

Mikroplastmasas piesārņojuma raksturojums Baltijas jūras Rīgas līča nogulumos

Eiropas Savienības Eiropas Jūrlietu, zvejniecības un akvakultūras fonda finansēts projekts “Pētījumi zināšanu uzlabošanai par jūras vides stāvokli integrētās jūrlietu politikas ieviešanai” (NR 24-00-U1010801-000001)

Līguma Nr. IL/58/2024 (12.06.2024)



Izpildītājs: **Latvijas Hidroekoloģijas institūts**

Rīga, 2025

Saturs

Ievads	3
Paraugu ievākšana	4
Paraugu apstrāde	6
Paraugu analīze un datu apstrāde	8
Rezultāti	10
Secinājumi	11
Izmantotie informācijas avoti	13

Ievads

Pēdējo gadu laikā mikroplastmasas piesārņojums sauszemes un ūdens ekosistēmās ir saņēmis augošu uzmanību. Plastmasas izstrādājumu intensīvais patēriņš, nepienācīga atkritumu apsaimniekošana un to fragmentēšanās rezultējas mikroplastmasas piesārņojuma nonākšanā atmosfērā, ūdenstilpēs un nogulumos (Zobkov & Esiukova et al., 2017). Jūras nogulumi tiek uzskatīti par vienu no mikroplastmasas uzkrāšanās vietām, kur daļiņas var saglabāties ilgstoši, ietekmējot bentisko organismu veselību, barošanās procesus un vielu apriti (Harris, 2020).

Baltijas jūras ekosistēma, tostarp Rīgas līcis, ir īpaši jutīga pret antropogēno slodzi ierobežotās ūdens apmaiņas, sekluma un intensīvas cilvēku saimnieciskās darbības dēļ. Rīgas līci ietekmē mikroplastmasas piesārņojums, kas rodas piekrastes apdzīvotās vietās, zvejniecības, ostu darbības un kuģošanas infrastruktūras dēļ, tiek nests ar upju ūdeņiem u.c. (Barone et al., 2025). Šo faktoru kopums nosaka augstu mikroplastmasas uzkrāšanās potenciālu nogulumos.

Mikroplastmasas piesārņojuma problemātika ir cieši saistīta ar Eiropas Savienības vides aizsardzības stratēģijām. Jūras stratēģijas pamatdirektīva 2008/56/EK nosaka mērķi sasniegt labu jūras vides stāvokli, savukārt raksturlielums D10 (Jūras atkritumi) definē prasības attiecībā uz mikroplastmasas kvantitatīvu raksturošanu un to ietekmes novērtējumu (Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2008/56/EK). Direktīva paredz, ka dalībvalstīm jāizstrādā un jāievieš monitoringa programmas, kas nodrošina pietiekami detalizētus datus par jūras atkritumu izplatību un tendencēm, tostarp nogulumos konstatēto mikroplastmasas daudzumu. Šie dati ir būtiski, lai nodrošinātu atbilstošu politikas plānošanu, risku novērtēšanu un preventīvo pasākumu īstenošanu.

Neraugoties uz to, ka pētniecība par mikroplastmasas izplatību Baltijas jūrā pēdējos gados ir pieaugusi, joprojām pastāv nepilnīga izpratne par mikroplastmasas koncentrācijām un sastāvu atsevišķos reģionos, īpaši Rīgas līča nogulumos (Graca et al., 2017). Papildu datu iegūšana ir būtiska, lai izvērtētu piesārņojuma telpisko variāciju, noteiktu potenciālos ievades avotus un nodrošinātu zinātnisku pamatojumu vides aizsardzības un monitoringa pasākumu pilnveidei. Šī pētījuma ietvaros ir sniegta mikroplastmasas piesārņojuma raksturojums Rīgas līča nogulumos, analizējot daļiņu koncentrāciju, sastāvu, morfoloģiju un telpisko izplatību. Iegūtie rezultāti veicinās labāku izpratni par mikroplastmasas ietekmi uz Baltijas jūras ekosistēmu un palīdzēs nodrošināt atbilstošu informācijas bāzi ietekmes uz vidi novērtējumam un turpmākai normatīvo un politikas instrumentu pilnveidei.

