



# KIERTOVIIRRAAT – JALOSTETUT JÄTEVEDET JA LIETTEET BIO- JA KIERTOTALOUDEN RAAKA-AINEVIRROIKSI

Salla Pulliainen (toim.)



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu

Salla Pulliainen (toim.)

# KIERTOVIIRAT – JALOSTETUT JÄTEVEDET JA LIETTEET BIO- JA KIERTOTALOUDEN RAAKA-AINEVIRROIKSI



XAMK KEHITTÄÄ 180

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU  
MIKKELI 2021

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Manu Eloaho

Taitto ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-404-1 (nid.)

ISBN: 978-952-344-405-8 (PDF)

ISSN: 2489-2467 (nid.)

ISSN: 2489-3102 (verkko)

[julkaisut@xamk.fi](mailto:julkaisut@xamk.fi)

# LUKIJALLE

Kiertovirrat – Jalostetut jätevedet ja lietteet bio- ja kiertotalouden raaka-ainevirroiksi -hanke (A74843) on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahuusalan ja Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUTin yhteishanke. Hanketta rahoitti Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Mikkelin Vesiliikelaitos ja Aquazone Oy. Hanke toteutettiin rinnakkaishankkeena LUT-yliopiston Materiaalien karakterisointiin ja instrumenttianalytiikkaan liittyvän tutkimusinfrastruktuurin kehittäminen -investointihankkeen (A74981) kanssa.

Hanke toteutettiin ajalla 1.6.2019–31.12.2021. Hankkeen projektipäällikkönä toimi ins. (AMK) Salla Pulliainen, tutkimusinsinöörinä ins. (AMK) Jussi Konttila ja TKI-asiantuntijana DI Pertti Harju. LUT-yliopiston osiosta vastasi joulukuuhun 2019 asti professori Mika Sillanpää, minkä jälkeen vastuu siirtyi professori Mari Kallioinen-Mänttärille. Kiertovirrat-hankkeen vastuullisena johtajana toimi tutkimusjohtaja, FT Lasse Pulkkinen, hankkeen yhteyshenkilönä tutkimuspäällikkö, TkT Hanne Soininen ja hankeasiantuntijana Hanna-Maija Penttinen.

Hankkeen etenemistä ohjasi ja valvoi ohjausryhmä, johon kuuluivat Mikkelin Vesiliikelaitoksen johtaja Reijo Turkki, Aquazone Oy:n/Operon Group Oy:n myyntijohtaja Jyri Koivisto, Kospirt Oy:n tekninen johtaja Marko Pirttinen, Etelä-Savon ELY-keskukselta rahoitusasiantuntija Esa Pekonen, Etelä-Savon maakuntaliitosta kehittämispäällikkö Eveliina Pekkanen, Mikkelin kaupungin strategia- ja kehityspäällikkö Aki Kauranen, LUT-yliopistolta professori Mari Kallioinen-Mänttari sekä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululta tutkimuspäällikkö Hanne Soininen. Hankkeen ohjausryhmässä rahoittajan edustajana toimi yritysasiantuntija Jarkko Rautio.

Tekijät kiittävät hankkeen rahoittajaa kehittämistyön mahdollistamisesta sekä muita hankkeen toteutukseen osallistuneita tahoja osallistumisesta hanketyöhön.

Mikkelissä 17.12.2021

# KIRJOITTAJAT

**PERTTI HARJU**, DI, TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**AKI HEINONEN**, ympäristötekniikan DI, projektipäällikkö

Metsäsairila Oy

**MARI KALLIOINEN-MÄNTTÄRI**, TkT, professori

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

**VESA KALLIOKOSKI**, huoltoasentaja

Ariterm Oy

**JUSSI KONTTILA**, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**JAAKKO KUNTONEN**, kaivosinsinööri, toimitusjohtaja

Nanopar Oy

**SALLA PULLIAINEN**, insinööri (AMK), projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**HANNE SOININEN**, TkT, tutkimuspäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

# SISÄLTÖ

LUKIJALLE.....	3
KIRJOITTAJAT .....	4
KIERTOVIRRAT – JALOSTETUT JÄTEVEDET JA LIETTEET BIO- JA KIERTOTALOUDEN RAAKA-AINEVIRROIKSI -HANKE .....	6
Salla Pulliainen, Hanne Soininen & Mari Kallioinen-Mänttari	
LAINSÄÄDÄNTÖ LIETTEEN HYÖTYKÄYTTÖÄ OHJAAMASSA .....	8
Salla Pulliainen & Jussi Konttila	
HIILLETYN JÄTEVESILIETTEEN EKOTOKSISUUS.....	13
Salla Pulliainen & Jussi Konttila	
JÄTEVESILIETTEEN ESIPOLTTOKOKKEET XAMKIN LABORATORIOSSA .....	19
Salla Pulliainen, Jussi Konttila & Jaakko Kuntonen	
JÄTEVESILIETTEEN POLTTOKOKKEET – PÄÄSTÖJEN MONITOROINTI JA TUHKA-ANALYYSI.....	27
Salla Pulliainen, Jussi Konttila, Jaakko Kuntonen & Vesa Kalliokoski	
MÄDÄTETYN JÄTEVESILIETTEEN KOMPOSTIKOKKEET .....	35
Salla Pulliainen, Jussi Konttila & Aki Heinonen	
JÄTEVESILIETTEEN JÄLJITETTÄVYYS – DEMONSTRAATIOSOVELLUKSEN PILOTOINTI .....	46
Salla Pulliainen & Pertti Harju	
REJEKTIVEDEN TYPEN TALTEENOTTO JA HYÖDYNTÄMINEN LANNOITTEENA.....	51
Salla Pulliainen, Jussi Konttila & Aki Heinonen	
JÄTEVESILIETTEEN HYÖTYKÄYTTÖ BIOKAASUN RAAKA-AINEENA .....	60
Salla Pulliainen & Jussi Konttila	
JÄTEVESILIETTEEN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET.....	65
Salla Pulliainen & Jussi Konttila	

# KIERTOVIRRAT – JALOSTETUT JÄTEVEDET JA LIETTEET BIO- JA KIERTOTALOUDEN RAAKA-AINEVIRROIKSI -HANKE

Salla Pulliainen, Hanne Soininen & Mari Kallioinen-Mänttari

Kiertovirrat – Jalostetut jätevedet ja lietteet bio- ja kiertotalouden raaka-ainevirroiksi -hankkeessa (A74843) kehitettiin jätevesien käsittelyä ja prosessissa muodostuvien sivuainevirtojen kytkemistä osaksi bio- ja kiertotaloutta. Tavoitteena oli kehittää lietteen sisältämien ravinteiden talteenottoa sekä testata erilaisia vaihtoehtoisia tekniikoita lietteen hyödyntämiseksi ja sen laatuominaisuuksien tuntemiseksi. Eri menetelmillä käsiteltyjen lietteiden ominaisuuksien tunteminen ja lietteen jäljitettävyyden kehittäminen parantavat materiaalien hyötykäyttövaihtoehtoja. Lietteitä koskevan ympäristölainsäädännön tiukentuminen, bio- ja energiatalouden kehittymiseen kohdennetut vaatimukset sekä tarve kierrätyspohjaisille lannoitteille lisäävät kiinnostusta yhdyskuntajätevesilietteen hyötykäyttöasteen nostamiseen. Hankkeessa etsittiin ratkaisuja, jotka eivät perustuneet kemialliseen saostamiseen tai polymeerien lisäämiseen.

## TAVOITTEINA JÄTEVEDEN KÄSITTELYN TEHOSTAMINEN JA LIETTEIDEN HYÖTYKÄYTÖN EDISTÄMINEN

Hankkeen tavoitteena oli tehostaa yhdyskuntajätevesien ja niistä syntyvien lietteiden käsittelyä sekä testata erilaisia lietteiden hyötykäyttövaihtoehtoja. Tavoitteena oli kerätä uutta tietoa jätevesien ja jätevesilietteiden käsittelymenetelmistä ja niiden vaikutuksista lietteen käyttökelpoisuuteen. Lisäksi tavoitteena oli kehittää lietteen jäljitettävyyttä sekä luoda uusia toimintamalleja ja -tapoja lietteen hyödynnettävyyden lisäämiseksi ja yritysten liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi. Hankkeen toimenpiteiden tavoitteena oli siten kehittää jäteveden ja jätevesilietteiden käsittelyä kestävämpään suuntaan ja muuttaa jätteeksi luokiteltu sivuvirta arvokkaaksi raaka-aineeksi.

## HANKKEEN TOIMENPITEET

Hankkeen toimenpiteissä kehitettiin innovatiivisia ja kemikaalivapaita jätevedenpuhdistus- ja jälkikäsittelytekniikoita. Hankkeen ensimmäinen osio koostui LUT-yliopiston toimenpiteistä, joissa keskityttiin kehittämään tapoja tehostaa nykyistä jätevedenpuhdistusprosessia

ilman kemikaalilisäystä. Hankkeen toisessa osiossa Xamkissa tutkittiin puhdistuksessa syntyvien lietteiden uusia hyödyntämismenetelmiä ja niiden teknistä toteutettavuutta. Tutkittavina menetelminä olivat muun muassa kuivatun lietteen käyttö energiana ja kompostin raaka-aineena. Hankkeen kolmas osio koostui tulosten jalkauttamisesta ja raportoinnista. Hankkeen toimenpiteet on esitetty työpaketeittain kuvassa 1.

1) Ravinteiden poistaminen jätevedestä MBR-tekniikan avulla  
– ravinteiden talteenoton tehostaminen (LUT-yliopisto).

2) Lietevirroista uusia tuoteaihoita kiertotalouteen (Xamk)

3) Tulosten jalkauttaminen ja raportointi (Xamk ja LUT-yliopisto)

**KUVA 1.** Kiertovirrat-hanke kehitti uusia tuoteaihoita (kuva Salla Pulliainen).

## UUSI TIETO TUKEE JÄTEVESILIETTEEN HYÖTYKÄYTTÖÄ

Hankkeen tuloksena saavutettiin uutta tietoa jätevesilietepohjaisten tuotteiden käsittelyvaihtoehtoista. Toimenpiteiden tuloksena tuotettiin tietoa erilaisten lietejakeiden käsittelymenetelmien teknisestä toimivuudesta sekä käsittelyiden vaikutuksesta niiden seurauksena muodostuviin lopputuotteisiin. Hankkeen tulokset tukevat jätevesilietepohjaisten kierrätyslannoitteiden kehittämistä ja käyttöönottoa sekä liiketoimintamahdollisuuksien lisäämistä alalla. Hankkeen lopputulokset ovat hyödynnettävissä muun muassa jäteveden puhdistuksen, ravinteiden talteenoton ja lietteiden jatkojalostuksen ja -hyödyntämisen parissa toimivissa yrityksissä. Tehostamalla jätevedenpuhdistusprosessin puhdistustehokkuutta saadaan vähennettyä vesistöihin kohdistuvaa kuormitusta sekä mahdollistetaan ravinteiden suljettu kierto ja lietteiden jatkokäyttö kiertotalouden mukaisesti. Tämän julkaisun artikkelit koostuvat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa toteutettujen toimenpiteiden tuloksista. LUT-yliopiston tulokset julkaistaan tieteellisissä julkaisuissa.



# LAINSÄÄDÄNTÖ LIETTEEN HYÖTYKÄYTTÖÄ OHJAAMASSA

Salla Pulliainen & Jussi Konttila

Yhdyskuntien jätevesilietteiden määrän kasvu ja ympäristölainsäädännön tiukentuminen luovat tarpeen lietteiden ja niiden sisältämien raaka-aineiden tehokkaammalle hyötykäytölle. Jätteen hyödyntämisen perustana on jätehierarkia, jonka mukaan sivuvirrat, kuten jätevesiliete, tulee hyödyntää arvokkaana materiaalina. Jätevesilietteistä tulisi ottaa talteen niiden sisältämät ravinteet ja energia, kuten fosfori ja typpi. Sen sijaan lietteeseen kertyneet haitta-aineet, kuten raskasmetallit ja mikromuovit, tulisi poistaa kierrosta. Yhdyskuntajätevesiliete sisältää lisäksi kemikaali- ja lääkeainejäämiä yhä enenevissä määrin. Uudet jätevedenpuhdistustekniikat keräävät jäämät tehokkaammin talteen, jolloin ratkaistavaksi jää jäämien poisto lietteestä.

Jätevesien hyötykäyttöä ja loppusijoitusta ohjataan lainsäädännössä usein eri asetuksin. Sovellettava lainsäädäntö riippuu lietteen käyttökohteesta, sillä eri käyttötarkoituksissa lietteen ominaisuuksille on asetettu erilaisia vaatimuksia. EU:n direktiiveillä, Suomen lainsäädännöllä ja niiden perusteella annetuilla asetuksilla pyritään edistämään resurssien tehokasta käyttöä sekä toisaalta suojaamaan ympäristöä ja ihmisiä.

## EUROOPPA-OIKEUDELLINEN LAINSÄÄDÄNTÖ

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivillä 2008/98/EY jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta säädetään yleisperiaatteet ja lainsäädännölliset toimenpiteet koskien jätteiden käsittelyä yhteisöissä. Direktiivissä jätteellä tarkoitetaan mitä tahansa ainetta tai esinettä, jonka haltija poistaa tai aikoo poistaa käytöstä tai on velvollinen poistamaan käytöstä. Koska jätevesien puhdistusprosessin ensisijaisena tavoitteena ei ole tuottaa lietettä, määritellään jätevesiliete jätevesidirektiivin 5 artiklan mukaisesti myös sivutuotteeksi. Direktiivillä pyritään ympäristön ja ihmisten terveyden suojelemiseen ehkäisemällä tai vähentämällä jätteen syntyä ja jätehuollon aiheuttamia haittavaikutuksia.

EU:n alueella on voimassa tuottajavastuu, jonka mukaan vastuu jätehuollosta on jätteen alkuperäisellä tuottajalla tai muulla haltijalla, joka huolehtii jätehierarkian toteuttamisesta. Jätteen tuottaja voi myös antaa jätteenkäsittelyn ulkopuolisen toimijan tehtäväksi jätedirektiivin ehtojen mukaisesti. Yleensä vastuu jätteen hyödyntämis- tai loppukäsittelytoimien suorittamisesta kuitenkin säilyy jätteen tuottajalla.

Puhdistamolietteen käyttöä maatalouden lannoitteena säätelee Euroopan neuvoston direktiivi 86/278/ETY. Tavoitteena on ehkäistä lietteen mahdollisia haitallisia vaikutuksia maaperään, kasvillisuuteen, eläimiin ja ihmisiin. Lietteellä voi kuitenkin olla maanviljelyksen kannalta arvokkaita ominaisuuksia, joten direktiivillä edistetään samalla puhdistamolietteen asianmukaista käyttöä. Direktiivissä säädetään muun muassa lietteen ominaisuuksista, kuten sen sisältämistä ravintoaine- ja raskasmetallipitoisuuksista, lietteen sallituista levitysmääristä ja ajankohdista, sekä annettujen säädösten valvonnasta.

Jätevesilietteen käyttöä maataloudessa ohjailee lietedirektiivin (86/278/ETY) lisäksi Euroopan neuvoston direktiivi vesien suojelemisesta maataloudesta peräisin olevien nitraattien aiheuttamalta pilaantumiselta (91/676/ETY) eli niin sanottu nitraattidirektiivi. Direktiivi koskee kaikkia tyyppä sisältäviä aineita, joita levitetään maahan kasvillisuuden edistämiseksi, ja sen tavoitteena on vähentää maataloudesta peräisin olevien nitraattien suoraan tai välillisesti aiheuttamaa vesien pilaantumista.

## KANSALLINEN LAINSÄÄDÄNTÖ

Jätelain (646/2011) tarkoituksena on ehkäistä ja vähentää jätteistä ja jätehuollosta terveydelle ja ympäristölle aiheutuvaa vaaraa ja haitallisuutta sekä vähentää jätteen määrää. Lisäksi laki edistää luonnonvarojen kestävästä käytöstä ja varmistaa toimivan jätehuollon. Jätelaki määrittelee prosessien sivuvirtana syntyvän materiaalin jätteen sijaan sivutuotteeksi. Määritelmä toteutuu, mikäli aineen jatkokäytöstä on varmuus, sitä voidaan käyttää sellaisenaan tai jalostettuna, ainetta syntyy tuotantoprosessin olennaisena osana ja aineen suunniteltu käyttö täyttää sille asetetut ympäristöterveydensuojelulliset vaatimukset. Ainetta ei enää määritellä jätteeksi, mikäli se on läpikäynyt hyödyntämistoimen, sillä on käyttötarkoitus ja markkinat tai kysyntää, se täyttää käyttötarkoituksensa vaatimukset eikä sen käyttö aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle ja ympäristölle.

Valtioneuvoston asetuksen (179/2012) 12 §:n mukaan toiminnanharjoittajan, joka ammattimaisesti tai laitospäisesti käsittelee jätettä, on järjestettävä jätteen valmistelu uudelleenkäyttöön, kierrätys tai muu hyödyntäminen siten, että käsiteltävästä jätteestä mahdollisimman pieni osa päättyy loppukäsiteltäväksi. Asetuksessa määritellään lisäksi toiminnanharjoittajan velvollisuudet jätevesilietteen laadunseurantaa koskien. Lietteestä tulee määrittää luotettavassa laboratorioissa standardien mukaisesti vähintään kokonaistypen (NTOT), kokonaisfosforin (PTOT), kadmiumin, kromin, kuparin, nikkelin, lyijyn, sinkin ja elohopean pitoisuudet. Näytteiden on vastattava ominaisuuksiltaan puhdistamolta hyödynnettäväksi tai loppukäsiteltäväksi toimitettavaa lietettä, ja laatu on varmistettava vähintään joka toinen vuosi. Mikäli lietettä toimitetaan maanviljelykseen, on laadunmääritys tehtävä aluksi useammin. (Valtioneuvoston asetus jätteistä 179/2012, liite 5)

## LANNOITEVALMISTELAKI JA -ASETUS

Vuonna 2006 voimaan tulleessa lannoitevalmistelaissa (539/2006) säädetään kasvintuotannon sekä elintarvikkeiden ja ympäristön laadun turvaamiseksi käytettävien lannoitevalmisteiden ja sellaisiksi soveltuvien sivutuotteiden vaadittavista ominaisuuksista. Lannoitevalmistelain (539/2006) mukaan lannoitevalmisteen tulee olla tasalaatuinen, turvallinen ja käyttötarkoituksensa sopiva. Valmiste ei saa sisältää sellaisia määriä haitallisia aineita, tuotteita tai eliöitä, että sen ohjeen mukaisesta käytöstä aiheutuisi vaaraa terveydelle tai ympäristölle.

Lannoitevalmisteen tulee kuulua kansalliseen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloon tai Euroopan yhteisön (EY) lannoitetyyppien luetteloon (Lannoitevalmistelaki 539/2006, 6 §). Kokonaan uuden tyyppinimen sisällyttämiseksi edellä mainittuihin luetteloihin tyyppinimeä tulee hakea Elintarviketurvallisuusvirasto Eviralta erikseen annettujen ohjeiden mukaisesti (Lannoitevalmistelaki 539/2006, 7 §). Lannoitevalmisteen merkinnöistä tulee käydä ilmi tuoteseloste, ja valmiste tulee säilyttää ja kuljettaa asianmukaisesti tuotteen ominaisuudet ja turvallisuus huomioon ottaen. (Lannoitevalmistelaki 539/2006, 8 §). Lisäksi laissa säädetään tilapäisrajoituksista sekä toiminnanharjoittajan muista velvollisuuksista, kuten ilmoitusvelvollisuudesta ja omavalvonnasta.

Lannoitevalmistelain (539/2006) nojalla säädetty Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista (24/11) tarkentaa lannoitevalmistelaissa säädettyjä lannoitevalmisteita koskevia vaatimuksia. Asetus määrittelee lannoitevalmisteiden sisältämät enimmäismäärät kadmiumille, arseenille ja seleenille. Asetuksessa on huomioitu lannoitevalmisteiden erilaiset vaatimukset käyttökohteen mukaan, jolloin maa- ja puutarhataloudessa sekä viherrakentamisessa ja maisemoinnissa käytettävän lannoitevalmisteen vaatimukset ovat erilaiset metsälannoitteena käytettävään lannoitevalmisteeseen verrattuna. Lannoitevalmisteiden sisältämille haitallisille aineille, eliöille ja epäpuhtauksille on asetettu enimmäispitoisuudet, jotka koskevat kaikkia lannoitevalmisteita, ellei muuta ole mainittu.

