



Juuso Halonen

Mikromuovien erottaminen vedestä biohajoavilla liuottimilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

12.12.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Juuso Halonen
Otsikko:	Mikromuovien erottaminen vedestä biohajoavilla liuottimilla
Sivumäärä:	36 sivua + 2 liitettä
Aika:	12.12.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine:	Kemian prosessitekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Timo Seuranen Lehtori Esa Toukoniitty

Mikromuoveista puhuttaessa tarkoitetaan halkaisijaltaan 0,1–5 mm olevia muovikappaleita. Mikromuovit jaetaan primaarisiin ja sekundaarisiin mikromuoveihin. Primaariset mikromuovit on valmistettu pieneen kokoon, kun sekundaariset mikromuovit ovat hajonneet suuremmista muovikappaleista fyysisen kulumisen tai UV-säteilyn takia.

Tutkittuja mikromuovin erotusmenetelmiä vedestä ovat jätevedenpuhdistuslaitoksilla käytettävät jälkikäsittelymenetelmät. Paras nykyisistä erotusmenetelmistä mikromuoveille on membraanibioreaktori, jossa on yhdistetty biologinen puhdistus ja kalvo-suodatus.

Tämä opinnäytetyö on tehty osana Kaikki muovi kiertää -hanketta, jonka tarkoitus on edistää muovin kierrätystä. Opinnäytetyössä tutkitaan uutta menetelmää mikromuovin poistamiselle vedestä hyödyntäen kaksifaasisysteemiä. Kaksifaasisysteemissä sekoitettiin muovi veteen pesuaineen avulla ja tämän jälkeen seokseen lisättiin biohajoavaa liuotinta. Seos sekoitettiin hyvin ja annettiin asettua, jolloin vettä kevyempi orgaaninen faasi nousi vesifaasin päälle sitoen mikromuoveja. Mikromuovit oli tarkoitus poistaa vesifaasista orgaanisen faasin kanssa. Tälle toimenpiteelle kehitettiin uusi menetelmä, jossa orgaaninen faasi imettiin mikromuovin kanssa pois. Menetelmällä saatiin erotettua mikromuovia vedestä parhaimmillaan yli 90 %.

Opinnäytetyön keskeisimpiä johtopäätöksiä olivat mikromuovin valmistamisen haastavuus hiomalla ja raastamalla, orgaanisen faasin hyöty erotettaessa vettä tiheämpiä mikromuoveja sekä imumenetelmän toimivuus mikromuovin erottamisesta vedestä.

Mahdollisia käytännön käyttökohteita kaksifaasierotukselle voisivat olla jätevedenpuhdistuslaitosten jälkikäsittelyprosessit. Tämä vaatisi pilottilaitoksen ja testaamista suuremmassa mittakaavassa.

Avainsanat: mikromuovi, orgaaninen faasi, jälkikäsittelymenetelmät, kaksifaasisysteemi

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Juuso Halonen
Title: Separation of Microplastic from Water with Biodegradable Solvents
Number of Pages: 36 pages + 2 appendices
Date: 12 December 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Biotechnology and Chemical engineering
Professional Major: Chemical process engineering
Supervisors: Timo Seuranen, Senior Lecturer
Esa Toukoniitty, Senior Lecturer

Microplastics are plastic pieces with a diameter of 0.1–5 mm. Microplastics are divided into primary and secondary microplastics. Primary microplastics are manufactured to small sizes while secondary microplastics are the result from the fragmentation of larger objects due to physical strain or UV radiation.

Microplastic separation methods that have been researched are posttreatment methods in wastewater treatment plants. The best-known method for microplastic separation is membrane bioreactor which uses biological cleaning and membrane technology simultaneously.

This thesis is part of the project All Plastic Circulates, whose purpose is to promote plastic recycling and sustainability. The thesis studies a new separation method for microplastic removal from water using a two-phase system. Microplastic was mixed with water using detergent, after which a biodegradable solvent was added to the two-phase system. The mixture was mixed well and allowed to settle. After settling the organic phase rose on top of the aqueous phase binding the microplastic. Microplastics were supposed to be removed with the organic phase. A new method was developed for this operation, where the organic phase with the microplastics bound in it was removed using suction. At best, the method reached a 90 % separation rate.

Conclusions of the thesis were that manufacturing microplastic by grinding and grating is difficult, that it is feasible to use an organic phase when separating microplastics denser than water and that suction is a functional method of separating microplastics from water.

Possible practical applications for the two-phase separation method could be the advanced post treatment processes of wastewater treatment plans. This would require a pilot plant and testing in larger scale.

Keywords: microplastic, organic phase, posttreatment method, two-phase system

The origin of this thesis has been checked with Turnit's Originality Check program.

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Mikromuovit	1
3	Kokeissa käytettävät polymeerit	4
4	Tunnetut erotusmenetelmät	4
4.1	Mekaaniset menetelmät jätevedenpuhdistuslaitoksissa.	5
4.2	Mikromuovien erottamisessa tutkittuja menetelmiä	6
4.2.1	Kalvosuodattimen toimintaperiaate	6
4.2.2	Kiekkosuodatin	8
4.2.3	Hiekkasuodatus	8
4.2.4	DAF-ilmaflotaatio	9
5	Laboratoriokokeet	10
5.1	Mikromuovin valmistus	10
5.2	Kokeitten suunnittelu	14
5.3	PVC-kokeet	19
6	Tulosten analysointi	27
6.1	Erotussuppilolla tehdyt mittaukset	27
6.2	Mikromuovin erottaminen imulinjalla	30
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	35

Liitteet

Liite 1: Koesarjojen mittausdata suodatuspaperin ja kellolasien punnituksella

Liite 2: Koesarjojen mittausdata suodatuspaperien punnituksella

Lyhenteet

DAF: Dissolved air flotation eli liennut ilmaflotaatio

FEP: Perfluorieteenipropeni

PA: Polyamidi

PE: Polyeteeni

PET: Polyetyleenitereftaatti

POM: Polyasetaali.

PP: Polypropeeni

PVC: Polyvinyylikloridi

1 Johdanto

Opinnäytetyö kuuluu Kaikki muovi kiertää-hankkeeseen, jonka tavoitteena on edistää muovien kierrätystä ja puhdistaa luontoa muovijätteestä. Mikromuovien ollessa yksi suurimmista vesistöjen ympäristöhaitoista halutaan hankkeessa kehittää uusia menetelmiä mikromuovin poistamiselle vedestä.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, pystyykö biohajoavaa terpeeniliuotinta hyödyntämään mikromuovin erottamiseen vedestä ja kehittämään sille konkreettinen tapa erottaa mikromuovia. Erotusmenetelmä perustuu kaksifaasisysteemiin, jossa vesifaasiin lisätään sitä tiheydeltään kevyempää orgaanista faasia. Faasien rajapinnalla vaikuttavien koheesivoimien on tarkoitus sitoa mikromuovia. Kevyempi orgaaninen faasi nousee vesifaasin pinnalle, josta sen pystyy erottamaan mikromuovin kanssa.

Laboratoriokokeissa tutkitaan, miten faasien rajapinnan välinen pinta-ala vaikuttaa mikromuovien erottamisprosessissa vedestä. Kokeiden muuttujina toimivat mikromuovin määrä sekä erotusastioiden halkaisija.

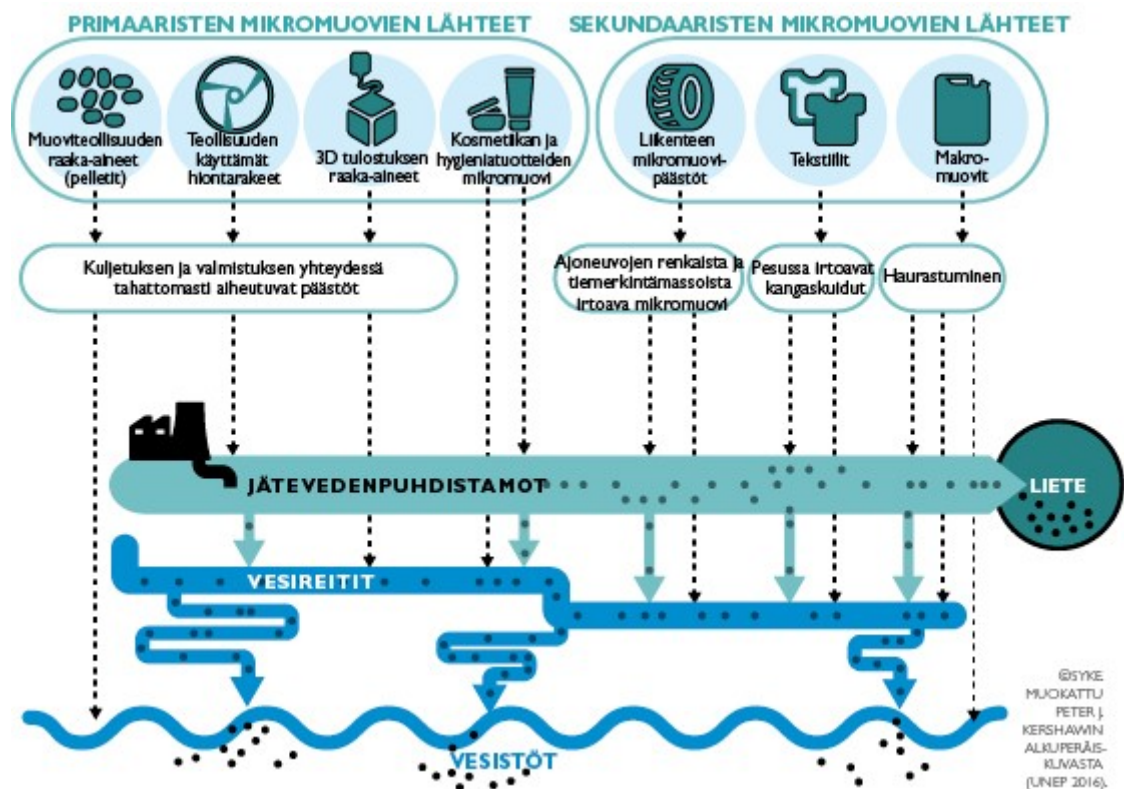
Opinnäytetyön teoriassa kerrotaan, mitä mikromuovit ovat, sekä niiden tunnetuista erotusmenetelmistä.

2 Mikromuovit

Muoveilla tarkoitetaan tuotteita, jotka on valmistettu polymeereistä. Muoveissa käytettävä polymeeri voi olla synteettinen tai luonnollinen polymeeri. Luonnollisia polymeerejä on esimerkiksi sellu ja tärkkelys. Polymeeriketjut muodostuvat monomerien liittyessä yhteen kemiallisten reaktioiden avulla. Muovien valmistuksessa käytetään pieniä pitoisuuksia lisäaineita, joilla parannetaan käyttökohteeseen tarvittavia ominaisuuksia. Nämä lisäaineet ovat noin 4 % muovien massasta. [1.]

