārstrāde izmaksā dārgi, tāpēc ar tā pārstrādi nodarbojas tikai dažu valstu uzņēmumi (Jambeck 2018; Types of .. S.a.);

7. citi plastmasas veidi (OTHER) – visbiežāk apzīmē kompozītmateriālus, tie ir visi pārējie plastmasas veidi, kas sastāv no iepriekšminēto polimēru veidu sajaukumiem. Pie citiem plastmasas veidiem pieder, piemēram, polikarbonāti, kurus izmanto kompaktdisku, briļļu un paneļu ražošanā. Neilons, kuru izmanto kā sastāvdaļu virvju, automašīnu riepu un apģērba ražošanā, kā arī ABS plastmasa (akrilnitrila-butadiēna-stirols), kuru plašāk izmanto automašīnu rezerves daļu un cieto rotaļlietu ražošanā (Jambeck 2018).

Neapstrādātiem polimēriem trūkst lielākā daļa īpašību, kas pieprasītas plastmasas gala izstrādājumos. Papildu sastāvdaļas tiek izmantotas, lai apmierinātu galaproduktu prasības vai vienkārši samazinātu izmaksas (Beires 2018). Plastmasai tiek pievienotas tādas papildvielas kā:

- Antioksidanti – tiek izmantoti, lai palēninātu oksidēšanās reakcijas, kas noris plastmasai ilgstoši uzturoties tiešā saules gaismas iedarbībā (UV starojums) vai tiekot pakļautai augstām temperatūrām (Lokensgard 2016).
- Antistatiskie līdzekļi – piesaista mitrumu no gaisa, kas padara virsmu vadošāku un izkliedē statiskās enerģijas uzkrāšanos (Lokensgard 2016).
- Triecienizturību veicinoši līdzekļi – pievieno trauslai plastmasai, kas ļauj plastmasas materiāliem uzņemt noteikta veida triecienu bez fiziskām izmaiņām.
- Krāsvielas – viena no lielākajām plastmasas piedevu kategorijām. Tās izmanto gan estētiskiem mērķiem, gan, lai mainītu produkta fizikālās īpašības, piemēram, lai palielinātu karstumizturību (Murphy 2001).
- Liesmu slāpētāji – lieto, lai kavētu liesmu izplatību un novērstu produkta uzliesmošanu (Murphy 2001).
- UV stabilizatori – saukti par gaismas absorbētājiem, darbojas, lai aizsargātu plastmasu no ultravioletās gaismas vai saules gaismas bojājumiem, tādiem kā krāsas izbalēšana, plaisāšana vai trauslums (Murphy 2001; Lokensgard 2016).
- Plastifikatori – tiek pievienots materiālam, lai tas būtu elastīgs, mīkstāks un vieglāk apstrādājams. Plastifikatori ir galvenās plastmasas sastāvdaļas, kas nosaka polimēru izstrādājumu fizikālās īpašības (Lokensgard 2016).
- Uzpūšanās līdzekļi – dažreiz sauc arī par ķīmiskiem putojošajiem līdzekļiem. Tos izmanto, lai samazinātu svaru, nodrošinātu izolāciju, uzlabotu trieciena absorbcijas īpašības vai palielinātu plastmasas elastīgumu (Murphy 2001; Lokensgard 2016).

1.3. Mikroplastmasas raksturojums

Termins “mikroplastmasa” pirmo reizi tika pieminēts 1968. gada ASV Gaisa spēku pētniecības publikācijā. Tajā laikā termins tika izmantots, lai aprakstītu plastmasas materiāla deformāciju, reaģējot uz ārēji pielikto slodzi (Crawford, Qiunn 2016).

Pirmā reize, kad pasaules iedzīvotāji uzzināja par maza izmēra plastmasas gabaliem ūdens vidē, bija 1972. gadā. Tika ziņots, ka Sargasu jūrā liels daudzums mazu plastmasas daļiņu peld ūdens virsējā slānī (Crawford, Qiunn 2016).

Līdz pat 2004. gadam mikroplastmasu dēvēja vienkārši par plastmasas daļiņām, tikai 2004. gadā publikācijā tika ieviests termina “mikroplastmasa” mūsdienīgais lietojums

(Crawford, Quinn 2016). Pēdējā pus gadsimta laikā plastmasas ražošana ir eksponenciāli palielinājusies tādā mērā, ka šobrīd mikroplastmasas daļiņas tiek uzskatītas pat par vienu no bīstamākajiem draudiem jūras videi (Crawford, Quinn 2016). Tā ne tikai ir atklāta gandrīz visās pasaules pludmalēs, bet arī peldam ūdens virsējā slānī visos okeānos. Turklāt, mikroplastmasa ir atrodama arī saldūdens ūdenskrātuvēs, nogulumos, kalnu pakājēs un pat polārajos ledājos (Crawford, Quinn 2016; Carrington 2019).

Termins “mikroplastmasa” attiecas uz jebkuru plastmasas daļiņu, kas sastāv no sintētiskiem vai daļēji sintētiskiem polimēriem, un to izmērs variē robežās no 1 μm līdz 5 mm, mērot pēc garākās ass dimensijas. Lai raksturotu plastmasas daļiņas, kas nonāk ūdens vidē, tās tiek iedalītas standartizētu izmēru kategorijās (1.1. tabula). Daļiņas, kas ir mazākas par 1 μm, dēvē par nanoplastmasu, bet daļiņas, kas lielākas par 5mm, par mezo un makroplastmasu (Crawford, Quinn 2016).

1.1.tabula

Plastmasas daļiņu dalījums standartizētu izmēru kategorijās (izstrādājusi autore, izmantojot Crawford, Quinn 2016)

Kategorija	Abreviatūra	Izmērs
Makroplastmasa	MAP	≥ 25mm
Mezoplastmasa	MEP	< 25 mm – 5 mm
Mikroplastmasa	MP	< 5 mm – 1 μm
Maza izmēra mikroplastmasa	MMP	< 1mm – 1 μm
Nanoplastmasa	NP	<1 μm

Lai gan galvenais mikroplastmasas avots ūdens vidē ir lielāku plastmasas gabalu sadalīšanās mazākos, mikroplastmasa tiek ražota arī mērķtiecīgi. Tādējādi, lai norobežotu mikroplastmasas degradējošos un rūpnieciskos avotus, tā tiek iedalīta 2 grupās – primārā un sekundārā (Crawford, Quinn 2016). *Primārā mikroplastmasa* tiek ražota tiešai izmantošanai daļiņu izmērā līdz 5 milimetriem. Primāro mikroplastmasu izmanto kā rūpniecisko izejmateriālu lielāku plastmasas izstrādājumu ražošanai (Lassen et al. 2015). Pie šīs grupas pieskaita arī sintētiskās šķiedras, no kurām tiek ražoti apģērbi. Papildus tam, pie primārās mikroplastmasas pieder arī nanoplastmasa un mikrodaļiņas (no angļu valodas - *microbeads*), kas ir nelielas sfēriskas plastmasas daļiņas izmērā no 1 μm līdz 1 mm. Tās tiek izmantotas kosmētikas līdzekļos un higiēnas precēs, kā piemēram, zobu pastā, kur mikrodaļiņas tiek izmantota zobu balināšanas nolūkos un dezodorantos, lai bloķētu poras un sviedru izdalīšanos (Crawford, Quinn 2016; Shim et al. 2018a).

Savukārt *sekundārā plastmasa* rodas pēc lielāku plastmasu izstrādājumu sadalīšanās mazākos jau pēc tās nonākšanas vidē. Pie sekundārās plastmasas grupas pieder fragmenti, kas

rodas no plastmasas pudelēm, maisiņiem, tīkliem un virvēm. Grupā ietilpt arī tekstilmateriālu šķiedras un riepas nodiluma radītas daļiņas, kas rodas plastmasas izstrādājumu degradēšanās laikā (Crawford, Quinn 2016; Shim et al. 2018a; Lassen et al. 2015).

Ūdens vidē esošajai mikroplastmasai ir daudzveidīga forma, krāsa un izmēri. Primārajai mikroplastmasai parasti ir sfēriska forma ar vienmērīgu virsmu, bet sekundārajai mikroplastmasai parasti būs nejauša forma, tāpēc to ir grūtāk klasificēt (Crawford, Quinn 2016).

Nav vienas standartizētas metodes mikroplastmasas klasificēšanai pēc formas, bet, pamatojoties uz mikroplastmasas lielumu un izskatu, kas identificēts un klasificēts laboratorijā, mikroplastmasu var iedalīt sešos veidos. (1.2. tabula) (Crawford, Quinn 2016).

1.2. tabula

Mikroplastmasas iedalījums pēc formas (izstrādājusi autore, izmantojot (Crawford, Quinn 2016))

Veids	Skaidrojums
Lodīte	Neliels sfērisks plastmasas gabals
Fragments	Neregulāras formas plastmasas gabals
Šķiedra	Plāna pavedienveida formas plastmasas gabals
Granula	Plāna pavedienveida formas plastmasas gabals
Plēve	Plāna loksne vai membrānai līdzīgs plastmasas gabals
Putuplasts	Sūkļa, putu vai putām līdzīgs plastmasas gabals

Veicot pētījumu, ir svarīgi zināt mikroplastmasas formu un izmēru, jo tā sniedz daļēju informāciju par tās izcelsmi un polimēra tipu, kas ir būtiski laboratorijā veiktajiem pētījumiem (Shim et al. 2018).

1.4. Plastmasas daudzuma samazināšanas iespējas

Plastmasa ir kļuvusi par pastāvīgu elementu cilvēku dzīvē. Lai samazinātu plastmasas patēriņu, ir jāmaina ne tikai cilvēku ieradumi, bet arī domāšanas veids. To, ka plastmasas atkritumi ir aktuāla problēma, sāk apzināties arī valsts institūcijas, kas ierosina dažādus pasākumus, lai samazinātu tās negatīvo ietekmi uz vidi (Thompson 2018; Hollaway et al. 2020).

Sākumā jāsāk ar to, ka sabiedrībai ievērojami ir jāsamazina nevajadzīgi vienreizlietojamo plastmasas izstrādājumu daudzums, ko tie patērē ikdienā. Jāturpina ar valdības ierosinātiem pasākumiem atkritumu ilgtspējīgas apsaimniekošanas nodrošināšanā, uzlabojot atkritumu pārstrādes rādītājus, nodrošinot atkritumu šķirošanas iespējas un uzlabojot savākšanas un pārstrādes sistēmas kopumā. Ilgtermiņa mērķis ir zinātniekiem izstrādāt metodes, kā plastmasu

sadalīt tās pamatvienībās, lai tās varētu pārveidot jaunās plastmasās vai citos materiālos, jo mūsdienās plastmasu, kas ir marķēta kā bioloģiski noārdāma, faktiski var sadalīt tikai specializētās iekārtās, kas to silda līdz augstai temperatūrai (Thompson 2018; Hollaway et al. 2020).

Lai samazinātu plastmasas daudzumu okeānos, tiek veikti dažādi pasākumi, kurus organizē gan valsts institūcijas, gan nevalstiskas organizācijas. Viena no lielākajām nevalstiskajām organizācijām ir “Plastic Oceans International”, kuras mērķis ir novērst plastmasas piesārņojumu un veicināt ilgtspējīgu kopienu veidošanos visā pasaulē. Šī organizācija piedalās plastmasas atkritumu samazināšanā veicot dažādus pētījumus, nodrošinot brīvprātīgo darbu, kā arī izglītojot skolēnus, studentus ar dažādu dokumentālo filmu un izglītojošu aktivitāšu nodrošināšanu skolās (Plastic Oceans S.a.).

Viens no jaunākajiem projektiem, ko veic “Plastic Oceans Europe” ir saistīts ar mikroplastmasas izpēti Vidusjūrā, veicot mikroplastmasas paraugu ievākšanu un izveidojot karti, kurā tiks identificētas vietas, kurās ir vislielākā mikroplastmasas koncentrācija, lai iegūtos datus izmantotu zinātniskiem mērķiem un apmainītos datus ar vietējām organizācijām un uzņēmumiem, lai mudinātu tās uzņemties atbildību par savu vietējo teritoriju (Paddle problems S.a.).

Savukārt, “Ocean Cleanup” ir nevalstiska organizācija Nīderlandē, kas izstrādā dažādas tehnoloģijas, lai atbrīvotu pasaules okeānus no plastmasas ar mērķi samazināt plastmasas daudzumu okeānos līdz 90%. Lai novērstu plastmasas nokļūšanu pasaules okeānos no upēm, tika izveidotas speciālas attīrīšanas iekārtas, kuras plānots novietot 1000 piesārņotākajās upēs, konkrētos stratēģiski izdevīgos punktos, lai aizturētu plastmasas atkritumu nokļūšanu okeānā un to atkritumus nogādājot pārstrādes rūpnīcās, lai iegūto peļņu varētu ieguldīt iekārtu uzlabošanai un uzturēšanai (The Ocean Cleanup S.a.).

Veicot integrētus pasākumus, kas pievēršas piesārņojumam dažādās nozarēs, var tikt veidota ilgtspējīga okeāna ekonomika, kas paplašinās ekonomiskās iespējas un uzlabos veselību un labklājību miljoniem cilvēku (Thompson 2018).

Arī plastmasas atkritumu monitoringa veikšana ir svarīgs veids, kā samazināt plastmasas nonākšanu jūrās un okeānos. No 2016. līdz 2018. gadam norisinājās projekts “BLASTIC” kur tika monitorētas četras vietas (Turku pilsēta Somijā, Sēderteljes pilsēta Zviedrijā, Tallinas pilsēta Igaunijā un Liepājas pilsēta Latvijā), lai demonstrētu, kā plastmasas atkritumi atrod ceļu no pilsētu teritorijām uz Baltijas jūru. Rezultātā projektā tika apkopoti galvenie atkritumu avoti Baltijas jūrā, kā arī izveidoti ieteikumi resursu efektīvākai izmantošanai notekūdeņu un ūdens sektorā (Plastic waste pathways.. 2021; Blastik S.a.).

Nozīmīgs mikroplastmasas avots ir notekūdeņi, taču notekūdeņu attīrīšanas iekārtas nespēj aizturēt mikroplastmasu tās izmēru dēļ, tāpēc ir svarīgi attīstīt notekūdeņu attīrīšanas sistēmas, lai samazinātu mikroplastmasas nonākšanu vidē. Kā viens no risinājumiem, kas pagaidām tiek pētīts, ir biofiltru izmantošana attīrīšanas iekārtās, kas spēj ievērojami samazināt mikroplastmasas nonākšanu vidē līdz pat 79%, taču mazākās daļiņas tiek cauri. Vienlaicīgi, attīstot tehnoloģijas, ir iespējams uzlabot notekūdeņu attīrīšanas efektivitāti (Lui et al. 2020).

Lai samazinātu mikroplastmasas daudzumu, kas nonāk notekūdeņos, 2012. gadā “The Plastic Soup” organizācija sāka “Beat the Microbead” kampaņu, aicinot ražotājus izņemt no saviem izstrādājumiem plastmasas un mikroplastmasu polimērus un citus savienojumus, kā arī veicināt patērētāju interesi neiegādāties produktus, kuru sastāvā ir mikroplastmasa, izveidojot aplikāciju, kurā var apskatīties vai konkrētās preces sastāvā nav kāda no vairāk nekā 500 mikroplastmasas sastāvdaļām, kas plaši tiek izmantotas kosmētikas un personīgās aprūpes līdzekļos (Plastic Soup Foundation S.a.).

1.4.1. Plastmasas samazināšana Latvijā

Latvija, tāpat kā visa pasaule, nav izņēmums saistībā ar pārlietu lielo plastmasas atkritumu radīšanu. Plastmasas atkārtotas izmantošanas un pārstrādes līmenis Latvijā ir ļoti zems, tāpēc, lai samazinātu plastmasas daudzumu, ir ļoti svarīgi attīstīt un ieviest aprites ekonomiku, kuras raksturīgākās problēmas pašlaik ir saistītas ar zemu darba produktivitāti, jaunāko tehnoloģiju trūkumu un atkritumu apsaimniekošanas nozari (Par Atkritumu apsaimniekošanas.. 2021).

Turpretī, lai samazinātu plastmasas izmantošanu sabiedrībā un lai samazinātu vides piesārņojumu, kā arī aktualizētu jūras vides sakoptību Latvijā, ir ieviesti dažādi regulējumi, pasākumi un akcijas saistībā ar plastmasas un mikroplastmasas ierobežošanu:

- Kopš 2019. gada tirdzniecības vietās plastmasas iepirkumu maisiņu izmantošanas iespējas patērētājiem vairs nav pieejama bez maksas (Eiropas Parlamenta.. 2019);
- Pēc Eiropas Parlamenta un Padomes direktīvas par konkrētu plastmasas izstrādājumu ietekmes uz vidi samazināšanu, sākot ar 2021. gadu visā ES un arī Latvijā būs aizliegts tirgot vienreizlietojamus plastmasas traukus un galda piederumus, izņemot glāzītes (Eiropas Parlamenta.. 2019);
- Pēc Atkritumu apsaimniekošanas valsts plāna 2021.-2028. pieejamajiem datiem, 2017. gadā no Latvijā radīto atkritumu daudzuma, plastmasas atkritumi sastādīja 12,3%, lai veicinātu plastmasas efektīvu savākšanu un otrreizēju izmantošanu, samazinātu dabas resursus, kas tiek patērēti plastmasas ražošanā, kā arī veicinātu iedzīvotāju velmi iesaistīties iepakojumu apsaimniekošanā, ar 2022. gada 1. februāri tiks uzsākta

depozīta sistēmas piemērošana dzērienu iepakojumam (Par Atkritumu apsaimniekošanas.. 2021; Par Rīcības plānu.. 2020);

- Mikroplastmasas daudzuma samazināšanai Atkritumu apsaimniekošanas valsts plāns 2021. - 2028. gadam iekļauts pasākums, kurā tiks veikta izpēte par iespējam aizliegt tādu produktu izplatīšanu tirgū, kuru sastāvā ir iekļauta mikroplastmasa (piemēram, higiēnas un tīrīšanas līdzekļi), kā arī cits pasākums, kura uzdevumā ir veikt pētījumu, lai apzinātu mikroplastmasas lietošanu un ietekmes Latvijā, pilnveidot normatīvo regulējumu, lai mazinātu ietekmi uz jūras vidi (Par Atkritumu apsaimniekošanas.. 2021);
- Strauju popularitāti Latvijā ir ieguvuši beziepakojuama tipa veikali, kopā kopš 2018. gada ir atvērti jau astoņi veikali, no kuriem daļa atrodas arī ārpus Rīgas. Beziepakojuama veikalu mērķis ir pārdod ilgtspējīgus un videi draudzīgus produktus bez plastmasas iepakojumiem, tādējādi samazinot plastmasas atkritumu daudzumu (Lūse 2019);
- Vides organizācijas izvirza tēzi, ka Baltijas jūrā ik gadu nonāk ap 40 tūkst./t mikroplastmasas, tāpēc, lai vismaz nedaudz samazinātu konkrēto skaitli, arī lielākais kosmētikas un sadzīves preču veikals Baltijā AS “Drogas” kopš 2019. gada pilnībā ir atteikies no kosmētikas un personīgās higiēnas līdzekļiem, kuru sastāvā ir mikroplastmasa (Par Rīcības plānu.. 2020; Drogas 2019);
- Ar Baltijas jūras un piekrastes sakopšanu aktīvi darbojas Latvijas Vides aizsardzības fonda izveidotā kampaņa “Mana jūra”, kurā kopš 2011. gada norisinās vasaras kampaņa, kuras laikā tiek veikts jūras piesārņojošo atkritumu monitorings un savākšana, iesaistot cilvēkus piekrastes sakopšanā un izglītošanā (Campaign "My Sea.. 2020);
- Biedrība “Baltijas krasti” piedalās PLASTEKO “Atbalsts ES reģioniem plastmasas atkritumu mazināšanai un ierobežošanai” projektā, kura mērķis ir veicināt ES plastmasas stratēģijas ieviešanu un uzlabot reģionālo vides politiku, kā arī stimulēt ekoinovācijas un zaļo izaugsmi, tā sasniedzot ilgtspējīgas attīstības mērķus vides aizsardzībā, resursu efektivitātes palielināšanā un ietekmes uz veselību mazināšanā (Arāja 2020; Plasteco S.a.).

