



JÄTEVESIEN HAITALLISTEN AINEIDEN VÄHENTÄMINEN

Riina Tuominen (toim.)



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Riina Tuominen (toim.)

JÄTEVESIEN HAITALLISTEN AINEIDEN VÄHENTÄMINEN



XAMK KEHITTÄÄ 196

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI 2022

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Manu Eloaho 2019

Taitto: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-439-3 (PDF)

ISSN: 2489-3102 (verkkójulkaisu)

julkaisut@xamk.fi

LUKIJALLE

Vemo – Kaupunkien jätevesien haitallisten aineiden vähentäminen monitorointia tehostamalla -hanke toteutettiin yhteistyössä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan ja Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT Erotustekniikan osaston kesken. Hankkeessa tarkasteltiin haitallisten aineiden päästölähteitä ja viemärivereden laatua. Lisäksi testattiin erilaisten mittaus- ja monitorointimenetelmien soveltumista jäteveden laadun seurantaan ja etsittiin vaihtoehtoja perinteiselle näytteenotolle. Hankkeen toimenpiteiden tarkoituksena oli saada tietoa uusista, toistaiseksi vähän käytetyistä menetelmistä jäteveden laadun ja siihen vaikuttavien tekijöiden seurannassa. Tämän julkaisun artikkeleissa selvitetään jäteveden haitta-aineiden määrään ja laatuun vaikuttavia tekijöitä sekä päästölähdekohtaisten poistomenetelmien mahdollisuuksia ja soveltuvuutta käyttötarkoitukseensa.

Vemo-hanke on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja LUT-yliopiston yhteishanke. Hanketta rahoitti ympäristöministeriö Vesiensuojelun tehostamisohjelmasta (www.ym.fi/vedenvuoro) 280 000 eurolla. Hanketta toteutettiin ajalla 1.1.2020–30.6.2022. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa hankkeen projektipäällikkönä toimi ins. (ylempi AMK) Riina Tuominen ja tutkimusinsinöörinä ins. (AMK) Aki Volanen (ajalla 30.6.–31.8.2020) sekä ins. (AMK) Lasse Hämäläinen (ajalla 1.9.2020–30.6.2022). Vemo-hankkeen vastuullisena johtajana toimi tutkimusjohtaja, FT Lasse Pulkkinen, hankkeen yhteyshenkilönä tutkimusryhmäpäällikkö, TkT Hanne Soininen ja hankeasiantuntijana Hanna-Maija Penttinen. LUT-yliopistossa hankkeen projektipäällikkönä toimi projektitutkija, DI Perttu Salmi, tutkijana FT Mirka Viitala ja tutkimusapulaisena TkK Mikko-Jussi Laine.

Hanketyön etenemistä ohjasi ja valvoi ohjausryhmä, johon kuuluivat Mikkelin vesiliikelaituksen johtaja Reijo Turkki varahenkilönään verkostoinsinööri Sami Kaipainen, Suomen ympäristökeskuksen kehittämisspäällikkö Teemu Näykki, projektipäällikkö Iiro Kiukas Ramboll Finland Oy:stä, professori Mari Kallioinen-Mänttari LUT-yliopistosta sekä tutkimusryhmäpäällikkö Hanne Soininen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta. Hankkeen ohjausryhmässä rahoittajan edustajina toimivat Etelä-Savon ELY-keskuksen rahoitusasiantuntija Esa Pekonen ja ympäristösuunnittelija Tuula Vanhanen.

Hanketoimijat kiittävät hankkeen rahoittajia kehittämistyön mahdollistamisesta sekä muita hankkeeseen osallistuneita aktiivisesta osallistumisesta hanketyöhön.

Mikkelissä 27.6.2022

Riina Tuominen, projektipäällikkö

KIRJOITTAJAT

ILKKA DAHLSTRÖM, sähkötekniikan DI, projekti-insinööri
EHP Environment Oy

LASSE HÄMÄLÄINEN, ins. (AMK), tutkimusinsinööri
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

SAMI KAIPAINEN, insinööri, ympäristötekniikka, verkostopäällikkö
Mikkelin Vesilaitos

MARI KALLIOINEN-MÄNTTÄRI, TkT, professori
LUT-yliopisto

MIKKO-JUSSI LAINE, TkK, tutkimusapulainen
LUT-yliopisto

TONI LAURILA, toimitusjohtaja
Sensmet Oy

MIKA MÄNTTÄRI, TkT, professori
LUT-yliopisto

PERTTU SALMI, DI, projektitutkija
LUT-yliopisto

HANNE SOININEN, TkT, tutkimusryhmäpäällikkö
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

RIINA TUOMINEN, ins. (ylempi AMK), projektipäällikkö
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

MIRKA VIITALA, FT, tutkija
LUT-yliopisto

AKI VOLANEN, ins. (AMK), tutkimusinsinööri
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

SISÄLTÖ

LUKIJALLE	3
KIRJOITTAJAT	4
JÄTEVESIEN HAITALLISTEN AINEIDEN VÄHENTÄMINEN MONITOROINTIA TEHOSTAMALLA	6
Riina Tuominen & Hanne Soininen & Mirka Viitala & Mari Kallioinen-Mänttari	
JÄTEVESIEN HAITTA-AINEET	9
Riina Tuominen & Aki Volanen & Lasse Hämäläinen & Perttu Salmi & Mirka Viitala & Sami Kaipainen	
JÄTEVESIEN LÄÄKEAINEET	17
Riina Tuominen & Perttu Salmi & Mirka Viitala	
SAIRAALAN JÄTEVESIEN LÄÄKEAINEET JA NIIDEN KUORMITUS KUNNALLISELLE JÄTEVEDENPUHDISTAMOLLE	27
Perttu Salmi & Mari Kallioinen-Mänttari & Mika Mänttari & Mikko-Jussi Laine	
JÄTEVESIEN MIKROMUOVIT	39
Riina Tuominen & Aki Volanen & Perttu Salmi & Mirka Viitala	
AUTOPESULA RASKASMETALLIEN JA MIKROMUOVIEIN PÄÄSTÖLÄHTEENÄ	46
Perttu Salmi & Mirka Viitala & Mari Kallioinen-Mänttari & Mika Mänttari	
JÄTEVESIEN METALLIT	64
Riina Tuominen & Perttu Salmi & Mirka Viitala	
JÄTEVESIEN LAADUN SEURANTA JATKUVATOIMISELLA MITTAUKSELLE ...	73
Lasse Hämäläinen & Riina Tuominen & Ilkka Dahlström & Toni Laurila	
OHJEISTUS JÄTEVESIEN HAITTA-AINEIDEN VÄHENTÄMISEKSI	88
Riina Tuominen & Lasse Hämäläinen & Mirka Viitala & Perttu Salmi	
JÄTEVESIEN HAITTA-AINEIDEN VÄHENTÄMINEN EDISTÄÄ VESIEN HYVÄÄ TILAA	94
Riina Tuominen & Perttu Salmi & Mirka Viitala	

JÄTEVESIEN HAITALLISTEN AINEIDEN VÄHENTÄMINEN MONITOROINTIA TEHOSTAMALLA

Riina Tuominen & Hanne Soininen & Mirka Viitala & Mari Kallioinen-Mänttari

Vemo – Kaupunkien jätevesien haitallisten aineiden vähentäminen monitorointia tehostamalla -hankkeessa kartoitettiin haitallisten aineiden päästölähteitä ja viemärivereden laatua sekä selvitettiin erityisjätevesille soveltuvien uusien, erillisten käsittelyprosessien soveltuvuutta ja vaikuttavuutta. Hankkeen tulokset auttavat jätevesien kustannustehokkaamassa hallinnassa edistämällä haitallisten aineiden puhdistamista ja vähentämistä jätevesistä niiden alkuperäisellä päästölähteellä.

Vemo-hanketta toteuttivat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu ja LUT-yliopisto ajalla 1.1.2020–30.6.2022. Hanketta rahoitti ympäristöministeriö Vesiensuojelun tehostamisohjelmasta (www.ym.fi/vedenvuoro).

TAVOITTEENA VÄHENTÄÄ JÄTEVESIEN HAITALLISIA AINEITA

Hankkeen tavoitteena oli ehkäistä haitallisten aineiden pääsyä jätevesiin. Haitallisten aineiden vähentämistä tuettiin hankkeen toimenpiteillä, jotka keskittyivät haitallisten aineiden päästölähteiden tunnistamiseen, haitta-aineiden kulkeutumisen selvittämiseen, kohdekohtaisten käsittely- ja puhdistusprosessien kehittämiseen sekä ohjeistuksen laadintaan. Laadittavaan ohjeistukseen koottiin yhteen eri toimenpiteissä saatua tietoa. Vähentämällä ja korvaamalla haitallisten aineiden käyttöä sekä kohdekohtaisten poistomenetelmien käytön otolla pyritään ehkäisemään haitallisten aineiden jätevesiin pääsyä.

HANKKEEN TOIMENPITEET

Hankkeen toimenpiteissä tehtiin selvityksiä sekä tutkittiin, testattiin ja kehitettiin uusia menetelmiä haitallisten aineiden vähentämiseksi jätevesissä. Hanke jakautui neljään toimenpiteeseen, jotka ovat nähtävissä kuvassa 1.



Kuva 1. Vemo-hankkeen toimenpiteet.

Päästölähdekohtaisella haitta-aineiden kartoituksella pyrittiin saamaan kokonaiskuva toimialakohtaisesti esiintyvien erilaisten haitta-aineiden ominaisuuksista ja vaikutuksista sekä niiden liikkuvuudesta maaperässä ja vesistöissä. Toimenpiteessä selvitettiin pilottialueena toimivan Mikkelin kaupungin taajama-alueen nykytilannetta kartoittamalla ja tunnistamalla jätevesiviemäriin päätyviä haitallisia aineita, niiden merkittävimpiä päästölähteitä ja nyky menetelmiä niiden seuraamiseen. Selvityksessä keskityttiin erityisesti hankkeen pilottikohteiden riskitekijöihin, niiden esiintyvyyteen, havaitsemiseen ja vaikutuksiin. Haitallisten aineiden päästölähteiden tunnistamisella voidaan edistää päästöjen vähentämistä niiden syntysijoilla, mikä on kustannus- ja resurssitehokkaampaa kuin poisto jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessissa.

Haitta-aineiden online-monitorointia ja kulkeutumista selvittäessä valittiin esimerkkikohteet, joista selvitettiin jätevesistä löytyviä haitta-aineita ja niiden pitoisuuksia. Valintaa varten kerättiin tarvittavia taustatietoja ja kartoitettiin haitta-aineiden esiintyvyyttä esimerkiksi kohteiden ympäristössä avoimen ympäristötiedon, jätevedenpuhdistamon seurantatiedon, aiempien tutkimushankkeiden ja valikoitujen näytteenottojen avulla. Toimenpiteessä testattiin myös eri menetelmiä haitta-aineiden havaitsemiseksi laboratorio- ja kenttäolosuhteissa. Havaitsemisessa käytettiin apuna jatkuvatoimista mittauksia, jolla selvitettiin jäteveden laadunvaihtelua sekä raskasmetallipitoisuuksien online-monitorointia. Hankkeessa tehdyn selvityksen ja monitoroinnin avulla voidaan entistä paremmin kartoittaa haitallisten aineiden, kuten raskasmetallien, lääkejäämien ja mikromuovien, määrää viemärijärjestelmässä ja selvittää eri aineiden tyypillisiä päästölähteitä.

Lääkeainepäästöjen osalta hankkeessa selvitettiin niin kutsuttuna erityisjätevetenä sairaalajäteveden sisältämien lääkeainepäästöjen vaikutusta kunnallisen jätevedenpuhdistamon

kokonaislääkeainekuormitukseen. Tähän syvennyttiin sekä näytteenoton että kirjallisuustietojen perusteella. Tavoitteena oli lisätä ymmärrystä siitä, miten lääkeaineiden poistaminen jätevesistä voitaisiin tehdä tehokkaimmin ja mikä on sairaalan jäteveden merkitys kunnallisen jätevedenpuhdistamon kokonaislääkeainekuormalle. Hankkeen tulokset tuovat tältä osin uutta tietoa sairaalajäteveden erillispuhdistamisen vaikutuksesta lääkeaineiden poistamisessa. Toisena erityisjätevetenä hankkeessa tutkittiin autopesuloiden jätevesiä ja niiden merkitystä raskasmetalli- ja mikromuovilähteenä. Autopesulajätevesi valittiin tutkimuskohteeksi, koska kirjallisuuden perusteella autopesulaveden merkityksestä kaupunkiympäristön päästölähteenä on saatavilla suhteellisen vähän tietoa ja suurin osa julkaistuista tutkimustuloksista on tuotettu Euroopan ulkopuolella. Hankkeen tuottamat kirjallisuusselvitys ja kokeellisen työn tulokset tarjoavat nyt entistä paremman mahdollisuuden arvioida autopesuloiden merkitystä kaupunkiympäristön jätevesien päästölähteenä. Lisäksi ne tuovat esille tietoa mahdollisista erilliskäsittelymenetelmistä kuorman pienentämiseksi.

Viestinnässä, tulosten jalkauttamisessa ja raportoinnissa laadittiin ohjeistus toiminnanharjoittajille, kunnille ja kuluttajille eri haitta-aineiden viemäriverkostoon pääsyn ennaltaehkäisyyn ja vähentämiseen. Ohjeistuksessa kerrotaan eri haitta-aineita sisältävien aineiden oikeasta käsittelystä ja mahdollisista korvaavista tuotteista. Ohjeistus on vapaasti saatavissa, ja siitä tiedotetaan eri käyttäjäryhmiä. Ohjeistuksella pyritään lisäämään erityisesti lääkeaineisiin ja mikromuoveihin liittyvää tietoisuutta kuluttajien keskuudessa.

Hankkeen aikana järjestettiin työryhmäpalavereja, joissa suunniteltiin toimenpiteitä ja keskusteltiin saaduista tuloksista. Hankkeen etenemisestä ja tuloksista viestittiin ohjausryhmän palavereissa, järjestetyissä tilaisuuksissa sekä hankkeen verkkosivujen kautta.

TULOKSENA TIETOA HAITTA-AINEIDEN JÄTEVESIIN PÄÄSYN EHKÄISEMISESTÄ

Hankkeessa tehty ohjeistus eri haitta-aineiden käsittelystä ja korvaavista ratkaisuista ja menetelmistä on vapaasti kaikkien toimijoiden käytössä valtakunnallisesti. Hankkeen toimenpiteiden tulokset auttavat ehkäisemään haitallisten aineiden päästöjä jätevesiin ja siten myös käsiteltyjä jätevesiä vastaanottavaan vesiympäristöön. Tuloksilla saavutetaan jätevesien kustannustehokkaampaa hallintaa edistämällä haitallisten aineiden pääsyn vähentämistä ja poistoa jätevesistä jo niiden alkuperäisellä päästölähteellä.

Testatut menetelmät tuovat lisätietoa jäteveden laadusta ja laadunvaihtelusta ja tukevat perinteisellä näytteenotolla ja laboratorioanalyysillä tehtävän jätevesien laadun tarkkailua. Haitallisten aineiden vähentäminen jo niiden syntysijoilla edesauttaa jätevesien kustannus- ja resurssitehokkaampaa hallintaa. Hankkeen toimenpiteiden toteutuksesta ja tuloksista kerrotaan tarkemmin tämän julkaisun muissa artikkeleissa.

JÄTEVESIEN HAITTA-AINEET

Riina Tuominen & Aki Volanen & Lasse Hämäläinen & Perttu Salmi & Mirka Viitala & Sami Kaipainen

Jätevedet ovat kemialliselta sisällöltään heterogeenisiä ja voivat sisältää erilaisia ympäristölle haitallisia aineita. Lähteitä haitta-aineille on monia, ja niiden olemassaolo jätevedessä riippuu siitä toiminnasta tai paikasta, jossa jätevesi on syntynyt. Eri päästölähteissä, kuten teollisuudessa, kotitalouksissa, sairaaloissa ja pesuloissa, syntyy toisiinsa verrattuna erilaisia jätevesiä.

Haitta-aineet kulkeutuvat jäteveden mukana jätevedenpuhdistamoille ja sieltä lopulta ympäristöön puhdistusprosessien jälkeen. Nykyään puhdistusprosessit ovat tehokkaita, mutta kaikkia haitta-aineita ei saada poistettua jätevesistä, ja tämän seurauksena ne päätyvät myös vesistöihin. Ympäristöön päätyessään erilaiset haitta-aineet voivat aiheuttaa riskejä sekä eliöstölle että ihmisille. Pienetkin haitta-ainepitoisuudet voivat aiheuttaa vaikutuksia jatkuvan altistuksen seurauksena. Lisäksi ympäristöön päätyvät haitta-aineet voivat aiheuttaa eliöstössä erilaisia yhteisvaikutuksia, joiden tutkiminen on hyvin haastavaa.

Vemo – Kaupunkien jätevesien haitallisten aineiden vähentäminen monitorointia tehostamalla -hankkeen tavoitteena on ennaltaehkäistä haitallisten aineiden pääsyä jätevesiin. Hankkeessa kartoitettiin haitallisten aineiden ominaisuuksia ja vähentämiskeinoja, mahdollisia päästölähteitä ja pilottialueen viemärivereden laatua.

JÄTEVEDEN HAITTA-AINEIDEN LÄHTEIDEN TUNNISTAMINEN

Jätevesiä ja niiden sisältämiä mahdollisia haitta-aineita tulee puhdistamoille yrityksistä, laitoksista ja kotitalouksista. Myös hulevesiä voi sekoittua jätevesiin. Yrityksistä, joiden toiminta on luvanvaraista, jätevesiin päätyvät haitta-aineet ja niiden määrät tiedetään melko tarkasti. Oman tilanearvionsa mukaan vesihuoltolaitos edellyttää niiltä tarvittaessa erillisen teollisuusvesisopimuksen tekemistä. Yrityksistä, joiden toiminta ei vaadi ympäristölupaa, sekä kotitalouksista tulevat jätevedet sisältävät niissä käytettäviä kemikaaleja, kuten pesu- ja puhdistusaineita, sekä lääkkeitä. Myös yrityksissä ja kotitalouksissa käytetyistä tavaroista, kuten rakennusmateriaaleista, huonekaluista, elektroniikasta ja tekstiileistä, päätyy haitallisia aineita jätevesiin. Merkittävä osa päästöistä muodostuu hajakuormituksena erilaisista lähteistä, kuten tuotteista ja materiaaleista, joita käyttävät kotitaloudet, julkiset toimijat ja yritykset. Useat tunnistetuista haitallisista aineista päätyvät yhdyskuntajätevesiin ja niiden myötä vesiympäristöön kuluttajatuotteiden arkikäytöstä. Näiden pistelähteiden jätevesien koostumuksen ja haitta-ainemäärien arviointi on haastavaa.

Vemo-hankkeen pilottialueena oli Mikkelin kaupungin taajama-alue, jonka jätevesien nykytilannetta kartoitettiin ja sen perusteella tunnistettiin jätevesiviemäriin päätyviä haitallisia aineita. Hankkeessa selvitettiin eri haitta-aineiden merkittävimpiä päästölähteitä kirjallisuuden sekä haastattelujen ja keskustelujen pohjalta. Hankkeen työryhmässä tunnistettiin jäteveden haitta-aineiden mahdollisiksi päästölähteiksi terveydenhuoltolaitokset, huoltoasemat, pesulat, eri teollisuuden alat, kirjapainot, laboratoriot, energiantuotanto, jätehuolto, pohjavedet ja kotitaloudet. Päästölähteiden listaus on tarkemmin nähtävissä taulukossa 1.

Taulukko 1. Mikkelin alueen jäteveden haitta-aineiden mahdollisia päästölähteitä.

1	Teollisuus
a	Elintarviketeollisuus
i.	Lihanjalostus
ii.	Leipomo
iii.	Juomien valmistus
iv.	Ravintolat
b	Metalliteollisuus
c	Elektroniikkateollisuus
d	Lasikuituteollisuus
e	Puuteollisuus
f	Betoniteollisuus
2	Huoltoasemat & autopesulat & automaalaamot
3	Terveydenhuolto
a	Sairaalat
b	Hoivakodit ja palvelutalot
c	Hammaslääkärit
d	Eläinlääkärit
4	Pesulat
5	Kirjapainot
6	Energiantuotanto
7	Kampaamot, kosmetologit, tatuointiliikkeet
8	Liikuntapaikat (kuntosalit, uimahallit, jäähallit, kenttien jäädytys/sulana pito)
9	Lentokenttä
10	Jätehuolto (toimivat ja vanhat kaatopaikat)
11	Laboratoriot
12	Pohjavedet
13	Kotitaloudet

Vuosittain tuotetaan satoja tonneja erilaisia PPCP-yhdisteitä (Pharmaceuticals and Personal Care Products) ja niiden aktiivisia komponentteja. Viimeaikaisissa tutkimuksissa ympäristöstä on havaittu yhä laajemmin erilaisia ihmisille ja eläimille tarkoitettuja lääkeaineita. Vesiympäristössä lääkeaineet vaikuttavat haitallisesti eliöihin häiritsemällä esimerkiksi kalojen lisääntymistä sekä käyttäytymistä, ja ne myös edesauttavat bakteerien antibioottiresistenssin kehittymistä. (SYKE 2015.) Juomavesien havaituista lääkeainepitoisuuksista ei ole todettu olevan ihmisille haittaa (Gohlke-Kokkonen 2016).

Suurin osa ympäristöön päätyvistä lääkeaineista on peräisin jätevedestä. Ympäristöön lääkeaineita voi päätyä käytön seurauksena, valmistuksesta, eläinlääkinnästä ja käyttämättömien sekä vanhentuneiden lääkkeiden väärästä käsittelystä. Lääkkeitä hävitetään väärin, ja niitä päätyy kotitalouksien jätteisiin tai viemäriin esimerkiksi vessan kautta. Väärin hävittämisen lisäksi lääkeaineita päätyy viemäriverkostoihin huuhtoutumalla ihosta viemäriin suihkussa tai elimistöä vessan kautta. (Lääketeollisuus ry s.a.) Lääkejätteiden lisäksi myös huumausaineita päätyy paljon ympäristöön, ja niiden käytön suuruus näkyy jätevesissä (SYKE 2015). Lääkeaineisiin liittyvästä tutkimuksesta on kerrottu tarkemmin tämän julkaisun artikkelissa Jäteveden lääkeaineet.

Raskasmetallit ovat hyvin pysyviä ja rikastuvat ravintoketjun ylimpiin kuluttajiin, esimerkiksi ihmisiin. Raskasmetalleiksi voidaan määritellä metallit, joiden tiheys on suurempi kuin 5 g/cm^3 . Luonnostaan raskasmetalleja esiintyy maaperässä, eläimissä sekä kasveissa, ja osa niistä on ihmisen elimistölle tärkeitä hivenaineita, kuten rauta, sinkki ja kupari. Suurina pitoisuuksina raskasmetallit ovat kuitenkin myrkyllisiä ja kerääntyvät ravintoketjuihin sekä elimistöön. (SYKE 2015.) Raskasmetalleihin liittyvästä tutkimuksesta on kerrottu enemmän artikkelissa Jäteveden metallit.

Näiden ensisijaisten haitta-aineiden lisäksi selvitettiin muun muassa perfluorattujen alkylyyhdisteiden, ftalaattien, triklosaanin, perkloorietyleenin ja öljyhiilivetyjen esiintymisen todennäköisyyttä jätevesissä kirjallisuuden ja yksittäisten näytteenottojen avulla. Perfluorattuja alkylyyhdisteitä eli PFAS-yhdisteitä käytetään monissa kuluttajatuotteissa, palonestoaineena sekä elektroniikassa. Niiden vettä, likaa ja rasvaa hylkivien ominaisuuksien vuoksi käyttökohteita ovat esimerkiksi paistinpannut, vettähylkivät tekniset vaatteet ja suksivoiteet. Niitä käytetään myös palonestoaineena sisustustekstiileissä sekä sähkö- ja elektroniikkatuotteissa. Aiemmin niitä on käytetty muun muassa sammutusvaahdoissa, kaivos- ja öljynporausteollisuudessa käytettävissä pinta-aktiivisissa aineissa, lattiavahoissa ja hyönteismyrkyissä. PFAS-yhdisteet ovat erittäin pysyviä, ja niiden on todettu vaikuttavan haitallisesti vesielijöihin ja rikastuvan ravintoketjussa. Mitä pidempi fluoriketju on, sitä pysyvämpi aine myös on. Jätevedenpuhdistamolle perfluorattuja yhdisteitä tulee pääasiassa kaupunkien ja teollisuuslaitosten jätevesien mukana. PFAS-yhdisteitä päätyy yhdyskuntajätevedenpuhdistamoille myös jätevesien mukana erilaisista kulutustavaroista, kuten PFAS-kemikaaleilla käsitellyistä tekstiileistä sekä kaatopaikkojen suotovesien mukana.

Kaatopaikkojen suotovesi on tunnistettu jätevesien PFOA:n (perfluoro-oktaanisulfonaatti) päästölähteeksi. (Vieno 2015, THL 2022, Mehtonen ym. 2012.) Suomessa PFOS-yhdisteitä käytetään ammattimaisesti lähinnä metallien pintakäsittelyssä (kromaus), puolijohde- ja valokuvateollisuudessa sekä lentokoneiden hydraulinesteissä (Vieno & Arjonen 2021). Per- ja polyfluorattuja aineita on useita tuhansia, ja niiden käyttöä koskevia kieltoja ja rajoituksia tulee koko ajan lisää sekä EU-tasolla että maailmanlaajuisesti (Niemi 2020). Perfluoratut aineet on todettu haitallisiksi, niiden esiintymistä on tutkittu ja niiden päästölähteitä on tunnistettu. Vemo-hankkeessa perfluorattuja yhdisteitä ei valittu tutkimuskohteeksi.

Triklosaani on antibakteerinen aine, jonka käyttökohteet ovat kosmetiikkateollisuudessa. Sitä käytetään muun muassa säilöntä- ja antimikrobisena aineena käsisäippuissa, ihovoi-teissa, hammastahnoissa, deodoranteissa sekä muovisissa leikkuulautoissa, urheiluvälineissä, vaatteissa, kengissä ja huonekaluissa. Euroopan unioni kielsi triklosaenin käytön elintarvikkeissa vuonna 2010. Kosmetiikassa triklosaenin suurin sallittu pitoisuus on 0,3 prosenttia. Triklosaenin käyttö on vähentynyt viime vuosina sen tunnistettujen ympäristöhaittojen takia. Suomessa ei ole myönnetty myyntilupia triklosaenin lääkkeelliseen käyttöön, mutta sitä käytetään antiseptisena aineena ja desinfiointiaineena. Triklosaania saa EU:ssa käyttää biosidina muun muassa pinnoitteiden, kuitujen, nahan, kumin ja polymeerien säilöntäai-neena. Jätevedenpuhdistamolle triklosaania päätyy kyseisten aineiden käytön myötä. Se on ympäristön eliöille toksinen aine jo pieninä pitoisuuksina, ja herkimpiä aineelle ovat levät. On myös arvioitu, että se vaikuttaisi resistenttien bakteerikantojen syntymiseen. Triklosaani hajoaa puhdistamalla aerobisissa olosuhteissa, mutta sen hajoamistuotteena muodostuu me-tyylitriklosaania, joka on voimakkaammin kertyvä aine ja ympäristössä stabiilimpi. (Vieno 2015, Vieno & Arjonen 2021.) Vemo-hankkeessa triklosaania ei valittu tutkimuskohteeksi.

Ftalaatteja käytetään muovien pehmittiminä, maalien ja lakkojen valmistuksessa sekä lääke- ja kosmetiikkateollisuudessa. Myös painoteollisuudessa ja tarralaminaattien valmistuksessa on käytetty ftalaatteja. Lisäksi niitä käytetään nahan ja tekstiilien pintakäsittelyaineena. Ftalaatteja päätyy jätevesiin lisäksi kotitalouksista, ja niitä löytyy myös kaatopaikkojen vesis-tä. (Vieno 2014, Vieno 2015, Makkonen 2015, Vieno & Arjonen 2021.) Ftalaattien käyttöä kosmetiikassa sekä lastentarvikkeissa ja leluissa on rajoitettu EU:n alueella REACH-ase-tuksella (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1907/2006...). Vemo-hankkeessa ftalaatteja ei valittu tutkimuskohteeksi.

