

Vadlīnijas dzeramā ūdens mikroplastmasas piesārņojuma monitoringam Latvijā atbilstoši ES rekomendācijām

LVAF projekts Nr. 1-08/83/2024

Autori:

Marta Barone

Sanda Svipsta

Elīna Vecmane

Juris Tunēns

Inga Retiķe

Inta Dimante-Deimantoviča

Rīga, 2025

Projekta finansētājs:

Klimata un enerģētikas ministrija

Reģ. nr. 40900039891

Latgales iela 165, Rīga, LV-1019

Izpildītājs:

Daugavpils Universitātes aģentūra Latvijas Hidroekoloģijas institūts (LHEI)

Reģ. Nr. 90002129621

Voleru iela 4, Rīga, LV-1007

Kontaktpersona: Marta Barone, marta.barone@lhei.lv

Autori:

Marta Barone, pētniece (LHEI)

Sanda Svipsta, zinātniskā asistente (LHEI)

Elīna Vecmane, zinātniskā asistente (LHEI)

Juris Tunēns, zinātniskais asistents (LHEI)

Inga Retiķe, pētniece, projektu komunikācijas vadītāja (LHEI)

Inta Dimante-Deimantoviča, vadošā pētniece (Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskais institūts BIOR)

Atsaucei: Barone M., Svipsta S., Vecmane E., Tunēns, J., Retiķe I., Dimante-Deimantoviča I. 2025. Vadlīnijas dzeramā ūdens mikroplastmasas piesārņojuma monitoringam Latvijā atbilstoši ES rekomendācijām. Latvijas Vides aizsardzības fonda projekts Nr. 1-08/83/2024. Latvijas Hidroekoloģijas institūts, 23 lpp.

Saturs

Ievads	4
Paraugu ievākšanas vietas	5
Paraugu ievākšana	6
Paraugu ievākšanas iekārtas uzbūve.....	6
Sagatavošanās paraugu ievākšanai.....	6
Paraugu ievākšana	6
Paraugu apstrāde	8
Sagatavošanās paraugu apstrādei	8
Paraugu noņemšana no filtriem.....	8
Mikroplastmasas izdalīšana no paraugiem.....	10
Kvalitātes nodrošināšana.....	12
Paraugu analīze	13
Paraugu sagatavošana analīzei	13
Paraugu analīze	13
Datu apstrāde un rezultātu analīze	15
Novirzes no direktīvas.....	16
Rekomendācijas	18
Paraugu ievākšana un tilpums	19
Samērīgums, izmaksu efektivitāte un metožu attīstība	20
Izmantotie informācijas avoti.....	21
1. pielikums. Protokols paraugu ievākšanas datu reģistrēšanai.....	22
2. pielikums. Paraugu ievākšanas, apstrādes un analīzes izmaksas 2025. gadā	23

Ievads

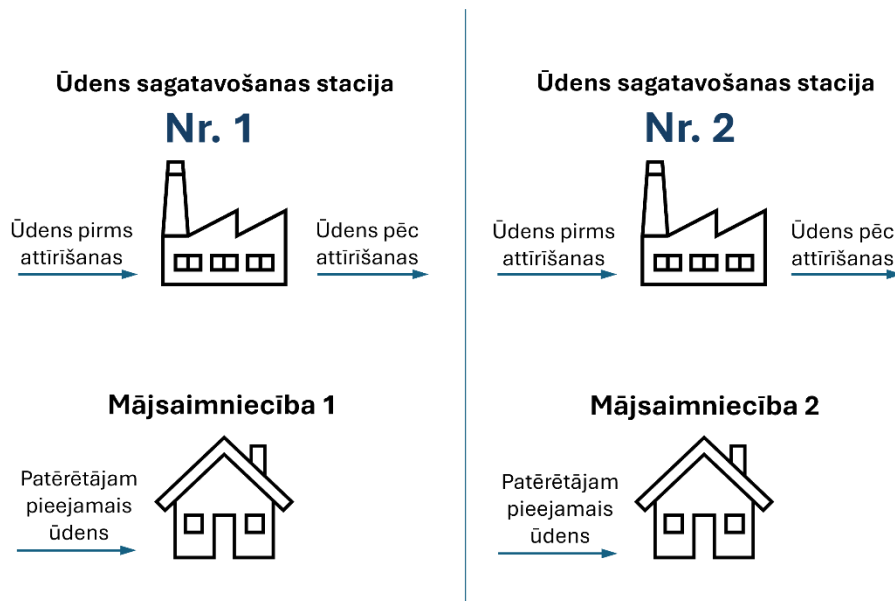
Mikroplastmasas piesārņojums dzeramajā ūdenī un ar to saistītais monitorings ir kļuvis aktuāls un saistošs Eiropas Savienības (ES) dalībvalstīm sakarā ar normatīvo aktu noteiktajiem regulējumiem – ES Direktīvu 2020/2184 par dzeramā ūdens kvalitāti un Komisijas Lēmumu 2024/14412 par dzeramajā ūdenī sastopamās mikroplastmasas noteikšanas metodi. Līdz šim Latvijā nav veikti mikroplastmasas piesārņojuma pētījumi dzeramajā ūdenī, un Eiropas Komisijas sagatavotā metode nav bijusi aprobēta.

Latvijas vides aizsardzības fonda (LVAf) projekta Nr. 1-08/83/2024 veiktais pētījums ir pirmais pilotpētījums Latvijā, kas novērtē ES Direktīvas 2020/2184 un Komisijas Lēmuma 2024/14412 rekomendētās metodes piemērotību mikroplastmasas noteikšanai dzeramā ūdens apgādes sistēmā. Tā īstenošanai tika uzbūvēta paraugu ievākšanas iekārta, vadoties pēc Vācijas Tehniskā ūdens izpētes centra pieredzes (Pittroff et al., 2018). Dzeramā ūdens mikroplastmasas paraugi tika ievākti, apstrādāti un analizēti no divām ūdens sagatavošanas stacijām pirms ūdens sagatavošanas un pēc tās, kā arī no krāna divās mājāsaimniecībās. Projekta laikā gūtā pieredze un zināšanas ļāva novērtēt Latvijas gatavību mikroplastmasas piesārņojuma novērtēšanai dzeramajā ūdenī, kā arī identificēt Komisijas Lēmuma 2024/14412 metodikas praktiskās nepilnības. Izstrādātās vadlīnijas dzeramā ūdens mikroplastmasas piesārņojuma monitoringam Latvijā iekļauj paraugu ievākšanas, apstrādes un analīzes metodes aprakstu un rekomendācijas, kas izmantojama kā komplementāra daļa ES Direktīvai 2020/2184 un Komisijas Lēmumam 2024/14412.