2. MIKROPLASTMASAS NONĀKŠANA ŪDENS VIDĒ UN IETEKME UZ DZĪVAJIEM ORGANISMIEM

2.1. Plastmasas nonākšana ūdenstilpē

Katru gadu vidēji 8 milj. tonnu plastmasas nonāk okeānos. Ja netiks veikti nekādi pasākumi, paredzams, ka līdz 2030. gadam okeānā nonākošās plastmasas daudzums palielināsies līdz aptuveni 16 milj. tonnu, bet līdz 2050. gadam – līdz aptuveni 32 milj. tonnu (Crawford, Qiunn 2016). Pēc jūras atkritumu izcelsmes vietas, tos iedala 2 grupās – ūdens atkritumi un sauszemes atkritumi. *Ūdens izcelsmes atkritumi* veido tikai 20% no kopējā jūras atkritumu daudzuma, kamēr *sauzemes izcelsmes atkritumi* - 80% (Crawford, Qiunn 2016).

Ūdens izcelsmes atkritumi nonāk jūrā cilvēku darbības rezultātā, un to galvenie avoti ir komerciālie zvejas kuģi, atpūtas makšķerēšana, akvakultūra, kuģniecība, tūristu kruīzu kuģi, kravas kuģi un citas ūdens atpūtas aktivitātes (Gordon 2011).

Atkritumi var tikt izmesti jūrā tīši vai nonākt jūrā nolaidīgas rīcības dēļ, vai avāriju gadījumā. Ir aprēķināts, ka ik dienu no kuģiem tiek zaudēti vai izmesti pieci miljoni dažādu plastmasas priekšmetu, tai skaitā aptuveni 640,000 tonnas zvejas tīklu (Macfadyen, Huntington 2009). Savukārt, Pasaules Kuģniecības Padome ziņoja, ka, no 2008. līdz 2013. gadam, ik gadu tiek zaudēti aptuveni 1679 kravas konteineri, no kuriem liela daļa saturēja plastmasas izstrādājumus (Crawford, Qiunn 2016).

Sauzemes atkritumi līdz jūrai nonāk ar vēja, notekūdeņu, virszemes ūdeņu noteci vai cilvēka darbības rezultātā (Thevenon et al. 2014). Galvenie sauszemes atkritumu avoti ir, piemēram, tīša atkritumu izgāšana upē, rūpnieciskas darbības rezultātā, nepietiekami apsaimniekojot atkritumu poligonus, kā arī no pludmales apmeklētājiem (Thevenon et al. 2014).

Balstoties uz monitoringa datiem, kas iegūti Latvijas piekrastē laika periodā no 2012. līdz 2017. gadam, tika analizēti atkritumi pēc to izejmateriāla sadalījuma, un procentuāli vislielāko piesārņojumu radījuši tieši plastmasas izstrādājumi (51%), no tiem, visvairāk cigarešu filtri, plastmasas pudeles, korķi un maisiņi (Latvijas Hidroekoloģijas.. 2018).

Lai gan lielākā daļa mikroplastmasas daļiņu, kas nonāk saldūdenī galvenokārt ir no sekundārās mikroplastmasas, liels daudzums mikroplastmasas jūrā nonāk arī no primārās mikroplastmasas (Wong et al. 2020). Viens no primārās mikroplastmasas avotiem, kas nonāk ūdenī, ir saistīts ar transportlīdzekļu riepiem. Riepu nolietojums un nodilums veicina smalku putekļu un mikroplastmasas piesārņojumu. Vidējais automašīnu riepu radītais nodilums uz vienu iedzīvotāju pasaulē ir aptuveni 0,81 kg gadā. Lai gan emisiju daudzums vidē ir atkarīgs

no ceļa seguma un mašīnas riepu tipa, tiek lēsts, ka 10% riepu nodilumu daļiņas nonāk okeānā (Waldschläger et al. 2020).

Galvenais primārās mikroplastmasas nonākšanas ceļš jūras vidē ir caur kanalizācijas caurulēm un notekūdeņu attīrīšanas iekārtām, turklāt tikai aptuveni 20% no pasaules notekūdeņiem tiek attīrīti pirms to novadīšanas ūdenstilpē (United Nations 2018).

Mikroplastmasas daļiņas, kas tiek pievienotas personīgās higiēnas līdzekļiem un kosmētikai, lai uzlabotu produktu stabilitāti, ir tik maza izmēra, ka tās tiek cauri notekūdeņu attīrīšanas iekārtām un nonāk jūrā (Waldschläger et al. 2020). Apvienotajā Karalistē, 2015. gadā veiktajā pētījumā, 1,1 milj. sieviešu izmantoja ķermeņa skrubjus, kuru sastāvā ir mikroplastmasa, katru reizi izmantojot aptuveni 5 ml. Pētījuma rezultāti uzrādīja, ka vienā izmantošanas reizē mikroplastmasa daļiņu skaits bija no 4600 līdz 94500 un aptuveni 75% no tām netiek aizturētas attīrīšanas iekārtās (Abbing 2019).

Ja pēc kosmētikas līdzekļu izmantošanas, kuru sastāvā ir nanoplastmasa un mikrodaļiņas (*microbeads*), seja tiek nomazgāta ar mitrajām salvetēm, mikrodaļiņas var nonākt vidē, jo izmantotās salvetes patērētāji mēdz noskalot tualetes podā. Tādējādi, tās vēlāk nonāk kanalizācijā, kur mikroplastmasas daļiņas viegli atdalās no salvetēm un tiek izfiltrētas cauri attīrīšanas iekārtām (Crawford, Qiunn 2016).

Bez kosmētikas un personīgās higiēnas produktiem, liels daudzums mikroplastmasas nonāk jūrā pateicoties apģērbu ražošanā izmantotajām sintētiskajām šķiedrām (Crawford, Qiunn 2016). 2017. gada *European Mermaids Life+* veiktajā projektā par sintētisko apģērbu, kas sver piecus kilogramus, tika secināts, ka vienā mazgāšanas reizē izdalās no 600 tūkst. līdz pat 17,7 milj. šķiedru, kas atbilst 0,43-1,27 gramiem (Abbing 2019).

Vēl viens veids, kā mikroplastmasa nonāk jūras vidē, ir saistībā ar notekūdeņu dūņu izmantošanu. Pētījumos konstatēts, ka vidēji no 1000 līdz 20 000 mikroplastmasas daļiņu uz kilogramu (sausmasa) tiek atrasts notekūdeņu dūņās. Eiropā, rēķinot uz miljonu iedzīvotāju, ik gadu vidē, izmantojot apstrādātas notekūdeņu dūņas lauksaimniecībā, nonāk no 125 līdz 850 tonnu mikroplastmasas (Zubris, Richards 2005). 2008. gadā atkritumu poligonos un lauksaimniecībā izmantojamajās zemēs, mēslojuma veidā, kopā nonāca aptuveni 70% no Eiropā atkārtoti izmantotajām notekūdeņu dūņām (Fyteli, Zabaniotou 2008). Dūņām ir iespējami dažādi izkliedes ceļi, nogulsnētās notekūdeņu dūņas var tikt aizskalotas no atkritumu poligoniem un izplatītas apkārtējā vidē. Mēslojot laukus ar notekūdeņu dūņām, vējš un lietus iedarbojas uz augsnes virsmu, un var izraisīt mikroplastmasas tālāku izplatīšanos un nonākšanu ūdens vidē (Nizzetto et al. 2016; Zubris, Richards 2005).

Šobrīd ES notekūdeņu dūņu izmantošanu lauksaimniecības nozarē tiek regulēta ar smago metālu ierobežojumiem. Vairākas valstis ir pieņēmušas stingrākus ierobežojumus direktīvā ieskaitot tajā vēl citus smagos metālus, sintētiskos organiskos savienojumus, kā arī mikrobioloģisko piesārņojumu, bet neviena valsts līdz šim nav noteikusi robežvērtības attiecībā uz mikroplastmasas saturu notekūdeņu dūņās (Waldschläger et al. 2020).

2.2. Mikroplastmasas ietekme uz jūras faunu

Lielākos jūras organismus, kā putnus, rāpuļus un zīdītājus parasti apdraud tieši lielāka izmēra plastmasas atkritumi, tiem visbiežāk sapinoties zvejas tīklos, auklās, virvēs un citos plastmasas atkritumos, kas ietekmē to spēju kustēties, baroties, un noved pie brūču iegūšanas vai organismu aiziešanu bojā (Welden 2020).

Tā kā mikroplastmasas piesārņojuma apjoms jūras vidē palielinās, arī tā ietekme uz jūras organismiem palielinās. Lai noteiktu mikroplastmasas uzturēšanos jūras vidē, ir svarīgi saprast mikroplastmasas bioloģisko mijiedarbību ar jūras faunu (Lassen et al. 2015).

Novēroto mikroplastmasas bioloģisko iedarbību var iedalīt dažādās organismu kategorijās, piemēram, zooplanktons, bentosa organismi, zivis, zīdītāji un jūras putni (Eerkes et al. 2015). Visbiežāk jūras organismi tiek pakļauti riskam uzņemt plastmasas atkritumus tos norijot. Atkritumus var uzņemt tieši, noturot tos par barību, vai sekundāri – apēdot medījumu, kura organismā jau atradusies plastmasa (Kühn et al. 2015).

Zooplanktons barību uzņem filtrējot, tādējādi nejauši uzņemot arī mikroplastmasas daļiņas. Pēc vairākiem pētījuma datiem, visvairāk mikroplastmasa ir novērota airkājvēžu apakšklasē. 2013. gadā Anglijā, Plimutā tika veikts eksperiments, kurā 18 airkājvēžus ievietoja petri trauciņos, kuros tika ievadītas fluorescējošas poliestera lodītes. Eksperimenta beigās 77% organismu gremošanas traktā novēroja fluorescējošo plastmasu (Cole et al. 2014). Turklāt plastmasas daļiņas var tik adsorbētas arī uz zooplanktona bioloģiskajām virsmām. Šī adsorbēcija izraisa ietekmi uz citiem organismiem, piemēram, ietekmē aļģu fotosintēzi (Lassen et al. 2015).

Vairākos citos pētījumos ir novērtēta mikroplastmasas daļiņu ietekme uz *bentiskajiem organismiem*, kur, sajaucot mikroplastmasu ar barību, tika novērota dažu bentosa organismu enerģētisko rezervju, barošanas aktivitātes, auglības, izdzīvošanas un attīstības samazināšanās (Auta et al. 2017).

Savukārt, *jūras putniem*, uzņemot barību, bieži barības sastāvā ir arī plastmasa. Piemēram, vienā no veiktajiem pētījumiem no 230 novājinātiem mazo alku putnu sugas īpatņiem 30,4% putnu bija norijuši plastmasu, no kuras 64% bija mikroplastmasa (Welden 2020).

Plastmasas piesārņojuma sekas var konstatēt arī lielajos *jūras zīdītājos*. Tā 2019. gadā Vidusjūrā, pie Sardīnijas salas tika atrasts beigts kašalots, kura kuņģī konstatētais plastmasas daudzums sasniedza 22 kg. Bez tam, tieši mikroplastmasa pirmo reizi tika konstatēta Īrijas ziemeļu un rietumu piekrastē atrastā *Mesoplodon mirus* vaļa sugas organismā. Vaļa liemenī vidējais mikroplastmasas daļiņu izmērs bija 2,16 mm, bet vislielākā mikroplastmasas uzkrāšanās (38%) bija vaļa kuņģī (Lusher 2015).

Lai gan tieša mikroplastmasas daļiņu ietekme uz jūras un saldūdens organismiem lielākoties nav zināma, ir veikti pētījumi laboratorijās, kas norāda uz mikroplastmasas iespējamo ietekmi. Piemēram, mikroplastmasa var izraisīt oksidatīvo un patoloģisko stresu, reproduktīvos traucējumus, samazināt organismu imūnās funkcijas, kā arī izraisīt zivīm aknu toksicitāti un lipīdu uzkrāšanos aknās (Auta et al. 2017; Guzzetti 2018).

3.VEIKTIE PĒTĪJUMI PAR MIKROPLASTMASAS KONCENTRĀCIJĀM SEDIMENTOS

3.1. Mikroplastmasas sadalīšanās un akumulācija jūras vidē

Kad plastmasa nonāk ūdens vidē, tās sadalīšanās un akumulācija galvenokārt ir atkarīga no tās blīvuma. Polimēru daļiņas, kuru blīvums ir lielāks par jūras ūdens blīvumu ($1,025 \text{ g cm}^3$) nogrimst, tikmēr daļiņas, kuru blīvums ir mazāks, atradīsies ūdens kolonnā (Shim et al. 2018a).

Tāpēc, piemēram, augsta un zema blīvuma polietilēna, kā arī polipropilēna daļiņas ir peldošas, bet smagie polimēri – polietilēntereftelāts, polistirols un polivinilhlorīds ir grimstoši, izņemot gadījumus, kad polimēros ir ieslodzīts gaiss (putuplasts) (3.1. tabula) (Shim et al. 2018a). Plastmasas nogrimšanu veicinošs faktors ir arī apaugums ar bioloģisko materiālu - mikroorganismiem, augiem, aļģēm (no angļu valodas – *biofouling*), kas palielina mikroplastmasas daļiņas kopējo svaru un veicina tās grimšanu (Bergmann et al. 2015).

3.1. tabula

Izplatītāko polimēru blīvumu sadalījums (izstrādājusi autore, izmantojot Enders et al. 2015; Shim et al. 2018a)

Polimēra veids	Blīvums (g/cm^3)
Jūras ūdens	1,025
Polipropilēns (PP)	0,85-0,92
Zema blīvuma polietilēns (LDPE)	0,89 –0,93
Augsta blīvuma polietilēns (HDPE)	0,94–0,98
Polistirols (PS)	1,04–1,06
Polivīnhlorīds (PVC)	1,20-1,45
Polietilēntereftelāts (PET)	1,38–1,41

Daļiņu akumulācijas ātrumi ļoti atšķiras atkarībā no tādiem faktoriem kā pilsētas aktivitāšu tuvums, krasta un piekrastes izmantošana, vēja un okeāna straumes.

Lai gan plastmasa ir noturīga, tā var tikt degradēta dažādu faktoru ietekmē. Būtiska loma plastmasas degradācijā ir dabiskajiem vides apstākļiem, piemēram, saules gaismai, temperatūrai un skābeklim. Plastmasas daļiņu sadalīšanās ātrums lielākoties ir atkarīgs no atrašanās vietas. Peldošo mikroplastmasu vairāk ietekmē fotodegradācija, jo saules stari tieši ietekmē plastmasu un tās ķīmiskās transformācijas procesus. Fotodegradācijas ātrumu palielina augstāka temperatūra un mitrums, kā arī paaugstināts UV starojuma līmenis, kam ir galvenā loma plastmasas degradācijā (Bergmann et al. 2015; Shim et al. 2018a). UV gaismu ātri absorbē

ūdens, arī skābekļa daudzums jūrā ir zemāks, tāpēc plastmasa ūdenī degradējas daudz lēnāk nekā uz sauszemes.

Neskaitot fotodegradāciju, plastmasas sadalīšanās var noritēt arī hidrolīzes un termālās degradācijas ietekmē, kas ir process, kas norit augstā temperatūrā, arī termooksidatīvā degradācijā, kur plastmasas lēna sadalīšanās noris mērenā temperatūrā un biodegradācijā (Andrady 2011). Plastmasas degradācijas ātrums ir atkarīgs arī no polimēra tipa, piedevām un pildvielām (Bergmann et al. 2015).

Savukārt biodegradācijas ātrums ir atkarīgs no plastmasas molekulmasas. Plastmasa ar zemāku molekulmasu vieglāk un ātrāk sadalās bioloģiski baktēriju un sēnīšu iedarbībā. Turpretī tādas lielmolekulāras plastmasas kā polietilēns (PE) un polistirols (PS) ir izturīgas pret bioloģisko noārdīšanos (Shim et al. 2018a).

Veids kā plastmasa var nonākt līdz jūras gultnei, neskatoties uz tās mazo blīvumu un lēno grimšanu, ir pateicoties jūras sniegam (no angļu valodas - *marine snow*), kas sastāv no mirušām fitoplanktona šūnām, fekālijām, smilšu vai māla daļiņām, kas kopā ar mikroplastmasu rada pietiekamu daļiņu blīvumu, lai nogrimtu jūras dibenā (Van Cauwenberghe et al. 2013).

3.2. Pasaulē veiktie pētījumi par mikroplastmasas koncentrācijām sedimentos

Pēdējā desmitgadē strauji ir palielinājies pētījumu skaits par mikroplastmasas izplatību ūdens vidē. Pētījumi galvenokārt tiek veikti ūdens virsējā slānī vai ūdens kolonnā, tomēr aizvien vairāk pētījumu par mikroplastmasas koncentrācijām tiek veikti arī sedimentos (Shim et al. 2018a).

Piemēram, pētījums par mikroplastmasas koncentrācijām Klusā okeānā sedimentos norāda uz to, ka mikroplastmasas piesārņojums nav tikai piekrastēs – virsējos slāņos un ūdens kolonnā, bet arī piegrunts slānī, un mikroplastmasas piesārņojums ir novērojams pat dziļākajās okeāna vietās (Shim et al. 2018a; Van Cauwenberghe et al. 2013). Tā 2018. gadā, Klusā okeāna rietumu daļā veiktajā pētījumā, 15 vietās tika ievākti sedimentu paraugi dziļumā no 4601 līdz 5732 metriem. Rezultāti uzrādīja, ka vidējais mikroplastmasas daudzums no visam paraugu ievākšanas vietām bija 240 daļiņas uz kilogramu (sausmasa). No tiem dominējošais mikroplastmasas veids bija šķiedras (45%) un plēve (30%), kuru visizplatītākās krāsas bija zila (45%) un sarkana (27,5%). Dominējoši polimēri bija PP (40%) un PET (27,5%) (Zhang et al. 2020).

Šajā pētījumā novērotā mikroplastmasas piesārņojuma līmenis Klusā okeāna rietumu dziļūdens sedimentos ir tikpat augsts kā piejūras nogulumos, secinot, ka mikroplastmasas jau ir nopietns piesārņojums arī dziļajā okeānā (Zhang et al. 2020).