Perkloorietyleeni eli tetrakloorieteeni eli tetrakloorietyleeni on kemiallisessa pesussa yleisesti käytetty orgaaninen haihtuva liuotin. Se on luokiteltu terveydelle haitalliseksi ja ympäris-tölle vaaralliseksi. Kemiallisen pesulan jätevesiä, kontaktivettä tai tislousjätettä ei saa johtaa viemäriin. Kemiallisten pesuloiden osalta hankkeessa tehtiin tilanneselvitystä haastattelujen ja näytteenoton avulla. Yritykset tunsivat ja noudattivat annettuja ohjeita, eikä myöskään hankkeessa otetuissa näytteissä todettu perkloorietyleeniä.

Öljyhiilivetyjä voi päätyä jätevesiin polttoaineiden jakeluasemilta, korjaamoilta, maalaamoilta, romuttamoilta, kaatopaikkojen suotovesistä tai pilaantuneista maista esimerkiksi pohjaveden kautta. Useat vesilaitokset ovat antaneet viemäriin johdettavan jäteveden mineraaliöljyille ja kokonaishiilivetypitoisuudelle raja-arvon, joka vaihtelee laitoksesta riippuen 50–200 mg/l (VVY 2016). Hankkeessa otetuissa näytteissä todettiin öljyhiilivetyjä pieniä määriä. Kokonaispitoisuus oli alle 10 mg/l.

Rasvoja ei luokitella haitalliseksi aineeksi, mutta ne aiheuttavat viemäriverkostoissa ongelmia, kuten tukkeutumista tai säännöllistä tarvetta rasvan poistoon. Vesilaitosyhdistyksen vuonna 2013 tekemän kyselyn mukaan rasvat aiheuttivat viemäriverkostossa ongelmia 68 prosentille vastaajista. Rasvasta johtuvia ongelmia oli todettu keskustoissa (45 prosenttia), asuinalueilla (35 prosenttia) ja teollisuusalueilla (29 prosenttia). Noin 25 prosenttia vastaajista ilmoitti ongelma-alueeksi muun alueen, ja ongelmia oli havaittu varsinkin ravintolayritysten keskittymien läheisyydessä. (Kiuru 2013.) Useat vesilaitokset ovatkin antaneet viemäriin johdettaville jätevesille rasvojen raja-arvon 100–150 mg/l (VVY 2016). Vemo-hankkeessa rasvojen määrää ei analysoitu jätevesinäytteistä, mutta hankkeessa laaditussa ohjeistuksessa annetaan neuvoja rasvojen viemäriin pääsyn estämiseksi.

YHTEENVETO

Tarkemmin tarkasteltavat haitta-aineet valittiin hankkeen pilottialueesta eli Mikkelin kaupungin taajama-alueesta saatuihin taustatietoihin pohjautuen. Vemo-hankkeessa päätettiin tarkastelemaan tarkemmin metallien, mikromuovien ja lääkeaineiden esiintymistä jätevesissä sekä näiden haitta-aineiden vähentämiskeinoja. Kokonaiskuvan saamiseksi tehtiin riskinarviointia myös muista mahdollisista haitta-aineista sekä yksittäisiä määrityksiä niiden esiintymisen toteamiseksi. Selvityksen tuloksia hyödynnettiin hankkeessa laaditussa ohjeistuksessa.

LÄHTEET

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1907/2006 kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista. Eur-Lex. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1907-20220301&from=FI> [viitattu 7.2.2022].

Gohlke-Kokkonen, M. 2016. Lääketeollisuus haluaa ehkäistä lääkkeiden ympäristövaikutuksia. Sic! Lääketietoa Fimeasta. WWW-dokumentti. Julkaistu 2.9.2016. Saatavissa: https://sic.fimea.fi/arkisto/2016/3_2016/vain-verkossa/laaketeollisuus-haluaa-ehkai-sta-laakkeiden-ymparistovaikutuksia [viitattu 16.5.2022].

Kiuru, I. 2013. Rasvat tukkivat viemäreitä, lisälaskun maksaa kuluttaja. Verkko uutiset 25.10.2013. Saatavissa: <https://www.verkkouutiset.fi/a/rasvat-tukkivat-viemareita-lisalaskun-maksaa-kuluttaja-10490/#db1bdc88> [viitattu 18.5.2022].

Lääketeollisuus ry. s.a. Lääkkeet ja ympäristö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.laaketeollisuus.fi/vastuullisuus/laakkeet-ja-ymparisto.html> [viitattu 15.6.2020].

Makkonen, E. 2015. Teollisuusjätevesien seuranta ja hallinta – tapauskohteena Jyväskylän seutu. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma.

Mehtonen, J., Mannio, J., Kalevi, K., Huhtala, S., Nuutinen, J., Perkola, N., Sainio, P., Pihlaja-mäki, J., Kasurinen, V., Koponen, J., Paukku, R. & Rantakokko, P. 2012. Haitallisten orgaanisten yhdisteiden esiintyminen yhdyskuntajäteveden puhdistamoilla ja kaatopaikoilla. Suomen ympäristökeskus. Helsinki 2012. ISBN 978-952-11-4117-1.

Niemelä, H. 2020. Lisää rajoituksia haitallisille per- ja polyfluoratuille aineille (PFAS). Ecobio 6.4.2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ecobio.fi/lisaa-rajoituksia-haitallisille-per-ja-polyfluoratuille-aineille-pfas/> [viitattu 7.2.2022].

SYKE 2015. Lääkeaineet. Suomen ympäristökeskus (SYKE). WWW-dokumentti. Julkaistu 15.12.2015. Päivitetty 11.6.2021. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Kemikaalien_ymparistoriskit/Ymparistoon_paatyvat_haitalliset_aineet/Laakeaineet [viitattu 17.5.2022].

SYKE 2017. Mikromuovit riski myös Suomen vesistöille. Suomen ympäristökeskus (SYKE) julkaisuja. WWW-dokumentti. Julkaistu 21.3.2017. Saatavissa: [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit_riski_myos_Suomen_vesistoill\(42492\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit_riski_myos_Suomen_vesistoill(42492)) [viitattu 10.6.2020].

THL 2022. PFAS-yhdisteet. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL). WWW-dokumentti. Päivitetty 4.5.2022. Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ymparistomyrkyt/pfas-yhdisteet> [viitattu 17.5.2022].

Vieno, N. 2015. Haitta-aineet puhdistamo- ja hajalietteissä. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. Julkaisu 73/2015. ISBN 978-952-7019-4.

Vieno, N. & Arjonen, M. 2021. Uudet haitalliset aineet suomalaisilla jätevedenpuhdistamoilla. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 69. Helsinki 2021. ISBN 978-952-6697-66-6.

VVY 2016. Teollisuusjätevesiopas. Asumajätevesistä poikkeavien jätevesien johtaminen viemäriin. Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 50. Helsinki 2016. ISBN 978-952-5000-80-1.

JÄTEVESIEN LÄÄKEAINEET

Riina Tuominen & Perttu Salmi & Mirka Viitala

Vemo – Kaupunkien jätevesien haitallisten aineiden vähentäminen monitorointia tehostamalla -hankkeessa kartoitettiin jäteveden lääkaineiden päästölähteitä ja niiden aiheuttamaa kuormitusta hankkeen pilottialueella Mikkelissä. Lisäksi selvitettiin päästölähdekohtaisen poistomenetelmän mahdollisuutta sairaalan jätevesille.

Ympäristöön lääkaineita voi päätyä niiden käytön seurauksena. Myös valmistus, eläinlääkintä sekä käyttämättömien ja vanhentuneiden lääkkeiden väärä käsittely voivat toimia lääkaineiden päästölähteinä. Jätevesiin lääkaineita päätyy lähinnä kotitalouksista, sairaaloista, hoitolaitoksista ja lääketeollisuudesta. Mikäli lääkkeitä hävitetään väärin, niitä voi päätyä kotitalousjätteen mukana jäteasemille tai viemärien kautta jäteveden joukkoon.

LÄÄKEAINEIDEN OMINAISUUKSIA

Suomen lainsäädäntö ei aseta poistovaatimuksia jätevesien lääkejäämille, eikä lääkaineiden pitoisuuksien mittausta tai poistoa yrityksissä, laitoksissa tai jätevedenpuhdistamoilla yleensä vaadita. Esimerkiksi Miettisen ym. (2020) selvityksen mukaan vain kahdessa lääketuotantolaitoksille ja yhdessä jätevedenpuhdistamoille annetuista ympäristölupapäätöksistä oli yksiselitteisesti vaadittu lääkaineiden pitoisuuksien mittaamista jätevedestä.

Jätevesiin ja vesistöihin päätyessään lääkaineita ei voida tarkastella pelkästään yksittäisinä yhdisteinä. Hajotessaan lääkaineet voivat muuntua, ja usean lääkeaineen yhteisvaikutusta on vaikea arvioida. Jätevedenpuhdistamoilla lääkaineista esimerkiksi ibuprofeeni, parasetamoli ja progesteroni poistuvat puhdistusprosessissa hyvin. Vastaavasti esimerkiksi karbamatsepiini- ja diklofenaakkipitoisuudet saattavat jopa kasvaa. (Kruglova ym. 2014, Mänttari ym. 2020, Äystö ym. 2020.)

Suomessa tulehduskipu- ja reumalääke diklofenaakkia käytetään vaikuttavana aineena pääasiassa apteekkeista saatavissa kipugeeleissä, mutta sitä voidaan käyttää myös suun kautta nautittavissa tableteissa ja peräpuikoissa. Kipugeelien diklofenaakista noin kuusi prosenttia imeytyy elimistöön, ja loput kipugeelistä jäävät vaatteisiin tai pestään iholta pois. Suun kautta nautittuna diklofenaakista erittyy 11 prosenttia biosaatavassa muodossa virtsaan ja ulosteeseen. (Vieno & Sillanpää 2014.) Suomessa jätevedenpuhdistamoille päätyy diklofenaakkia noin 310 kiloa vuodessa. Diklofenaakki on pääosin kotitalouksista peräisin. (Vieno 2014.)

Karbamatsepiini on epilepsialääke. Epilepsian lisäksi sillä voidaan hoitaa myös kolmoishermostosärkyä, kaksisuuntaista mielialahäiriötä ja alkoholistien vieroitusoireita. Vuonna 2012 arvioitu käyttömäärä Suomessa oli 3 500 kiloa. Karbamatsepiinista erittyy suun kautta nautittuna biosaatavassa muodossa kaksi prosenttia virtsaan ja ulosteeseen. Suomessa sitä päätyy jätevedenpuhdistamoille arviolta 56 kiloa vuodessa. Karbamatsepiini on pääosin kotitalouksista peräisin. (Vieno 2014.)

Sytostaattisista lääkeaineista on tullut merkittävä ja vaarallinen uhka ympäristölle syöpätautien määrän kasvaessa. Pääasialliset lähteet ovat sairaaloiden, kotitalouksien ja lääkevalmistajien jätteet. Jätevesistä ei saada tarpeeksi tehokkaasti puhdistettua sytostaattisia lääkeaineita, joten niitä löytyy pohja-, pinta- ja juomavesistä jopa pitoisuudessa 0,2 µg/l. Riskiryhmiä (lapset ja imettävät naiset) lukuun ottamatta sytostaattisista lääkeaineista ei ole nykytiedon valossa haittaa ihmisille vesistä havaittuina pitoisuuksina. Kuitenkin vesielioille ne voivat aiheuttaa kroonista toksisuutta. (Jureczko & Kalka 2020.)

Jätevedet sisältävät myös hormoneja, joita erittyy normaalisti ihmisistä, mutta myös lääkeaineiden kautta. Sairaalat ja lääketeollisuus ovat usein suuria hormonien paikallisia piste-kuormittajia. Ympäristössä hormonit ja estrogeenit eivät aiheuta välitöntä toksisuutta, vaan ne aiheuttavat lähinnä hormonihäiriöitä. Vaikutus näkyy jo hyvin pienissä pitoisuuksissa. Esimerkiksi estradioli vaikuttaa kalojen lisääntymiseen jo 10 ng/l pitoisuudessa. (Brausch ym. 2012.) Testosteroni aiheuttaa samalla pitoisuudella muutoksia kalapopulaatiossa, mikä näkyy koiraiden osuuden kasvuna. Useilla hormoneilla niiden yhteisvaikutus on vielä voimakkaampaa. (Vieno 2015.) Osa hormoneista hajoaa helposti jätevedenpuhdistuksessa hapellisissa olosuhteissa. Osa taas voi hajota toiseen muotoon, ja esimerkiksi estradioli voi hapettua estroniksi. (Joss ym. 2004.)

JÄTEVEDEN NÄYTTEENOTOT

Jätevesinäytteenottokohteet valittiin hankkeen työryhmän kesken kirjallisuuteen perustuen. Päästölähdekohtaiseen määritykseen valittiin neljä näytepistettä ja lisäksi jätevedenpuhdistamolta otettiin vertailunäyte tulevasta jätevedestä. Näytepisteet olivat hoivakoti, sairaala, asutusalueen viemäriin ja jäteasema. Mikkelissä ei ole lääketeollisuutta, joten vaikka se tutkimuksissa on tunnistettu jätevesien lääkeaineiden päästölähteeksi, ei tässä hankkeessa voitu sen vaikutusta tutkia näytteenotolla.

Jätevesien lääkeaine- ja hormonipitoisuuksia määritettiin joulukuussa 2020 ja kesäkuussa 2021. Joulukuussa 2020 tarkasteltiin tarkemmin kotitalouksien ja jäteaseman vesiä. Kesäkuussa 2021 tarkastelussa olivat sairaalan ja hoivakodin jätevedet, sillä pahentuneen koronatilanteen vuoksi niitä ei saatu otettua joulukuussa 2020. Näytteenotossa käytettiin automaattista näytteenotinta. Automaattisella näytteenottimella näytettä otettiin 200 ml puolen tunnin välein yhden vuorokauden ajan. Näytteet lähetettiin analysoitavaksi ALS Finland Oy:lle.

Näytteistä määritettiin hormoneja ja lääkeaineita. Hormonien osalta tarkasteltiin jäteveden estrioli-, estroni-, 17α -etinyyliestradioli- ja 17β -estradiolipitoisuutta. Estrioli ja estroni ovat luontaisia hormoneja, joita käytetään esimerkiksi hormonihoidoissa. Myös 17β -estradioli on luontaisesti esiintyvä hormoni, jota käytetään erilaisissa hormonivalmisteissa. 17α -etinyyliestradioli on syntetttinen hormoni, jota käytetään esimerkiksi ehkäisy pillereissä yhdistelmänä muiden hormonien kanssa.

Lääkeaineiden määritykseen valittiin tutkimuspaketti, jossa oli edustettuna useita eri lääkeryhmiä. Otetuista näytteistä vähintään yhdelle saatiin määritettyä lääkeaineen pitoisuus atenololille, diklofenaakille, enalapriilille, fluoksetiinille, furosemidille, gabapentiinille, hydroklooritiatsidille, joheksolille, jomeprolille, karbamatsepiinille, ketoprofeenille, kofeiinille, metoprololille, naprokseenille, oksatsepaamille, parasetamolille, piroksikaamille, sitalopraamille, sulfametoksatsolille, trimetopriimille ja valsartaanille. Hormonien pitoisuuksista saatiin määritettyä osalle näytteistä 17β -estradioli-, estrioli- ja estronipitoisuu-
det. Muutoin pitoisuudet jäivät alle määritysrajojen. Taulukossa 1 on nähtävissä otetuista näytteistä määritetyt lääkeaineet ja niiden käyttötarkoitus.

Taulukko 1. Vemo-hankkeessa tehdyt hormoni- ja lääkeanalysoinnit ja lääkeaineiden esiintyminen näytteissä.

Määritetty	Näytteistä analysoitu pitoisuus ylitti määritysrajan	Käyttötarkoitus
17α -etinyyliestradioli		Syntetttinen hormoni
17β -estradioli	x	Luontainen hormoni
Estrioli	x	Luontainen hormoni
Estroni	x	Luontainen hormoni
Anastrotsoli		Aromataasinestäjä (antiestrogeeni)
Atenololi	x	Beetasalpaaja
Atsatiopriini		Immunosuppressiivinen lääke
Betsafibraatti		Lipidilääke
Buprenorfiini		Kipu- ja korvaushoitolääke (opioidi)
Butorfanoli		Kipulääke (opioidi)
Diatsepaami		Rauhoittava lääke
Diklofenaakki	x	Tulehduskipulääke
Enalapriili	x	ACE-estäjä
Fluoksetiini	x	SSRI-lääke
Flutamidi		Antiandrogeeni
Furosemiidi	x	Diureetti
Gabapentiini	x	Epilepsia- ja neuropaattinen kipulääke
Gemfibrotsiili		Lipidilääke
Hydroklooritiatsidi	x	Diureetti

Määritetty	Näytteistä analysoitu pitoisuus ylitti määritysrajan	Käyttötarkoitus
Ifosfamidi		Solunsalpaaja
Indometasiini		Tulehduskipulääke
Iopamidol		Varjoaine
Joheksoli	x	Varjoaine
Jomeproli	x	Varjoaine
Jopromidi		Varjoaine
Kapesitabiini		Solunsalpaaja
Karbamatsepiini	x	Epilepsia- ja neuropaattinen kipulääke
Ketoprofeeni	x	Tulehduskipulääke
Klofibriinihappo		Lipidilääke
Kloramfenikoli		Antibiootti
Kofeiini	x	
Linkomysiini		Antibiootti
Loperamidi		Opioidi (ripulilääke)
Metoprololi	x	Beetasalpaaja
Metronidatsoli		Antibiootti
Mykofenolaattimofetiili		Hylkimisreaktion estolääke
Naprokseeni	x	Tulehduskipulääke
Oksatsepaami	x	Rauhoittava lääke
Paklitakseli		Solunsalpaaja
Parasetamoli	x	Kipulääke
Pioksikaami	x	Tulehduskipulääke
Propranololi		Beetasalpaaja
Salbutamoli		Astmalääke
Sertraliini		SSRI-lääke
Siprofloksasiini	x	Antibiootti
Sitalopraami	x	SSRI-lääke
Sotaloli		Beetasalpaaja
Sulfametasiini		Antibiootti
Sulfametoksatsoli	x	Antibiootti
Syklobentsapriini		Lihaskivälylääke
Syklofosfamidi		Reumalääke
Tebaiini		Kipulääke (paramorfiini, oopiumi-alkaloidi)
Terbutaliini		Astmalääke
Tramadoli		Kipulääke
Trimetopriimi	x	Antibiootti
Tsolvipideemi		Unilääke
Valsartaani	x	Verenpainelääke
Varfariini		Antikoagulantti

Joulukuussa 2020 jäteasemalta, kotitalouksien viemärilinjasta ja jätevedenpuhdistamolta otetuissa näytteissä oli puhdistamon näytteessä hormonien osalta 17 β -estradiolia, estriolia ja estronia. Näistä vain estronia oli kotitalousviemärilinjan näytteessä. Puhdistamon näytteestä pitoisuus saatiin määritettyä atenololille, diklofenaakille, furosemidille, gabapentiinille, hydroklooritiatsidille, joheksolille, jomeprolille, karbamatsepiinille, kofeiinille, metoprololille, naprokseenille, oksatsepaamille, parasetamolille, sitalopraamille, trimetopriimille ja valsartaanille. Näistä atenolia, joheksolia ja sitalopraamia oli muissa joulukuun näytteissä alle määritysrajan. Kotitalousviemärilinjasta otetusta näytteestä saatiin määritettyä useampia lääkeainepitoisuuksia kuin jäteaseman näytteestä (taulukko 2).

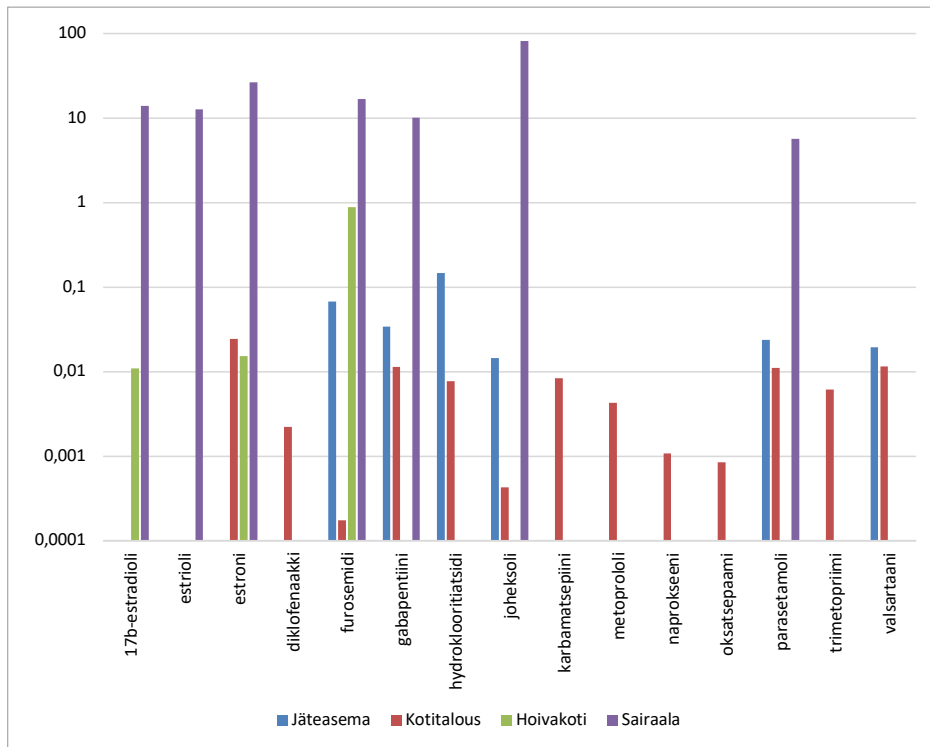
Taulukkoon 2 on koottu myös kesäkuussa 2021 hoivakodista, keskussairaalaista ja jätevedenpuhdistamolta otettujen näytteiden tulokset. Tuloksissa on esitetty vain ne aineet, joita löytyi vähintään yhdestä näytteestä. Kesäkuun kaikille näytteille määritettiin pitoisuudet 17 β -estradiolille ja estronille. Estriolia oli yli määritysrajan sairaalan ja jätevedenpuhdistamon näytteissä. Puhdistamon näytteestä pitoisuus saatiin määritettyä lähes samoille lääkeaineille kuin joulukuussa 2020. Muutoksena joulukuuhun diklofenaakki, karbamatsepiini, metoprololi, oksatsepaami, parasetamoli, siprofloksasiini ja trimetopriimipitoisuudet jäivät alle määritysrajan. Verrattuna hoivakodin jätevesinäytteeseen sairaalan jätevesinäytteestä havaitut pitoisuudet ylittivät määritysrajat useampien yhdisteiden osalta. Kesäkuussa 2021 osa jätevesistä johdettiin jo uudelle puhdistamolalle, minkä vuoksi jätevedenpuhdistamolalle saapuvan veden laatua ei voi verrata suoraviivaisesti joulukuussa 2020 ja kesäkuussa 2021 kerättyjen näytteiden välillä.

Taulukko 2. Vemo-hankkeessa joulukuussa 2020 ja kesäkuussa 2021 määritettyjä lääkeaine- ja hormonipitoisuuksia ($\mu\text{g/l}$).

	VUOSI 2020			VUOSI 2021		
	Jäte- asema	Koti- talous- linja	Jäteve- denpuh- distamo	Hoiva- koti	Keskus- sairaala	Jäteve- denpuh- distamo
17 α -estra- dioli	<0,050	<0,050	0,042	0,008	0,250	0,021
Estrioli	<0,050	<0,050	0,260	<0,050	2,400	0,220
Estroni	<0,05	0,400	0,100	0,043	1,800	0,0080
Atenololi	<0,100	<0,100	0,617	<1,00	<1,00	0,16
Diklofe- naakki	<0,100	0,492	1,34	<1,00	<1,00	<0,100
Enalapriili	<0,100	0,112	<0,100	<1,00	<1,00	<0,100
Fluoksetiini	<0,100	0,27	<0,100	<1,00	<1,00	<0,100
Furosemidi	0,144	0,117	4,07	32,7	15,2	1,06
Gaba- pentiini	0,874	92,1	49	<1,00	184	21,2
Hydrokloo- ritiatsidi	0,215	3,58	2,83	<1,00	<1,00	1,74
Joheksoli	0,852	7,92	113	<3,00	7840	113
Jomeproli	<0,300	<0,300	18,8	<3,00	<3,00	5,59
Karbamat- sepiini	<0,100	0,799	0,584	<1,00	<1,00	<0,100
Keto- profeeni	0,272	<0,100	<0,100	<1,00	<1,00	<0,100
Metoprololi	<0,100	0,684	0,974	<1,00	14,7	<0,100
Naprok- seeni	<0,100	0,849	4,79	<1,00	<1,00	1,77
Oksatse- paami	<0,100	0,153	1,1	<1,00	<21,0	<0,100
Paraseta- moli	1,89	278	153	1550	772	<0,100
Piroksi- kaami	<0,100	0,126	<0,100	<1,00	<1,00	<0,100
Siprofloksa- siini	<0,300	<0,300	1,42	29,1	19	<0,300
Sitalo- praami	<0,100	0,874	<0,100	<1,00	<1,00	<0,100
Sulfamet- oksatsoli	<0,100	1,45	<0,100	<1,00	<1,00	<0,100
Trimeto- priimi	<0,100	0,349	0,344	<1,00	5,76	<0,100
Valsartaani	0,10	18,9	9,98	<1,00	<1,00	3,41

PÄÄSTÖLÄHTEIDEN VAIKUTUS JÄTEVEDEN HAITTA-AINEKUORMAAN

Saatujen tulosten perusteella voidaan arvioida eri päästölähteiden aiheuttamaa haitta-aineiden kuormitusta jätevesiin päästölähteissä syntyvän jäteveden määrän avulla. Tutkituista lääkeaineista diureetti furosemidia ja kipulääke parasetamolia oli kaikissa otetuissa näytteissä. Kuvassa 1 on nähtävissä eri päästölähteistä arvioituja haitta-ainekuormituksen osuuksia puhdistamolle tulevassa vedessä.



Kuva 1. Vemo-hankkeessa arvioituja lääkeainekuormituksen osuuksia jätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä.

Jäteaseman suotovesien osuus puhdistamolle tulevasta furosemidikuormasta on noin 0,06 prosenttia, kotitalouksista noin 0,03 prosenttia kotitaloutta kohden, hoivakodista 1,8 prosenttia ja sairaalasta 17 prosenttia. Vastaavasti parasetamolien osalta jäteaseman osuus puhdistamolle tulevasta kuormasta oli noin 0,03 prosenttia ja kotitalouksista noin 0,01 prosenttia kotitaloutta kohden. Vuonna 2021 parasetamolien määrä jäi puhdistamolla alle määritysrajan. Näytettä otettaessa osa jätevesistä johdettiin jo uudelle puhdistamolle, joten se osaltaan vaikuttaa saatuihin tuloksiin. Mikäli kuorma olisi vuoden 2020 kaltainen, hoivakodin osuus parasetamolikuormasta olisi noin 0,3 prosenttia ja sairaalan noin 5,7 prosenttia.

