



ravinteet
kiertoon

INFO

NRO 9 | TOUKOKUU 2022

Mikromuovit mädätysjäämissä ja rejektivedessä

Yrkeshögskolan Novia, Vaasa on arvioinut mädätysjäämien laatua sen selvittämiseksi, miten käytökelpoisia tuotteet ovat kuluttajille. Novia on tutkinut, mitä menetelmiä on käytettävissä mikromuovien määrien mittaamiseen mädätysjäämissä ja rejektivedessä alueen biokaasulaitoksilta.

MIKROMUOVI YMPÄRISTÖSSÄ

Muovi hajoaa luonnossa erittäin hitaasti. Esimerkiksi muovipussin hajoaminen mikromuoviksi kestää noin 10–20 vuotta ja mikromuovin hajoaminen sen jälkeen vielä satoja vuosia. Tutkimukset osoittavat mikromuovien levinneen globaalisti vesiympäristöissä tiheään asutuilta seuduilta aina Antarktisen antiiteen. Mikromuovien katsotaan voivan kulkeutua pitkiä matkoja veden virtausten mukana tai ilmassa ja niitä on löydetty kaikissa meren eliöissä eläinplanktonista valaisiin. Mikromuoveja on löytynyt myös maakoosysteemeistä ja elintarvikkeista (esimerkiksi pöytäsuola, hunaja, sokeri, olut), huonepölystä ja juomavedestä ja viimeksi myös ihmisen verenkierrosta. Mitä kaikkea luokitellaan mikromuoveiksi ja mitkä ovat niiden yleisimmät lähteet Suomessa ja Ruotsissa on lueteltu tietorudussa ja taulukossa 1.

Mikromuovien haitoista on nykyisin enemmän kysymyksiä kuin vastauksia. Tunnetuimmat vaikutukset ovat, että ne voivat aiheuttaa suuria vaurioita merieliöiden ruoansulatusjärjestelmään ja kiduksiin. Vaikutuksesta maaperän mikrobiologiseen aktiivisuuteen ja kastematoihin on myös raportoitu. Lisäksi on raportoitu muutoksista maaperän hiukkasrakenteesta ja vedenpidätyskyvyssä sekä siitä, että kasvien biomassaan ja juurien kasvuun vaikuttaa maassa olevat mikromuovit (laboratoriomittakaavan tutkimus).

SAPEAn (Science Advice for Policy by European Academies) vuonna 2019 julkaiseman raportin mukaan mikromuovien ei katsota muodostavan suurta terveys- tai ympäristöriskiä nykyisissä pitoisuuksissa, vaikka vaikutusriskkejä sisältäviä muoveja olisikin. Sen sijaan jos mikromuovien kulkeutuminen ympäristöön jatkuu samaa tahtia kuin nykyisin, niiden ekologiset riskit voivat olla paljon laajemmat 100 vuoden kuluessa

TIETOJA MIKROMUOVEISTA

- Alle 5 mm:n kokoiset muovipalaset ja alle 15 mm:n pituiset muovikuidut luokitellaan mikromuoviksi.
- Ne hajoavat luonnossa hitaasti. Muovin tyypistä, lämpötilasta ja auringonvalon määrästä riippuen hajoaminen voi kestää satoja vuosia.
- Mikromuovi voi olla jo valmisteena pieninä palasina tai sitä voi muodostua suurempien muoviesi-
neiden kulumisessa tai hajoamisessa.

Taulukko 1. Mikromuovien yleisimmät lähteet Suomessa ja Ruotsissa, arvioidut vuotuiset arvot (Naturvårdsverket, 2017; Setälä, et al., 2020).

Mikromuovin lähteet	Suomi (t/vuosi)	Ruotsi (t/vuosi)
Tieliikenteen renkaiden kuluminen, tiepäällysteet ja -maalit	5348–10528	8190
Keinonurmikentät* (valmistettu kumirouheesta)	1000–6000	1640–2460
Muovipelletit / Primäärimuovien teollinen tuotanto ja käsittely	359	310–530
Huonepöly	96,5	1–19
Tekstiilien pesu	5–289	8–950
Kalanviljely	31	
Kalastusvälineet	17,5	4–46
Hygieniatuotteet	5,2 [#]	66
Veneiden pohjamaalit		160–740
Rakennusten maalaaminen		130–250

*Perustuen keinonurmikenttien täyteaineen vuotuisen lisäykseen.
[#]WC:ssä alas huuhdeltavat hygieniatuotteet.