Paraugu ievākšana

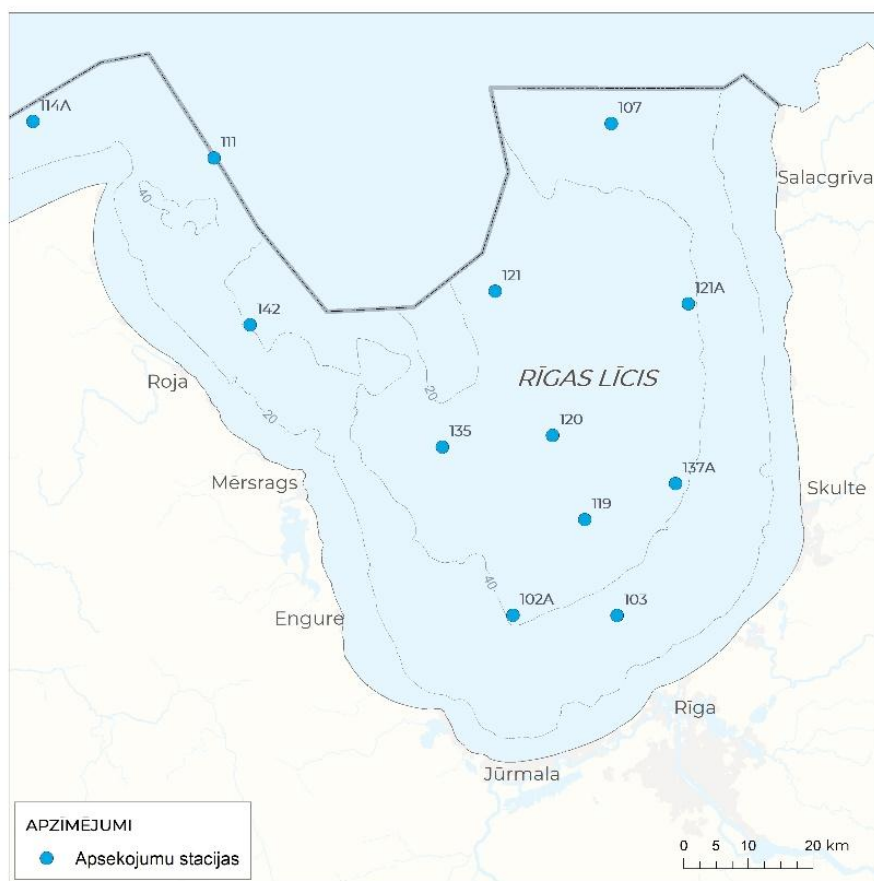
Baltijas jūras Rīgas līcī 2025. gadā no 11. līdz 13. aprīlim, kā arī 14. un 16. maijā tika ievākti nogulumu virskārtas augšējie 2 cm (1. attēls) mikroplastmasas satura noteikšanai. Paraugu ievākšana veikta 12 vietās (1. tabula), izmantojot gravitācijas urbi (2. attēls). Iegūtie nogulumi ieskaloti stikla burkā, izmantojot filtrētu Milli-Q ūdeni, atbilstoši marķēti un uzglabāti 5-10°C temperatūrā līdz tālākai apstrādei. Papildus ievākti četri negatīvās kontroles paraugi 102A, 121, 142 un 137A stacijās, lai novērtētu iespējamo netīšu paraugu piesārņojumu to ievākšanas laikā.



1.attēls. Nogulumu serdes augšējā slāņa ievākšana.

1. tabula. Paraugu ievākšanas vietu (staciju) koordinātes un dziļums.