Myös epilepsia- ja neuropaattisena kipulääkkeenä käytettyä gabapentiiniä sekä varjoaineena tietokonetomografiakuvauksissa käytettyä joheksolia esiintyi hoivakotia lukuun ottamatta kaikissa näytteissä. Jäteaseman osuus puhdistamolle tulevasta gabapentiinikuormasta on noin 0,03 prosenttia, kotitalouksista noin 0,01 prosenttia kotitaloutta kohden ja sairaalasta noin 10 prosenttia. Joheksolin osalta jäteaseman osuus puhdistamolle tulevasta kuormasta oli noin 0,01 prosenttia, kotitalouksista noin 0,001 prosenttia kotitaloutta kohden ja sairaalasta noin 81 prosenttia.

Jäteaseman näytteestä edellisten lääkeaineiden lisäksi löytyi diureetti hydroklooritiatsidia, jonka puhdistamolle tulevasta kuormasta jäteaseman osuuden arvioidaan olevan noin 0,15 prosenttia. Ketoprofeenin osalta kuormituksen osuutta ei voida arvioida, sillä sitä oli puhdistamon näytteessä alle määritysrajan. Jäteaseman osuus verenpainelääkkeenä käytetyn valsartaanikuormasta oli noin 0,02 prosenttia.

Kotitalouksien jätevesistä määritettiin pitoisuudet kohonneen verenpaineen ja sydämen vajaatoiminnan hoitoon tarkoitettulle ACE-estäjä (angiotensiinikonvertaasin estäjä) enalapriilille, esimerkiksi masennuksen hoitoon käytetyille SSRI-lääkkeille (selektiiviset serotoniinin takaisinoton estäjät) fluoksetiinille ja sitalopraamille, beetasalpaaja metoprololille, tulehduskipulääke diklofenaakille, naprokseenille ja piroksikaamille, rauhoittava lääke oksatsepaamille ja antibiootti sulfametoksatsolille. Esimerkiksi diklofenaakin osalta kotitalouden osuus puhdistamolle tulevasta kuormasta kotitaloutta kohden arvioituna on noin 0,02 prosenttia ja oksatsepaamin osalta alle 0,01 prosenttia. Lisäksi kotitalouksien jätevesissä esiintyy useita muita lääkeaineita, joita päätyy jätevesiin myös sairaaloista, hoivakodeista ja jäteasemilta.

Hoivakodeista tämän tutkimuksen perusteella päätyy jätevesiin muutamien lääkkeiden jäämiä. Tämän tutkimuksen perusteella hoivakodin kuormitus jäteveden lääkeaineisiin jää vähäiseksi sekä aineiden lukumäärän että pitoisuuksien suhteen.

Sairaalan jätevesistä edellä mainittujen lisäksi saatiin määritettyä pitoisuudet beetasalpaaja metoprololille sekä antibiooteille siprofloksasiini ja trimetopriimi. Jätevedenpuhdistamolla kyseisten aineiden pitoisuudet jäivät alle määritysrajan, joten kuormituksen osuutta ei voitu arvioida.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tehdyt näytteenotot olivat yksittäisiä, joten niiden perusteella tässä artikkelissa arvioitua lääkeainekuormaa voidaan pitää vain suuntaa antavana. Tulosten vertailua vaikeuttaa myös näytteenoton jaksottuminen kahteen osaan. Lääkeainemääritykset oli tarkoitus tehdä kaikista mahdollisista päästölähteistä joulukuussa 2020, mutta koronapandemian vuoksi hoivakodin ja sairaalan näytteenotot siirrettiin kesäkuulle 2021.

Tämän tutkimuksen perusteella sairaala on merkittävä päästölähde varsinkin varjoaine joheksolin osalta. Sairaalan osuus muidenkin tässä tutkimuksessa määritettyjen lääkeaineiden kohdalla oli muita tutkittuja päästölähteitä suurempi. Tulos oli odotettavissa, sillä sairaalassa lääkittään potilaita, jolloin lääkemäärien erityis jätevesiin on myös suurempi. Lääkejäämiä voi päätyä jätevesiin myös pesujen ja puhdistusten yhteydessä, vaikka lääkkeet pääsääntöisesti hävitetään oikein.

Muiden päästölähteiden osuus jätevedenpuhdistamolle saapuvasta kokonaiskuormituksesta on yksittäisesti tarkasteltuna vähäinen. Hoivakodeissa pyritään kodinomaiseen asumiseen. Vaikka asukkailla saattaa olla paljonkin lääkkeitä käytössä, yksittäiset hoivakotiyksiköt eivät näyttäisi tämän tutkimuksen perusteella aiheuttavan merkittävää lääkeaineiden päästölähdettä. Hoivakodeissa asukasmäärä on sairaalan asiakasmäärään verrattuna pienempi ja lääkkeiden käyttö verrattavissa kotitalouksiin. Hoivakodeissa on usein käytössä myös erilliset ohjeistukset lääkejätteen hävittämiseen, mikä osaltaan vähentää kuormitusta jätevesiin.

Mikäli kotitalouksien osalta tarkastellun yksittäisen kotitalouden sijaan tarkastellaan koko verkoston kotitalouksia, osuus lääkeainekuormasta tietysti suurenee. Kotitalouksien aiheuttama kuormitus on jakautunut laajalle alueelle, ja parhaimmat keinot kotitalouksien lääkeainejäämien vähentämiseen jätevesissä ovat lääkkeiden oikea käyttö ja hävittäminen. Lääkkeiden hävittäminen vaikuttaa myös jäteasemalta tulevaan jäteveden lääkeainekuormitukseen. Tyhjien lääkepakkausten mukana voi päätyä pieniä määriä lääkeaineita jäteasemille, mutta päästöt pysyvät pieninä, jos itse lääkkeitä ei laiteta jätekeräykseen, vaan ne toimitetaan ohjeiden mukaisesti apteekkiin.

LÄHTEET

Brausch, J.M., Connors, K.A., Brooks, B.W. & Rand, G.M. 2012. Human pharmaceuticals in the aquatic environment: A review of recent toxicological studies and considerations for toxicity testing. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*.

Joss, A., Andersen, H., Ternes, T., Richle, P.R. & Siegrist, H. 2004. Removal of estrogens in municipal wastewater treatment under aerobic and anaerobic conditions: consequences for plant optimization. *Environmental Science and Technology*.

Jureczko, M. & Kalka, J. 2020. Cytostatic pharmaceuticals as water contaminants. *European Journal of Pharmacology* 866 (2020), 172816.

Kruglova, A., Ahlgren, P., Korhonen, N., Rantanen, P., Mikola, A. & Vahala, R. 2014. Biodegradation of ibuprofen, diclofenac and carbamazepine in nitrifying activated sludge under 12 °C temperature conditions. *Science of The Total Environment*. Volume 499, 15 November 2014, Pp 394–401.

Miettinen, M., Äystö, L. & Kauppi, S. 2020. Lääkeaineet lääketuotantolaitosten ja jätevedenpuhdistamoiden ympäristöluvuissa. Nykytilanne ja teollisuus- ja jätevesisopimuksen rooli ohjausinstrumenttina. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.edilex.fi/ymparistojuridiikka/20729.pdf> [Viitattu: 14.6.2022].

Mänttari, M., Kallioinen, M. & Vornamo, T. 2020. Tekniikat lääkeaineiden poistamiseen jätevesistä. *Vesitalous* 1/2020. ISSN 0505-3838.

Vieno, N. 2014. Haitalliset aineet jätevedenpuhdistamoilla -hankkeen loppuraportti. Suomen vesilaitosyhdistys ry. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 34. Helsinki 2014. ISBN 978-952-6697-02-4.

Vieno, N. & Sillanpää, M. 2014. Fate of diclofenac in municipal wastewater treatment plant – a review. *Environment International*. Saatavissa: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24791707/> [viitattu 20.5.2022].

Vieno, N. 2015. Haitta-aineet puhdistamo- ja hajalietteissä. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. Julkaisu 73/2015. ISBN 978-952-7019-4.

Äystö, L., Vieno, N., Fjäder, P., Mehtonen, J. & Nystén, T. 2020. Lääkeaineiden kuorma jätevedenpuhdistamoille ja niiden primääripäästölähteet. *Vesitalous* 1/2020. ISSN 0505-3838.

SAIRAALAN JÄTEVESIEN LÄÄKE- AINEET JA NIIDEN KUORMITUS KUNNALLISELLE JÄTEVEDEN- PUHDISTAMOLLE

Perttu Salmi & Mari Kallioinen-Mänttari & Mika Mänttari &
Mikko-Jussi Laine

Yhdyskuntajäteveden lääkeainepäästöistä ja niiden vaikutuksesta vesistöihin ja eliöstöön on mittausmenetelmien kehittymisen myötä alettu viime vuosina saamaan aiempaa enemmän tietoa. Lääkeainepäästöt ovat jo nykyään tunnettu haitta-ainepäästö, ja tarpeesta lääkeainien nykyistä tehokkaampaan puhdistamiseen jätevedestä käydään keskustelua erityisesti kunnallisten puhdistamoiden modernisointihankkeiden tai uusien puhdistamoiden rakennusprojektien yhteydessä. Lääkeaineiden määrästä ja laadusta tulevassa ja lähtevässä jätevedessä sekä niiden poistomahdollisuuksista kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla on jo olemassa tutkimustietoa. Vaikka lääkeainepäästöt kaupungeissa muodostuvat sekä sairaaloiden että kotitalouksien jätevesistä, on sairaaloiden osuudesta suomalaisten yhdyskuntajätevesien lääkeainemääriin saatavilla vain vähän tietoa. Tästä syystä Vemo – Kaupunkien jätevesien haitallisten aineiden vähentäminen monitorointia tehostamalla -hankkeessa LUT-yliopiston osuudessa oli tavoitteena selvittää, mikä on sairaalan aiheuttama lääkeainekuorma kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle ja aiheutuuko sairaalan jätevedestä sellaisia lääkeainepäästöjä, joita kunnallinen jätevedenpuhdistamo ei pysty tehokkaasti puhdistamaan. Samaan aikaan tehty näytteenotto sairaalan viemäreistä ja kunnalliselta jätevedenpuhdistamolta sekä tulevasta että lähtevästä vedestä mahdollisti tämän selvityksen. Arvioinnissa käytettiin kirjallisuuteen perustuvaa jätevesivirtaamaa sairaalan jätevesimäärälle. Tutkimuksen kohteena olevalla alueella sairaalan potilaspaikkamäärä on noin 250 potilasta, ja kunnallinen jätevedenpuhdistamo toimii perinteisellä aktiivilietemenetelmällä.

MENETELMÄT

Lääkeaineanalytiikasta vastasi Eurofins Environment testing Finland Oy. Lääkeaineanalyysissä oli mukana 150 lääkeainetta ja hormonia.

Sairaaloiden lääkeainekuorman jätevedenpuhdistamoille selvittämiseksi tehtiin kolme eri näytteenottoa, joissa kaikissa näytteitä otettiin 48 tuntia sekä sairaalalta että jätevedenpuhdistamolta. Sairaalalta näytteitä otettiin kahdesta eri kohdasta viemäriinlinjaa HACH

AS950 -näytteenottimilla (kuva 1) ja jätevedenpuhdistamolla näytteitä otettiin tulevasta ja lähtevästä vedestä jätevedenpuhdistamon omilla näytteenottimilla. Näytteenottopäivät olivat 10.–12.11.2021, 11.–13.4.2022 ja 4.–6.5.2022. Näytteenotot suoritettiin kokoomänäytteenottona: sairaalalta otettiin 50 ml:n näytteet 20 minuutin välein ja jätevedenpuhdistamolta noin 100 ml:n näytteet kymmenen minuutin välein. Näistä osanäytteistä koottiin kaksi 24 tunnin kokoomänäytettä, eli yhteensä näytteitä otettiin sairaalalla 288 kappaletta ja jätevedenpuhdistamolta 144 kappaletta yhteen 24 tunnin kokoomänäytteen. Sairaalan eri näytteenotopisteiden näytteet yhdistettiin yhdeksi näytteeksi. Yhteensä analysoitavaksi lähetettiin 18 eri kokoomänäytettä. Käytännössä sairaalalla jätevesivirtaama vaihteli huomattavasti vuorokauden aikana, jolloin kaikkia näytteitä ei saatu otettua tai näytteiden tilavuus oli alle 50 ml. Myöskin jätevedenpuhdistamolla kokoomänäytteiden tilavuus vaihteli.



Kuva 1. Näytteenotopisteet sairaalalla (kuvat Perttu Salmi).

TULOKSET

Eri lääkeaineita ja hormoneita tunnistettiin kaikista analyysinäytteistä 82 kappaletta. Sairaalan jätevedestä tunnistettiin 71, jätevedenpuhdistamolle tulevasta jätevedestä 59 ja jätevedenpuhdistamolta lähtevästä vedestä 66 eri lääkeainetta ja hormonia. Eri näytteiden lääkeainemäärät, joiden pitoisuus oli yli määrittäysrajojen, on esitetty taulukossa 1. Määrittäysrajoja ylittäviä lääkeaineita tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon, että lääkeaineiden määrittäysrajat vaihtelevat näytematriisin muuttuessa. Yleisesti ottaen sairaalan ja puhdistamolle

tulevan jäteveden lääkeaineiden määrittämissä rajat ovat samat, kun taas puhdistamolta lähtevän puhdistetun veden määrittämissä rajat ovat kymmenen kertaa pienemmät. Tuloksissa oli myös yksittäisiä eroja eri näytteenotokertojen näytteiden määrittämissä rajoissa. Lääkeainepitoisuuksiin etenkin jätevedenpuhdistamolla vaikuttaa myös jäteveden määrä.

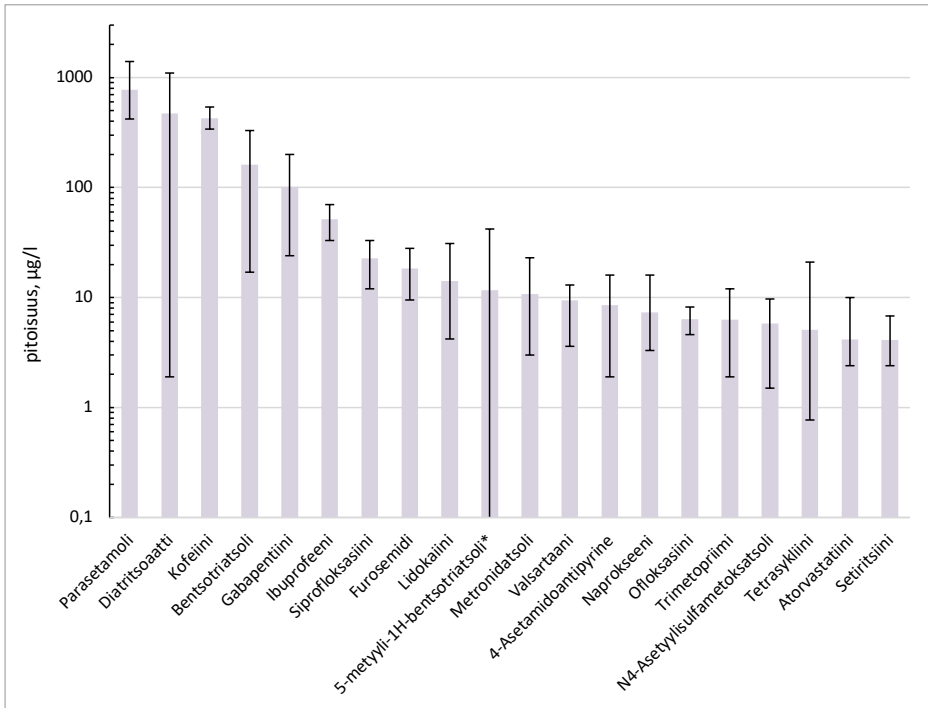
Taulukko 1. Kaikkien analysoitujen näytteiden lääkeaine- ja hormonimäärät yli määrittämissä rajojen.

Näyte	Lääkeaineita ja hormoneja yli määrittämissä rajan, kpl
Sairaala 11.11.21	53
Sairaala 12.11.21	55
Sairaala 12.04.22	60
Sairaala 13.04.22	61
Sairaala 05.05.22	64
Sairaala 06.05.22	65
Jätevedenpuhdistamo tuleva 11.11.21	53
Jätevedenpuhdistamo tuleva 12.11.21	54
Jätevedenpuhdistamo tuleva 12.04.22	47
Jätevedenpuhdistamo tuleva 13.04.22	46
Jätevedenpuhdistamo tuleva 05.05.22	53
Jätevedenpuhdistamo tuleva 06.05.22	54
Jätevedenpuhdistamo lähtevä 11.11.21	57
Jätevedenpuhdistamo lähtevä 12.11.21	57
Jätevedenpuhdistamo lähtevä 12.04.22	51
Jätevedenpuhdistamo lähtevä 13.04.22	51
Jätevedenpuhdistamo lähtevä 05.05.22	61
Jätevedenpuhdistamo lähtevä 06.05.22	58

SAIRAALAN LÄÄKEAINEPITOISUUDET

Kuvassa 2 on esitetty 20 lääkeainetta, joiden keskiarvopitoisuudet ovat suurimmat mitauksissa havaitut sairaalan jätevedessä. Sairaalan jätevedessä oli viisi lääkeainetta, joiden pitoisuudet ylittivät 100 µg/l, 17 lääkeainetta, jotka ylittivät 10 µg/l ja 47 lääkeainetta, jotka ylittivät 1 µg/l. Selvästi eniten sairaalan jätevedessä oli parasetamolia (tulehduskipulääke), diatritsoaattia (varjoaine) ja kofeiinia (keskushermostoon vaikuttava aine). Parasetamolia ja kofeiinia oli kaikilla näytteenotokerroilla suuria pitoisuuksia, mutta diatritsoaattia oli huhtikuun näytteenotossa vain noin 2 µg/l. Syy diatritsoaatin vähyyteen tässä näytteen-

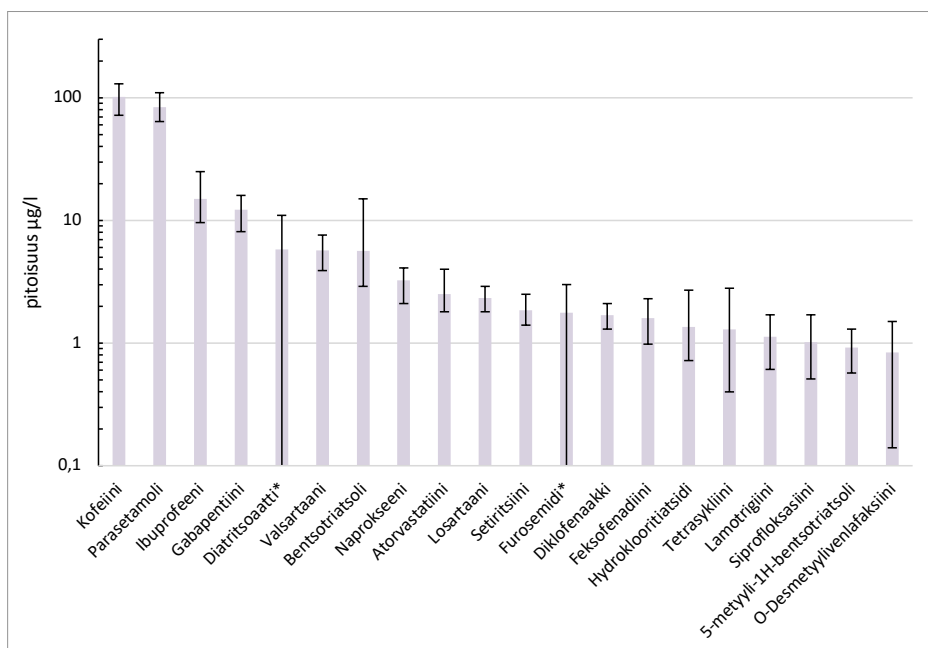
otossa oli todennäköisesti samalla viikolla ollut pääkaupunkiseudun hoitajien lakko, jonka takia sairaalassa ei tehty kuvauksia normaaliin tahtiin. Yhteensä sairaalan jätevedessä oli lääkaineita marraskuun näytteenotossa 2 630 µg/l, huhtikuun näytteenotossa 1 276 µg/l ja toukokuun näytteenotossa 2 591 µg/l. Marraskuun ja toukokuun lääkainemäärät ovat samalla tasolla, kun taas huhtikuussa lääkaineita oli yli puolet vähemmän. Tämä selittyy ainakin osittain edellä mainitusta sairaalatoimenpiteiden vähentymisestä kyseisenä ajan-kohtana.



Kuva 2. 20 lääkaineen keskiarvopitoisuudet ja pitoisuuksien vaihteluvälit sairaalan jätevedessä. *Yksi analyysitulokset alle määrittäysrajan.

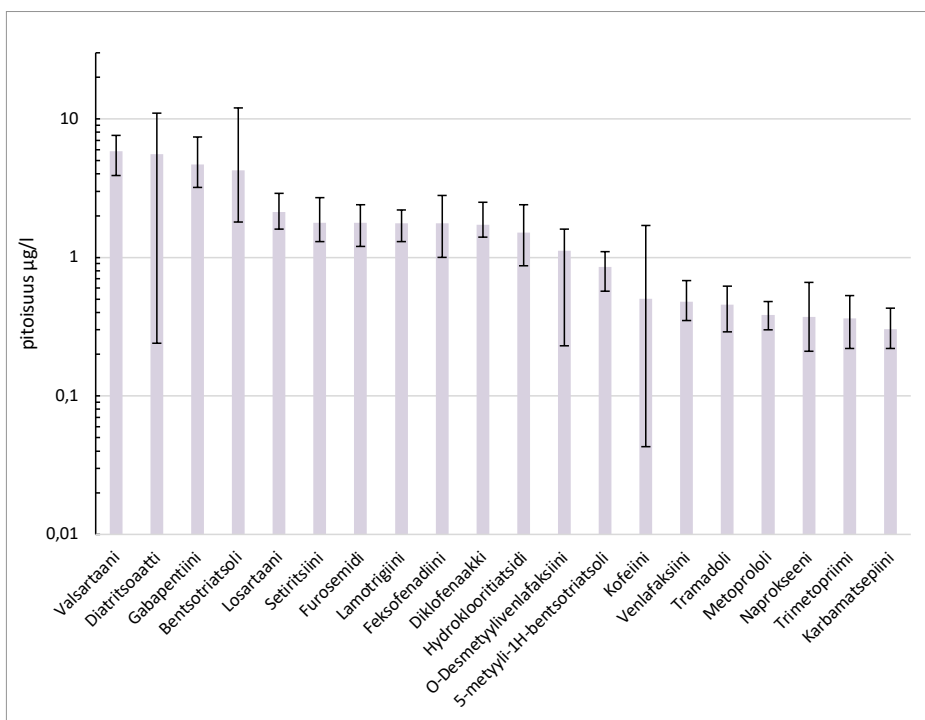
JÄTEVEDENPUHDISTAMON LÄÄKEAINEPITOISUUDET

Kuvassa 3 on esitetty 20 lääkainetta, joiden keskiarvopitoisuudet olivat hankkeessa tehtyjen mittausten mukaan suurimmat jätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä. Tulevassa jätevedessä oli kaksi lääkainetta, joiden pitoisuudet ylittivät 100 µg/l, kuusi lääkainetta yli 10 µg/l ja 21 lääkainetta yli 1 µg/l. Huomattavasti eniten jätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä oli kofeiinia ja parasetamolia. Yhteensä tulevassa jätevedessä oli lääkaineita marraskuun näytteenotossa 320 µg/l, huhtikuun näytteenotossa 192 µg/l ja toukokuun näytteenotossa 266 µg/l. Jätevedenpuhdistamolle tuleva jätevesivirtaama vaihtelee huomattavasti eri vuodenaikoina, mikä aiheuttaa vaihtelua myös lääkainepitoisuuksiin.



Kuva 3. 20 lääkeaineen keskiarvopitoisuudet ja pitoisuuksien vaihteluvälit jätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä. *Yksi tai useampi analyysitulokset alle määrittämissä.

Kuvassa 4 on esitetty 20 lääkeainetta, joiden keskiarvopitoisuudet olivat mittausten perusteella suurimmat jätevedenpuhdistamolta lähtevässä vedessä. Lähtevässä vedessä oli kaksi lääkeainetta, joiden pitoisuudet ylittivät 10 µg/l ja 14 yli 1 µg/l. Yhteensä lähtevässä vedessä oli lääkeaineita marraskuun näytteenotossa 46 µg/l, huhtikuun näytteenotossa 33 µg/l ja toukokuun näytteenotossa 45 µg/l.



Kuva 4. 20 lääkeaineen keskiarvopitoisuudet ja pitoisuuksien vaihteluvälit jätevedenpuhdistamolta lähtevässä vedessä.

LÄÄKEAINEIDEN POISTUMINEN JÄTEVEDENPUHDISTAMOLLA

Lääkeaineiden poistumistehokkuus jätevedenpuhdistamolla pystyttiin laskemaan tulevan ja lähtevän jäteveden pitoisuuksista. Eri lääkeaineiden poistumistehokkuudet on esitetty taulukossa 2. Lääkeaineiden poistotehokkuudet ovat osin minimiarvioita, sillä joidenkin näytteiden pitoisuudet olivat alle määräysrajojen. Keskimääräisesti jätevedenpuhdistamolla yli 50-prosenttisesti poistui 28 lääkeainetta, joista yli puolet poistui yli 90-prosenttisesti. Jätevedenpuhdistamo ei kuitenkaan poista kaikkia lääkeaineita tehokkaasti, sillä esimerkiksi kymmenen lääkeainetta eivät mittausten mukaan keskimääräisesti poistuneet ollenkaan tai niiden pitoisuudet kasvoivat jätevedenpuhdistamolla. Lääkeaineista syntyy erilaisia muuntumistuotteita biologisen puhdistuksen aikana, mikä osaksi selittää analyysissä havaitun pitoisuuksien kasvun. Yhteensä jätevedenpuhdistamo poisti lääkeaineita kuormasta 83–86 prosenttia.

Taulukko 2. Jätevedenpuhdistamon lääkeaineiden poistotehokkuudet. Punaisella korostetut lääkeaineet eivät yhdessä tai useammassa näytteenotossa poistuneet jätevedenpuhdistamolla, tai niiden pitoisuudet kasvoivat. *Yksi tai useampi näyte alle määrittysrajan.