Lannoitevalmistelaista on tätä julkaisua kirjoitettaessa valmisteilla kokonaisuudistus, jonka tavoitteena on saada heinäkuussa 2022 voimaan uusi kansallinen lannoitelaki. Lakiuudistuksen myötä arvioidaan esimerkiksi tyyppinimiluettelosta ja kansallisesta laitoshyväksyntämenettelystä luopumista, mutta myös menettelytapoja, joilla voitaisiin luopua jättepohjaisten lannoitevalmisteiden jätteeksi päättämisestä. Jätteeksi päättämisestä loppuminen vahvistaisi jättepohjaisten lannoitteiden innovaatiota ja helpottaisi niiden markkinoille pääsyä. (Maa- ja metsätalousministeriö s.a.)

## LIETTEEN KAATOPAIKKAKELPOISUUS JA LOPPUSIJOITUS

Jätelain (646/2011) ja ympäristönsuojelulain (86/2000) nojalla on säädetty valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (331/2013). Asetuksen tarkoituksena on pintaveden, pohjaveden, maaperän ja ilman pilaantumisen ehkäiseminen kaatopaikkoja koskevan ja niille sijoitettavan jätteen säätelyn avulla. Kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle tulee suorittaa kaatopaikkakelpoisuuden arviointimenettely ennen jätteen kaatopaikkasijoitusta. Asetuksessa jätevedenpuhdistamossa syntyvä liete määritellään biohajoavaksi jätteeksi. Biohajoavan ja muun orgaanisen jätteen sijoittamista tavanomaisen jätteen kaatopaikalle rajoitetaan, ja tavoitteena on kohdentaa biomassat ensisijaisesti raaka-aineena hyödynnettäväksi ja toissijaisesti energiana hyödynnettäväksi.

Lannoitteen tai lannoitevalmisteen markkinoille saattajan eli myyjän tai luovuttajan on ilmoitettava Ruokaviraston lannoitejaoston ylläpitämään valvontarekisteriin. Toimijan on suoritettava rekisteröitymisen jälkeen kirjapitoa ja omavalvontaa, tehtävä vuosittaiset ilmoitukset sekä haettava mahdollinen laitoshyväksyntä ja tehtävä omavalvontaraportti. (Ruokavirasto 2019)

Käsittämätöntä yhdyskuntajätevesilietettä ei voi loppusijoittaa. Loppusijoitusta varten liete täytyy muuntaa turvalliseen muotoon erilaisten esikäsittelyjen, kuten stabiloinnin tai kuivauksen, avulla. Esikäsittelymenetelmien tarkoituksena on poistaa lietteestä sen sisältämät haitta-aineet, vähentää lietteen määrää sekä hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti lietteen sisältämät ravinteet. (Hakala 2015) EU:n jäsenmaissa lietteen loppusijoitusvaihtoehtoina lietettä voidaan käyttää maanparannusaineena viherrakentamisessa, tyyppihyväksyttyinä lannoitteena maataloudessa sekä esimerkiksi biokaasun raaka-aineena. Vuonna 2016 voimaan tulleen orgaanisten jätteiden kaatopaikkakiellon mukaan jätevesilietettä ei voi loppusijoittaa kaatopaikalle (Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013).

## LÄHTEET

Euroopan neuvoston direktiivi (ETY) 1991/676.

Euroopan neuvoston direktiivi (ETY) 1986/278.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EY) 2008/98.

Hakala, S. 2015. Yhdyskuntajätevesilietteiden käsittelyn tilanne EU-maissa. Kandidaattintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Saatavissa: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/113051/Kandidaattintyo\\_sini\\_hakala.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/113051/Kandidaattintyo_sini_hakala.pdf?sequence=4&isAllowed=y). [viitattu 29.11.2021]

Jätelaki 17.6.2011/646.

Lannoitevalmistelaki 29.6.2006/539.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 1.9.2011/24.

Maa- ja metsätalousministeriö. S.a. Lannoitelaki. Lannoitevalmistelain kokonaisuudistus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mmm.fi/hanke2?tunnus=MMM072:00/2020> [viitattu 31.11.2021]

Valtioneuvoston asetus jätteistä 19.4.2012/179.

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 2.5.2013/331.

# HIILLETYN JÄTEVESILIETTEEN EKOTOKSISUUS

Salla Pulliainen & Jussi Konttila

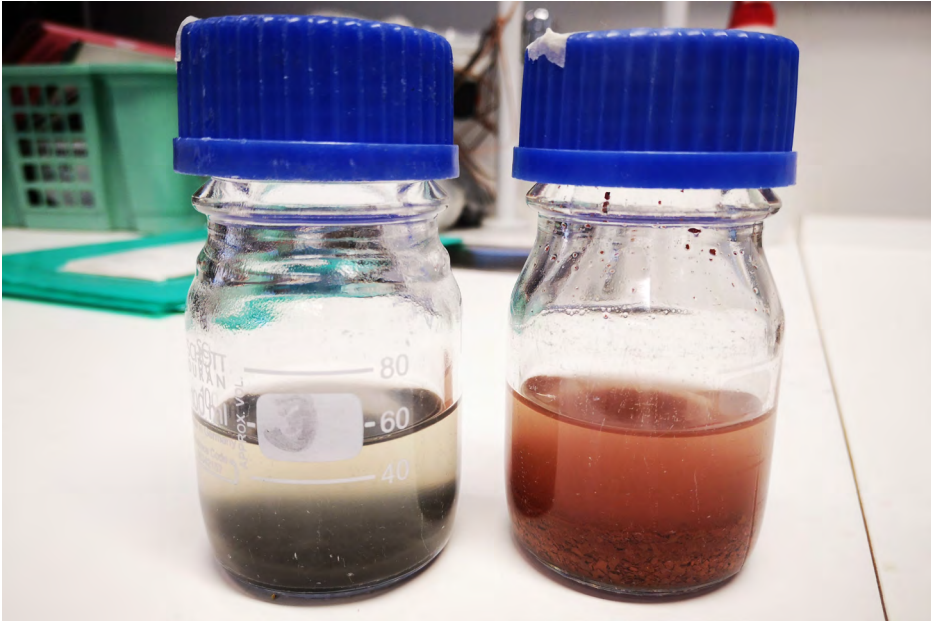
Kiertovirrat-hankkeessa selvityksen kohteena olivat muun muassa yhdyskuntajätevesilietteen jalostaminen lietehiileksi ja sen käyttö maanparannusaineena. Lietteen ekotoksisuustesteillä saatiin tietoa lietteen mahdollisista toksisista maaperävaikutuksista. Arvioitavina materiaaleina olivat sekä käsittelemättömän MBR-lietteen (MBR = Membrane bioreactor = kalvobioreaktori) että eri lämpötiloissa hiilletyn MBR-lietteen ekotoksisuudet.

Kineettisen valobakteeritestin periaate perustuu *Vibrio Fischeri* -bakteerin valontuotannon estovaikutukseen, jota mitataan kineettisesti seuraamalla sen valontuotantoa alusta lähtien (SFS-ISO 21338). *V. Fischeri* on Gram-negatiivinen, sauvanmuotoinen, ei-patogeeninen bakteeri, jota esiintyy kaikkialla trooppisessa ja lauhkeassa meriympäristössä. *V. Fischeri* -bakteeria esiintyy planktonisena organismina, ja se voi vallata muun muassa kalmarien ja kalojen valoa tuottavia elimiä, jolloin ne muodostavat valoa tuottavan symbioosin. (Abbas ym. 2018) Ominaisuuksiensa vuoksi *V. Fischeri* -bakteeri soveltuu hyvin ekotoksisuustestien indikaattoribakteeriksi.

## VIBRIO FISHERI -BAKTEERI LIETTEEN TOKSISUUDEN MÄÄRITYKSESSÄ

Kineettinen *Vibrio Fischeri* -toksisuustesti tehtiin standardin SFS 21338 sekä laitetoimitajan ohjeiden mukaisesti. Hiilletyn lietteen ekotoksisuustestejä varten haettiin tuore erä kalvobioreaktorilietettä Mikkelin Kenkäveronniemessä operoivan jätevedenpuhdistamon MBR-pilottilaitokselta. Ekotoksisuustesti suoritettiin käsittelemättömälle MBR-lietteelle näytteenottopäivänä. Lietteen pH-arvoksi säädettiin 7 ja näytteeseen lisättiin NaCl-jauhetta vastaamaan bakteerin elinympäristön normaalia 2 %:n suolapitoisuutta.

Hiilletyn lietteen ekotoksisuustestiä varten lietenäytteitä hiillettiin kolmessa eri lämpötilassa: 450 °C, 550 °C ja 650 °C. Ennen jokaista hiiltoa noin 3 500 ml lietettä kuivatiin uunissa 48 tunnin ajan 70 °C:n lämpötilassa lietteen sisältämän veden haihduttamiseksi. Hiiltoprosessin nostoaika oli 3 tuntia ja hiilto 3 tuntia. Hiiltämisen jälkeen jäähtyneet näytteet hienonnettiin ja säilöttiin odottamaan ekotoksisuustestiä. Jauhemainen hiilletty liete sekoitettiin ionivaihduun veteen 10 %:n massasuhteessa. Näytteiden pH säädettiin välille 6,0–8,5 ja näytteisiin lisättiin NaCl-jauhetta, jolloin niiden suolapitoisuudeksi tuli noin 2 %. (Kuva 1)



**KUVA 1.** Kineettinen valobakteeritesti suoritettiin käsittelemättömälle ja hiillelyille MBR-lietesuspensioille. (Kuva Jussi Konttila)

Bakteerisuspensio valmistettiin standardin SFS 21338 mukaisesti. Suspensio siirrettiin inkubaattoriin 15 °C:n lämpötilaan, jossa sen annettiin tasapainottua 1–2 tunnin ajan. Kontrollinäytteenä kokeissa käytettiin 2 %:n NaCl-liuosta. Ennen ekotoksisuustestejä kontrolliliuoksen pH säädettiin neutraaliksi. Tulosten luotettavuuden arvioimiseksi kokeissa tuli testata myös referenssiyhdisteitä. Referenssiyhdisteinä käytettiin 3,5 dikloorifenolia, sinkkisulfaattiheptahydraattia ja kaliumdikromaattia. Referenssiaineiden inhibitioprosentit ovat 20–80 %. Referenssiyhdisteiden pH-arvoa ei mitattu tai säädetty. (Taulukko 1)

**TAULUKKO 1.** Referenssiyhdisteet, niiden pitoisuudet ja inhibitio (SFS-ISO 21338).

Yhdiste	Pitoisuus (mg/litra)	Kaava	Inhibitio (%)
<b>3,5 dikloorifenoli</b>	6,8	$C_6H_4OCl_2$	72,0 %
<b>sinkkisulfaatti-heptahydraatti</b>	19,34	$ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$	28,2 %
<b>kaliumdikromaatti</b>	105,8	$K_2CrO_7$	32,2 %

## LAIMENNOSSARJAN VALMISTUS JA MITTAUS

Mittausta varten kyvetteihin pipetoitiin kontrolliliuosta, referenssiyhdistettä ja laimennossarja näytesuspensiosta taulukon 2 ohjeen mukaisesti. Laimennossarja tehtiin kahtena rinnakkaisena. Laimennossarjan annettiin tasapainottua inkubaattorissa 20–30 minuuttia ennen mittausten aloitusta.

**TAULUKKO 2.** Laimennossarjan valmistusohje.

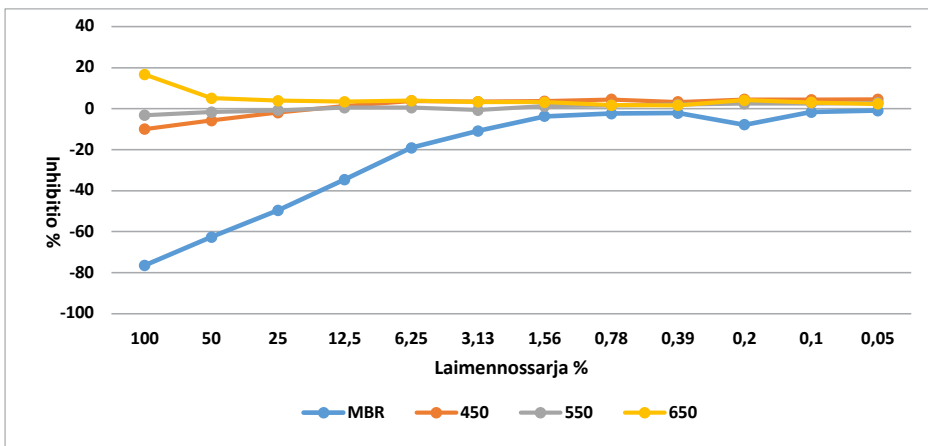
Liuos/kyvetti	Pitoisuus	2 % NaCl	Näyte
0	0 % (kontrolli)	200 µl	-
1	100 %		200 µl laimentamaton näyte
2	50 %	200 µl	200 µl laimentamaton näyte
3	25 %	200 µl	200 µl kyvetistä 2
4	12,5 %	200 µl	200 µl kyvetistä 3
5	6,25 %	200 µl	200 µl kyvetistä 4
6	3,13 %	200 µl	200 µl kyvetistä 5
7	1,6 %	200 µl	200 µl kyvetistä 6
8	0,8 %	200 µl	200 µl kyvetistä 7
9	0,4 %	200 µl	200 µl kyvetistä 8
10	0,2 %	200 µl	200 µl kyvetistä 9
11	0,1 %	200 µl	200 µl kyvetistä 10
12	0,05 %	200 µl	200 µl kyvetistä 11, 200 µl näytettä pois
<b>Referenssi</b>			200 µl referenssiyhdistettä

Näytteet mitattiin luminometrillä (Berthold Sirius 2) taulukon 2 mukaisessa järjestyksessä. Luminometri injektoi 200 µl bakteerisuspensiota kyvetteihin mittaamalla samanaikaisesti valontuotantoa 5 sekunnin ajan. Mittauksen aikana valontuotanto saavuttaa huippuarvonsa ja lähtee laskuun näytteen toksisuudesta riippuen. Alkutilannemittauksen jälkeen kyvetit laitettiin takaisin inkubaattoriin, ja 30 minuutin kontaktiajan jälkeen näytteet sekoitettiin ja mitattiin uudelleen luminometrillä. Lopuksi mittaustuloksia tulkittiin havainnollistamalla näytteen vaikutusta bakteerin valontuotantoon kontaktiajassa.



## VALONESTOA EI HAVAITTAVISSA

Kineettisen valobakteeritestin perusteella yksikään näyte laimennossarjoineen ei ollut toksinen. Käsittelemättömän MBR-lietteen estovaikutus bakteerin valontuotantoon oli vähäisintä. Vahvimmassa suspensiossa induktiota oli -76,4 %, josta se laski laimennossarjan myötä -0,9 %:iin. 450 °C:ssa ja 550 °C:ssa hiillettyissä näytteissä vahvimmissa suspensioissa oli havaittavissa lievää induktiota bakteerin valontuotannossa, -10 % ja -3,2 %. Laimennosten myötä induktio kuitenkin hävisi pois ja inhibitio nousi korkeintaan 5 %:iin molemmissa näyttesarjoissa. 650 °C:n lämpötilassa hiillettyssä näytteessä inhibitio oli enimmillään 16,6 % vahvimmassa suspensiossa, mutta laimennossarjan myötä inhibitio laski < 5 %:iin.



**KUVA 2.** Kineettisen valobakteeritestin (V. Fischeri) tulokset. Positiiviset arvot kertovat inhibitiosta ja negatiiviset induktiosta.

Hiilletyn näytteen ja puhtaan veden kontaktiajalla ei ollut vaikutusta tulokseen. Kapanen (2012) toteaa, että yön yli uuttaminen ei lisännyt toksista vastetta, mutta aktivoi bakteerin valontuotantoa näyttemateriaaleina olevissa kompostinäytteissä. MBR-lietteen induktiolla voivat olla syynä muun muassa jokin näytteessä oleva aine, jota bakteeri voi käyttää ravintonaan, tai jokin sub-toksinen aine, joka kiihdyttää bakteerin aineenvaihduntaa. Kompostinäytteiden induktiolla syynä voivat olla näytteen korkea ravinnepitoisuus tai orgaaninen hiili, joka aktivoi bakteerit (Kapanen 2012). Ahkola ym. (2021) tutkivat puhdistamolietteen toksisuutta *Vibrio Fischeri* -valobakteeritestin avulla ja huomasivat, että lietteen toksinen vaikutus häviää kompostointikäsitellyn jälkeen.

## KINEETTINEN VALOKAKTEERITESTI EKOTOKSISUUDEN KUVAAJANA

Kineettisen valobakteeritestin perusteella yksikään näyte ei ollut toksinen. Testillä saadut tulokset ovat suuntaa antavia ja kertovat vain *V. Fischeri* -bakteerin reagoinnin tutkittavan aineen kanssa. Luminesoivat bakteerit ovat laajasti käytettyjä määrittäessä eri ympäristönäytteiden sekä kemikaalien akuuttia toksisuutta (Kapanen 2012, Ahkola ym. 2021). Kineettinen valobakteeritesti yhdessä muiden toksisuustestien kanssa antaisi luotettavamman kuvan aineen myrkyllisyydestä. Muita myrkyllisyydestejä ovat muun muassa vesikirpuilla (*Daphnia magna*) tehtävä testi, jossa vesikirppuja altistetaan myrkylliselle aineelle 24 ja 48 tuntia (SFS 6341). Erilaiset kasvunestotestit soveltuvat myös myrkyllisyyden testaamiseen, ja tällainen on esimerkiksi yksisoluisen viherlevän (*Lemna minor*) kasvunestotesti (SFS 8692).

## LÄHTEET

Abbas, M., Adil, M., Ehtisham-ul-Haque, S., Munir, B., Yameen, M., Ghaffar, A., Abbas Shar, G., Asif Tahir, M., Iqbal N. 2018. *Vibrio fischeri* bioluminescence inhibition assay for ecotoxicity assessment: A review. *Science of The Total Environment* 626. s. 1295–1309

Ahkola, H., Lindholm-Lehto, P., Perkola, N., Väitalo, P., Meriläinen, P., Mäenpää, K., Stelzer, J.A.A., Heiskanen, I., Järvistö, J., Nuutinen, J., Leppänen, M.T. 2021. A preliminary study on the ecotoxic potency of wastewater treatment plant sludge combining passive sampling and bioassays. *Science of The Total Environment* 758. 143700

Kapanen, A. 2012. Ecotoxicity assessment of biodegradable plastics and sewage sludge in compost and in soil. VTT Science 9. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37273/ecotoxic.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 14.8.2021]

SFS-EN ISO 20079. 2006. Water quality. Determination of the toxic effect of water constituents and waste water to duckweed (*Lemna minor*). Duckweed growth inhibition test

SFS-ISO 21338. 2010. Veden laatu. Kineettinen määrittäminen sedimentin, muiden kiinteiden aineiden ja värikköiden näytteiden estovaikutuksesta *Vibrio fischeri* valontuotantoon (Kineettinen valobakteeritesti)

SFS-EN ISO 6341. 2012. Water quality. Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea)

# JÄTEVESILIETTEEN ESIPOLTTOKOKOET XAMKIN LABORATORIOSSA

Salla Pulliainen, Jussi Konttila & Jaakko Kunttonen

Kiertovirrat-hankkeessa toteutettiin jätevesilietteen kuivaus- ja polttokokeet yhteistyössä yritysten kanssa. Kokeiden tavoitteena oli monitoroida polton päästöjä ja arvioida poltossa syntyvän tuhkan kemiallista koostumusta ja sen soveltuvuutta esimerkiksi lannoitekäyttöön. Kokeet aloitettiin kuivatun lietteen koepoltolla, mutta poltossa ilmenneiden haasteiden vuoksi kuivattua lietettä päätettiin polttaa seospolttona puupellettien rinnalla. Ennen pilot-mittakaavan kokeita kuivatun jätevesilietteen koepolttoa testattiin laboratoriomittakaavassa 20 kW:n polttokattilalla.