Mikronmuoveja ei ole kansainvälisesti standardoitu, mutta niistä puhuttaessa tarkoitetaan 0,1–5 mm halkaisijaltaan olevia muovipaloja. Mikromuovit voidaan jakaa kahteen ryhmään primaariset ja sekundaariset mikromuovit. Primaarisilla mikromuoveilla tarkoitetaan muoveja, jotka ovat valmiiksi pienissä partikkeleissa, kun taas sekundaariset mikromuovit ovat hajonneet suuremmista muovikappaleista UV-säteilyn tai fyysisen kulumisen takia. Primaarisia mikromuoveja ovat esimerkiksi muotoilussa käytettävä muovijauhe, mikrohelmet kosmetiikkatuotteissa ja sylinteriset neitsythartsipelletit, joista valmistetaan muovituotteita. [2.]

Mikromuoveja päätyy luontoon ja vesistöihin monella tavalla. Mikromuovit kulkeutuvat jäte- ja hulevesien mukana jätevedenpuhdistuslaitoksille, tämän jälkeen noin 1 % mikromuoveista päätyy luontoon. Kuvassa 1 esitetään mikromuovien reitti luontoon. [3.]



Kuva 1 Primaari ja sekundaaristen mikromuovien matka ympäristöön. [4.]

Mikromuovit vesistöissä

Makeanveden ekosysteemeitä, johon mikromuoveja on päätynt, ovat ojat, lammet, järvet, suot, joet ja purot. Makeat vesistöt voivat toimia mikromuovien sijoittajina tai kuljettajina. Mikromuoveja voi päätyä sisämaan vesistöihin monilla tavoilla, kuten ilman, roskaamisen tai sadevesien kuljettamina läheisiltä maa-alueilta. Mikromuovien kulkeutuessa järviin ja lampiin ne yleensä vajoavat pohjiin ja pysyvät siellä. Jokiin päätyvistä mikromuoveista pieni osa jää niiden pohjalle virtauksen takia. Suurin osa jokien mikromuoveista taas kulkeutuu meriin.

Vuonna 2017 tehdyssä tutkimuksessa arvioitiin, että joet kuljettavat muovijätettä meriin 1,15–2,41 miljoonaa tonnia vuosittain. Arviossa otettiin huomioon väestötiheydet jokien läheisyydessä, vuodenaikojen vaihtelut ja paikallisten päästömittausten ero toisistaan. Sisämaasta tulevien mikromuovien lisäksi meriin päättyy mikromuoveja kalastuksen, meriteollisuuden, kalankasvatustilustosten ja turismin takia. [5.]

Mikromuovit pystyvät absorboimaan myrkyllisiä aineita itseensä ja siten vaikuttamaan negatiivisesti merien elimistöön. Etenkin pieneliöiden niellessä mikromuoveja ne kulkeutuvat suuremmassa konsentraatiossa ruokaketjun huipulle, aina ihmisiin asti. Mikromuovien haittavaikutuksista ja vaarallisuudesta ihmisille ei kuitenkaan ole vielä saatu tarvittavaa määrää tietoa. [6.]

Mikromuovien erottaminen

Mikromuovinäytteiden kerääminen luonnosta on vaikeaa. Mikromuovien on uskottu pysyttelevän vesimassojen pinnan tuntumassa kevyen tiheyden suhteen veteen. Uusissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu mikromuovien olevan koko vesipylvään alueella, sekä vesistöjen pohjamudissa. Vuoden 2018 tutkimuksessa Seine-joella huomattiin näytteiden keräämisessä siiviläverkkojen koon pienentyessä 330 µm:stä 80 µm:iin moninkertaistavan mikromuovien saannin vedestä [7]. Siiviläverkkojen käyttö on todettu hyväksi menetelmäksi kerätä palomaisia mikromuoveja vesimassasta, kun taas kuitumaiset partikkelit pystyvät läpäisemään verkon. Vuonna 2019 tutkittiin mikromuovien levinneisyyttä Monterey Bayn vedessä. Näytteidenottoa varten oli valmistettu erikoislaite, joka pystyi sukeltamaan tuhanteen metriin asti. Laite siivilöi 25 m³ vettä 100 µm:n

siiviläverkolla. Suurimmat mikromuovikonsentraatiot löytyivät 200–600 metrin syvyydestä. [8.]

3 Kokeissa käytettävät polymeerit

PS (Polystyreeni)

Polystyreeni on aromaattinen polymeeri, joka koostuu styreenimonomeereistä. Polystyreeni on jaoteltu käyttötarkoitusten perusteella seuraavasti: normaali polystyreeni (PS), solupolystyreeni (EPS), akrylinitriilibutadienistyreeni (ABS) ja iskunkestävä polystyreeniin (HIPS). Polystyreenin käyttökohteita ovat tuotteet, jotka vaativat edullista ja jäykkää materiaalia, esimerkiksi kertakäyttöaterimet, lelut ja putkien osat. Iskunkestävä polystyreeni (high impact polystyren) käytetään hyvän mittapysyvyyden takia käyttökohteissa, joissa tarvitaan iskunkestävyyttä. Solupolystyreeniä käytetään matalan lämmönjohtavuuden takia eristelevyissä. Akrylinitriilibutadienistyreeni (ABS) on kalliimpaa kuin normaali polystyreeni. ABS:ää käytetään laivojen rakennuksessa, kone- ja tekstiiliteollisuudessa. [9.]

PVC (Polyvinyylikloridi)

PVC eli polyvinyylikloridi on maailman kolmanneksi käytetyin synteettinen polymeeri. PVC:tä käytetään laajasti rakennusalalla pienien valmistuskustannuksien, kestävyiden ja helpon työstämisen takia. PVC:n pääsääntöisiä käyttökohteita on juoma- ja jätevesiputket sekä sähköjohtojen eristys. PVC:tä käytetään myös muissa käyttökohteissa, joissa vaaditaan vahvaa ja kestävä materiaalia. [10.]

4 Tunnetut erotusmenetelmät

Vedenpuhdistuslaitoksen toiminta ja erotusmenetelmät

Vedenpuhdistuslaitoksilla pystytään poistamaan jopa 99,9 % jäteveden mikro-
muoveista. Jätevedenpuhdistuslaitoksilla puhdistetaan Suomessa kotitalouksien
ja teollisuuden jätevedet. Vedenpuhdistuslaitoksilla on monia menetelmiä mikro-
muovien poistamiselle vedestä. Jätevedenpuhdistusprosessi jaetaan kolmeen
osaan: mekaaniseen, kemialliseen ja biologiseen puhdistukseen. [11.]

4.1 Mekaaniset menetelmät jätevedenpuhdistuslaitoksissa.

Vedenpuhdistuslaitoksilla jätevedenpuhdistus alkaa välppäyksellä. Välppän toi-
mintaperiaate perustuu veden virtaamiseen välppäsauvojen välistä erottaen
suurimmat kiinteät muovit, kuten vanupuikot, kondomit ja hammasharjat. Välppä-
päys on tärkeä vaihe vedenpuhdistuksessa, sillä sekundaariset mikromuovit
haittaavat seuraavia erotusvaiheita. [11.]

Välppäyksen jälkeen vesi ohjataan ilmastettuun hiekanerotukseen, jossa putkis-
toista tullut hiekka ja muu kiintoaine laskeutuu erottimen pohjalle. Erotusmene-
telmää kutsutaan lasketukseksi. Lasketus perustuu painovoimaan, jossa kevyet
mikromuovit ja rasvat nousevat veden pintaan ja raskaammat partikkelit valuvat
kiintoaineen kanssa altaan pohjalle. [11.]

Viimeiseksi mekaanisen puhdistuksen vaiheeksi kutsutaan esiselkeytykseksi.
Jätevesi ohjataan esiselkeytysaltaaseen, jossa vedestä erottuu suuri osa kiinto-
aineesta. Vajonnut kiintoaines pumpataan altaan pohjalta lietteenkäsittelyyn ja
pinnalle kiertynyt rasva kaavitaan rasvakaivoon. [11.]

Vedenpuhdistus jatkuu seuraavaksi kemiallisella, biologisella puhdistuksella tai
niiden yhdistelmällä. Tässä vaiheessa jätevedestä pyritään poistamaan vesistöi-
hin päätyviä ravinteita ja kiintoaineita, kuten mikromuoveja. [11.]

Biologinen puhdistus perustuu aktiivilietemenetelmään, jossa ilmastettuun altaa-
seen lisätään mikrobiperäistä biomassaa. Biomassassa olevat mikrobit käyttä-
vät jätevedessä olevia epäpuhtauksia ravinnokseen ja poistavat typpeä ja fosfo-
ria lisääntyessään. [11.]

Kemiallisessa puhdistuksessa jätevedeen lisätään suoloja, joiden tarkoitus on saostaa epäpuhtauksia. Saostuneet epäpuhtaudet laskutetaan hitaasti virtaavassa altaassa sen pohjalle. Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla käytetään saostuskemikaalina ferrosulfaattia. Ferrosulfaattia saadaan kemianteollisuuden sivuvirroista, ja se ei hidasta biologista puhdistusprosessia. [11.]

4.2 Mikromuovien erottamisessa tutkittuja menetelmiä

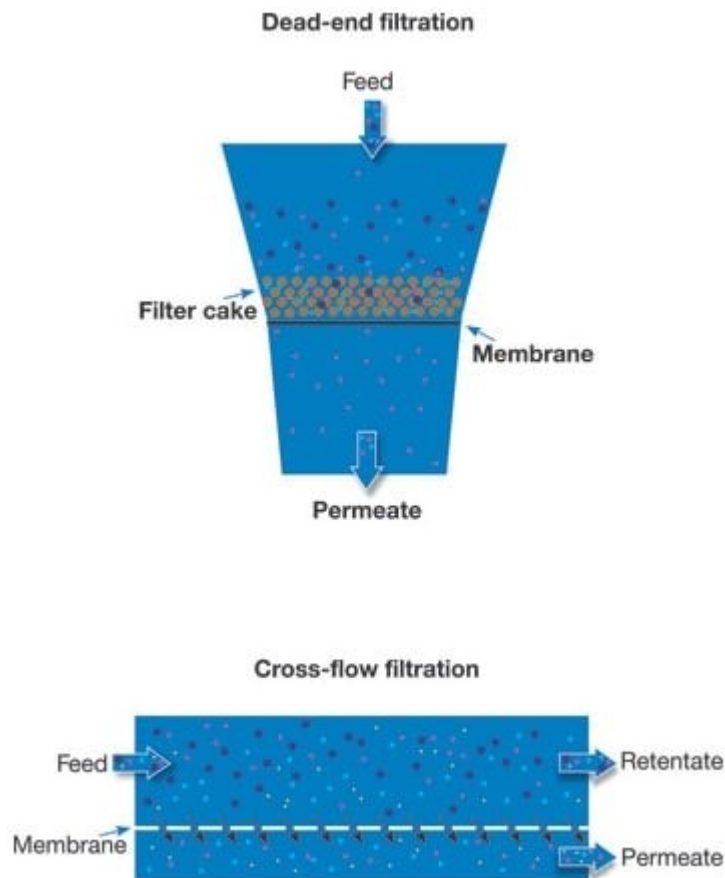
Mikromuovien poistaminen on erittäin työlästä tai lähes mahdotonta niiden joutuessa luontoon. Tässä käydään läpi vuoden 2017 tutkimuksessa käytettyjä mikromuovien erotusmenetelmiä jätevedenpuhdistamoissa. Suomalaisessa tutkimuksessa tutkittiin jätevedenpuhdistuslaitosten jälkipuhdistusmenetelmiä pienten mikromuovien suodatuksessa. Tutkitut menetelmät olivat hiekkasuodatus, kiekkosuodatus, ilmaflotaatio ja membraanibiorektori.