Lääkeaine	Poistuma, %
Parasetamoli*	99–100
Kofeiini	98–100
Ibuprofeeni*	98–100
Asetanilidi*	97–99
Estrioli*	96–99
Klotrimatsoli*	92–99
Ketokonatsoli*	94–98
Mikonatsoli*	94–98
Tetrasykliini*	94–98
Testosteroni*	95–97
Progesteroni*	91–98
Siprofloksasiini*	91–96
Hydrokortisoni*	88–97
N4-Asetyyliisulfametoksatsoli	75–96
Atorvastatiini	83–92
Sulfametoksatsoli*	85–94
Naprokseeni	82–94
Sertraliini ja norsertaliini	79–91
Ketiapiini*	82–92
Desloratadiini*	79–85
Enalapriili*	57–90
Estroni*	38–93
Klaritromysiini*	64–72
Metronidatsoli*	52–71
Sulfadiatsiini*	0–84
Gabapentiini	56–70
Amitriptyliini	33–77
Ramipriili*	39–68
Klotsapiini	40–61
4-Formyyliaminoantipyriini*	8–75
Sitalopraami	34–36

Lääkeaine	Poistuma, %
Mirtatsapiini	22–44
Betsafibraatti	-16–46
Atenololi	19–55
Ketoprofeeni	14–39
Atsitromysiini	18–34
Sotaloli*	-12–75
Bentsotriatsoli	15–40
Propanololi*	11–30
Ksylometatsoliini*	-20–36
Bisoprololi	1–47
Klindamysiini*	-60–31
Trimetopriimi	-10–17
Lidokaiini	-5–21
Losartaani	0–15
5-metyyli-1H-bentsotriatsoli	5–8
Diatritsoaatti*	-260–15
Furosemiidi*	-35–17
Setiritsiini	-4–13
Venlafaksiini	-12–19
Karbamatsepiini*	-69–16
Diklofenaakki	-4–0
Valsartaani	-21–12
Feksofenadiini	-20–6
Hydroklooritiatsidi	-30...-2
Metoprololi	-40–5
Tramadoli	-61–7
4-Asetamidoantipyriini	-41...-14
Flukonatsoli	-71–9
O-Desmetyylivenlafaksiini	-72...-10
Lamotrigiini	-93...-31

Hankkeessa arvioitiin myös jätevedenpuhdistamolta lähtevän veden lääkeainepitoisuuksien ympäristövaikutuksia. Puhdistamolta lähtevässä vedessä oli 17 lääkeainetta, joiden pitoisuudet ylittivät PNEC-arvon, jota voidaan käyttää ympäristövaikutusten arviointiin

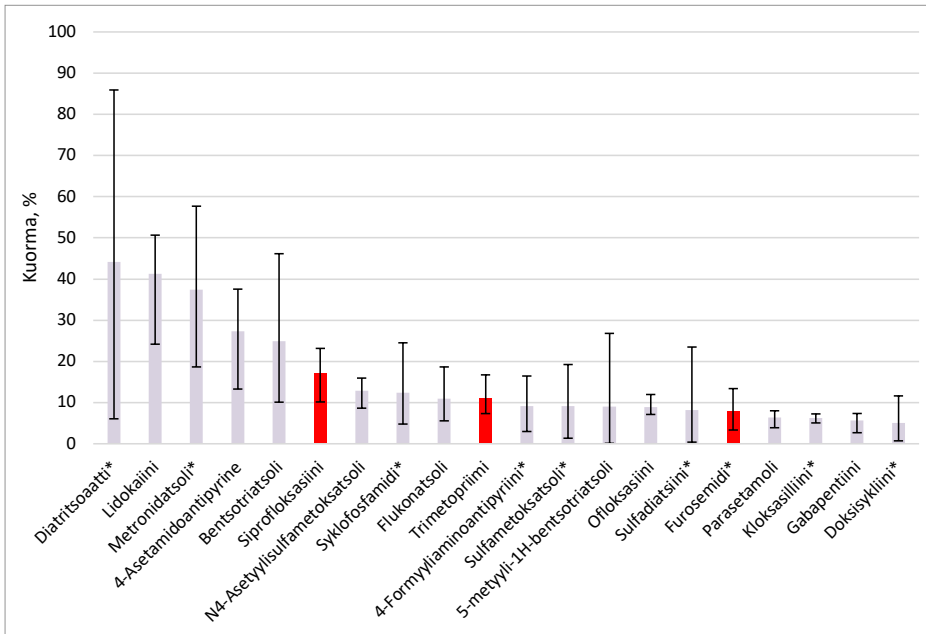
yhdessä tai useammassa näytteessä (taulukko 3). PNEC-arvot ovat kuitenkin vain arvioita, eivätkä ne kerro varmuudella aineiden ympäristövaikutuksista. Eri lähteet saattavat myös esittää huomattavan erilaisia PNEC-arvoja. Lääkeaineanalyysissä myös pitoisuuksien määrittelyrajat voivat rajoittaa ympäristövaikutusten arviointia. Analyysissä oli 13 lääkeainetta ja hormonia, joiden pitoisuudet olivat alle määrittelyrajan, ja jo nämä määrittelyrajat ylittivät PNEC-arvot. Näin ollen näiden yhdisteiden ympäristövaikutusta ei pystytä arvioimaan.

Taulukko 3. Jätevedenpuhdistamolta poistuvan veden lääkeaineet, joiden pitoisuudet ylittävät PNEC-arvon, niiden pitoisuudet näytteissä ja PNEC-arvot. *Määrittelyraja on yli PNEC-arvon. [1] Orias & Perrodin 2014, [2] Carvalho ym. 2015, [3] Di Lorenzo ym. 2019, [4] Söregård ym. 2019, [5] Komission täytäntöönpanopäätös (EU) 2018/840, [6] Bengtsson-Palme & Larsson 2016, [7] FASS 2022.

Lääkeaine	Pitoisuus, µg/l	Näytteitä yli PNEC, kpl	PNEC-arvo, µg/l
Estroni	0,005–0,047	6/6	0,004 ^[5]
Atorvastatiini	0,18–0,34	5/6	0,19 ^[1]
Atsitromysiini	0,082–0,23	6/6	0,00009 ^[2]
Diklofenaakki	1,4–2,5	6/6	0,02 ^[1]
Fluoksetiini	<0,01–0,013	6/6*	0,0029 ^[1]
Furosemiidi	1,2–2,4	6/6	1 ^[1]
Ibuprofeeni	<0,05–0,29	1/6	0,2 ^[1]
Klaritromysiini	0,024–0,04	1/6	0,04 ^[1]
Kofeiini	0,043–1,7	6/6	0,001 ^[3]
Metoprololi	0,30–0,48	6/6	0,1 ^[1]
Piperasilliini	<0,01–0,55	2/6	0,5 ^[6]
Propranololi	0,07–0,13	6/6	0,05 ^[1]
Roksitromysiini	<0,005–0,01	2/6	0,01 ^[1]
Siprofloksasiini	<0,05–0,082	6/6*	0,005 ^[7]
Sitalopraami	0,098–0,2	6/6	0,00635 ^[1]
Trimetopriimi	0,22–0,53	6/6	0,0058 ^[1]
Venlafaksiini	0,60–2,28	4/6	1,01 ^[4]

SAIRAALAN LÄÄKEAINEKUORMA JÄTEVEDENPUHDISTAMOLLE

Sairaalan lääkeainekuormaa jätevedenpuhdistamolle arvioitiin massaperäisesti lääkeainepitoisuuksista ja jätevesien tilavuusvirtaamista. Jätevedenpuhdistamolta saatujen tietojen mukaan keskimääräinen päivittäinen jätevesivirtaama puhdistamolle oli näytteenottoajankohtina 702 m³/h, 1138 m³/h ja 844 m³/h. Sairaalan jätevesivirtaamaa arvioitiin kirjallisuuteen perustuen. Tässä tutkimuksessa virtaamana käytettiin 6 m³/h. Yksittäisten lääkeaineiden kuorma sairaalalta jätevedenpuhdistamolle on esitetty kuvassa 5. Diatritsoaatin osuus sairaalalta jätevedenpuhdistamolle on selvästi suurin. Koska diatritsoaatti on varjoaine, sitä käytetään vain sairaaloissa ja täten vain osa lääkeaineesta voi kulkeutua ihmisten elimistössä pois sairaalalta ja päätyä muualla virtsan mukana jätevesiin. Tästä syystä sitä voi löytyä myös kotitalouksista tulevasta jätevedestä. Muita huomattavan suuria osuuksia oli mittausajankohdilla lidokaiinilla (puudute), metronidatsolilla (antibiotti), 4-asetamidoantipyriinillä (kipulääkkeiden muuntumistuote) ja bentsotriatsolilla (lääkeaineiden rakenneosia). Huhtikuun näytteenoton aikana sairaalalla ollut toiminnan vähentyminen pienensi huomattavasti varsinkin diatritsoaatin kuormaa jätevedenpuhdistamolle. Yhteensä 17 eri lääkeaineen kuorma jätevedenpuhdistamolle ylitti yhdessä näytteessä kymmenen prosentin osuuden. 65 lääkeainetta 82:sta ylitti yhden prosentin kuorman.



Kuva 5. Sairaalalta jätevedenpuhdistamolle tulevien lääkeaineiden keskiarvokuormat ja vaihteluvälit. Punaiset palkit kuvastavat lääkeaineita, joiden pitoisuus on ollut yli PNEC-arvon jätevedenpuhdistamolta lähtevässä vedessä. *Yksi tai useampi näyte alle määrittämissä.

Määrällisesti sairaalasta kulkeutuu jäteveden mukana puhdistamolle 7 655–15 781 mg lääkkeitä tunnissa. Jos ei lasketa mukaan kofeiinia, vastaava luku on 5 495–13 231 mg tunnissa. Jätevedenpuhdistamolle tulee lääkkeitä tunnissa 218 881–224 939 mg, ilman kofeiinia määrät ovat 133 679–140 391 mg tunnissa. Massaperäisesti sairaalan kokonaiskuormitus lääkkeitä osalta jätevedenpuhdistamolle on 3,5–7,0 prosenttia (4,1–9,9 % ilman kofeiinia). Jos ei oteta huomioon huhtikuun näytteenoton aikana tapahtunutta vähentyntä toimintaa sairaalalla, kokonaiskuormitus on 6,9–7,0 prosenttia ja 9,0–9,9 prosenttia ilman kofeiinia.

Huhtikuun toiminnan vähentyminen sairaalassa näkyy selvästi lääkkeitä määrän vähentymisenä sairaalan jätevedessä. Suurin poikkeama lääkkeitä määrässä tulee diatritsoaatista, jonka osuus sairaalan jätevedestä on määrällisesti jopa 37 prosenttia. Diatritsoaatin käytön vähentyminen sairaalassa huomattiin myös jätevedenpuhdistamon näytteistä. Huhtikuun näytteenotossa jätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä diatritsoaatin pitoisuudet olivat alle määrittärajän.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Vemo-hankkeessa arvioitiin noin 250 potilaspaikkaisen sairaalan vaikutusta kunnallisen jätevedenpuhdistamon lääkkeitä kuormaan. Tulosten perusteella voidaan todeta, että mikäli kofeiinia ei huomioida, lääkkeitä kuorma, jonka sairaala puhdistamolle aiheuttaa, on lähes kymmenen prosenttia. Tätä voidaan pitää merkittävänä yhdestä kohteesta tulevana lääkkeitä kuormituksena. Lisäksi voidaan todeta, että sairaalasta tulevien lääkkeitä päästöjen joukossa on esimerkiksi merkittäviä määriä varjoainetta, joka ei hajoa tai poistu tehokkaasti perinteisellä aktiivilietemenetelmään perustuvalla jätevedenpuhdistuslaitoksella. Koska käsiteltävä jätevesimäärä on sairaalalla huomattavasti pienempi kuin kunnallisella puhdistamolla, olisi erilliskäsittely lääkkeitä päästöjen vähentämiseksi sairaalalla järkevä ratkaisu. Sairaalan jäteveden erilliskäsittelyllä voitaisiin joko puhdistaa jätevesi kokonaan uudelleen käytettäväksi esimerkiksi sairaalan jäähdytykseen tai puhdistettu vesi voitaisiin päästää vesistöön suoraan erilliskäsittelystä. Toinen vaihtoehto olisi erilliskäsittelyssä käsitellä sairaalan jätevedettä esimerkiksi hapettamalla siten, että lääkkeitä olisivat siinä kunnalliselle puhdistamolle saapuessaan helpommin biologisesti hajoavassa muodossa. Erilliskäsittely sairaalalla vähentäisi riskiä, että sairaalajäteveden mukana puhdistamolle päätyvät resistentit bakteerit päätyisivät tulvatilanteessa ympäristöön.

LÄHTEET

Bengtsson-Palme, J. & Larsson, D.G.J. 2016. Concentrations of antibiotics predicted to select for resistant bacteria: Proposed limits for environmental regulation. *Environment international*. 86, 140–149.

Carvalho, R.N., Ceriani, L., Ippolito, A. & Lettieri, T. 2015. Development of the first Watch List under the Environmental Quality Standards Directive, EUR2714, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Di Lorenzo, T., Cartano-Sánchez, A., Darío Di Marzio, W., García-Doncel, P., Nozal Martínez, L., Galassi, D., M. P. & Iepure, S. 2019. The role of freshwater copepods in the environmental risk assessment of caffeine and propranolol mixtures in the surface water bodies of Spain. *Chemosphere*, 220, 227–236.

FASS. 2022. Ciprofloxacin Hexal. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fass.se/LIF/product?userType=2&nplId=20020308000315> [viitattu 13.6.2022].

Orias, F. & Perrodin, Y. 2014. Pharmaceuticals in hospital wastewater: their ecotoxicity and contribution to the environmental hazard of the effluent. *Chemosphere* 115: 31–39.

Söregård, M., Campos-Pereira, H., Ullberg, M., Lai, F., Golovko, O. & Afrens, L. 2019. Mass loads, source apportionment, and risk estimation of organic micropollutants from hospital and municipal wastewater in recipient catchments. *Chemosphere* 234, 931–941.

JÄTEVESIEN MIKROMUOVIT

Riina Tuominen & Aki Volanen & Perttu Salmi & Mirka Viitala

Muovia käytetään useissa eri tarkoituksissa, jolloin myös mikromuovin lähteitä on paljon. Mikromuoveja löytyy lähes kaikkialta, ja niiden poistaminen on vaikeaa niiden päästyä ympäristöön. Mikromuovit aiheuttavat haittaa vesieliölle, mutta tieto niiden aiheuttamista mahdollisista haitoista ihmisen terveydelle on vielä vähäistä ja epävarmaa.

Vemo – Kaupunkien jätevesien haitallisten aineiden vähentäminen monitorointia tehostamalla -hankkeessa kartoitettiin jäteveden mikromuovien mahdollisia päästölähteitä ja niiden aiheuttaman kuormituksen osuutta jätevedenpuhdistamolle tulevaan jäteveeteen. Lisäksi selvitettiin päästölähdekohtaisen poistomenetelmän mahdollisuuksia ja kustannusvaikutuksia autopesulan jätevesille.

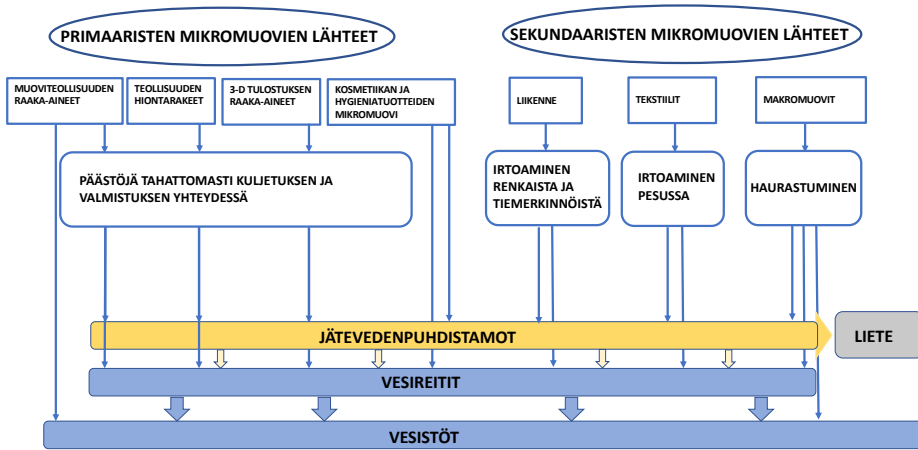
MIKROMUOVIT JA NIIDEN PÄÄSTÖLÄHTEET

Mikromuovit ovat kirjava haitta-aineryhmä, johon lukeutuvat yli 1 µm:n ja alle viiden millimetrin kokoiset muovihiukkaset. Myös mikromuovien muoto vaihtelee esimerkiksi epä-säännöllisistä fragmenteista kapeisiin kuituihin ja ohuisiin kalvoihin. Lisäksi mikromuovit koostuvat erilaisista muovilaaduista, jotka voivat sisältää myös lukuisia lisä- ja väriaineita. Mikromuovit ovat muovityypistä riippuen yleisesti kestäviä ja vesistöihin päästessään merkittävä ympäristöriski. Muovi on kemiallisesti hyvin stabiilia, vaikeasti biohajoavaa sekä korroosion kestävä, joten sitä voi esiintyä ympäristössä vielä satojen tai jopa tuhansien vuosien jälkeenkin. Mikromuovien pienen koon vuoksi muun muassa eläinplankton ja pohjaeläimet voivat syödä niitä vesiympäristössä luullen niitä ravinnokseen, mikä voi haitata eliöiden kasvua sekä lisääntymistä. (Shen ym. 2019.)

Luonnossa yhden muoviroskan hajoamiseen voi kulua aikaa jopa 500 vuotta. Muovimateriaalit kuitenkin haurastuvat ajan ja ympäristötekijöiden vaikutuksesta, minkä vuoksi niistä voi irrota mikromuoveja jo käytön aikana kulumisen seurauksena tai tuotteen pois heittämisen jälkeen ympäristössä. Kosmetiikka- ja hygieniatuotteisiin mikromuoveja voidaan lisätä myös tarkoituksella. Vesistöihin mikromuovit päätyvät usein jätevesien ja hulevesien kautta. (Pietiläinen 2019.)

Mikromuovit jaetaan syntytapansa perusteella primaarisiin ja sekundaarisiin mikromuoveihin, joiden lähteitä on havainnollistettu kuvassa 1. Tämän tulkinnan mukaan primaariset mikromuovit ovat jo valmiiksi mikromuoviluokkaan kuuluvia, sellaisenaan tuotteisiin tai

niiden raaka-aineena käytettäviä ja tahattomasti jätevesiin päätyviä partikkeleita. Sekundääriset mikromuovit taas syntyvät, kun suuremmat muovituotteet hajoavat mikromuoviksi.



Kuva 1. Mikromuovien lähteet ja päätyminen jätevedenpuhdistamolle (mukaanlaskien SYKE 2017, UNEP 2016 (P.J. Kershaw)).

Euroopan parlamentin (2018) mukaan taas primääriset mikromuovit vapautuvat valmiina luontoon pieninä partikkeleina ja niiden pääasialliset lähteet ovat synteettisten vaatteiden pesu, autojen renkaiden kulumisen ajon aikana sekä hygieniatuotteisiin tarkoituksella lisätyt mikromuovit. Merten mikromuoveista primääristen mikromuovien osuuden on arvioitu olevan noin 15–31 prosenttia. Sekundääriset mikromuovit syntyvät, kun suuremmat muovituotteet hajoavat pienempiin osiin (esimerkiksi muovipussit, juomapullot ja kalastusverkot). Näiden mikromuovien osuudeksi merten mikromuoveista on arvioitu noin 69–81 prosenttia.

Yksi merkittävimmistä mikromuovilähteistä ovat autojen renkaat. On arvioitu, että mikromuovia irtosi autonrenkaista Suomessa 5 400–10 000 tonnia vuoden 2017 aikana. Toinen merkittävä mikromuovien lähde on teollisuuden raaka-aineina käytetyt muovipelletit. Vähäisempiä päästöjä on peräisin tiemerkinntöjen ja asfaltin kulumisesta, rakennuksien rapisevista maalipinnoista sekä tekstiilien pesusta. (Pietiläinen 2019.)

Kaduilta huuhtoutuu hulevesien mukana auton renkaiden kumimurua, asfaltin ja tiemerkinntöjen partikkeleita sekä roskia. Myös tekonurmikentiltä kulkeutuu täyteaineena käytettyä kumimurua hulevesiin. Mikäli hulevedet yhdistyvät jätevesiin, lisäävät ne jäteveden mikromuovikuormaa. (Pietiläinen 2019.) Muita mahdollisia mikromuovien lähteitä ovat muun muassa muoviteollisuuden ja 3D-tulostuksen raaka-aineet (SYKE 2019).

Jätevesiin päätyy mikromuovia myös kotitalouksissa käytettävistä keinokuituvaatteista ja mikromuovia sisältävistä kosmetiikkatuotteista. Eurooppalainen kosmetiikkateollisuus pyrkii siirtymään pois mikrohelmien käytöstä, ja mikromuovi tuotteiden osana halutaan kieltää vuoteen 2026 mennessä. (ECHA s.a.)

Vesistöihin mikromuoveja päätyy hulevesien, jätevesien ja puhdistamolietteen mukana. Päästöjen vähentämisessä jäte- ja hulevesien hallinta ovat ratkaisevassa asemassa. Mikromuovien poisto jätevesistä on jo melko tehokasta ja menetelmiä kehitetään edelleen, mutta puhdistamolietteen ja hulevesien osalta muovien poisto on ollut haastavaa. (Pietiläinen 2019.)

MUOVIER OMINAISUUKSIA JA KÄYTTÖKOhteITA

Maailmassa tuotetaan kymmeniä erilaisia muovilaatuja, joiden ominaisuudet mahdollistavat niiden hyödyntämisen erilaisissa käyttötarkoituksissa. Alla on esitelty yleisimmin tuotetut muovilaadut käyttökohteineen.

Etyleenivinyylisetaatti eli EVA on solumuovia. Sitä voidaan käyttää useissa eri käyttökohteissa, kuten eristeissä, tiivisteissä ja pehmusteissa. (EVA-muovi sopii moneen käyttöön s.a.)

Polyamidi eli PA on ryhmä erilaisia teknisiä muoveja. Polyamidista valmistetaan esimerkiksi koneiden osia, mutta sitä käytetään myös tekstiileissä sellaisenaan tai muiden materiaalien kanssa. (Muoviteollisuus ry)

Polyeteeni eli PE on käytetyin muovilaatu maailmassa. Se luokitellaan painojakaumansa mukaan LDPE:ksi (Low Density Polyethylene) ja HDPE:ksi (High Density Polyethylene). Polyeteeniä käytetään useisiin eri käyttötarkoituksiin, kuten muovipusseihin, kalvoihin, putkiin, säiliöihin, eristepaloiksi, leikkuulautoihin ja suojalevyiksi. (Vink Finland s.a.)

Polyeteenitereftalaatti eli PET on erityisesti pakkausteollisuudessa hyödynnetty polyesteri (Muoviteollisuus ry). Polyeteenitereftalaattia käytetään runsaasti myös tekstiiliteollisuudessa, jossa siitä valmistetaan esimerkiksi fleecemateriaaleja.

Polypropeeni eli PP yleisesti käytetty muovimateriaali. Sitä käytetään melkein kaikilla teollisuudenaloilla. Käyttökohteita ovat muun muassa säiliöt, putkistot, pumput, sähkötarvikkeet, sairaalatarvikkeet ja kotitalouskoneiden osat. (Vink Finland s.a.)

Polystyreeni eli PS on jäykkä, mutta hauras ja suhteellisen edullinen muovimateriaali. Polystyreenistä valmistetaan esimerkiksi eristeitä, astioita ja koteloita. (Vink Finland s.a.)

Polytetrafluoretyleeni eli PTFE tunnetaan nimellä teflon. Sitä käytetään pinnoitteissa, putkistojen vuorausmateriaalina, prosessiteollisuuden tiivisteinä ja erilaisina komponentteina. (Vink Finland s.a.)

Polyuretaani eli PUR on tekninen kumimainen materiaali. Polyuretaania käytetään esimerkiksi eristeenä ja siitä voidaan valmistaa koneistamalla erilaisia muovituotteita. (Vink Finland s.a.)

Polyvinyylikloridi eli PVC on edullinen ja helposti jalostettavissa oleva yleinen muovilaatu. Sitä käytetään niin pakkausten valmistamisessa kuin lääketeollisuudessa ja autojen valmistuksessa. Rakennusteollisuus on suurin PVC-tuotteiden käyttäjä, mutta myös sähkö- ja elektroniikkateollisuus käyttää PVC-muovia tuotteissaan. (Masamuovi s.a., Vink Finland s.a.)

JÄTEVEDEN NÄYTTEENOTOT

Hankkeen pilottialueena oli Mikkelin kaupungin taajama-alue. Mikromuovien päästölähteistä saatiin taustatietoja kirjallisuudesta ja muualla tehdyistä tutkimuksista. Hankkeen työryhmän kesken valittiin tarkasteltavat päästölähteet, joiden mikromuovikuormaa tutkittiin tarkemmin myös näytteenoton avulla. Päästölähdekohtaiseen määrittelyyn otettiin viisi näytenäytettä ja lisäksi jäteveden puhdistamolta otettiin vertailunäyte tulevasta jätevedestä.

Jätevesien mikromuovipitoisuuksia määritettiin joulukuussa 2020 ja kesäkuussa 2021. Joulukuussa tarkasteltiin tarkemmin jäteaseman, pesulan ja autopesulan jäteveden mikromuovimäärää. Kesäkuussa 2021 tarkastelussa olivat kotitaloudet ja elintarviketeollisuus. Näytteenotto tehtiin pääosin metallisen kauhan avulla kokoomänäytteenä ja pääsääntöisesti näytteitä otettiin neljä kertaa vuorokauden aikana. Näytteet lähetettiin analysoitavaksi ALS Finland Oy:lle. Mikromuovit analysoitiin FTIR-tekniikalla. Analyysiin sisällytettiin partikkelit, joiden halkaisija oli yli 40 mikrometriä.

Taulukko 1. Vemo-hankkeessa määritettyjä päästölähteiden ja jätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden mikromuovipitoisuuksia (kpl/l) joulukuussa 2020 ja kesäkuussa 2021.

	VUOSI 2020				VUOSI 2021		
	Jäte-asema	Pesula	Auto-pesula	Jäteveden-puhdistamo	Kotitaloudet	Elin-tarvike-teollisuus	Jäteveden-puhdistamo
fluoria sis. orgaaniset partikkelit, esim. PTFE	<16	<12	<16	<27	<11	<11	<11
klooria sis. orgaaniset partikkelit, esim. PVC	<16	<12	<16	<27	<11	<11	<11
etyleenivinyyli-asettaatti (EVA)	16		65	189			
orgaaniset partikkelit, esim. PMMA, PUR, PET		<12			<11	<11	<11
polyuretaani (PU)				351			
polypropeeni (PP)	113	23	65	27			
polyeteeni (PE)	16			459			
polystyreeni (PS)							
silikonia sis. orgaaniset partikkelit, esim. muovi		<12	<16		<11	<11	<11
hiilirikkaat partikkelit, esim. PP, PE, PS					11	<11	<11

Joulukuun analysoinneissa jätevedenpuhdistamon näytteestä määritettiin etyleenivinyyliasettaatin, polyuretaanin, polypropeenin ja polyeteenin määrä. Polypropeenaa havaittiin kaikissa otetuissa näytteissä.

Jäteaseman näytteestä tunnistettiin etyleenivinyyliasettaattia, polypropeenaa ja polyeteeniä. Etyleenivinyyliasettaatin osalta jäteaseman arvioitu osuus puhdistamolle tulevasta kuormituksesta oli 0,2 prosenttia, polypropeenin kahdeksan prosenttia ja polyeteenin 0,1 prosenttia.

Pesulan jätevedestä tunnistettiin polypropeenaa. Autopesulan näytteestä tunnistettiin etyleenivinyyliasettaattia sekä polypropeenaa. Kuormituksen osuutta jäteveden puhdistamolle tulevassa vedessä voidaan arvioida niiden muovi-laatujen osalta, joista saatiin määritettyä tulos sekä tarkastellussa päästölähteessä että puhdistamolla. Pesulan osalta kuormituksen osuus puhdistamolle tulevan jäteveden polypropeenista on 0,2 prosenttia. Autopesulan osuus polypropeenikuormituksesta on myös 0,2 prosenttia ja etyleenivinyyliasettaattikuormituksesta 0,1 prosenttia.

Kesäkuun näytteiden analysointi oli tavanomaista haastavampaa. Ainoastaan kotitalouden jätevedestä saatiin määritettyä hiilirikkaita partikkeleita. Hiilirikkaisiin partikkeleihin oli tässä yhteydessä yhdistetty muun muassa polyeteeni, polypropeeni ja polystyreeni. Koska jätevedenpuhdistamon näytteestä ei saatu määritettyä mitään muovilaatua, kuorituksen osuutta ei voida arvioida.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa tehdyt näytteenotot olivat yksittäisiä, joten niiden perusteella tehtyjä arvioita voidaan pitää vain suuntaa antavina. Tulosten vertailua vaikeuttaa myös näytteenoton jaksottuminen kahteen osaan, sillä kotitaloudet ja elintarviketeollisuus päätettiin ottaa tarkastelukohteeksi vasta ensimmäisen näytteenottokierroksen jälkeen.

Mikromuovinäytteenotto ja -tutkimus on haastavaa, eivätkä käytetyt menetelmät ole standardoituja. Tässä tutkimuksessa kerätyt kokoomanäytteet ovat myös voineet altistua kontaminaatiolle. Luotettavampien tulosten saamiseksi tutkituista näytestä tulisi kerätä useampia näytteitä kontaminaatiota välttämällä.