Savukārt Dzeltenās jūras dienvidu daļā un Austrumķīnas jūras piekrastes daļā 2017. gadā no 25 paraugu ņemšanas stacijām tika ievākti sedimentu paraugi 10 cm virskārtā. Kopumā tika ievākti 51 paraugi, kuru rezultāti parādīja, ka vidējais mikroplastmasas daudzums Dzeltenās jūras piekrastes dienvidu daļā bija $15,5 \pm 6,1$ daļiņas un Austrumķīnas jūras piekrastē $14,2 \pm 3,8$ daļiņas uz 100 g^{-1} (sausmasa), no kurām 77 % bija šķiedras. Biežāk sastopamie polimēri bija celofāns (37%), PET (22 %) un PE (18%) (Zhang et al. 2018).

Arī citviet pasaulē veiktajos pētījumos izplatītākais mikroplastmasas veids bija šķiedras, piemēram, Vankūveras salas piekrastē - 91%, Venēcijas lagūnā - 86%, Beringu un Čukču jūras piekrastē - 64,4%, kuru galvenais avots jūras vidē ir tekstilmateriāli un zvejas rīki (Zhang et al. 2020).

3.3. Baltijas jūrā veiktie pētījumi par mikroplastmasas koncentrācijām sedimentos

Baltijas jūras pētniecībā mikroplastmasas piesārņojums ir relatīvi jauna joma. Baltijas jūrā uzmanība galvenokārt tiek veltīta tieši piekrastes piesārņojumam ar makroplastmasu, lai gan pēdējo gadu laikā tiek veikti aizvien vairāk pētījumi, kas saistīti ar mikroplastmasu un tās izplatību gan ūdens virskārtā un kolonnā, gan dzīvajos organismos un sedimentos (HELCOM 2018).

3.3.1. Mikroplastmasas pētījumi piekrastē

Kopumā ir daudz dažādu datu par mikroplastmasas piesārņojumu tieši piekrastēs. Pēc Baltijas jūras reģiona monitoringa datiem, piekrastē izplatītākais atkritumu veids ir plastmasa. Lielākais plastmasas atkritumu blīvums novērojams Botnijas jūras, Somu līča un Baltijas jūras ziemeļu piekrastē. Krasta līnijas forma, vēja virziens un ūdens straumes nosaka, kur plastmasas visvairāk akumulēsies piekrastes zonā (HELCOM 2018).

Piemēram, mikroplastmasas sastopamība tika pētīta Baltijas jūras dienvidu daļā gar Polijas piekrasti. Pētījuma mērķis bija novērtēt mikroplastmasas daudzumu 12 pludmalēs, kas atšķiras pēc tūrisma izmantošanas intensitātes un antropogēnā spiediena. Par pētījuma vietām tika izvēlētas ostas, zvejas ostas, lielpilsētas un divas pludmales, kuras atradās nacionālajos parkos, t.i., teritorijās, kuras ir īpaši aizsargājamas. Paraugi tika ievākti 100 m zonā ik pēc 50 m ar metāla rāmi, kas tika iestumts sedimentos un augšējā 5 cm virskārta paņemta ar metāla karoti. Visās apsekotajās pludmalēs tika konstatēta mikroplastmasa (vidējais daudzums 160 ± 86 daļiņas uz kg sauso sedimentu), no kuras dominantais veids bija šķiedras. Divās kūrorta pilsētu pludmalēs tika reģistrēta augstākā mikroplastmasas koncentrācija (295 ± 182 un 288 ± 192 daļiņas uz kg sauso nogulumu), kas liecina par iedzīvotāju augstā blīvuma un piekrastes infrastruktūras ietekmi. Mikroplastmasas koncentrācija nacionālajos parkos (98 ± 44 un $100 \pm$

40 daļiņas uz kg sauso nogulumu) kā jau gaidāms bija mazāka nekā pārējās pludmalēs (Urban-Malinga et al. 2020).

Savukārt pētījumā Vācijā, no Ķīles līča piekrastes (Baltijas jūras rietumdaļa), tika ievākti sedimentu paraugi no trīs vietām. Pirmo vietu intensīvi izmanto pludmales apmeklētāji, otrā atrodas tuvumā rūpnīcas notekūdeņu ievadīšanas vietai un trešā vieta ir piesārņota ar liela izmēra plastmasas atkritumiem. Vietā, kas atradās tuvu rūpniecības notekūdeņu ievadīšanas vietai, kā arī pludmalē, kurā apgrozās intensīva cilvēku plūsma, tika atrastas attiecīgi 1,8 un 4,5 daļiņas uz kg sausmasu, bet vietā, kur jau bija sastopami lieli plastmasas atkritumu daudzumi, mikroplastmasas daļiņu skaits sasniedz līdz 30,2 daļiņām uz kg sausmasu, kas norāda uz to, ka plastmasas atkritumu vieta ir būtisks mikroplastmasas avots Baltijas jūras rietumu piekrastē (Schröder et al. 2021).

3.3.2. Mikroplastmasas pētījumi sedimentos

2015. gadā Baltijas jūras dienvidaustrumu daļā pie Baltijas šauruma tika ievākti paraugi no 7 stacijām, kas izvietotas līdz pat 13 kilometru attālumā no krasta. Paraugu ņemšanas vietās ūdens dziļums bija no 3 līdz 30 metriem. Analizējot paraugus, secināts, ka mikroplastmasa atradās visos ievāktajos paraugos un ar vidējo koncentrāciju 34 ± 10 daļiņas uz kilogramu (sausais svars), no kurām lielāko daļu veidoja šķiedras, kuru koncentrācija, attālinoties no krasta, lēnām samazinājās. Iespējamie piesārņojuma avoti ir tuvumā esošie uzņēmumi, rūpnīcas, notekūdeņu attīrīšanas stacijas un ostas, kā arī Vislas lagūnu intensīvi izmanto kuģošanai un makšķerēšanai (Zobkov, Esiukova 2017).

2017. gadā tika veikts vēl viens mikroplastmasas pētījums Baltijas jūrā, kur tika salīdzināts mikroplastmasas daudzums, kas ņemts no pludmales sedimentiem un jūras gultnes sedimentiem. Paraugi no jūras gultnes sedimentiem tika savākti ņemot virskārtu (0-2,5 cm) no četrām seklām stacijām (11-18 m dziļumā) un divām dziļūdens stacijām (70-106 m dziļumā).

Turpretī pludmales paraugi tika ņemti no ļoti urbanizētas Gdaņskas līča piekrastes kāpu pludmales un pie atklātās jūras, kur savukārt antropogēnā slodze ir neliela. Paraugi tika ievākti izmantojot metāla gredzenu (10 cm diametrā) ievācot virsējo 2,5 cm slāni. Pētījuma rezultāti uzrādīja, ka mikroplastmasu koncentrācija svārstījās no 25 daļiņām uz kg (sausmasa) atklātā jūras krastā līdz 53 daļiņām uz kg (sausmasa) spēcīgi urbanizētās līča pludmalēs. Gultnes nogulumos mikroplastmasu koncentrācija bija acīmredzami mazāka salīdzinājumā ar jūras gultnes nogulumiem 0 –27 daļiņas kg (sausmasa) un samazinājās no krasta līdz atklātiem dziļjūras reģioniem. Arī šajā pētījumā izplatītākais plastmasas veids izrādījās bezkrāsainas šķiedras un izplatītākais polimēra veids – poliesters (Graca et al. 2017).

4. MATERIĀLI UN METODEDES

4.1. Baltijas jūras un Rīgas līča raksturojums

Baltijas jūra ir iekškontinentāla jūra, kuru ar Ziemeļjūru saista trīs sekli jūras šaurumi (Aigars, Veidemane 2018).

Savukārt Rīgas līcis ir salīdzinoši sekla un izolēta ūdenstilpe, kas atrodas Baltijas jūras austrumu daļā starp Igauniju un Latviju, un tā virsmas platība ir aptuveni 16330 km². Līci no Baltijas jūras atdala Monzunda arhipelāgs un Kurzemes pussala (Kotta et al. 2008).

Galvenie faktori, kas veicina ūdens apmaiņas intensitāti starp Rīgas līci un Baltijas jūru, ir Rīgas līča saldūdens budžets, kas rodas vēja, ūdens līmeņa un atmosfēras spiediena izmaiņu rezultātā, kā arī pastāvīgās straumes Irbes šaurumā (Latvijas Hidroloģijas.. 2012). Galvenā ūdens apmaiņa Rīgas līcī notiek caur Irbes šaurumu (70-80%) un tikai neliela daļa caur Muhu šaurumu 20-30% (Latvijas Hidroloģijas.. 2012).

Rīgas līci ietek piecas relatīvi lielas upes – Daugava, Gauja, Lielupe, Salaca un Pērnavas, kuras, vidēji gadā, līcī ienes 32 km³, no tiem aptuveni 78% ienes Daugava. Piesārņojošās vielas ilgi atrodas Baltijas jūras ekosistēmā, jo tās netiek izkliedētas ūdens tilpumā lēnas ūdens apmaiņas dēļ (Kotta et al. 2008; Aigars, Veidemane 2018).

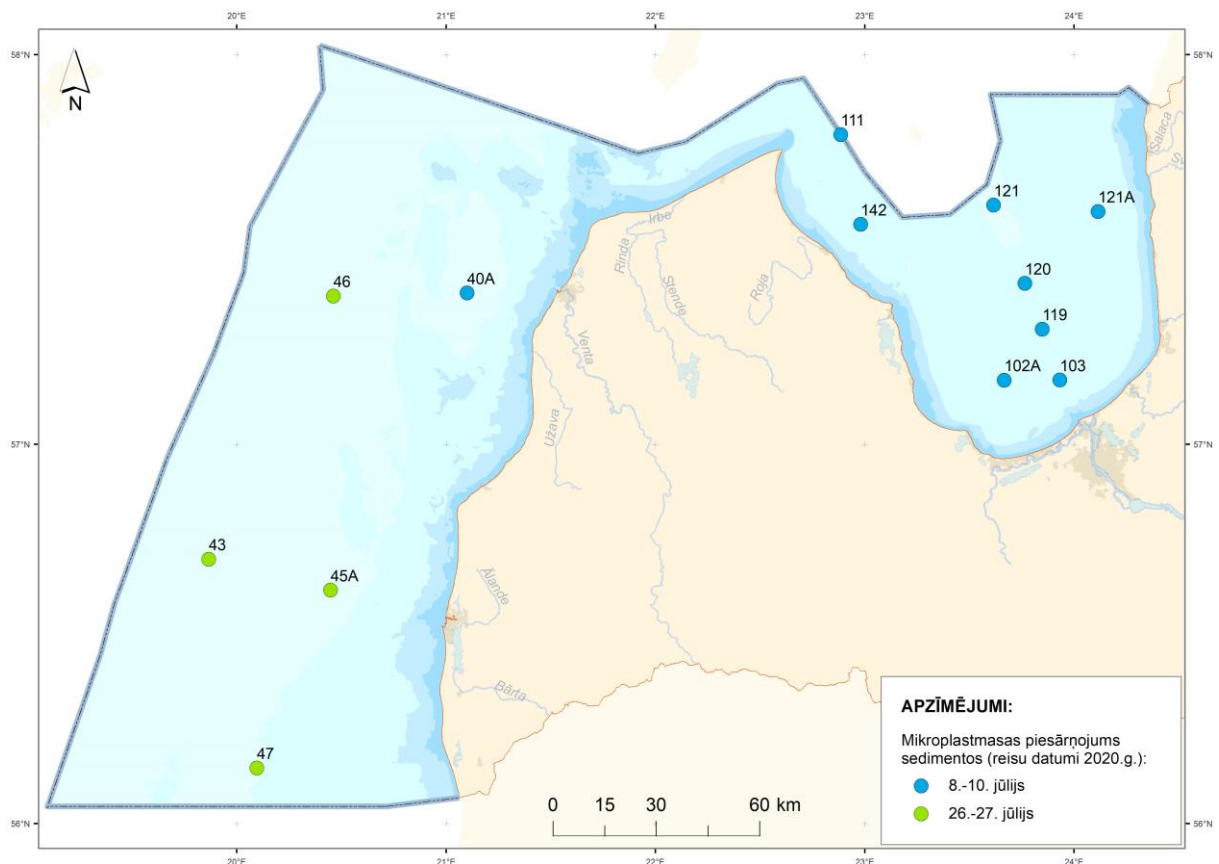
Baltijas jūrai ir izteikts sāļuma gradients. Tās ūdens sāļums augšējos slāņos ir mazāks nekā apakšējos slāņos, kas galvenokārt ir atkarīgs no Ziemeļjūras ieplūstošā ūdens biežuma un daudzuma (Aigars, Veidemane 2018).

Rīgas līcī ir salīdzinoši mazs ūdens sāļums, ko nosaka ierobežotā ūdens apmaiņa ar atklāto Baltijas jūras daļu un tas, ka ūdens no Rīgas līča izplūst vairāk nekā ieplūst, un palielināta saldūdens pieplūde no upēm, kas izteikta tieši līča dienvidu daļā, kur līcī ieplūst aptuveni 86% no kopējās upju noteces, tāpēc līcim ir raksturīgs sāļuma gradients, kas samazinās virzienā no Irbes šauruma uz līča dienvidu daļu. Vidējā sāļuma koncentrācija 0-10 m slānī svārstās no 3,33‰ Rīgas līča dienvidu daļā līdz 6,84‰ Baltijas jūras centrālajā daļā, un tā mainās atkarībā no upju noteču apjoma konkrētā gadalaikā. (Aigars, Veidemane 2018; Latvijas Hidroekoloģijas.. 2012).

Atšķirībā no Baltijas jūras, Rīgas līcim nav izteikta sāļuma atšķirība starp virsējiem un apakšējiem slāņiem. Baltijas jūras ūdens, kas ieplūst Rīgas līcī ir tikai nedaudz sāļāks par to, tādējādi ūdens slāņi var sajaukties un neveidojas haloklīns (Aigars, Veidemane 2018; Latvijas Hidroekoloģijas.. 2012).

4.2. Novērojumu staciju izvēle un paraugu iegūšana

Tika ievākti 13 paraugi (4.1. attēls), no kuriem astoņi bija Rīgas līcī posmā no Daugavas ietekmes ietekmes zonas virzienā uz Rīgas līča centrālo daļu un Irbes šaurumu, un pieci Baltijas jūras Austrumgotlandes baseinā. Paraugu ņemšanas vietas Rīgas līcī izvēlētas, lai nosegtu tā teritoriju un attēlotu iespējamo piesārņojuma gradientu, un Austrumgotlandes baseinā, lai identificētu dažādu rajonu atšķirības (4.1. attēls). Paraugi tika ievākti vienu reizi, jo sedimentu akumulācijas laiks ir ilgs un paraugu ievākšanu nav nepieciešams veikt atkārtoti vienas vasaras sezonā. Paraugi tika ievākti 2020. gada 8.-10. jūnijā un 26.-27. jūnijā, izmantojot Tallinas Tehnoloģiju universitātes zinātniskās izpētes kuģi SALME. Sedimentu paraugi tika ievākti ar Kajak tipa sedimentu paraugu ņēmēju (no angļu valodas – *Kajak sediment corer*). Paraugu ievākšanas laikā tika reģistrēti arī dati par konkrēto paraugu ievākšanas vietu dziļumiem (1. pielikums).



4.1.attēls. Mikroplastmasas paraugu ieguves stacijas Latvijas jurisdikcijas ūdeņu Austrumgotlandes baseina un Rīgas līča sedimentos (LHEI arhīvs 2021)

4.3. Mikroplastmasas paraugu sagatavošana un analīze

4.3.1. Paraugu apstrādes metodes aprobācija

Šobrīd publicētos pētījumos ir izmantots plašs spektrs paraugu apstrādes metožu, turklāt to aprakstos ne vienmēr ir iekļautas būtiskas detaļas. Tāpēc, pirms uzsākt paraugu apstrādi, tika

veikta paraugu apstrādes metodes aprobācija, kuras laikā tika testēta dažādu paraugu apstrādes posmu ietekme uz iegūstamajiem rezultātiem.

Sākotnēji tika noteikts piemērotākais dalāmās piltuves tilpums, kurā veikt mikroplastmasas ekstrakciju no sedimentiem atbilstoši izvēlētajam paraugu apjomam un ekstrahēšanas atkārtojumu skaits. Priekšizpēte tika veikta, lai novērstu iespējamo mikroplastmasas daļiņu zudumu blīvumseparācijas procesa laikā. Tika izveidoti trīs kontroles paraugi (K_1 , K_2 , K_3), katrs ar atšķirīgu dalāmās piltuves izmēru, kurus veidoja 100 standartizētas polistirola lodītes ar diametru 100 μm kopā ar 50 ml sedimentu. Pēc katras blīvumseparācijas paraugs tika nofiltrēts uz stikla šķiedras filtra, reģistrējot lodīšu skaitu un to iespējamās deformācijas (2. pielikums). Kontroles paraugi palīdzēja izvēlēties atbilstošāko šķirpiltuves tilpumu paraugu apstrādei – 1000 ml –, un blīvumseparācijas atkārtošānu trīs reizes.

4.3.2. Izmēru grupas noteikšana

Lai izlemtu, kāds ir mazākais piemērotākais daļiņu izmērs līdz kuram analizēt paraugus, viens testa paraugs tika apstrādāts, ievērojot tādu pašu paraugu apstrādes veidu kā turpmākajiem paraugiem, bet nofiltrējot uz 10 mikronu metāla filtra. Daļiņu augšējā izmēra robeža tika nofiksēta, izfiltrējot to caur 100 μm sietu. Paraugs tika saglabāts etanolā, izžāvēts līdz 5 ml un nosūtīts uz μFTIR analīzi Tallinas Tehnoloģiju universitātē, lai noteiktu katrā izmēru grupā sastopamās mikroplastmasas daļiņas.

4.3.3. Paraugu sagatavošana

Paraugi pēc to ievākšanas tika uzglabāti aptuveni $+6^\circ\text{C}$ temperatūrā stikla burkā ar metālu vāku. Lai iegūto rezultātu varētu izteikt masas mērvienībās pirms paraugu apstrādes uzsākšanas katram no tiem tika paņemts apakšparaugs ūdens satura noteikšanai. Sākumā tika nosvērta vārglāze, kurā ievietoja aptuveni 5 g apakšparauga un atkārtoja vārglāzes un parauga svēršanu. Nosvērtais apakšparaugs tika žāvēts $\sim 50^\circ\text{C}$ temperatūrā. Kad paraugs bija izžuvis, tas kopā ar vārglāzi tika atkārtoti nosvērts un aprēķināta sedimentu slapjā/sausā svara proporcija.

Lai izvairītos no paraugu piesārņošanas, to apstrādes laikā tika vilkts kokvilnas vai lina halāts, un paraugu apstrādei tika izmantoti tikai metāla vai stikla trauki, kas pirms to lietošanas tika 3 reizes noskaloti ar destilētu ūdeni. Lai pēc iespējas vairāk samazinātu fona piesārņojumu, kad paraugi netiek apstrādāti, tie tika nosegti ar folija loksni.