## KOEJÄRJESTELYT

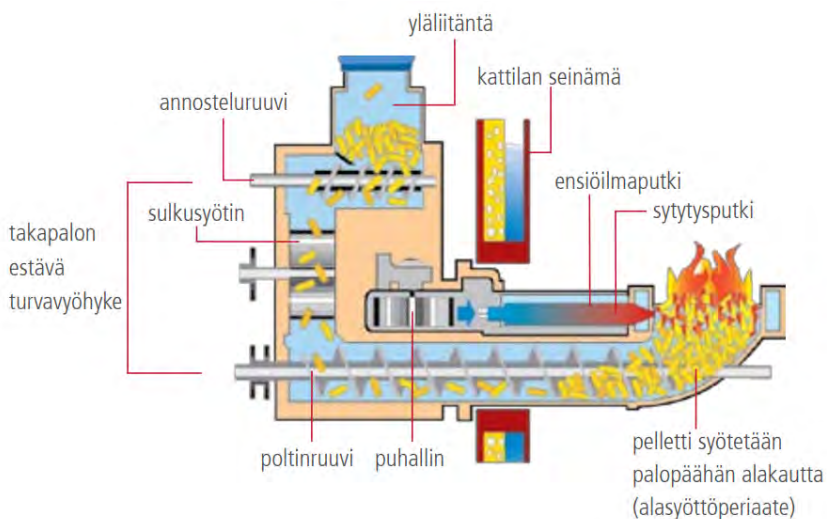
Polttokokeissa käytettiin polttoaineena Nanopar Oy:n Paskier-prosessilla kuivattua jätevesilietettä. Paskier-prosessi on kunnallisille ja teollisille jätevesilieteteille sovellettu kuivausteknologia, jossa liete kuivataan infrapunakuivauksella. Nanopar Oy:n patentoima menetelmä on kompakti, tilavaatimuksiltaan merikonttiin asennettavissa oleva laitteisto, jolloin se voidaan kuljettaa suoraan jätevedenpuhdistamolle lietteenkuljetuskustannusten minimoimiseksi. (Nanopar 2021) Polttokokeissa käytettiin Nanopar Oy:llä kuivattua jätevesilietettä, joka oli peräisin Mikkelistä Kenkäveron jätevedenpuhdistamolta (kuva 1). Polton tukiaineena toisessa koepoltossa käytettiin Vapon puupellettiä. Koemateriaaleista määritettiin niiden kuiva-ainepitoisuudet ja lämpöarvot standardien SFS 3008 ja SFS 15400 mukaisesti. Polttokokeet suoritettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun energiatekniikan laboratoriossa 20 kW:n polttokattilalla.



**KUVA 1.** Kuivattua ja granuloitua jätevesilietettä (kuva Jussi Konttila).

## POLTON ESIKOKKEET

Ensimmäinen koepoltto toteutettiin käyttämällä polttoaineena Nanoparilta saatua kuivattua lietettä. Toinen koepoltto toteutettiin käyttämällä polttoaineseosta, jonka massa koostui Vapon puupelleteistä (80 %) ja Nanopar Oy:llä kuivatusta lietteestä (20 %). Kuivattua jätevesilietettä koepoltettiin Xamkin energiategniikan laboratoriossa käyttämällä koepolttokattilana Ariterm Biomatic+ 20 kW:n kattilaa. Poltin koostui annosteluruuvista, johon polttoaine syötetään ja josta se annostellaan sulkusyöttimen kautta poltinruuville. Poltinruuvi kuljettaa polttoaineen palopäähän polttokuppiin. Puhallin puhalttaa ilmaa ensiöilma- ja sytytysputkea pitkin polttokuppiin, jonka säädöllä polttoprosessia voidaan hallita. (Kuva 2)



**KUVA 2.** Biomatic+ 20 -polttokattilan havainnekuva (Ariterm 2008).

Ensimmäisessä koepoltossa polttoaineena käytettiin Nanopar Oy:llä kuivattua lietettä. Lietettä syötettiin polttokattilan annosteluruuville lyhyttä syöttöputkea pitkin, jolloin pystyttiin havainnoimaan lietteen eteneminen putkessa polttoprosessin aikana (kuva 3). Kattilan käynnistys jouduttiin aloittamaan toistuvasti alusta kuivatun lietteen aiheuttamien tukosten vuoksi. Automaattiseen käynnistykseen kuuluvan polton tasausvaiheen jälkeen polttoaine ei syttynyt tulipesässä, vaan aiheutti kattilaan häiriötilan. Häiriötilan todettiin aiheutuvan siitä, että palopää tukkeutui palamattomasta aineksesta (kuva 4).



**KUVA 3.** Lietteiden syöttö annosteluruuviin (kuva Salla Pulliainen).



**KUVA 4.** Hiiltynyttä lietettä polttimen polttokupissa (kuva Jussi Konttila).

Koe toistettiin tyhjentämällä polttokuppi ja käynnistämällä kattila käsikäyttöisesti kattilan toimintoja säääten. Kun polttoaine oli saatu syttymään, siirryttiin takaisin automaattiseen polttoon. Kattilan antaessa virheilmoituksen prosessi sammutettiin, minkä jälkeen voitiin todeta palopään olevan jälleen tukossa. Ongelmaksi muodostui lietteen palamattomuus: poltinruuvi työnsi palopäähän polttoainetta, joka palamattomana tukahdutti alkaneen palon polttokupissa (kuva 5).



**KUVA 5.** Sintraantunutta ja palamatonta lietettä (kuva Salla Pulliainen).

Toisessa koepoltossa polttoaineena käytettiin puupellettien ja kuivatun lietteen seosta, jossa lietettä oli 20 % polttoaineen kokonaismassasta (kuva 6). Koejärjestelyt olivat muutoin samat kuin ensimmäisessä polttokokeessa. Polttoaineen syöttöä valvottiin tukkeutumisen ja muiden mahdollisten häiriötilojen ehkäisemiseksi.



**KUVA 6.** Liete-puupellettiseos (kuva Salla Pulliainen).

Polttoprosessi käynnistettiin ja palopäässä näkyvästä liekistä päätellen polttoaineen arvioitiin syttyvän tehokkaammin kuin aiemmassa poltossa käytetyn, pelkän lietteestä koostuvan polttoaineen. Noin kolmen tunnin kuluttua polton alkamisesta tulipesän palo alkoi tukahtua eikä polttoprosessia enää saatu täydelle teholle. Polttoprosessi päätettiin keskeyttää palopään tilanteen tarkistamiseksi ja sen todettiin tukkeutuneen sintraantuneen polttoaineen vuoksi.

## **POLTOAINEIDEN OMINAISUUDET JA POLTTOTULOS**

Lietteelle ilmoitettu kosteuspitoisuus oli 15 % ja mitattu kosteus 13,4 %. Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa oli 12,05 MJ/kg ja saapumistilassa 9,87 MJ/kg. Granuloidun lietteen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on kirjallisuuden perusteella 12,07 MJ/kg (Miettinen 2018). Puupelletille valmistajan tuotteen tuoteselosteessa ilmoitettu kosteuspitoisuus oli 10 % ja mitattu kosteuspitoisuus 6,7 %. Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa oli 19,2 % ja saapumistilassa 17,04 MJ/kg. Puupelletin tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on 16,80–17,22 MJ/kg (Motiva s.a; VTT 2016). Tulokset ovat koottuna taulukossa 1.



**TAULUKKO 1.** Koemateriaalien ilmoitettu ja mitattu kosteus sekä mitattu lämpöarvo ja kirjallisuusarvo.

Näyte	Kosteus saapumistilassa (%)	Analyysinäytteen kosteus (%)	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg)	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (kirjallisuusarvo) (MJ/kg)
Liete	15,00 %	13,40 %	12,05	9,87 (12,07*)
Puu-pelletti	10,00 %	6,70 %	19,20	17,04 (16,80–17,22**)

\* Granulaatti liete tulotilassa (Miettinen 2018)

\*\* (Motiva s.a; VTT 2016)

Xamkin laboratoriossa toteutetuissa polttokokeissa tuloksena oli polttimen palopään tukkeutuminen joko polttoaineen palamattomuuden tai sintraantumisen vuoksi (kuva 7). Käytetyn polttokattilan todettiin olevan teholtaan riittämätön saavuttamaan riittävä, palamiseen tarvittavaa lämpötilaa. Koska polttoprosessit jäivät vajaiksi, ei näissä kokeissa pystytty monitoroimaan polton päästöjä eikä tuhkaa muodostunut riittävästi sen analysointia varten.



**KUVA 7.** Sintraantunutta liete-puupellettiseosta polttokupissa (kuva Salla Pulliainen).

## YHTEENVETO

Jätevesilietteen polttokokeissa ei saavutettu vakaata polttoprosessia, jonka aikana olisi pystytty monitoroimaan polton päästöjä. Lisäksi polttoprosessin ollessa epätäydellinen ei tuhkaa muodostunut tarpeeksi tai se oli epäedustavaa sintraantumisen vuoksi. Tulosten perusteella voidaan todeta lietteen polton vaativan korkeamman lämpötilan ja siten tehokkaamman polttokattilan kuin mitä puupelletin poltto vaatii. Nykyisin käytössä olevilla, lietettä polttavilla laitoksilla lietteen polttolämpötila vaihtelee 760–950 °C (Ruuhela 2016, 27). Tehokkaamman kattilan lisäksi lietteen polttoa varten prosessin parametrejä, kuten puhallusilman määrää, tulisi säätää lietteelle sopivaksi ja palamisprosessia ylläpitäväksi. Tällöin riittävän suuri polttolämpötila ja muut poltto-olosuhteet estäisivät lietteen tuhkaa sintraantumasta ja takaisivat siten onnistuneen polttoprosessin. Näissä esikokeissa saatujen tulosten perusteella polttokokeita jatketaan käyttämällä tehokkaampaa, toisenlaisella arinalla varustettua polttokattilaa.

## LÄHTEET

Ariterm. 2008. Biomatic+ 20 ja 30 asennus- ja käyttöohje. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://ariterm.fi/wp-content/uploads/2021/01/Biomatic-20\\_30.pdf](https://ariterm.fi/wp-content/uploads/2021/01/Biomatic-20_30.pdf) [viitattu 18.11.2021]

Biopolttoaineiden lämpöarvoja. Motiva. S.a. Www-dokumentti. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/tietolahteita/biopolttoaineiden\\_lampoarvoja](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/biopolttoaineiden_lampoarvoja) [viitattu 21.1.2021]

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 1.9.2011/24.

Miettinen, H. 2018. Yhdyskuntalietteen kuivaus, -poltto-ominaisuudet ja -hyötykäyttö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan koulutusohjelma. Energiatekniikan kandidaatintyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158653/Kandidaatinty%C3%B6\\_Miettinen\\_Hanna.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158653/Kandidaatinty%C3%B6_Miettinen_Hanna.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 21.1.2021]

Nanopar. 2021 Paskier® Prosessi. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nanopar.fi/fi/paskier-prosessi/> [viitattu 29.11.2021]

Ruuhela, S. 2016. Puhdistamolietteen käsittelyn hankinnan laatukriteerien kehittäminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. PDF-tiedosto. Saatavissa: [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/136226/Raportteja\\_18\\_2017.pdf?sequence=10&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/136226/Raportteja_18_2017.pdf?sequence=10&isAllowed=y) [viitattu 25.1.2021]

SFS 3008. Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määritys.

SFS 15400. Kiinteät kierrätyspolttoaineet. Lämpöarvon määritys.

Teknologian tutkimuskeskus VTT. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Technology 258. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf> [viitattu 21.1.2021]

# JÄTEVESILIETTEEN POLTTOKOKEET – PÄÄSTÖJEN MONITOROINTI JA TUHKA-ANALYYSI

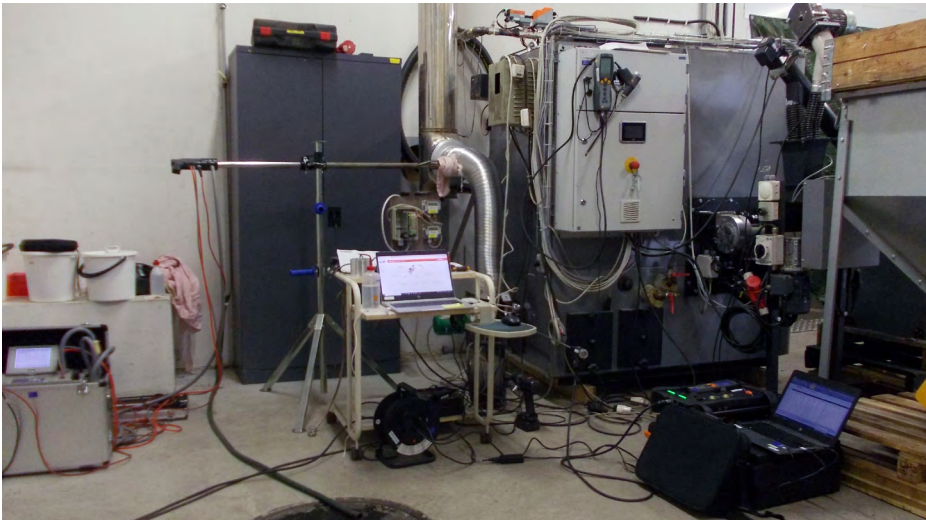
Salla Pulliainen, Jussi Konttila, Jaakko Kuntonen & Vesa Kalliokoski

Puhdistamolietteen pilot-mittakaavan polttokokeet suoritettiin Saarijärvellä Ariterm Oy:n koepolttolaitoksella. Ariterm Oy valmistaa lämmitysjärjestelmiä, kuten lämmön ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarkoitettuja keskuslämmityskattiloita, biopolttoainelaitteita sekä kokonaisjärjestelmiä niin kotitalouksille, maataloille kuin suurempiin asuin- ja teollisuuskiinteistöihin (Ariterm s.a.). Koemateriaalina kokeissa käytettiin puupellettiä ja liete-puupellettiseosta. Pilot-demonstraation tavoitteena oli arvioida lietteen polttamisessa syntyviä päästöjä.

## KOEJÄRJESTELYT PILOT-KOKEISSA

Kokeet suoritettiin kahdessa osassa Ariterm Oy:n laboratoriossa. Ensimmäisessä koepoltossa kontrollinäytteenä toimi puupelletti, jota polttamalla saatiin esiin lietteen vaikutus seosmateriaalin polttoon verrattuna. Toinen koepoltto toteutettiin käyttäen polttoaineena liete-puupellettiseosta, jossa lietteen osuus oli 20 % massasuhteena. Kokeissa käytetty kuivattu puhdistamoliete oli peräisin Nanopar Oy:ltä. Polttokattilana toimi Ariterm Oy:n BioComp 120, teholtaan 120 kW:n kattila, jossa on liikkuva arina. Päästömittausten aikana materiaalia poltettiin 60 kg, ja kattilan teho oli noin 60 kW.

Poltossa syntyneitä päästöjä monitoroitiin eri tarkoituksiin soveltuvilla laitteilla. Hiukkasmittaukset tehtiin Dr Födisch GMD 12 -laitteistolla ja savukaasujen typpi-, rikki- ja häkäpitoisuudet mitattiin Testo 350 -laitteistolla (kuva 1). Mittaustilan ilmankosteus ja lämpötila mitattiin Vaisala HM-40 -kosteusmittarilla.

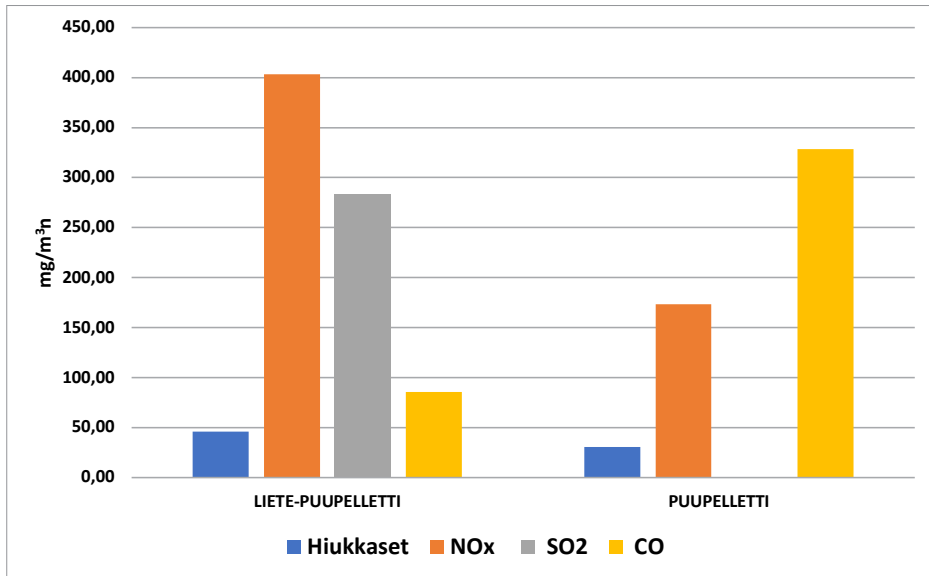


**KUVA 1.** Päästöjen monitorointilaitteisto: Dr Födisch GMD 12 (vas.), kvartsikuitusuodattin telineessä asennettuna savukaasujen poistoputkessa, tietokone kattilan tehojen mittaukseen ja Testo 350 -laitteisto. Kuvassa oikealla polttokattila, syöttöruuvi ja -kaualo polttoaineelle. (kuva Juha Vihavainen)

Dr Födisch GMD 12 -laitteisto on gravitometrinen hiukkasmittausanalysointilaitteisto, joka koostuu mittausyksiköstä, pumpusta ja sondista. Se mittaa savukaasun kosteuden, nopeuden, lämpötilan ja paineen, jotka rekisteröidään järjestelmään standardiolosuhteina hiukkasmittauksia varten. Laitteisto imee savukaasut kvartsikuitusuodattimelle, josta hiukkaset määritetään standardin SFS 13284-1 mukaisesti. Hiukkaspäästöt kontrollinäytteestä ja liete-puupellettierästä mitattiin kolmena rinnakkaisena ja yhdellä nollanäytteellä. Yhden näytteen mittausaika oli 30 minuuttia. Savukaasujen typpi- ja rikkipäästöt mitattiin Testo 350 -laitteistolla, joka mittaa muun muassa savukaasujen  $O_2$ -,  $CO$ -,  $CO_2$ -,  $NOx$ - ja  $SO_2$ -pitoisuuksia sähkökemiallisten sensorien avulla. Sensorien toiminta perustuu ioniselektiiviseen potentiometriaan (Testo).

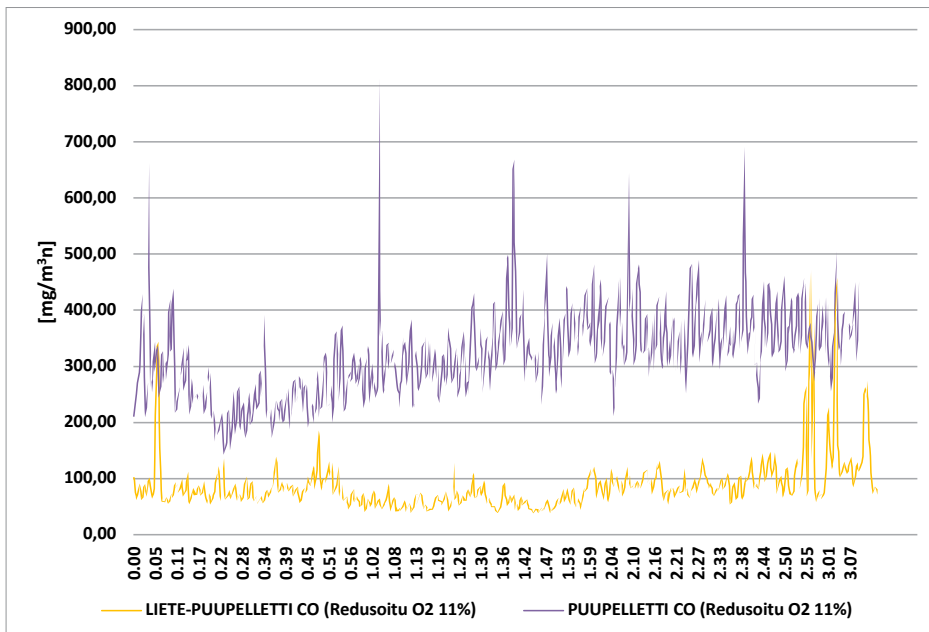
## LIETTEEN POLTON VAIKUTUS PÄÄSTÖIHIN

Kattilan tehot mittauspäivinä olivat lähes identtiset, 62 ja 64 kW, eli kattilan teho oli noin 50 % maksimitehosta. Hiukkaspäästöjä liete-puupellettiseoksella muodostui  $46,1 \text{ mg/m}^3\text{n}$  ja puupelletillä  $30,4 \text{ mg/m}^3\text{n}$ . Typpi- ( $NOx$ ) ja rikkioksidipäästöt ( $SO_2$ ) olivat liete-puupellettiseoksella korkeammat kuin puupelletillä. Typen oksidit liete/puupelletillä kokeen aikana olivat  $403,2 \text{ mg/m}^3\text{n}$  ja puupelletillä  $173,5 \text{ mg/m}^3\text{n}$ , rikkioksidit liete/puupelletillä  $283,2 \text{ mg/m}^3\text{n}$  ja puupelletillä  $0 \text{ mg/m}^3\text{n}$ . Hiilimonoksidipitoisuus ( $CO$ ) oli korkeampi puupelletillä ( $328,6 \text{ mg/m}^3\text{n}$ ) kuin liete-puupellettiseoksella ( $85,6 \text{ mg/m}^3\text{n}$ ). Savukaasujen keskilämpötilat mittauspisteessä olivat liete-puupelletillä  $124 \text{ }^\circ\text{C}$  ja puupelletillä  $116 \text{ }^\circ\text{C}$ . Kuvassa 2 on kuvattuna keskiarvot päästö- ja hiukkasmittauksista. Tulokset on redusoitu happipitoisuuteen 11 %.