Tämän tutkimuksen mukaan tutkittujen päästölähteiden osuus jätevedenpuhdistamolle saapuvasta kokonaiskuormituksesta on yksittäisesti tarkasteltuna vähäinen. Puhdistamolla valtaosa mikromuoveista saadaan poistettua jätevedestä, ja suurin osa niistä kertyy lietteeseen, mikä puolestaan voi vaikeuttaa lietteen jatkokäyttöä. Puhdistettujen jätevesien mukana vesiympäristöön kulkeutuu kuitenkin jätevedenkäsittelymenetelmästä riippuen pieniä pitoisuuksia mikromuoveja. Mikromuovikuormaa vesistöihin aiheuttavat myös hulevesien mukana kulkeutuvat mikromuovit sekä vesiympäristöön päätyvät suuremmat muoviroskat. Mikromuovien aiheuttamien ympäristövaikutusten vähentämisessä ensisijaisen tärkeää onkin estää muovien päätyminen ympäristöön.

Muovituotteiden käyttöä pyritään vähentämään ja niiden tilalle kehitetään korvaavia muovittomia tuotteita. Tämä osaltaan auttaa mikromuovin vähentämisessä tulevaisuudessa, mutta ei auta poistamaan jo ympäristöön päätyneitä mikromuovia.

LÄHTEET

ECHA. s.a. Kemikaalit muovituotteissa. European Chemicals Agency (ECHA). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://chemicalsinourlife.echa.europa.eu/fi/chemicals-in-plastic-products> [viitattu 22.6.2020].

Euroopan parlamentti. 2018. Mikromuovit: lähteet, haitat ja EU:n ratkaisut. WWW-dokumentti. Julkaistu 22.11.2018. Saatavissa: <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20181116STO19217/mikromuovit-lahteet-haitat-ja-eu-n-ratkaisut> [viitattu 10.6.2020]

EVA-muovi sopii moneen käyttöön s.a. NCM Cellfoam Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://cellfoam.fi/eva-muovi> [viitattu 3.6.2022].

Masamuovi s.a. PVC-muovin eli polyvinyylikloridin käyttö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.masamuovi.fi/pvc-muovin-eli-polyvinyylikloridin-kaytto/> [viitattu 3.6.2022].

Muoviteollisuus ry. Muovisanastoa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/sanasto/> [viitattu 15.6.2022].

Pietiläinen, M. 2019. Mistä muoviroska tulee meriin, ja mitä asialle voidaan tehdä? Suomen luonnonsuojeluliitto. WWW-dokumentti. Julkaistu 16.8.2019. Saatavissa: <https://www.sll.fi/2019/08/16/mista-muoviroska-tulee-meriin-ja-mita-asialle-voidaan-tehda/> [viitattu 10.6.2020].

Shen, M., Zhu, Y., Zhang, Y., Zeng, G., Wen, X., Yi, H., Ye, S., Ren, X. & Song, B. 2019. Mi-cro(nano)plastics: Unignorable vectors for organisms. Marine Pollution Bulletin 139, 328–331.

SYKE. 2017. Mikromuovit riski myös Suomen vesistöille. Suomen ympäristökeskus (SYKE) julkaisuja. WWW-dokumentti. Julkaistu 21.3.2017. Saatavissa: [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit_riski_myos_Suomen_vesistoill\(42492\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit_riski_myos_Suomen_vesistoill(42492)) [viitattu 10.6.2020].

SYKE. 2019. Vesistöt ja mikromuovit. Vesi.fi. WWW-dokumentti. Julkaistu 2.12.2019. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/vesistot-ja-mikromuovit/> [viitattu 8.2.2022].

UNEP 2016. Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme. ISBN 978-92-807-3580-6.

Vink Finland s.a. Muovitetopankki WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vink.fi/muovitetopankki> [viitattu 3.6.2022].

AUTOPESULA RASKAS- METALLIEN JA MIKROMUOVIIEN PÄÄSTÖLÄHTEENÄ

Perttu Salmi & Mirka Viitala & Mari Kallioinen-Mänttari & Mika Mänttari

Autopesulat ovat yksi erikoisjätevesiä tuottava päästölähde kaupunkiympäristössä. Suomessa autopesuloiden jätevedet käsitellään yleisesti hiekanerottimien ja öljynerotuskaivojen avulla ennen viemäriverkostoon johtamista. Näillä menetelmillä pyritään erottamaan jätevedestä raskaampi kiintoaine sekä öljy. Kaikki haitta-aineet, erityisesti liukoisessa muodossa olevat yhdisteet, eivät kuitenkaan poistu pesuvesistä näillä menetelmillä, minkä vuoksi Vemo-hankkeessa selvitettiin yksittäisten haitta-aineiden päätymistä autopesuloista jätevesiin.

Tutkittaviksi haitta-aineryhmiksi valittiin raskasmetallit ja mikromuovit. Tutkimuksella pyrittiin selvittämään näiden haitta-aineiden määriä pesuvesissä sekä arvioimaan, miten hyvin autopesulalla käytössä olevat esikäsitelymenetelmät poistavat kyseisiä haitta-aineita pesuvesistä ennen niiden johtamista kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle. Tulosten perusteella arvioitiin, olisiko joidenkin haitta-aineiden kohdepoistolle tarvetta jo päästölähteellä. Raskasmetalleja voi päätyä pesutapahtuman yhteydessä autosta jätevesiin autojen osista sekä autojen pintoihin päätyneestä kiintoaineksestä. Mikromuovien osalta voidaan olettaa, että autopesulan pesuvesiin voi kulkeutua autojen pinnalle käytön aikana kiinnittyneitä mikromuoveja sekä autojen muovisista rakenteista irtoavia muovipartikkeleita ja rengaspuurua. Lisäksi pesulan muoviset harjakset todennäköisesti kuluvat käytössä aiheuttaen pesuvesiin myös prosessin sisäistä mikromuovikuormitusta (kuva 1).



Kuva 1. Autopesulan pesuharjoja, joiden harjakset ovat erivärisiä PE-muoveja (kuvat Mirka Viitala).

Hankkeessa tehtiin myös kirjallisuuskatsaus autopesuloiden jätevesien ominaisuuksista ja jätevesien puhdistamisesta. Kirjallisuuskatsauksen perusteella autopesuloiden aiheuttamista päästöistä jäteveeten on saatavilla verrattain vähän julkaistua tutkimustietoa, ja julkaistut tutkimukset on pääosin tehty Euroopan ulkopuolella. Suomessa ja Euroopassa ei ole yleisiä ympäristölupia tai vaatimuksia autopesuloissa syntyvälle jätevedelle. Koska lainsäädäntöä ei ole, ei autopesuloiden jätevesiä monitoroida varsinkaan haitta-aineiden osalta Suomessa. Autopesuloiden jätevesien puhdistamiseen on saatavilla Suomessa kaupallisia prosesseja, mutta ne keskittyvät pesussa käytettävän veden kierrätyksen maksimoimiseen, jolloin vedestä poistetaan kiintoainesta ja orgaanisia yhdisteitä ja näin veden voi uudelleen käyttää pesuihin. Tutkimuksia autopesuloiden raskasmetallipitoisuuksista on julkaistu vain vähän. Lisäksi yhdessäkin tutkimuksessa ei ole aikaisemmin tutkittu mikromuovien pitoisuuksia suomalaisen autopesulan jätevedessä. (Salmi ym. 2022.)

MENETELMÄT

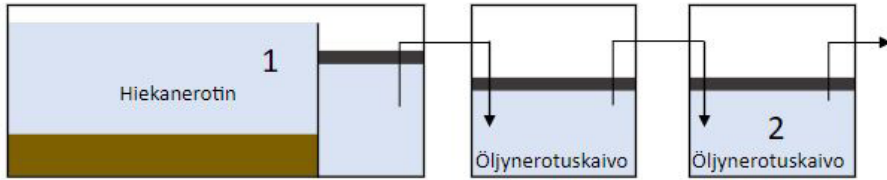
Autopesulan jätevesistä kerättiin näytteitä yhteisellä näytteenotolla sekä raskasmetallien että mikromuovien määrittäystä varten. Näytteenotto esitetään seuraavassa alaluvussa yhteisesti. Myöhemmissä alaluvuissa näiden haitta-aineiden määrittäystä ja saatuja tuloksia käsitellään erikseen.

NÄYTTEENOTTO

Tutkimusta varten tehtiin kaksi kokoomanäytteenottoa mikkeliiläisellä autopesulalla 14.–18.9.2021 ja 21.–24.4.2022. Molemmilla kerroilla kerättiin näytteitä sekä mikromuovi- että metallipitoisuuksien määrittäystä varten. Lisäksi näytteistä määritettiin pH, sähkönjohtavuus ja kemiallinen hapenkulutus (COD). Näytteitä kerättiin sekä pesulahallin lattiakaivosta ennen hiekanerotimen seinämää että jätevesilinjan toisesta öljynerotuskaivosta (kuvat 2 ja 3). Tutkittuun jätevesilinjaan ei sekoittunut kiinteistön muita jätevesiä. Näytteet kerättiin kokoomanäytteinä siirrettävillä näytteenottimilla (Hach AS950) taulukon 1 mukaisesti. Osanäytteet (34–58 ml) kerättiin 30 minuutin välein. Näytteenottimen syöttöletku sijoitettiin molemmissa näytteenottopisteissä täysin vesi-/öljypinnan alle. Ensimmäisellä näytteenottokerralla öljynerotuskaivosta kerättyihin näytteisiin kertyi todennäköisesti kaivon seinämistä irronnutta kiintoainesta ja öljyä, minkä vuoksi öljynerotuskaivosta kerätyt näytteet jätettiin mikromuovianalyysien ulkopuolelle. Tämä ongelma vältettiin kevään 2022 näytteenotossa sijoittamalla näytteenottimen syöttöletku keskelle öljynerotuskaivoa. Näytteenoton jälkeen näytepullot suljettiin muovikorkeilla (metallinäytteet) ja foliolla (mikromuovinäytteet) ja kuljettiin laboratorioon.

Kokoomanäytteiden lisäksi kerättiin negatiivisia kontrollinäytteitä sekä mikromuovi- että metallianalyysiä varten. Metallianalyysiä varten näytteenottimessa säilytettiin näytteenoton ajan avoimena näytepulloja, jotka sisälsivät puhdasta vettä, ja niistä muodostui negatiivi-

nen kontrollinäyte. Mikromuovitukimusta varten negatiiviset kontrollinäytteet kerättiin näytteenottojen jälkeen niin sanottuina pumppunollina eli keräämällä ultrapuhdasta vettä näytteenottimilla jätevesinäytteiden tavoin. Ennen pumppunollinäytteiden keräystä näytteenottimien letkut huuhdottiin hanavedellä. Negatiiviset kontrollinäytteet käsiteltiin ja analysoitiin vastaavasti kuin jätevesinäytteet molempien haitta-aineiden määrittämisensä varten.



Kuva 2. Havainnekuva tutkitun autopesulan jätevesien esikäsittelystä ja näytteenottopisteistä 1 ja 2.



Kuva 3. Näytteenottimien sijainti pesulahallissa ja öljynerotuskaivossa (kuva Mirka Viitala).

Taulukko 1. Kokoomanäytteiden näytteenottoaikataulu ja näytteistä toteutetut mittaukset.

Näytepiste	Näytteenottoaika	Haitta-ainemääritys		Yleiset parametrit (pH, COD, sähköjohtokyky)
		Mikromuovit	Metallit	
Syksy 2021				
Hiekanerotin	14.9.2021: 11.00–14.00 16.00–19.00	x x	x	x
Hiekanerotin	15.9.2021: 11.00–14.00 16.00–19.00	x x	x	x
Hiekanerotin	18.9.2021: 11.00–14.00 16.00–19.00	x	x	x
2. öljynerotuskaivo	14.9.2021: 11.05–14.05 16.05–19.05		x	x
2. öljynerotuskaivo	15.9.2021: 11.05–14.05 16.05–19.05		x	x
2. öljynerotuskaivo	18.9.2021: 11.05–14.05 16.05–19.05		x	x
Kevät 2022				
Hiekanerotin	21.4.2022: 11.00–19.30	x	x	x
Hiekanerotin	23.4.2022: 11.00–19.30	x	x	x
Hiekanerotin	24.4.2022: 11.00–19.30	x	x	x
2. öljynerotuskaivo	21.4.2022: 11.05–19.35	x	x	x
2. öljynerotuskaivo	23.4.2022: 11.05–19.35	x	x	x
2. öljynerotuskaivo	24.4.2022: 11.05–19.35	x	x	x

JÄTEVEDEN ANALYSOINTI

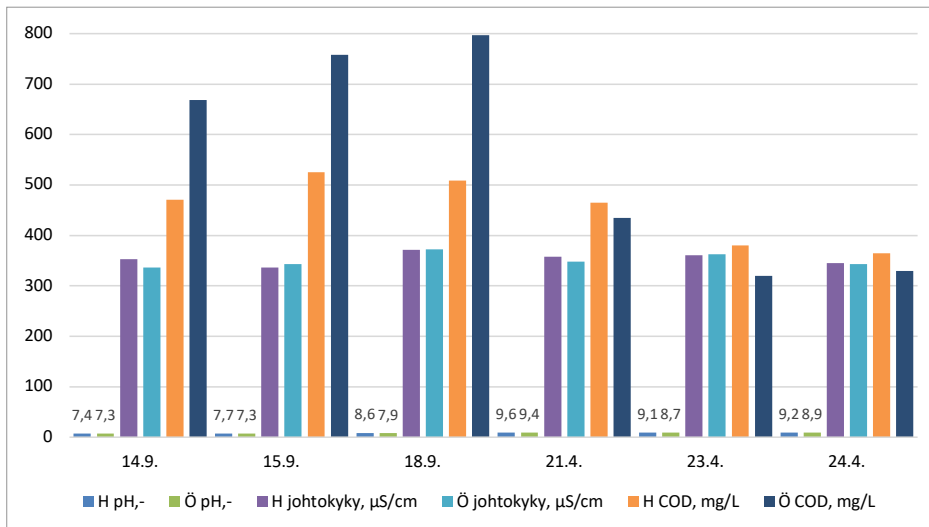
Jätevedestä analysoitiin raskasmetallipitoisuuden ja mikromuovien määrän lisäksi pH, johtokyky ja kemiallinen hapenkulutus eli COD. pH-määrityksellä (VWR pHenomenal® pH 1100L -pH-mittari) tutkittiin pesulassa käytettyjen pesuaineiden kulkeutumista jätevesijärjestelmässä. Johtokykymittauksella (VWR CO 310 -johtokykymittari) voidaan tutkia esimerkiksi suolojen ja mineraalien poistumista jätevedestä. Jäteveden orgaanista kuormaa tutkittiin COD-mittauksilla, jotka suoritettiin Spectroquant®-kyvetitesteillä ja Spectroquant® Nova 60 -spektrofotometrillä. Tutkimuksessa keskityttiin raskasmetallien analysointiin, sillä se vaatii tarkempia analyysi- ja esikäsittelymenetelmiä. Raskasmetallianalytiikassa käytettiin ICP-MS-menetelmää (Agilent 7900 ICP-MS).

NÄYTTEIDEN ESIKÄSITTELY RASKASMETALLIANALYTIIKKAA VARTEN

Raskasmetallianalyysiä varten jokainen näyte esikäsiteltiin kolmella eri tavalla: suodattamalla, märkäpolttamalla sekä suodattamalla ja märkäpolttamalla. Esikäsitelymenetelmät olivat tarpeelliset, sillä ICP-MS-analyysissä näytteessä ei voi olla kiintoainesta. Suodatus kiintoaineksen poistamiseksi jätevedestä tehtiin 0,45 µm:n ruiskusuodattimella. Märkäpoltossa näytteeseen lisättiin 1 ml 37-prosenttista suolahappoa (HCl) ja 3 ml -69-prosenttista typpihappoa (HNO₃) ja sitten näyte paineistettiin 40 bar:iin ja lämmitettiin asteittain 200 °C:seen. Näissä olosuhteissa näytteessä oleva kiintoaineksi liukenee kokonaan. Märkäpoltossa käytettiin Milestone UltraWAVE Single Reaction Chamber Microwave Digestion System -laitetta. Märkäpolttoa varten jokaisesta näytteestä tehtiin kaksoisnäytteet, ja märkäpoltossa oli mukana nollanäytteitä hapoista johtuvan koeputkista tulevien metallipitoisuuksien vertaamiseksi.

PERUSPARAMETRITULOKSET

Tutkitussa autopesulassa oli normaalia pesutoimintaa molempina näytteenottoajankohtina, ja näytteenottopäivinä pesulassa pestiin kymmeniä autoja. Pesussa käytettävän veden määrä vaihtelee valitusta pesuohjelmasta riippuen. Näytteistä mitatut pH, johtokyky ja COD on esitetty kuvassa 4. Näytteiden pH-arvot ovat neutraalimmat syksyn näytteenotossa, minkä voi selittää vähäisempi autojen pesu näytteenottohetkinä, jolloin näytteisiin on tullut enemmän huuhteluvesiä eikä emäksisiä pesuvesiä. Öljynerottimen näytteissä pH on neutraalimpi. Johtokyvyt ovat kaikissa näytteissä samalla tasolla, joten öljynerottimet eivät esimerkiksi vähennä jäteveden suolapitoisuutta. COD-pitoisuudet ovat suuremmat syksyn näytteenotossa, mikä voi johtua vähemmistä pesuista, jolloin jätevesivirtaama on pienempi ja jäteveden orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet voivat kasvaa kaivoissa. Syksyn öljynerotuskaivon näytteiden korkeat COD-pitoisuudet öljynerotuskaivossa saattavat myös johtua aiemmin mainitusta kiintoaineen ja öljyn päätyemisestä näytteenottoputkeen öljynerotuskaivon reunoista. Kevään näytteenotossa autopesulan jätevesijärjestelmä vähensi jäteveden COD-pitoisuuksia noin kymmenen prosenttia.



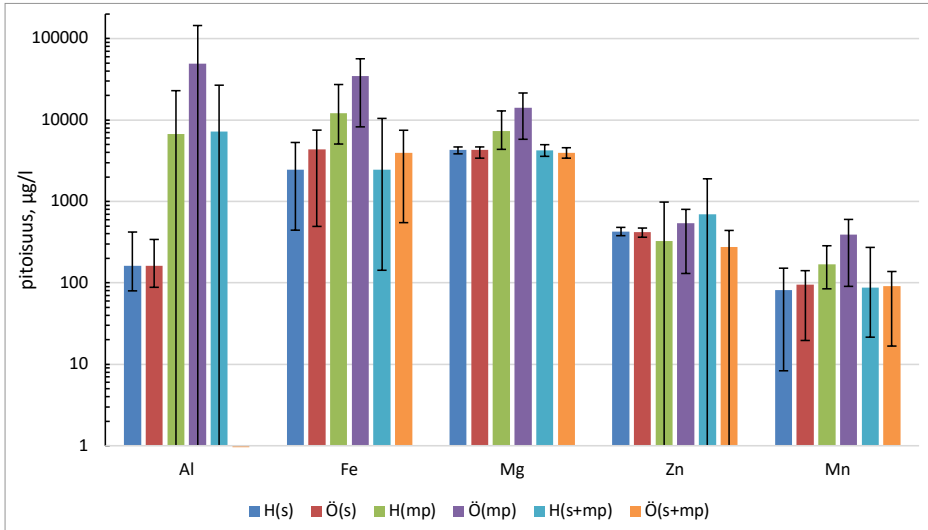
Kuva 4. Eri näytteenottopäivien näytteistä analysoidut pH, johtokyky ja COD. H = autopesulan hiekanerotin, Ö = autopesulan toinen öljynerotuskaivo.

RASKASMETALLITULOKSET

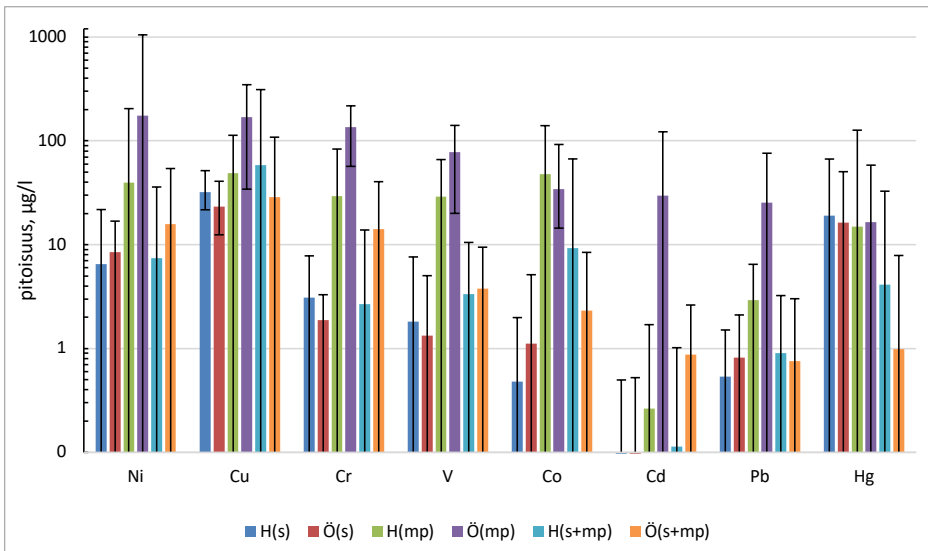
Raskasmetallianalyysien tuloksia on esitetty kuvissa 5 ja 6. Eniten autopesulan jätevedessä oli alumiinia, rautaa, magnesiumia, sinkkiä ja mangaania. Näiden metallien pitoisuudet ylittivät arvon 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ lähes joka näytteessä. Näytteistä analysoitiin myös vismutin, selenin, tinan ja kullan pitoisuuksia, mutta niiden pitoisuudet jäivät kaikki alle arvon 1 $\mu\text{g}/\text{l}$. Pitoisuuksien vaihteluvälit eri näytteissä ovat monilla metalleilla suuret. Autopesuloiden jäteveden metallipitoisuudet ovat siis hyvin vaihtelevia, joten kokoomanäytteenotto on tarpeellista. Vaikka esimerkiksi alumiinia, rautaa ja magnesiumia voi olla jopa yli 10 mg/l jätevedessä, ei niiden pitoisuuksilla ole Suomessa säädettyjä rajoituksia (HSY 2022, Kymen Vesi 2022). On huomioitava, että nikkelin, kadmiumin sekä elohopean pitoisuudet voivat kuitenkin nyt toteutettujen mittausten perusteella ylittää annetut viemärien jätevesien raja-arvot, vaikka niiden pitoisuudet ovat suhteessa pieni osa kokonaismetallimäärästä.

Suodatettujen näytteiden eli liuenneiden metallien pitoisuuksissa ei ole merkittäviä eroja hiekanerotin ja öljynerotuskaivon välillä. Metallipitoisuudet eivät myöskään johdonmukaisesti vähene tai kasva jäteveden kulkeutuessa hiekanerotimesta öljynerotuskaivoon. Märkäpoltetuissa näytteissä öljynerotuskaivossa on suurempia metallipitoisuuksia. Yksi syy tähän voi olla kiintoaineksen määrä näytteissä, sillä kuten aiemmin on mainittu, osassa öljynerotuskaivon näytteitä oli selvästi enemmän kiintoainesta kuin toisissa. Kun verrataan liuenneita metallipitoisuuksia kokonaismetallipitoisuuksiin, suhteessa vähiten liuenneessa muodossa on jätevedessä alumiinia, kromia, vanadiumia ja kobolttia. Nämä raskasmetallit siis sitoutuvat eniten kiintoaineseen eivätkä niin helposti kulkeudu esimerkiksi jäteveden-

puhdistamolle. Muut analysoidut raskasmetallit ovat suureksi osaksi liuenneena jäteveteen ja siten kulkeutuvat helposti jäteveden mukana. Tuloksista voidaan siis sanoa, että autopesulan jätevesijärjestelmä ei poista jätevedestä raskasmetalleja. Tämä oli käytetyn jätevesijärjestelmän perusteella odotettu tulos.



Kuva 5. Autopesulan jäteveden metallien keskiarvopitoisuudet ja pitoisuuksien vaihteluvälit. H = autopesulan hiekanerotin, Ö = autopesulan toinen öljynerotuskaivo, s = 0,45 µm:n suodatus, mp = märkäpoltto.



Kuva 6. Autopesulan jäteveden metallien keskiarvopitoisuudet ja pitoisuuksien vaihteluvälit. H = autopesulan hiekanerotin, Ö = autopesulan toinen öljynerotuskaivo, s = 0,45 µm:n suodatus, mp = märkäpoltto.

MIKROMUOVIT

NÄYTTEIDEN ESIKÄSITTELY FTIR- JA RAMAN-LAITTEISTOILLA TEHTÄVÄÄ MIKROMUOVIANALYYSIÄ VARTEN

Syksyllä 2021 kerätyt näytteet käsiteltiin eroteltuna klo 11–14 ja 16–19 kerättyihin näytteisiin. Keväällä 2022 kerätyt osanäytteet yhdistettiin päiväkohtaisiksi kokoomanäytteiksi. Näytteet suodatettiin 20 µm:n metalliverkoille (Ø 5 cm) ja metalliverkot siirrettiin lasisiin pulloihin. Näytteiden sisältämää orgaanista materiaalia hajotettiin Fenton-reaktiolla. Näytteisiin lisättiin 5 ml rautasulfaattiliuosta (20 mg FeSO₄ · 7 H₂O/L, pH 3) sekä 10 ml 30-prosenttista vetyperoksidia (H₂O₂). Tämän jälkeen näytteisiin lisättiin noin kymmenen minuutin aikana yhteensä 25 ml 30-prosenttista vetyperoksidia. Reaktion jälkeen näytteiden annettiin jäähtyä ja niihin lisättiin väkevää rikkihappoa, kunnes näytteet kirkastuivat sakasta (Al-Azzawi ym. 2020), ja näytteet suodatettiin samoille, huuhdelluille metalliverkoille. Näytteet huuhdottiin metalliverkoilta samoihin lasipulloihin ja suodatettiin lopulta kultapinnoitetuille polykarbonaattimembraaneille (i3 Membrane, Saksa; Ø 25 mm, huokoisuus 0,8 µm). Suodatetut näytteet siirrettiin mikroskooppilasille ja säilytettiin lasisiin petrimaljoihin suljettuina analyysiin asti.

MIKROMUOVIEEN ANALYYSINTI JA TUNNISTUS

Mikromuovit analysoitiin suodatetuista näytteistä FTIR- ja Raman-menetelmillä. Muoveiksi tunnistettujen partikkelien perusteella kullekin näytetyypille laskettiin keskiarvoiset mikromuovipitoisuudet keskihajontoineen (SD).

Syksyn 2021 aikana kerätyt kokoomanäytteet analysoitiin FTIR-mikroskoopilla (Perkin Elmer Spotlight 200). Suodatetut näytteet kuvattiin ja kuvasta valittiin manuaalisesti analysoitavat partikkelit. Analyysiin pyrittiin sisällyttämään yli 100 µm:n kokoiset fragmentit. Analysointi suoritettiin reflektanssimenetelmällä 50 x 50 µm:n kokoiselle alueelle ja spektridata kerättiin neljällä toistolla aaltoluville 4000–500 cm⁻¹ 4 cm⁻¹ resoluutiolla. Spektreille tehtiin tasoitus (smoothing) ja perustason korjaus (baseline correction). Tämän jälkeen niitä verrattiin itsetehtyyn spektrikirjastoon, joka sisälsi yleisimmin tuotettujen polymeerien (PE-HD, PE-LD, PA6,6, PA12, PET, PP, PS, PVC, PSU, PVP, SBR, NBR), eriväristen pesulaharjasten (PE) sekä selluloosan spektrit. Vertailutuloksista hyväksyttiin korkein yli 0,7 korrelaatiokertoimen saanut yhtäläisyys referenssispektrien kanssa.