N.p.k.	Stacijas nr.	Z.pl	A.gr.	Dziļums, m
1.	121	57°37,0320'	23°37,0906'	56,1
2.	135	57°24,1726'	23°29,1061'	45,8
3.	120	57°25,0150'	23°45,9881'	47,1
4.	119	57°18,0601'	23°51,2544'	46,5
5.	103	57°10,0696'	23°56,1528'	39,3
6.	102A	57°09,9905'	23°40,2489'	43,3
7.	107	57°50,9920'	23°54,8203'	32,4
8.	137A	57°21,0790'	24°05,1020'	43,5
9.	121A	57°36,0077'	24°07,0996'	44,4
10.	111	57°47,80'	22°53,00'	37,5
11.	142	57°34,00'	22°29,00'	42,0
12.	114A	57°50,00'	22°24,00'	34,0



2. attēls. Nogulumu mikroplastmasas paraugu ievākšanas vietas Baltijas jūras Rīgas līcī.

Paraugu apstrāde

Kvalitātes nodrošināšana

Mikroplastmasas paraugi ir pakļauti netīša piesārņojuma un daļiņu zuduma riskam, tāpēc tika veikti vairāki piesardzības pasākumi to mazināšanai. Visi šķidumi, kam paredzēts nonākt saskarē ar paraugu, pirms lietošanas vakuumfiltrēti caur 450° C temperatūrā 4 stundas karsētiem stikla šķiedras filtriem (Ø 47 mm, poru izmērs 0,7 µm). Pēc iespējas tika izmantoti stikla un metāla trauki, izvairoties no plastmasas priekšmetu nonākšanas saskarē ar paraugiem vai šķīdumiem, kas nonāks saskarē ar tiem. Ja izvairīties no plastmasas priekšmetu izmantošanas nebija iespējams, to veidojošā polimēra spektrs tika reģistrēts un izslēgts no turpmākas analīzes. Visi paraugu apstrādes laikā izmantotie trauki pirms darba procesa tika mazgāti ar trauku mazgāšanas līdzekli un skaloti ar Milli-Q ūdeni, iespēju robežās karsēti mufelkrāsnī 450°C temperatūrā, pēc tam tīrīti ultraskaņas vannā 5 minūtes un skaloti ar Milli-Q ūdeni. Ar paraugiem darbības veiktas laminārās plūsmas skapī vai velkmes skapī, kad laminārās plūsmas skapja izmantošana nav iespējama. Pirms darba veikšanas rokas, nepieciešamie trauki un piederumi skaloti ar Milli-Q ūdeni. Visā paraugu sagatavošanas laikā tika izmantota viena, katram paraugam atbilstoša vārglāze, lai samazinātu daļiņu zuduma risku.

Paralēli mikroplastmasas paraugiem identiskā veidā apstrādāti un analizēti trīs negatīvās kontroles paraugi, lai noteiktu paraugu apstrādes gaitā radušos netīšas paraugu piesārņošanas līmeni. Vadoties pēc tiem aprēķināts netīšas paraugu piesārņošanas vidējais rādītājs (μ) un standartnovirze (σ). Ja vidējais netīšais piesārņojuma līmenis (μ) vairāk nekā trīs reizes pārsniedz standartnovirzi (σ), tiek meklēts tā avots un veikti pasākumi tā novēršanai.

Paraugu sagatavošana analīzei

Laboratorijā katrs ievāktais nogulumu paraugs tika homogenizēts un sadalīts divās daļās, no kurām viena tika novirzīta mikroplastmasas kvantitatīvajai un kvalitatīvajai analīzei, bet otra nogulumu sausās masas analīzei. Sausās masas noteikšanai paredzētā nogulumu daļa tika sasaldēta -18°C un žāvēta vakuumā, pēc tam nosverot sauso nogulumu masu.

Mikroplastmasas noteikšanai paredzēto paraugu apstrādi sāka ar Fentona oksidācijas reakciju, kas paredzēta tajos esošā organiskā materiāla degradēšanai. Paraugiem vienādās proporcijās pievienots Milli-Q ūdens, 30% ūdeņraža peroksīds (H₂O₂) un 0,05 M dzelzs (III) sulfāts (FeSO₄). Reakcijas temperatūra tika uzturēta intervālā no 38°C līdz 42°C, neļaujot nokristies zem 36°C.