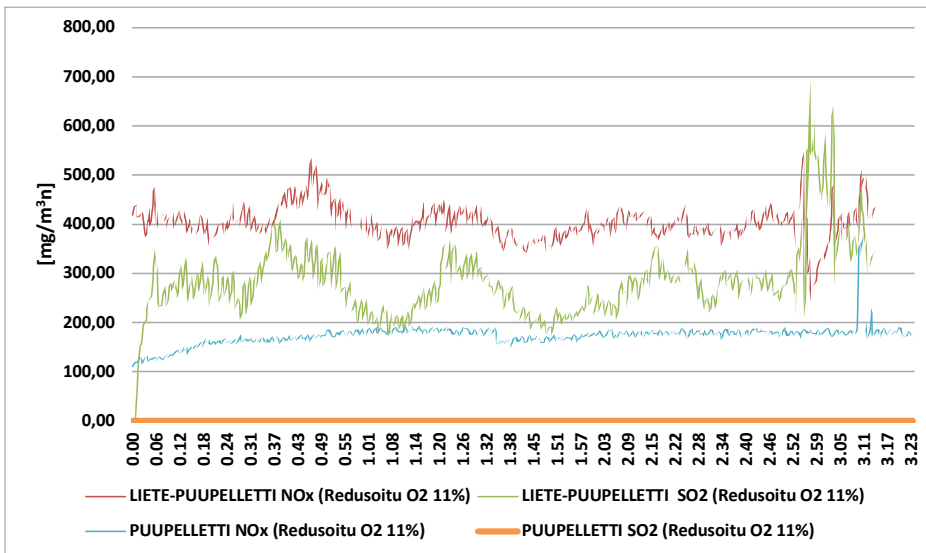


**KUVA 2.** Liete-puupellettiseoksen ja puupellettien poltoissa mitatut keskiarvopäästöt (O<sub>2</sub> 11 %).

Hiilimonoksidipitoisuus oli korkeampi puupellettiseoksella kuin liete-puupellettiseoksella (kuva 3). Typenoksidipäästöt olivat liete-puupelletillä noin kaksinkertaiset pelkän puupelletin typenoksidipäästöihin verrattuna. Puupellettiseoksen poltossa ei syntynyt rikkioksidipäästöjä toisin kuin liete-puupellettiseoksella, jonka rikkioksidipäästöt vaihtelivat kokeen aikana noin 200–400 mg/m<sup>3</sup>n (kuva 4).



**KUVA 3.** Hiilimonoksidipitoisuuden muutokset kokeen aikana (O<sub>2</sub> 11 %).



**KUVA 4.** Typpi- ja rikkioksidipitoisuuksien muutokset kokeen aikana (O<sub>2</sub> 11 %).

## LIETETUHKAN SOVELTUVUUS LANNOITEKÄYTTÖÖN

Pilot-mittakaavan polttokokeiden tarkoituksena päästömonitoroinnin ohella oli arvioida lietteen poltossa syntyvän tuhkan soveltuvuutta lannoitteiden raaka-aineeksi. Kokeissa syntyneistä tuhkakajakeista analysoitiin niiden lannoitearvo ja raskasmetallipitoisuudet. Suomen lainsäädäntö mahdollistaa tuhkien hyödyntämisen lannoitteena, kunhan niiden laatu ja ominaisuudet täyttävät lainsäädännön asettamat raja-arvot. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa (24/2011) on annettu raja-arvot epäorgaanisille lannoitteille ja kalkitusaineille. Kaikilla lannoitteilla Suomessa tulee olla tyypinimi ja hyväksyntä, ja tuhkalannoitteet kuuluvat MMM:n asetuksen (24/11) mukaan kansallisen lannoitevalmisteiden tyypinimiluettelon luokkaan 1A7 tuhkalannoitteet (Ruokavirasto 2019). Jätevesilietteen tuhkalla ei kuitenkaan vielä ole tyypinimihyväksyntää. Lainsäädännössä tuhkalannoitteelle on asetettu enimmäispitoisuudet raskasmetallien osalta sekä vähimmäisvaatimukset ravinteille viljelykäytössä ja metsätalouden lannoitteissa.

## POLTTOKOKEISSA SYNTYNEIDEN TUHKIEN RAVINNE- JA RASKASMETALLIPITOISUUDET

Metsätaloudessa käytettävän tuhkalannoitteen tai raaka-aineena käytettävän tuhkan ravinteista on säädetty Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista (24/2011). Tuhkan ravinteista fosforia ja kaliumia tulee olla yhteensä vähintään 2 m% kuiva-aineessa (ka) ja hivenaineista kalsiumia vähintään 6 m% ka. Muualla kuin metsätaloudessa käytettävän tuhkan kalsiumpitoisuus tulee olla vähintään 10 m% ka. (MMM 24/2011)

Taulukossa 1 on kuvattuna Kiertovirrat-hankkeen pilot-mittakaavan polttokokeissa tuotettujen tuhkejakeiden, puupelletti- ja liete-puupellettituhkan, ravinnepitoisuudet. Fosforin ja kaliumin yhteenlaskettu pitoisuus liete-puupellettituhkassa oli 87 500 mg/kg ka ja puupellettituhkassa 89 300 mg/kg ka, jotka vastaavat noin 8,8–8,9 % kokonaismassoista. Kalsiumin pitoisuus liete-puupellettituhkassa oli 22 % ja puupellettituhkassa 30 %.

**Taulukko 1.** Polttokokeissa syntyneiden tuhkejakeiden ravinne- ja hivenainepitoisuudet (mg/kg ka) (ALS Finland Oy 2021).

Ravinteet	Yksikkö	Lietepuupellettituhka	Puupellettituhka
<b>Fosfori, P</b>	mg/kg ka	39 900	16 000
<b>Kalium, K</b>	mg/kg ka	47 600	73 300
<b>Hivenaineet</b>			
<b>Magnesium, Mg</b>	mg/kg ka	35 500	50 100
<b>Kalsium, Ca</b>	mg/kg ka	220 000	304 000
<b>Rikki, S</b>	mg/kg ka	15 000	3 020
<b>Natrium, Na</b>	mg/kg ka	6 850	6 600

Liete-puupellettituhkan sisältämiä raskasmetallipitoisuuksia verrattiin maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa (24/2011) ilmoitettuihin enimmäispitoisuuksiin. Lietettä sisältävän tuhkan raskasmetallipitoisuudet eivät ylittäneet enimmäispitoisuuksia epäorgaanisissa lannoitteissa ja kalkitusaineissa eivätkä myöskään metsätaloudessa käytettävissä tuhkalannoitteissa tai niiden raaka-aineena käytettävässä tuhkassa. Ainoastaan kontrollinäytteenä olleen puupellettituhkan kuparipitoisuus (Cu) ylitti sallitut enimmäispitoisuudet. Lietettä sisältäneen näytteen kuparipitoisuus oli alle puolet sallitusta raja-arvosta. Tuhkajakeista analysoidut raskasmetallipitoisuudet ja niille MMM:n asetuksessa (24/11) annetut enimmäispitoisuudet ovat koottuna taulukossa 2.



**Taulukko 2.** Raskasmetallipitoisuudet ja sallitut enimmäispitoisuudet tuhkan hyötykäytössä (ALS Finland Oy 2021).

Alkuaine	Puupelletti- lietetuhka [mg/kg ka]	Puupelletti- tuhka [mg/kg ka]	Enimmäispitoi- suus epäorgaani- sissa lannoitteissa ja kalkitusaineissa [mg/kg ka]	Enimmäispitoisuus metsätaloudessa käytettävässä tuhka- lannoitteessa tai niiden raaka-aineena käytettävässä tuhkassa [mg/kg ka]
Arseeni, As	10,4	<2,50	25	40
Elohopea, Hg	<1,00	<1,00	1	1
Kadmium, Cd	<2,00	<2,00	2,5	25
Kromi, Cr	165	167	300	300
Kupari, Cu	296	919	600	700
Lyijy, Pb	18,2	<5,0	100	150
Nikkeli, Ni	54,3	39,1	100	150
Sinkki, Zn	559	144	1 500	4 500

## JÄTEVESILIETTEEN POLTTAMINEN VAATII PALAMISOLOSUHTEIDEN OPTIMOINTIA

Kuivatun jätevesilietteen poltto puupelletin seassa vaikutti merkittävästi sekä polttoprosessiin että polton päästöihin pelkkään puupelletin polttamiseen verrattaessa. Seosmateriaalin polton aikana havaittiin polton tehon vaihtelua, jonka voitiin päätellä johtuvan seokseen käytettyjen materiaalien, kuivatun puhdistamolietteen ja puupelletin, erilaisista ominaisuuksista, kuten tilavuus-painosuhteista ja siten polttomateriaalin epätasaisuudesta. Polttoprosessin tasaisuuden varmistamiseksi huomiota tulisikin kiinnittää seosmateriaalien ominaisuuksiin sekä siihen, mihin muotoon puhdistamoliete saatetaan poltto varten. Lisäksi aistinvaraisesti arvioituna liete-pellettiseos paloi kirkkaammalla liekillä kuin pelkkä puupelletti. Liekin kirkkaus ja väri viittaavat palamisen korkeampaan lämpötilaan, johon on voinut vaikuttaa esimerkiksi kuivatun lietteen huokoisempi rakenne puupellettiin verrattuna.

Puhdistamolietteen käyttö polton raaka-aineena vähensi poltossa muodostuvia hiilimonoksidipäästöjä. Pienempään hiilimonoksidipäästöön voi vaikuttaa muun muassa liete-puupellettiseoksen korkeampi palamislämpötila ja siten täydellisempi palaminen. Puhdistamolietteellä on korkea rikkipitoisuus, joka näkyy polton rikkipäästöissä (Miettinen 2018, 13). Lisäksi liete sisältää tyypeä, mikä näkyy lietteen poltossa typen oksidien päästöjen kasvuna.

Hankkeessa suoritetuissa polttokokeissa haasteeksi osoittautui lietetuhkan sintraantuminen polttokattilan arinaan. Tuhkan sulamiseen vaikuttavat yhdyskuntajätevesilietteen sisältämät ravinteet, jotka madaltavat tuhkan sulamispistettä. Tällaisia ravinteita ovat muun muassa fosfori (P), magnesium (Mg) ja kalium (K) (Miettinen 2018, 27). Tuhkan sintraantumista arinaan ennakoitiin valitsemalla liikkuvalla arinalla varustettu koepolttokattila, mutta tämä ratkaisu ei yksistään tässä kokeessa riittänyt estämään tuhkan sintraantumista ja siten koksien kertymistä arinaan.

Yhdyskuntajätevesilietteen polttaminen vaatii polttokattilan palamisolosuhteiden ja teknisten ominaisuuksien säätämistä lietteelle sopivaksi. Lietteiden poltto aiheuttaa kattilan ominaisuuksien lisäksi vaatimuksia poltossa muodostuvien kaasumaisten päästöjen puhdistuslaitteistolle. Lisäksi lietteiden esikäsitelyllä, kuten saavutetulla kuiva-ainepitoisuudella ja tilavuus-painosuhteella, on merkitystä etenkin rinnakkaispoltossa käytettynä. Optimaalisilla poltto-olosuhteilla pystytään tavoittelemaan mahdollisimman puhdasta palamista, jolloin liete saadaan hyödynnettyä energiana ja sitä kautta mahdollisesti myös tuhkalannoitteena.

## LIETETUHKA LANNOITTEEN RAAKA-AINEENA

Hankkeen pilot-mittakaavan polttokokeiden tuloksena saadun, puhdistamolietettä sisältävän tuhkan ravinne- ja hivenainepitoisuudet ylittivät MMM:n asetuksen (24/11) tuhkalannoitteelle asettamat vähimmäisvaatimukset. Puhdistamolietteen lisääminen polttoaineen joukkoon vähensi kalsiumin, magnesiumin ja kaliumin pitoisuuksia tuhkassa. Fosforipitoisuus nousi noin 2,5-kertaiseksi ja rikki-pitoisuus noin 5-kertaiseksi lietelisyksen myötä. Fosforipitoisuuden nousuun todennäköisesti vaikutti muun muassa jätevedestä saostetun lietteen sisältämä fosfori. Natriumpitoisuus oli molemmissa tuhkakajeissa lähes samalla tasolla. 20 m% lietettä polttoaineessa ei nostanut tuhkan raskasmetallipitoisuuksia yli sallittujen enimmäisarvojen.

Tässä kokeessa lietteiden osuus koko polttoaineen massasta oli 20 %. Lietteestä valmistettavien tuhkalannoitteiden osalta tutkimuksia tulisi jatkaa nostamalla lietteiden osuutta polttoaineessa, jolloin saadaan paremmin esiin polton vaikutusta tuhkan raskasmetallipitoisuuksiin. Lietetuhkaa voidaan nykyisellään Suomessa hyödyntää muun muassa asfaltin, sementin ja tiilen raaka-aineena. Lannoitekäytön esteenä on nähty muun muassa tuhkan korkeat raskasmetallipitoisuudet. (VVY 2019)

Rajalliset fosforivarannot luovat tarpeen kehittää uusia kierrätyslannoitevaihtoehtoja, ja puhdistamolietteen käyttö tuhkalannoitteiden raaka-aineena onkin potentiaalinen tutkimuskohde. Tulevaisuudessa tulisi tutkia esimerkiksi lietteiden rinnakkaispolttoa muiden raaka-aineiden kanssa sekä poltossa syntyneen tuhkan kelpoisuutta kierrätyslannoitteiden raaka-aineena.

## LÄHTEET

ALS Finland Oy. 2021. Analyysiraportti.

Ariterm. Ariterm yhteystiedot. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://ariterm.fi/yhteystiedot/> [viitattu 24.9.2021]

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 1.9.2011/24.

Miettinen, H. 2018. Yhdyskuntalietteen kuivaus, -poltto-ominaisuudet ja -hyötykäyttö. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Saatavissa: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158653/Kandidaatinty%C3%B6\\_Miettinen\\_Hanna.pdf?sequence=1](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158653/Kandidaatinty%C3%B6_Miettinen_Hanna.pdf?sequence=1) [viitattu 12.11.2021]

Ruokavirasto.fi. 2019. Kansallinen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelo. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/tyyppinimiluettelo\\_konsolidoitu\\_22\\_11\\_2019.pdf](https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/tyyppinimiluettelo_konsolidoitu_22_11_2019.pdf) [viitattu 27.10.2021]

Suomen Vesilaitosyhdistys Ry. VVY. 2019. Puhdistamolietteen termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 56. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.vvy.fi/site/assets/files/2916/puhdistamolietteen\\_termiset\\_kasittelymenetelmat\\_ja\\_niiden\\_soveltuvuus\\_suomeen.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/2916/puhdistamolietteen_termiset_kasittelymenetelmat_ja_niiden_soveltuvuus_suomeen.pdf) [viitattu 11.11.2021]

SFS 13284-1. Stationary source emissions. Determination of low range mass concentration of dust. Part 1: Manual gravimetric method.

Testo. Testo 350. s.a. Www-osoite. Saatavissa: [https://www.testo.com/en-US/Common+Testing+Questions/us\\_products\\_350\\_testing\\_questions](https://www.testo.com/en-US/Common+Testing+Questions/us_products_350_testing_questions) [viitattu 11.10.2021]

# MÄDÄTETYN JÄTEVESILIETTEEN KOMPOSTIKOKEET

Salla Pulliainen, Jussi Konttila & Aki Heinonen

Puhdistamolietettä käsitellään yleisesti kompostoimalla. Vuonna 2020 lietteistä 17 % käsiteltiin kompostoimalla ja 42 % kompostoitiin mädätyksen jälkeen (VVY 2021). Kiertovirrat-hankkeen kompostikokeissa tavoitteena oli testata mädätetyn jätevesilietteen käyttöä kompostin raaka-aineena sekä verrata turpeen ja kuivikehampun vaikutusta kompostointiprosessiin. Kokeet toteutettiin laboratoriomittakaavan kompostoreilla, joiden toimintaa seurattiin kolmen kuukauden pituisen koejakson ajan. Koemateriaalien ominaisuuksia analysoitiin lähtötilanteessa, noin kuukausi kokeen aloituksen jälkeen sekä kokeen lopussa jälkikypsytysvaiheessa. Saatujen tulosten perusteella voitiin arvioida materiaalien kompostoitavuutta sekä niiden vaikutusta lopputulokseen.

## LABORATORIOMITTAKAAVAN KOMPOSTIT

Kokeet suoritettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa kolmessa saavissa (kuva 1). Saavit oli eristetty uretaanivaahdolla, ja niiden sisällä oli pohjaritilällä varustetut muovikämpärit. Kompostorien pohjalla oli ilmanottoaukko, josta myös mahdollinen ylimääräinen neste pääsi valumaan ulos. Kompostorisaavit suljettiin uretaanivaahdolla eristetyillä kansilla, joissa oli aukot näytteenottoa varten. Kansia ei tiivistetty ilmatiiviiksi saavien kanssa.



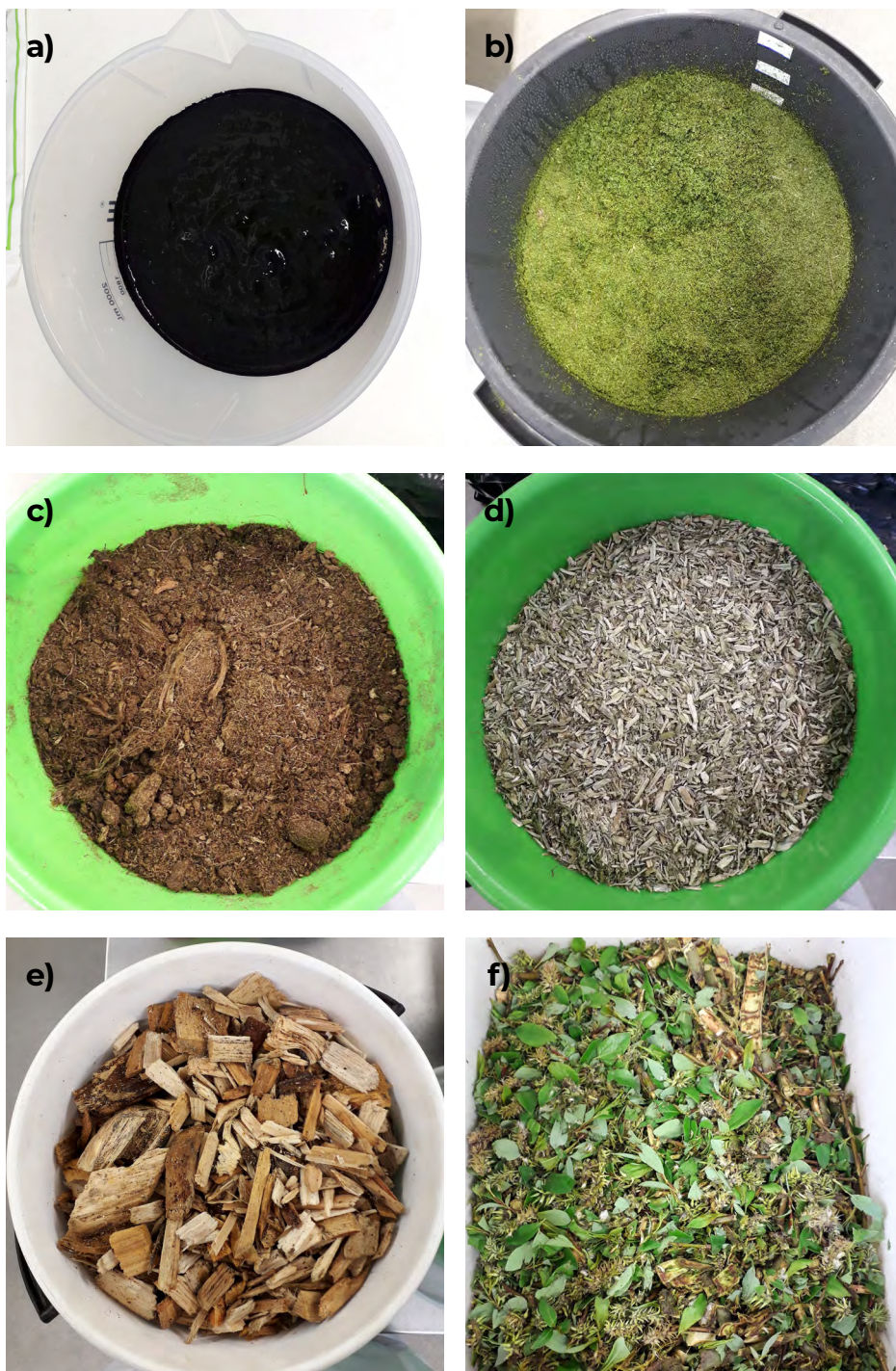
**KUVA 1.** Kompostorisaavit (kuva Salla Pulliainen).