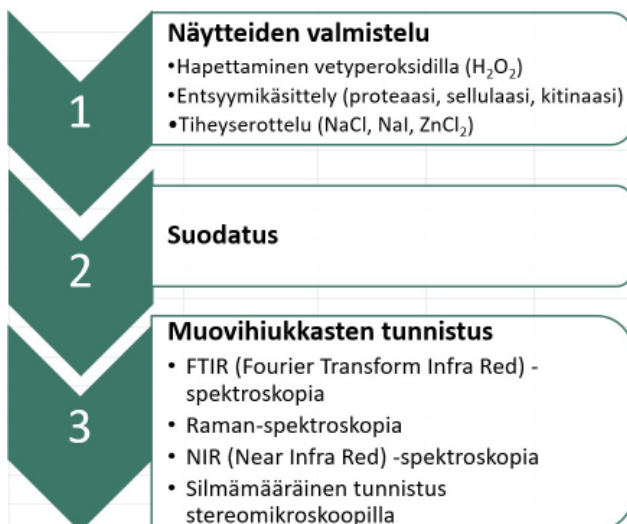
VIEMÄRILIETE JA ORGAANISET LANNOITTEET MIKROMUOVIEEN LÄHTEINÄ

Tutkimukset osoittavat, että mikromuoveja on viemäri-vedessä runsaasti, mutta vedenpuhdistamot pystyvät hyvin puhdistamaan muovit tulevasta vedestä. Tutkimusten mukaan vedenpuhdistamoilla poistetaan 99 % mikromuoveista. Sitä vastoin on erittäin luultavaa, että suuri osa mikromuoveista kertyy viemäri- ja jätevesiin, joka jossain myöhemmässä vaiheessa voidaan levittää viljelysmaalle tai kompostoida mullaksi. Suomessa viemäri- ja jätevesien levityksestä arvioidaan koituvan enintään 10 000 t/vuosi mikromuovipäästöjä. Muutamassa tutkimuksessa on myös käynyt ilmi, että kotitalouksien ja elintarviketeollisuuden biojätteistä mädättävien biokaasulaitosten mädätysjäämät sisältävät mikromuoveja.

MENETELMÄT MIKROMUOVIEEN MÄÄRITTÄMISEEN

Toistaiseksi mikromuovien määrittämiselle ei ole standardoituja analysointimenetelmiä. Koska näytteet sisältävät paljon orgaanista materiaalia, tarvitaan esikäsittelyä: hapettamista, entsyymeillä käsittelyä ja/tai tiheyserottelua. Tavoitteena on saada parhaassa tapauksessa poistettua kaikki partikkelit, jotka eivät ole muovia sekä muut aineet, jotka voivat häiritä analyysiä, muovihiukkasia vaurioittamatta. Useimmiten käytetään näiden vaiheiden yhdistelmää näytteen tyypistä riippuen.

Sitten eroteltu näyte suodatetaan ja suodatimeen kiinnittyneitä partikkeleita tutkitaan. Sen erottamiseksi, onko mikropartikkeli muovia, käytetään lähinnä spektroskopiamenetelmiä, kuten FTIR (Fourier Transform Infra Red) ja Raman. FTIR pystyy havaitsemaan suuren määrän erilaisia muovipolymeerejä ja sitä pidetään luotettavana tekniikkana tähän tarkoitukseen. Myös stereomikroskooppia käytetään, mutta lähinnä partikkeleille > 100 µm (0,1 mm). Kuvassa 1 on kuvattu analyysin kulku mikromuovinäytteille, jotka sisältävät runsaasti orgaanista materiaalia.



Kuva 1. Analyysin kulku mikromuovinäytteille, jotka sisältävät runsaasti orgaanista materiaalia.