Kevään 2022 kokoomanäytteet analysoitiin kuvantavalla Raman-mikroskoopilla (Thermo Scientific DXR3xi). Analysoinnissa hyödynnettiin LUT-yliopistolla aiemmin käytettyä menetelmää (Tsering ym. 2022). Näyte kuvattiin suodattimen päällä ja tunnistuksessa hyödynnettiin analyysilaitteen ohjelmiston (OMNICxi) partikkelintunnistusta. Analyysi kohdistettiin yli 100 µm:n kokosiin partikkeleihin. Raman-analyysi toteutettiin 785 nm:n

laserilla, 10 mW:n teholla, 0,1 sekunnin altistusajalla ja kymmenellä toistolla. Tuloksena saatuja spektrejä verrattiin 1800–600 cm⁻¹ alueelta itsetehtyyn polymeerikirjastoon, joka sisälsi yleisimmät polymeerit (PE-HD, PE-LD, PS, PP, PET, PA6, PA12, PVC, PC, PTFE, PVA, PMMA, POM), sekä kirjastoon, joka sisälsi autopesulan eriväristen harjasten spektrit. Lisäksi spektrejä verrattiin kirjastoihin, jotka sisälsivät muita materiaaleja kuin muoveja. Näitä olivat itsetehty kirjasto (puuvilla, lasi, kultapinnoitettu PC-membraani) sekä kaupallinen mineraalikirjasto (Thermo Fisher Scientific, RRUFF Raman Minerals Broad Scan). Muoveiksi tunnistetut partikkelit mitattiin manuaalisesti mikroskooppikuvista ja niiden koot ja muodot kirjattiin ylös.

MENETELMIEN TESTAUS

Molempien näyte-erien rinnalla analysoitiin kolme positiivista kontrollinäytettä. Ne valmistettiin lisäämällä puhtaaseen vesinäytteeseen 10–25 kappaletta tunnettuja muovipartikkeleita. Muovipartikkelit edustivat muodoltaan sekä fragmentteja (PE, PS ja PVC) että kuituja (PA, PET ja PP). Lisäksi ne edustivat eri tiheyksisiä muovilaatuja polypropeenista (0,9 g/cm³) polyeteenitereftalaattiin (1,4 g/cm³) ja polyvinyylikloridiin (1,16–1,58 g/cm³) (Hidalgo-Ruz ym. 2012). Nämä näytteet käsiteltiin ja analysoitiin kuten autopesulalta kerätyt näytteet. Positiivisista kontrollinäytteistä analysoitujen muovipartikkelien avulla laskettiin mikromuovien saantoprosentit ja siten arvioitiin, kuinka suuri osa näytteen sisältämistä mikromuoveista oli mahdollista tunnistaa käytetyillä menetelmillä.

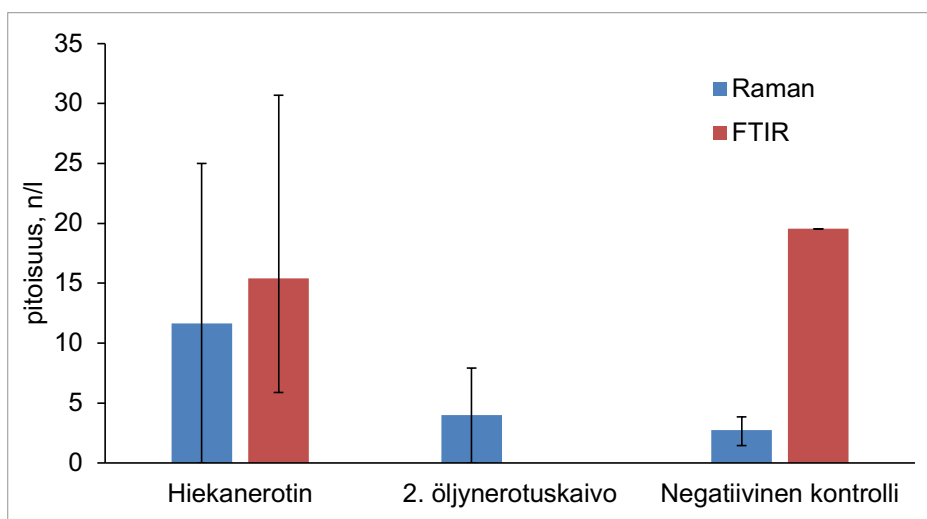
KONTAMINAATION HUOMIOINTI

Muovikontaminaation välttämiseksi näytteiden käsittelyssä käytettiin lasisia ja metallisia välineitä ja näytteidenkäsittelijä käytti puuvillaisia suojavaatteita. Väkevää rikkihappoa (H₂SO₄, 95–97 %) lukuun ottamatta kaikki liuokset suodatettiin ennen käyttöä lasikuitusuodattimen (Whatman GF/C, huokoisuus 1,2 µm) läpi. Ilman kautta kulkeutuvan kontaminaation välttämiseksi näytteet käsiteltiin laminaarivirtauskaapissa ja näytteet suljettiin lasikorkein tai alumiinifoliolla. Käytetyt astiat ja välineet huuhdeltiin kolmesti ultrapuhdalla vedellä ennen käyttöä sekä silloin, kun näytteitä siirrettiin astiasta toiseen. Jälkimmäisellä huuhtelulla varmistettiin, että myös astioiden seinämille tarttuneet partikkelit saatiin sisällytettyä näytteisiin.

Lisäksi näytteenottojen jälkeen kerättiin niin sanotut pumppunollanäytteet, joissa ultrapuhdasta vettä kerättiin lasiastiasta jätevesinäytteiden tavoin. Ennen pumppunollanäytteiden keräystä näytteenottimien letkut huuhdottiin hanavedellä. Kontrollinäytteet käsiteltiin ja analysoitiin vastaavasti kuin jätevesinäytteet.

AUTOPESULAN JÄTEVESISTÄ HAVAITUT MIKROMUOVIPITOISUUDET

Pesulavesistä havaitut mikromuovipitoisuudet vaihtelivat suuresti näytteestä riippuen (kuva 7), mutta pitoisuudet olivat keskimäärin korkeammat hiekanerotuskaivon kuin toisen öljynerotuskaivon jätevedessä. FTIR-määritysten perusteella autopesulan jäteveden mikromuovipitoisuus oli hiekanerottimessa keskimäärin 15,4 n/l ($\pm 9,4$), kun Raman-määritysten perusteella mikromuovipitoisuus oli 11,6 n/l ($\pm 12,6$). Raman-määrittelyn perusteella 2. öljynerotuskaivon jäteveden mikromuovipitoisuus oli 4,0 n/l ($\pm 4,0$). Analysoitujen näytteiden perusteella pesuvesien mikromuovipitoisuus pieneni hiekan- ja öljynerotuksen seurauksena jo ennen jätevesiverkkoon johtamista.



Kuva 7. FTIR- ja Raman-mikroskoopilla analysoidut mikromuovien keskiarvoiset pitoisuudet vaihteluväleineen hiekanerottimesta ja 2. öljynerotuskaivosta. Negatiiviset kontrollinäytteet kerättiin puhtaasta vedestä näytteenottojen jälkeen.

Näytteissä havaittu vaihtelu voi johtua osanäytteiden keräämisestä pesutapahtumien eri vaiheissa tai niiden välillä, minkä seurauksena sekä hiekanerotusaltaan että öljynerotuskaivon vedet voivat virrata eri tavoin eri aikoina. Mikäli pesutapahtumia ei ole ollut ennen näytteenottoa, mikromuovit ovat voineet erottua vesipatsaassa tiheydensä perusteella ja siten kulkeutuneet liian syvälle tai pinnalle näytteenottimeen nähden. Polymeerien luonnehuomioiden on todennäköistä, että öljynerotuskaivon pinnalle keräytyvä öljykerros vetää mikromuoveja puoleensa. Myös hiekanerotusallas todennäköisesti poistaa jätevedestä vettä raskaampia mikromuoveja, kuten PET ja PVC-muoveja, niiden laskeutuessa altaan pohjalle kertyvään lietteeseen.

Negatiivisten kontrollinäytteiden eli puhtaan veden pumppunollien mikromuovipitoisuudeksi saatiin Raman-määrityksellä 2,7 n/l ($\pm 1,2$). Vastaavasti FTIR-määrityksellä yksittäisen negatiivisen kontrollinäytteen mikromuovipitoisuus oli 19,6 n/l. Näin ollen osa pesulajätevesinäytteistä havaituista mikromuoveista voi johtua kontaminaatiosta. Negatiivisiin kontrollinäytteisiin verrattuna öljynerotuskaivon mikromuovipitoisuudet eivät olleet merkittävästi korkeampia.

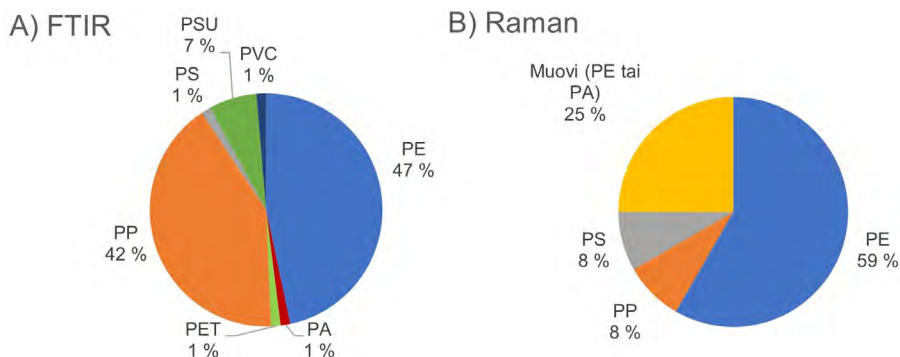
Kontrollinäytteistä havaittujen muovilaatujen perusteella osa pesulajätevesinäytteistä havaituista mikromuoveista voivat olla kontaminaation aiheuttamia. Toisaalta näytteenottimien letkuihin on voinut myös jäädä huuhtelusta huolimatta pesulan jätevesistä lähtöisin olevia mikromuovipartikkeleita, jotka ovat kulkeutuneet puhtaasta vedestä kerättyihin kontrollinäytteisiin.

Autopesuloiden jätevesien mikromuovimääristä ei ole saatavissa vertailutietoa. Pitoisuuksia voidaan kuitenkin suhteuttaa jätevedenpuhdistamoilta mitattuihin mikromuovipitoisuuksiin, sillä autopesulan jätevedet ohjataan kunnalliseen jätevesiverkkoon. Suomen jätevesistä tehdyissä mikromuovitutkimuksissa käytetyt menetelmät ja kokorajat vaihtelevat kuitenkin suuresti, mikä vaikeuttaa tulosten vertailua. Yli 20 μm :n kokoisen mikroroskan (ml. puuvilla) pitoisuudet vaihtelivat Viikinmäen jätevedenpuhdistamolle saapuvassa vedessä 380–900 n/l ja käsitellyssä jätevedessä 0,7–3,5 n/l (Talvitie ym. 2017). Jyväskylän Nenäinniemen puhdistamolle tulevan jäteveden mikromuovipitoisuudeksi raportoitiin keskimäärin 61 n/l, ja pitoisuus väheni 13 n/l sekundaarisen käsittelyn seurauksena, kun tutkimukseen sisällytettiin yli 20 μm :n kokoiset mikromuovit (Salmi ym. 2021). Mikkelin entisellä Kenkäveronniemen jätevedenpuhdistamolla vuosina 2016–2017 toteutetussa tutkimuksessa mikromuovipitoisuudet olivat tulevassa jätevedessä 57,6 n/l ja käsitellyssä jätevedessä 1,0 n/l (Lares ym. 2018). Kyseiseen tutkimukseen sisällytettiin yli 250 μm :n kokoiset muovipartikkelit ja näytteiden analysointi toteutettiin eri tavalla kuin autopesulan jätevesien tutkimuksessa. Tutkimus nykyisen Metsä-Sairilan puhdistamon mikromuovipitoisuuksista on käynnissä Euroopan aluekehitysrahaston tukemassa ”Uudet haitta-aineet jätevesissä ja järviympäristössä eteläisellä Saimaalla – UHASA” -hankkeessa, ja tutkimustulokset julkaistaan vuoden 2022 lopussa.

Tässä tutkimuksessa havaitut autopesulan jätevesien mikromuovipitoisuudet eivät siis ylittäneet suomalaisille käsittelemättömille jätevesille raportoituja pitoisuuksia kummallakaan analysointimenetelmällä. Tulosten perusteella tutkittu autopesula ei ole merkittävä mikromuovien kulkureitti eikä vastaaville pesuloille nähdä tarvetta kehittää kohdepoistomenetelmiä tutkimukseen sisällytettyjen mikromuovien osalta. Tulokset ovat kuitenkin yleistettävissä vain tutkituille mikromuovien kokoluokille, ja tunnistusmenetelmien puutteet, kuten kumin tunnistuksen ongelmallisuus, tulee huomioida tuloksia tulkittaessa.

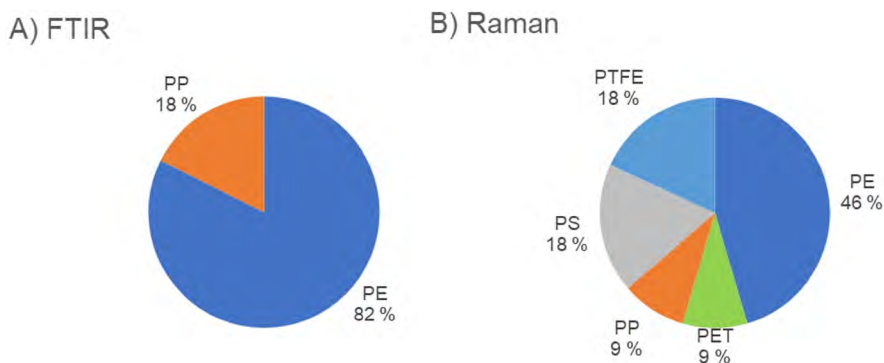
AUTOPESULAN JÄTEVESISTÄ TUNNISTETUT MUOVILAADUT

Autopesulan jätevesinäytteistä havaittiin useita muovilaatuja eli polymeerejä (kuva 8). Polyeteeni oli yleisin havaittu muovilaatu, mutta näytteistä tunnistettiin myös muun muassa polypropeenaa ja polystyreeniä. Öljynerotuskaivon näytteistä tunnistettiin vain polyeteenipartikkeleita.



Kuva 8. Autopesulan jätevesinäytteistä (A) FTIR-mikroskoopilla ja (B) Raman-mikroskoopilla tunnistettujen mikromuovien laadut.

Myös negatiivisista kontrollinäytteistä havaittiin eniten polyeteeniä (kuva 9). Raman-mikroskoopilla havaittiin myös polytetrafluorieteenifragmentteja (PTFE), jotka olivat todennäköisesti lähtöisin näytteenottimen imuletkun suodattimesta. Kontrollinäytteistä havaittujen muovilaatujen perusteella osa pesulajätevesinäytteistä havaituista mikromuoveista voi olla kontaminaation aiheuttamia. Toisaalta näytteenottimien letkuihin on voinut myös jäädä huuhtelusta huolimatta pesulan jätevesistä lähtöisin olevia mikromuovipartikkeleita, jotka ovat kulkeutuneet puhtaasta vedestä kerättyihin kontrollinäytteisiin.



Kuva 9. Näytteenottimilla tehdyistä negatiivisista kontrollinäytteistä (A) FTIR-mikroskoopilla ja (B) Raman-mikroskoopilla tunnistettujen mikromuovien laadut.

AUTOPESULAN JÄTEVESIEN MIKROMUOVIEIN KOKO

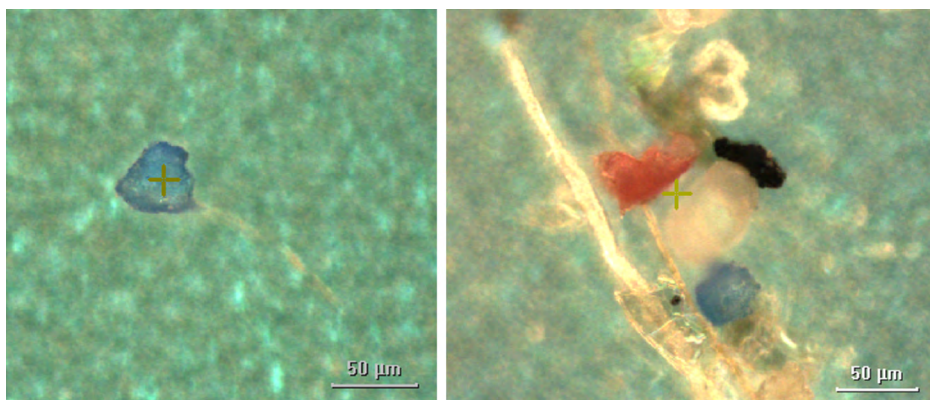
Hiekanerotusaltaasta havaitut mikromuovit olivat pääsääntöisesti suurempia kuin öljynerotuskaivosta havaitut mikromuovit (taulukko 2). Koska käsitellyt näytetilavuudet ja havaittujen mikromuovien määrät olivat vähäisiä, partikkelien kokojakaumia tulee tulkita suuntaa antavina.

Taulukko 2. Tutkimuksessa tunnistettujen mikromuovien koot

Näytepiste	Koon keskiarvo (\pm SD) (μm)	Koon vaihteluväli (μm)
Hiekanerotuskaivo	600 (\pm 824)	55–2232
2. öljynerotuskaivo	117 (\pm 25)	98–145
Negatiivinen kontrolli	203 (\pm 97)	115–353

Tässä tutkimuksessa keskityttiin yli 100 μm :n kokosiin muovipartikkeleihin. Mikromuovien määritelmä kattaa kuitenkin kaikki muoviset partikkelit, jotka ovat kooltaan 1 μm :n ja 5 mm:n välillä. Mikromuovitutkimuksessa on yleisesti havaittu, että mikromuovipitoisuudet ovat sitä suurempia, mitä pienempiä partikkeleita tutkimukseen sisällytetään (Covernton ym. 2019, Uurasjärvi ym. 2019, Salmi ym. 2021). Esimerkiksi Nenäinniemen puhdistamon jätevesien mikromuoveista valtaosa oli kooltaan 20–100 μm (Salmi ym. 2021). On siis hyvin todennäköistä, että autopesulan jätevedet sisältävät myös pienempiä mikromuoveja, joiden määrää ei arvioitu tässä tutkimuksessa.

Raman-mikroskoopilla tarkastelluista näytteistä havaittiinkin analyysin jälkeen myös alarajaksi asetettua 100 μm :ä pienempiä sinisiä ja punaisia partikkeleita, joiden Raman-spektri oli vastaava kuin pesulaharjaksilla (kuva 10). Näitä fragmentteja havaittiin sekä pesulahallin että öljynerotuskaivon jätevesistä. On siis todennäköistä, että joko käytössä olevista pesulaharjaksista tai lattioille ja jäteveteen irronneista pesulaharjaksista irtoaa erityisesti alle 100 μm :n kokoisia fragmentteja, jotka voivat kulkeutua jätevesien mukana jätevedenpuhdistamolle.



Kuva 10. Toisesta öljynerotuskaivosta tunnistettuja sinisiä ja punaisia PE-fragmentteja, jotka ovat todennäköisesti lähtöisin pesulan harjaksista (kuvat Mirka Viitala).

MIKROMUOVITUTKIMUKSEN RAJOITTEET JA HAASTEET

Mikromuovitutkimuksessa käytettyjä esikäsittely- ja analysointimenetelmiä tai tutkimukseen sisällytettävien partikkelien kokorajoja ei ole standardoitu, mikä tulee huomioida raportoituja tuloksia tulkittaessa (Viitala 2021). Lisäksi näytteen esikäsittely ei ollut riittävä poistamaan tarpeeksi analyysiä häiritsevää kiintoainesta, minkä vuoksi osasta näytteistä analysoitiin vain osanäytteet. Mikäli näytteen mikromuovipitoisuus on lähtökohtaisesti alhainen, liian pienen osanäytteen analysointi voi johtaa pitoisuuksien aliarvioimiseen.

Edellä mainittujen heikkouksien merkitystä pyrittiin huomioimaan positiivisilla kontrollinäytteillä. Positiivisten kontrollinäytteiden perusteella määritetyt fragmenttimaisten mikromuovien saannot olivat 51,6 prosenttia FTIR-mikroskoopilla analysoiduille näytteille ja 102,2 prosenttia Raman-mikroskoopilla analysoiduille näytteille (taulukko 3). Raman-mikroskoopilla fragmenteille saatu yli 100 prosentin saanto johtui näytteen sisältämästä PE-, PP- ja PVC-kontaminaatiosta tai lisättyjen muovipartikkelien mukana mahdollisesti kulkeutuneista pienemmistä fragmenteista. FTIR-mikroskoopilla analysoiduille näytteille ei laskettu kuitujen saantoja, koska analysointi keskitettiin fragmenttimaisiin partikkeleihin. Jälkimmäiseen näyte-erään lisätyistä muovikuiduista tunnistettiin Raman-mikroskoopilla 43,3 prosenttia.

Taulukko 3. Positiivisille kontrollinäytteille lasketut mikromuovien saannot eri analyysimenetelmillä.

Analyysimenetelmä	Saanto (%) (\pm SD)		
	Fragmentit (PE, PS, PVC)	Kuidut (PA, PET, PP)	Mikromuovit yhteensä
FTIR-mikroskooppi	51,6 (\pm 19,2)	-	51,6 (\pm 19,2)
Raman-mikroskooppi	102,2 (\pm 8,4)	43,3 (\pm 5,8)	72,8 (\pm 6,9)

Positiivisten kontrollinäytteiden perusteella molemmissa tässä tutkimuksessa käytetyissä tunnistusmenetelmissä on siis puutteensa. Käytetty FTIR-menetelmä ei tarjoa tietoa mikro-muovien koosta. Lisäksi analysoitavien partikkelien valinta tapahtuu manuaalisesti, minkä vuoksi menetelmän antamat tulokset eivät ole täysin objektiivisia. Käytetty FTIR-menetelmä ei myöskään tunnistanut positiivisten kontrollinäytteiden polystyreenifragmentteja, mikä laski fragmenttien saantoa merkittävästi. Varsinaisista näytteistä kuitenkin tunnistettiin yksittäinen PS-fragmentti, mutta saantokokeiden perusteella tässä tutkimuksessa esitetty PS-partikkelien määrä voi olla virheellinen.

Raman-mikroskoopilla käytetty automaattinen partikkelintunnistus voi puolestaan tunnistaa lähemmäs sijoittuneet partikkelit yhtenä suurempana partikkelina, jolloin niiden materiaali tunnistetaan yhden pisteen perusteella. Partikkelintunnistuksen yhdistäminen 100 µm:n koon alarajaan aiheutti todennäköisesti myös kuitumaisten muovien määrän aliarvioinnin tutkituista näytteistä, sillä pesulavesinäytteistä ei tunnistettu lainkaan mikro-muovikuituja. Tämä oli havaittavissa myös kuitumaisten partikkelien heikompina saantoina fragmentteihin verrattuna (taulukko 3). Lisäksi partikkelintunnistus jättää taustan kanssa saman sävyiset partikkelit analyysin ulkopuolelle, mikä voi aiheuttaa myös mikromuovipitoisuuksien aliarviointia. Käytettyyn Raman-määrittelyyn liittyviä rajoitteita on käsitelty tarkemmin aiemmassa julkaisussamme (Tsering ym. 2022). Lisäksi molemmissa menetelmissä toteutettu vertailu spektrikirjastoon on riippuvainen spektrikirjastojen sisältämien referenssispektrien laadusta ja määrästä. Tämän vuoksi FTIR-menetelmällä yhtäläisyyden hyväksymisrajaksi asetettiin 0,7 ja Raman-menetelmällä muoveiksi tunnistettujen spektrien yhtäläisyys referenssispektrien kanssa tarkastettiin manuaalisesti.

YHTEENVETO JA JATKOTUTKIMUSTARPEITA AUTOPESULOIDEN JÄTEVESIIN LIITTYEN

Tutkimuksessa tutkittiin autopesulan jätevedessä olevia haitta-aineita. Pääkohteena tutkimukselle oli jäteveden raskasmetallit ja mikromuovit. Näiden haitta-aineiden pitoisuuksien selvittämiseksi tehtiin kaksi kolmen päivä kokoomanäytteenottoa autopesulalla. Näytteitä otettiin autopesulan hiekanerottimesta sekä toisesta öljynerotuskaivosta, jolloin voitiin määrittää autopesulan oman jätevesijärjestelmän vaikutus haitta-ainepitoisuuksiin. Jätevesijärjestelmällä ei ollut merkittäviä vaikutuksia jäteveden johtokykyyn tai COD-pitoisuuksiin.

Tutkimuksen perusteella autopesulan jätevedet sisälsivät huomattavia määriä metalleja. Liuenneista metalleista suurimmat pitoisuudet olivat raudalla ja magnesiumilla, joiden pitoisuudet olivat yli 1 mg/l. Kokonaismetallipitoisuuksien osalta suurimmat pitoisuudet olivat alumiinilla, raudalla ja magnesiumilla. Näiden metallien pitoisuudet ylittivät jopa 10 mg/l. Metallit ovat autopesulan jätevedessä siis suurimmaksi osaksi sitoutuneina kiintoainekseen. Hiekanerottimen ja öljynerotuskaivon metallipitoisuuksia vertaamalla voidaan todeta, ettei autopesulan jätevesijärjestelmä poista jätevedestä metalleja. Yksittäisillä näytteillä metalli-

pitoisuudet voivat ylittää vesilaitosten asettamia raja-arvoja Suomessa. Lisäksi esimerkiksi rautaa ja magnesiumia, joiden pitoisuuksille ei ole rajoituksia, kulkeutuu autopesuloilta jäteveden mukana suuria määriä. Jäteveden puhdistus autopesuloilla pienentäisi merkittävästi metallipäästöjä. Tehokkaita keinoja metallipitoisuuksien poistamiseen jätevedestä ovat esimerkiksi membraanisuodatus tai kemialliset menetelmät.

Tutkittujen näytteiden perusteella mikromuovien pitoisuudet vähenivät autopesulalla käytettyjen esikäsitteilymenetelmien seurauksena. Näytteiden välillä oli kuitenkin suurta vaihtelua, eikä kontaminaation vaikutusta voida sulkea täysin pois. Aiempiin suomalaisten jätevesien tutkimustuloksiin verrattuna tässä tutkimuksessa havaitut yli 100 µm:n kokoisten mikromuovien pitoisuudet eivät olleet yleisesti käsittelemättömistä jätevesistä mitattuja pitoisuuksia suurempia. Näin ollen autopesuloita ei tämän tutkimuksen perusteella nähdä talousjätevesiä merkittävämpinä mikromuovien kulkureitteinä kunnallisiin jätevesiin eikä autopesuloille nähdä tarvetta kehittää kohdepoistomenetelmiä tutkittujen mikromuovien osalta. Tulokset ovat kuitenkin päteviä vain tutkituille mikromuovien kokoluokille, ja tunnistusmenetelmien puutteet, kuten autonrengaspuurun jääminen tutkimuksen ulkopuolelle, tulee huomioida tuloksia tulkittaessa.

Mikromuovitutkimuksen luotettavuutta voitaisiin tehostaa keräämällä suurempia kokoomänäytteitä sekä toteuttamalla näytteenottoa useammissa pesulakohteissa. Koska analysoitaviin näytteisiin jäi runsaasti muun muassa hiekkaa, vetyperoksidikäsitteilyn lisäksi toteutettava tiheyserottelu voisi tehostaa analyysiä häiritsevien mineraalihiukkasten poistamista ja siten parantaa analyysitulosten laatua. Tällöin esikäsitteilyn soveltuvuutta tulisi kuitenkin arvioida uudelleen saantokokeilla, joihin sisällytettäisiin useita tiheydeltään erilaisia muovilaatuja.