4.2.1 Kalvosuodattimen toimintaperiaate

Kalvosuodatin on fysikaalinen este, jonka pystyy läpäisemään vain haluttu virta. Kalvosuodatuksessa haluttu virta siirretään kalvon läpi paine-eron avulla keräten halutut yhdisteet kalvonpinnalle. Kalvosuodatuksessa voidaan kalvon huokoisuuden perusteella suodattamaan, jopa bakteereita ja itiöitä. Kalvosuodattimen kalvotyyppejä on neljä ja ne määritellään niiden läpäisevien materiaalikojen perusteella. Nano-, ultra- ja mikrosuodatuskalvoista pääsee läpi pieniä partikkeleita veden lisäksi, kun taas käänteisosmoosikalvoista vain vesi läpäisee kalvon. [12.]

Kalvosuodattimet voidaan asentaa prosessiin esteeksi tai ristivirraksi, kuva 2. Umpikujasuodatuksessa kalvo asetetaan leikkaamaan virta, jossa kalvo kerää

kaikki epähalutut ainekset kakuksi kalvonpinnalle. Tämä aiheuttaa likaantumista, joka tuottaa toimenpiteitä ja huonontaa suodattamista. [12.]



Kuva 2 Umpikuja ja ristivirtausuodatus [12].

Ristivirtausuodatuksessa kalvo asetetaan virtauksen myötäisesti. Ristivirtausuodatuksessa virtausnopeus on suuri ja prosessi paineistettu. Melkein kaikki teollisuuden kalvosuodattimet ovat ristivirtausuodattimia. Ristivirtausuodatuksen etuina umpikujasuodatukseen ovat pitkä käyttöikä, puhtaana pysyminen jatkuvan virran ansiosta, tasainen laatu ja minimaalinen huollontarve. [12.]

Jätevedenpuhdistamoissa olevia kalvosuodatinjärjestelmät on yhdistetty biologisen puhdistuksen kanssa. Tätä puhdistusta kutsutaan membraanibioreaktoriksi. Puhdistusmenetelmässä on yhdistetty aktiivilietemenetelmä ja kalvosuodattimet. Membraanibioreaktoreilla saadaan puhdistettua veden epäpuhtauksia kustannustehokkaasti kolmanneksen pienemmässä tilassa. [13.]

Membranibioreaktorit on todettu parhaaksi mikromuovien erotusmenetelmäksi kaikista edistyneistä vedenpuhdistusmenetelmistä, vaikka niitä ei ole suunniteltu pelkästään mikromuovien erottamista varten. Vuoden 2017 tutkimuksessa membraanibioreaktorilla saatiin erotettua 99,9 % vedessä olleesta mikromuovista. [14.]

4.2.2 Kiekkosuodatin

Kiekkosuodatus on jatkuvatoiminen jälkipuhdistusmenetelmä, jossa kiekkoihin asennettujen suodatinkankailla poistetaan kiintoainesta vedestä. Puhdistettava vesi virtaa painovoiman vaikutuksesta kiekkojen läpi erottaen kiintoaineen kankaiden pinnalle. Vaikka likaantumista tapahtuu kankaiden pinnoilla, se ei prosessia haittaa, sillä vedenpinnan noustessa kiekkoilla sijaitsevat anturit aktivoivat vastavirtapesun. Pesu ei vaikuta suodatuskapasiteettiin, mutta vesisuihkun uskotaan tunkevan pienimpiä mikromuoveja kankaan lävitse. [15.]

Kiekkosuodatusta tutkittiin mikromuovien erotusmenetelmänä jätevedenpuhdistuksessa vuonna 2017 tehdyssä tutkimuksessa. Tutkimuksessa kiekkosuodatin toimi 24 tunnin automaattisella toiminnolla ja keräsi näytteitä 15 minuutin välein. Näytteet analysoitiin FTIR-laitteella, joka laskee mikromuovipartikkelit. Tulokset kiekkosuodatuksessa vaihtelivat 40–98,5 % erotustehokkuudella. [14.]

4.2.3 Hiekkasuodatus

Hiekkasuodatuksessa suodatettava vesi syötetään hiekkapatjan läpi erottaen kiintoaineen hiekanjyvien väleihin. Hiekkasuodatus voi olla syklinen tai jatkuvatoiminen. Syklillisissä altaissa on pesutauot, joiden takia altaita täytyy olla useampia puhdistuslaitoksissa. Jatkuvatoimiset hiekkasuodattimet ovat paineistettuja terässäiliöitä, joissa hiekkaa ja jätevettä puhdistetaan jatkuvatoimisesti. Jatkuvatoimivissa hiekkasuodattimissa esipuhdistettu jätevesi syötetään säiliön

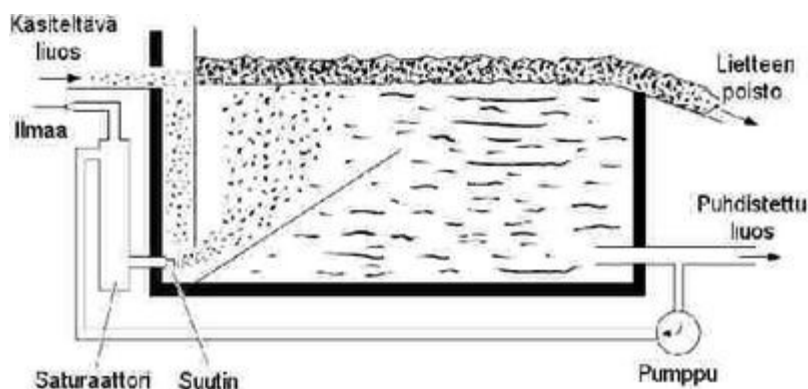
pohjalle, josta se kulkeutuu hiekkapatjan läpi säiliön pinnalle talteen otettavaksi. Vesi on tässä vaiheessa puhdasta ja puhdistusprosessi valmis. [16.]

Suodatusaltaissa hiekkapatjan alapuolella sijaitsee suodatinpohja, jonka päällä on yleensä karkeampaa hiekkaa eli soraa. Soran tehtävänä on pitää hienompi hiekka paikallaan ja parantaa vedenvirtausta suodatinpohjalle. Hiekan likaantuessa hiekkaa ilmastetaan ja huuhdellaan vedellä lian irrottamiseksi ja suodatuksen takaamiseksi. Likainen vesi pumpataan altaista takaisin vedenpuhdistuslaitoksen alkuun. [17.]

Mikromuovien erottamista jätevedestä tutkittiin allashiekkasuodattimella, jolla saatiin 97 % mikromuovista erotettua [14].

4.2.4 DAF-ilmaflotaatio

Jätevedenpuhdistuksessa flotaatiolla tarkoitetaan menetelmää, jossa jätevedestä erotetaan kiintoaine nostamalla se veden pinnalle. Ennen flotaatioerotusta jätevesi on esikäsittävä kemikaalisesti. Esikäsittelyn tarkoituksena on saada kiintoaineet muodostamaan flokkeja. Flotaatioerotus tapahtuu flotaatioaltaassa, jonne esikäsittely jätevesi johdetaan. Flotaatioaltaassa jätevettä ilmastetaan ja flokit nousevat altaan pinnalle pienten ilmakuplien nostaessa niitä. Pinnalle kiertyneet kiintoaineet poistetaan altaasta ylivirtana tai mekaanisesti. Kuvassa 3 esitetään flotaatiopuhdistus poikkileikkauksena. [18.]



Kuva 3 Flotaatiolaitteen poikkileikkaus. [18]

DAF-ilmaflotaatiolla saatiin vuoden 2017 tutkimuksessa erotettua 95 % mikromuovista [14].

5 Laboratoriokokeet

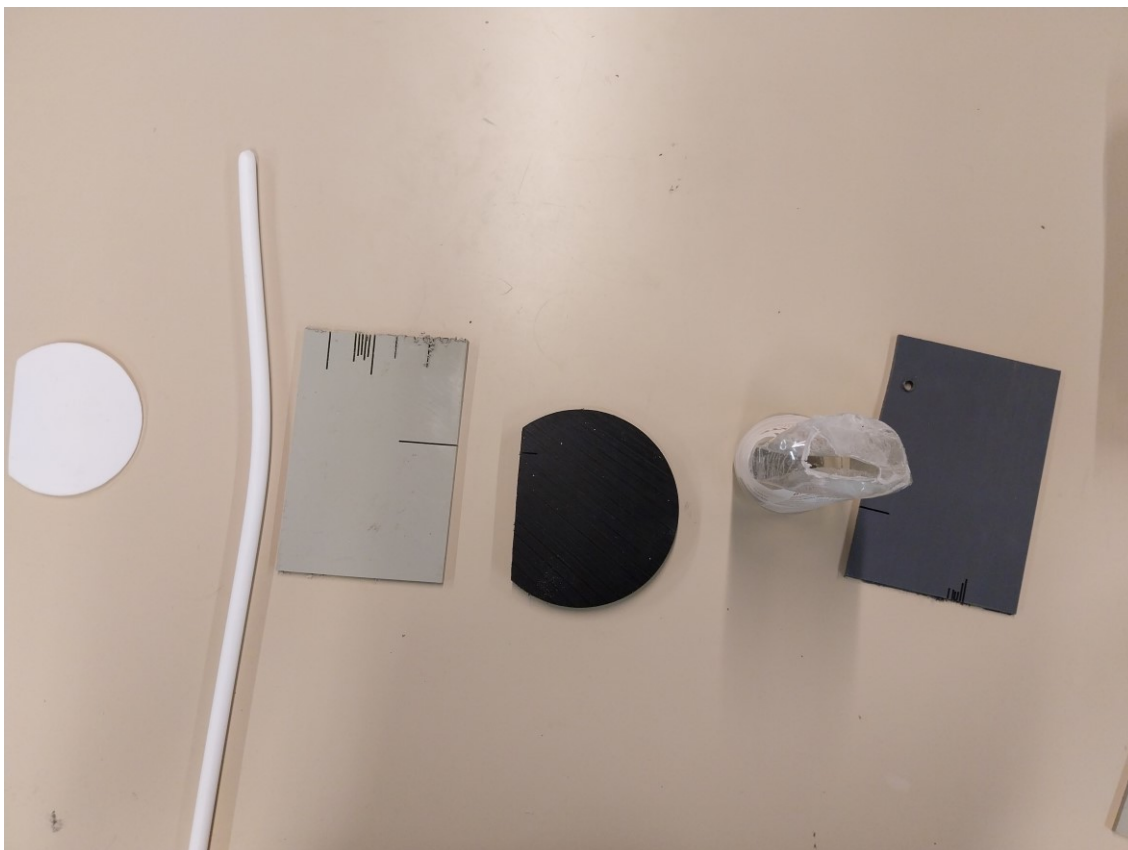
Laboratoriokokeiden tarkoituksena on erottaa mikromuovia vedestä hyödyntäen terpeeniliuottimia. Erottaminen perustuu kaksifaasisysteemiin, jossa faasien rajapinnan koheesivoimat sitoisivat mikromuovit. Orgaanisen faasin erottamisen yhteydessä mikromuovit saadaan myös poistettua vedestä.