No katra mikroplastmasas parauga tika paņemti 2x50 ml apakšparaugi. Šīs divas daļas (I un II) tika apstrādātas paralēli. Mikroplastmasas ekstrahēšanai no sedimentiem tika izmantota blīvumseparāciju ar paaugstināta blīvuma šķīdumu. Katram paraugam blīvumseparācija tika

atkārtota trīs reizes (4.2. attēls). Pēc katras sedimentu separācijas, parauga augšējo daļu nofiltrējot caur 10 µm metāla filtru, paraugu daļu, kas sakrājusies uz filtra, ieskalojot vārglāzē. Lai pārliccinātos, ka uz filtriem nepaliek plastmasas daļiņas, filtri tiek sonicēti un vēlreiz ieskaloti pie konkrētā parauga.

Lai paraugu attīrītu no organiskajiem piemaisījumiem, tika izmantota organiskā materiāla nograušana ar ūdeņraža peroksīdu (H₂O₂) metode. Paraugam tika pievienots 15 % H₂O₂ attiecībā 1:1 un ievietots ūdens vannā +50°C temperatūrā, maisot 100 rpm uz 24 stundām. Pēc šī soļa I apakšparaugs tika nofiltrēts uz stikla šķiedras filtriem (poru izmērs 0,7 µm) tālākai vizuālai analīzei.

Savukārt II parauga daļa tika filtrēti caur 50 µm metāla filtru. Daļiņas, kas atradās uz filtra tika ieskalotas vārglāzē, filtrs nosonicēts un vēlreiz noskalots. Paraugi tika ieskaloti 30 ml viālā un apskatīti invertajā mikroskopā secinot, ka paraugos pēc H₂O₂ metodes pielietošanas ir palicis daudz organisko piemaisījumu. Tāpēc metodes aprobācijai paraugu apstrāde tika papildināta ar enzimatiskās degradācijas metodi. Lai atbrīvotos no organiskajiem materiāliem, paraugi tālāk tika apstrādāti izmantojot četrus dažādus enzīmus un tiem atbilstošus buferšķīdumus.

Sākumā paraugiem tika pievienots 300 ml TRIS buferšķīduma (pH 8,2) un 0,5 ml proteāzes enzīma, ievietojot tos uz 48 stundām ūdens vannā +50°C temperatūrā, maisot pie 100 rpm. Ferments nograuj proteīna ķēdes un pārveido tās par viegli izšķīdināmiem peptīdiem, tādējādi iedarbojoties un planktonu un šūnu atliekām (Löder et al. 2017). Tālāk paraugiem tika pievienots 300 ml acetātbufera šķīdums (pH 4,8) un 0,5 ml celulāzes, 0,5 ml vizkozīma un 0,1 ml hitināzes šķīdumi, ievietojot tos uz 48 stundām ūdens vannā +50°C temperatūrā, maisot pie 100 rpm.

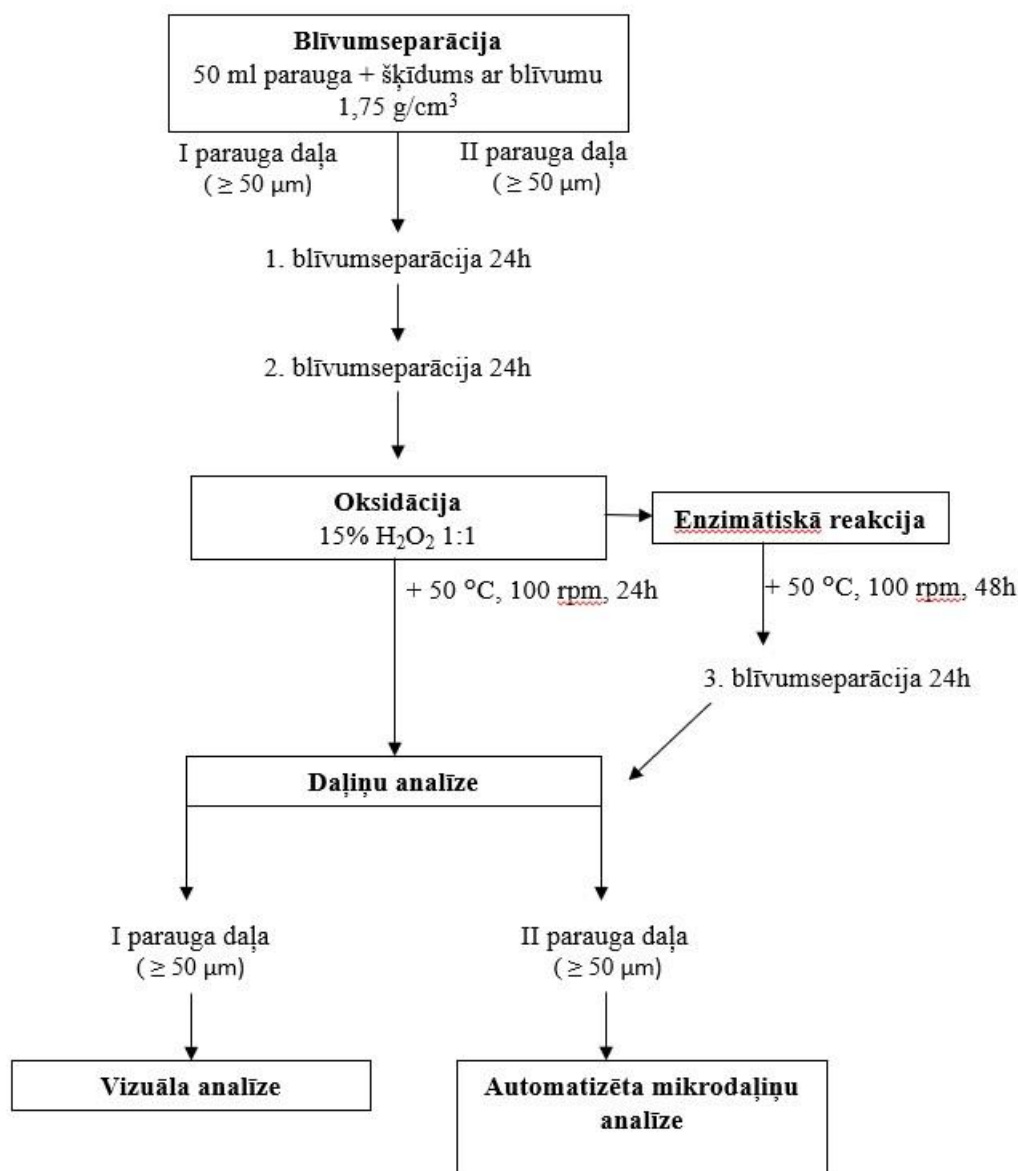
Celulozes ferments ir atbildīgs par celulozē esošo β-1,4-saišu hidrolīzi, to izmanto, lai noārdītu fitoplanktona šūnu sienu un citu augu atliekas. Ņemot vērā celulozes struktūru, ir nepieciešams lietot vairākus enzīmus, lai to noārdītu, tāpēc papildus celulozes fermentam klāt tiek pievienots arī Viskoziāms L, kura galvenais ferments ir celuloze, un tas pastiprina enzimatisko iedarbību (Löder et al. 2017).

Pēc paraugu apstrādes ar enzīmiem, lai pilnībā atbrīvotos no smilšu graudiņiem, tika veikta 3. blīvumseparācija.

Pēc blīvumseparācijas, paraugi atkal tika nofiltrēti filtrēšanas iekārtā. Paraugiem tika pievienots 50% etanols un ievietoti žāvskapī, +50°C temperatūrā, līdz tie izzūst līdz ~ 15 ml, tad paraugs ar 50% etanolu tika ieskalots 30 ml viālā, un žāvēšana turpināta līdz 10 ml, pēc tam

viāls tika aizvākots un novirzīts automatizētai mikroplastmasas daļiņu noteikšanai izmantojot μ FTIR.

Paralēli paraugu apstrādei, lai noteiktu fona piesārņojumu tika veikta arī “blank” tukšo paraugu apstrāde, kas no paraugu apstrādes atšķīrās ar to, ka apstrādē netika izmantoti sedimenti, bet to vietā tika izmantots destilēts ūdens (3. pielikums).



4.2. attēls. Paraugu apstrādes metodes shēma (izstrādājusi autore)

4.3.4. Paraugu vizuālā analīze

Paraugi, kas tika nofiltrēti uz stikla šķiedras filtriem, tika apskatīti un analizēti izmantojot mikroskopu Leica DM400 B LED ar tam pielāgoto kameru DFC 295 un datorprogrammu Leica Application Suite V4.1 vai binokulāru Olympus SZX Model SZX-ILLD2-200 ar datorprogrammu Leica Application Suite V4.12. Vizuāli tika noteikta katras daļiņas krāsa,

piederība kādai no četrām izdalītajām kategorijām (plēve, granula, šķiedra, fragments) un garums, kur, ja tas bija iespējams, tika nomērīts daļiņu izmērs divās dimensijās – garākā ass un tai perpendikulārā. Daļiņas, lai tās vienmērīgi pārklātu visas izmēru grupas, pēc to izmēra tika secīgi iedalītas piecās izmēra grupās: 50-1000 μm , 1000-2000 μm , 2000-3000 μm , 3000-4000 μm un 4000-5000 μm . Visu novēroto daļiņu krāsa, izmērs un veids tika reģistrēts datu izklājlapā.

4.3.5. Paraugu daļiņu sastāva analīze izmantojot Mikro Furjē transformācijas infrasarkanās gaismas spektroskopijas (μFTIR) metodi

Mikro Furjē transformācijas infrasarkanās gaismas spektroskopijas (μFTIR) metode ir piemērota mikroplastmasas daļiņu polimēru identificēšanai un atdalīšanai, pamatojoties uz labi zināmām infrasarkanās absorbcijas joslām, kas raksturo atšķirīgas materiāla ķīmiskās funkcijas (Jung et al. 2018).

Daļiņu noteikšanu veic mērot infrasarkanā starojuma absorbciju dažādos viļņu garumos, veidojot infrasarkanu spektru. Pēc tam, lai identificētu esošo savienojumu, iegūto spektru salīdzina ar spektru, kas iegūts no zināma materiāla vai noglabāto standartu spektru bibliotēkām (MVA Scientific Consultants S.a.).

Mikroplastmasas daļiņu izmērā no 50 μm ķīmiskā sastāva analīzei tika izmantota zviedru uzņēmuma “ALS Scandinavia AB” mikro-FTIR iekārta. Sākumā paraugs tiek nofiltrēts caur 20 μm metāla filtru. No parauga kopējā apjoma tiek analizēta $\frac{1}{4}$ daļa. Tālāk izvēlētas divas reprezentatīvas vietas, kurās tiek veikta filtra virsmas automātiska skanēšana ar izšķirtspēju 8 cm^{-1} , pie viļņu garuma diapazonā no 4000-750 cm^{-1} , tādējādi identificējot uz filtra esošās daļiņas. Pēc tam automātiskā režīmā tiek noteikts identificēto daļiņu spektrs un salīdzināts ar instrumenta bibliotēkā esošiem spektriem, piemeklējot atbilstību un nosakot mikroplastmasas daļiņu polimēru veidus.

5. METODES APROBĀCIJAS REZULTĀTI

5.1. Tilpuma pārbaudes rezultāti

Pēc trīs kontroles paraugu priekšizpētes veikšanas tika iegūti sekojoši rezultāti (5.1. tabula). Pēc pirmās blīvumseparācijas veikšanas novērojams, ka ekstrahētais lodīšu skaits palielinās, palielinoties šķirpiltuves tilpumam, kas skaidrojams ar to, ka lielāka tilpuma šķirpiltuve nodrošina lielāku šķīduma virsmas laukumu, kā rezultātā lielāks lodīšu skaits paliek šķīduma virspusē un netiek nosēdināts kopā ar sedimentiem.

500 ml un 1000 ml šķirpiltuvju rezultāti būtiski neatšķīrās, bet paraugu apstrādei tika izmantotas 1000 ml šķirpiltuves, jo tajā lielākais lodīšu skaits tika iegūts jau pēc pirmās blīvumseparācijas, kas palielina iespējas nezaudēt mikroplastmasas daļiņu skaitu paraugu apstrādes procesā.

Lai gan pēc trešās blīvumseparācijas novērojams mazs lodīšu skaits, paraugi tika ekstrahēti trīs reizes, lai iegūtu pēc iespējas tīrāku paraugu, kas nesaturētu smilšu daļiņas, kuras blīvumseparācijas rezultātā tiek ekstrahētas.

5.1. tabula

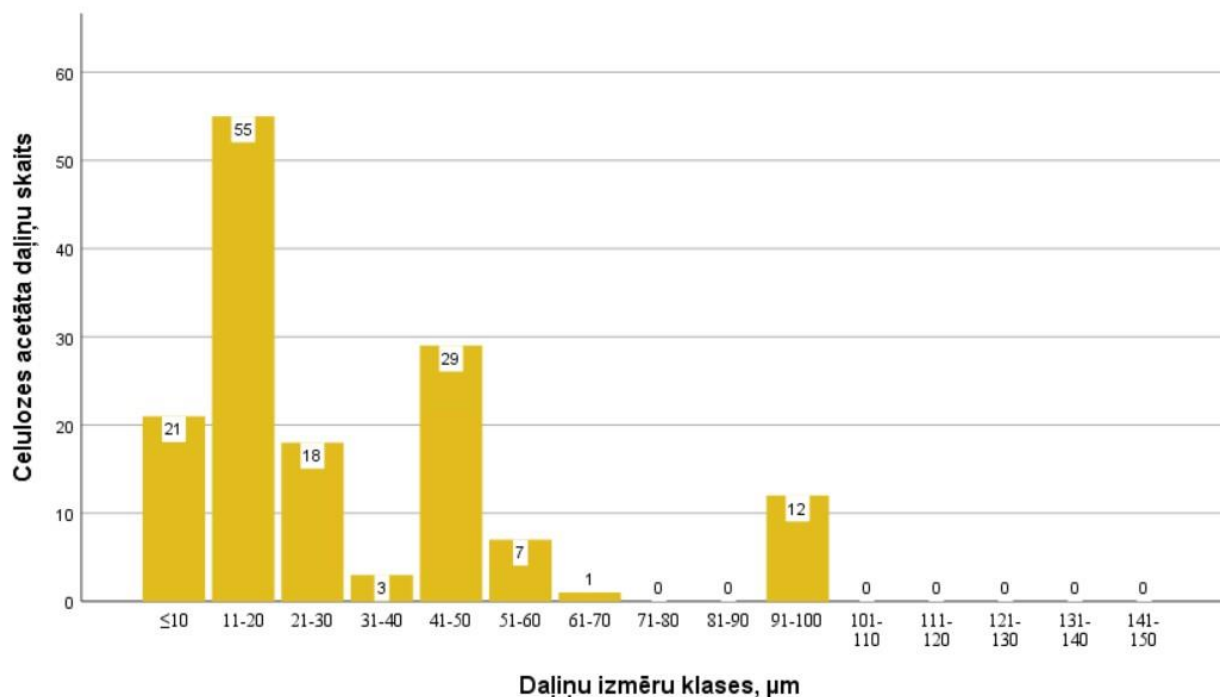
Kontroles lodīšu skaits pēc apstrādes

	K ₁ (250 ml šķirpiltuve)	K ₂ (500 ml šķirpiltuve)	K ₃ (1000 ml šķirpiltuve)
Lodīšu skaits pēc 1. blīvumseparācijas	17	59	84
Lodīšu skaits pēc 2. blīvumseparācijas	24	29	9
Lodīšu skaits pēc 3. blīvumseparācijas	10	4	2
Kopējais lodīšu skaits	51	92	95

5.2. Daļiņu izmēru grupas noteikšanas rezultāti

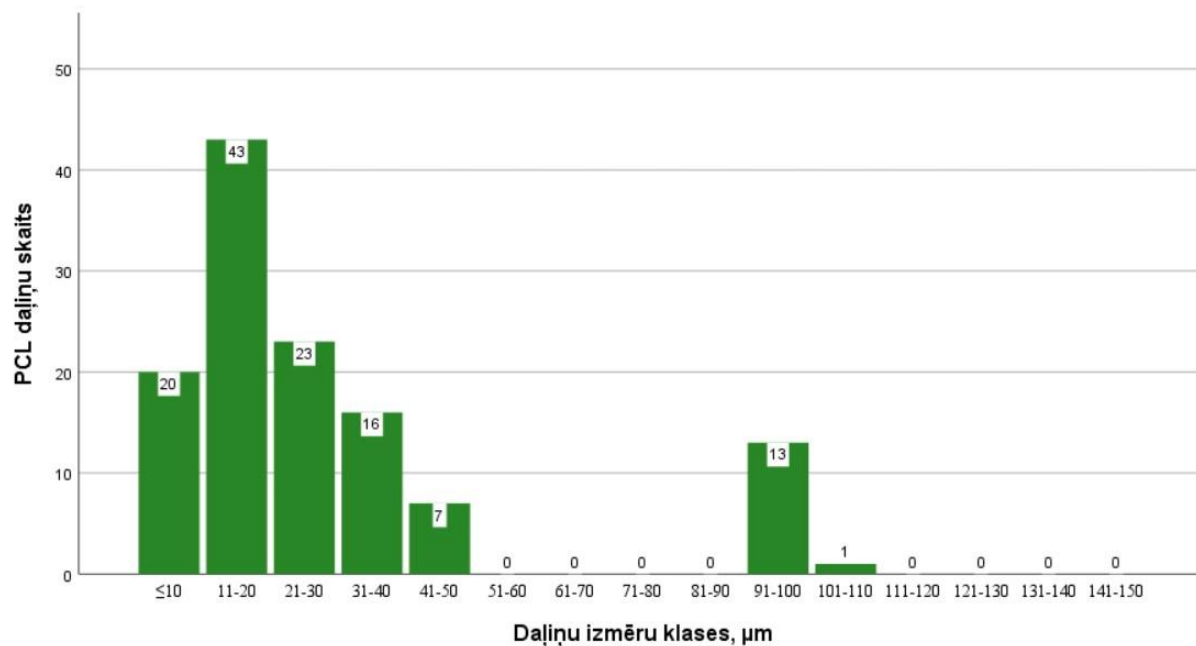
No 5 ml parauga, izmēra robežā no 10 līdz 100 μm, izmantojot μFTIR, tika analizēti 0,25 ml jeb 5 % no visa parauga. Analizētajā apakšparaugā tika atrastas 975 daļiņas, no kurām 14 bija organiskas izcelsmes un 418 neidentificējamās daļiņas.

Visvairāk paraugā tika atrastas celulozes acetāta daļiņas, no kurām procentuāli lielākā daļa ~38% sastopama 11-20 μm izmēru klasē (5.4. attēls). Izmērā no 50 μm un uz augšu, daļiņu skaits ir salīdzinoši neliels, izņemot izmēru grupā 91-100 μm (5.1. attēls).