Mikromuovipäästöjen vähentämiseksi pesulan harjoista irtoavat harjakset tulisi poistaa pesulatilasta ja niiden pääsy jätevesiin estää. Mikäli irtoavat harjakset kulkeutuvat jätevesivirtaan, niistä voi ajan kuluessa irrota pienempiä partikkeleita, jotka kulkeutuvat jätevesien mukana jätevedenpuhdistamolle.

Myös autopesuloilla syntyvän lietteen koostumusta tulisi tutkia jatkossa lisää. Koska valtaosa raskaimmista muovipartikkeleista sekä osa metalleista todennäköisesti laskeutuu pesuhallin hiekanerottimen lietteeseen tai kulkeutuu sinne muuhun materiaaliin kiinnittyneenä, siihen kertyneet haitta-aineet voivat päätyä ympäristöön lietteen jatkokäsittelystä riippuen. Mikäli liete poltetaan, sen sisältämät mikromuovit tuhoutuvat, mutta metallit säilyvät muodostuneessa tuhkassa.

LÄHTEET

- Al-Azzawi, M.S.M., Kefer, S., Weißer, J., Reichel, J., Schwaller, C., Glas, K., Knoop, O. & Drewes, J.E. 2020. Validation of sample preparation methods for microplastic analysis in wastewater matrices - Reproducibility and standardization. *Water (Switzerland)* 12(9), 2445. <https://doi.org/10.3390/w12092445>
- Covernton, G.A., Pearce, C.M., Gurney-Smith, H.J., Chastain, S.G., Ross, P.S., Dower, J.F. & Dudas, S.E. 2019. Size and shape matter: A preliminary analysis of microplastic sampling technique in seawater studies with implications for ecological risk assessment. *Science of The Total Environment* 667, 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.346>
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C. & Thiel, M. 2012. Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environ. Sci. Technol.* 46, 3060–3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- HSY. 2022. Viikinmäen ja Suomenojan jätevedenpuhdistamoille johdettavien jätevesien raja-arvot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/jateveden-raja-arvot/> [viitattu 13.6.2022].
- Kole, P.J., Löhr, A.J., Van Belleghem, F.G.A.J. & Ragas, A.M.J. 2017. Wear and tear of tyres: A stealthy source of microplastics in the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14(10), 1265. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101265>
- Kymen vesi. 2022. Teollisuusjätevedet ja raja-arvot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kymenvesi.fi/toiminta/teollisuusjatevedet-ja-raja-arvot/> [viitattu 13.6.2022].
- Lares, M., Ncibi, M.C., Sillanpää, M. & Sillanpää, M. 2018. Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Research* 133, 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.049>
- Salmi, P., Ryymin, K., Karjalainen, A.K., Mikola, A., Uurasjärvi, E. & Talvitie, J. 2021. Particle balance and return loops for microplastics in a tertiary-level wastewater treatment plant. *Water Science & Technology* 84 (1), 89–100. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.209>
- Salmi, P. & Kallioinen-Mänttari, M. 2022. (julkaistaan LUT Scientific and Expertise Publications -julkaisussa).

Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M. & Koistinen, A. 2017. How well is micro-litter purified from wastewater? – A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water Research*, 109, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.046>

Tsering, T., Viitala, M., Hyvönen, M., Reinikainen, S.-P. & Mänttari, M. 2022. The assessment of particle selection and blank correction to enhance the analysis of microplastics with Raman microspectroscopy. *Science of The Total Environment*, 842, 156804. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156804>

Uurasjärvi, E., Hartikainen, S., Setälä, O., Lehtiniemi, M. & Koistinen, A. 2019. Microplastic concentrations, size distribution, and polymer types in the surface waters of a northern European lake. *Water Environment Research* 92 (1), 149–156. <https://doi.org/10.1002/wer.1229>

JÄTEVESIEN METALLIT

Riina Tuominen & Perttu Salmi & Mirka Viitala

Jätevesien määrä ja laatu vaihtelevat jätevesiä tuottavien yritysten toimialan ja tuotannon mukaan. Toimialasta riippuen jäteveteen voi päätyä myös metalleja. Useat metallit ovat eliöille välttämättömiä hivenaineita pieninä pitoisuuksina. Monet metalleista voivat kuitenkin olla eliöille myrkyllisiä jo alhaisinakin pitoisuuksina, ja ne voivat vaikuttaa myös jätevedenpuhdistamon puhdistusprosesseihin. Jätevedenpuhdistamolta metalleja voi päätyä ympäristöön puhdistetun jäteveden tai lietteen kautta.

Vemo – Kaupunkien jätevesien haitallisten aineiden vähentäminen monitorointia tehostamalla -hankkeessa kartoitettiin jäteveden metallien päästölähteitä ja niiden aiheuttaman kuormituksen osuutta jätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä. Lisäksi selvitettiin päästölähdekohtaisen poistomenetelmän mahdollisuutta autopesulan jätevesille ja arvioitiin menetelmän toimivuutta ja ratkaisujen teknistaloudellista kannattavuutta.

JÄTEVEDEN METALLIEN PÄÄSTÖLÄHTEET

Metalleja voi päätyä jätevesiin erilaisista päästölähteistä, kuten liikenteestä, teollisuudesta, kaatopaikoilta tai ilmajäljenteistä (taulukko 1). Vedessä metallit voivat olla liuenneena ionimuodossa, orgaanisina tai epäorgaanisina komplekseina, saostuneina suoloina tai hydroksideina, saostuneina metallioksidien kanssa tai adsorboituneina kiintoaineeseen. Jätevesien metallien pitoisuudet ovat pienentyneet 1970-luvulta lähtien. Tähän on vaikuttanut osaltaan haitta-aineiden poistaminen niiden syntypaikoilla. (Pitkäaho 2018.)

Taulukko 1. Jäteveden raskasmetallien mahdollisia päästölähteitä (Pitkäaho 2018, Makkonen 2015, Vieno 2014, Vieno & Arjonen 2021).

Metalli	Jätevesiin päätyvien metallien lähteitä
Arseeni	Metalliteollisuus, puun kyllästämöt, polttoprosessit
Elohopea	Paperi-, metalli-, kaivos- ja kloorialkaliteollisuus, polttoprosessit, kaatopaikkojen suotovedet, amalgaamipaikat, kotitaloudet, hulevedet
Hopea	Grafiikkateollisuus, kulutustavarat
Kadmium	Metalliteollisuus, painoteollisuus, maalit, lannoitteet, autopesulat, lentokentät, satamat, hulevedet
Kromi	Metalliteollisuus
Kupari	Autopesulat, metalliteollisuus, painoteollisuus
Lyijy	Autopesulat, maalit, elektroniikkateollisuus, painoteollisuus, bensiini, lentokentät, satamat
Nikkeli	Metalliteollisuus, elektroniikkateollisuus, saostuskemikaalit, lentokentät, satamat
Sinkki	Metalliteollisuus, painoteollisuus, pintakäsittelyteollisuus, elintarviketeollisuus, kaatopaikat, lentokentät, satamat, kotitaloudet
Tina	PVC-muovit, maalit, biosidit, metalliteollisuus, satamat, kotitaloudet

Ympäristölle haitallisimpina raskasmetalleina pidetään elohopeaa, kadmiumia ja lyijyä. Teollisuudesta raskasmetalleja vapautuu ilmaan fossiilisten polttoaineiden, kuten polttoöljyn, turpeen, hiilen ja jätteiden, poltosta. Metallien tuotannossa ja autojen renkaiden kulumisesta ajon aikana vapautuu myös raskasmetalleja ympäristöön. Kotitalouksien raskasmetallipäästöt ovat peräisin epäasianmukaisesti käsitellyistä ja hävitetyistä tuotteista, jotka sisältävät raskasmetalleja. (SYKE 2020.)

Vesiputedirektiivin mukaisesti vesiympäristölle vaarallisiksi ja haitallisiksi aineiksi yksilöityjä aineita ovat metallien osalta kadmium ja kadmiumyhdisteet, lyijy ja lyijy-yhdisteet, elohopea ja elohopeayhdisteet sekä nikkeli ja nikkeliyhdisteet (Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista 2006). Useat vesilaitokset ovat asettaneet viemäriin johdettavalle jätevedelle raja-arvot eri metallipitoisuuksille. Pääsääntöisesti asetetut raja-arvot noudattelevat Teollisuusjätevesioppaassa esitettyjä arvoja, jotka on koottu taulukkoon 2. Taulukossa on nähtävissä myös HELCOM:n antamat raja-arvosuosituksukset eri metalleille, ja niistä osa riippuu toimialasta. (VVY 2016.)

Taulukko 2. Käytössä olevia ja suositeltuja raja-arvoja (mg/l) viemäriin johdettavalle jätevedelle (VVY 2016).

Metalli	HELCOM-suositus	Vesilaitosten antama raja-arvo
Arseeni (As)	0,3	0,1–0,5
Elohopea (Hg)	0,05	0,01–0,05
Hopea (Ag)		0,1–0,2
Kadmium (Cd)	0,2	0,01–0,02
Kokonaiskromi (Cr)	0,5	0,5–1,0
Kromi VI (Cr6+)	0,1	0,1–0,2
Kupari (Cu)	0,5	0,5–2,0
Lyijy (Pb)	0,5	0,5
Nikkeli (Ni)	1,0	0,5–2,0
Sinkki (Zn)	2,0	2,0–3,0

JÄTEVEDEN METALLIPÄÄSTÖLÄHTEIDEN SELVITTÄMINEN

Hankkeen pilottialueena oli Mikkelin kaupungin taajama-alue. Metallien päästölähteiden selvitystyö aloitettiin perehtymällä saatavilla oleviin tausta-aineistoihin. Jätevedenpuhdistamolla seuranta oli tehty lähinnä nikkelin osalta. Keskustelussa Mikkelin seudun ympäristöpalvelujen, Etelä-Savon ELY-keskuksen ja Ramboll Finland Oy:n kanssa selvisi, että viimeisin laajempi päästölähdetutkimus oli tehty vuonna 2003 ja sitä edellinen selvitys vuonna 1993. Vuonna 2003 metallipitoisuuksia oli määritetty 21 mahdollisesta päästölähteestä sekä jätevedenpuhdistamolta. Näistä tutkituista päästölähteistä neljä ylitti jonkin metallipitoisuudelle asetetuista raja-arvoista. (Kamula 2003.)

Vemo-hankkeessa selvitettiin yritysten nykyistä tilannetta puhelinhaastatteluiden ja keskusteluiden avulla. Osa vuonna 2003 tarkastelluista yrityksistä oli lopettanut toimintansa ja osa vaihtanut tuotantoprosessiaan vähemmän jätteisiä ja ympäristöä kuormittavaksi. Jätevesinäytteenottokohteet valittiin saatujen taustatietojen perusteella. Päästölähdekoh- taiseen määritykseen valittiin yhdeksän näytepistettä ja lisäksi jätevedenpuhdistamolta otettiin vertailunäyte tulevasta jätevedestä.

JÄTEVEDEN NÄYTTEENOTOT

Jätevesien metallipitoisuuksia määritettiin joulukuussa 2020, kesäkuussa 2021 ja touko- kuussa 2022. Joulukuussa 2020 tarkasteltiin tarkemmin Tuskun, Tikkanan, Karikon ja Metsäsairilan alueita. Kesäkuussa 2021 tarkastelussa olivat Pursialan, Graanin ja Tikkanan alueet. Toukokuussa 2022 tarkastelua tehtiin Pursialan, Oravinmäen, Tuskun, Graanin ja

Metsäsairilan alueille. Näytepisteet olivat osittain samat kuin vuonna 2003. Näytteenotossa käytettiin automaattista näytteenotinta aina, kun näytepiste sen salli. Automaattisella näytteenottimella näytettä kerättiin vuorokausi ja näytettä otettiin 200 ml puolen tunnin välein. Kaikkiin näytepisteisiin ei automaattista näytteenotinta voitu käyttää ja näissä näytteet otettiin manuaalisesti joko kokoomanäytteenä tai kerranäytteenä. Näytteet lähetettiin analysoitavaksi ALS Finland Oy:lle. Näyte suodatettiin mikro-suodattimella (huokoskoko 0,45 µm) ja siihen lisättiin typpihappoa ennen analyysia. Määrittämiseen käytettiin plasma-massaspektrometria (ICP-MS).

Tuskun alueella tarkasteltiin sekä yksittäisen metallin pintakäsittelyä tekevän yrityksen, kotitalousviemärilinjan että pumppaamon metallipitoisuuksia. Pumppaamoon tulee muun muassa lentokentän, metalliyritysten ja panimon jätevesiä. Tuloksia verrattiin myös jätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden pitoisuuksiin. Samaan aikaan määritettiin myös Karikon alueella sijaitsevan autopesulan sekä Metsäsairilassa toimivan jäteaseman jätevesien metallipitoisuudet. Tarkastellut metallit olivat arseeni, elohopea, hopea, kadmium, kokonaiskromi, kupari, lyijy, nikkeli ja sinkki. Taulukkoon 2 on koottu näytteenotuspisteiden jäteveden metallipitoisuuksien määrittäytulokset. Kaikki määritetyt pitoisuudet alittavat yleisesti käytössä olevat raja-arvot.

Taulukko 2. Vemo-hankkeessa määritettyjä Tuskun alueen ja jätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden metallipitoisuuksia (µg/l) joulukuussa 2020 sekä yleisesti käytössä olevat raja-arvot (VVY 2016).

	Yleisesti käytetty raja-arvo/ HELCOM-suositus	Metalliteollisuuslaitos	Kotitalouslinja	Pumppaamo	Autopesula	Jäteasema	Jätevedenpuhdistamo
Arseeni (As)	100–300/300	<1	<1	<1	<1	7	<1
Elohopea (Hg)	10/50	0,008	<0,005	<0,005	<0,005	0,001	<0,005
Kadmium (Cd)	100/200	<0,02	<0,02	<0,02	0,08	<0,04	<0,02
Kok. kromi (Cr)	500–1000/500	0,698	0,249	1,62	4,47	6,95	0,802
Kupari (Cu)	500–2000/500	2,5	7,7	4,6	62,6	5,4	5,4
Lyijy (Pb)	500/500	0,528	<0,5	<0,5	0,967	<0,5	<0,5
Nikkeli (Ni)	500–1000/1000	5,87	<2	3,35	11,3	45,6	5,21
Sinkki (Zn)	2000–3000/2000	568	28,6	53,2	0,386	34,2	26,9

Eri päästölähteiden osuutta puhdistamolle tulevasta kuormasta arvioitiin näytteenottotulosten ja päästölähteissä syntyvän jätevesimäärän avulla. Kuormituksen osuutta voidaan arvioida niiden metallien osalta, joiden pitoisuus saatiin määritettyä puhdistamonäytteestä. Tarkasteltaviksi metalleiksi jäivät kokonaiskromi, kupari, nikkeli ja sinkki.

Teollisuuslaitoksen osalta prosessivedet eivät enää päädy viemäriverkostoon, vaan ne ovat suljetussa kierrossa, joten puhdistamolle tulevaa kuormitusta ei enää ole tutkittujen metallien osalta. Yksittäisen kotitalouden laskettu osuus puhdistamolle tulevasta kuormasta jäi kaikkien metallien osalta alle 0,01 prosenttiin. Autopesulan osuus kuormituksesta oli kuparin osalta yksi prosentti, kokonaiskromin 0,5 prosenttia, nikkelin 0,2 prosenttia ja sinkin osalta 0,01 prosenttia. Jäteaseman osuus puhdistamolle tulevasta kuormasta oli kokonaiskromin ja nikkelin osalta 17 prosenttia sekä kuparin ja sinkin kaksi prosenttia. Jäteaseman näytteestä määritettiin myös arseenipitoisuus. Jätevesipumppaamon näytteestä voidaan tarkastella laajemman alueen aiheuttamaa kuormitusta. Pumppaamon osuus puhdistamolle tulevasta kuormasta oli kokonaiskromin ja sinkin osalta 11 prosenttia, kuparin viisi prosenttia ja nikkelin osalta neljä prosenttia.

Kesällä 2021 tarkasteltiin Tikkalan alueella betonitehtaan ja pumppaamon jätevesien metallipitoisuuksia sekä verrattiin näitä jätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden pitoisuuksiin. Pumppaamoon tulee muun muassa elintarvikeyrityksen jätevesiä. Samaan aikaan määritettiin myös Pursialan alueen puunkäsittelylaitoksen ja Graanin alueen laboratorion jäteveden metallipitoisuudet. Taulukkoon 3 on koottu tutkituista jätevesinäytteistä määritetyt metallipitoisuudet. Analysoiduista näytteistä vain laboratorion kuparipitoisuus ylittää osan viemäriin johdettavien jätevesien raja-arvoista sekä HELCOM-suosituksen.

Taulukko 3. Vemo-hankkeessa määritettyjä Tikkalan alueen ja jätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden metallipitoisuuksia ($\mu\text{g/l}$) kesäkuussa 2021 sekä yleisesti käytössä olevat raja-arvot (VVY 2016).

	Yleisesti käytetty raja-arvo/ HELCOM-suositus	Elintarvike-tehdas	Betoni-tehdas	Puun-käsittely-laitos	Labora-torio	Jäteve-denpuh-distamo
Arseeni (As)	100/300	<1	<1	<1	<1	<1
Elohopea (Hg)	10/50	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Hopea (Ag)	100-200/-	<1	<2	<5	<1	<1
Kadmium (Cd)	100/200	0,02	<0,04	<0,10	0,16	<0,02
Kok. kromi (Cr)	500-1000/500	0,8	6,7	43	2	0,5
Kupari (Cu)	500-2000/500	5	<2	18	822	4
Lyijy (Pb)	500/500	<0,5	<0,5	7	3	<0,5
Nikkeli (Ni)	500-1000/1000	3	12	128	6	6
Sinkki (Zn)	2000-3000/2000	20	16	135	44	15

Kuormituksen osuutta voidaan jälleen arvioida niiden metallien osalta, joiden pitoisuus saatiin määritettyä puhdistamonäytteestä. Tarkasteltavat metallit olivat tälläkin kertaa kokonaiskromi, kupari, nikkeli ja sinkki.

Pumppaamon laskettu osuus puhdistamolle tulevasta kuormasta oli kokonaiskromin osalta 11 prosenttia, sinkin kymmenen prosenttia, kuparin yhdeksän prosenttia ja nikkelin neljä prosenttia. Lisäksi näytteestä määritettiin kadmiumpitoisuus 0,02 µg/l. Betonitehtaan osuus kuormituksesta jäi kaikkien metallien osalta alle 0,01 prosenttiin. Puunkäsittelylaitoksen kuormitus puhdistamolle tulevan jäteveden metallikuormasta oli kokonaiskromin osalta kymmenen prosenttia, nikkelin kaksi prosenttia, kuparin ja sinkin osalta yksi prosentti. Näytteestä määritettiin myös lyijypitoisuus 7 µg/l. Vastaavasti laboratorion kuormitus oli kokonaiskromin osalta 0,4 prosenttia, kuparin 18 prosenttia, sinkin 0,3 prosenttia ja nikkelin osalta 0,1 prosenttia.

Vemo-hankkeessa touko–kesäkuussa 2022 toteutetun raskasmetallimonitoroinnin yhteydessä tarkasteltiin Tuskun, Tikkanan, Pursialan, Graanin ja Oravinmäen alueen mahdollisia yksittäisiä päästölähteitä ja pumppaamoja. Oravinmäen osalta näytettä ei saatu jäteveden vähäisyyden vuoksi. Taulukossa 4 on nähtävissä näytteistä määritetyt metallipitoisuudet. Näytteiden arseenipitoisuudet olivat pääosin alle määrittämissä raja-arvoissa, ja vain jäteaseman näytteestä saatiin määritettyä pitoisuus 2,82 µg/l.

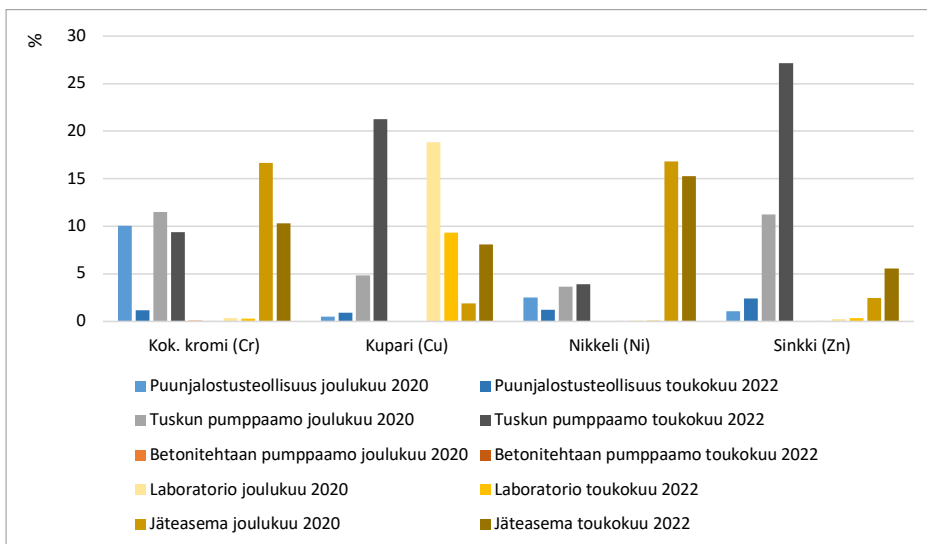
Taulukko 4. Vemo-hankkeessa määritettyjä Mikkelin taajama-alueen jätevesiverkoston ja jätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden metallipitoisuuksia (µg/l) toukokuussa 2022 sekä yleisesti käytössä olevat raja-arvot (VVY 2016).

	Yleisesti käytetty raja-arvo/ HELCOM-suositus	Puunkäsittelylaitos	Pursiala pumppaamo	Laboratorio	Teollisuuslaitos	Tusku pumppaamo	Betonitehdas	Jäteasema	Jätevedenpuhdistamo
Arseeni (As)	100/300	<4,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	2,82	<1,00
Elohopea (Hg)	10/50	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Kadmium (Cd)	100/200	<0,400	<0,040	0,192	0,882	0,054	<0,020	<0,040	<0,020
Kok. kromi (Cr)	500–1000/500	10,8	0,422	3,59	1,22	1,72	2,17	5,61	1,08
Kupari (Cu)	500–2000/500	20,7	3	265	27,9	9,4	<1,0	10,6	2,6
Lyijy (Pb)	500/500	9,24	<0,500	6,2	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500
Nikkeli (Ni)	500–1000/1000	65,4	15,9	5,25	68,3	4,1	22,7	47,6	6,2
Sinkki (Zn)	2000–3000/2000	252	21,1	46,8	2810	56,3	7,6	34,2	12,2

Puunkäsittelylaitoksen osuus jätevedenpuhdistamolle tulevasta metallikuormasta oli tällä kertaa kokonaiskromin, kuparin ja nikkelin osalta yksi prosentti sekä sinkin osalta kaksi prosenttia. Tälläkin kertaa näytteestä määritettiin muita näytteitä suurempi lyijypitoisuus: 9 µg/l. Uutena kohteena tarkasteltiin Pursialan teollisuusalueen pumppaamoa, ja sen kautta kulkeva kuormitus jätevedenpuhdistamolle tulevaan jäteveeseen oli kokonaiskromin osalta yksi prosentti, kuparin kolme prosenttia, nikkelin seitsemän prosenttia ja sinkin viisi prosenttia. Tuskun pumppaamon kautta kulkeva kuormitus oli kokonaiskromin osalta yhdeksän prosenttia, kuparin 21 prosenttia, nikkelin neljä prosenttia ja sinkin 27 prosenttia.

Betonitehtaan osuus kuormasta oli edelleen kaikkien metallien osalta alle 0,01 prosenttia. Jäteaseman osuus puhdistamolle tulevan jäteveden metallipitoisuuskuormasta oli kokonaiskromin osalta kymmenen prosenttia, kuparin kahdeksan prosenttia, nikkelin 15 prosenttia ja sinkin kuusi prosenttia. Laboratorion osuus kuormituksesta oli kokonaiskromin osalta 0,3 prosenttia, kuparin yhdeksän prosenttia, nikkelin 0,1 prosenttia ja sinkin osalta 0,4 prosenttia.

Kuvassa 1 on esitetty päästölähteiden arvioitu osuus jätevedenpuhdistamolle tulevasta metallikuormituksesta joulukuussa 2020 ja toukokuussa 2022 niiden metallien ja päästölähteiden osalta, joiden osalta se on mahdollista. Kuormituksen osuuden laskenta perustuu saatuun jätevesinäytteen määritystulokseen sekä tarkastellun kohteen jätevesimäärään. Kokonaiskromin osalta molempina tarkasteluhetkinä suurin kuormittaja tarkastelluista päästölähteistä oli jäteasema. Kuparin osalta tässä tarkastelussa suurin kuormitus tuli laboratorion joulukuussa 2020 ja Tuskun pumppaamon kautta toukokuussa 2022. Nikkelikuormasta suurin osuus tuli jäteasemalta molempina tarkasteluhetkinä. Sinkkikuormaa jäteveeseen tutkimuksessa tarkastelluista päästölähteistä kertyi eniten Tuskun pumppaamon kautta.



Kuva 1. Vemo-hankkeessa arvioituja osuuksia jätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden metallikuormituksesta joulukuussa 2020 ja toukokuussa 2022.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Mikkelin taajama-alueella mahdollisia metallien päästölähteitä jäteveeten on tällä hetkellä melko vähän. Yritykset ovat muuttaneet prosessejaan ympäristöystävällisempään suuntaan, ja jäteveden laadun tarkkailuun ja mahdolliseen esikäsittelyyn on panostettu.

Hankkeen näytteenotot suoritettiin pääasiassa kertaluonteisesti. Kaikista tarkasteltavista kohteista näytteenottoa ei pystytty tekemään automaattisella näytteenottomella. Osassa kohteista näyte jouduttiin ottamaan verkosta sellaisesta pisteestä, jossa jätevettä oli tarpeeksi, jolloin näytteeseen saattoi vaikuttaa jo muutkin tekijät kuin tarkasteltu päästölähte.

Osasta näytepisteitä otettiin näytteet sekä vuonna 2020 että 2022. Vuosien välillä tuloksissa oli hieman eroavuutta, joka voi selittyä näytepisteen mahdollisesti muuttuneen päästön lisäksi myös muutoksilla esimerkiksi yritysten tuottaman jäteveden määrässä, näytteenottoajankohdassa ja itse näytteenotossa. Yritysten ja viranomaisten kanssa käydyt keskustelut viittaavat siihen, ettei Mikkelin kaupungin taajama-alueella olisi merkittäviä metallien päästölähteitä. Vaikka yksittäisen päästölähteen vaikutuksen osuus metallikuormituksessa on pieni, toimintaa kannattaa tarkastella säännöllisesti. Pienetkin muutokset yrityksen prosesseissa voivat vaikuttaa niin jäteveden määrään kuin sen metallipitoisuuksiin.

LÄHTEET

Kamula, T. 2003. Selvitys asumajätevesistä poikkeavien teollisuus- ym. jätevesien pitoisuuksista Mikkelissä vuonna 2003. Mikkelin kaupungin julkaisuja 10/2003. ISBN 952-9861-76-1.

Makkonen, E. 2015. Teollisuusjätevesien seuranta ja hallinta – tapauskohteena Jyväskylän seutu. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma.

Pitkäaho, S. 2018. Raskasmetallien poisto lietteestä. HuJa loppuseminaari 20.8.2018. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.oulu.fi/sites/default/files/36/Pitk%C3%A4aho%2C%20Satu%20Raskasmetallien%20poisto%20lietteest%C3%A4.pdf> [viitattu 7.2.2022].

SYKE. 2020. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. 2020. Suomen ympäristökeskus (SYKE). WWW-dokumentti. Julkaistu 25.11.2020. Päivitetty 25.11.2020. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot [viitattu 7.2.2022].

Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista. 2006. 23.11.2006/1022.

Vieno, N. & Arjonen, M. 2021. Uudet haitalliset aineet suomalaisilla jätevedenpuhdistamoilla. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 69. Helsinki 2021. ISBN 978-952-6697-66-6.