Tietojemme mukaan harvat laboratoriot tarjoavat Ruotsissa mikromuovianalyysijä viemäri- ja jätevedestä ja lietenäytteistä. Näitä ovat ALS Scandianvia, Eurofins ja Svenska Miljöinstitutet. Suomessa aiheesta on erikoisosaamista Itä-Suomen yliopistossa (SIB Labs) mutta myös muissa Suomen yliopistoissa aiotaan kehittää menetelmiä mikromuovien analysointiin, esimerkiksi LUT-yliopistossa (Lappeenranta-Lahden teknillinen yliopisto). Myös kaupallinen laboratorio Apila Group tarjoaa mikromuovianalyysijä mullasta, sedimentistä, lumesta ja vedestä otetuille näytteille.

TULOKSET MÄDÄTYSJÄÄMIEN JA REJEKTIVEDEN TUTKIMUKSISTA

Olemme tutkineet mikromuovien määrää biojätteiden mädätysjäämissä kolmen näytteenoton yhteydessä sekä kahdesti viemäri- ja jätevesien mädätysjäämissä.



Näytteet lähetettiin FTIR-analyysiin ALS Scandinavia-laboratorioon Ruotsissa. Tulokset osoittivat, että mikromuoveja oli kaikissa rejektiveden ja mädätysjäämien näytteissä biojätteiden ja viemäri- ja jätevesien mädätysjäämistä. Mikromuoveja löytyi huomattavasti enemmän kiinteästä faasista kuin nesteestä, mikä vastaa tuloksia vedenpuhdistamolta. Mikromuovien määrä vaihteli suuresti kolmen eri näytteen välillä (Taulukko 2). Tutkittujen mikromuovipartikkelien koko oli > 40 µm ja < 5 mm. Mikromuovien määrä johtuu suurelta osin tulevan jätteen muoviepäpuhtauksista, joten tuloksia on siten pidettävä esimerkkinä mikromuovien määrästä kussakin näyttemateriaalissa.

TULOSTEN YHTEENVETO

- Tulokset osoittivat, että sekä rejektivedessä että biojätteiden tai viemäri- ja jätevesien mädätysjäämissä oli mikromuoveja.
- Mädätysjäämistä löydettiin merkittävästi enemmän mikromuovihiukkasia kuin rejektivedestä, mikä vastaa aiemmin julkistettuja tuloksia.
- Tulokset osoittavat, että biojätteiden tai viemäri- ja jätevesien mädätysjäämissä voi olla suuria määriä mikromuoveja ja ne voivat toimia mikromuovien siirtovälineenä ympäristöön.

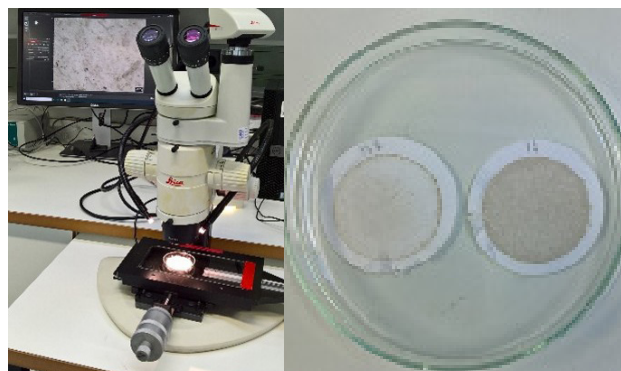
Taulukko 2. Mikromuovien määrän keskiarvo ja massa rejektivedessä ja biojätteiden tai viemäriletteen mädätysjämissä. Määrät ilmoitetaan keskiarvoina ja keskihajontana (biojätteet n = 3 hiukkasten määrä, n = 2 mikromuovin massa; viemärilette n = 2 hiukkasten määrä ja mikromuovin massa). Tutkittujen mikromuovipartikkelien koko oli > 40 µm ja < 5 mm.