5.1. attēls. Celulozes acetāta daļiņu skaits paraugā (izstrādājusi autore, izmantojot IBM SPSS 26)

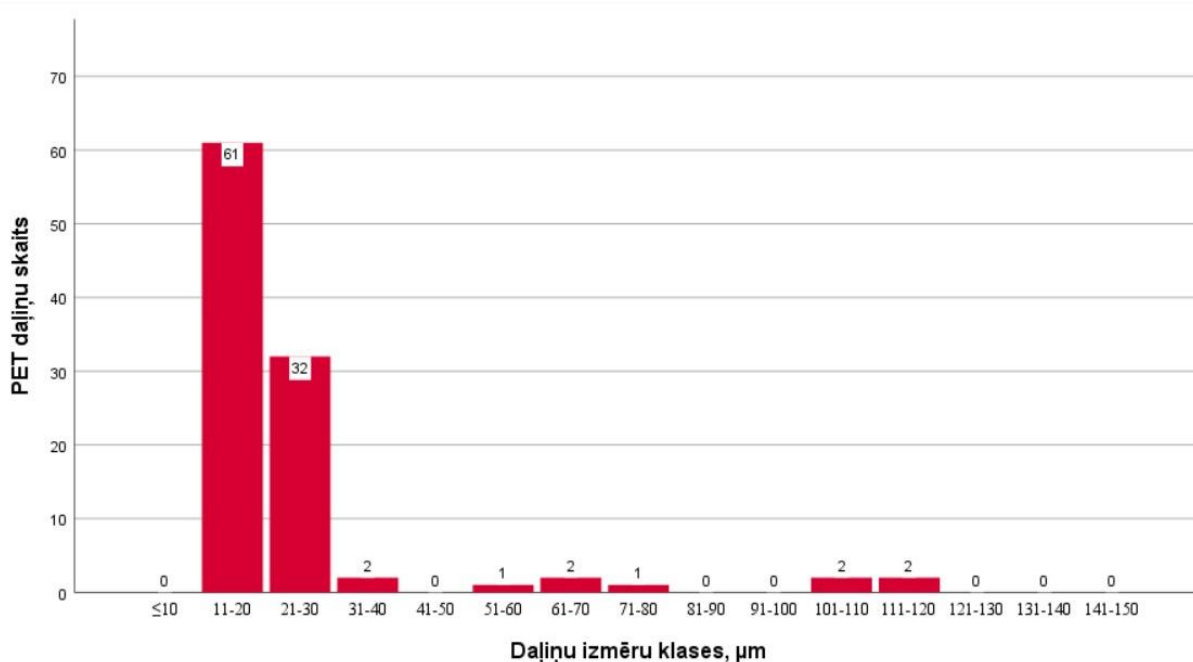
Otrs visbiežāk novērotais polimēra veids paraugā bija polikaprolaktons. Vairums daļiņu ir mazas, un dominējošā izmēru grupa ir daļiņas izmērā no 11 līdz 20 μm . Lielākais daļiņu īpatsvars novērojams izmērā no ≤ 10 līdz 50 μm , un tas veidoja ~89% no visām noteiktajām celulozes acetāta daļiņām paraugā (5.2. attēls).



5.2. attēls. Polikaprolaktona daļiņu skaits paraugā (izstrādājusi autore, izmantojot IBM SPSS 26)

Trešais biežāk sastopamais polimēra veids paraugā bija polietilēntereftalāts. Arī PET daļiņu skaits paraugā, tāpat kā iepriekšējiem diviem polimēru savienojumiem, visvairāk tika

noteiks izmēra grupā no 11 līdz 20 μm . Atšķirībā no iepriekšminētajiem polimēriem, PET daļiņu skaits ir vienveidīgāk sastopams arī izmēru grupās virs 50 μm (5.3 attēls).

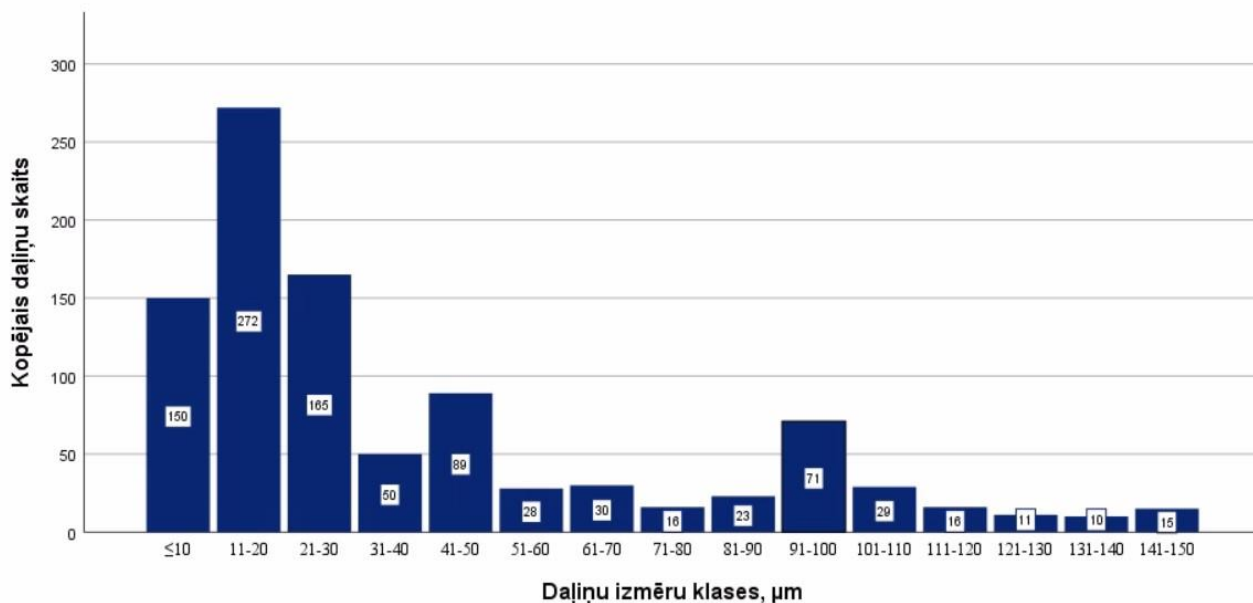


5.3. attēls. Polietilēntereftalāta daļiņu skaits paraugā (izstrādājusi autore, izmantojot IBM SPSS 26)

Aplūkojot kopējo daļiņu skaitu paraugā (5.4. attēls), var secināt, ka daļiņas ir atrodamas visās noteiktajās izmēru klasēs. Vispārstāvētākā izmēru klase, daļiņu skaita ziņā, bija 11-20 μm (28% no visām paraugā atrastajām daļiņām), bet izmērā virs 50 μm lielākais daļiņu skaits ir grupā no 91 līdz 100 μm .

Mazāko daļiņu izmēru klasēs novērojams vislielākais daļiņu skaits, taču, paralēli tam, arī vislielākais neidentificējamo daļiņu skaits.

No visām 418 neidentificētajām daļiņām, 245 daļiņas (~59%), paraugā tika konstatēts izmēra grupās no ≤ 10 līdz 50 μm , kas nozīmē, ka paraugā ir pārāk daudz mazu daļiņu, kas savā starpā pārklājas, un tādējādi nav iespējams noteikt polimēra veidu, kā arī daudzkārt apgrūtinot un paātrinot analīzes procesu laiku. Efektīvākai daļiņu noteikšanai, paraugiem par apakšējo izmēru robežu tika noteikti 50 μm .

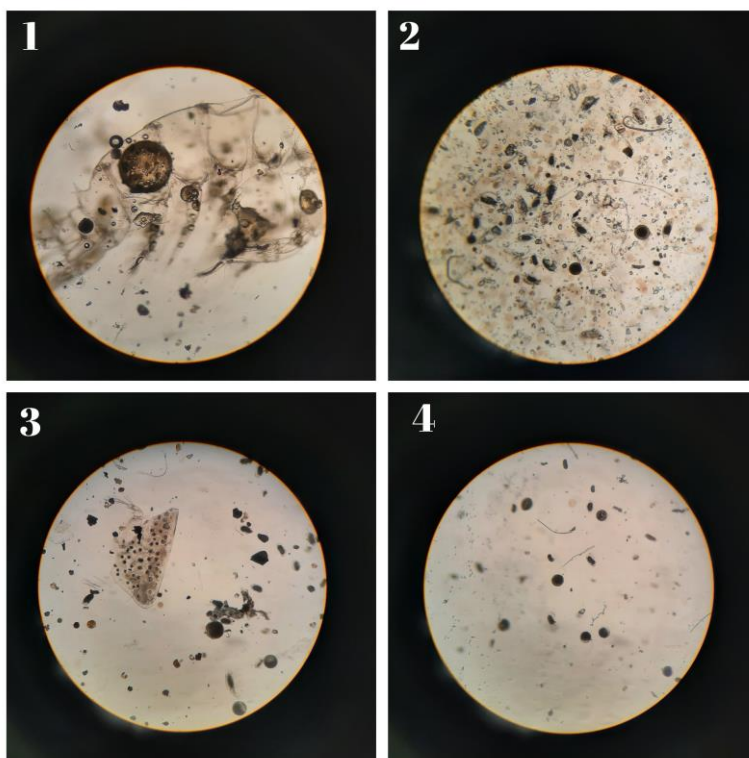


5.4. attēls. Kopējais daļiņu skaits paraugā (izstrādājusi autore, izmantojot IBM SPSS 26)

5.3. Enzimātiskās degradācijas metodes testēšanas rezultāti

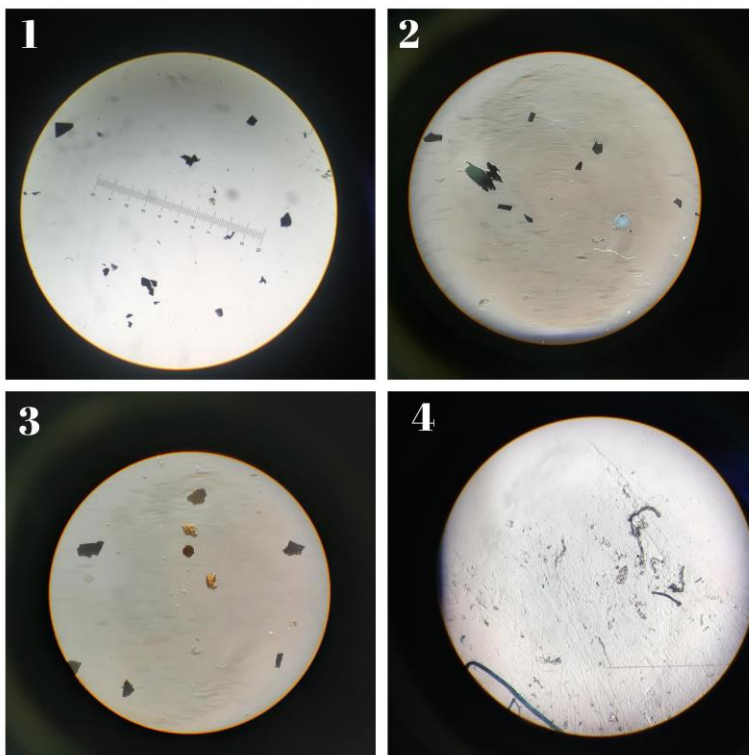
Sākotnēji paraugu apstrādes procesā netika plānots izmantot enzimātisko degradācijas metodi (4. pielikums), tomēr, pēc paraugu sākotnējās apstrādes beigšanas, paraugi tika apskatīti zem invertā mikroskopa secinot, ka paraugos ir palicis daudz organiskā materiāla, un oksidatīvā metode ar ūdeņraža peroksīdu H_2O_2 nav bijusi pietiekama organisko vielu degradācijā. Lai mikroplastmasas daļiņas tālāk varētu automatizēti analizēt, izmantojot μ FTIR, ir svarīgi, ka paraugos ir pēc iespējas mazāk cita veida organisko piemaisījumu, tāpēc tika veikta metodes aprobācija un apstrādes process tika papildināts ar enzimātiskās degradācijas metodi.

Sākotnēji no visiem paraugiem tika izvēlēti četri ar vislielāko organisko materiālu saturu (5.5. attēls). Paraugos tika konstatēti tārpī (2. paraugs), vēžveidīgie – to apvalku atliekas, dažādu organismu oļiņas, augu atliekas, putekšņi. Tāpēc to degradēšanā tika izvēlēti četri dažādi enzīmi – celuloze, viskozīms, hitināze, proteāze, un tiem atbilstošs buferšķīdums – acetātbufera šķīdums vai TRIS (hidroksimetil) aminometāna šķīdums (TRIS). Buferšķīdumu pH vērtības un temperatūras ir izvēlētas, balstoties uz attiecīgo enzīmu maksimālajiem efektivitātes apstākļiem.



5.5. attēls. Paraugu Nr. 1.- 4. pirms to apstrādes ar enzīmiem (4x palielinājumā, izmantojot Leica DM IL LED inverto mikroskopu)

Pirmais etaps tika veikts paraugiem pievienojot proteāzes enzīmu, kura iedarbības rezultātā tika samazināts organiskā materiāla daudzums paraugos (5.6. attēls).

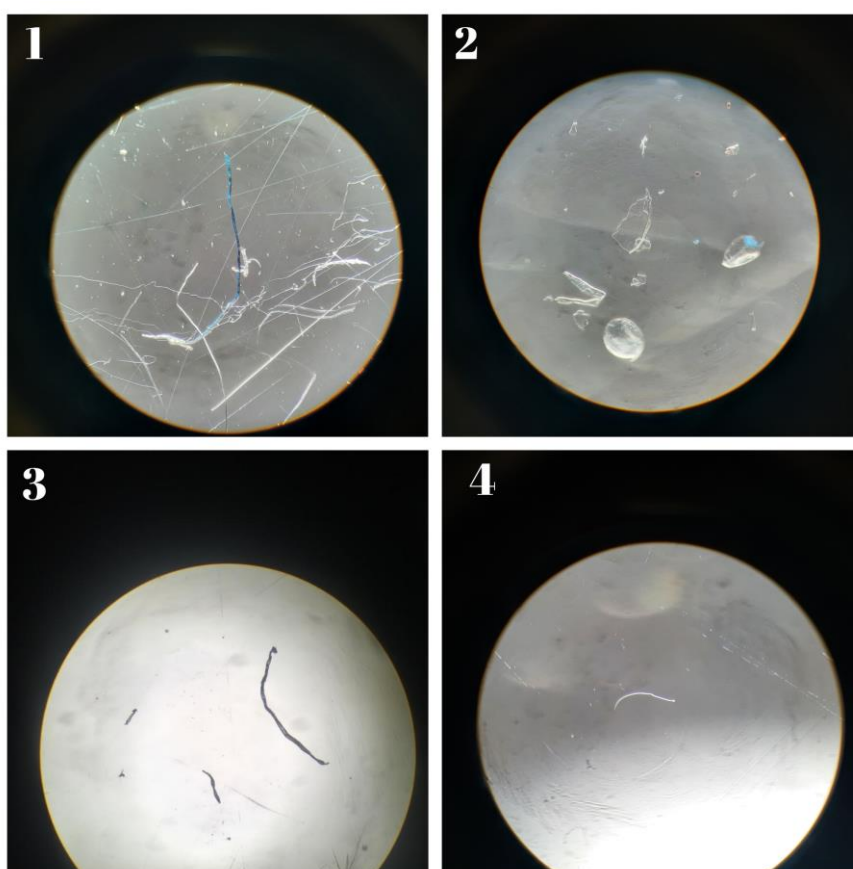


5.6. attēls. Paraugi Nr. 1.- 4. pēc proteāzes enzīma iedarbības. (10x palielinājumā, izmantojot Leica DM IL LED inverto mikroskopu)

Nākamajā jeb noslēdzošajā etapā, paraugiem tika pievienots celulāzes, vizkozīma un hitināzes enzīmi.

Rezultātos redzams, ka paraugi sākotnēji saturēja lielu daudzumu dzīvnieku atlieku (5.5. attēls), tāpēc, lai tos noārdītu, tika izmantota hitināze, kas sašķeļ organismu eksoskeletu.

Salīdzinot 5.5. attēlu ar 5.6. un 5.7. attēliem var secināt, ka enzīmi ir efektīvi iedarbojušies, paraugos vairs nav sastopami tārpī, enzīmi ir noārdījuši augu atliekas, dzīvnieku oļiņas un arī lielāko daļu ūdens organismus. Tomēr, tā kā jūrā dzīvojošo organismu eksoskeletu veido ne tikai hitināze, bet arī olbaltumvielas un kalcija karbonāts, var redzēt, ka paraugi nav pilnībā attīrīti no organiskā materiāla un paraugos, arī pēc enzīmu iedarbības, nelielā daudzumā tika konstatēti dzīvnieku ķermeņa apvalki.



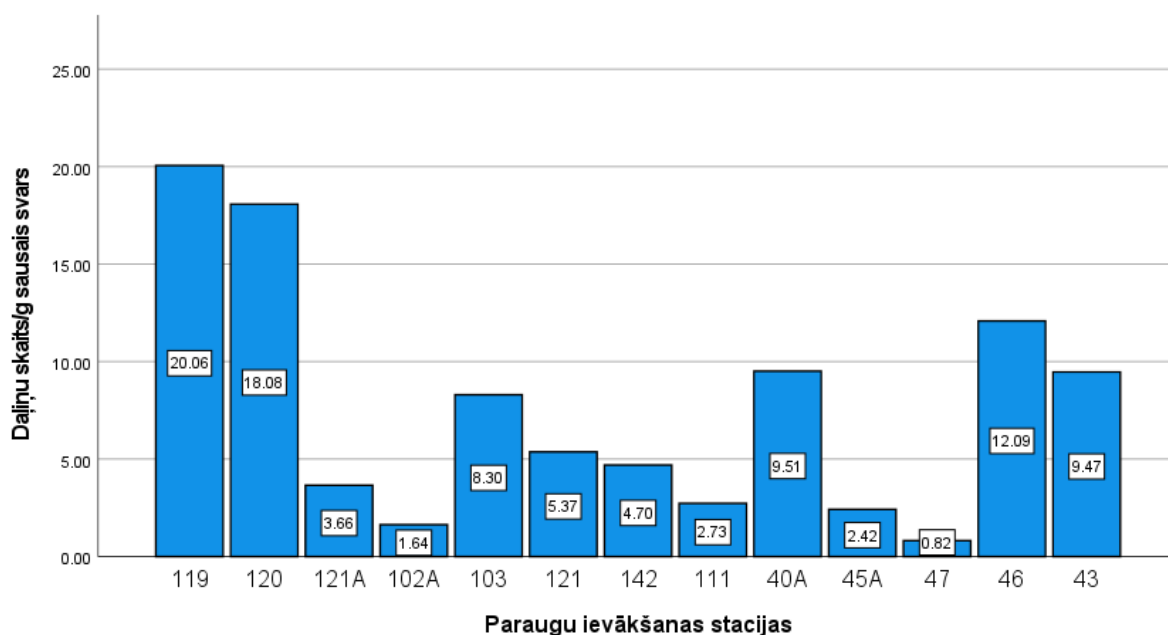
5.7. attēls. Paraugi Nr. 1.- 4. pēc pēc celulāzes, vizkozīma un hitināzes enzīmu iedarbības (10x palielinājumā, izmantojot Leica DM IL LED inverto mikroskopu)

6. PARAGU ANALĪZES REZULTĀTI

6.1. Vizuālā analīze

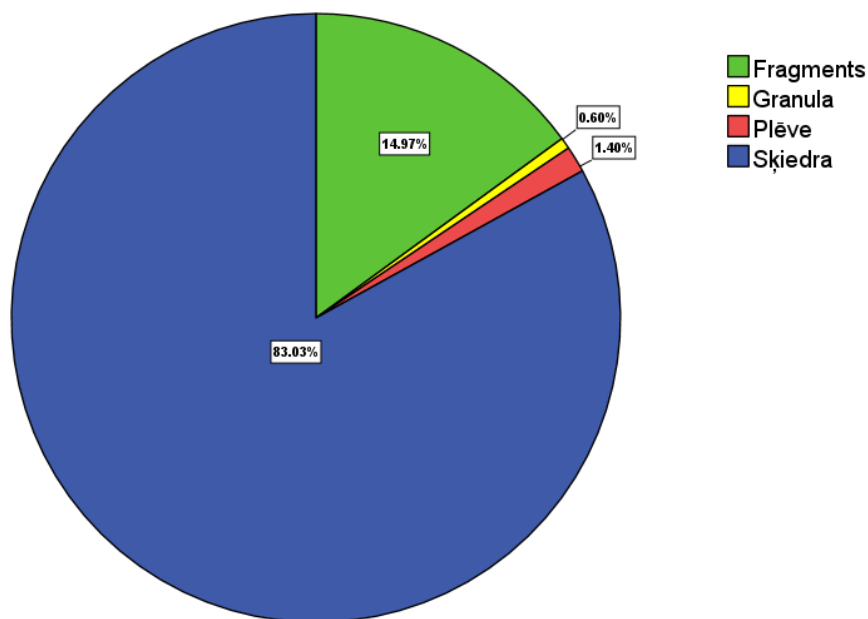
Lai noteiktu iespējamo fona piesārņojumu paraugos, paralēli paraugu apstrādei tika veikta arī kvalitātes kontrole, apstrādājot trīs tukšos (blank) paraugus. Veicot vizuālo analīzi, noteiktais fona piesārņojums variēja no 20 līdz 26 daļiņām. Fona piesārņojumu veidoja šķiedras, cita veida mikroplastmasas daļiņu netika konstatētas.