Paraugu ievākšanas vietas

Dzeramā ūdens mikroplastmasas analīzei tika ievākti 72 paraugi sešās vietās (1. attēls). Divas no tām atradās dzeramā ūdens sagatavošanas stacijās pirms un pēc ūdens sagatavošanas procesa. Šo paraugu mērķis bija novērtēt ūdens sagatavošanas procesa ietekmi uz mikroplastmasas koncentrāciju. Papildus tika ņemti paraugi divās mājssaimniecībās, kas saņem ūdeni no attiecīgajām ūdensapgādes sistēmām. Tas ļāva izvērtēt ūdens sadales sistēmas ietekmi uz mikroplastmasas daļiņu koncentrāciju ūdenī, kas nonāk līdz patērētājam.

Lai palielinātu datu ticamību un samazinātu nejaušo faktoru ietekmi, katrā paraugu vākšanas vietā tika ievārti trīs secīgi paraugu atkārtējumi.

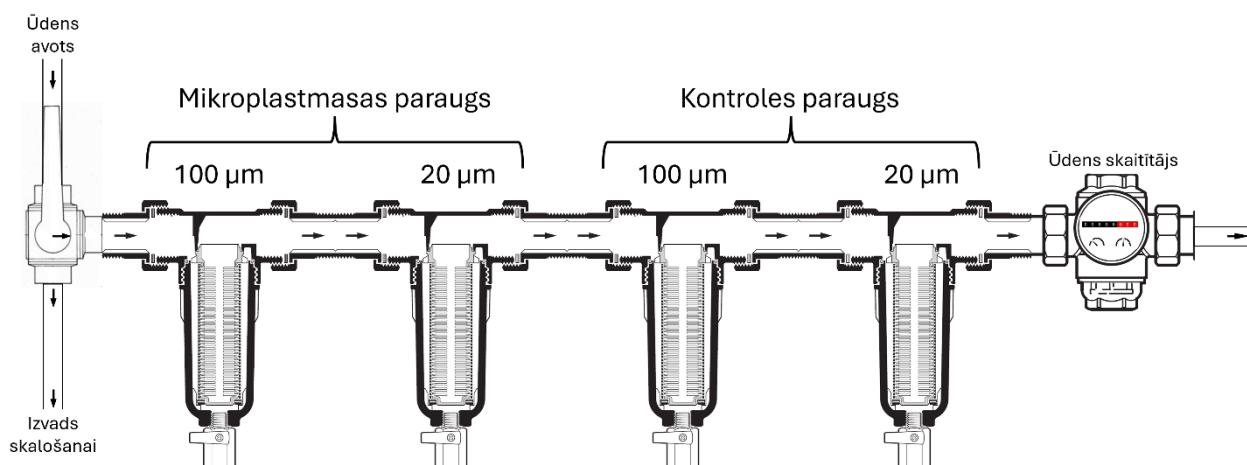


1. attēls. Dzeramā ūdens mikroplastmasas paraugu ievākšanas vietu plāns.

Paraugu ievākšana

Paraugu ievākšanas iekārtas uzbūve

Dzeramā ūdens mikroplastmasas paraugu ievākšanas iekārtu veido filtru kaskāde, kas sastāv no četriem secīgi novietotiem nerūsējošā tērauda cilindriskas formas filtriem ar acs izmēriem (A) 100 μm , (B) 20 μm , (C) 100 μm un (D) 20 μm (2. attēls). Filtri nostiprināti filtru turētājos, kas piemēroti darbībai zem pozitīva spiediena. Filtri A un B paredzēti dzeramā ūdenī suspendēto vielu, tai skaitā mikroplastmasas daļiņu, uzkrāšanai. Filtri C un D paredzēti netīšas paraugu piesārņošanas novērtēšanai paraugu ievākšanas, apstrādes un analīzes laikā (negatīvās kontroles paraugi). Pirms filtru kaskādes atrodas trīsceļu ventis ar izejām ūdens pievadīšanai no avota, pievades caurules skalošanai, un ūdens novadīšanai uz filtrēšanas kaskādi. Ūdens pievadīšanai un novadīšanai izmantota polivinilhlorīda (PVC) caurule. Aiz filtru kaskādes pievienots ūdens plūsmas mērītājs, kas nodrošina precīzu izfiltrētā ūdens tilpuma uzskaiti.



2. attēls. Filtru kaskādes shēma.

Sagatavošanās paraugu ievākšanai

Darbības ar filtrēšanas iekārtu, filtriem un paraugiem pēc iespējas veic laminārās plūsmas skapī, lai izvairītos no netīšas paraugu piesārņošanas. Nerūsējošā tērauda filtrus pirms izmantošanas karsē 450° C, pārējās filtrēšanas iekārtas detaļas mazgā ar ziepēm un skalo ar filtrētu ūdeni. Visas filtru kaskādes detaļas attīra ultraskaņas vannā un skalo ar filtrētu Milli-Q ūdeni. Paraugu ievākšanas iekārtas komplektēšanu veic, nosedzot visas atvērtās savienojumu vietas ar tam paredzētu korķi vai 450° C karsētu foliju. Paraugu ievākšanas iekārtu ievieto statīvā nodrošinot, ka kaskādes D filtrs atrodas augstāk nekā A filtrs (3. attēls). Pēc iespējas jāizvairās no plastmasas priekšmetu nonākšanas saskarē ar paraugu vai paraugu ievākšanas iekārtu.

Paraugu ievākšana

Paraugu ievākšanai nepieciešamais inventārs:

- Statīvs filtrēšanas iekārtas pārvietošanai;
- Filtru kaskāde ar četriem nerūsējoša tērauda filtriem (acs izmērs: 100 μm , 20 μm);
- Ūdens skaitītājs;

- Trīs PVC caurules;
- Adapteri cauruļu pieslēgšanai ūdens avotam;
- Metāla savilcēji;
- Teflona strūklene ar filtrētu Milli-Q ūdeni;
- Protokols paraugu ievākšanas datu reģistrēšanai.

Pirms ūdens paraugu filtrēšanas reģistrē paraugu ievākšanas datumu un laiku, kā arī ūdens skaitītāja rādījumus un, iespēju robežās, ūdens spiedienu pievades caurulē (1. pielikums). Šie dati tiek pierakstīti arī pēc parauga filtrēšanas precīzai ūdens apjoma uzskaiti.