Organiskā materiāla degradēšanai sekoja paraugos esošā neorganiskā materiāla dodalīšana, veicot blīvuma separāciju. Tā veikta stikla šķirpiltuvēs (3. attēls), izmantojot paaugstināta blīvuma šķīdumu (nātrija politongstāts (SPT), blīvums 1,75 g/cm³). Paraugi ieskaloti šķirpiltuvēs, izmantojot SPT šķīdumu, piepildot šķirpiltuvi 2/3 no tās tilpuma. Pēc tam veikta manuāla paraugu aerācija 5 minūtes un tie atstāti nogulsnēties 1-2 h. Nogulsnējusies parauga daļa pa šķirpiltuves apakšu tika nodalīta un saglabāta tīrā vārglāzē, atkārtojot tai blīvuma separāciju vēl vienu reizi. Šķirpiltuvē palikušais paraugs novirzīts tālākai apstrādei.



3. attēls. Mikroplastmasas daļiņu izdalīšana no parauga, izmantojot blīvuma separāciju.

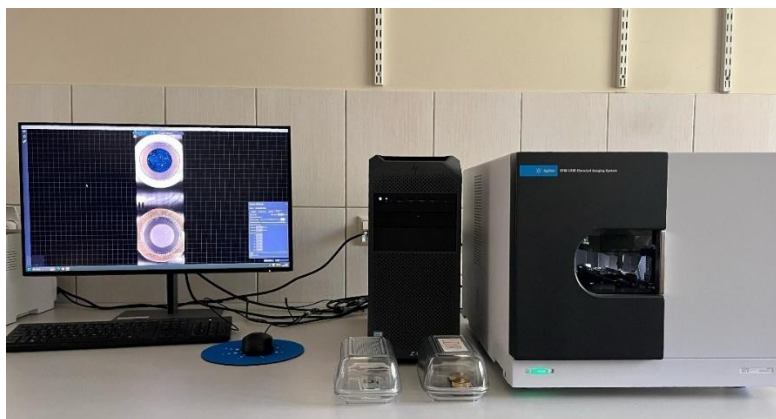
Pēc neorganiskā materiāla nodalīšanas tika veikta organiskā materiāla nograušana, izmantojot enzimatiskās reakcijas. Paraugiem tika pievienots acetātbuferšķīdums (25 ml) un hitināze (5ml), un tas tika inkubēts 37°C temperatūrā 48 stundas. Pēc inkubācijas paraugs tika nofiltrēts un tam pievienots TRIS buferšķīdums (25 ml), proteāze (5 ml) un alkalāze (5 ml). Paraugs inkubēts 50°C temperatūrā 48 stundas. Pēc apstrādes ar enzīmiem veikta atkārtota separācija kā aprakstīts iepriekš. Paraugi saglabāti noslēgtos stikla traukos analīzei.

Pēc katra apstrādes soļa paraugi tika filtrēti caur nerūsējošā tērauda filtru (Ø 47 mm, poru izmērs 10 µm) un skaloti ar Milli-Q ūdeni, lai atbrīvotos no iepriekšējā apstrādes solī izmantotā reaģenta. Izmantotā vārglāze, kurā atradās paraugs, tika izskalota virs filtra, lai pārliecinātos par pilnīgu daļiņu atgūstamību. Paraugi no filtriem tika ieskaloti vārglāzē, izmantojot nākamajā apstrādes solī pielietojamo reaģentu. Paraugu filtri tika apstrādāti ultraskaņas vannā un skaloti klāt atbilstošajam paraugam, izmantojot nākamajā apstrādes solī pielietojamo reaģentu. Filtru apstrādes ultraskaņas vannā un skalošana atkārtota divas reizes.

Paraugu analīze un datu apstrāde

Nogulumu paraugu analīzei tika ņemti apakšparaugi, uz analītiskajiem svariem nosverot taru ar paraugu, ar stikla Pastēra pipeti paņemot analizējamo parauga daļu, nosverot tās masu, un visbeidzot nosverot sausu taru. Apakšparaugi tika vakuumfiltrēti uz poliestera filtriem ar alumīnija pārklājumu (i3 Membrane, $\varnothing$ 25 mm, poru izmērs 0,8 μm). Ņemot vērā vakuumfiltrēšanai nepieciešamās iekārtas uzbūvi un parauga īpašības, apakšparaugi tika filtrēti secīgi uz diviem filtriem: pirmais filtrs saturēja tiešo apakšparauga daļu, savukārt uz otrā filtra tika skalotas uz pirmās filtrēšanas glāzes virsmas spraiguma dēļ palikušās daļiņas. Abu filtru analīzes rezultāti pirms statistiskās analīzes tika apvienoti.