Terpeenit ovat aromaattisia hiilivety-yhdisteitä, joita esiintyy lähes kaikissa kasveissa. Terpeenejä käytetään hajuvesissä, kosmetiikkatuotteissa ja liuottimissa. Terpeeneitä syntyy jätelaitoksilla mädätyksen yhteydessä sivuvirtana. [19.]

5.1 Mikromuovin valmistus

Mikromuovien erottamiseen vedestä tarvitaan tietenkin mikromuovia. Koulun varastosta saatiin hanketta varten seuraavia muoveja: FEP (perfluorieteenipropeeni), PP (polypropeeni), POM (polyasetaali), PET (polyetyleenitereftalaatti) ja PVC (polyvinyylikloridi). Muoveista oli tarkoitus valmistaa mikromuoveja hioamalla, sahaamalla tai raastamalla. Kuvassa 4 on esitetty muovit, joista yritettiin

valmistaa mikromuovia.



Kuva 4 Muovit järjestyksessä vasemmalta alkaen FEP (perfluorieteenipropeeni), PP (polypropeeni), POM (polyasetaali), PET (polyetyleenitereftalaatti) ja PVC (polyvinyylidikloridi).

Muovia sahaamalla vanerisahalla lämmitti muovia ja sai osan muoveista sulamaan sahauskohdasta. POM- ja PVC-muovit eivät sulaneet mutta kuumentuvat huomattavasti. Muovirouheen saanti oli erittäin huono, eikä 20 minuutin sahaamisen tuotoksena ollut edes grammaa mikromuovia. Kuvassa 5 näkyy sahattu reuna, johon muovi on sulanut sahausken takia.



Kuva 5 Polypropeenin sahauspinta.

Muovin raastamista kokeiltiin erilaisilla viiloilla karkeista hienojakoisiin. Karkeilla viiloilla saatiin suuria muovilastuja. Hienommalla viilalla mikromuovia ei saatu talteen vaan se tarttui viilan pintaan, minkä takia saanto oli surkeaa. Suuria muovilastuja kokeiltiin sekoittaa veteen erotussuppilossa, mutta niiden suuren koon takia ne eivät mahtuneet venttiilistä läpi. Muovilastujen käyttäminen koeksissa hylättiin.

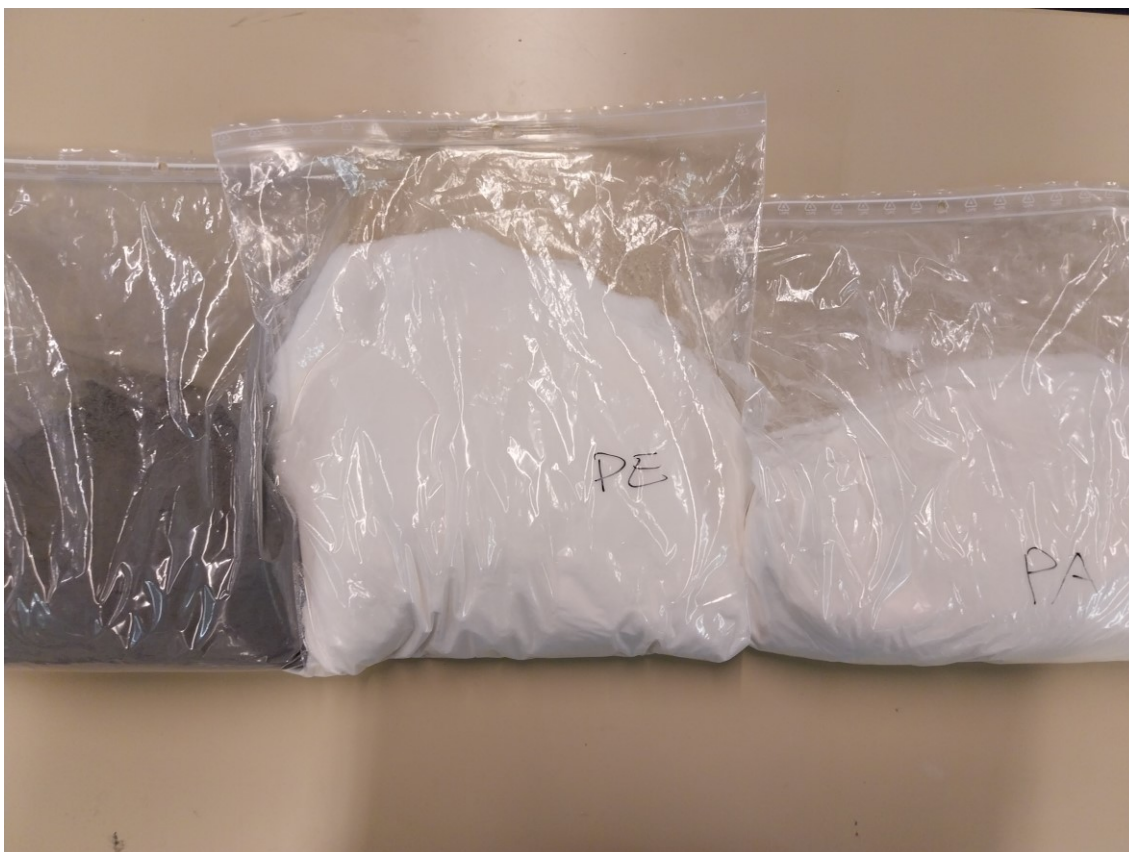
Muovin hiomista kokeiltiin monella eri hiomapaperilla. Hiomapaperilla käsin hiottaessa ongelma olivat huono saanti ja hiomapaperin pinnan sekoittuminen muovin kanssa. Seuraavaksi kokeiltiin paineilmalla toimivaa hiomakonetta. Muovien hiominen oli helpompaa koneella, mutta saanti pysyi silti huonona. Noin kahden tunnin hiomisen jälkeen kasaan oli saatu yhteensä kaksi grammaa mikromuovia kuva 6.



Kuva 6 Itse hiottua mikromuovia

Mikromuovin hankkimisesta itse luovuttiin edellä mainittujen kokeiluiden jälkeen ja otettiin yhteyttä muovialan yrityksiin, joilta saisi mikromuoveja prosessien sivuvirroista. Yrityksiltä saadut mikromuovit ovat PE (polyeteeni) ja PA (polyamidi). Mikromuoveja lähettäneet yritykset olivat VTT ja Molok Oy. VTT:ltä saatiin molempia mikromuoveja, kun taas Molok Oy:ltä pelkkää polyeteeniä. Lisäksi saatiin Katko Oy:ltä lasikuitumuoviseosta. Katko Oy:ltä saatu seos on noin 95 % lasikuitua ja 5 % muovia. Kuvassa 7 on yrityksiltä saadut mikromuovit.

Mikromuovinäytteet olivat noin 1,5 kiloa painavia ja raekoko oli tasalaatuista.



Kuva 7 Yrityksiltä saadut mikromuovit.

5.2 Kokeitten suunnittelu

Laboratoriokokeet aloitettiin ennen yrityksiltä saatuja mikromuoveja itse hiotuilla muovirouheilla. Näissä kokeissa oli tarkoituksena nähdä, miten eri muovit käyttäytyvät vedessä sekä kaksifaasiseoksessa. Ensimmäiset havainnollistavat kokeet suoritettiin 400 ml:n dekantterilaseissa. Laseihin laitettiin noin 250 ml vettä, jonka sekaan sekoitettiin itse hiottua mikromuovia. Ensimmäisiä huomioita kokeissa oli muovin huono sekoittuminen, jos se oli kevyempää kuin vesi. Huonon sekoittumisen ratkaisemiseksi veteen lisättiin pieni määrä pesuainetta veden pintajännityksen rikkomiseksi. Pintajännityksen rikkouduttua kevyemmätkin muovit sekoittuivat veden sekaan hyvin. Sekoittaminen dekantterilasissa tehtiin pienellä lusikalla. Kokeissa nähtiin liuottimen ja vedenvälisen rajapinnan sitovan pieniä muovipartikkeleita. Vettä painavammissa muoveissa (PVC ja POM) muovipartikkelit laskeutuivat dekantterilasin pohjaan pintajännityksen rikkouduttua.

Liutinta lisättäessä saatiin noin puolet muovipartikkeleista sitoutumaan faasien rajapinnalle.

Kokeitten suunnittelemisen seuraavassa vaiheessa mietittiin, miten muovi saataisiin erotettua kokonaan vedestä. Aikaisemmin samantyylistä kaksifaasieroitusmenetelmää tutkittiin erotussuppilossa, jossa alempi faasi saatiin erotettua orgaanisesta faasista valuttamalla [20]. Niinpä alettiin kokeilemaan, kuinka itse hankitut muovit pystyttiin erottamaan erotussuppilossa.

Koejärjestelyissä vesi ja muovi lisättiin erotussuppiloon. Mikromuovi sekoitettiin veteen ravistamalla ja pyörittämällä erotussuppiloa. Sekoituksen jälkeen odotettiin hetki ja annettiin muovin asettua. Raskaammissa muoveissa (POM ja PVC) suuret partikkelit laskeutuivat pohjalle ja hienommat partikkelit pysyivät vesipatsaassa ja pinnassa. Orgaanisen faasin eli liuottimen lisääminen tapahtui varovasti erotussuppilon reunaa pitkin. Liuotin asettui seoksen pinnalle eikä ollut kosketuskissa muovipartikkeleiden kanssa. Uuden sekoituksen jälkeen odotettiin seoksen asettuvan.

Silmämääräisellä tarkistelulla voidaan päätellä vettä tiheämpien muovien erottuvan huonommin faasien rajapinnalle kuin kevyemmät mikromuovit. Muita huomioita kokeissa olivat sekoituksen paraneminen erotussuppilossa dekantterilaasiin verrattuna ja muovipartikkeleiden tarttuminen erotussuppilon reunoille.