Nofiksē trīscēļu ventili ūdens plūsmai no ūdens avota uz izeju pievades caurules skalošanai un skalo pievades cauruli 5 minūtes tecinot caur to ūdeni. Nofiksē trīscēļu ventili ūdens plūsmai no ūdens avota uz filtru kaskādi un filtrē ūdeni līdz plūsmas mērītājs uzrāda izfiltrētu 1 m³ vai līdz filtrs palielināta izfiltrētā materiāla daudzuma dēļ vairs necaurlaiž ūdeni. Reģistrē izfiltrētā ūdens tilpumu. Pārtrauc ūdens padevi filtru kaskādei un atvieno plūsmas mērītāju, nosedz atvērto savienojuma vietu ar tam paredzēto korķi. No filtru kaskādes atvieno trīscēļu vārstu, nosedz atvērto savienojuma vietu ar tam paredzēto korķi. Transportē filtru kaskādi uz laboratoriju, nodrošinot tās nepārtrauktu vertikālu stāvokli.



3.attēls. Paraugu ievākšanas iekārta.

Paraugu apstrāde

Sagatavošanās paraugu apstrādei

Darbības ar filtrēšanas iekārtu, filtriem un paraugiem pēc iespējas veic laminārās plūsmas skapī. Paraugu noņemšana no filtriem tiek veikta laminārās plūsmas skapī, kas iepriekš iztīrīts ar filtrētu Milli-Q ūdeni. Visi trauki un aprīkojums, kam paredzēts nonākt saskarē ar paraugu, pirms izmantošanas jāattīra, karsējot 450° C (ja iespējams), mazgājot ultraskaņas vanniņā un skalojot ar filtrētu Milli-Q ūdeni. Pirms darba ar paraugiem rūpīgi jānomazgā rokas ar ziepēm un ūdeni, jāskalo ar filtrētu Milli-Q ūdeni, tāpat roku skalošana jāveic regulāri arī laminārās plūsmas skapī. Rokās netiek vilkti laboratorijas cimdi, kā arī jāveic citi ar kvalitātes nodrošināšanu saistīti pasākumi (skat. tālāk tekstā). Pirms un tūlīt pēc priekšmetu ievietošanas laminārās plūsmas skapī tie ir jānoskalo ar filtrētu Milli-Q ūdeni.

Paraugu noņemšana no filtriem

Pirms un tūlīt pēc ievietošanas laminārās plūsmas skapī, filtru kaskādi noskalo ar filtrētu Milli-Q ūdeni. Filtru kaskāde laminārās plūsmas skapī tiek uzstādīta nelielā slīpumā, lai A filtrs atrastos zemāk par D filtru (4. attēls).



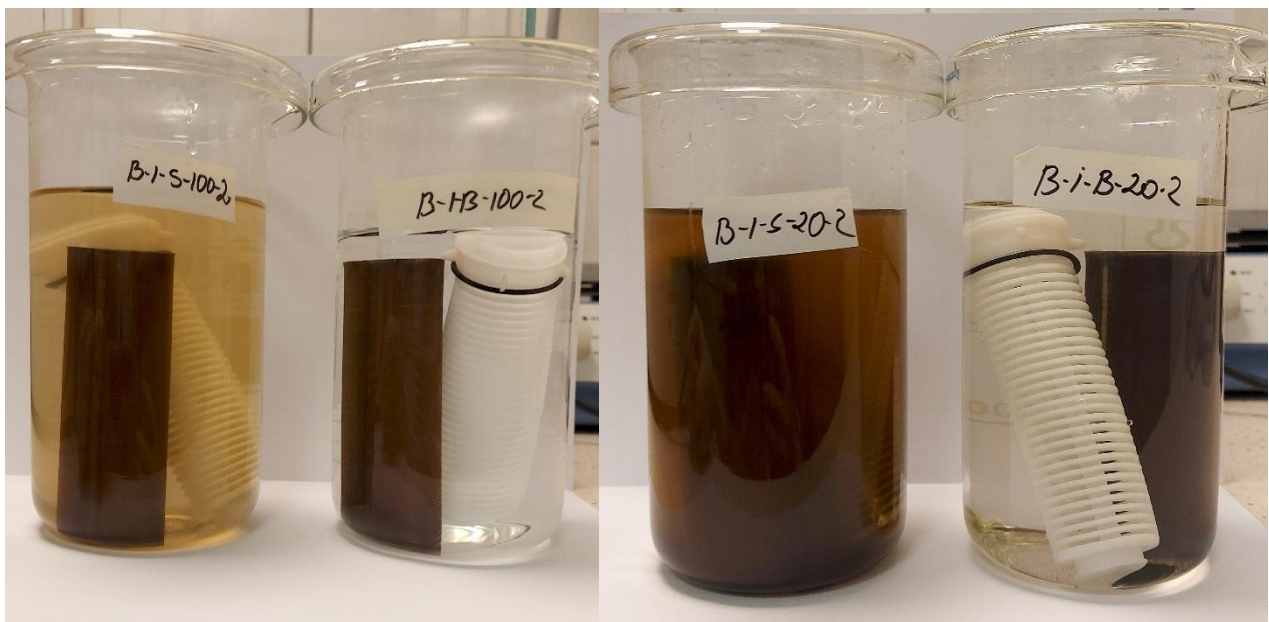
4. attēls. Filtru kaskādes konfigurācija laminārās plūsmas skapī.

Pirms parauga izņemšanas atver savienojuma korķi kaskādes pusē, kur iepriekš bija pievienots plūsmas mērītājs. Tas tiek darīts, lai izvairītos no vakuuma sistēmā. Paraugu izņemšana tiek veikta sākot ar mikroplastmasas paraugiem (filtri A un B) un pēc tam kontroles paraugiem (filtri C un D) secībā no lielākā daļiņu izmēra uz mazāko (5. attēls).



5. attēls. Parauga filtra izņemšana no filtra turētāja.

Katru filtru kopā ar atbilstošo filtra turētājā esošo šķidrumu, attiecīgā filtra blīvēm un filtra balstu (6. attēls) ievieto vārglāzēs. Tos attīra ultraskaņas vanniņā un skalo ar filtrētu Milli-Q ūdeni. Ūdeni, kurā pēc šo darbību veikšanas suspendēts paraugs, sakoncentrē, vakuumfiltrējot uz nerūsējošā tērauda filtriem ($\varnothing$ 47mm, poru izmērs 10 μ m). Cilindriskā filtra attīrīšanu ultraskaņas vanniņā, skalošanu ar filtrētu Milli-Q ūdeni un sakoncentrēšanu uz nerūsējošā tērauda filtriem atkārtoti vēl divas reizes, lai nodrošinātu maksimālu daļiņu atgūstamību. Filtrus ar sakoncentrēto paraugu saglabā noslēgtā stikla traukā turpmākai attīrīšanai.