Näytetyyppi	Mikromuovihiukkaset /100 ml	Mikromuovi /100 vi mg / 100 vi ml	Mikromuovi /kg TS
Rejektivesi biojätteistä	183 (±164)	–	–
Mädätysjämmät biojätteistä, rumpuseulan jälkeen	503 (±250)	–	–
Mädätysjämmät biojätteistä, ennen rumpuseulaa	5414 (±7487)	4,9 (±6,8)	5,7 (±7,8)
Rejektivesi viemäriletteestä	2,5 (±0,7)	–	–
Mädätysjämmät viemäriletteestä	1933 (±2470)	6,0 (±8,3)	6,0 (±8,3)

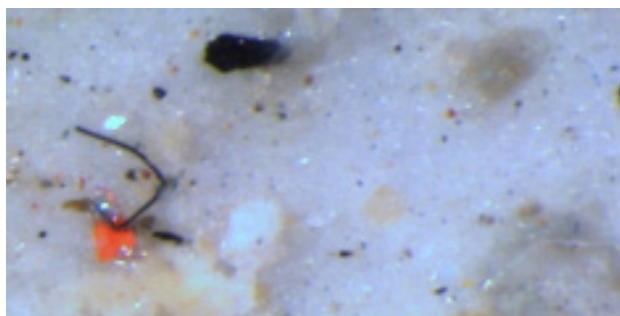
NÄYTTEIDEN VALMISTELUN TESTAUS SEKÄ MIKRO-MUOVIEIN SILMÄMÄÄRÄINEN TUNNISTAMINEN

Näytteenoton yhteydessä otettiin erillisiä näytteitä silmämääräistä tunnistusta varten Noviasa. Näytemateriaalina oli rejektivesi tai biojätteiden mädätysjämmät. Noviasa tutkittiin kahta erilaista näytteen valmisteluvaihetta: vetyperoksidi ja lämpö sekä vetyperoksidi rautakatalyytillä ($\text{FeSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}_2$), jota kutsutaan myös Fentonin reaktioksi. Fentonin reaktio ei toiminut näissä olosuhteissa. Optimointiyrityksistä huolimatta saatiin ruosteenruskea saostuma sekä rejektivedellä että mädätysjämmänäytteissä. Hapettaminen 30 % vetyperoksidilla sekä inkubointi 55 °C lämpötilassa 3–5 päivän ajan antoi kuitenkin tyydyttävän tuloksen rejektivesinäytteille. Mädätysjämmänäytteet olivat haasteelliset, ja yhdistämällä hapettamisen tiheuserotteluun (kylläisellä NaCl-liuoksella) tuotti hyväksyttävän tuloksen. Ylimääräistä entsyymikäsitteilyä olisi luultavasti tarvittu näytteissä jäljellä olevan orgaanisen materiaalin poistamiseksi. Käsitellyille näytteille tehtiin tyhjäsuodatus, ja suodatinta tarkasteltiin silmämääräisesti digikameralla varustetulla stereomikroskoopilla (Kuva 2 ja 3).

Todennäköisesti muovia olevien partikkeleiden tunnistaminen tehtiin Marine & Environmental Research Institutin (MERI) ohjeiden mukaisesti. Mikromuovit jaoteltiin värin ja ulkoasun mukaan (kuitu, fragmentti, pallo/pelletti, vaahtomuovi). Jos partikkeli oli elastinen, siinä ei ollut solumaista rakennetta eikä se rikkoutunut liikuteltaessa (neulalla tai hammaskoettimella), se laskettiin muovihiukkaseksi. Fragmentit olivat yleisimpiä partikkeleita, mutta myös kuituja, palloja ja vaahtomuovia muistuttavia partikkeleita esiintyi.



Kuva 2. Silmämääräiseen tunnistukseen (t.v.) käytetty stereomikroskoopi sekä suodatetut rejektivesi- ja mädätysjämmänäytteet (t.h.).