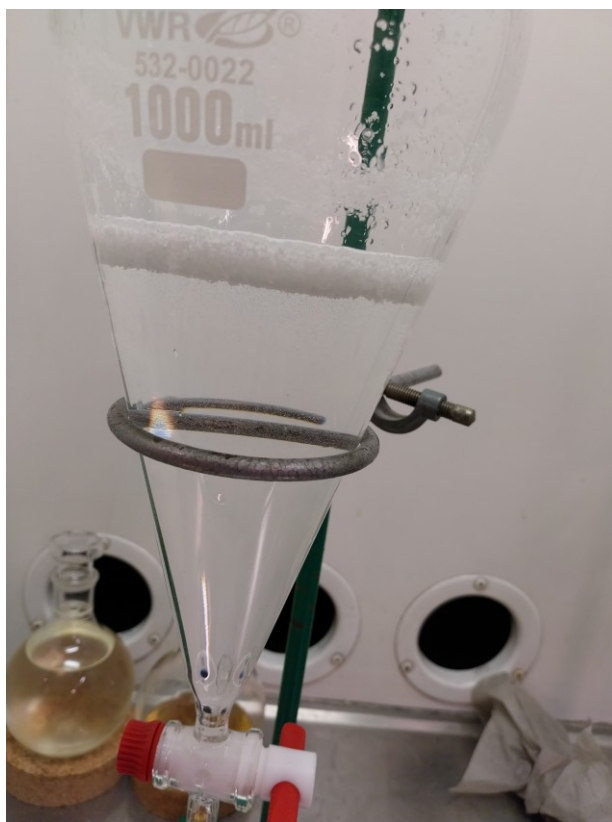
Kuvasta 8 näkee mikromuovien sekoittumisen sekä partikkelien tarttumisen nesteen rajapinnan yläpuolella olevaan lasiin.



Kuva 8 Lasikuitumuoviseos sekoitettuna erotussuppiloon

Yrityksiltä saatujen muovien erottaminen aloitettiin samoilla askeleilla, kuin itse hiotuilla muoveilla. Kokeitten järjestelyssä päätettiin käyttää erotussuppiloa, josta olisi helppo erottaa kaksi faasia toisistaan ja punnita kummankin faasin sitomat muovit. Aikaisempien kokeiden perusteella suurimman osan muovista pitäisi tarttua faasien rajapinnalle ja olla erotettavissa valuttamalla painavampi vesifaasi eri astiaan kuin orgaaninen faasi muoveineen. Ensimmäiset kokeet, joissa erotetut faasit suodatettiin alipainesuodatuksella suodatuspaperin läpi, tehtiin PA- ja PE-muoveilla. Kuvassa 9 polyesteriä eli vettä kevyempää muovia

on sekoitettu liuottimen kanssa ja lähes kaikki muovipartikkelit ovat asettuneet faasin rajapinnalle.



Kuva 9 Polyesterin erottaminen liuottimella erotussuppilossa

Kokeitten valmistelussa komponenttien lisäämisjärjestyksellä on merkitystä. Kuvassa 10 lisättiin veteen liuotin ennen lasikuitumuoviseosta ja tuloksena oli liuottimen takertuminen kiintoaineen ympärille muodostaen liuotinkuplia. Sekoittaminen ei erottanut partikkeleita liuotinkuplista. PE- ja PA-muovien lisääminen liuottimen päälle ei saanut aikaan liuotinkuplia, mutta muovi ei enää sekoittunut veden sekaan kunnolla. Faasien erottaminen oli mahdotonta venttiilin tukkiutumisen takia.



Kuva 10 Muovilasikuituseos lisättynä liuottimen päälle.

Kevyempien muovien huonon sekoittumisen ja pinnalle asettumisen takia keikeltiin erottamista erotussuppilossa ilman orgaanisen faasin lisäämistä. Yllätyksenä todettiin liuottimen lisääminen turhaksi, koska muovia saatiin erotettua vedestä saman verran ilman liuotinta kuin liuottimen kanssa. Lasikuitumuoviseoksen valuttamisessa venttiilin läpi syntyi ongelmia venttiilin tukkiutuessa, eikä kiintoainesta saatu kokonaan erotettua.

Kokeissa haluttiin vielä kokeilla vettä tiheämpää mikromuovia. Koulun varastosta löytyi pullo PVC:tä (polyvinyylidikloridi), joka on vettä painavampaa. Kuvassa 11 esitetään lopullisissa kokeissa käytetty PVC-mikromuovi.



Kuva 11 PVC-mikromuovia punnitusalustassa.

5.3 PVC-kokeet

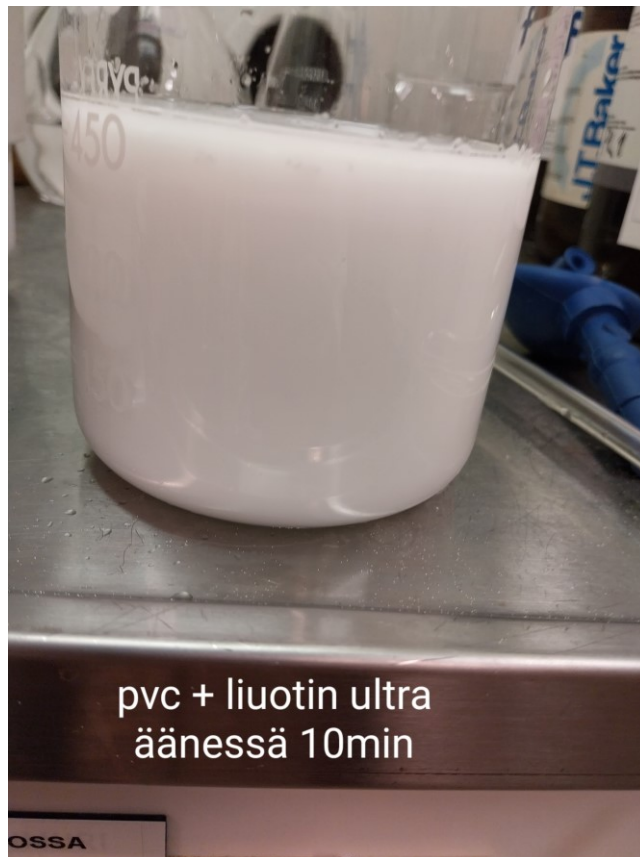
Hienorakeisen PVC-muovin erottamista vedestä oli tarkoitus jatkaa samoilla menetelmillä, mitä käytettiin aikaisemmin muiden muovien erottamisessa. Hienorakeisen PVC-muovin erottaminen vedestä ei kuitenkaan onnistunut odotetulla tavalla, ja jouduttiin keksimään uusi menetelmä.

Ongelmia PVC:n käytössä oli partikkelien kiinnittyminen erotussuppilon reunoille ja huono sekoittuminen veteen. Tämä tuotti haasteita ilman pesuainetta (kuva 12). Luonnollisen tilan matkimista varten kokeiltiin, pystyykö muovin sekoittamaan veteen ilman pesuainetta.



Kuva 12 PVC-jauhe lisätty veteen.

Muovin sekoittamista veteen kokeiltiin ultraäänihauteessa tarkoituksena välttää pesuaineen käyttäminen. Ultraäänihaude ei kuitenkaan sekoittanut pelkkää PVC:tä veteen vaan muodosti dekantterilasın pohjalle muovisia kekoja. Seuraavassa sekoituksessa (kuva 13) laitettiin hauteeseen mikromuovin lisäksi liuotinta. Seoksen sekoituttua maitomaiseksi, siitä oli mahdotonta havaita mikromuovia tai orgaanista faasia. Ultraäänisekoituksesta luovuttiin epäonnistuneiden kokeiluiden jälkeen ja pesuaineen käyttö todettiin välttämättömäksi muovin sekoittumisen kannalta.



Kuva 13 PVC sekoitettu liuottimeen ultraäänihauteessa.

Pienissä määrissä käytettynä pesuaine ei aiheuttanut vaahtokerrosta muovia sekoittaessa (kuva 14). Sekoittaminen erotussuppilossa sai PVC-partikkelit ta-
kertumaan lasin pinnoille, eikä niitä sekoittamalla saatu irrotettua vesifaasiin.



Kuva 14 PVC sekoitettu veteen pesuainetta käyttäen.

PVC:n erottaminen erotussuppilossa ei toiminut oletetulla tehokkuudella vaan suppilon reunoille jäi merkittävä määrä muovia. Erotussuppilossa olevasta muovista saatiin muovi tarttumaan faasien rajapinnalle, mutta erotusvaiheessa rajapinnalla olevasta muovista merkittävä osa takertui lasin pinnalle.

Uuden erotusmenetelmän kokeilu

Erotussuppilossa erottaminen onnistui vaihtelevasti, joten päätettiin kokeilla toista tapaa erotukselle. Toisena erotusmenetelmänä kokeiltiin orgaanisen faasin imemistä, sillä se asettuu seoksen pinnalle. Seoksen pinnalta se olisi helppo poistaa ilman vesifaasiin koskemista. Ensimmäisissä kokeissa käytettiin lasista pipettiä, johon yhdistettiin pumpetti. Pumpetilla imettäessä orgaaninen faasi ja muovi saatiin erotettua vedestä, mutta ongelmina oli pipettien pienet tilavuudet ja pumpetin huono imuvoima. Imemisen parantamiseksi kokeiltiin virittää

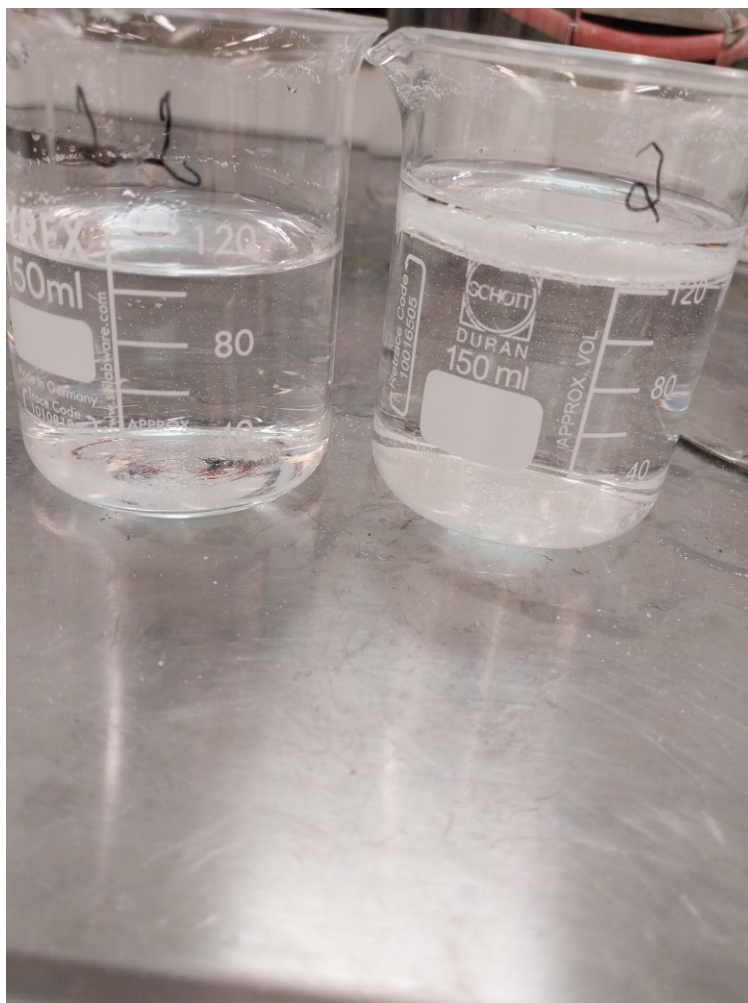
alipainesuodatuksessa käytettyyn väliastiaan imulinja (kuva 15). Imulinjan päähän liitettiin mekaanisen pipetin kärki. Imeminen oli tehokkaampaa, mutta kärjen pieni halkaisija haittasi imutehokkuutta ja muovipartikkelien poistamista. Imuroinnin parantamiseksi leikattiin kärjestä pieni palanen halkaisijan suurentamiseksi. Imeminen onnistui nyt hyvin ja mikromuovin poistaminen onnistui orgaanisen faasin kanssa (kuva 16).