6. attēls. Mājsaimniecībā ievāktie dzeramā ūdens mikroplastmasas paraugi, cilindriskie filtri, filtru balsts un blīves vārglāzēs pēc attīrīšanas ultraskaņas vanniņā. Pa kreisi 100 μ m frakcija, pa labi 20 μ m frakcija.

Mikroplastmasas izdalīšana no paraugiem

Paraugu attīrīšanai nepieciešamos soļus izvēlas atbilstoši paraugā esošā materiāla specifikai. Konkrētā pētījuma ietvaros mikroplastmasas daļiņas no parauga tika izdalītas, izmantojot Fentona oksidācijas reakciju organiskā materiāla nograuššanai (7. attēls) un blīvumseparācijas metodi (SPT šķīdums ar blīvumu 1,75 g/ml), lai atbrīvotos no dabiskām neorganiskās izcelsmes daļiņām (8. attēls). Mikroplastmasas paraugi un atbilstošie negatīvās kontroles paraugi apstrādāti paralēli, izmantojot vienādus protokolus.



7. attēls. Fentona oksidācijas reakcija organiskā materiāla nograuššanai.



8. attēls. Paraugu blīvumseparācija neorganiskā materiāla nodalīšanai.

Lai atbrīvotos no apstrādes laikā izmantotajiem reaģentiem, paraugi tika vakuumfiltrēti caur nerūsējošā tērauda filtriem ($\varnothing$ 47 mm, poru izmērs 10 μ m) un skaloti ar siltu (50° C) Milli-Q ūdeni (9. attēls).



9. attēls. Paraugs izfiltrēts uz nerūsējošā tērauda filtra pēc Fentona oksidācijas reakcijas.

Kvalitātes nodrošināšana

Lai izvairītos no netīšas paraugu piesārņošanas, jāpiemēro vairāki piesardzības pasākumi.

- Visi trauki un priekšmeti, kam paredzēts nonākt saskarē ar paraugu, pirms lietošanas mazgāti ar trauku mazgāšanas līdzekli, skaloti, karsēti 450° C (ja iespējams), attīrīti ultraskaņas vanniņā (ja iespējams) un trīs reizes skaloti ar filtrētu Milli-Q ūdeni.
- Visi šķīdumi, kam paredzēts nonākt saskarē ar paraugu, pirms lietošanas vakuumfiltrēti caur 450° C temperatūrā 4 stundas karsētiem stikla šķiedras filtriem (poru izmērs mazāks par mazāko nosakāmo mikroplastmasas daļiņu izmēru; šajā pētījumā 0,7 μm).
- Visas darbības ar paraugiem pēc iespējas veiktas laminārās plūsmas skapī.
- Pēc iespējas jāizvairās no plastmasas priekšmetu nonākšanas saskarē ar paraugiem vai šķīdumiem, kas nonāks saskarē ar tiem. Ja nav iespējams izvairīties no plastmasas priekšmetu izmantošanas, to veidojošā polimēra spektrs tiek reģistrēts un izslēgts no turpmākas analīzes.
- Paraugu ievākšanas, apstrādes un analīzes laikā darbību veicējs izvairās no sintētiska apģērba valkāšanas un dekoratīvās kosmētikas lietošanas, kā arī nav pieļaujama darbību veikšana ar paraugiem, ja darbību veicējam ir lakoti vai pielikti polimērus saturoši roku nagi. Darbu veicējam jābūt tādām matu sakārtojumam, kas netraucē darbu veikšanai un nepieļauj potenciāli matos esošo mikroplastmasas daļiņu nonākšanu paraugā.
- Paralēli katram mikroplastmasas paraugam ievākti un identiskā veidā apstrādāti negatīvās kontroles paraugi, lai noteiktu paraugu ievākšanas un apstrādes gaitā radušos raksturīgo netīšas paraugu piesārņošanas līmeni. Vadoties pēc tiem aprēķina netīšas paraugu piesārņošanas vidējo rādītāju (μ) un standartnovirzi (σ). Ja negatīvās kontroles paraugs rāda, ka vidējais netīšais piesārņojuma līmenis (μ) vairāk nekā trīs reizes pārsniedz standartnovirzi (σ), nepieciešams identificēt piesārņojuma avotu un veikt pasākumus tā novēršanai (Komisijas lēmums 2024/1441).

Paraugu analīze

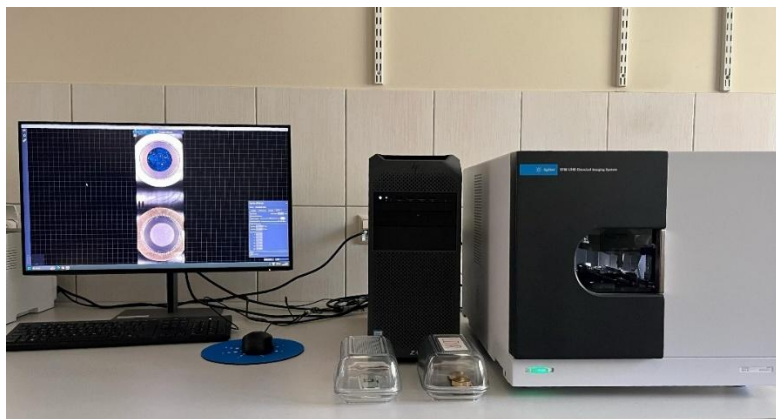
Paraugu sagatavošana analīzei

Apstrādātie paraugi tika vakuumfiltrēti laminārās plūsmas skapī uz poliestera filtriem ar zelta (SterliTech, $\varnothing$ 25 mm, poru izmērs 0,8 μm) vai alumīnija (i3 Membrane, $\varnothing$ 25 mm, poru izmērs 0,8 μm) pārklājumu. Paraugā esošā lielā daļiņu skaita dēļ nebija iespējama visa parauga tilpuma analīze, jo izmantotā analītiskā iekārta nespēj izšķirt pārāk blīvi izkārtotas vai savstarpēji pārsegta daļiņas. Šī iemesla dēļ tika analizēti apakšparaugi, rezultātus pēc tam attiecīgi mērogojot, lai atspoguļotu mikroplastmasas daļiņu koncentrāciju visa parauga tilpumā.