Paraugu analīze tika veikta ar lāzera tiešās infrasarkanās (LDIR) attēlveidošanas metodi, kas izmanto kvantu kaskādes lāzeri kā infrasarkanās gaismas avotu (8700 LDIR Chemical Imaging System, Agilent, ASV, 4. attēls), un datorprogrammu *Clarity* (Agilent, ASV, versijas numurs: 1.6.83).



4. attēls. Lāzera tiešās infrasarkanās (LDIR) attēlveidošanas sistēmas komplektācija (8700 LDIR Chemical Imaging System, Agilent, ASV).

Katras daļiņas atstarošanās spektrs tika salīdzināts ar datu bāzē esošajiem references spektriem daļiņu ķīmiskās identitātes noteikšanai. Izmantotā spektru datu bāzi veidoto ražotāja spektru pamatpakete, kas sastāv no 915 plastmasas (piemēram, polistirols un poliuretāns) un dabisku polimēru (piemēram, celulozes un olbaltumvielu) spektriem. Spektru bibliotēka papildināta ar spektriem no plastmasas priekšmetiem, kuri konkrētā pētījuma laikā nonāca saskarē ar paraugu, piemēram, apstrādes laikā izmantotā teflona strūklene u.c. Jāuzsver, ka LDIR sistēmai ir limitēts viļņu garuma diapazons ($1800\text{--}975\text{ cm}^{-1}$), kā rezultātā tādu polimēru kā poliamīds (PA) noteikšana var nebūt pilnībā akurāta.

Clarity datorprogramma nodrošina informāciju par uz filtra esošo daļiņu izmēru, formu, polimēru un daļiņas spektra sakritību ar datu bāzē esošajiem spektriem. Datu apstrādes laikā tiek izņemtas datu rindas, kuru daļiņu sakritība ar datu bāzē esošajiem spektriem ir mazāka par 70%, kuras veido dabiskas izcelsmes polimēri kā celuloze, hitīns u.c. vai kuru spektriem noteikta sakritība ar paraugu ievākšanas un apstrādes laikā izmantoto plastmasas priekšmetu spektriem.

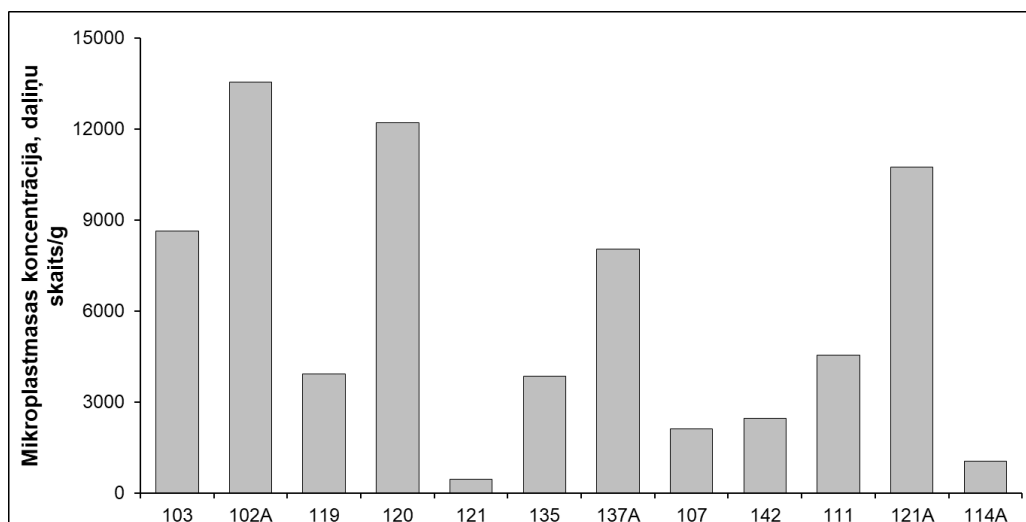
Mikroplastmasas daļiņu izmēru raksturošanai tiek izmantots to laukumam ekvivalents diametrs, kas aprēķināts atbilstoši daļiņas optiskā vai hiperspektrālā ķīmiskā attēla divdimensiju projekcijas laukumam.