Kuva 15 Koejärjestelyt orgaanisen faasin ja muovin erottamiseen vedestä.

Erotetun mikromuovin määrä haluttiin tietää, mutta tällä menetelmällä se tuotti vaikeuksia. Imulinjan erottaessa liuottimen ja siihen tarttuneen mikromuovin

imulinja likaantui ja keräsi mikromuovia sisäpinnoilleen. Imulinjan sisäpinnat oli hankala puhdistaa kokonaan mikromuovista, eikä väliastian tyhjentäminen ja tarkka huuhtelu jokaisen erotuksen jälkeen vaikuttanut hyvältä vaihtoehdolta koesarjojen välissä. Näistä kokeiluista todettiin pelkkään vesifaasiin jääneen mikromuovin talteenotto ja punnitseminen järkeväksi vaihtoehdoksi.



Kuva 16 Vas. mikromuovia ja orgaaninen faasi erotettu vedestä, oik. erottamaton liuos.

Ensimmäisissä kokeissa mitattiin, miten mikromuovin määrä vaikuttaa erottamisessa kaikkien muiden muuttujien pysyessä vakioina. 150 ml:n dekantterilasiin mitattiin tarkasti 120 ml vettä. Veteen sekoitettiin 100 mg ja 200 mg PVC-mikromuovia pesuaineen avulla. Tämän jälkeen kaikkiin liuoksiin lisättiin 20 ml

terpeeniliuotinta. Kaikki liuokset sekoitettiin vielä kunnolla ja niiden annettiin asettua. Asettumisen jälkeen orgaaninen faasi ja siihen kiinnittynyt mikromuovi imettiin aikaisemmin mainitulla koejärjestelyllä väliastian. Jäljelle jääneet vesifaasit suodatettiin suodatinpaperin läpi alipainesuodattimella (kuva 17). Suodatinpaperien annettiin kuivua yön yli. Kuivumisen jälkeen ne punnittiin ja päästiin analysoimaan mikromuovin määrän vaikutusta erottamisessa. Tuloksista päädyttiin tutkimaan asiaa laajemmin.



Kuva 17 Alipainesuodatin ja suodatinpaperi.

Lopulliset kokeet

Lopullisten kokeiden suunnittelussa päätettiin tutkia mikromuovin määrän, sekä orgaanisen faasin ja vesifaasin välisen pinta-alan vaikutusta mikromuovien erottamisessa. Kokeissa käytettäisiin eri halkaisijaltaan olevia dekanterilaseja, mikä vaikuttaisi veden ja liuottimen väliseen pinta-alaan. Mikromuovin määrän vaihtelulla saadaan dataa, joka kertoo sen vaikutukseen erotusprosessissa ja liuottimen kykyyn sitoa mikromuovia. Kokeissa veden ja liuottimen määrä pidettiin vakiona 120 ml vettä ja 20 ml liotinta.

Rinnakkaiskokeet

Kokeissa käytetään neljää eri halkaisijaa olevaa dekanterilasia. Dekanterilasien halkaisijat mitattiin työntömitalla. Kaikilla dekanterilaseilla tehdään kolme koesarjaa, joissa on kolme rinnakkaisnäytettä. Mikromuovin määrä koesarjoissa on 100 mg, 200 mg ja 300 mg PVC-mikromuovia. Kokeissa käytettävä mikromuovi punnittiin tarkasti analogisella vaa'alla, joka punnitsi neljän desimaalin tarkkuudella. Nesteet mitattiin tarkasti mittalaseissa ennen niiden lisäämistä dekanterilaseihin. Kaikissa kokeissa käytettiin pesuainetta PVC-mikromuovin sekoittamiseen. Pesuainetta lisättiin mahdollisimman pieni tippa siroittimella. Sekoitus tapahtui metallisella laboratoriosekoittimella. Imemiserotuksen jälkeen jäljelle jääneet vesifaasit suodatettiin suodatinpaperin läpi alipainesuodattimessa. Suodatuksen jälkeen suodatuspaperit laitettiin kuivumaan kellolasien päälle vetokaappiin. Suodatuspaperit ja kellolasit punnittiin ennen suodatusta ja sen jälkeen erottamattoman mikromuovin määrän mittaamista varten.

6 Tulosten analysointi

Kokeitten antamista tuloksista pystyttiin mittaamaan erotetun ja erottamattoman mikromuovin massa. Tuloksien mittausepävarmuuksiin vaikuttaa inhimilliset virheet työn toteutuksessa ja vaakojen tarkkuus.

6.1 Erotussuppilolla tehdyt mittaukset

Ensimmäisissä mittauksissa, joissa mitattiin erotettu mikromuovi, käytettiin 10 grammaa PE (polyesteriä). Polyesteriä erotettiin erotussuppilossa ilman liuotinta ja liuottimen kanssa. Taulukoissa 1 ja 2 näkyy keltaisella, kuinka paljon mikromuovia saatiin poistettua eri faasien mukana. Mikromuovin erottaminen vedestä ilman liuotinta sai poistettua yli 80 % alkuperäisestä mikromuovista.

Taulukko 1. Erotussuppilossa erotetun polyeteenimikromuovin koedata orgaanisen faasin kanssa

Koe 1	massa(g)	tilavuus(ml)
PE(molok)	10,07	
Vesi		503
pesuaine	-	
Limoneeni		50
Tislaamaton terpeeni	-	
Suodatus paperi vesifaasille	0,33	
Suodatus paperi orgaaniselle faasille	0,34	
Kuivausala vesifaasi	35,45	
Kuivausala orgaaninenfaasi	41,55	
Tulokset koe 1	m(g)	
M_kok vesifaasi	35,8	
M_kok orgaaninen faasi	51,56	
Muovin massa vesifaasissa	0,02	
Muovinmassa orgaanisessa faasille	9,67	
hävinyt massa	0,38	

Taulukossa 2 näkyy keltaisella, kuinka paljon mikromuovia saatiin poistettua eri faasien mukana. Mikromuovin erottaminen vedestä liuottimen kanssa saatiin noin 96 % alkuperäisestä mikromuovista.

Taulukko 2. Erotustuppilossa erotetun polyeteenimikromuovin koedata ilman orgaanista faasia.

Koe 2 erottaminen pelkästä vedestä	massa(g)	tilavuus(ml)
PE(Molok)	10,04	
Vesi		501
pesuaine	x	
Limoneeni	-	
Tislaamaton terpeeni	-	
Suodatuspaperi vesifaasille	0,34	
Suodatuspaperi orgaaniselle faasille	0,34	
Kuivausalusta pohja+vesipylväs	21,26	
Kuivausalusta vedenpinta	22,22	
Tulokset koe 2	m(g)	
M_kok vesi	24,41	
M_kok vedenpinta	29,73	
Muovin massa vesifaasissa	1,85	
Muovinmassa veden pinnalla	8,13	
hävinyt massa	0,06	

Seuraavissa kokeissa mitattiin PA (polyamidi)-mikromuovin erottamista vedestä. Mikromuovia erotettiin vedestä ilman liuotinta. Polyamidin vettä pienempi tiheys, johti mikromuovin kellumiseen ja helppoon erottamiseen veden pintakerroksesta. Taulukosta 3. nähdään että mikromuovia saatiin poistettua vedestä 9,89 grammaa ilman liuotinta. Kokeita ei toistettu liuottimen kanssa lähes 99 %:n erotustehokkuuden takia.

Taulukko 3. Erotustuppilossa erotetun polyamidimikromuovin koedata ilman orgaanista faasia.

Koe 2 erottaminen pelkästä vedestä	massa(g)	tilavuus(ml)
PA	10,1	
Vesi		500
pesuaine	x	
Limoneeni	-	
Tislaamaton terpeeni	-	
Suodatus paperi pohja + vesipylväs	0,34	
Suodatus paperi vedenpinta	0,34	
Kuivausalusta vesifaasi	35,32	
Kuivausalusta pohja + vesipylväs	35,77	
Tulokset koe 2	m(g)	
M_kok vesifaasi	35,73	
M_kok vedenpinta	46	
Muovin massa pohja + vesipylväs	0,07	
Muovinmassa veden pinnalla	9,89	
hävinyt massa	0,14	

Lasikuitumikromuoviseoksen erottamisessa vedestä oli ongelmana suppilon venttiilin tukkeutuminen, eikä rinnakkaiskokeita pystytty järjestämään. Taulukossa 4. on ainoa erotus, jossa saatiin vesifaasi valutettua venttiilin läpi. Tässä kokeessa ei käytetty pesuainetta, sillä lasikuitumikromuoviseos sekoittui veteen ilman sitä. Orgaaninen faasi auttoi kokeessa kiintoaineen asettumista erotussuppilon pinnalle ja noin 90 % kiintoaineesta saatiin erotettua orgaanisen faasin kanssa. Lasikuitupartikkeleiden ollessa huokoisia ja kevyitä melkein 10 % kokeessa käytetystä kiintoaineesta hävisi erotussuppilon huuhteluiden ja suodatuksen aikana.

Taulukko 4. Erotustuppilossa erotetun lasikuitumikromuoviseoksen koedata orgaanisen faasin kanssa.

Koe 1 Vesi+ liuotin 5.8.2023	massa(g)	tilavuus(ml)
Lasikuitu+muovi	10,05	
Vesi		511
pesuaine	-	
Limoneeni		50
Tislaamaton terpeeni	-	
Suodatus paperi vesifaasille	0,33	
Suodatus paperi orgaaniselle faasille	0,34	
Kuivausalusta vesifaasi	38,68	
Kuivausalusta orgaaninen faasi	38,3	
Tulokset koe 1	m(g)	
M_kok vesifaasi	39,23	
M_kok orgaaninen faasi	47,59	
Muovin massa vesifaasissa	0,22	
Muovinmassa orgaanisessa faasille	8,95	
hävinyt massa	0,88	

Erotussuppilolla tehdyt kokeet olivat hyödyllisiä, vaikka niistä ei saatu luotettavaa numeraalista dataa. Etenkin raskaamman lasikuitumikromuoviseoksen erottamisessa oli huomattava ero liuottimen lisäämisellä.