Lai nodrošinātu parauga homogenitāti un atdalītu no parauga uzglabāšanas trauka sienīnām un apakšas pielipušās mikroplastmasa daļiņas, pirms apakšparauga ņemšanas tas tika ievietots ultraskaņas vannā. Apakšparaugi tika ņemti gravimetriski, uz analītiskajiem svariem nosverot taru ar paraugu, ar stikla Pastēra pipeti paņemot analizējamo parauga daļu (8-84% no kopējā parauga tilpuma), nosverot tās masu, un visbeidzot nosverot sausu trauku. 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 datu apstrādes laikā tika apvienoti.

Paraugu analīze

Dzeramā ūdens mikroplastmasas paraugu analīze pētījuma ietvaros veikta ar lāzera tiešās infrasarkanās (LDIR) attēlveidošanas metodi, kas izmanto kvantu kaskādes lāzeru kā infrasarkanās gaismas avotu (8700 LDIR Chemical Imaging System, Agilent, ASV, 10. attēls). Daļiņu noteikšanai tika izmantota *Clarity* programmatūra (Agilent, ASV, versijas numurs: 1.6.83). Automatizētas analīzes laikā tiek gūta visaptveroša informācija par paraugā esošo daļiņu ķīmisko sastāvu, kā arī to izmēra un formas parametriem. Vispirms skenējošā režīmā pie noteikta viļņu garuma (1442 cm^{-1}) daļiņas tiek identificētas, izskaitītas un izmērītas, pēc tam analīzes režīmā tiek noteikts katras daļiņas pilns atstarošanās spektrs (950-1800 cm^{-1}) un salīdzināts ar datu bāzē esošajiem references spektriem daļiņu ķīmiskās identitātes noteikšanai.



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

Izmantotā spektru datu bāze daļiņu ķīmiskajai analīzei veidota no ražotāja spektru pamatpaketes. Tā sastāv no 915 prioritāro plastmasas un dabisku polimēru (piemēram, celulozes un olbaltumvielu) spektriem. Par prioritārajiem polimēriem uzskatīti polietilēns (PE), polipropilēns (PP), polietilēntereftalāts (PET), polistirols (PS), polivinilhlorīds (PVC), poliamīds (PA), poliuretāns (PU), polimetilmetakrilāts (PMMA), politetrafluoroetilēns (PTFE) un polikarbonāts (PC). Spektru bibliotēka papildināta ar spektriem no plastmasas priekšmetiem, kuri konkrētā pētījuma laikā nonāca saskarē ar paraugu, piemēram, paraugu filtrēšanas iekārtas blīves un filtra balsts, apstrādes laikā izmantotā teflona strūklene u.c. Šie spektri tika izslēgti no datu rindām to apstrādes laikā, lai nodalītu dzeramā ūdensapgādes sistēmā esošo mikroplastmasas piesārņojumu no paraugu ievākšanas un apstrādes laikā radušā piesārņojuma. Identificēto daļiņu spektrālā sakritība ar datu bāzē esošajiem spektriem tika uzskatīta par ticamu, ja tā bija augstāka par 70%.

Datu apstrāde un rezultātu analīze

Datu sagatavošana analīzei

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.

Daļiņu formu raksturojošie parametri – īsākās un garākās malas attiecība (angl. – *aspect ratio*, turpmāk tekstā – AR), laukumam ekvivalents diametrs, sfēriskums, ekscentriskums un laukuma aizpildījums – tiek aprēķināti izmantojot informāciju par daļiņas garumu un platumu. Mikroplastmasas daļiņu izmēru raksturošanai tiek izmantots to laukumam ekvivalents diametrs, kas aprēķināts atbilstoši daļiņas optiskā vai hiperspektrālā ķīmiskā attēla divdimensiju projekcijas laukumam. Par mikroplastmasas daļiņas garumu tiek noteikta lielākā no abām projekcijas vērtībām, bet par platumu – mazākā. AR izmanto, lai raksturotu daļiņas formu: 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).

Daļiņu polimēri grupēti atbilstoši prioritāro polimēru sarakstam: PE, PP, PET, PS, PVC, PA, PU, PMMA, PTFE un PC. Papildus izdalītas tādu polimēru grupas kā akrilnitrila butadiēna stirols (ABS), polioksimetilēns (POM), polipienskābe (PLA), nitrils un gumija.

Mikroplastmasas koncentrāciju dzeramajā ūdenī izsaka kā mikroplastmasas daļiņu skaitu uz litru attiecīgajā paraugā izfiltrētā ūdens. Ja tika ņemts apakšparaugs, atbilstoši tā procentuālajam tilpumam pret pilnu paraugu tika aprēķināta mikroplastmasas koncentrācija visā paraugā.

Rezultātu analīze

Pētītajās ūdensgūtnēs mikroplastmasas koncentrācija dzeramajā ūdenī ir zemāka par vidēji citos pētījumos globālā mērogā novēroto. Dzeramā ūdens sagatavošanas procesa rezultātā mikroplastmasas daļiņu koncentrācija samazinās līdz trīs reizēm. Pie patērētāja nonākošajā dzeramajā ūdenī mikroplastmasas koncentrācija ir divas līdz astoņas reizes zemāka nekā ūdenī pirms attīrīšanas. Atsevišķos gadījumos mikroplastmasas koncentrācija palielinās posmā starp attīrīto ūdeni ūdens sagatavošanas stacijā un patērētāju.

20 μm frakcijā novērojama līdz 10 reizes augstāka mikroplastmasas koncentrācija nekā 100 μm paraugu frakcijā. Šāda sakarība ir raksturīga mikroplastmasas piesārņojumam ne tikai dzeramajā ūdenī, bet arī citās vides matricās – sakarā ar plastmasas daļiņu fragmentēšanos, mazāka izmēra mikroplastmasas daļiņas ir sastopamas lielākā skaitā. Attiecībā uz dominējošiem polimēru veidiem (>10%), biežāk sastopamie bija gumija, PET, POM, PA un PTFE.

Novirzes no direktīvas

Saskaņā ar ES direktīvu 2020/2184 par dzeramā ūdens kvalitāti ir publicēts lēmums 2024/14412, kas nosaka dzeramajā ūdenī sastopamās mikroplastmasas mērīšanas metodiku. Atsevišķas no metodikā aprakstītajām prasībām šobrīd nav izpildāmas tehnoloģisku un finansiālu apsvērumu dēļ, tomēr laicīga trūkumu apzināšana sniedz iespēju atbilstoši reaģēt, lai tos novērstu pirms mikroplastmasas monitorings tiek noteikts par obligātu.