Koemateriaaleina koesarjassa käytettiin mädätettyä jätevesilietettä, turvetta ja kuivikehampua (kuva 2). Mädätetty jätevesiliete noudettiin Mikkelistä Biosairila Oy:n biojalostamolta, ja se koostui Etelä-Savon alueen jätevedenpuhdistamoilta tuoduista yhdyskuntajätevesilietteistä. Koemateriaali ei sisältänyt Mikkelin uuden jätevedenpuhdistamon lietteitä. Tukimateriaaleina komposteissa käytettiin ranka- ja pajuhaketta sekä tuoretta nurmea kompostien käynnistyksen tukena (kuva 2).

Kompostiseokset valmistettiin 30 litran erissä taulukon 1 raaka-ainemäärien mukaisesti. Kompostien tilavuudesta 1/3 koostui mädätteen ja turpeen tai hampun seoksesta tai näiden yhdistelmästä, 1/3 tuoreesta pajuhakkeesta ja rankahakkeesta sekä 1/3 tuoreesta nurmesta. Mädätteen suhde hamppuun ja turpeeseen jokaisessa kompostorissa oli 1/5. Mädätetyn jätevesilietteen määrä kaikissa kompostoreissa oli 1,67 litraa ja kuivikehampun ja turpeen määrä 8,3 litraa siten, että kompostoriin A käytettiin vain turvetta, kompostoriin B puolet turvetta ja puolet kuivikehampua ja kompostoriin C vain kuivikehampua. Lisäksi jokaisen kompostorin pohjalle laitettiin kerros rankahaketta estämään massan tiivistymistä kompostorin pohjan ilmareikien päälle. Kompostien valmistukseen käytettyjen materiaalien tilavuudet ja massat ovat koottuna taulukossa 1.

**TAULUKKO 1.** Syötteet ja niiden määrät koesarjassa.

Kompostori	Yksikkö	A	B	C
Biosairila mädäte + turve (1/5)	L	10		
	kg	3,150		
Biosairila mädäte + kuivikehamppu 50 % / turve 50 % (1/5)	L		10	
	kg		2,780	
Biosairila mädäte + kuivikehamppu (1/5)	L			10
	kg			2,780
Pajuhake	L	5	5	5
	kg	1,095	1,13	1,035
Rankahake	L	5	5	5
	kg	1,525	1,58	1,540
Nurmi	L	10	10	10
	kg	2,415	2,395	2,285
Rankahaketta pohjalle	kg	0,755	0,755	0,755
Yhteensä	L	30	30	30
	kg	8,94	8,64	8,395



**KUVA 2.** Kompostien raaka-aineet: a) mädätetty jätevesiliete, b) nurmirehu, c) turve, d) kuivikehamppu, e) rankahake ja f) tuore pajuhake (kuvat Salla Pulliainen).

Valmistetuista kompostimassoista kompostoreihin käytettiin kompostoreihin tilavuudeltaan sopiva määrä, jolloin kompostin A materiaalien lähtöpaino oli 6,78 kg, kompostin B 7,02 kg ja kompostin C 6,36 kg. Lisäksi jokaiseen kompostoriin lisättiin 14.6.2021 1 dl kompostiherätettä, joka sisältää typpeä 24 g/litra.

Kompostien tilaa seurattiin 2.6.–2.9.2021 välisen ajan. Komposteista muodostuvien hapen, metaanin, hiilidioksidin ja rikkivedyn pitoisuuksia sekä lämpötilaa seurattiin aktiivisesti noin kuukausi kompostien käynnistymisen varmistamiseksi. Lisäksi kaikista kompostien raaka-ainesta sekä kompostiseosmassasta määritettiin pH, sähkönjohtokyky, kuiva-ainepitoisuus (TS), tuhkapitoisuus (VS), kokonaistyyppipitoisuus ja materiaalien hiili-typpisuhteet (C/N-suhde) kokeen lähtö-, väli- ja loppuvaiheissa.

pH:n ja sähkönjohtokyvyn määrittystä varten materiaaleista ja komposteista valmistettiin vesiuite tilavuussuhteessa 1+5. Uutetta sekoitettiin tunnin ajan ravistelijassa, minkä jälkeen mittaukset suoritettiin nestefaasista (Itävaara ym. 2006). pH-arvon mittaukseen käytettiin Radiometer PHM220 -mittaria ja sähkönjohtokyvyn mittaamiseen WTW Cond 340i/SET -mittaria. Kaasut mitattiin Optima 7 Biogas -laitteella kompostorien kannesta olevasta näytteenottoaukosta kompostimassan keskeltä ja lämpötila mitattiin Fluke 123 ScopeMeter -laitteella avonaisen kompostorin sisältä kompostimassan keskeltä. Komposti on aerobinen hajoamisprosessi, joten hapen läsnäolon seuraamisella voitiin varmistua prosessin toimimisesta (taulukko 2). Kompostoreissa ei käytetty automaattista ilmansyöttöä, joten kompostoreita ilmastettiin kääntämällä niitä talikolla noin kerran viikossa ensimmäisen neljän viikon ajan.

**TAULUKKO 2.** Kompostien seurantaan käytetyt analyysilaitteet.

Parametri	Analyysilaitte
Lämpötila [°C]	Fluke 123 ScopeMeter
pH	Radiometer PHM220 pH -mittari
Sähkönjohtokyky [mS/m]	WTW Cond 340i/SET
Happi %	Optima 7 Biogas
Metaani %	Optima 7 Biogas
Hiilidioksidi %	Optima 7 Biogas
Rikkivety ppm	Optima 7 Biogas

Lähtöaineista turve ja vertailuna oleva kuivikehampun erosivat toisistaan merkittävästi happamuuden osalta: turve on pH-arvoltaan hapanta, pH 4,6, ja kuivikehampun emäksistä, pH 8,6. Myös näiden materiaalien sähkönjohtavuudessa oli merkittävä ero, sillä turpeen sähkönjohtavuudeksi mitattiin 18 µS/cm ja kuivikehampun 443 µS/cm. Kompostiin käytet-

tyjen lähtöaineiden hiili-tyyppi-suhteet vaihtelivat suuresti toisiinsa nähden. Typpipitoisimpia raaka-aineita olivat mädäte ja tuore nurmi, kun taas turpeen, kuivikehampun ja rankahakkeen hiili-tyyppi-suhteet olivat korkeita. Lähtöaineiden kuiva-aine- ja tuhkapitoisuudet, kokonaistyyppipitoisuus ja C/N-suhde analysoitiin ulkopuolisessa laboratorioissa ALS Finland Oy:llä. Kaikkien kompostiraaka-aineiden analyysitulokset ovat koottuna taulukossa 3.

**TAULUKKO 3.** Analyysitulokset koesarjan raaka-aineista. Kuiva-aine- ja tuhkapitoisuudet, kokonaistyyppipitoisuus ja C/N-suhde analysoitiin ulkopuolisessa laboratorioissa ALS Finland Oy:llä

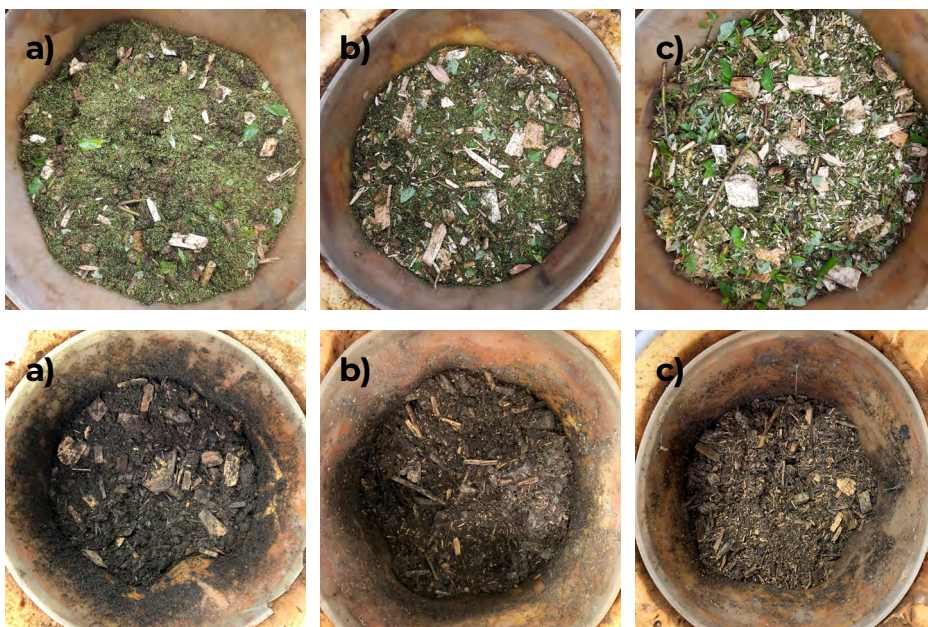
Syötteet	pH	Sähkönjohtokyky (µS/cm)	Kuiva-aine (TS %)	Tuhkapitoisuus (VS % ka)	Kokonaistyyppi (%)	C/N-suhde
Mädäte	7,8	3,2 *	11,9	49,6	2,47	10:1
Turve	4,6	18	33,5	96,8	1,13	40:1
Kuivikehamppu	8,6	443	89,9	88,8	0,67	62:1
Pajuhake	6,0	100	39,8	96,5	1,74	27:1
Rankahake	5,5	23	54,0	98,0	0,20	230:1
Nurmi	5,5	98	39,4	87,3	3,17	13:1

\* Yksikkö mS/cm

## KOMPOSTOITUMINEN KOLMEN KUUKAUDEN KOEJAKSON AIKANA

Kuvassa 3 ylärivissä on kuvat komposteista lähtötilanteessa ja kuvan alarivissä kompostien kuvat kokeen lopussa. Aistinvaraisesti arvioituna kolmen kuukauden koejakson jälkeen kompostin A materiaalit olivat pisimmälle hajonneita, ja komposti oli koostumukseltaan, ulkonäöltään ja hajultaan multaisempaa kuin kompostit B ja C. Kaikista kompostimassoista oli erotettavissa rankahaketta sekä komposteissa B ja C kuivikehampua.

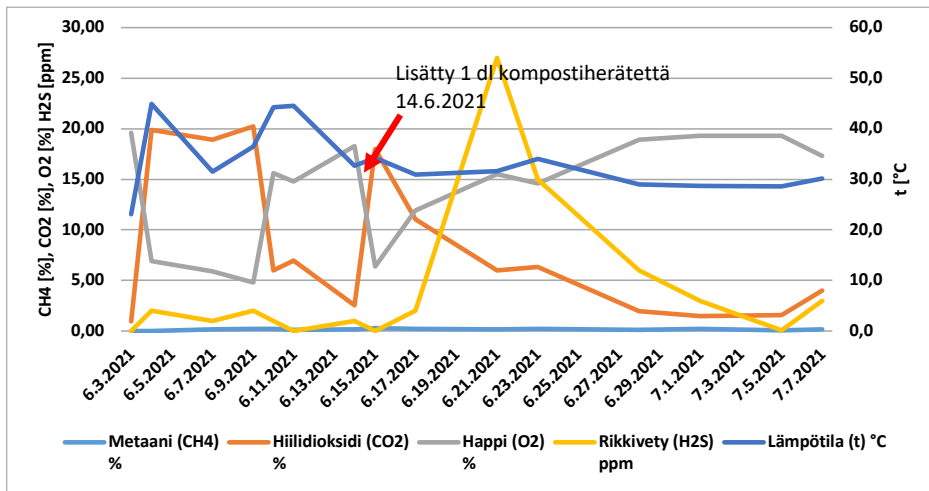




**KUVA 3.** Kompostit A, B ja C koesarjan alussa ja lopussa (kuvat Salla Pulliainen).

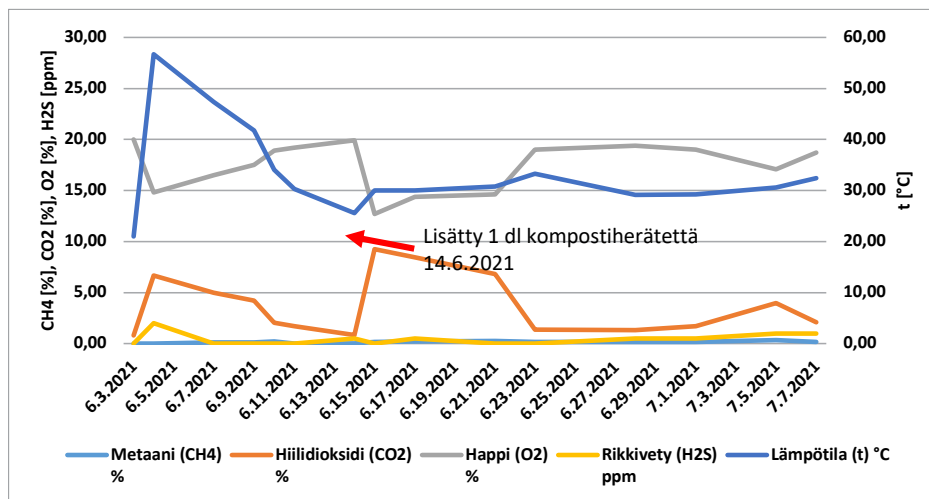
## PROSESSIKAASUJEN JA LÄMPÖTILAN MUUTOKSET

Kompostointiprosessi käynnistyi kaikissa kompostoreissa heti kokeen alussa, sillä lämpötilat lähtivät heti voimakkaasti nousuun. A-kompostorissa lämpötila nousi heti kokeen alettua maksimilämpötilaan 44,9 °C, minkä jälkeen se pysyi koko prosessin ajan pääasiassa noin 30–35 °C:n välillä. Happipitoisuus vaihteli kokeen alussa noin 5–20 %:n välillä, mutta tasaantui siten välille 15–20 %. Hiilidioksidipitoisuus nousi kokeen alussa 20 %:iin, josta se laski viikon kuluttua kokeiden käynnistyksestä noin 5 %:iin. Kompostiherätteen lisäyksen jälkeen hiilidioksidipitoisuus nousi hetkellisesti 18 %:iin, josta se laski kokeen loppuun saakka. Happi- ja hiilidioksidipitoisuudet korreloivat negatiivisesti toisiaan kokeen aikana. Esimerkiksi happipitoisuuden noustessa hiilidioksidipitoisuus laski ja päinvastoin. Rikki-vedyn pitoisuus oli kokeen alkuvaiheessa matala, alle 5 ppm. Herätteen lisäämisen jälkeen pitoisuus nousi hetkellisesti pitoisuuteen 27 ppm, minkä jälkeen se alkoi jälleen laskemaan. Metaania A-kompostorissa ei esiintynyt koesarjan aikana ( $\leq 0,28$ ). Kuvassa 3 on esitelty prosessikaasujen ja lämpötilan muutokset A-kompostorissa kokeen aikana.



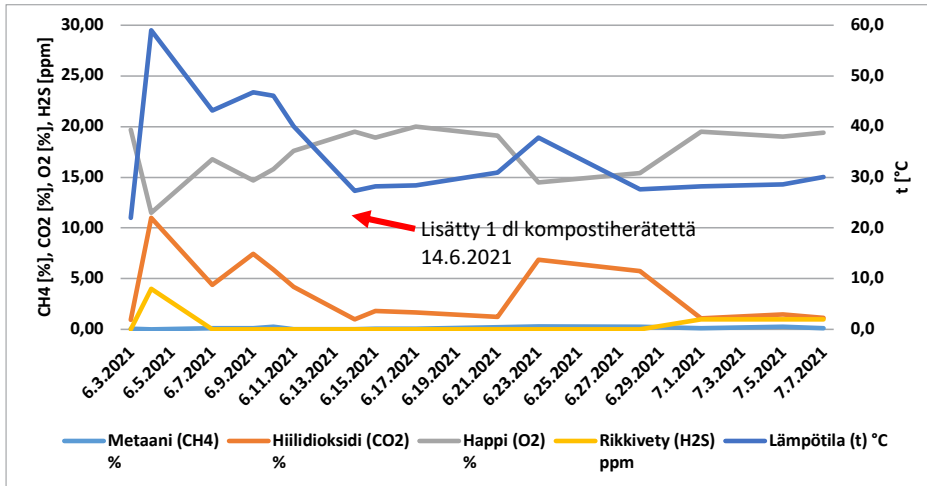
KUVA 4. Prosessikaasujen ja lämpötilan muutos A-kompostorissa kokeen aikana.

B-kompostorissa lämpötila saavutti maksimiarvonsa 56,7 °C heti kokeen alussa. Lämpötila laski noin 30 °C:seen viikon kuluttua kokeen alkamisesta, jossa se pysyi kokeen loppuun saakka. Kompostiherätteen lisäämisen jälkeen happipitoisuus laski ja hiilidioksidipitoisuus nousi lähes 10 %:iin. Rikkivetytaso oli koko seurantajakson ajan ≤ 4 ppm ja metaanipitoisuus ≤ 0,34 %. B-kompostorin prosessikaasujen ja lämpötilan muutokset on esitetty kuvassa 4.



KUVA 5. Prosessikaasujen ja lämpötilan muutos B-kompostorissa kokeen aikana.

C-kompostori saavutti maksimilämpötilansa 59,0 °C kokeen kasausta seuraavana päivänä. Lämpötila pysyi viikon ajan yli 40 °C:ssa, josta se laski noin 30 °C:seen. Happipitoisuus oli kokeen aikana 10–20 % ja hiilidioksidipitoisuus pääasiassa alle 10 %. Metaania kompostorissa esiintyi vain  $\leq 0,26$  % ja rikkivetyä  $\leq 4$  ppm.



**KUVA 6.** Prosessikaasujen ja lämpötilan muutos C-kompostorissa kokeen aikana.

## ANALYYSITULOKSET

Kompostorien pH-arvot tasaantuivat hieman kokeen aikana. Lähtötilanteessa pH-arvot olivat kompostissa A 6,3, kompostissa B 6,6 ja kompostissa C 7,9, kun loppuvaiheessa ne olivat 6,7 (komposti A), 6,7 (komposti B) ja 7,2 (komposti C). Sähkönjohtokyky oli alkutilanteessa A-kompostorissa 272  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja lopputilanteessa 459  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , B-kompostorissa kokeen alussa 492  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja lopuksi 367  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sekä C-kompostorissa alkutilanteessa 619  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja lopputilanteessa 499  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Kompostorin A kuiva-ainepitoisuus laski kompostoinnin aikana 33,3 %:sta 32,7 %:iin. B-kompostorin kuiva-ainepitoisuus sen sijaan nousi 40,5 %:sta 48,8 %:iin ja C-kompostorin 40,7 %:sta 65,6 %:iin. Kompostoreissa A ja C tuhkapitoisuus ei muuttunut kompostoinnin aikana merkittävästi: kompostorissa A pitoisuus oli alkutilanteessa 89,4 % ja lopputilanteessa 89,7 % ja C-kompostorissa alkutilanteessa 90,2 % ja lopputilanteessa 91,1 % ka. B-kompostorissa tuhkapitoisuus laski kompostoinnin aikana 94,4 %:sta 84,8 %:iin.

Kaikkien kompostiseosten C/N-suhteet madaltuivat kokeen alusta kokeen loppuun, eli typen määrä suhteessa hiilen määrään kompostoreissa kasvoi kokeen aikana. Suurin muutos tapahtui kompostoreissa B ja C eli hampua sisältävissä komposteissa. Kompostorien A, B ja C analyysitulokset ovat koottuna taulukossa 4.