Projekcijas laukuma noteikšanai tiek izmantota lielākā (garums) un mazākā (platums) projekcijas vērtība. Daļiņu formu raksturojošanai tiek izmantota daļiņu īsākās un garākās malas attiecība (angl. – *aspect ratio*, turpmāk tekstā – AR). Ja AR ir mazāks par 0,11, daļiņa klasificēta kā šķiedra, bet, ja AR ir lielāks par 0,11, tā klasificēta kā fragments (Barone et al. 2024).

Ja tika ņemts apakšparaugs, atbilstoši tā procentuālajam tilpumam pret pilnu paraugu tika aprēķināta mikroplastmasas koncentrācija visā paraugā. Mikroplastmasas koncentrācija nogulumos izteikta kā mikroplastmasas daļiņu skaits (MP) uz vienu gramu sausu nogulumu (g).

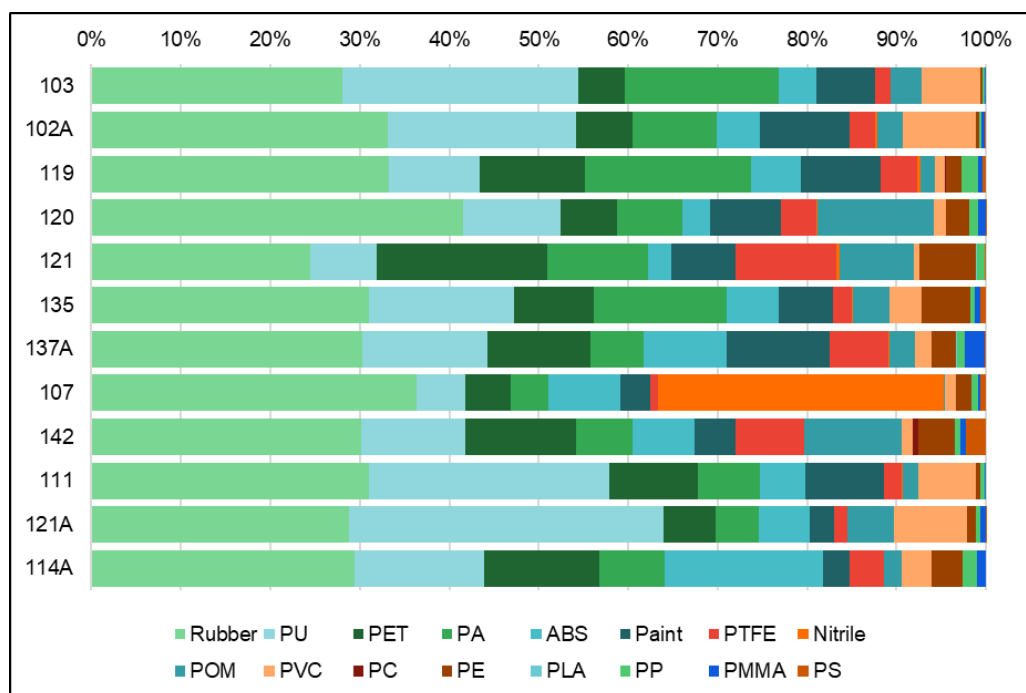
Rezultāti

Baltijas jūras Rīgas līča nogulumos vidējā konstatētā mikroplastmasas koncentrācija sasniedza $5960,30 \pm 4501,89$ MP/g, ar ievērojamām atšķirībām starp paraugu ievākšanas vietām (5. attēls). Zemākās koncentrācijas novērotas 121. stacijā (446,72 MP/g), savukārt augstākās – 102A stacijā (13536,40 MP/g). 102A, 120, 121A, 137A stacijas uzrāda augstāko mikroplastmasas koncentrāciju, bet 121, 114A, 107 – zemāko.