Paraugu ievākšanas laikā novērots, ka filtru kaskādē izvietotie filtri (A, B, C, D) nav pilnībā hermētiski noslēgti, kā rezultātā ūdenī suspendētās daļiņas, tai skaitā mikroplastmasa, nav fracionēta atbilstoši paredzētajām daļiņu izmēru grupām. Tas nozīmē, ka lielāka izmēra daļiņas var nonākt secīgi nākamajos filtros, kur paredzēts uzkrāt tikai mazāka izmēra daļiņas. Tāpat ūdenī suspendētās daļiņas nonāk filtros C un D, kurus paredzēts izmantot kā negatīvās kontroles paraugus – tas neļauj novērtēt faktisko mikroplastmasas piesārņojuma apmēru dzeramajā ūdenī, jo tukšie paraugi var saturēt daļiņas, kuras būtu bijis jāaiztur filtriem A un B.

Lēmumā 2024/14412 noteiktais minimālais pieļaujamais caur filtru kaskādi filtrējama ūdens tilpums ir 1000 litru (1 m^3). Vairāku paraugu gadījumā šis tilpums netika sasniegts, jo augstā suspendēto vielu koncentrācija ūdenī būtiski samazināja filtrācijas efektivitāti. Rezultātā filtri bija piesātināti pirms 1000 litru ūdens izfiltrēšanas – trīs paraugiem izfiltrētā ūdens tilpums bija vien 120, 360 un 550 litri. Lai gan izfiltrētais tilpums ir mazāks par vadlīnijās noteikto minimālo daudzumu, iegūtie paraugi tiek uzskatīti par reprezentatīviem konkrētā ūdens objekta faktiskajam stāvoklim, ņemot vērā ūdens augsto duļķainību, vides apstākļus paraugu ievākšanas brīdī, kā arī laika un finanšu resursu ierobežojumus, lai atkārtotu paraugu ievākšanu līdz noteiktais ūdens tilpums ir sasniegts.

Pētījuma ietvaros paraugu apstrādē izmantotie šķīdumi pirms lietošanas tika filtrēti caur filtru ar poru izmēru $0,7\text{ }\mu\text{m}$ nevis $0,45\text{ }\mu\text{m}$ vai mazāka poru izmēra filtriem kā noteikts lēmumā 2024/14412. Filtri ar poru izmēru $0,45\text{ }\mu\text{m}$ vai mazāku, kurus iespējams karsēt 450° C , nav komerciāli izplatīti. Tā kā pētījumā izmantoto filtru poru izmērs ir ievērojami mazāks par minimālo nosakāmo mikroplastmasas daļiņu izmēru ($20\text{ }\mu\text{m}$), šāda atkāpe no direktīvā noteiktās metodikas uzskatāma par pieļaujamu.

Netika veikta eksperimentālā verifikācija, kas paredz noteikt mikroplastmasas daļiņu atgūstamības rādītājus to apstrādes laikā un identificēšanas precizitāti analīzes laikā. Paraugu ievākšanas laikā ūdens plūsmai nepieciešams pievienot zināmu daudzumu vismaz divu prioritāro polimēru daļiņu ar izmēru $120\text{--}200\text{ }\mu\text{m}$ filtram (A) un $30\text{--}70\text{ }\mu\text{m}$ filtram (B), no kuriem vismaz viens polimērs ir ar lielāku blīvumu nekā ūdenim, un vismaz viens ar mazāku (Komisijas lēmums 2024/1441). Paraugu analīzes verifikācijai nepieciešams pievienot filtriem zināmu skaitu noteikta izmēra daļiņu, kas jāuztver paraugu ņemšanas filtriem, proti, filtram (A) $>100\text{ }\mu\text{m}$ un filtram (B) $20\text{--}100\text{ }\mu\text{m}$ (Komisijas lēmums 2024/1441). Šī pētījuma ietvaros daļiņu atgūstamības novērtējums nav izpildāms sakarā ar mikroplastmasas references materiālu augstajām izmaksām – viens references paraugs ar noteiktu skaitu viena polimēra daļiņu izmaksā aptuveni $600\text{--}1000\text{ EUR}$, kas pārsniedz konkrētā projekta budžeta iespējas.

Saskaņā ar direktīvas rekomendācijām, paraugu analīzei ieteicams pēc iespējas neveikt apakšparaugošanu, izņemot gadījumus, ja augstas daļiņu koncentrācijas dēļ pilna parauga analīze nav

iespējama. Pilna parauga analīzes gadījumā daļiņas pārklātos, kas neļautu iegūt atsevišķu daļiņu spektrus, kā arī traucētu veikt precīzu ķīmisko attēlu veidošanu un daļiņu kartēšanu. Apakšparaugošana pieļaujama nodrošinot, ka analizētais materiāls ir reprezentatīvs un aptver vismaz 10% no kopējā parauga tilpuma, rezultātus mērogojot atbilstoši pilna parauga apjomam (Komisijas lēmums 2024/1441). Projekta ievaros veiktā pētījuma gadījumā pilna parauga analīze nebija praktiski īstenojama, un visiem paraugiem tika analizēti apakšparaugi (min 8,84%, max 84,49%, vid. 37,00%), no kuriem diviem analizētā daļa bija mazāka par 10% (8,84 un 9,86%).

Komisijas lēmumā 2024/1441 mikroplastmasas šķiedras ir definētas kā daļiņas, kuru platuma un garuma attiecība ir vienāda ar vai mazāka par 0,33, tomēr, vadoties pēc iepriekšējās pieredzes citos pētījumos, šāds koeficients neatspoguļo šķiedras formas daļiņu morfoloģiju. Pētījuma ietvaros šķiedras tiek definētas kā daļiņas, kuru platuma un garuma attiecība ir vienāda ar vai mazāka par 0,11, bet fragmenti – kuru platuma un garuma attiecība ir lielāka par 0,11 (Barone et al. 2024).

Rekomendācijas

Veiktais pētījums ir pirmais pilotpētījums Latvijā, kas novērtē mikroplastmasas sastopamību dzeramā ūdens apgādes sistēmā, vadoties pēc ES Direktīvas 2020/2184 par dzeramā ūdens kvalitāti un Komisijas Lēmuma 2024/14412 par dzeramajā ūdenī sastopamās mikroplastmasas noteikšanas metodikas. Pētījuma īstenošanai tika uzbūvēta paraugu vākšanas iekārta, ievākti dzeramā ūdens mikroplastmasas paraugi divās ūdens sagatavošanas stacijās pirms ūdens sagatavošanas un pēc tās, divās mājsaimniecības piegādātais dzeramais ūdens, kā arī veikta paraugu apstrāde un analīze. Pētījuma laikā gūtā pieredze un zināšanas ļāva novērtēt Latvijas gatavību mikroplastmasas piesārņojuma novērtēšanai dzeramajā ūdenī, apzināt piemērotākos protokolus, pastāvošos tehnoloģiskos ierobežojumus, izpildes laiku un izmaksas, kā arī identificēt Komisijas Lēmuma 2024/14412 metodikas praktiskās nepilnības.