**TAULUKKO 4.** Analyysitulokset kompostikokeiden alku- ja loppuvaiheessa. Kuiva-aine- ja tuhkapitoisuudet, kokonaistyyppipitoisuus ja C/N-suhde analysoitiin ALS Finland Oy:llä.

	PVM	Komposti	pH	Sähkönjohtokyky (µS/cm)	Kuiva-aine TS (%)	Tuhkapitoisuus VS (% ka)	Kokonaistyyppi (%)	C/N-suhde
Alku	2.6.2021	A	6,3	272				
		B	6,6	492				
		C	7,9	619				
	3.6.2021	A			33,3	89,4	2,18	20:1
		B			40,5	94,4	1,39	32:1
		C			40,7	90,2	1,29	33:1
Väli	7.7.2021	A	6,3	509				
		B	6,9	469				
		C	7,6	418				
	8.7.2021	A			33,1	88,2	1,92	22:1
		B			46,7	89,6	1,47	30:1
		C			56,2	87,6	1,86	23:1
Loppu	17.8.2021	A	6,7	459				
		B	6,7	367				
		C	7,2	499				
	2.9.2021	A			32,7	89,7	2,38	18:1
		B			48,8	84,8	2,38	17:1
		C			65,6	91,1	2,02	22:1

Kompostikokeessa pienkompostoreihin syötettiin kompostoitavat materiaalit yhtenä panoksena. Taulukossa 5 on esitetty kompostikokeen alku- ja loppumassat sekä materiaalin vähenemät kompostoinnin aikana. Vähiten massaa, 16 %, väheni kompostissa A, jossa käytettiin tukiaineena turvetta. Suurin massan vähenemä oli kompostissa C, jossa vähenemä oli 48 %.

**TAULUKKO 5.** Kompostien massan vähenemä.

Komposti	Alkumassa [kg] (2.6.2021)	Loppumassa [kg] (13.8.2021)	Vähenemä [%]
A	6,8	5,7	16
B	7,0	4,9	30
C	6,4	3,3	48

## YHTEENVETO

Tässä kokeessa näillä menetelmillä saatujen tulosten perusteella jätevesilietepohjaisessa kompostissa käytettävillä pääraaka-aineilla on merkittävä vaikutus kompostin kypsymiseen ja lopputuotteen laatuun. Tässä kokeessa tarkasteltu lietteen kompostoituminen yhdessä turpeen tai kuivikehampun kanssa kokeessa käytetyillä seossuhteilla tuotti toisistaan poikkeavat lopputuotteet. Kompostoinnilla voitiin vaikuttaa orgaanisen raaka-ainemassan tilavuuteen sekä saatiin tasalaatuisempaa materiaalia esimerkiksi mahdolliseksi maanparannusaineen raaka-aineeksi. Lopputuloksena kokeessa tulee verrata etenkin turvepohjaista A-kompostia sekä kuivikehampupohjaista C-kompostia.

Kompostien pH-arvojen muuttuminen kohti neutraalia pH-arvoa kompostoinnin kuluessa viittaa kompostien kypsymiseen, sillä kompostin kypsyessä sen pH tasoittuu välille 7–8 (Itävaara ym. 2006, 7). Kokeen aikana turvepohjainen komposti säilytti kosteuspitoisuutensa, kun taas kuivikehampupohjainen komposti kuivui voimakkaasti kokeen loppua kohden. Kuivikehampupohjaisen kompostin kuivumista on voinut kiihdyttää sen korkeampi käymislämpötila kompostoinnin alussa. Kuivikehampupohjainen komposti oli kompostoinnin loppuvaiheessa myös aistinvaraisesti arvioituna kuivempaa ja karkeampaa kuin turvepohjainen komposti. Kompostien rakenteet käytetyillä raaka-aineilla ja seossuhteilla sekä käytetyllä ilmastusvälillä toteutettuna olivat happipitoisuuden perusteella kompostille ja aerobiselle hajoamisprosessille sopivat.

Kompostien C/N-suhde ei kompostoinnin aikana otetuissa näytteissä ollut kompostien toimivuudelle optimaalinen 25–30:1. Käytetyn rankahakkeen lisäksi sekä turve että kuivikehamppu sisältävät runsaasti hiiltä, jolloin myös kompostien C/N-suhteet lähtötilanteessa olivat korkeita. Kaikkien kompostien C/N-suhteet kuitenkin laskivat kompostoinnin edetessä, mikä kertoo orgaanisen aineksen hajoamisen seurauksena tapahtuvasta kokonaisuutypipitoisuuden kasvusta ja siten kompostointiprosessin etenemisestä (Pulkkinen 2018, 7). Mahdollisten patogeenien kannalta tarkasteltuna kompostien lämpötilat eivät missään vaiheessa koetta olleet riittävän korkeat hygienisoimaan materiaalia. Käytettäessä mädätettyä jätevesilietettä raaka-aine on kuitenkin hygienisoitu jo biokaasulaitoksella. Laajemmassa mittakaavassa toteutettuna tulisikin varmistaa myös kompostien tai kompostoitavien materiaalien hygienisointi kompostointia ennen tai sen jälkeen.

Korvattaessa jätevesilietteen kompostoinnissa turvetta kuivikehampulla tulee tämän kokeen perusteella kiinnittää huomiota etenkin kompostin riittävään kosteuspitoisuuteen kompostoinnin onnistumiseksi. Kuituhamppu, josta kuivikehamppu on valmistettu, sitoo tehokkaasti hiilidioksidia ilmakehästä, ja sen käytöllä esimerkiksi maatalouden vuoroviljelykasvina on tutkimusten mukaan positiivisia vaikutuksia muun muassa viljelysmaaperän rakenteeseen ja kemialliseen laatuun (Malvisalo ym. 2020). Jätevesilietteen kompostoinnin kannalta kuivikehampun käyttöä turpeen korvaajana tulee tutkia lisää, jolloin saadaan lisätietoa muun muassa oikeista seossuhteista ja kompostointiprosessiin vaikuttavista tekijöistä.

## LÄHTEET

ALS Finland Oy. Analyysiraportti. 2021.

Itävaara, M., Vikman, M., Kapanen, A., Venelampi, O., Vuorinen, A. 2006. Kompostin kypsyystestit. Menetelmäohjeet. VTT tiedotteita 2351. Espoo PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2006/T2351.pdf> [viitattu 11.8.2021]

Malvisalo, T., Luotola, E. 2020. Hampun tuotannon ja käyttömahdollisuuksien esiselvitys. Saatavissa: <https://www.aitomaaseutu.fi/media/Hampun-tuotannon-ja-k%C3%A4yt-%C3%B6mahdollisuuksien-esiselvitys-30-05-2020.pdf>. [viitattu 29.10.2021]

Pulkkinen, I. 2018. Puutarhajätteen tuotteistaminen aumakompostoimalla. Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto. Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/59030/1/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201808013658.pdf> [viitattu 28.10.2021]

Suomen Vesilaitosyhdistys ry. VVY. 2021. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 71. Helsinki 2021. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.vvy.fi/site/assets/files/4691/yhdyskuntalietteen\\_kasittelyn\\_ja\\_hyodyntamisen\\_nykytilannekatsaus\\_2021.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/4691/yhdyskuntalietteen_kasittelyn_ja_hyodyntamisen_nykytilannekatsaus_2021.pdf) [viitattu 3.11.2021]

# JÄTEVESILIETTEEN JÄLJITETTÄVYYS – DEMONSTRAATIOSOVELLUKSEN PILOTOINTI

Salla Pulliainen & Pertti Harju

Kiertovirrat-hankkeessa kehitettiin yhdyskuntajätevesilietteen jäljitettävyyttä demonstroimalla yhtenäistä, koko jalostusketjun kattavaa jäljitettävyyssjärjestelmää sekä pilotoimalla sitä yhteistyössä Suomen Ekolannoite Oy:n kanssa. Jätevesilietteen jäljitettävyys tukee sivuainevirtojen kytkemistä osaksi bio- ja kiertotaloutta: koko käsittely- ja kuljetusketjun kattava jäljitettävyyssjärjestelmä parantaa lietepohjaisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden käytettävyyttä ja luotettavuutta. Kiertovirrat-hankkeessa tavoitteena oli pilotoida paikkatietoa hyödyntävä, mobiililaitteella toimiva sovellus, jolla pystytään dokumentoimaan lannoitteeksi käytettävän jätevesilietteen jäljitettävyystiedot eräkohtaisesti. Lisäksi tavoitteena oli huomioida käytön helppous sekä tietojen tallentaminen ja siirtäminen raportti-muotoon viranomaisraportointia varten.

## JÄTEVESILIETEPOHJAISEN LANNOITTEEN JÄLJITETTÄVYYS

Jätevesilietteen käytön jäljitettävyyteen ja tiedoston pitämiseen liittyvät vaatimukset on määritetty Lannoitevalmistelain (539/2006) 12 §:ssä ja Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa (11/12) lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta. Kiertovirrat-hankkeessa pilotoidun sovelluksen vaatimusmäärittely on tehty lainsäädännön asettamien vaatimusten ja Suomen Ekolannoite Oy:ltä saatujen tietojen perusteella.

Lannoitevalmistelain (539/2006) § 12 mukaisesti toiminnanharjoittajan, joka valmistaa tai teknisesti käsittelee markkinoille saattamista varten, saattaa markkinoille, tuo maahan tai vie maasta lannoitevalmisteita tai niiden raaka-aineita, on velvollinen pitämään toiminnastaan ajan tasalla olevaa tiedostoa. Tiedoista tulee käydä ilmi lannoitevalmisteiden ja niiden raaka-aineiden ostot, alkuperä, määrät, myynnit, luovutukset sekä varastointipaikat. Lisäksi dokumentoitavia tietoja ovat lietteen käsittelyprosessit, lietteen käyttöön liittyvät sopimukset, lannoitevalmisteen vastaanottajien ja vastaanottoaikkojen tiedot sekä viljelymaan laatua kuvaavat ominaisuudet (Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta (nro 11/12)).

## SOVELLUKSEN TOTEUTUS

Jätevesilietteen käsittely- ja toimitusketjun jäljitettävyyteen kehitetty pilot-sovellus toteutettiin verkkosivustona. Verkkopalvelimelle luotu web-sivusto optimoitiin käytettäväksi mobiililaitteen selaimella ja se toimi käyttäjän kannalta kuten laitteeseen asennettu sovellus. Helppokäyttöisyyteen kiinnitettiin erityistä huomiota näyttämällä käyttäjälle ainoastaan kuhunkin käyttötilanteeseen oleellisesti liittyviä tietoja ja niihin liittyviä valintoja. Sovelluksen toiminnot jaettiin neljään toimintoon:

1. uuden tuote-erän luonti
2. omavalvontamittaus tuote-erästä
3. raaka-aineiden lisäys tuote-erään
4. tuote-erän toimitus asiakkaalle tai varastoon.

## PILOTOINTI

Kehitettyä demonstraatio-sovellusta pilotoitiin yhteistyössä Suomen Ekolannoite Oy:n kanssa loka–marraskuussa 2020. Pilotissa seurattiin Mikkelin Vesilaitoksen jätevedenpuhdistamolta tulevan yhdyskuntajätevesilietteen jalostus- ja kuljetusketjua puhdistamolta pellolle, minkä aikana kaikki vaadittavat, prosessia koskevat merkinnät kirjattiin mobiilisti demonstraatio-sovellukseen.

Lietteen ja stabilointikemikaalien sekoitus tapahtui lietevaunussa, minkä jälkeen stabiloitu liete siirrettiin lavalle odottamaan kuljetusta (kuvat 1 ja 2). Prosessin alkuaiheessa sovellukseen kirjattiin karrin lasketun lietteen tyyppi, lisättyjen kalkin ja peretikkahapon määrät sekä seoksen pH-arvo. Näille parametreille luotiin oletusarvot, joten jatkossa kyseisiä arvoja täytyy muokata vain poikkeamatilanteissa.



**KUVA 1.** Kalkki ja peretikkahappo sekoitetaan lietteeseen lietevaunussa (kuva Salla Pulliainen).





**KUVA 2.** Stabiloitu liete siirretään lavoille odottamaan kuljetusta (kuva Salla Pulliainen).

Koska sovellusta on mahdollista käyttää useassa tuotantopaikassa, sovellukseen kirjataan aluksi tuotantopaikka sekä tuotteen nimi. Erät nimetään päivämäärän mukaisesti ja samana päivänä tuotetut lannoitelavat numeroidaan eräkohtaisesti (kuva 3). Järjestelmään kirjataan kohde eli tila tai varasto, jonne erä kuljetetaan (kuva 4). Lisäksi järjestelmään on mahdollista liittää jäljitysketjuun liittyvät, vaaditut sopimukset. Järjestelmä hyödyntää mobiililaitteen GPS-paikannusominaisuutta ja siihen on mahdollista tallentaa sijoituskohteen koordinaatit yhdellä painalluksella (kuva 5). Tällöin saadaan tarkka tieto erien sijoituspaikoista viranomais- ja omavalvontaa varten.



**KUVA 3.** Jalostus- ja kuljetusketjun tiedot voidaan syöttää demonstraatiojärjestelmään mobiilisti (kuva Salla Pulliainen).



**KUVA 4.** Lietelavat kuljetetaan asiakkaille sopimusten mukaisesti (kuva Salla Pulliainen).



**KUVA 5.** Jätevesilietteestä valmistettu lannoite toimitetaan asiakkaan osoittamaan kohteeseen (kuva Salla Pulliainen).

## SÄHKÖINEN JÄRJESTELMÄ PARANTAA LIETTEEN JÄLJITETTÄVYYTTÄ

Hankkeessa toteutetulla pilotoinnilla demonstroitiin sähköisen järjestelmän käyttöä jätevesilietteen jäljitettävyydessä. Jäljitettävyysovellus kerää yhteen koko ketjun tiedot, vähentää paperisten arkistomuotojen käyttöä ja mahdollistaa tietojen dokumentoinnin jo kenttäoloissa. Järjestelmä on muokattavissa käsittelyvaiheiden ja käsittelyssä käytettyjen kemikaalien ja raaka-aineiden osalta jokaiseen prosessiin sopivaksi ja siten laajennettavissa käytettäväksi eri yhteyksissä. Sähköinen järjestelmä parantaa lietteen eräkohtaista jäljitettävyyttä ja siirtoasiakirjojen säilyvyyttä ja mahdollistaa tietojen tarkastelun esimerkiksi kuukausi- ja vuositasolla. Järjestelmän avulla palveluntuottaja voi seurata asiakkaalle toimittamiaan lannoitemääriä, raaka-ainesisältöjä ja tarkkoja sijoituspaikkoja, ja tarjota nämä tiedot tarvittaessa myös asiakkailleen. Hankkeessa pilotoitu sovellus vastasi hyvin vaatimukseen yksinkertaisesta jätevesilietteen jäljitettävyyden sähköisestä arkistointijärjestelmästä.

## LÄHTEET

Lannoitevalmistelaki 29.6.2006/539.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus 3.5.2012/11.

# REJEKTIVEDEN TYPEN TALTEENOTTO JA HYÖDYNTÄMINEN LANNOITTEENA

Salla Pulliainen, Jussi Konttila & Aki Heinonen

Typpi on luonnossa runsaana esiintyvä alkuaine, joka tavanomaisesti esiintyy kaasuna, ammoniumsuloina ja nitraatteina. Typpiä voidaan ottaa talteen ilmakehästä, jolloin sitä käytetään esimerkiksi epäorgaanisten lannoitteiden raaka-aineena. Ilmakehän lisäksi myös yhdyskuntajätevesi sisältää runsaasti typpiä. Vesistöjen kuormituksen ja rehevöitymisen ehkäisemiseksi yhdyskuntajäteveden typpi poistetaan puhdistusprosessissa, jolloin noin 20 % kaikesta jäteveden typestä sitoutuu puhdistamolietteeseen ja loput haihtuvat ilmaan aktiivilieteprosessissa. Lietteen soluihin sitoutunut typpi vapautuu mädätyksessä lietevedeen, joka ohjataan takaisin puhdistusprosessiin. Takaisin puhdistusprosessiin ohjattu rejektiväsi ja sen sisältämä typpi kasvattavat puhdistettavaa kuormaa. Tätä kuormaa sekä esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden käyttöä epäorgaanisten lannoitteiden valmistuksessa voitaisiin vähentää ottamalla typpiä talteen rejektivädestä, kasvattamalla siten typpiomavaraisuutta sekä luomalla uusia typpikierrätyslannoitteita. Kiertovirrat-hankkeessa analysoitiin rejektiväden ominaisuuksia sekä selvitettiin typen talteenottoteknologioita.

## TYPEN TALTEENOTTOTEKNOLOGIAT REJEKTIVEDESTÄ

Jätevesien ravinteiden talteenotto on vielä pääosin keskittynyt fosforin talteenottoon, sillä typpiä on ehtymättömästi tarjolla ilmakehässä. Typen talteenotto ilmakehästä vaatii kuitenkin fossiilisia polttoaineita, joista voitaisiin päästä eroon ottamalla typpiä talteen jätevesilietteiden rejektiväsiä. (Finnilä 2018) Rejektivettä muodostuu jätevedenpuhdistamoilla lietteen linkouksen yhteydessä, kun kiinteä aines erotetaan nesteestä linkouksen avulla. Lisäksi jätevesilietepohjaista rejektivettä muodostuu biokaasujalostamoilla, kun mädätetty jätevesiliete separoidaan kuivajakeen erottelemiseksi nestejakeesta.

Mädätyksestä erotettu nestejake eli rejektiväsi kuuluu typpinimiluetelossa orgaanisina lannoitteina sellaisenaan käytettäviin sivutuotteisiin (Ruokavirasto s.a). Sen käyttöä lannoitteena rajoittaa mädätyksen raaka-aineena käytetty puhdistamoliete: mikäli yli 10 % mädätyksen raaka-aineesta on puhdistamolietettä, ei rejektivettä voida käyttää lannoitteena.

Vaikka nykyisin typen tehokas talteenotto etenkin vanhoilla jätevedenpuhdistamoilla ei ole käytettävissä olevalla laitteistolla mahdollista, on typen talteen ottamiseksi kehitetty

uusien tekniikoiden avulla saadaan otettua talteen jopa kolminkertainen määrä nykyiseen verrattuna (Ympäristö.fi 2021). Jäljempänä on katsaus yleisimpiin käytössä oleviin ja kehittyviin typen talteenottoteknologioihin.

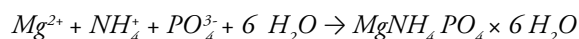
## AMMONIAKKISTRIPPAUS

Ammoniakkia sisältävä rejektivesi poistetaan ammoniakkistrippauksella lämpötilan ollessa 70 °C ja pH:n 11. Lämpötilan ja pH:n noston avulla ionisoitunut ammoniumtyppi muuttuu stripperissä ionisoitumattomaan ammoniakkimuotoon, jolloin se erottuu nestefaasista kaasuun. Kaasumainen ammoniakki pestään pesurissa, jossa se pesuliuksesta riippuen muuttuu ammoniumvedeksi tai ammoniumsuolaksi. (Heinonen 2014) Ammoniakkistrippaus on mädätysjäätännöksen rejektiveden typen talteenottoon soveltuvin menetelmä. Strippaus mahdollistaa laimeiden liuosten väkevöinnin. Prosessi altistaa laitteiston likaantumisen, tukkeutumisen sekä vahvojen emästen ja happojen aiheuttamalle korroosiolle. (Finnilä 2018)

Käyttökustannuksien pienentämiseksi pH:n säätö jätetään usein tekemättä, jolloin prosessin lämpötilaa nostetaan noin 80 °C:seen. Mädätysprosessilla on pH:ta nostava vaikutus, jolloin on kustannustehokkaampaa jättää pH:n säätö tekemättä ja hyödyntää prosessissa syntyvää lämpöä ammoniakkistrippauksen lämpötilan nostamisessa. (Gasum Biovakka Oy 2016)

## STRUVIITTIKITEYTYS

Struviittikiteytyksessä jäteveden typpi ja fosfori saadaan kiteytettyä kiinteässä muodossa, struviittina. Prosessi tapahtuu seuraavan yhtälön mukaan:



Prosessin keskeisimpiä ominaisuuksia ovat pH, lämpötila ja magnesium–typpi–fosfori-suhde. Struviittikiteytys sopii mädätysjäätännöksen rejektiveden käsittelyyn hyvin, sillä mädätyksen seurauksena lietteen typpi on ammoniumtyppimuodossa ja se sisältää myös fosforia ja magnesiumia. Struviitti kiteytetään usein leijupetireaktorilla ja mekaanisesti tai ilmalla sekoitettavissa reaktoreissa. Lopputuotteena syntyy hidasliukoinen lannoite. (Finnilä 2018)

Prosessissa ensimmäiseen reaktoriin syötetään mädätettyä lietettä ja magnesiumia ja niitä ilmastetaan hiilidioksidin poistamiseksi, minkä seurauksena pH nousee. Lieke kiertää reaktorin sisällä, millä tavoitellaan suurien struviittikiteiden muodostumista. Jälkimmäisessä reaktorissa pienet struviittikiteet laskeutuvat, minkä jälkeen struviitti menee hiekkapesuun. (Virtanen 2020) Struviitin valmistus on kannattavampaa jätevirtojen prosessivesistä, kuten mädätysjäätännöksestä tai sen rejektivedestä, jossa ravinteet, kuten magnesium, ammoniumtyppi ja kalium, ovat konsentroituneena (Säälüoto s.a).