Mikroplastmasas daļiņas tika konstatētas visos paraugos. Rezultāti tika aprēķināti nosakot mikroplastmasas daļiņu skaitu uz vienu gramu sausā nogulumu svara (6.1. attēls). Lielākais mikroplastmasas daļiņu skaits konstatēts Rīgas līča centrālā daļā (119. un 120. stacijās). No Baltijas jūras Austrumgotlandes četrām paraugu ievākšanas stacijām, divās (43. un 46. stacija) mikroplastmasas koncentrācija sedimentu virsējā slānī ir augstāka nekā paraugiem, kas ievākti Rīgas līcī, neraugoties uz ievākto paraugu dziļumu.



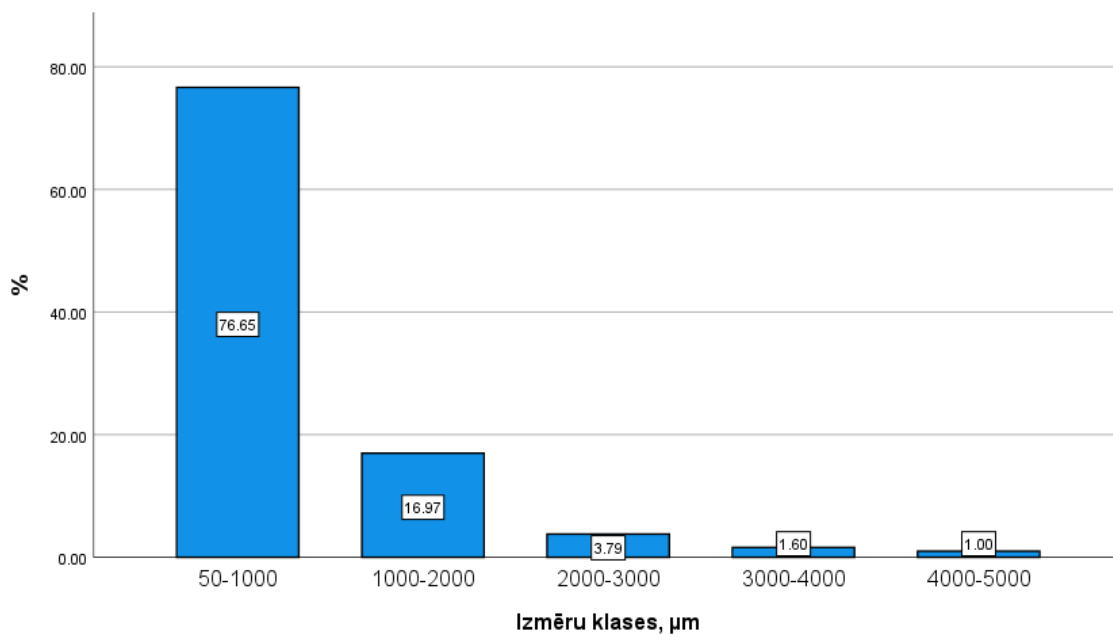
6.1. attēls. Vizuāli identificējamu mikroplastmasas daļiņu skaits vienā gramā sausās nogulumu masas virsējā slānī (izstrādājusi autore, izmantojot IBM SPSS 26)

Pēc daļiņu vizuālās analīzes veikšanas tika konstatēts, ka lielāko īpatsvaru no visu daļiņu kopējā daudzuma veidoja šķiedras (~83,03%), un tās bija plaši pārstāvētas visos paraugos. Mazāku daļu veidoja fragmenti, bet plēves daļiņas un granulas paraugos bija sastopamas reti un konstatētas tikai divās paraugu ievākšanas vietās. (6.2. attēls).



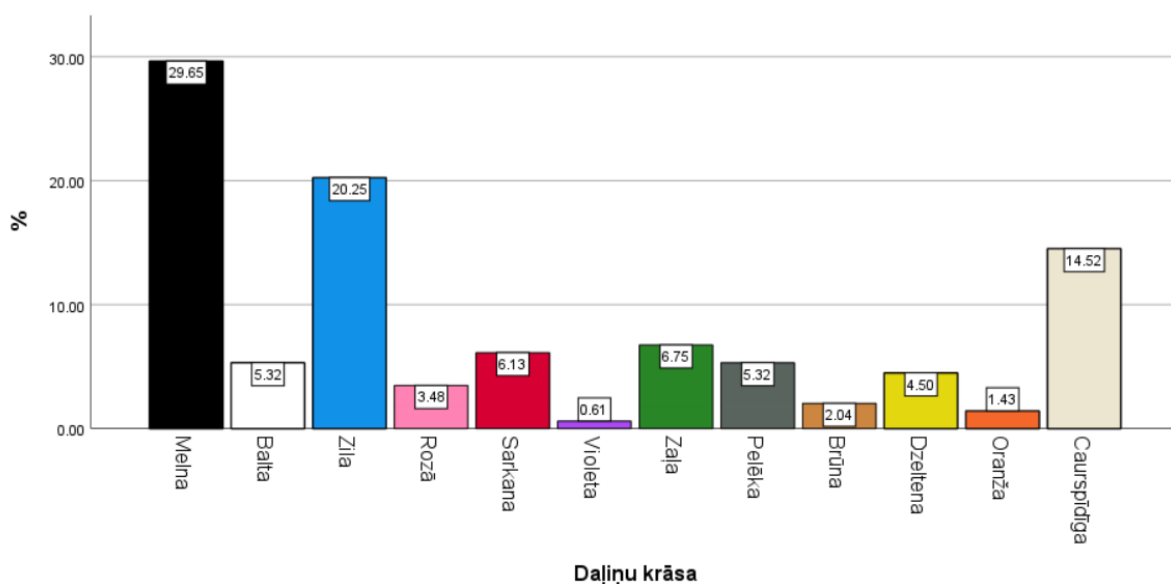
6.2. attēls. Mikroplastmasas daļiņu procentuālais sadalījums atbilstoši veidam (izstrādājusi autore, izmantojot IBM SPSS 26)

Apkopojot datus par mikroplastmasas daļiņām no visām stacijām, var secināt, ka lielākais daļiņu skaits ir izmēru klasē no 50 līdz 1000 μm un, palielinoties daļiņu izmēram, to skaits strauji samazinās. Vidējais daļiņas izmērs paraugos bija $\sim 706 \mu\text{m}$.



6.3. attēls. Mikroplastmasas daļiņu sadalījums atbilstoši izmēru klasēm (izstrādājusi autore, izmantojot IBM SPSS 26)

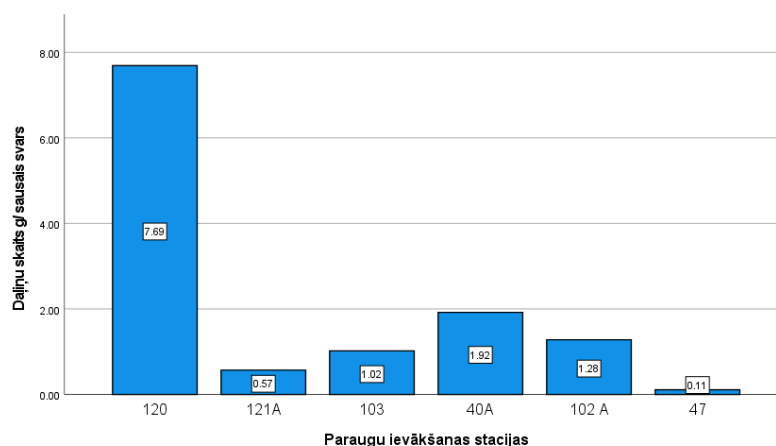
Daļiņas tika klasificētas pēc to krāsām, secinot, ka vispārstāvētākā daļiņu krāsa šķiedrām bija melna, zila un caurspīdīga. Lielākajai daļai fragmentu dominējošā krāsa izrādījās rozā, bet granulu daļiņām balta vai caurspīdīga krāsa.



6.4. attēls. Mikroplastmasas daļiņu procentuālās sadalījums atbilstoši krāsu klasēm (izstrādājusi autore, izmantojot IBM SPSS 26)

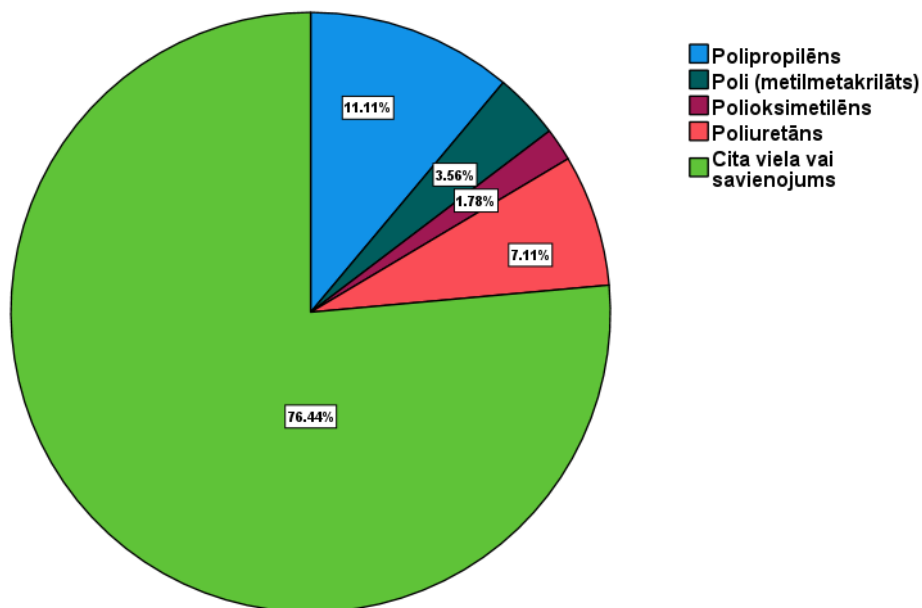
6.2. Automatizētā daļiņu analīze

Izmantojot Mikro Furjē transformācijas infrasarkanās gaismas spektroskopijas metodi tika izanalizēti septiņi paraugi, ieskaitot tukšo (blank) paraugu, un noteiktas daļiņas izmērā sākot no 100 μm . Tukšajā paraugā netika identificēta neviena plastmasas daļiņa. Salīdzinot datus, kas iegūti pēc daļiņu vizuālās analīzes ar rezultātiem, kas iegūti ar μFTIR analīzes palīdzību, var secināt, ka iegūto rezultātu tendences nemainās. Vērojams, ka vislielākā mikroplastmasas daļiņu koncentrācija ir paraugā, kas ņemts Rīgas līča centrālajā daļā (120. stacija), bet ievērojami zemāka Baltijas jūras teritoriālās ekonomiskās zonas ūdeņu sedimentu paraugā (47. stacija).



6.5. attēls. Mikroplastmasas daļiņu skaits vienā gramā sausās nogulumu masas virsējā slānī
(izstrādājusi autore, izmantojot IBM SPSS 26)

Iegūtie rezultāti pēc μ FTIR spektroskopijas metodes uzrāda, ka pēc daļiņu ķīmiskā sastāva pārstāvētākais polimēra veids bija polipropilēns, otrā pārstāvētākā grupa bija poliuretāna daļiņas. Minimālu daļu veidoja Poli (metilmetakrilāta) un polioksimetilēna daļiņas. Tomēr, lielākā paraugu daļa sastāvēja no daļiņām, kuras veido citas vielas, polimēri vai savienojumi, kurus neizdevās identificēt (6.6. attēls).



6.6. attēls. Mikroplastmasas daļiņu ķīmiskā sastāva īpatsvars paraugos

DISKUSIJA

Paraugu ievākšana un apstrāde

Mikroplastmasas izplatība sedimentos ir nevienmērīga, ko ietekmē sedimentu fizikālās īpašības un vides faktori, piemēram, vēji un straumes. Rezultāti ir mainīgi atkarībā no paraugu ņemšanas vietas un dziļuma, jo dažās teritorijās var būt lielāka mikroplastmasas koncentrācija nekā citās (Prata et al. 2018).

Paraugu ņemšanai no jūras gultnes nepieciešams kuģis un īpaša aprīkojuma izmantošana, kas atkarīgs no paraugu ņemšanas mērķa, sedimentu veida un ņemšanas vietas. Parasti sedimentu paraugu ievākšanā izmanto Van Vīna gruntssmēlēju vai sedimentu paraugu ņēmēju (no angļu valodas – *corer*). Izmantojot Van Vīna gruntssmēlēju ar tvēriena laukumu $0,1 \text{ m}^2$, ir iespējams vienlaicīgi paņemt lielāku parauga daudzumu nekā izmantojot Kajak tipa gravitācijas paraugotāju, kam ir ievērojami mazāks laukums. Tomēr, izmantojot gruntssmēlēju, sedimentu virskārta tiek sajaukta, negatīvi ietekmējot virskārtas paraugu paņemšanas precizitāti, pretēji gravitācijas paraugotājam, ar kuru iegūto parauga sedimentu serdi var sagriezt pa slāņiem (Prata et al. 2018; Esiukova et al. 2020).

Paraugu ievākšanas ierīces izvēle ir atkarīga arī no konkrētās vietas nogulumu granulometriskā sastāva, jo vietās, kur nogulumus veido smalkas frakcijas, piemērotāks būtu Kajak tipa gravitācijas paraugotājs, bet vietās, kur sedimentus veido lielas frakcijas nogulumi – Van Vīna gruntssmēlējs.

Metode, kas visbiežāk tiek izmantota mikroplastmasas atdalīšanai no sedimentiem, ir blīvuma separācija, taču citos pētījumos izmantotie ekstrahēšanas parametri (parauga masa, šķirpiltuves tilpums, nostādināšanās ilgums u.t.) ir atšķirīgi, un nav vienotas optimizētas un standartizētas metodes. Par paaugstināta blīvuma šķīdumu parasti tiek izmantots nātrija hlorīds (NaCl), cinka hlorīds (ZnCl_2) vai nātrija politungstāts ($\text{H}_2\text{Na}_6\text{O}_{40}\text{W}_{12}$) (Crawford, Qiunn 2017; Han 2019).

Darba autore blīvumseparācijai izmantoja nātrija politungstātu, jo tam raksturīga augsta šķīdība ūdenī līdz blīvumam $3,1 \text{ g/cm}^3$, salīdzinot ar nātrija hlorīdu, kam maksimālais blīvums ir tikai $1,35 \text{ g/cm}^3$. Turklāt atšķirībā no cinka hlorīda, nātrija politungstāts nav toksisks un ir atkārtoti izmantojams (Esiukova et al. 2020; Imbros S.a.).

Lai varētu veikt parauga analīzi, svarīgi ir to atdalīt no bioloģiskā materiāla. Organiskā materiāla nograuššanai tika izmantots 15% ūdeņraža peroksīds (H_2O_2) attiecībā 1:1 pret paraugu, kas ir viena no izplatītākajām organiskā materiāla degradēšanas metodēm un, atšķirībā no stipru bāzu un skābju izmantošanas, oksidatīvā metode atstāj mazāku ietekmi uz plastmasas iespējamo degradēšanu (Crawford, Qiunn 2017).

Sākotnējā paraugu apstrādes protokolā nebija plānots izmantot enzimatisko degradēšanas metodi, jo, analizējot vairākus pētījumus, kas saistīti ar sedimentu apstrādi, enzimatiskās degradēšanas metode tajos netika pielietota. Paraugu apstrādes gaitā tika secināts, ka oksidatīvā metode ar ūdeņraža peroksīdu nav bijusi pietiekami iedarbīga (5.1. attēls) un, lai paraugus varētu analizēt izmantojot μ FTIR metodi, ir nepieciešams veikt arī organiskā materiāla nograušānu ar fermentiem (Crawford, Quinn 2017; Esiukova et al. 2020).

Mikroplastmasas sedimentos pētniecības jomā trūkst standartizētas metodes. Paraugu apstrāde ir dārgs un laikietilpīgs process un kā zināms, jo vairāk ir veicamo darbību paraugu apstrādē, jo lielāks ir risks paraugu piesārņot vai zaudēt plastmasas daļiņas apstrādes procesa laikā. Lai paraugu sagatavošanas process būtu pēc iespējas ātrāks un efektīvāks, ir svarīgi veikt apstrādes metodes pilnveidošanu (Crawford, Quinn 2017).

Paraugu analīze

Mikroplastmasas daļiņu veida un materiāla identificēšanai gandrīz vienmēr tiek izmantota vizuālā identificēšanas metode, ko pēdējos gados papildina ar Furjē transformācijas infrasarkanās gaismas spektroskopijas vai Ramana spektroskopijas metodi. Arī šī pētījuma veikšanā tika izmantota vizuālā un μ FTIR metode (Prata et al. 2018), līdz ar to pētījuma rezultātus ir iespējams salīdzināt ar citiem pēdējos gados veiktajiem pētījumiem.