Kuva 3. Esimerkki mikrohiukkasista mädätysjämmänäytteessä. Kuva 2 ja 3: Viveka Öling-Wärnä

Suurin osa fragmenteista oli muistia tai kiiltävän ruskeita, mutta myös muun värisiä, kuten keltaisia, oransseja, punaisia, vaaleansinisiä, sinisiä, vihreitä, hopeanvärisiä tai läpinäkyviä. Kuidut olivat väriltään punaisia, vaaleansinisiä, sinisiä, ruskeita, harmaita tai mustia. Pallot olivat läpinäkyviä, vaaleansinisiä, ruskeita tai mustia. Vaahtomuovihiukkaset olivat keltaisia ja niitä löytyi vain mädätysjämmistä. Rejektiveden mikromuovin määrä silmämääräisellä tunnistuksella oli samanlainen kuin tuloksissa, jotka saatiin FTIR-analyysillä kaupallisessa laboratorioissa. Sen sijaan mädätysjämmänäytteistä löytyi merkittävästi enemmän mikromuovia silmämääräisellä tunnistuksella kuin FTIR-analyysillä (Taulukko 3). Näytemäärät (2–5 g) mädätysjämmistä olivat pieniä, mikä saattoi lisätä virheiden mahdollisuutta, samoin suodatuksen jälkeen oli vielä jäljellä orgaanista materiaalia, joka häiritsee silmämääräistä analyysiä. Silmämääräisessä tunnistuksessa käytetyssä suodatimessa oli pienempi huokoskoko (2,7 µm) kuin FTIR-analyysissä (40 µm), joten se keräsi enemmän mikrohiukkasia.

Tutkimuksemme samoin kuin aiemmat tutkimukset vahvistavat, että silmämääräinen tutkimus ei ole täysin luotettava menetelmä mikromuovien määrän määrittämiseen ympäristönäytteistä. Eräänä etuna on kuitenkin, että voidaan kerätä tietoja mikrohiukkasten ulkonäöstä ja koosta sekä kuvata niitä. Näiden tietojen perusteella voidaan ehkä jäljittää mikromuovien alkuperä. Silmämääräinen tutkimus soveltuu parhaiten >100 µm kokoisille partikkeleille ja tutkimus tulee yhdistää Raman- tai FTIR-analyysiin luotettavien tuloksien saamiseksi.

Taulukko 3. Mikromuovien määrän keskiarvo rejektivedessä ja biojätteen mädätysjäämissä kahdella näytteenotokerralla. Määrä ilmoitetaan keskiarvona ja keskihajontana (silmämääräinen tunnistus yhteensä 5 rejektivesi- ja 4 mädätysjäämänäytteelle; FTIR-analyysi 2 näytteelle kustakin näytetypistä). Tutkittujen mikromuovipartikkelien koko oli > 2,7 µm ja < 5 mm silmämääräisessä tunnistuksessa, > 40 µm ja < 5 mm FTIR-analyyssissä.

Näytetyyppi	Silmämääräinen tunnistus	FTIR
	Mikromuovihiukkaset / 100 ml	Mikromuovihiukkaset / 100 ml
Rejektivesi biojätteistä	313 (±98)	271 (±86)
Mädätysjäämät biojätteistä, rumpuseulan jälkeen	7273 (±3059)	640 (±113)

HUOMIOITAVAA BIOKAASULAITOKSEN MÄDÄTYSJÄÄMIEN JA REJEKTIVEDEN ANALYSOINNISSA

- Käytä laboratoriota, jolla on asiantuntemusta mikromuoveista ja aiempaa kokemusta sellaisten näyttematriisien käsittelystä, joissa on suuri orgaanisen materiaalin pitoisuus, jotta saat luotettavia tuloksia.
- Analyysilaboratoriolla tulee olla laaja kirjasto muovipolyymeerien tunnistamista varten.
- Huolehdi ”muovittomista” olosuhteista myös näytteenotossa käyttämällä esimerkiksi sinkkiämpäriä tai ruostumattomasta teräksestä tehtyä sekä käyttämällä metallikannella varustettua lasista analyysiasiaa.
- Toistuva näytteenotto on suositeltavaa, koska aineksen muoviepäpuhtauksien määrässä voi ilmetä suurta vaihtelua.

Lisätietoja antaa

Viveka Öling-Wärnå, Yrkeshögskolan Novia

LÄHTEET

Ajith, N, S Arumugam, S Parthasrathy, S Manupoori, och S Jana- kiraman. 2020. ”Global distribution of microplastics and its impact on marine environment- a review.” *Environmental Science and Pollution Research* 27:25970-25986.