6.2 Mikromuovin erottaminen imulinjalla

Kokeitten tarkoituksena on tutkia orgaanisen faasin ja veden välisen pinta-alan vaikutusta mikromuovin erottamiselle vedestä. Vakioina kokeissa toimivat veden ja liuottimen määrä. Muuttujina kokeissa olivat erotusastioina toimivien dekantterilasien halkaisijat, sekä mikromuovin määrä. Kokeissa käytettiin neljää eri halkaisijaltaan olevaa dekantterilasia. Halkaisijat ovat: 62 mm, 67 mm, 77 mm ja 87 mm. Mikromuovin määrät kokeissa olivat 100, 200 ja 300 mg PVC-

mikromuovia. PVC valittiin kokeisiin parhaiten soveltuvaksi sen tiheyden ollessa suurempi kuin veden tiheys.

Liitteessä 1 on esitetty mittausdata tehdyistä kokeista. Tuloksissa on mitattu, kuinka paljon PVC-mikromuovia jäi veteen ja dekantterilasin pohjalle. Erottamattoman mikromuovin massa erotettiin alkuperäisestä massasta ja selvitettiin, miten hyvin erotus onnistui. Tulosten tarkastelussa ilmeni punnituksen epätarkkuus kellolasien kanssa. Liitteessä 1. edellä mainitut mittausepävarmuudet on merkitty punaisella. Onneksi punnitukset tehtiin suodatuspapereille ilman kellolasia (liite 2). Näissä mittauksissa mittaustulokset olivat luotettavampia, kuin kellolasien kanssa tehdyissä punnituksissa.

6.3 Tulokset

Mikromuovin erottaminen vedestä imulinjalla

Kokeissa 1–9 käytettiin halkaisijaltaan 62 mm olevaa dekantterilasia. Mikromuovia saatiin erotettua kaikissa koesarjoissa tasaisesti. Mikromuovin lisäys ei huonontanut erotusprosenttia, mutta erottamatonta mikromuovia jäi enemmän määrän lisäyksen takia. 100 mg:n kokeissa mikromuovia saatiin erotettua noin 90 % (liite 1 ja 2). Kokeissa 4–6 on suurempia heittoja kuin 1–3. Heitot johtuivat liian nopeasta imemisestä ja mikromuovien tarttumisesta lasin reunoille. Mittausepävarmuudesta huolimatta mikromuovia saatiin erotettua 200 mg:n kokeissa yli 80 % alkuperäisestä massasta. Kokeissa 7–9 mikromuovin määrä on 300 mg. Kokeissa 7–9 saatiin erotettua yli 80 % mikromuovista.

Seuraavissa koesarjoissa käytettiin suurempia dekantterilaseja, joiden halkaisija oli 67 mm. Ensimmäisessä koesarjassa (10–12) pelkän suodatuspaperin punnitukset näyttävät, että erotus olisi onnistunut vain 60 %:n tehokkuudella. Kellolasien kanssa tehdyissä punnituksissa heittoa toisistaan ei ole, ja erotustehokkuus on yli 90 %. 200 mg:n (13–15) ja 300 mg:n (16–18) koesarjoissa päästiin hyviin erotusprosentteihin. Mikromuovia saatiin erottua kokeissa 13–15 90 %:n ja kokeissa 16–18 85 %:n tehokkuudella.

77 mm:n dekantterilaseissa tehdyissä erotuksissa alkoi huomata silmämääräisesti erotuksen huonontuvan ja reunoille asettuvan merkittävän määrän mikromuovia. Imurointi oli hankalampaa orgaanisen faasin määrän takia, joka pysyi vakiona. Tuloksissa on paljon heittoa, mikä johtuu imuroinnin hankaloitumisesta ja orgaanisen faasikerroksen ohuudesta. Mikromuoville oli myös enemmän pinta-alaa takertua lasin reunoille. Kokeitten (19–27) mittausdatasta saatiin erotettua keskimäärin 70 % mikromuovista. Tuloksesta nähdään erotusprosessin huonontuvan dekantterilasin halkaisijan kasvaessa.

Viimeisissä kokeissa käytettävät 87 mm:n halkaisijaltaan olevat dekantterilasit tuottivat samoja ongelmia kuin aikaisemmissa kokeissa käytetyt 77 mm:n halkaisijaltaan olevat dekantterilasit. Mikromuovin erottaminen vedestä orgaaniseen faasiin muuttui niin hankalaksi ja huonoksi, että viimeisistä kahdesta koesarjasta luovuttiin. Koesarjassa käytettiin 100 mg mikromuovia, josta saatiin erotettua keskimäärin 72 %.

Kokeitten antamista tuloksista huomataan, että mikromuovin erottaminen vedestä huonontui dekantterilasin koon suurentuessa ja mikromuovin määrän lisääntyessä. Paksumpi kerros orgaanista faasia toimi paremmin erottamisessa kuin laajana ohuena kerroksena. Suurempiin dekantterilaseihin takertui huomattavasti enemmän mikromuovia reunoille, kuin pieniin laseihin.

7 Yhteenveto

Mikromuovia syntyy kaikista muovikappaleista niiden käytön aikana. Mikromuovijätteen joutumista ympäristöön on helpompi ennaltaehkäistä, kun poistaa sieltä nykyisin tunnetuilla menetelmillä. Suurimpina mikromuovijätteen seulojista ovat jätevedenpuhdistuslaitokset. Suurten vesimassojen puhdistaminen kuitenkin johtaa siihen, ettei kaikkea mikromuovia saada erotettua vedestä ja se jatkaa matkaansa aina meriin asti. Uusien erotusmenetelmien kehitys mikromuovin erottamiseen vedestä on tärkeää vesistöjen puhtauden sekä eliöiden elämän kannalta. Mikromuovit kulkeutuvat ravintoketjun mukana pienistä

eliöistä aina ihmiseen saakka. Mikromuovin päätyemisestä ihmisiin on vähän tutkimustietoa, mutta oletuksena on, ettei mikromuovi ole terveellistä ihmiskehossa.

Opinnäytetyö kuuluu hankkeeseen Kaikki muovi kiertää, jossa pyritään edistämään kiertotaloutta ja muovin kierrätystä. Tässä opinnäytetyössä testattiin, pystyykö mikromuovia erottamaan vedestä kaksifaasisysteemillä hyödyntäen jätteen käsittelyn sivuvirrasta syntyvää terpeeniliuotinta.

Opinnäytetyön laboratoriokokeisiin tarvittavaa mikromuovia yritettiin valmistaa itse, mikä osoittautui haasteelliseksi. Mikromuovien valmistamisesta luovuttiin ja otettiin yhteyttä muovialan yrityksiin, joilta saatiin mikromuoveja laboratoriokokeita varten.

Mikromuovien sekoittamisessa veteen käytettiin apuna pesuainetta, joka rikkoi veden pintajännityksen mahdollistaen kevyempienkin muovien sekoittumisen veteen. Veteen sekoittuneen mikromuovin erottamisessa käytettiin orgaanisena faasina terpeeniliuotinta. Orgaanisen faasin tehtävänä on sitoa mikromuovia. Laboratoriokokeet oli tarkoitus tehdä erotussuppilossa, jossa vesifaasi olisi helppo erottaa mikromuoveja sitovasta orgaanisesta faasista valuttamalla se pohjaventtiilistä. Erotussuppiloilla tehdyissä kokeissa tapahtui pohjaventtiilin tukkiutumista, mikä johti uuden erotusmenetelmän käyttämiseen.

Mikromuovin erottamiseen vedestä kehitettiin imulinja, joka oli viritetty alipainesuodattimen väliastiaan. Tarkoituksena oli imeä dekanterilasin pinnalle asetettu orgaaninen faasi mikromuoveineen ja suodattaa jäljelle jääneet mikromuovit vesifaasista. Vesifaasiin jääneet mikromuovit suodatettiin alipainesuodattimessa suodatuspaperin läpi, jonka jälkeen niiden annettiin kuivua kellolasien päällä. Kokeissa punnittiin suodatinpaperit, kellolasit ja käytetyn mikromuovin massat. Kokeen jälkeen tiedettiin, kuinka paljon mikromuovia saatiin erotettua vedestä. Tuloksista päätellen dekanterilasien halkaisijan kasvaessa ja mikromuovin määrän lisääntyessä mikromuovin erotuksen huonontuvan.

Parhaimmillaan mikromuovia saatiin erotettua yli 90 % alkuperäisestä muovin massasta.

Laboratorio-olosuhteissa ja pienessä mittakaavassa mikromuovin erottaminen onnistuu melko hyvin kaksifaasisysteemissä, mutta suuremman mittakaavan prosesseissa menetelmää pitää tutkia ja optimoida.

Mahdollisia käytännön käyttökohteita kaksifaasierotukselle voisivat olla jätevedenpuhdistuslaitosten jälkikäsittelyprosessit. Tämä vaatisi pilottilaitoksen ja testaamista suuremmassa mittakaavassa.

Lähteet

1. ISO 472:2013. 2.702. International Organization for Standardization. Plastics vocabulary.
2. GESAMP. 2015. sources, fate and effect of microplastics in the marine environment: a global assessment. s.18-21.
3. Talvitie Julia. 2018. wastewater treatment as pathways of microlitter to the aquatic environment. Väitöskirja. Aalto-yliopisto. Aaltodoc-tietokanta.
4. Kuva. Mikromuovin kiertokulku luontoon. Verkkoaineisto. Syke. <[https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit_riski_myos_Suomen_vesistoill\(42492\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit_riski_myos_Suomen_vesistoill(42492))>. Luettu 25.4.2023.
5. Laurent, C. M. Lebreton; Joost, van der Zwet; Jan-Willem, Damsteeg; Boyan, Slat; Anthony, Andrady; & Julia, Reisser. 2017. River plastic emission to the world's oceans. nature communications. s. 3–7
6. Michael S. Bank. 2021. Microplastic in the Environment: Pattern and Process. s. 7–9.
7. Rachid, Dris; Johnny, Gasperi & Bruno Tassin. 2018. Sources and Fate of Microplastics in Urban Areas: A Focus on Paris Megacity. ResearchGate. s. 75–80.
8. C. Anela, Choy; Bruce H, Robison; Tyler O, Gagne; Benjamin, Erwin; Evan, Firl; Rolf U, Halden; J. Andrew, Hamilton; Kakani, Katija; Susan E, Lisin; Charles, Rolsky; & Kyle S, Van Houtan. 2019. The vertical distribution and biological transport of marine microplastics across the epipelagic and mesopelagic water column. Science journal. s. 2–3.
9. Milena, Koleva; Ch, Bechev; & S, Petkov. 2000. Characterization of polyester resins solidification process by the method of mechanical impedance. Vol. 19. s. 551–558.
10. PVC-muovi. Verkkoaineisto. Omnexus. <<https://omnexus.special-chem.com/selection-guide/polyvinyl-chloride-pvc-plastic>>. Luettu 10.11.2023