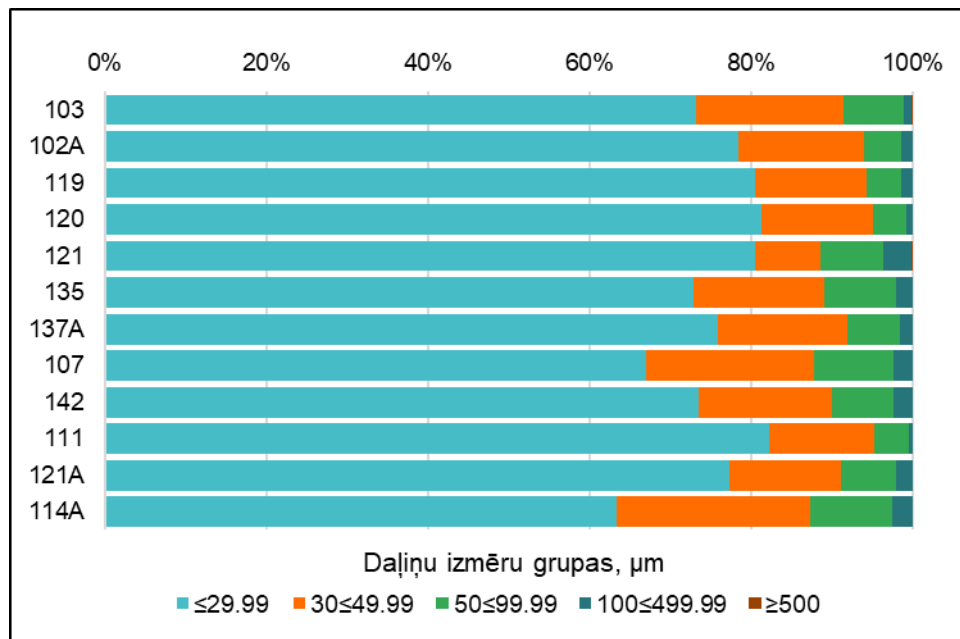
5. attēls. Mikroplastmasas piesārņojuma koncentrācija Baltijas jūras Rīgas līča nogulumos.

Visbiežāk sastopamie polimēru veidi bija gumija, poliuretāns (PU), polietilēntereftalāts (PET), poliamīds (PA) un akrilnitrila butadiēna stirols (ABS) (6. attēls).



6. attēls. Mikroplastmasu daļiņu veidojošo polimēru grupas Baltijas jūras Rīgas līča nogulumos. Rubber – gumija, PU – poliuretāns, PET – polietilēntereftalāts, PA – poliamīds, Paint – krāsa, PTFE – Teflons, Nitrile – nitrils, POM – polioksimetilēns, PVC – polivinilhlorīds, PC – polikarbonāts, PE – polietilēns, PLA – polipienskābe, PP – polipropilēns, PMMA – polioksimetakrilāts, PS – polistirols.

Mikroplastmasas daļiņas tika kategorizētas pēc to izmēra jeb daļiņu laukuma ekvivalentā diametra (7. attēls). Aptuveni 77% identificēto mikroplastmasas daļiņu izmērs nepārsniedza 30 µm. Secīgi ~15% daļiņu izmēri ir robežās no 30 µm līdz 49,99 µm un ~8% daļiņu ir lielākas par 50 µm.



7. attēls. Mikroplastmasas daļiņu izmēru (µm) procentuālais sadalījums Baltijas jūras Rīgas līča nogulumos.