Allen, S, D Allen, VR Phoenix, G Le Roux, P Durantez Jimenez, A Simonneau, o.a. 2019. ”Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment.” *Nat. Geosci.* 12, 339–344 .

Boots, B, C Russell, och D Green. 2019. ”Effects of Microplastics in Soil Ecosystems: Above and Below Ground.” *Environ. Sci. Technol* 53, 11496–11506.

Cunningham, E, S Ehlers, J Dick, J Sigwart, K Linse, J Dick, och K Kirakoulakis. 2020. ”High Abundances of Microplastic Pollution in Deep-Sea Sediments: Evidence from Antarctica and the Southern Ocean.” *Environ Sci Technol* 54(21):13661-13671.

Huerta Lwanga, E, H Gertsen, H Gooren, P Peters, T

Salanki, M van der Ploeg, E Besseling , A Koelmans, och V Geissen . 2016. ”Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for Lumbricus terrestris (Oligochaeta, Lumbricidae).” *Environ. Sci. Technol.* 50, 2685–2691.

Kontrick, A. 2018. ”Microplastics and Human Health: Our Great Future to Think About Now.” *Journal of Medical Toxicology* 14:117-119.

Lenz, R, K Enders, C Stedmon, D Mackenzie, och T Nielsen. 2015. ”A critical assessment of visual identification of marine microplastic using Raman spectroscopy for analysis improvement.” *Marine Pollution Bulletin* 100: 82-91.

Leslie, H, M van Velzen, S Brandsma, A D Vethaak, J Garcia-Vallejo, och M Lamoree. 2022. ”Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood.” *Environmental international* 163:107199.

Ljung, E, K Borg Olsen, PG Andersson, E Fältström, J Voltertsen, HB Wittgren, och M Hagman. 2018. Mikroplaster i kretsloppet. Svensk Vatten Ab.

Löder, M, H Imhof, M Landehoff, L Löschel, och C Lorenz. 2017. ”Enzymatic Purification of Microplastics in Environmental Samples.” *Environmental Science & Technology* 51: 14283–14292.

Machando, A, C Lau, J Till, W Kloas, A Lehmann, R Becker, och M Rillig. 2018. ”Impacts of Microplastics on the Soil Biophysical Environment.” *Environ. Sci. Technol.* 52, 9656–9665.

Machando, A, C Lau, W Kloas, J Bergmann, J Bachelier, E Faltin, R Becker, A Görlich, och M Rillig. 2019. ”Microplastics Can Change Soil Properties and Affect Plant Performance.” *Environ. Sci. Technol.* 53, 6044–6052.

MERI. u.d. Guide to microplastic identification. Blue Hill, ME: Marine and Environmental Research Institute.

Naturvårdsverket. 2017. ”Mikroplaster (Redovisning av regeringsuppdrag om källor till mikroplaster och förslag på åtgärder för minskade utsläpp i Sverige).” Bromma: Naturvårdsverket.

Nilsson, J. 2017. Förekomst av mikroplast i åkermark gödslad med avloppsslam. Examensarbete i miljövetenskap. Göteborg: Göteborgs universitet.

SAPEA. 2019. A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society. Berlin: SAPEA.

Setälä, O, S Suikkanen, H Dahlbo, O Hakala, M Ikonen, V Intovuori, H Kaartokallio, o.a. 2020. Suomen merialueen roskaantumisen lähteet. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (SYKE).

Talvitie, J, A Mikola, O Setälä, M Heinonen, och A Koistinen. 2017. ”How well is microlitter purified from wastewater? A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant.” *Water Research* 109: 164-172.

Weithmann, N, JN. Möller, M Löder, och S Piehl. 2018. ”Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment.” *Science Advances* 4: eaap8060 (1-7).

Zhu, F, C Zhu, C Wang, och C Gu. 2019. ”Occurrence and Ecological Impacts of Microplastics in Soil Systems: A Review.” *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 102:741-747