Vizuālā analīze ļauj daļiņas klasificēt kā plastmasu, pamatojoties uz to fizikālajām īpašībām, izmantojot stereoskopu vai mikroskopu, tomēr tā ir laikietilpīga un subjektīva, jo daļiņu noteikšanas precizitāte ir atkarīga no cilvēka pieredzes, zināšanām un interpretācijas. Metode, izmantojot mikroskopu, lielākoties tiek pielietota daļiņām, kas ir lielākas par 100 μ m, jo mazāku daļiņu analīze ir apgrūtināta. Pastāv līdz 70% iespējamība materiālu klasificēt nepareizi, identificējot – sāls minerālus, smilšu graudiņus, organiskas izcelsmes daļiņas kā plastmasu (Shim et al. 2017b).

Veiktajā pētījumā vizuālā identifikācija bija vērsta tieši uz šķiedru noteikšanu un raksturošanu, jo tas ir vienkāršākais un plašāk izmantotais šķiedru noteikšanas veids.

Furjē-transformētā infrasarkanā (FTIR) spektroskopija ir populārākā un plašāk izmantotā metode mikroplastmasas ķīmiskās struktūras noteikšanai (Shim et al. 2017b).

Mazu daļiņu noteikšanai plaši tiek izmantots μ FTIR, jo ar to, atšķirībā no Raman spektroskopijas, iespējams veikt ātrāku un lielāka apjoma analīzi. Apskatot literatūras datus, secināms, ka μ FTIR var noteikt daļiņas izmērā no 20 μ m, taču tad paraugam ir jābūt tīram no organiskas izcelsmes daļiņām un citiem piemaisījumiem. Jo mazāka ir paraugu apakšējā robeža, jo blīvāks ir daļiņu skaits paraugā, kas savukārt apgrūtinā analīzes veikšanu, jo daļiņas paraugā pārklājas, apgrūtinot spektra iegūšanu. Lai izvairītos no papildus fona piesārņojuma un

samazinātu neidentificēto daļiņu skaitu iespējamību, optimālais izmērs mikroplastmasas daļiņu noteikšanai ir sākot no 50 μm (Vinay Kumar et al. 2020).

Rezultāti

Tā kā mikroplastmasas ievākšanai no sedimentiem un to identificēšanai un apstrādei vēl nav izveidota viena standartizēta un optimizēta metode, pētījumā iegūto datu salīdzināšana ar citiem pētījumiem par mikroplastmasas daļiņu koncentrāciju sedimentos ir samērā grūts uzdevums (Frias et al. 2018; Campanale et al. 2020). Dažādos pētījumos iegūtie rezultāti tiek izteikti atšķirīgi, piemēram, daļiņu skaits uz 1 kg vai g sauso nogulumu, pēc nogulumu laukuma izsakot daļiņas uz km^2 vai m^2 ; atsevišķos pētījumos rezultāti tiek izteikti ņemot vērā tilpumu – daļiņu skaits uz m^3 vai L, vai pat ņemot vērā nogulumu blīvumu ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) (Campanale et al. 2020).

Secinot to, ka sedimentu paraugi parasti tiek izteikti svara mērvienībās, darba autore rezultātus izteica, ņemot vērā daļiņu skaitu uz vienu gramu sauso nogulumu.

Pēc vizuālās analīzes iegūtajiem datiem tiek secināts, ka visizplatītākais mikroplastmasas veids bija šķiedras, kas apstiprinās ar citiem veiktajiem pētījumiem (Urban-Malinga et al. 2020; Zhang et al. 2020). Salīdzinot mikroplastmasas daļiņu iedalījumu pēc to krāsām arī autores veiktajā pētījumā, tāpat kā lielā daļā citos pētījumos, visizplatītākā mikroplastmasas daļiņu krāsa bija melna, zila un caurspīdīga (Zhang et al. 2020; Cincinelli et al. 2020).

Mikroplastmasas daļiņas tika konstatētas visos ievāktajās paraugu stacijās, taču Rīgas līča izvietotajās paraugu stacijās posmā no Daugavas ieteces ietekmēta rajona virzienā uz Rīgas līča centrālo daļu, iespējamais piesārņojuma gradients netika novērots, jo izteikti mazs mikroplastmasas daudzums konstatēts 121. un 103. paraugu ievākšanas stacijā, bet, lai veiktu kādus pieņēmumus, nepieciešams veikt papildus pētījumus.

Balstoties uz μFTIR iegūtajiem rezultātiem, tika secināts, ka dominējošais polimēru veids bija polipropilēns, bet pārējās noteiktās polimēru grupas bija mazāk pārstāvētas. Citos Baltijas jūras sedimentu mikroplastmasas pētījumos izplatītākie polimēru veidi ir polietilēns, polipropilēns vai polistirols, kā arī daudz citu polimēru veidu, kas netika konstatētas autores pētījumā (Esiukova et al. 2020; Graca et al. 2017).

Lai gan Mikroplastmasas daļiņu ķīmiskā analīze tika veikta ALS Scandinavia AB uzņēmuma laboratorijā, kas ir atzīta laboratorija mikroplastmasas analīzēm, iegūtie rezultāti neatbilda gaidītajam, jo lielākā daļa jeb 76,44% no visām atrastajām daļiņām netika identificētas, kā arī netika analizētas daļiņas izmērā no 50 μm līdz 100 μm , kur pēc kontroles parauga rezultātiem, kas tika apstrādāti Tallinas Tehnoloģijas universitātē, tika identificēts vislielākais mikroplastmasas daļiņu skaits.

Iegūtie rezultāti apstiprina, ka mikroplastmasa ir sastopama Rīgas līča un Baltijas jūras Austrumgotlandes baseina sedimentos, taču dati attiecībā uz mikroplastmasas koncentrāciju šobrīd nav tieši salīdzināmi ar citiem pētījumiem, kas veikti Baltijas jūrā, jo tie neparāda absolūto mikroplastmasas daudzumu analizētajos paraugos. Lai pārliecinātos par iegūto rezultātu patiesumu, paraugu analīzi būtu nepieciešams veikt arī citā laboratorijā, pēc tam salīdzinot iegūtos datus.

SECINĀJUMI

1. Baltijas jūras teritorijā mikroplastmasa visvairāk ir pētīta ūdens virskārtā un kolonā, taču mikroplastmasas pētījumi sedimentos ir salīdzinoši maz.
2. Tā kā nav izveidotas vienotas standartizētas metodes mikroplastmasas sedimentos ievākšanā, apstrādē un analīzē, veiktā pētījuma rezultātus ir grūti salīdzināt ar citviet veiktajiem pētījumiem atšķirīgo sedimentu apjoma, apstrādes, analīzes un rezultātu izteikšanas dēļ.
3. Veicot paraugu analīzi, svarīgi ir izvēlēties piemērotu daļiņu izmēru līdž kuram analizēt paraugus, jo, izvēloties mazāku robežu, mikroplastmasas daļiņu skaits ir lielāks, taču tiek apgrūtināta daļiņu analīze, kas palielina iespēju daļiņas neidentificēt.
4. Veicot mikroplastmasas sedimentos paraugu vizuālo analīzi izmantojot stereomikroskopu, mikroplastmasas daļiņu korekta klasifikācija ir iespējama daļiņām, kuru izmērs ir virs 100 μm , mazāku daļiņu identificēšanai būtiski palielinās risks iegūt gan kļūdaini pozitīvas, gan kļūdaini negatīvas identifikācijas.
5. Būtiski ir veikt paraugu kombinētu analīzi, lielāku daļiņu identificēšanai izmantojot vizuālo analīzi, bet mazāku daļiņu noteikšanai – μFTIR vai Raman spektroskopijas metodi.
6. Veicot manuālu daļiņu identifikāciju izmantojot spektroskopiju vai stereomikroskopiju var būt pieņemams lielāks organisko daļiņu daudzums paraugos, bet automātiskas analīzes veikšanai ar Raman vai FTIR spektroskopiju, tīrāks un kvalitatīvāks paraugs ir priekšrocība mazu daļiņu noteikšanai.
7. Mikroplastmasas daļiņas tika atrastas visos Baltijas jūras Austrumgotlandes un Rīgas līča Latvijas jurisdikcijas ūdeņu sedimentu virsējā slāņa paraugos, tomēr netika novērots izteikts koncentrāciju gradients vai sakritība starp mikroplastmasas daudzumu un paraugu ievākšanas vietu.
8. Lielāko mikroplastmasas daļiņu paraugos īpatsvaru veidoja šķiedras, bet dominējošais daļiņu polimēru veids bija polipropilēns.

Priekšlikumi:

Paraugu apstrādes process ir ilgstošs un paraugu apstrādes laikā ir iespējams paraugu zaudēt, tāpēc svarīgi būtu ievākt arī paraugu rezerves.

Pēc šķirpiltuves tilpuma kontroles veikšanas rezultātiem paraugu blīvumseparācijai tika izmantotas 1000 ml šķirpiltuves, kas, to lielā izmēra dēļ, liedza blīvumseparācijas posmu veikt bioloģiskās drošības skapī, kur laminārās gaisa plūsmas ietekmē tiktu nodrošināts daudz

mazāks iespējamais fona piesārņojums nekā tas ir laboratorijā, tāpēc blīvumseparācijai labāk izvēlēties nedaudz mazāka tilpuma šķirpiltuves, kas nodrošinātu to, ka visu paraugu apstrādi var veikt bioloģiskajā drošības skapī.

Tā kā paraugi ir ievākti dažādās stacijās atšķirīgos dziļumos, arī sedimentu sastāvs un ūdens daudzums tajos ir atšķirīgs, tāpēc ir svarīgi jau pirms paraugu apstrādes veikt sausā/slapjā svara attiecības aprēķināšanu visiem paraugiem, lai katram paraugam varētu precizēt kādu paaugstinātā blīvuma šķīdumu nepieciešams izmantot, kas atvieglotu un paātrinātu paraugu separācijas procesu.

Svarīgi pirms konkrēto paraugu apstrādes veikt paraugu testēšanu ar kontroles paraugiem, jo protokols, ar kādu tiek apstrādāti sedimenti, ir jāpielāgo katras jaunas matricas apstrādei. Paraugiem varbūt atšķirīgs organiskā materiāla daudzums, kas var paildzināt paraugu apstrādes gaitu. Tāpēc katram paraugam svarīgi veikt tam optimālu un atbilstošu apstrādes gaitu, kas nenoved pie lieku darbību veikšanas, lai pasargātu no parauga materiāla zuduma un iespējama piesārņojuma.

Lai būtu iespējams novērtēt mikroplastmasas izplatību Latvijas jurisdikcijā esošajos jūras ūdeņos, nepieciešams uzlabot teritorijas nosegumu un veikt padziļinātu mikroplastmasas analīzi, paplašinot esošās datu rindas ar atkārtotu ikgadēju paraugu ievākšanu mikroplastmasas dinamikas novērtēšanai. Lai apzinātu mikroplastmasas akumulācijas trendus, ieteicams paplašināt pētījuma spektru un veikt mikroplastmasas uzkrāšanās temporālu novērtējumu.

PATEICĪBAS

Vislielāko pateicību par bakalaura tēmas izvēli, vērtīgiem padomiem un labo komunikāciju darba autore izsaka bakalaura darba vadītājam Jurim Aigaram.

Lielu pateicību autore izsaka Latvijas Hidroekoloģijas institūta darbiniekiem par atbalstu, ieteikumiem un līdzdarbošanos paraugu ievākšanas un apstrādes procesā.

Par morālo atbalstu un noderīgiem padomiem darba izstrādes laikā autore izsaka pateicību savai mātai Sanijai Sviņstai.

Bakalaura darbs tika veikts ar līguma Nr. IL/106/2017 “Zināšanu uzlabošana jūras vides stāvokļa jomā Latvijas jurisdikcijā esošajos jūras ūdeņos” atbalstu.

IZMANTOTĀS LITERATŪRAS UN AVOTU SARAKSTS

Publicētie avoti

- Abbing, R.M. 2019. *Plastic Soup: An Atlas of Ocean Pollution*. Usa, Island Press.
- Aigars, J., Veidemane, K. 2018. Baltijas jūra. *Latvija zeme, daba, tauta, valsts*. Rīga, Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds, 321-324.
- Andrady, A.L. 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 62(8), 1596–1605.
- Auta, H. S., Emenike, C., Fauziah, S. 2017. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*. 102, 165–176.
- Beiras, R. 2018. *Marine Pollution. Sources, Fate and Effects of Pollutants in Coastal Ecosystems*. Amsterdam, Netherlands (etc.), Elsevier Science.
- Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (eds.) 2015. *Marine Anthropogenic Litter.*, London, Springer International Publishing.
- Claessens, M., Meester, S. D., Landuyt, L. V., Clerck, K. D., Janssen, C. R. 2011. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin*. 62(10), 2199–2204.
- Campanale, C., Savino, I., Pojar, I., Massarelli, C., Uricchio, V.F. 2020. A Practical Overview of Methodologies for Sampling and Analysis of Microplastics in Riverine Environments. *Sustainability*. 12(17), 6755
- Cincinelli, A., Scopetani, C., Chelazzi, D., Martellini, T., Pogojeva, M., Slobodnik, J. 2020. Microplastics in the Black Sea sediments. *Science of The Total Environment*. 143898.
- Cole, M., Webb, H., Lindeque, K.P., Fileman, S.E., Halsband, C., Galloway, S.T. 2014. Isolation of microplastics in biota-rich seawater samples and marine organisms. *Scientific Reports*. 4528.
- Crawford, B.C., Quinn, B. 2016. *Microplastic Pollutants*. UK, Netherland (etc), Elsevier Science.
- Crawford, C. B., Quinn, B. 2017. Microplastic separation techniques. *Microplastic Pollutants*, 203–218.
- 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.
- Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva (es) 2019/904. 2019. par konkrētu plastmasas izstrādājumu ietekmes uz vidi samazināšanu. *Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis*. L 155/1.

- Enders, K., Lenz, R., Stedmon, C. A., Nielsen, T. G. 2015. Abundance, size and polymer composition of marine microplastics $\geq 10 \mu\text{m}$ in the Atlantic Ocean and their modelled vertical distribution. *Marine Pollution Bulletin*. 100(1), 70–81.
- Esiukova, E., Zobkov, M., Chubarenko, I. 2020. Data on microplastic contamination of the Baltic Sea bottom sediment samples in 2015–2016. *Data in Brief*. 28, 104887.
- Frias, J., Pagter, E., Nash, R., O'Connor, I. (eds.) 2018. Standardised protocol for monitoring microplastics in sediments. *ResearchGate*.
- Fytli, D., Zabaniotou, A. 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods —A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 12 (1), 116–140.
- Geyer, R., Jambeck, R.J., Law, L.K. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*.
- Graca, B., Szewc, K., Zakrzewska, D., Dolega, A., Szczerbowska-Boruchowska, M. 2017. Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea—a preliminary study. *Environ Sci Pollut Res* 24, 7650–7661.
- Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S., Faggio, C. 2018. Microplastic in Marine Organism: Environmental and Toxicological Effects. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 64, 164-171.
- Han, X., Lu, X., Vogt, R. D. 2019. An optimized density-based approach for extracting microplastics from soil and sediment samples. *Environmental Pollution*. 113009.
- Harris, P. T. 2020. The fate of microplastic in marine sedimentary environments: A review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 158, 111398.
- Hester, E.R., Harrison, M. R. 2019. *Plastics and the Environment*. Issues in Environmental Science and Technology. UK, Royal Society of Chemistry.
- Hollaway, L., Jambeck, J., Moss, E., Dubey, B. 2020. *How to Reduce Plastic and Other Ocean Pollution Simultaneously*. World resources institute. Skatīts 20. 03.2021. Pieejams <https://www.wri.org/blog/2020/05/how-to-reduce-plastic-ocean-pollution>
- Jambeck, R. J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, R. T., Perryman, M., Andrady, A. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*. 347, 6223, 768-771.
- Jung, M. R., Horgen, F. D., Orski, S. V., Rodriguez C., V., Beers, K. L., Balazs, G. H., Lynch, J. M. 2018. Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*. 127, 704–716.
- Kobetičová, K., Černý, R. 2018. Ecotoxicity assessment of short- and medium-chain chlorinated paraffins used in polyvinyl-chloride products for construction industry. *Science of The Total Environment*. 640-641, 523–528.

- Kotta, J., Lauringson, V., Martin, G., Simm, M., Kotta, I., Herkül, K., Ojaveer, H. 2008. Gulf of Riga and Pärnu Bay. Ulrich Schiewer. *Ecology of Baltic Coastal Waters. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*. Berlin (etc.), Heidelberg, 197, 217-243.
- Vinay Kumar, B. N., Löschel, L. A., Imhof, H. K., Löder, M. G. J., Laforsch, C. 2020. Analysis of microplastics of a broad size range in commercially important mussels by combining FTIR and Raman spectroscopy approaches. *Environmental Pollution*, 116147
- Kühn, S., Bravo Rebolledo, E., van Franeker, J.A. 2015. Deleterious Effects of Litter on Marine Life. *Marine Anthropogenic Litter*. 75–116.
- Lassen, C., Hansen, S. F., Magnusson, K., Hartmann, N. B., Rehne Jensen, P., Nielsen, T. G. Brinch, A. 2015. *Microplastics, Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark*. Copenhagen K, Danish Environmental Protection Agency.
- Lokensgard, E. 2016. *Industrial Plastics: Theory and Applications*. 6th edn. USA, Cengage Learning.
- Löder, J. G. M., Imhof, K. H., Ladehoff, M. (eds.) 2017. Enzymatic Purification of Microplastics in Environmental Samples. *Environ. Sci. Technol.* 2017, 51, 14283–14292
- Lui, F., Nord, B., N., Bester, K., Vollertsen, J. 2020. Microplastics Removal from Treated Wastewater by a Biofilter. *Water* 12, no. 4: 1085.
- Lusher, L.A., Milian, H.G., O'Brien, J., Berrow, S., O'Conner, I., Officer, R. 2015. Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: The True's beaked whale *Mesoplodon mirus*. *Environmental Pollution*. 199, 185-191.
- Macfadyen, G., Huntington, T. 2009. *Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Murphy, J. 2001. *Additives for Plastics Handbook* 2nd edn. Oxford, United Kingdom, Elsevier Science Ltd. *Baltic Sea Environment Proceedings* 155.
- Narancic, T., O'Connor, E.K. 2018. Plastic waste as a global challenge: are biodegradable plastics the answer to the plastic waste problem? *Microbiology*. 165. Sēj. 2. Izdevums.
- Nizzetto, L., Bussi, G., Futter, M., Butterfield, D., Whitehead, P., Futter, M. N., Whitehead, P. G. A. 2016. Theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. *Environmental Science: Processes Impacts*. 18, 1050–1059
- Par Atkritumu apsaimniekošanas valsts plānu 2021.-2028. gadam. Pieņemts 22.01.2021. Ministru kabineta rīkojums Nr. 45
- Par Rīcības plānu pārejai uz aprītes ekonomiku 2020.–2027. gadam. Pieņemts 04.09.2020. Ministru kabineta rīkojums Nr. 489

- Persin, Z., Stana-Kleinschek, K., Foster, T. J., van Dam, J. E. G., Boeriu, C. G., Navard, P. 2011. Challenges and opportunities in polysaccharides research and technology: The EPNOE views for the next decade in the areas of materials, food and health care. *Carbohydrate Polymers*. 84(1), 22–32.
- Prata, J. C., Costa, J. P., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T. 2018. Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: a critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 110, 50-159
- Schröder, K., Kossel, E., Lenz, M. 2021. Microplastic abundance in beach sediments of the Kiel Fjord, Western Baltic Sea. *Environ Sci Pollut Res*.
- Schulzki, G., Nüßlein, B., Sievers, H. 2017. Transition rates of selected metals determined in various types of teas and herbal/fruit infusions. *Food Chemistry*. 215, 22–30.
- Shen, L., Worrell, E. 2014. Plastic Recycling. *Handbook of Recycling*. 179–190.
- Shim, W. J., Hong, S. H., Eo, S. 2017b. Identification methods in microplastic analysis: a review. *Analytical Methods*, 9(9), 1384–1391.
- Shim, W. J., Hong, S. H., Eo, S. 2018a. *Marine Microplastics: Abundance, Distribution, and Composition*. US, Elsevier.
- Stapleton, M.R. 2003. *Pollution a to Z*. USA, Macmillan Library.
- Thevenon, F., Carroll C., Sousa J. 2014. *Plastic Debris in the Ocean: The Characterization of Marine Plastics and their Environmental Impacts, Situation Analysis Report*. Gland, Switzerland, IUCN.
- Urban-Malinga, B., Zalewski, M., Jakubowska, A., Wodzinowski, T., Malinga, M., Pałys, B., Dąbrowska, A. 2020. Microplastics on sandy beaches of the southern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 155, 111170.
- United Nations. 2018. *Nature -based solutions for water. The United Nations world water development report 2018*. Paris, France, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., Janssen, C. R. 2013. Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environmental Pollution*. 182, 495–499.
- Waldschläger, K., Lechthaler, S., Stauch, G., Schüttrumpf, H. 2020. The way of microplastic through the environment – Application of the source-pathway-receptor model (review). *Science of The Total Environment*. 136584.
- Welden, N. A. 2020. The environmental impacts of plastic pollution. *Plastic Waste and Recycling*. 195–222.