11. Jätevedenpuhdistusprosessi. Verkkoaineisto. wordpress. <<https://jatevedenpuhdistus.wordpress.com/jatevedenpuhdistus/puhdistusprosessi/>>. Luettu 17.4.2023
12. Membraanisuodatus. Verkkoaineisto. alfalaval. <<https://www.alfalaval.fi/tuotteet-ja-jarjestelmat/erotustekniikka/kalvot/what-is-membrane-filtration/>>. Luettu 24.5.2023
13. MBR-tekniikka. Verkkoaineisto. aquazone. <<https://aquazone.fi/palvelut/mbr-tekniikka/>>. Luettu 19.4.2023.
14. Julia, Talvitie; A, Mikkola; A, Koistinen; & O, Setälä; 2017. Solutions to micropalstic removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. Water rescearch. s. 401–407.
15. Kiekkosuodatin. Verkkoainesto. veolia. <<https://www.veoliawatertechnologies.com/en/solutions/technologies/hydrotech-discfilter>>. Luettu 19.4.2023
16. Juho Silvas. 2013. Hiekkasuodattimen toiminnan kartoitus. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Theseus tietokanta.
17. Hiekkasuodatus. Verkkoaineisto. turunseudunpuhdistamo. <<https://www.turunseudunpuhdistamo.fi/hiekkasuodatus>>. Luettu 26.4.2023.
18. DAF flotaatio. Verkkoaineisto. opasnet. <<http://fi.opasnet.org/fi/Rikastusprosessit>>. Luettu 5.5.2023.
19. Simola Katja. 2022. Biokaasusta eroteltujen terpeenien analysointi ja käyttömahdollisuudet. Opinnäytetyö. Theseus tietokanta. Metropolian ammattikorkeakoulu.
20. Oladejo Abiola. 2017. Analysis of microplastics and their removal from water. Opinnäytetyö. Metropolian ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Koesarjojen mittausdata suodatuspaperin ja kellolasien punnituksella

Mittausdata kellolasin ja suodatuspaperin punnitukset.

150ml dekkahalkaisija 62mm 100mg kokeet					
	muovin massa (g)	kuivausalustan massa (g)	suodatuspaperin massa (g)	erottamaton massa(g)	erotetun muovin massa(g)
näyte1	0,099	38,5072	0,3392	38,8528	0,0926
näyte2	0,1002	35,3251	0,3391	35,6745	0,0899
näyte3	0,1029	38,2109	0,3289	38,5503	0,0924
150ml dekkahalkaisija 62mm 200mg kokeet					
	muovin massa (g)	kuivausalustan massa (g)	suodatuspaperin massa (g)	erottamaton massa(g)	erotetun muovin massa(g)
näyte4	0,2033	41,4281	0,3303	41,7681	0,1936
näyte5	0,2	35,3273	0,3413	35,6966	0,172
näyte6	0,2002	35,7129	0,3216	36,0765	0,1582
150ml dekkahalkaisija 62mm 300mg kokeet					
	muovin massa (g)	kuivausalustan massa (g)	suodatuspaperin massa (g)	erottamaton massa(g)	erotetun muovin massa(g)
näyte7	0,3027	24,5378	0,3445	24,9143	0,2707
näyte8	0,2994	21,2048	0,3373	21,5666	0,2749
näyte9	0,3019	21,8218	0,3157	22,2102	0,2292
250ml dekkahalkaisija 67mm 100mg kokeet					
	muovin massa (g)	kuivausalustan massa (g)	suodatuspaperin massa (g)	erottamaton massa(g)	erotetun muovin massa(g)
näyte10	0,1004	39,1201	0,3151	39,4416	0,094
näyte11	0,1001	35,6637	0,3375	36,0024	0,0989
näyte12	0,101	35,2799	0,3125	35,5955	0,0979
250ml dekkahalkaisija 67mm 200mg kokeet					
	muovin massa (g)	kuivausalustan massa (g)	suodatuspaperin massa (g)	erottamaton massa(g)	erotetun muovin massa(g)
näyte13	0,2002	38,3466	0,3327	38,6806	0,1989
näyte14	0,1998	35,4557	0,3337	35,8138	0,1754
näyte15	0,201	35,6922	0,3312	36,0009	0,2235
250ml dekkahalkaisija 67mm 300mg kokeet					
	muovin massa (g)	kuivausalustan massa (g)	suodatuspaperin massa (g)	erottamaton massa(g)	erotetun muovin massa(g)
näyte16	0,2998	36,6212	0,3258	36,9698	0,277
näyte17	0,301	38,3284	0,3535	38,7154	0,2675
näyte18	0,3006	37,1462	0,3313	37,5158	0,2623
400ml dekkahalkaisija 77mm 100mg kokeet					
	muovin massa (g)	kuivausalustan massa (g)	suodatuspaperin massa (g)	erottamaton massa(g)	erotetun muovin massa(g)
näyte19	0,1012	33,32	0,3241	33,6752	0,0701
näyte20	0,0996	40,8769	0,3362	41,2221	0,0906
näyte21	0,1	38,0021	0,3521	38,3512	0,103
400ml dekkahalkaisija 77mm 200mg kokeet					
	muovin massa (g)	kuivausalustan massa (g)	suodatuspaperin massa (g)	erottamaton massa(g)	erotetun muovin massa(g)
näyte22	0,201	20,8695	0,3509	21,3118	0,1096
näyte23	0,2011	21,1987	0,3384	21,6002	0,138
näyte24	0,2005	22,4233	0,3418	22,7996	0,166
400ml dekkahalkaisija 77mm 300mg kokeet					
	muovin massa (g)	kuivausalustan massa (g)	suodatuspaperin massa (g)	erottamaton massa(g)	erotetun muovin massa(g)
näyte25	0,3016	22,1934	0,3498	22,6664	0,1784
näyte26	0,3005	21,8081	0,3275	22,2068	0,2293
näyte27	0,3006	22,2515	0,3497	22,7443	0,1575
600ml dekkahalkaisija 87mm 100mg kokeet					
	muovin massa (g)	kuivausalustan massa (g)	suodatuspaperin massa (g)	erottamaton massa(g)	erotetun muovin massa(g)
näyte28	0,0979	20,956	0,3313	21,3183	0,0669
näyte29	0,1007	26,4238	0,3409	26,7935	0,0719
näyte30	0,1003	26,7582	0,3361	27,1109	0,0837

Koesarjojen mittausdata suodatuspaperien punnituksella

Taulukossa on samat kokeet, joissa tulokset on laskettu suodatuspaperin massojen perusteella.

150ml dekka halkaisija 62mm 100mg kokeet					
	suodatuspaperi+muovi(g)	suodatuspaperin massa (g)	muovin massa (g)	erotetun muovin massa (g)	suodatuspaperin punnituksella erotus prosentti
näyte1	0,3569	0,3392		0,099	82,12121212
näyte2	0,3599	0,3391		0,1002	79,24151697
näyte3	0,3479	0,3289		0,1029	81,53547133
150ml dekka halkaisija 62mm 200mg kokeet					
	pelkkä suodatuspaperi (g)	suodatuspaperin massa (g)	muovin massa (g)	erotetun muovin massa (g)	pelkän suodatus paperin punnituksella erotus prosentti
näyte4	0,3525	0,3303	0,2033	0,1811	89,08017708
näyte5	0,3807	0,3413	0,2	0,1606	80,3
näyte6	0,3728	0,3216	0,2002	0,149	74,42557443
150ml dekka halkaisija 62mm 300mg kokeet					
	pelkkä suodatuspaperi (g)	suodatuspaperin massa (g)	muovin massa (g)	erotetun muovin massa (g)	pelkän suodatus paperin punnituksella erotus prosentti
näyte7	0,3858	0,3445	0,3027	0,2614	86,35612818
näyte8	0,3702	0,3373	0,2994	0,2665	89,01135605
näyte9	0,3966	0,3157	0,3019	0,221	73,20304737
250ml dekka halkaisija 67mm 100mg kokeet					
	pelkkä suodatuspaperi (g)	suodatuspaperin massa (g)	muovin massa (g)	erotetun muovin massa (g)	pelkän suodatus paperin punnituksella erotus prosentti
näyte10	0,3479	0,3151	0,1004	0,0676	67,33067729
näyte11	0,3732	0,3375	0,1001	0,0644	64,33566434
näyte12	0,3226	0,3125	0,101	0,0909	90
250ml dekka halkaisija 67mm 200mg kokeet					
	pelkkä suodatuspaperi (g)	suodatuspaperin massa (g)	muovin massa (g)	erotetun muovin massa (g)	pelkän suodatus paperin punnituksella erotus prosentti
näyte13	0,3479	0,3327	0,2002	0,185	92,40759241
näyte14	0,3732	0,3337	0,1998	0,1603	80,23023023
näyte15	0,3571	0,3312	0,201	0,1751	87,11442786
250ml dekka halkaisija 67mm 300mg kokeet					
	pelkkä suodatuspaperi (g)	suodatuspaperin massa (g)	muovin massa (g)	erotetun muovin massa (g)	pelkän suodatus paperin punnituksella erotus prosentti
näyte16	0,3567	0,3258	0,2998	0,2689	89,69312875
näyte17		0,3535	0,301		
näyte18	0,3795	0,3313	0,3006	0,2524	83,96540253
400ml dekka halkaisija 77mm 100mg kokeet					
	pelkkä suodatuspaperi (g)	suodatuspaperin massa (g)	muovin massa (g)	erotetun muovin massa (g)	pelkän suodatus paperin punnituksella erotus prosentti
näyte19	0,3596	0,3241	0,1012	0,0657	64,92094862
näyte20	0,3486	0,3362	0,0996	0,0872	87,5502008
näyte21	0,3689	0,3521	0,1	0,0832	83,2
400ml dekka halkaisija 77mm 200mg kokeet					
	pelkkä suodatuspaperi (g)	suodatuspaperin massa (g)	muovin massa (g)	erotetun muovin massa (g)	pelkän suodatus paperin punnituksella erotus prosentti
näyte22	0,4467	0,3509	0,201	0,1052	52,33830846
näyte23	0,4028	0,3384	0,2011	0,1367	67,97613128
näyte24	0,3802	0,3418	0,2005	0,1621	80,8478803
400ml dekka halkaisija 77mm 300mg kokeet					
	pelkkä suodatuspaperi (g)	suodatuspaperin massa (g)	muovin massa (g)	erotetun muovin massa (g)	pelkän suodatus paperin punnituksella erotus prosentti
näyte25	0,4752	0,3498	0,3016	0,1762	58,42175066
näyte26	0,3997	0,3275	0,3005	0,2283	75,9733777
näyte27	0,4995	0,3497	0,3006	0,1508	50,166334
600ml dekka halkaisija 87mm 100mg kokeet					
	pelkkä suodatuspaperi (g)	suodatuspaperin massa (g)	muovin massa (g)	erotetun muovin massa (g)	pelkän suodatus paperin punnituksella erotus prosentti
näyte28	0,3615	0,3313	0,0979	0,0677	69,15219612
näyte29	0,3722	0,3409	0,1007	0,0694	68,91757696
näyte30	0,3575	0,3361	0,1003	0,0789	78,66400798