Normatīvā un metodiskā bāze

Papildus Komisijas Lēmumā 2024/14412 noteiktajām mikroplastmasas mērīšanas metodēm dzeramajā ūdenī, 2025. gada septembrī ir publicēts starptautiskais standarts ISO 16094-2:2025. Tas aptver dzeramā ūdens mikroplastmasas piesārņojuma analīzes metodes, bet neapraksta paraugu ievākšanas un apstrādes procesus. Turklāt šis standarts neatbilst Komisijas Lēmumā 2024/14412 noteiktajam, piemēram, par piemērotākajām analīzes metodēm atzīstot μ Raman un μ FTIR spektroskopiju, bet neizslēdzot arī tādas metodes kā LDIR. Līdz šim viena no lielākajām problēmām mikroplastmasas piesārņojuma harmonizētai noteikšanai ir bijusi dažādu, savstarpēji pretrunīgu standartu publicēšana, kas neveicina datu salīdzināmību un standartizāciju (Belz et al. 2024). Lai atvieglotu mikroplastmasas noteikšanu dzeramajā ūdenī un padarītu to pieejamāku, ieteicams vadīties pēc projekta ietvaros izstrādātajām vadlīnijām, kas pielāgo Lēmumā aprakstīto metodi Latvijas apstākļiem, un Komisijas Lēmumā 2024/14412 aprakstītās paraugu ievākšanas, apstrādes un analīzes metodes.

Monitoringa plānošana un paraugu ņemšana

Dzeramā ūdens mikroplastmasas piesārņojuma monitoringa plāna izstrādāšanai ieteicams veikt valsts mēroga kartēšanu, lai apzinātu dzeramā ūdens mikroplastmasas piesārņojuma apmēru, potenciālos avotus un robežlielumus. Paraugu ievākšanas vietas ieteicams izvēlēties dažāda lieluma ūdens sagatavošanas stacijās, kas kā ūdens avotu izmanto atšķirīga dziļuma pazemes ūdeņus un virszemes ūdeņus. Paraugi ievācamī stacijās gan pirms, gan pēc ūdens sagatavošanas, lai novērtētu ūdens sagatavošanas procesa ietekmi uz mikroplastmasas koncentrācijām. Mikroplastmasas apmēra novērtēšana brīvi pieejamos avota ūdeņos ir būtiska, lai iegūtu datus par fona līmeni pazemes ūdeņu nesējslāņos, ko neietekmē urbuma konstrukcija. Tāpat, nepieciešams iegūt informāciju par mikroplastmasas piesārņojuma sastopamību apgādes sistēmās (piemēram, patērētājam pieejamais). Šāda veida sākotnējo datu apkopošana sniegtu plašu un salīdzināmu informāciju, kas kalpotu kā bāze ilgtermiņa piesārņojuma izmaiņu un ietekmes uz veselību novērtējumam, robežlielumu definēšanai, kā arī ūdens apgādes sistēmai reprezentatīvu paraugu ievākšanas vietu izvēlei.

Tā kā ūdensapgādes sistēmā tiek izmantoti plastmasas polimērus saturoši elementi (caurules, blīves u.c.), jāņem vērā to iespējamā ietekme uz mikroplastmasas klātbūtni dzeramajā ūdenī, jo, vadoties pēc šobrīd pieejamiem datiem, nav iespējams atšķirt vai daļiņas ūdenī nonākušas no infrastruktūras materiāliem. Tāpēc monitoringa datu kopā jāiekļauj informācija arī par ūdensapgādes infrastruktūrā izmantotajiem plastmasas

polimēriem. Šī informācija sniegtu iespēju identificēt piesārņojuma avotus vai izslēgt tos no potenciāli ūdeni piesārņojošo avotu saraksta.

Mikroplastmasas daļiņu koncentrācija vidē var būt temporāli mainīga, tāpēc, ja iespējams, ieteicams paraugu ievākšanu veikt ar vismaz trīs paralēli (vai alternatīvi – secīgi) ievāktiem paraugiem. Šāda pieeja palielina datu ticamību un mazina nejaušu faktoru ietekmi.

Direktīva 2020/2184 nosaka, ka dzeramā ūdens paraugus nepieciešams ievākt, lai tie reprezentētu dzeramā ūdens kvalitāti visa gada garumā. Ja mikroplastmasas piesārņojums dzeramajā ūdenī nav sastopams vai sastopams nebūtiskā koncentrācijā, jānodrošina iespēja šādās vietās mikroplastmasas piesārņojuma monitoringu veikt retāk nekā ūdens apgādes sistēmās, kur tas sastopams augstākās koncentrācijās.

Kvalitātes nodrošināšana

Paraugu ievākšanas un apstrādes laikā nepieciešams maksimāli nodrošināt to integritāti un rezultātu ticamību, piemērojot preventīvus pasākumus, lai izvairītos un pēc iespējas samazinātu paraugu piesārņošanas un daļiņu zuduma risku. Potenciālo paraugu piesārņošanas līmeni nosaka ar reprezentatīvu skaitu negatīvo kontroļu (vismaz desmit kontroles paraugi 20 μm frakcijai un vismaz desmit kontroles paraugi 100 μm frakcijai). To rezultātus izmanto vidējo piesārņojuma rādītāju (μ) un standartnovirzes (σ) aprēķināšanai. Ja kāds negatīvās kontroles paraugs uzrāda, ka vidējais fona piesārņojums (μ) vairāk nekā trīs reizes pārsniedz standartnovirzi (σ), nepieciešams meklēt un mazināt tā avotu (Komisijas lēmums 2024/1441). Negatīvās kontroles rezultātus neizmanto paraugu datu koriģēšanai. Mikroplastmasas atgūstamības novērtējumam jāapstrādā vismaz trīs pozitīvās kontroles paraugi, ko veido reprezentatīva izmēra un polimēra references daļiņas, atbilstoši izmantotajam paraugu ievākšanas, apstrādes un analīzes protokolam. Tiem piemēro identisku paraugu iegūšanas, apstrādes un analīzes protokolu kā īstajiem paraugiem. Atgūstamības rādītājiem jābūt diapazonā no 100 līdz 40% (Komisijas lēmums 2024/1441). Ja pozitīvās kontroles vidējais atgūstamības līmenis ir zemāks par 40%, jāidentificē un jāmazina tā cēlonis.