## FYSIKAALISET EROTUSMENETELMÄT

Kalvotekniikoilla rejektivedessä olevat epäpuhtaudet erotetaan puoliläpäisevien kalvojen lävitse. Jätevedenpuhdistuksessa tekniikkaa on sovellettu jonkin verran, mutta ongelmaksi on muodostunut kalvojen herkkä tukkeutuminen (Heinonen 2014). Kalvosuodatuksessa voidaan hyödyntää erikokoisia kalvoja, kuten ultra-, mikro- ja nanosuodatusta, sekä käänteisosmoosia, jolloin tukkeutumiskäsky on pienempi ja puhdas vesi saadaan erotettua ravinnepitoisesta konsentraatista. Ravinteiden talteenottoon kalvotekniikkaa on sovellettu vähemmän kuin jätevesien puhdistukseen. (Lehtoranta ym. 2021) Righetto ym. (2021) tutkivat tarkkelyspohjaisen koagulantin vaikutusta rejektiveden esikäsitelyssä ennen ravinteiden talteenottoa. Tarkkelyspohjaiset koagulantit tarjoavat potentiaalisen vaihtoehdon perinteisiin metallipohjaisiin saostuskemikaaleihin verrattuna jäte- ja rejektivesien käsittelyyn ennen ravinteiden talteenottoa kalvosuodatuksella (Righetto ym. 2021).

Kalvotekniikassa muodostuu kahta jaetta: kalvon tulopuolelle jäävä konsentraatti ja sen läpäisevä permeaatti. Ongelmana konsentraatin hyötykäytön kannalta ovat siihen jäävät haitta-aineet, kuten mikromuovit, jotka konsentroituvat konsentraattiin ravinteiden lisäksi (Lehtoranta ym. 2021).

Rejektivedestä voidaan haihduttamalla erottaa vesi ja ravinnerikas konsentraatti. Se vaatii esikäsitelyä kiintoaineen erotuksen lingolla ja täryseulalla sekä rikkihappolisäyksen ammoniakkin haihtumisen ehkäisemiseksi. Haihdutusmenetelmä kuluttaa energiaa ja luo lisäkuluja, mikäli ylijäämälämpöä ei ole käytettävissä. (Heinonen 2014)

## LEVÄMENETELMÄT

Levämenetelmiä voidaan käyttää ravinteiden ja orgaanisen aineksen keräämiseen jätevesistä, biokaasulaitoksen rejektivesistä, virtsasta ja suotovesistä. Toimiakseen levät tarvitsevat valoa, ravinteita ja hiilidioksidia sekä joissain tapauksissa orgaanista ainesta. Levät voivat vähentää jätevedestä jopa yli 90 % typpeä ja 88 % fosforia. Levämenetelmien etuna on niiden hyvä sieto lämpötilan ja pH:n muutoksille, mutta myös raskasmetalleille ja muille haitta-aineille. Sen sijaan jäteveden sameus ja toisinaan myös korkeat ravinnepitoisuudet, kuten virtsan sisältämät ravinnepitoisuudet, voivat rajoittaa levien kasvua. Menetelmän tehokkuutta voidaan parantaa jätevesissä hyvällä esikäsitelyllä, laimennuksella ja hivenainesten lisäyksellä. (Lehtoranta ym. 2021)

Levämassa on hyvin vesipitoista ja vaatii konsentroidin ennen lannoitekäyttöä. Lannoitekäytössä levään kerätyt ravinteet voidaan palauttaa takaisin maatalouden käyttöön. Leväsieppari-hankkeessa tehdyissä kasvatuskokeissa todettiin levän lannoitevaikutuksen näkyvän muun muassa sadonlisäyksenä ja kasvien ottamana typen määränä. (Leväsieppari 2020)

## REJEKTIVEDET JA LIETTEET LANNOITEKÄYTÖSSÄ

Hankkeessa toteutettiin selvitykset eri laatuisten rejektivesien ja mädätysjäännösten ominaisuuksista. Analysoitavina materiaaleina olivat jätevedenpuhdistamon lingotun lietteen rejektivesi sekä biokaasulaitoksella mädätetty jätevesiliete. Lisäksi vertailuna analysoitiin mädätetyn biojätteen rejektivettä.

Rejektivesi kuuluu tyyppinimiluettelossa ryhmään 1B4, orgaanisina lannoitteina sellaisenaan käytettävät sivutuotteet (Evira 2016). Ryhmään kuuluvat sellaisenaan orgaanisena lannoitteena käytettävät teollisuus- tai käsittelylaitoksen sivutuotteet, joilla on todettavissa oleva, pääosin kasveille käyttökelpoisten pääravinteiden määrään perustuva kasvien kasvua edistävä vaikutus (MMM 24/11). Tyyppinimiluettelossa rejektivesi on kuitenkin määritelty ainoastaan orgaanisiin lannoitevalmisteisiin soveltuvia raaka-aineita mädättävän biokaasulaitoksen kiintoaineksesta erotetuksi nestemäiseksi sivutuotteeksi (Ruokavirasto 2019). Tyyppinimessä orgaanisina lannoitteina sellaisenaan käytettävän rejektiveden raaka-aineesta puhdistamolietettä saa olla korkeintaan vain 10 %.

Mädätysjäännös sen sijaan kuuluu tyyppinimiryhmään 3A5, maanparannusaineena sellaisenaan käytettävät sivutuotteet. Ryhmään hyväksytään mesofilisen tai termofilisen biokaasuprosessin sivutuotteena syntynyt hygienisoitu mädätysjäännös sellaisenaan tai mekaanisesti kuivattuna. (Evira 2016) Tyyppinimiryhmään hyväksytyyn lannoitevalmisteen tulee sisältää ravinteita siinä määrin, että sillä on todettavia maan ominaisuuksia parantava vaikutus. Tyyppinimiryhmään kuuluvat lannoitevalmisteet soveltuvat pelto- tai puutarhakäyttöön, energiakasvien viljelyyn sekä maisemoinnissa eroosion estoon. Kun mädätysjäännös sisältää puhdistamolietettä ja sitä käytetään maanviljelykseen, tulee MM-M:n asetuksessa (24/11) annettujen vaatimusten lisäksi noudattaa myös valtioneuvoston päätöksessä 282/1994 puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä ja MAVI:n oppaassa ”Täydentävät ehdot/Viljelytapa- ja ympäristöehdot” annettuja rajoitteita ja määräyksiä.

## REJEKTIVESIEN ANALYYSIT

Jätevedenpuhdistamon rejektivedestä ja biokaasulaitoksen jätevesimädätteestä otettiin näytteet kolmena eri päivänä edustavan tuloksen saavuttamiseksi. Vertailunäyte eli mädätetyn biojätteen rejektivesinäyte otettiin yhtenä päivänä. Näytteistä analysoitiin niiden lannoitearvo ja haitalliset aineet orgaanisen maanparannusaineen analyysien mukaisesti. Taulukoissa 1–3 on koottuna analyysitulosten keskiarvot näytteittäin sekä vertailunäytteen tulokset.

Taulukkoon 1 on kirjattu näytteistä analysoidut pH, sähkönjohtokyky, kuiva-aine- ja kosteuspitoisuudet, tuhkapitoisuus, hehkutushäviö ja tilavuuspaino. Jätevedenpuhdistamon rejektivesi sisältää vain vähän kuiva-ainetta verrattuna jäteveden mädätysjäännökseen ja biojätteen separoinnin tuloksena saatavaan rejektiveteen. Lisäksi jätevesilietteen mädätysjäännöksen ja biojätteen rejektiveden pH ja sähkönjohtokyky ovat korkeammat kuin jätevedenpuhdistamon rejektivedellä.

**Taulukko 1.** Analysoitujen rejektivesien ja mädätysjäännösten ominaisuuksia (Eurofins Oy 2021).

Analyysi	Yksikkö	Jäteveden-puhdistamon rejektivesi	Jätevesilietteen mädätysjäännös	Mädätetyn biojätteen rejektivesi
pH		6,6	8,5	8,3
Johtokyky	mS/m	23	369	777
Kuiva-aine	%	0,1	15,9	8,3
Kosteus	%	99,9	84,1	91,4
Tuhka	% ka	59,5	44,7	34,8
Hekkutushäviö	% ka	40,5	55,3	65,2
Tilavuuspaino	kg/m <sup>3</sup>	997	1100	1000

Puhdistamolietteen rejektivesinäytteet sisälsivät typpeä keskimäärin 410 g/kg ka, josta liukoista typpeä oli 63,3 g/kg ka eli noin 15,4 %. Puhdistamolietteen kokonaisfosforipitoisuus oli keskimäärin 0,018 g/kg tuoreessa näytteessä, josta liukoisen fosforin osuus oli 573 mg/kg ka. Puhdistamolietteen rejektiveden kaliumpitoisuus oli keskimäärin 0,04 g/kg tuoreessa näytteessä.

Jätevesilietteen mädätysjäännösnäytteiden kokonaistyyppipitoisuus oli keskimäärin 57 g/kg ka, josta liukoista typpeä oli 13,4 g/kg ka eli noin 23,5 %. Näytteiden kokonaisfosforipitoisuus oli keskimäärin 36 g/kg ka, josta liukoisen fosforin osuus oli 743 mg/kg ka. Jätevesilietteen mädätysjäännösnäytteiden kaliumpitoisuus oli keskimäärin 2,8 g/kg ka. Vertailumateriaalina analysoitu mädätetyn biojätteen rejektiveden kokonaistyyppipitoisuus oli 78 g/kg ka, liukoinen tyyppi 47,8 g/kg ka (noin 61 % kokonaistypestä), kokonaisfosforin pitoisuus 12 g/kg ka, liukoinen fosfori 1 700 mg/kg ka ja kaliumin pitoisuus 28 g/kg ka. Tulokset ovat koottuna taulukossa 2.

**Taulukko 2.** Analysoitujen rejektivesien ja mädätysjäännösten ravinne- ja hivenainepitoisuudet (Eurofins Oy).

Analyysi	Jätevesilietteen rejektivesi [g/kg ka]	Jätevesilietteen mädätysjäännös [g/kg ka]	Mädätetyn biojätteen rejektivesi [g/kg ka]
Kokonaistyyppi	410	57	78
Tyyppi (N) vesiliuk.	63,3	13,4	47,8
Fosfori (P) vesiliuk.	573 *	743 *	1 700 *
Fosfori (P) kok.	0,018 **	36	12
Kalium (K)	0,04 **	2,8	28

\* mg/kg ka

\*\* analysoitu tuoreesta näytteestä, g/kg fresh



Jätevedenpuhdistamon rejektiveden näytteistä analysoidut raskasmetallipitoisuudet arseenin, kadmiumin, kromin, elohopean, nikkelin, lyijyn ja sinkin osalta olivat alle määrittämissä rajojen. Raskasmetalleista ainoastaan kuparin pitoisuus oli analysoitavissa, jolloin kolmen näytteen keskiarvopitoisuus kuparille oli 0,03 mg/kg tuoreessa näytteessä. E. Colin pitoisuudet olivat keskimäärin 10 600 MPN/g (MPN, most probable number), eikä näytteiden keskimäärin todettu sisältävän salmonellaa. (Taulukko 3)

Jätevesilietteen mädätysjäännöksen ja biojätteen rejektiveden raskasmetallipitoisuuksista arseenin pitoisuus oli alle määrittämissä rajojen. Kadmiumin keskimääräinen pitoisuus näytteissä oli jätevesilietteen rejektivedellä 1,03 mg/kg ka, kromin 65 mg/kg ka, kuparin 230 mg/kg ka, elohopean 0,41 mg/kg ka, nikkelin 43 mg/kg ka, lyijyn 10,0 mg/kg ka ja sinkin 597 mg/kg ka. Biojätteen rejektivedellä pitoisuudet olivat: kadmium 0,27 mg/kg ka, kromi 37 mg/kg ka, kupari 61 mg/kg ka, elohopea 0,12 mg/kg ka, nikkeli 20 mg/kg ka, lyijy 3,6 mg/kg ka ja sinkki 530 mg/kg ka. Näytteistä määritetty E. Colin pitoisuus oli kaikissa näytteissä alle 10 MPN/g, eikä näytteissä todettu salmonellaa. Jätevesilietteen ja mädätetyn biojätteen rejektivesien sekä jätevesimädätteen raskasmetalli- ja taudinaiheuttajatulokset ovat koottuna taulukossa 3. Taulukossa on lisäksi MMM:n asetuksen (24/11) mukaiset sallitut enimmäispitoisuudet orgaanisten lannoitevalmisteiden sisältämille raskasmetalleille.

**Taulukko 3.** Analysoitujen rejektivesien ja mädätysjäännösten raskasmetalli- ja taudinaiheuttajapitoisuudet (Eurofins Oy 2021).

Analyysi	Jätevesilietteen rejektivesi [mg/kg fresh]*	Jätevesilietteen mädätysjäännös [mg/kg ka]	Mädätetyn biojätteen rejektivesi [mg/kg ka]	Haitallisten aineiden sallitut enimmäispitoisuudet (MMM 24/11) [mg/kg ka]
Arseeni (As)	< 0,2	<5,5	< 5,3	25
Kadmium (Cd)	< 0,02	1,03	0,27	1,5
Kromi (Cr)	< 0,5	65	37	300
Kupari (Cu)	0,03	230	61	600
Elohopea (Hg)	< 0,01	0,41	0,12	1
Nikkeli (Ni)	< 0,5	43	20	100
Lyijy (Pb)	< 0,1	10,0	3,6	100
Sinkki (Zn)	< 0,04	597	530	1 500
E. Coli	10 600	< 10	< 10	
Salmonella	ei todettu / 25 g	ei todettu / 25 g	ei todettu / 25 g	

\*Analysoitu tuoreesta näytteestä

## LIETEPERÄISET JAKEET RAVINTEIDEN LÄHTEINÄ

Jätevedenpuhdistamolla lietteen linkouksessa muodostuva rejktivesi sisältää merkittävät määrät typpeä. Pitoisuus on moninkertainen esimerkiksi lannoitteeksi hyväksytyyn mädätetyn biojätteen rejktiveden typpipitoisuuteen verrattuna. Rejktivesien typpivarantoja hyödyntämällä voitaisiin vähentää fossiilisten polttoaineiden ja neitseellisten raaka-aineiden käyttöä lannoitteiden valmistamisessa.

Ravinteiden talteenottoteknologiat soveltuvat Suomen olosuhteisiin. Esimerkiksi Gasum Oy käyttää Turun-laitoksellaan ammoniakkistriippausmenetelmää, jonka avulla se tuottaa teollisuuden tarvitsemää ammoniakkivettä (Gasum 2019). Monet menetelmistä vaativat kuitenkin isoja investointikustannuksia, ja myös käyttökustannukset voivat olla korkeita, kuten kalvomenetelmissä. Monissa prosesseissa biokaasuprosessista saatavaa sähkö- ja lämpöenergiaa voidaan hyödyntää ravinteiden talteenotossa. Levämenetelmät vaativat toimiakseen valoa ja lämpöä, mikä voi Suomessa talviaikaan olla haasteellista ja aiheuttaa lisäkustannuksia. (Lehtoranta ym. 2021)

Kiertovirrat-hankkeessa tehtyjen selvitysten mukaan jätevesilietteen rejktiveden pitoisuus oli kokonaistyppipitoisuudeltaan moninkertainen muihin analysoituihin materiaaleihin verrattuna. Liukoisen typen osuus kokonaistyppipitoisuudesta oli jätevesipohjaisilla jakeilla kuitenkin huomattavasti pienempi kuin mädätetyn biojätteen rejktivedellä. Tarkastelun kohteena olleista näytteistä mädätetyn biojätteen rejktivesi sisälsi liukoista fosforia noin kolminkertaisen määrän jätevesilietteen fosforiin verrattuna ja yli kaksinkertaisen määrän jätevesilietteen mädätysjäännökseen verrattuna. Suurin kokonaisfosforipitoisuus oli kuitenkin jätevesilietteen mädätysjäännöksellä.

Raskasmetallien osalta hankkeessa otettujen näytteiden ja niistä tehtyjen analyysien perusteella tutkimuksen kohteena olleet materiaalit eivät ylittäneet MMM:n asetuksen (24/11) mukaisia haitallisten aineiden sallittuja enimmäispitoisuuksia. On huomioitava, että vaikka mädätysjäännökset ja niistä separoidut rejktivedet ovat käyneet mädätysprosessissa läpi hygienisoinnin, ei suoraan jätevedenpuhdistamolla lietteen linkouksessa muodostuva rejkti kuitenkaan ole hygienisoitua. Näin ollen puhdistamon rejktiveden mahdollinen lannoitekäyttö vaatii materiaalin hygienisointikäsittelyn.

## LÄHTEET

Eurofins Oy. Tutkimustodistus. 2021.

Evira. 2016. Eviran määräys kansallisesta lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelosta. Elintarviketurvallisuusvirasto. Saatavissa: [https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/tyyppinimiluettelo\\_konsolidoitu\\_27\\_12\\_2017.pdf](https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/tyyppinimiluettelo_konsolidoitu_27_12_2017.pdf) [viitattu 24.11.2021]

Finnilä, J. 2018. Anaerobisen jätevedenkäsittelyn jälkeinen fosforin ja typen talteenotto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemianteeniikka. Tekniikan kandidaatintyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158519/Kandidaatin-ty%C3%B6\\_finnil%C3%A4\\_jenna.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158519/Kandidaatin-ty%C3%B6_finnil%C3%A4_jenna.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 17.8.2020]

Gasum. 2019. Näin kiertotalous toimii Turussa – kotien jätevesillä ilmastonmuutosta vastaan. Saatavissa: <https://gasum.com/ajassa/tulevaisuuden-energia/2019/nain-kiertotalous-toimii-turussa/> [viitattu 26.11.2021]

Gasum Biovakka Oy. 2016. Jätevesitypen talteenotto ja hyödyntäminen kierrätysravinteena – Kiertotyyppi -hanke. Loppuraportti.