- Wong, K. H. J., Lee, K. K., Tang, K. H. D., Yap, P.S. 2020. Microplastics in the freshwater and terrestrial environments: Prevalence, fates, impacts and sustainable solutions. *Science of The Total Environment*. 137512.
- Zhang, C., Zhou, H., Cui, Y., Wang, C., Li, Y., & Zhang, D. 2018. Microplastics in offshore sediment in the Yellow Sea and East China Sea, China. *Environmental Pollution*. 244, 827-833.
- HELCOM. 2018. State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011-2016. *Baltic Sea Environment Proceedings*. 155.
- Zhang, D., Liu, X., Huang, W., Li, J., Wang, C., Zhang, D., Zhang, C. 2020. Microplastic pollution in deep-sea sediments and organisms of the Western Pacific Ocean. *Environmental Pollution*. 113948.
- Zobkov, M., Esiukova, E. 2017. Microplastics in Baltic bottom sediments: Quantification procedures and first results. *Marine Pollution Bulletin*. 114(2), 724–732.
- Zubris, K. A. V., Richards, B. K. 2005. Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge. *Environmental Pollution*. 138 (2), 201 –211.

Nepublicētie avoti

- Arāja, R. 2020. PLASTEKO projekts – atbalsts plastmasas atkritumu ierobežošanai Latvijā. Skatīts 21.03.2021. Pieejams <https://smiltene.lv/blog/class/plasteco-projekts-atbalsts-plastmasas-atkritumu-ierobezosana-latvija/>
- Bahraini, A. 2017. 7 Types of Plastic that You Need to Know. Sk. 10.03.2020. Pieejams <https://waste4change.com/7-types-plastic-need-know/>
- Blastic. S.a. About blastic. Skatīts 20.03.2021. Pieejams <https://www.blastic.eu/about-blastic/>
- Carrington, D. 2019. *Microplastic pollution revealed 'absolutely everywhere' by new research.*
- Campaign "My Sea" for cleaner Baltic Sea's coast. 2020. Plasteco Interreg Europe. Skatīts 21.03.2021. Pieejams <https://www.interregeurope.eu/plasteco/news/news-article/7708/campaign-my-sea-for-cleaner-baltic-sea-s-coast/>
- Colleen, B. 2019. Sperm whale found dead in Italy with 22 kg of plastic in its belly echoes waste threat to sea life. Associated press. Sk. 02.04.2020. Pieejams <https://nationalpost.com/news/world/sperm-whale-found-dead-in-italy-with-22-kg-of-plastic-in-its-belly-echoes-waste-threat-to-sea-life>
- Drogas. 2019. Esam atbildīgi. Mūsu nostāja par mikroplastmasas izmantošanu kosmētiskajos līdzekļos. Skatīts 21.03.2021. Pieejams https://www.drogas.lv/lv/esam_atbildigi

- Gordon, M. 2011. Marine Plastic Pollution: Sources, Impacts, Magnitude of the Problem. Plastic Pollution Prevention Summit, California. Sk.17.03.2020. Pieejams http://www.scbwmi.org/PDFs/Miriam-Gordon_Marine-Pollution-Sources-andImpacts.pdf
- Hadi plastics. S.a. *Plastic in Our Life Plastic Products Manufacturers and Suppliers*. Sk. 03.03.2020. Pieejams <https://hadiplastic.com/2019/06/01/plastic-in-our-life/>
- Imbros S.a. Sodium polytungstate. Catalogue. Sk. 22.04. 2021. Pieejams <https://imbros.com.au/product/sodium-polytungstate/>
- Jambeck, J. 2018. *Marine plastics*. Ocean Portal Team. Sk. 13.03.2020. Pieejams <https://ocean.si.edu/conservation/pollution/marine-plastics>
- Latvijas Hidroekoloģijas institūts. 2012. Jūras vides stāvokļa sākotnējais novērtējums. Sk. 20.03.2020. Pieejams http://www.lhei.lv/images/saturs/docs/Juras_derektiva_A.pdf
- Latvijas Hidroekoloģijas institūts. 2018. *Jūras vides stāvokļa sākotnējais novērtējums*. Sk. 17.03.2020. Pieejams http://www.lhei.lv/attachments/article/573/Juras_vides_novertejums_2018.pdf
- Lūse, M. 2019. *Beziepakojuma veikalū pirmais gads*. Vides vēstis. Skatīts 23.03.2021. Pieejams <http://www.videsvestis.lv/beziepakojuma-veikalū-pirmais-gads/>
- MVA Scientific Consultants. S.a. *Micro-FTIR Spectroscopy*. Sk. 26.02.2021. Pieejams <https://mvascientificconsultants.com/micro-fourier-transform-infrared-spectroscopy>
- Paddle problems. S.a. Plastic Oceans. Skatīts 20.03. 2021. Pieejams <https://plasticoceans.org/paddle-problems/>
- Parker., L. 2019. The world's plastic pollution crisis explained. *National Geographic*. Skatīts 21.03.2021. Pieejams <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/plastic-pollution>
- Plasteco. S.a. Tirgus izpēte par pasākumu organizēšanu Rīgā. Baltijas krasti. Skatīts 21.03.2021. Pieejams <http://baltijaskrasti.lv/blog/projekti/plasteco/tirgus-izpete-par-pasakumu-organizesanu-riga/>
- Plastics Europe. 2012. *Plastics – the Facts 2020*. Skatīts 13.03. 2020. Pieejams <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020>
- Plastic Ocean. S.a. Who we are. Skatīts 20.03.2021. Pieejams <https://plasticoceans.org/who-we-are/>
- Plastic Soup Foundation. S.a. Guide to microplastics. Skatīts 20.03.2021. Pieejams <https://www.beatthemicrobead.org/>
- Plastic waste pathways into the Baltic Sea. 2021. Programme 2014 - 2020 INTERREG V-A Finland - Estonia - Latvia - Sweden (Central Baltic). Skatīts 20.03.2021. Pieejams <https://keep.eu/projects/18740/Plastic-waste-pathways-into-EN/>

- Ritchie, H., Roser, M. 2018. *Plastic Pollution*. Our World in Data. Sk.13.03.2020. Pieejams
https://ourworldindata.org/plasticpollution?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=sendto_newsletter&stream=top
- The Ocean Cleanup. S.a. *80% of river plastic stems from 1000 rivers*. Skatīts 20.03.2021. Pieejams
<https://theoceancleanup.com/rivers/>
- The Guardian. Sk. 12.03.2020. Pieejams
<https://www.theguardian.com/environment/2019/mar/07/microplastic-pollution-revealed-absolutely-everywhere-by-new-research>
- Thompson, E. 2018. *Solving Microplastic Pollution Means Reducing, Recycling—and Fundamental Rethinking*. Scientific american. Skatīts 20.03.2021. Pieejams
<https://www.scientificamerican.com/article/solving-microplastic-pollution-means-reducing-recycling-and-fundamental-rethinking1/>
- Types of Plastics. S.a. Pure planet recycling. Sk.11.03.2020. Pieejams
<https://www.pureplanetrecycling.co.uk/types-of-plastics/>

PIELIKUMI

1. Pielikums. Paraugu ievākšanas stacijas.
2. Pielikums. Kvalitātes kontroles lodītes.
3. Pielikums. Paraugu apstrādes gaita.
4. Pielikums. Mikroplastmasas sedimentos sākotnējais apstrādes protokols.

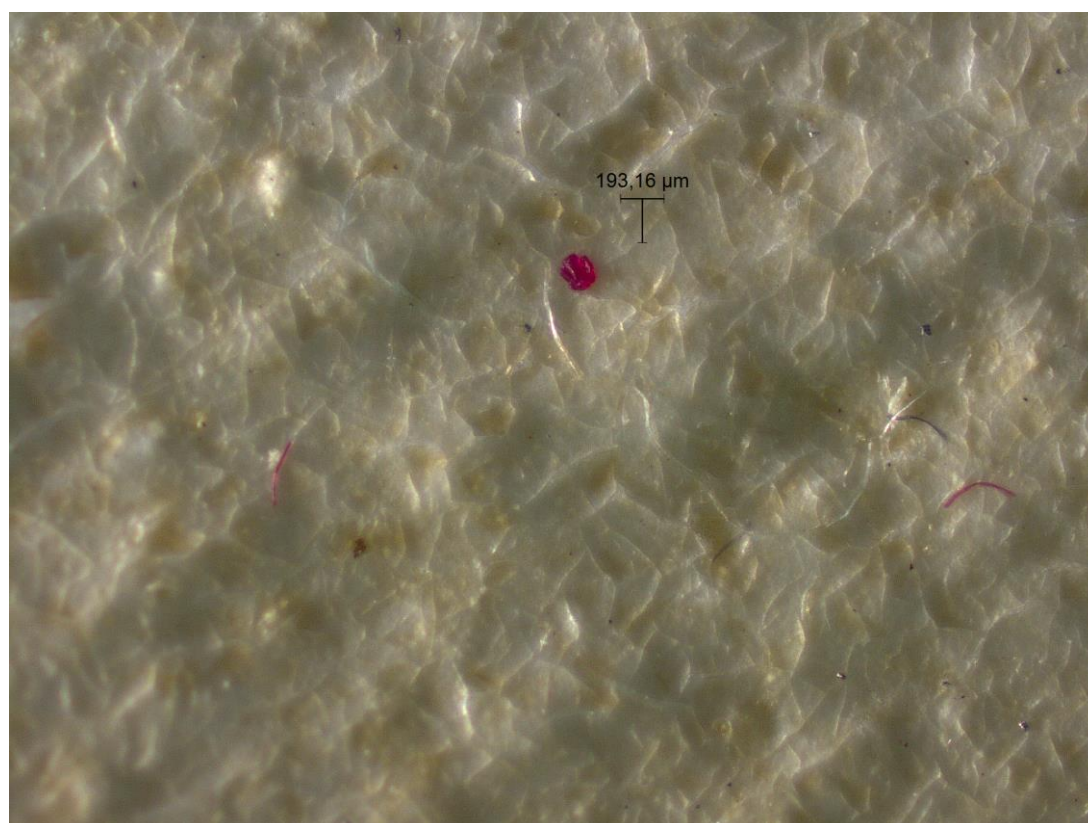
1.pielikums
Paraugu ievākšanas stacijas

Reisa datums	Stacijas (parauga) nosaukums	Dziļums ,m	Ziemeļu platums	Austrumu garums
8.-10. jūlijs	119	45,4	57°17.9175'	23°50.8928'
	120	47,1	57°24.9804'	23°45.9545'
	121A	56,1	57°36.0555'	24°06.9000'
	102A	42,9	57°10.0004'	23°40.0192'
	103	38,7	57°10.0109'	23°55.9539'
	121	56,1	57°37.0351'	23°36.9914'
	142	41,2	57°34.0796'	22°58.8433'
	111	38,1	57°47.8401'	22°53.1570'
	40A	70,7	57°23.5164'	21°06.0204'
26.-27. jūlijs	45A	77	56°37.1200'	20°26.8642'
	47	55,8	56°08.8755'	20°05.7557'
	46	188	57°23.0522'	20°27.7159'
	43	160,7	56°41.9854'	19°51.9778'

2. pielikums

Kvalitātes kontroles lodītes

(Zemāk attēlā deformēta, augstāk – vesela lodīte)



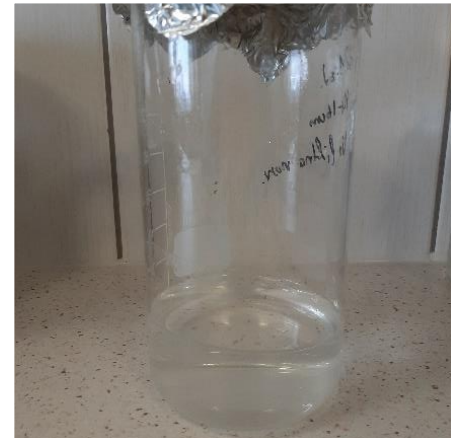
3. pielikums
paraugu apstrādes gaita



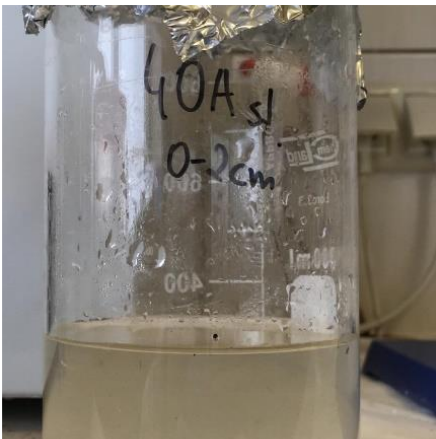
1. Parauga svēršana



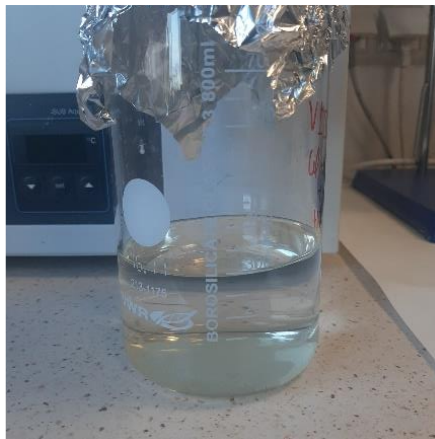
2. Parauga separācija (atkārto 2 reizes)



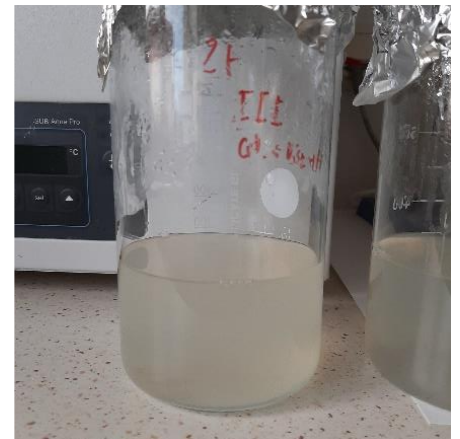
3. Paraugs pēc separācijām



4. Paraugs 24 h pēc H_2O_2



5. Paraugam tikko pievienots celulāzes un viskozīma enzīmi un buferšķīdums



6. Paraugs 48 h pēc celulāzes un viskozīma enzīmu pievienošanas



7. Paraugs 48 h pēc hitināzes un proteāzes enzīmu un buferšķīduma pievienošanas



8. Parauga 3. separācija



9. Parauga gala produkts

Mikroplastmasas sedimentos sākotnējais apstrādes protokols

Sedimentu MP paraugu apstrādes protokols

1. Paņem apakš paraugu slapjā/sausā svara proporcijas noskaidrošanai:
 - nosver un marķē 50 ml vārglāzi
 - iesver apakšparaugu apt. 1 tējkaroti
 - nosver paraugu ar vārglāzi un marķē
 - liek *freeze dryer*-ī, lai paraugu apakšparaugu izžāvētu
 - Vārglāzi ar izžuvušo paraugu sver, marķē un aprēķina slapjā/sausā svara attiecību (visus svērumus protokolē un aprēķinu veic xls)

No vienas stacijas vienlaicīgi ņem 2 paraugus (I un II) pa 50 ml un tālāko apstrādi veic pēc sekojošajiem soļiem:

2. 50 ml parauga sedimentu ievieto 1000 ml šķirpiltuvē, izskalo vārglāzi un veic 1. aerāciju (5 min.), pievieno HL (ar blīvumu 1,75 g/cm³), līdz šķirpiltuves platākajai vietai, nostādina uz 24h.

3. Veic 1. separāciju un šķidro (parauga) frakciju filtrē caur 10 mikronu filtru; paraugu ar MiliQ ieskalo tīrā 800ml vārglāzē. Filtrus ievieto 150 ml vārglāzē un sonicē 5min, noskalo ar MiliQ un šķīdumu pieskalo klāt paraugam 800ml vārglāzē. Nolietos sedimentus ievieto atpakaļ šķirpiltuvē, veic 2. aerāciju, pievieno HL līdz šķirpiltuves platākajai vietai un atstāj nostāties uz 24h.

4. Veic 2. separāciju, šķidro (parauga) frakciju filtrē caur 10 mikronu filtru; paraugu ar MiliQ ieskalo iepriekšējā dienā izmantotajā 800ml vārglāzē, kas jau satur daļu parauga. Filtrus ievieto 150 ml vārglāzē un sonicē 5min, noskalo ar miliQ un šķīdumu pieskalo klāt paraugam 800ml vārglāzē. Nolietos sedimentus atfira HL centrifugējot.

5. Paraugu apstrādā ar 15% H₂O₂ attiecībā 1:1 un liek kratītājā 50 C, 100 rpm uz 24h.

6. Pirmo paraugu (I) pēc peroksīda filtrē caur 50 mikronu sietu, paraugu no filtra ar etanolu ieskalo nelielā vārglāzē (GP-gala produkts). Filtrus ievieto 150ml vārglāzē un sonicē 5min, noskalo ar etanolu un šķīdumu pieskalo klāt paraugam GP vārglāzē. Paraugu liek žāvēt uz ne vairāk kā 50 °C, kamēr izžūst līdz ~10ml. Tad paraugu ar etanolu ieskalo 20ml viālā un žāvē 50 °C līdz 10 ml, aizvāko viālu.

7. Otru (II) paraugu filtrē uz GF/C filtriem un pēc tam skatās MP daļiņas.