Paraugu ievākšana un tilpums

Veiktā pētījuma laikā novērots, ka paraugu ievākšanas filtri (A, B, C, D) nebija pilnībā hermētiski noslēgti, kā rezultātā ūdenī suspendētās daļiņas netika frakcionētas atbilstoši paredzētajām daļiņu izmēru grupām. Lai sagatavotos kvalitatīvam mikroplastmasas monitoringam dzeramajā ūdenī, nepieciešams veikt eksperimentālu filtrēšanas iekārtas efektivitātes novērtējumu, izmantojot references materiālus, un nepieciešamības gadījumā identificēt un labot filtrēšanas iekārtas nepilnības.

Paraugu filtrēšanas iekārta tiešā veidā pieslēdzama ūdens avotam, lai izvairītos no starpsavākšanas vai ūdens glabāšanas trauku izmantošanas. Šādu trauku izmantošana pieļaujama vienīgi gadījumā, ja tieša paraugu filtrēšanas iekārtas pieslēgšana ūdens avotam nav iespējama vai praktiski īstenojama tehnisku vai drošības apsvērumu dēļ (Komisijas lēmums 2024/1441).

Dzeramajā ūdenī ir sagaidāmas ļoti zemas mikroplastmasas koncentrācijas (<1 daļiņa/L), tādēļ Eiropas Komisijas vadlīnijās rekomendēts izfiltrēt vismaz 1000 litrus ūdens reprezentatīva parauga ievākšanai, lai

nodrošinātu ticamus rezultātus un mazinātu netīšas paraugu piesārņošanas ietekmi (Komisijas lēmums 2024/1441). Praksē (t.sk. šajā pētījumā) to bieži nav iespējams sasniegt filtru aizsērēšanas dēļ sakarā ar augstu ūdenī suspendētā materiāla daudzumu. Lai nodrošinātu lietderīgu un izmaksu ziņā efektīvu pieeju mikroplastmasas noteikšanai dzeramajā ūdenī, gadījumos, kad nav tehniski iespējams izfiltrēt 1000 litrus ūdens, pieļaujama mazāka ūdens tilpuma piemērošana.

Samērīgums, izmaksu efektivitāte un metožu attīstība

Dzeramā ūdens mikroplastmasas monitoringam jādefinē mērķis, kura sasniegšanai jābūt samērīgai, praktiskai, zinātniski un ekonomiski pamatotai. Mikroplastmasas noteikšanas metodēm jābūt salīdzināmām (noteiktas izmēru, formas un sastāva kategorijas), lai nodrošinātu salīdzināmus un interpretējamus datus starp laboratorijām un pētījumiem, kā arī adaptīvām, lai spētu attīstīties līdz ar tehnoloģiju progresu un nepārslogotu uzraugošās institūcijas ar pārmērīgām prasībām.

Izmantotie informācijas avoti

- Barone M., Dimante-Deimantovica I., Busmane S., Koistinen A., Poikane R., Saarni S., Stivrins N., Tylmann W., Uurasjärvi E., Viksna A. What to monitor? Microplastics in a freshwater lake – From seasonal surface water to bottom sediments. *Environmental Advances*. 17 (2024). DOI: [10.1016/j.envadv.2024.100577](https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100577)
- Belz, S., Cella, C., Geiss, O., Gilliland, D., La Spina, R., Mèhn, D. and Sokull-Kluettgen, B., Analytical methods to measure microplastics in drinking water, Publications Office of the European Union, Luxembourg (2024). DOI: [10.2760/109944_JRC136859](https://doi.org/10.2760/109944_JRC136859)
- Eiropas Komisijas Deleģētais lēmums (ES) 2024/1441 (2024. gada 11. marts), ar ko papildina Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvu (ES) 2020/2184, nosakot dzeramajā ūdenī sastopamās mikroplastmasas mērīšanas metodiku. *Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis*, L 2024/1441.
- Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva (ES) 2020/2184 (2020. gada 16. decembris) par dzeramā ūdens kvalitāti (pārstrādāta redakcija). *Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis*, L 435/1.
- ISO 16094-2:2025. Water quality – Analysis of microplastics in water – Part 2: Method using vibrational spectroscopy. International Organization for Standardization.
- Pittroff, M., Müller, Y.K., Witzig, C.S. *et al.* 2021. Microplastic analysis in drinking water based on fractionated filtration sampling and Raman microspectroscopy. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28, 59439-59451. DOI: [10.1007/s11356-021-12467-y](https://doi.org/10.1007/s11356-021-12467-y)

1. pielikums. Protokols paraugu ievākšanas datu reģistrēšanai

Datums				Ūdens skaitītāja rādījums pirms	
Parauga ievākšanas vieta				Ūdens skaitītāja rādījums pēc	
Ūdens veids	Neattīrīts	Attīrīts	Patērētājs	Izfiltrētā ūdens tilpums, L	
Paruga veids	Paraugs	Kontrole		Parauga vākšanas sākuma laiks	
Filtra acs izmērs, μm	100	20		Parauga vākšanas beigu laiks	
Atkārtojums	1	2	3	Parauga vākšanas ilgums, min	
Parauga nosaukums				Ūdens spiediens, bar	

2. pielikums. Paraugu ievākšanas, apstrādes un analīzes izmaksas 2025. gadā

Norādītās summas atspoguļo aptuvenās paraugu ievākšanas, apstrādes un analīzes izmaksas projekta īstenošanas laikā. Tās nevar tikt uzskatītas par absolūtām kā pakalpojuma cena.

- Filtrēšanas iekārtas detaļu izmaksas: **1000,00 EUR**
- Paraugu apstrādes un analīzes reaģentu un materiālu izmaksas* – **200,00 EUR**
- Paraugu ievākšanas, apstrādes un analīzes izmaksas* – **730,00 EUR**
- References materiāli paraugu apstrādes eksperimentālai verifikācijai (2 polimēri, 3 atkārtojumi)** – **3600,00-6000,00 EUR**
- References materiāli paraugu analīzes eksperimentālai verifikācijai (2 polimēri, 3 atkārtojumi)** – **1200,00-2000,00 EUR**

* Vienas filtru kaskādes jeb 4 filtru apstrāde un analīze (paraugs 100 µm, paraugs 20 µm, kontrole 100 µm, kontrole 20 µm).

** Norādīts minimālais nepieciešamais references materiālu skaits. Projekta ietvaros netika iegādāti un izmantoti references materiāli.