Heinonen, T. 2014. Biokaasulaitoksen rejektiveden kierrätys prosessivetenä. Hämeen ammattikorkeakoulu. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/78784/Heinonen\\_Taru.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/78784/Heinonen_Taru.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 17.8.2020]

Kansallinen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelo. S.a. Ruokavirasto. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/tyyppinimiluettelo\\_konsolidoitu\\_22\\_11\\_2019.pdf](https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/tyyppinimiluettelo_konsolidoitu_22_11_2019.pdf) [viitattu 20.4.2021]

Lehtoranta, S., Malila, R., Fjäder, P., Laukka, V., Mustajoki, J., Äystö, L. 2021. Jätevesien ravinteet kiertoon turvallisesti ja tehokkaasti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18/2021. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/328632/SYKEra\\_18\\_2021\\_NORMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/328632/SYKEra_18_2021_NORMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 9.11.2021]

Leväsieppari-hanke. 2020. Loppuraportti. Leväsieppari – Ravinteet talteen ja kiertoon luonnonmukaisesti (LeväRaki). PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.vanajavesi.fi/2018/wp-content/uploads/2020/05/LOPPURAPORTTI\\_31.3.2020.pdf](https://www.vanajavesi.fi/2018/wp-content/uploads/2020/05/LOPPURAPORTTI_31.3.2020.pdf) [viitattu 9.11.2021]

Righetto, I., Al-Juboori, R., Kaljunen, J., Mikola, A. 2021. Wastewater treatment with starch-based coagulants for nutrient recovery purposes: Testing on lab and pilot scales. Journal of Environmental Management 284. 112021

Sääluoto, K. S.a. Struviitin valmistus. Hämeen ammattikorkeakoulu. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2018/07/Struviitin-valmistus.pdf> [viitattu 22.4.2021]

Virtanen, J. 2020. Määtetyn jätevesilietteen jatkojalostus. Tampereen yliopisto. Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/121012/VirtanenJohanna.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [17.8.2020]

Ympäristö.fi. 2021. Yhdyskuntajätevesien ravinteiden turvallinen hyödyntäminen edellyttää uusien menetelmien käyttöönottoa. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Yhdyskuntajätevesien\\_ravinteiden\\_turvall\(60262\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Yhdyskuntajätevesien_ravinteiden_turvall(60262)) [viitattu 17.11.2021]

# JÄTEVESILIETTEEN HYÖTYKÄYTTÖ BIOKAASUN RAAKA-AINEENA

Salla Pulliainen & Jussi Konttila

Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla osana puhdistusprosessia käytetään jäteveden käsitteilyssä prosessikemikaaleja. Ne lisätään puhdistusprosessiin, jotta jäteveden kiintoaine ja fosfori saataisiin saostettua pois jätevedestä. Saostukseen käytettäviä kemikaaleja ovat muun muassa moniarvoiset rauta-, kalsium- ja alumiini-ionit. Näistä muun muassa II-arvoinen rauta- eli ferrosulfaatti on Suomessa laajasti käytössä. (Kaukonen 2019)

Kun jätevedestä poistetaan kiintoainetta, fosforia, ravinteita ja haitta-aineita, syntyy paljon eri lietteitä: primääri- eli raakalietettä, kemiallisen saostuksen seurauksena syntyvä fosforipitoinen liete, prosessissa kierrätettävää bio- eli aktiivilietettä sekä jälkiselkeytyksessä syntyvää laskeutuslietettä. Nämä lietteet usein yhdistetään ja voidaan käyttää muun muassa biokaasuntuotannon raaka-aineena. (Kymäläinen ja Pakarinen 2015)

Kiertovirrat-hankkeessa toteutettiin biokaasupanoskokeet laboratoriomittakaavassa pullokokeina. Tavoitteena oli selvittää saostuskemikaalin rauta(II)sulfaatin eli ferrosulfaatin ( $\text{FeSO}_4$ ) vaikutusta jätevesilietteen mädätysprosessiin sekä biokaasun ja metaanin tuottoon.

## LABORATORIOKOKKEET PANOSREAKTOREILLA

Panoskokeet pullopanoksilla suoritettiin optimiolosuhteissa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa. Kokeissa käytettävistä materiaaleista ympäri oli peräisin märkäreaktorista ja ferrosulfaattivapaa jätevesiliete Mikkelin Kenkäveronniemen jätevedenpuhdistamolta suoraan loka-autosta. Kokeissa käytetty ferrosulfaatti saatiin Mikkelin vesilaitokselta.

Panosreaktoreina käytettiin kahden litran lasipulloja ja jokaisesta testattavasta seoksesta tehtiin kolme rinnakkaisreaktoria. Toimivasta biokaasureaktorista haetun ympin tehtävänä oli käynnistää mädätysprosessi pullopanoksissa. Pullopanoksissa ymppejä ja jätevesilietettä lisättiin molempia jokaiseen reaktoriin 750 g. Vertailusarjassa, jossa käytettiin vain ymppejä, jäteveden määrä korvattiin tislattulla vedellä siten, että kokonaismassaksi tuli 1 500 g. Koejärjestelyt ovat esitettyinä taulukossa 1.

**TAULUKKO 1.** Panoskoesarjan materiaalit ja niiden sisältämät TS- ja VS-määrät.

Panos	TS (g)	VS (g)
ymppi 750 g	48,95	35,41
ymppi 750 g + jätevesiliete 750 g	50,20	36,22
ymppi 750 g + jätevesiliete 750 g + FeSO <sub>4</sub> 0,1 ml	50,20	36,22
ymppi 750 g + jätevesiliete 750 g + FeSO <sub>4</sub> 1,0 ml	50,20	36,22

Panosten pH säädettiin arvoon 7, minkä jälkeen reaktorit puskuroitiin natriumvetykarbonaatilla (NaHCO<sub>3</sub>). Vain ymppiä ja tislattua vettä sisältäviin panoksiin ei tehty puskurointia. Kasauksen ja pH-säädön jälkeen yhteen sarjaan lisättiin kuhunkin pulloon 0,1 ml ja toiseen sarjaan 1 ml rautasulfaattia. Pienempi annos vastaa jätevetteen normaalisti lisättävää rautasulfaattimäärää (0,013 % jäteveden määrästä) ja 1 ml:n annos noin kymmenkertaista, lähellä laitoksen käyttämää enimmäismäärää (Repo 2021).

Panoksiin luotiin anaerobiset olosuhteet huuhtelemalla niitä typpivirralla noin kolmen minuutin ajan. Huuhtelun jälkeen panoksiin liitettiin kaasupussit, ja ne asetettiin lämpökaappiin + 42 °C:seen. Panoksia käytiin sekoittamassa viisi kertaa viikossa kevyesti pyöräyttämällä. (Kuva 1)



**KUVA 1.** Pullopanokset lämpökaapissa kaasupussit kiinnitettyinä. (Kuva Jussi Konttila)

Biokaasun ja metaanin mittaukset suoritettiin kaksi kertaa viikossa. Kaasupusseihin kertynyt biokaasu mitattiin vesivaa’alla, jossa kaasun tilavuus lasketaan syrjäytyneen vesimäärän perusteella. Biokaasun sisältämän metaanin pitoisuus mitattiin kaasukromatografilla (Agilent Technologies 7890A GS System + 7693 Autosampler). Kaasukromatografissa oli käytössä Perkin Elmerin Elite-Alumina-kolonne ja standardikaasuna HNU Nordion LTD Oy:n UN1954-kaasu (60 % metaania ja 40 % hiilidioksidia).

Ympistä, lietteestä ja mädätteistä määritettiin kuiva-ainepitoisuus ja orgaaninen aines, joiden lisäksi ympistä ja mädätteistä määritettiin alkaliteetti, pH ja sähkönjohtokyky. Analyysimenetelmät ja -standardit ovat koottuina taulukossa 2.

**TAULUKKO 2.** Analyysimenetelmät ja -laitteisto.

Parametri	Analyysi- menetelmä	Laitteisto	Muuta
<b>pH</b>	SFS 3021, Veden pH- arvon määrittäminen	pH Meter WTW 3310	Biokaasureaktorin pH tyypillisesti n. 7–8. Hyvin toimivan reaktorin pH pysyy vakiotasolla. <sup>a</sup>
<b>Kuiva-ainepitoisuus (TS) ja orgaaninen aines (VS)</b>	SFS 3008 Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäätännöksen määrittäminen	Lämpökaappi WTC Binder ja hehkutusuuni Nabert-herm B180	Märkäprosessissa syötteen TS alle 15 %, kuivaprosessissa n. 20–40 %. <sup>a</sup> Mitä korkeampi VS/TS-suhde ja mitä helpommin hajoaava VS-aines on, sitä sopivampi syöte on biokaasuprosessiin. <sup>a</sup>
<b>Metaanipitoisuus</b>	Kaasukromatografia, GC-FID	Agilent 7890A GC-FID	Perkin Elmerin Elite-Alumina pituus 30 m, ID 0,53 mm ja df 10 µm. Cat no N9316304
<b>Biokaasun määrä</b>	Vesivaaka		
<b>Alkaliteetti</b>	Pohjautuu metodiin 3230B, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	Radiometer PHM 210 pH Meter	Ilmaistaan IA/PA-suhdelukuna, joka kertoo prosessin vakaudesta.

<sup>a</sup> Kymäläinen & Pakarinen 2015.

## TULOKSET JA YHTEENVETO

Puretuista kokeista määritetyt alkaliteetti, pH- ja johtokykyarvot sekä kuiva-aine- ja orgaanisen aineen pitoisuudet on esitetty taulukossa 3. Arvoista nähdään, että kokeissa käytetyn jätevesilietteen kuiva-aineen (TS %) ja orgaanisen aineen (VS %) pitoisuudet olivat hyvin matalat. Tämä näkyy myös reaktorien välisissä tuloksissa: vain ymppeä sekä ymppeä ja jätevesilietettä sisältävien reaktorien pitoisuudet olivat lähes samat. Näin ollen jätevesilietteen vaikutusta biokaasun ja metaanin tuottoon on vaikea arvioida. Ferrosulfaatin vaikutusta ei tässä kokeessa pystytty arvioimaan jätevesilietteen matalien TS- ja VS-pitoisuuksien vuoksi.

**TAULUKKO 3.** Panoskoesarjan materiaalit ja niiden sisältämät prosentuaaliset TS- ja VS-pitoisuudet, VS-pitoisuuden osuus kuiva-aineesta, IA/PA-luvut ja sähkönjohtokyky.

Panos	TS %	VS %	VS% / TS%	IA/PA	Johtokyky [mS/cm]
ymppe 750 g	2,6	1,7	66,2	0,39	16,6
ymppe 750 g + jätevesiliete 750 g	2,8	1,8	63,4	0,33	19,5
ymppe 750 g + jätevesiliete 750 g + FeSO <sub>4</sub> 0,1 ml	2,9	1,7	61,4	0,36	19,3
ymppe 750 g + jätevesiliete 750 g + FeSO <sub>4</sub> 1,0 ml	2,8	1,8	62,9	0,35	19,4

Tutkimusten mukaan ferrosulfaatti vaikuttaa mädätysprosessiin muun muassa heikentämällä lietteen biokemiallista metaanintuottopotentiaalia, inhiboimalla metaanin tuotantonopeutta sekä hidastamalla prosessin käynnistymistä (Liu ym. 2020). Biokaasukokeiden aikana ilmeni erinäisiä haasteita liittyen sekä koemateriaaleihin että menetelmiin. Kokeissa käytetty jätevesi koostui täysin kotitalouksien jätevesistä. Tavallisesti jätevedenpuhdistamolle saapuva jätevesi sisältää muun muassa teollisuuden, sairaaloiden sekä liikenteen jäte- ja hulevesiä, jolloin saapuvan jäteveden kemikaalikuorma on suurempi. Saapuva jätevesi käy puhdistamalla läpi monivaiheisen biologis-kemiallisen prosessin, jollaista ei voitu tässä koejärjestelyssä mallintaa. Tämän lisäksi jäteveden orgaanisen aineksen pitoisuus oli erittäin matala, mikä luo haasteita tulkita kaasumittausten tuloksia. Näiden takia heräsi epäilyt saatujen biokaasu- ja metaanitulosten luotettavuudesta ja käyttökelpoisuudesta. Tästä syystä ei näiden biokaasukokeiden perusteella voida luotettavasti arvioida ferrosulfaatin vaikutusta biokaasuprosessiin.



## LÄHTEET

Kaukonen, P. 2019. Fosforin poiston tehostaminen kunnallisessa jäteveden puhdistuksessa. LUT-yliopisto. Kemianteeniikan koulutusohjelma. Tekniikan kandidaatintyö. PDF-dokumentti. Saatavilla: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159754/kandidaatin-tyo\\_Petra\\_Kaukonen.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159754/kandidaatin-tyo_Petra_Kaukonen.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 15.9.2021]

Kymäläinen, M., Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia – Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeen ammattikorkeakoulu. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK\\_Biokaasun\\_tuotanto\\_2015\\_ekirja.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf) [viitattu 15.9.2021]

Liu, X., Wu, Y., Xu, Q., Du, M., Wang, D., Yang, Q., Yang, G., Chen, H., Zeng, T., Liu, Y., Wang, Q., Ni, B. 2021. Mechanistic insights into the effect of poly ferric sulfate on anaerobic digestion of waste activated sludge. *Water Research* 189. 116645

Repo, R. 2021. Kirjallinen tiedoksianto. 26.1.2021. Mikkelin Vesilaitos

# JÄTEVESILIETTEEN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET

Salla Pulliainen & Jussi Konttila

Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla syntyvät sivuvirrat, kuten liete ja rejektivesi, pitävät sisällään ravinteita mutta myös haitta-aineita. Ravinteet, kuten typpi ja fosfori, tulee saada eroteltua lietteestä tehokkaammin, jotta ne voidaan hyödyntää esimerkiksi kierrätyslannoitteiden valmistuksessa. Yhdyskuntajätevesilietteen entistä tehokkaampi hyödyntäminen lannoitekäytössä vaatii lisää tutkimustietoa lietteen laadullisista ominaisuuksista ja eri käsittelymenetelmien vaikutuksesta lietteen laatuun. Lisäksi on tarkasteltava, kuinka yhdyskuntajätevesilietteen sisältämät ravinteet ja energia saadaan hyödynnettyä kiertotalouden kannalta tehokkaimmin. Kun lietteen sisältämien haitta-aineiden pitoisuudet ovat paremmin tiedossa, voidaan lainsäädännöllä ohjata lietteen käsittelymenetelmiä ja turvallista käyttöä lannoitteena ja maanparannusaineena. Uudet, tehokkaammat menetelmät ravinteiden talteenotossa ovat askel siirtymisessä perinteisestä jätevedenpuhdistuksesta kohti jäteveden resurssien talteenottoa ja tuotantoa.

Kiertovirrat-hankkeessa toteutettiin useita laboratorio- ja pilot-mittakaavan kokeita, joissa testattiin yhdyskuntajätevesilietteen käyttämistä erilaisten kiertotalouspohjaisten tuotteiden raaka-aineena. Tehtyjen kokeiden avulla tuotettiin tietoa eri tavoin käsitellyn yhdyskuntajätevesilietteen ja sen eri jakeiden ominaisuuksista sekä lietteen hyödynnettävyydestä osana kiertotaloutta. Hankkeen tulokset ovat yritysten, kuntien ja muiden alan toimijoiden käytettävissä.

## PUHDISTAMOLIETTEEN KÄSITTELYVAIHTOEHTOJA

Hankkeessa polttolaitoksille tehdyn kyselyn mukaan puhdistamolietteen käsittely polttamalla voisi olla Suomessa varteenotettava vaihtoehto. Se nähdään kannattavana vaihtoehtona siinä tapauksessa, mikäli keskitetty polttolaitos lietteitä varten rakennettaisiin esimerkiksi Etelä-Suomeen. Tällä hetkellä Suomessa operoi vain yksi lietettä polttava laitos, joka sijaitsee Rovaniemellä. Puhdistamolietteen polton hyötyjä ovat muun muassa lietteen volyymin pieneneminen, patogeenien tuhoutuminen ja poltosta saatava energia.

Polton haasteina nähdään kuitenkin lainsäädännön asettamat rajoitukset lopputuotteelle, suuret investointikustannukset sekä raaka-aineen pitkät kuljetusmatkat. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2008/98/EY käyttöön otetun jätehierarkian mukaan yhdyskuntajätevesilietettä tulisi kuitenkin ensisijaisesti käyttää uudelleen sellaisenaan tai

uusioikäkäyttää, jolloin liete tulisi ensisijaisesti hyödyntää esimerkiksi lannoitteena tai sen raaka-aineena. Puhdistamolietteen poltto voi kuitenkin olla perusteltua, etenkin mikäli jäteveden sisältämät fosfori ja typpi pystytään ottamaan talteen ennen lietteen polttoa ja poltossa syntyvä tuhka voidaan turvallisesti hyödyntää esimerkiksi maanparannusaineena.

Hankkeessa tutkittiin lietteen polton ohella hiilletyn lietteen turvallisuutta ja siten mahdollisuutta hyödyntää puhdistamoliete lietehiilenä. Laboratoriomittakaavan kokeissa testattiin hiilletyn lietteen ekotoksisuutta sekä lietteen sisältämän mikromuovin poistumista lietteestä eri hiiltoämpötiloissa. Kokeiden perusteella hiilletyllä lietteellä ei ollut toksista vaikutusta *V. Fischeri* -bakteerin valontuotantoon ja mikromuovien (> 95 %) todettiin testien ja kirjallisuuden perusteella hajoavan yli 450 °C:n lämpötilassa. Puhdistamolietteen hyödyntämisen kannalta sen sisältämälle mikromuoville ei vielä ole lainsäädännössä asetettu sallittua enimmäispitoisuutta. Lietteen sisältämä mikromuovi tulee kuitenkin ottaa huomioon yhdessä muiden haitta-aineiden ohella, kun harkitaan lietteen jatkokäyttöä esimerkiksi lannoitteena tai maanparannusaineena.

Kompostointi on yksi yleisimmistä jätevesilietteen käsittelymenetelmistä. Vesilaitosyhdistyksen tekemän selvityksen mukaan esimerkiksi vuonna 2019 Suomessa muodostuvista puhdistamolietteistä 16 % käsiteltiin kompostoimalla ja 43 % kompostoitiin mädätyksen jälkeen (Vesilaitosyhdistys 2021). Jätevesilietteen kompostointiin käytettävää ympäristöturvetta käytetään esimerkiksi pelkästään Helsingin seudun ympäristöpalvelujen (HSY) toiminnassa noin 100 000 m<sup>3</sup> vuodessa (Soimakallio ym. 2020). Selvityksen mukaan turpeen energiakäytön lisäksi myös turpeen ympäristökäyttöä tulee vähentää ja siten löytää uusia, korvaavia materiaaleja turpeen kompostikäytön tilalle. Kiertovirrat-hankkeessa testattiinkin jätevesilietteen kompostointia kuivikehampun avulla ja kokeiden tuloksena saatiin tietoa turpeen ja kuivikehampun käytön eroista osana lietteen kompostointia.

Hankkeessa tehdyn kirjallisuuskatsauksen perusteella Suomessa yhdyskuntajätevesilietteen sisältämän fosforin saostuksessa käytetään yleisimmin kemiallisia polymeerejä. Kemiallinen saostus kuitenkin heikentää lietteeseen päätyvän fosforin liukoisuutta ja siten sen käyttökelpoisuutta kasveille (Lehtoranta ym. 2021). Vaihtoehtona kemialliselle saostukselle on ravinteiden talteenotossa sovellettu ja testattu jonkin verran biopohjaisten ratkaisujen käyttöä lietteen saostuksessa. Righetto ym. (2021) sovelsivat tärkkelys- ja tanniinipohjaisia koagulantteja rejektiveden ravinteiden talteenotossa. Tutkimuksen mukaan biopohjaisilla koagulanteilla syntyneen lietteen laatu oli muun muassa laskeutuvuudeltaan ja suodatettavuudeltaan laadukkaampaa kuin kemiallisesti saostettu liete. Vaikka biopohjaiset koagulantit ovat potentiaalinen korvaaja kemiallisille koagulanteille, on selvítettävä ja kehitettävä myös esimerkiksi biopohjaisten koagulanttien käytön kustannustehokkuutta. Suomessa esimerkiksi metsäteollisuus ja siitä syntyvät sivuvirrat voisivat olla potentiaalinen biopohjaisten koagulanttien raaka-ainelähde.

## LÄHTEET

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta. 19.11.2008. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex%3A32008L0098> [viitattu 24.11.2021]

Lehtoranta, S., Malila, R., Fjäder, P., Laukka, V., Mustajoki, J., Äystö, L. 2021. Jätevesien ravinteet kiertoön turvallisesti ja tehokkaasti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18/2021. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/328632/SYKEra\\_18\\_2021\\_NORMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/328632/SYKEra_18_2021_NORMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 24.11.2021]

Righetto, I., Al-Juboori, R., Kaljunen, J., Mikola, A. 2021. Wastewater treatment with starch-based coagulants for nutrient recovery purposes: Testing on lab and pilot scales. *Journal of Environmental Management* 284. 112021

Soimakallio, S., Sankelo, P., Kopsakangas-Savolainen, M., Sederholm, C., Auvinen, K., Heinonen, T., Johansson, A., Judl, J., Karhinen, S., Lehtoranta, S., Räsänen, S., Savolainen, H. 2020. Turpeen rooli ja sen käytöstä luopumisen vaikutukset Suomessa. Tekninen raportti. Sitra. Saatavissa: <https://media.sitra.fi/2020/06/31150012/turpeen-rooli-ja-sen-kaytosta-luopumisen-vaikutukset-suomessa-tekninen-raportti.pdf> [viitattu 24.11.2021]

Vesilaitosyhdistys. 2021. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus vuosilta 2019–2020. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja 71. Helsinki. Saatavissa: [https://www.vvy.fi/site/assets/files/4691/yhdyskuntalietteen\\_kasittelyn\\_ja\\_hyodyntamisen\\_nykytilannekatsaus\\_2021.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/4691/yhdyskuntalietteen_kasittelyn_ja_hyodyntamisen_nykytilannekatsaus_2021.pdf) [viitattu 24.11.2021]