Secinājumi

Mikroplastmasas piesārņojums Rīgas līča nogulumos ir telpiski nevienmērīgs, norādot uz telpiski diferencētu piesārņojuma slodzi, kas saistīta ar hidrodinamiskajiem apstākļiem un piesārņojuma akumulācijas zonām. Identificētie polimēri liecina par daudzveidīgiem piesārņojuma avotiem – dominējošās polimēru grupas norāda uz tādiem potenciālajiem piesārņojuma avotiem kā kuģošanas un ostu infrastruktūras materiāli, zvejas rīki, patēriņa preču atkritumi. Polimēru struktūra atbilst raksturīgajiem jūras atkritumu komponentiem, kas minēti arī ES un HELCOM reģionālajos problemātikas aprakstos. Identificēto daļiņu izmērs liecina par augstu fragmentācijas pakāpi un potenciāli lielāku biopieejamību bentiskajiem organismiem. Šāda izmēru struktūra ir būtiska vides riska novērtēšanai, jo sīkākās daļiņas vieglāk uzņem ūdens organismi un tās ilgāk saglabājas nogulumos.

Izmantotā paraugu apstrādes procedūra nodrošināja efektīvu organisko un neorganisko piemaisījumu izdalīšanu no nogulumu mikroplastmasas daļiņām. Kvalitātes nodrošināšanas procedūras (stikla un metāla trauku izmantošana, reaģentu filtrēšana, aprīkojuma karsēšana u.c.) būtiski samazināja netīšas piesārņošanas risku (negatīvās kontroles) un nodrošināja paraugu apstrādes reproducējamību. Lāzera tiešās infrasarkanās attēlveidošanas metode (LDIR) nodrošināja detalizētu informāciju par daļiņu polimēru sastāvu, izmēriem un formu, ļaujot iegūt augstas izšķirtspējas datus par daļiņām lielākām par 10 µm. Metode ir piemērota sistemātiskam mikroplastmasas monitoringa darbam un atbilst mūsdienu starptautiskajiem standartiem, tomēr

ieteicams turpināt pilnveidot polimēru identifikācijas bibliotēkas, lai samazinātu nenoteiktības risku specifisku polimēru grupās (piem., poliamīdi). Metodoloģiskais risinājums vērtējams kā pētījuma mērķim atbilstošs un piemērots jūras nogulumu mikroplastmasas monitoringa vajadzībām.

Šajā pētījumā iegūtie dati papildina zināšanu bāzi par mikroplastmasas piesārņojuma līmeni un sadalījumu Rīgas līča nogulumos, kas ir būtiski gan nacionālās, gan reģionālās vides politikas veidošanai. Tie nodrošina pamatu turpmākai integrētai jūras vides stāvokļa novērtēšanai un ilgtspējīgas pārvaldības pasākumu plānošanai. Ieteicams paplašināt monitoringa tīklu, iekļaujot papildu stacijas arī atklātās jūras daļā un palielinot staciju skaitu, lai nodrošinātu augstāku teritoriālo pārklājumu. Nogulumos konstatētā mikroplastmasas piesārņojuma datus ieteicams kombinēt ar datiem par mikroplastmasas sastopamību ūdens virskārtā un piekrastē visaptveroša priekšstata par piesārņojuma izplatību iegūšanai.

Izmantotie informācijas avoti

- Barone, M., Dimante-Deimantovica, I., Busmane, S., Koistinen, A., Poikane, R., Saarni, S., Stivrins, N., Tylmann, W., Uurasjärvi, E., Viksna, A., 2024. What to monitor? Microplastics in a freshwater lake – From seasonal surface water to bottom sediments. *Environmental Advances* 17, 100577. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100577>
- Barone, M., Svipta, S., Bikse, J., Dimante-Deimantovica, I., 2025. Microplastics in FLOW: Seasonal patterns in major Latvian rivers. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 11, 101202. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101202>
- Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2008/56/EK (2008. gada 17. jūnijs) ar ko izveido sistēmu Kopienas rīcībai jūras vides politikas jomā (Jūras stratēģijas pamatdirektīva). Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis, L 164/19.
- Graca, B., Szewc, K., Zakrzewska, D., Dołęga, 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. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8419-5>
- Harris, P.T., 2020. The fate of microplastic in marine sedimentary environments: A review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin* 158, 111398. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111398>
- Zobkov, M., Esiukova, E., 2017. Microplastics in Baltic bottom sediments: Quantification procedures and first results. *Marine Pollution Bulletin* 114, 724–732. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.060>