Vieno, N. 2014. Haitalliset aineet jätevedenpuhdistamoilla -hankkeen loppuraportti. Suomen vesilaitosyhdistys ry. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 34. Helsinki 2014. ISBN 978-952-6697-02-4.

JÄTEVESIEN LAADUN SEURANTA JATKUVATOIMISELLA MITTAUKSELLA

Lasse Hämäläinen & Riina Tuominen & Ilkka Dahlström & Toni Laurila

Vemo – Kaupunkien jätevesien haitallisten aineiden vähentäminen monitorointia tehostamalla -hankkeessa tarkkailtiin kolmen eri jätevedenpumppaamon vedenlaatua jatkuvatoimisten mittausten avulla. Lisäksi testattiin metallien jatkuvatoimista mittausta Mikkelin jätevedenpuhdistamolla. Mittausten varmentamiseksi tehtiin kenttämittauksia sekä näytteenottoja. Hankkeessa toteutetusta jäteveden laadun monitoroinnista on kerrottu aiemmin myös Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan vuosijulkaisussa artikkelissa Jatkuvatoiminen mittaus jätevesien haitta-aineiden havainnoinnissa (Tuominen & Hämäläinen 2021).

MONITOROINTIKOhteet JA TOTEUTUS

Hankkeen monitorointikohteiksi valittiin Mikkelin alueelta jätevesipumppaamoita, jotka sijaitsevat mahdollisten haitta-ainepäästölähteiden yhteydessä. Vaatimuksia monitorointikohteille olivat sopiva sijainti jätevesiverkostossa, riittävän suuri ja syvä kaivo, johon mittalaitteet saatiin asennettua, sekä liityntäpiste sähköverkkoon monitorointilaitteita varten. Kriteerien perusteella valittiin kolme pumppaamo. Pumppaamoon 1 tulee muun muassa betonitehtaan, vanhan kaatopaikan ja elintarviketeollisuuslaitoksen jätevesiä. Pumppaamoon 2 tulee muun muassa betonitehtaan ja vanhan kaatopaikan jätevesiä ja pumppaamoon 3 muun muassa teollisuusalueen, asuntoalueen ja osuuskuntien jätevesiä.

Hankkeessa jätevesien online-monitorointia suoritettiin EHP Environment Oy:n asentamalla Ponsel-antureilla sekä Xamkin YSI 6820 V2 -sondilla. Mittalaitteet seurasivat jäteveden sähkönjohtavuutta, pH-arvoa ja lämpötilaa ja tekivät mittaukset puolen tunnin välein. Tuloksia seurattiin online-palveluista, joihin mittalaitteet lähettivät mittausdataa reaaliaikaisesti. Laitteita huollettiin aina tarvittaessa, yleensä kerran viikossa.

EHP Environment Oy:n mittalaite asennettiin 12.1.2021 pumppaamoon 1. Mittausta suoritettiin 2.11.2021 asti, jolloin mittalaite siirrettiin pumppaamoon 2. EHP Environment Oy:n antureita huollettiin 28.2.2022 asti, jolloin mittausjakso päättyi.

YSI 6820 V2 -sondi asennettiin 16.6.2021 pumppaamoon 1 tekemään rinnakkaismittauksia EHP Environmentin anturien kanssa. Mittausjakso pumppaamossa 1 kesti 11.10.2021 asti,

jonka jälkeen sondi huollettiin ja siirrettiin 10.11.2021 pumppaamoon 3. Sondi mittasi jätevettä 31.5.2022 asti pumppaamossa 3.

Online-monitoroinnin lisäksi kohteissa suoritettiin mittauksia YSI Pro DSS -kenttämitarilla. Kenttämittauksilla mitattiin jäteveden pH-arvoa, sähkönjohtokykyä, sameutta ja happipitoisuutta. Kenttämittauksilla seurattiin online-antureiden mittausten luotettavuutta sekä huollon tarvetta.

JÄTEVEDEN LAADUN SEURANNAN TULOKSIA

Pumppaamoon 1 tulee muun muassa elintarviketeollisuusyrityksen jätevesiä, jätevesiä betonitehtaalta ja suotovesiä suljetulta kaatopaikalta. Kotitalousvesiä pumppaamoon ei juurikaan tule. Kohteeseen asennettiin EHP Environment Oy:n toimesta online-monitorointilaitte, joka mittasi jäteveden laatua vuoden 2021 tammikuusta marraskuuhun. Kohteeseen asennettiin Xamkin YSI 6820 V2 -sondi kesäkuussa 2021 tekemään rinnakkaisia mittauksia jätevedestä. YSI-sondin mittausjakso päättyi lokakuussa 2021 huoltotarpeen takia.

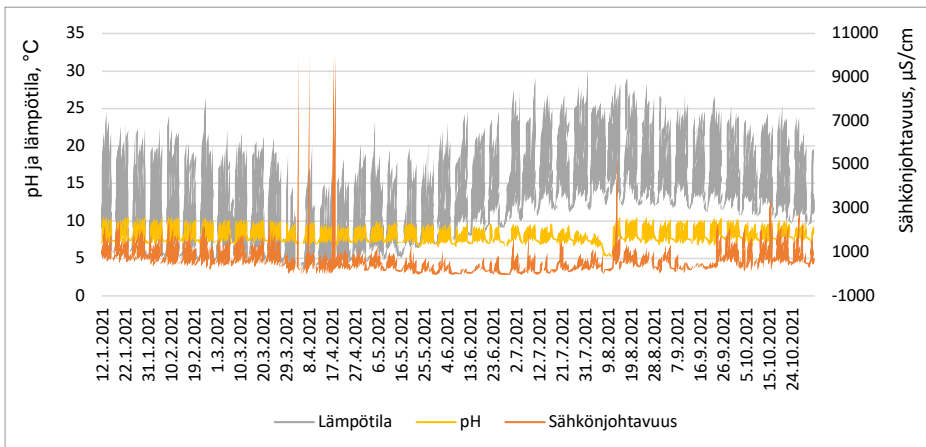
Kohteessa monitorointia hankaloitti jätevedessä kulkeutuva rasva, kalkkipitoiset vedet sekä kangasriekaleet. Rasvasta ja kalkista muodostui tahmeaa sakkaa, joka tukki monitorointilaitteiden antureita (kuva 1). Tukkeutumista nopeuttivat myös harsomaiset kangasriekaleet, jotka tarttuivat antureihin luoden erinomaisen tarttumapinnan rasva- ja kalkkisakalle.

EHP Environment Oy:n asentamien antureiden mittaustuloksista näkyy jäteveden ominaisuuksien vaihtelut mittausjakson aikana (kuva 2). Jäteveden lämpötila vaihtelee vuodenajan mukaan nousten kesäkuukausina ja alkaen laskea syksyä kohden. Jäteveden pH vaihteli sykleittäin koko mittausjakson ajan noin 6–11. Sähkönjohtavuuden arvot vaihtelivat eniten mittausparametreista, ja huhtikuussa esiintyi muutama hyvin korkea tulos. Hankkeen aikana ei saatu selville, johtuivatko huhtikuun korkeat piikit jäteveden laadun hetkellisestä muutoksesta vai mittausvirheestä.

Mittaustuloksista näkee myös kesälomista aiheutuneen tauon sondien huoltamisessa elokuun alussa. Mittalaitteet olivat heinä–elokuussa noin neljä viikkoa huoltamatta, jolloin antureiden päät pääsivät likaantumaan. Heinä–elokuun vaihteessa kuvaajassa näkyy pH- ja sähkönjohtokykyanturien heikentyneet mittaustulokset. Lämpötilamittauksiin lika ei juurikaan vaikuttanut, ja toistenkin anturien mittaustulosten tarkkuus parani heti puhdistuksen jälkeen. EHP Environment Oy:n mittalaitteita ei kalibroitu mittausjakson aikana kertaakaan, mutta mittaustulokset pysyivät huomattavan tasalaatuisina.

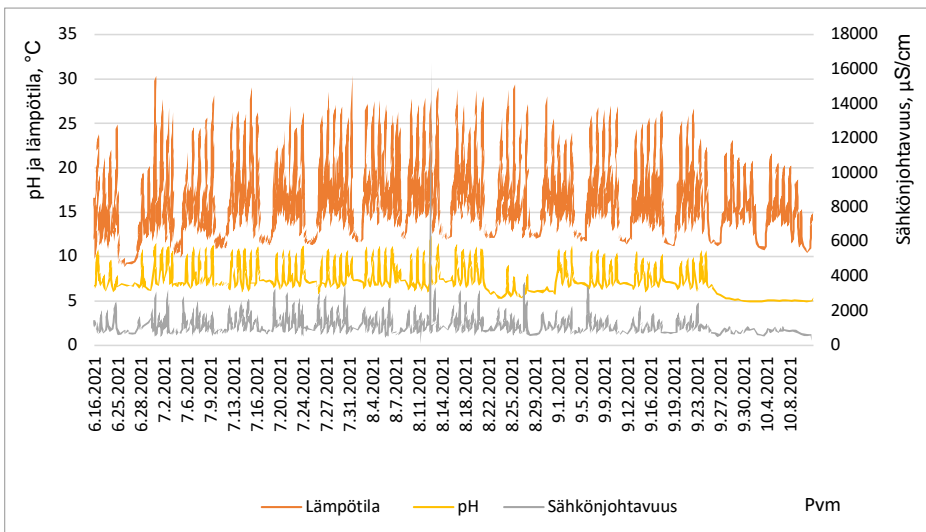


Kuva 1. Rasvainen sakka tukki monitorointilaitteen antureita (kuva Lasse Hämäläinen).



Kuva 2. EHP Environmentin asentamien antureiden mittaustulokset pumpaamossa 1.

YSI 6820 V2 -sondin asentamisen jälkeen saatiin rinnakkaisia mittaustuloksia pumpaamo 1:n jätevedestä. Myös YSI-sondilla näkyvät samat trendit mittaustuloksissa kuin EHP Environment Oy:n antureissa (kuva 3). YSI-sondin tuloksissa loman aikaisen huoltotauon vaikutus ei juurikaan näy. Ero johtunee YSI-sondin anturien päällä olevasta muovisuojasta, joka suojaasi mittalaitteita likaantumiselta. YSI-sondin mittaustulosten laatu heikkeni syyskuun lopussa, joten sonda poistettiin kaivosta huoltoa ja kalibrointia varten ennen seuraavaan mittauskohteeseen siirtämistä.

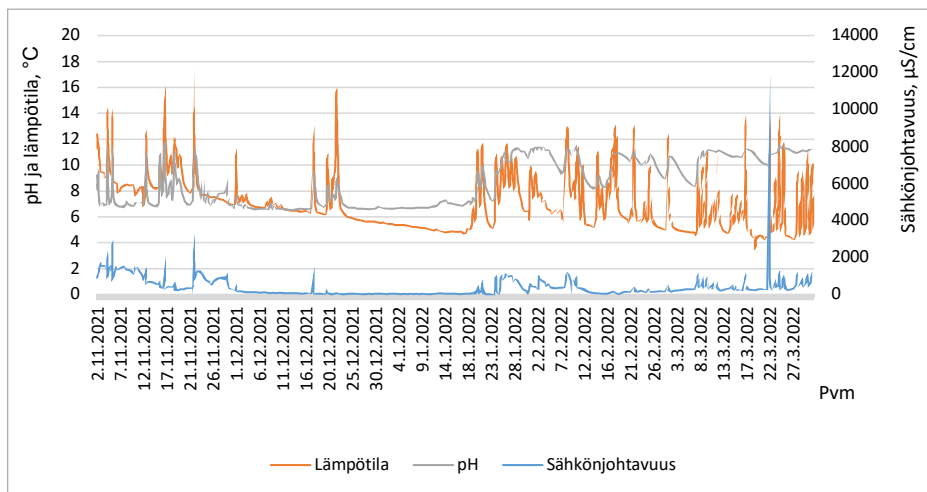


Kuva 3. YSI-sondin mittaustulokset pumpaamossa 1.

Molempien online-mittareiden tuloksista näkee vaihtelut vuorokaudenaikojen sekä viikonpäivien välillä. Jäteveden laatu vaihtelee tasaisesti, ja päivisin se on likaisempaa kuin yöllä ja viikonloppuisin puhtaampaa kuin arkipäivinä. Online-mittauksella saadaan myös kiinni hetkellisiä muutoksia jäteveden laadussa, kuten kävi elokuun 13. päivä. Molempien mittalaitteiden tuloksissa näkyvät hetkelliset sähkönjohtokyvyn korkeat pitoisuudet, joten kyseessä oli veden laadun muutos eikä mittausvirhe. Syy mittauspiikille ei hankkeen aikana selvinnyt.

EHP Environment Oy:n edustaja kävi siirtämässä mittalaitteen 2.11.2021 pumppaamosta 1 betonitehtaan pumppaamoon 2. Anturit puhdistettiin huolellisesti ja kalibroitiin siirron yhteydessä. Rinnakkaisille online-mittauksille ei koettu olevan tarvetta ja YSI-sondi vietiin kolmanteen pumppaamoon hankkeen loppuajaksi. Antureita huollettiin edelleen noin kerran viikossa puhdistamalla.

Pumppaamossa 2 mittauksen alussa vuorokausivaihtelut eivät olleet yhtä selkeitä kuin pumppaamossa 1 (kuva 4). Erityisesti sähkönjohtokyvyn mittaustulokset olivat mittausjakson alussa matalia, kun kyseessä on jätevesi. Marraskuun lopussa jäteveden laadun vaihtelut hidastuivat ja mittauksissa oli vain ajoittain suurta vaihtelua. Tilanne johtui todennäköisesti tehtaan joulunajan vähentyneestä käyttöasteesta sekä lomajakson vaikutuksesta toimintaan. Rauhallinen vaihe kesti noin tammikuun puoleen väliin asti, jonka jälkeen mittaustulokset alkoivat muistuttaa enemmän aiempaa vuorokaudenajan ja viikonpäivien mukaan liikkuvaa kiertoa.



Kuva 4. EHP Environment Oy:n asentamien antureiden mittaustulokset pumppaamossa 2.

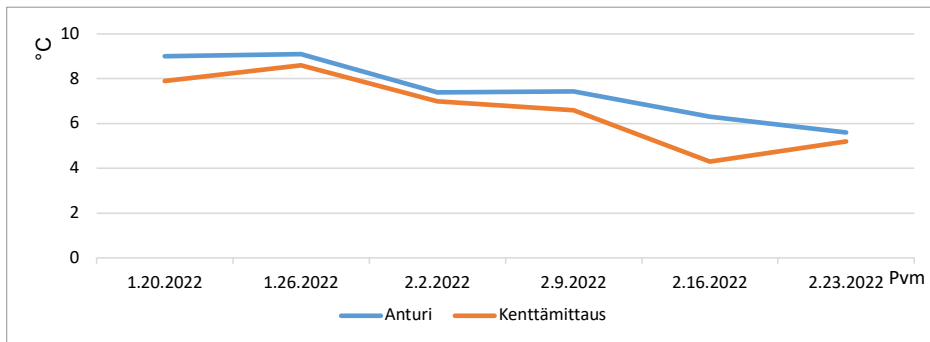
Pumppaamossa 2 vesi oli aiempaan mittauspisteeseen verrattuna emäksistä, betonitehtaan päästöt nostivat pH:ta lähes päivittäin arvoihin 11–12 ja se laski harvoin alle 8. Vedessä oli myös todennäköisesti suljetulta kaatopaikalta tulevaa rautasakkaa, joka kerääntyi mittalaitteiston pintaan (kuva 5).



Kuva 5. Mittalaitteistoon kertynyttä rautasakkaa (kuva Lasse Hämäläinen).

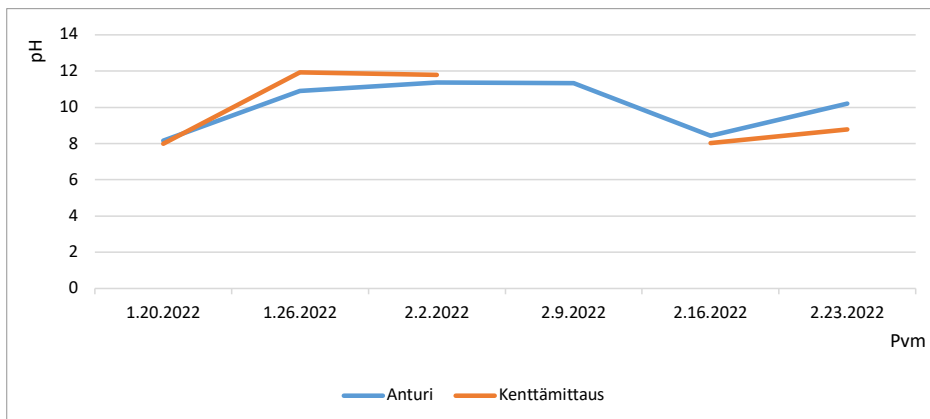
Veden lämpötila laski mittausten aikana vuodenajan vaihtuessa talveen. Sähkönjohtoanturin mittaustulokset heikkenivät vuodenvaihteen tauon jälkeen, eivätkä tulokset seuranneet muiden antureiden vuorokausivaihtelua. Tulokset olivat myös hyvin alhaisia jäteveden arvoiksi teollisuuden alaan nähden. Mittausjakson loppua kohti sähkönjohtoanturi alkoi toimia hieman paremmin korkean piikin jälkeen. Hankkeen aikana ei saatu selville, mistä piikki johtui.

Kohteessa suoritettiin huoltojen yhteydessä kenttämittauksia YSI Pro DSS kenttämittarilla. Kohteesta mitattiin kenttämittarilla pH, lämpötila sekä sähkönjohtokyky. Lämpötilamittauksissa kenttämittarin ja EHP Environment Oy:n asentamien antureiden välillä ei ollut huomattavia eroja (kuva 6). Pienet vaihtelut mitta-arvoissa johtuivat todennäköisesti EHP Environment Oy:n asentamien antureiden 15 minuutin mittavälillä, joten kenttämittauksia jouduttiin vertaamaan lähimpään mittausajankohtaan.



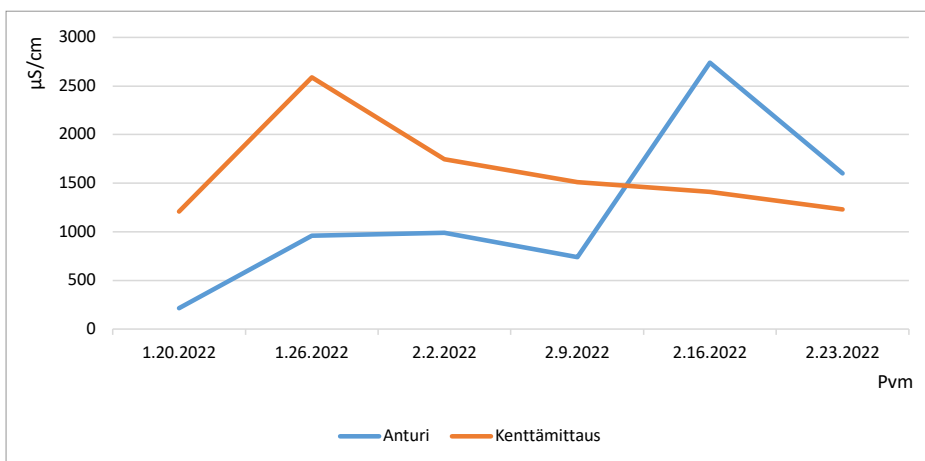
Kuva 6. YSI Pro DSS -kenttämittarin lämpötilatulokset verrattuna EHP Environment Oy:n asentamiin antureihin.

Myös pH-mittauksissa EHP Environment Oy:n asentamat anturit antoivat kenttämittarin kanssa yhteneviä tuloksia (kuva 7). Yksi pH-mittaus puuttui YSI Pro DSS mittarilla pH-anturin huollon takia.



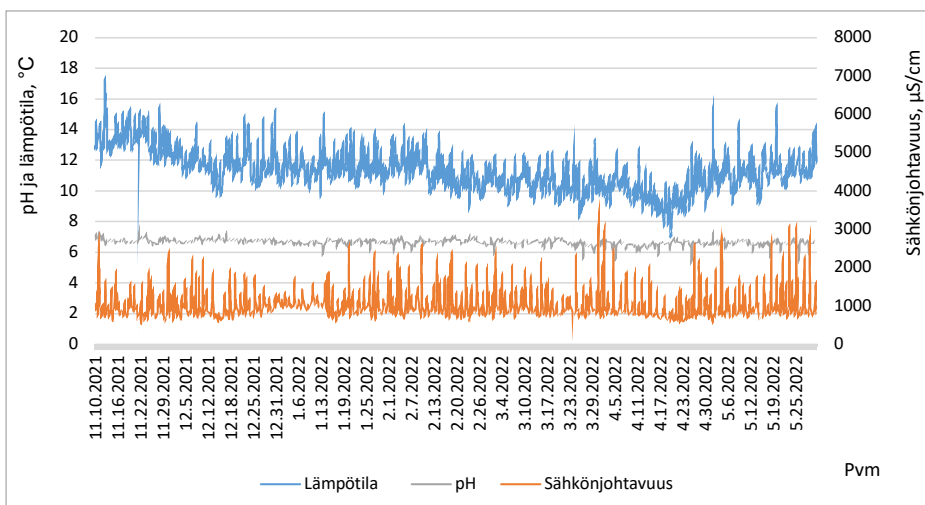
Kuva 7. YSI Pro DSS -kenttämittarin pH-tulokset verrattuna EHP Environment Oy:n asentamiin antureihin.

Sähkönjohtokyvyn mittaustulokset poikkesivat EHP Environment Oy:n asentaman anturin sekä YSI Pro DSS -kenttämittarin välillä (kuva 8). Marraskuussa tehdyt huomiot jäteveden matalasta sähkönjohtopitoisuudesta EHP Environment Oy:n asentamien antureiden mittaustuloksissa osoittautuivat kenttämittausten perusteella virheellisiksi. Hankkeen aikana anturia puhdistettiin, mutta sitä ei huollettu eikä kalibroitu, joten mittausjakson sähkönjohtopitoisuuksissa voi olla virheellisiä tuloksia.



Kuva 8. YSI Pro DSS -kenttämittarin sähkönjohtavuustulokset verrattuna EHP Environment Oy:n asentamiin antureihin.

Pumppaamossa 3 mittaustulokset olivat koko mittausjakson ajan melko tasaiset (kuva 9). Jäteveden laadun vaihtelut olivat selvästi pienempiä kuin kahdessa muussa tutkimuskohhteessa, ja sondi pysyi veden laadusta johtuen hieman puhtaampana verrattuna kahteen muuhun pumppaamoon.



Kuva 9. YSI-sondin mittaustulokset pumppaamossa 3.

Pumppaamoon 3 tulee jätevesiä usealta taholta, kuten teollisuus- ja asuuntoalueelta ja osuuskunnista. Alueen teollisen toiminnan luonteesta johtuen viikonpäivien vaihtelut olivat kohteessa kolmesta pumppaamoista pienimmät, eikä jäteveden mittaustuloksiin syntynyt samanlaista vaihtelua kuin muissa mittauskohhteissa.

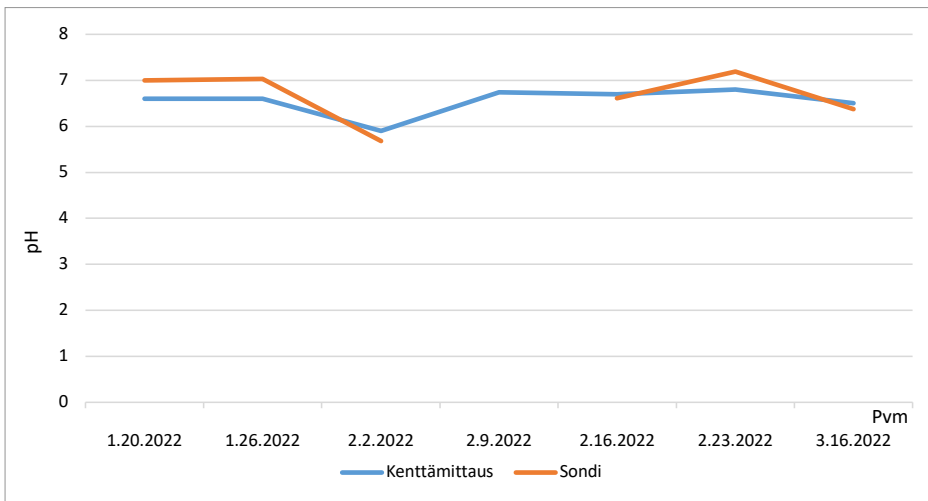
Jäteveden pH pysyi mittausjakson ajan hyvin tasaisena, eikä vaihtelua ollut juurikaan 6–8 ulkopuolella. Jäteveden lämpötilan vaihtelut olivat myös odotetun kaltaisia. Lämpötila laski talvikuukausien aikana tasaisesti huhtikuun alkuun asti, jolloin lämpötila laski nopeasti sulamisvesien vaikutuksesta. Lumen sulamisen jälkeen veden lämpötila lähti taas nousemaan kevään edetessä.

Sähkönjohtavuuden osalta mittauksissa oli tammikuun alkupuolella hieman tavanomaista vähemmän vaihtelua. Tammikuun poikkeavuus muusta mittausjaksosta johtuu sondin pintaan kertyneestä mustasta liasta, joka tukki sähkönjohtavuusanturin (kuva 10). Sähkönjohtavuuden tuloksissa ilmeni myös pieni notkahdus huhtikuun alussa sulamisvesien seurauksena.



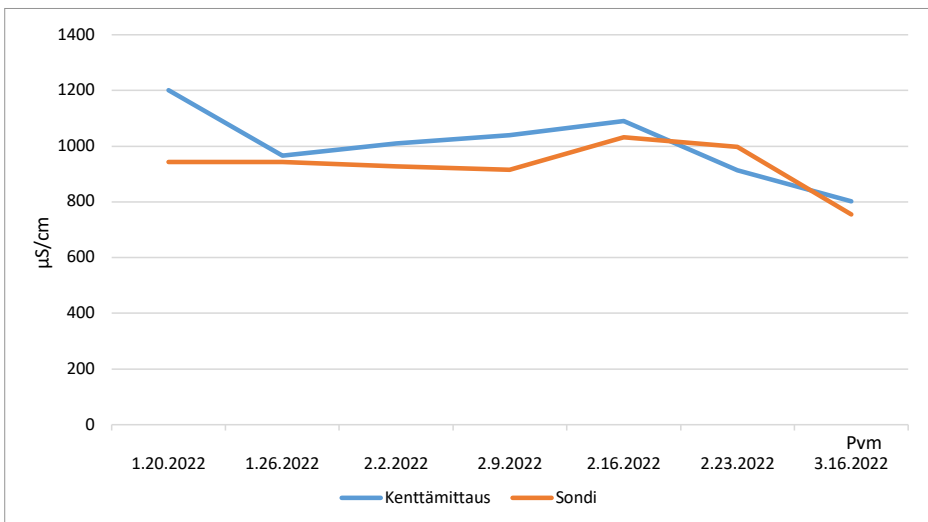
Kuva 10. Sondin pintaan kertynyttä mustaa likaa (kuva Lasse Hämäläinen).

Kohteessa suoritettiin kenttämittauksia YSI Pro DSS -kenttämittarilla tulosten luotettavuuden varmistamiseksi. Kenttämittarilla mitattiin jäteveden pH, sähkönjohtokyky sekä lämpötila. Kenttämittauksissa pH:n arvot olivat online-mittarin kanssa lähes identtiset (kuva 11). Pienet erot johtuvat online-mittarin 15 minuutin mittausvälistä, mistä johtuen kenttämittausten tuloksia verrattiin lähimpään online-mittarin mittaustulokseen. Jäteveden tasalaatuisuudesta johtuen mittareiden väliset erot olivat siitä huolimatta hyvin pieniä. Kenttämittarin tuloksista puuttuu yksi mittaus pH-anturin vioittumisen takia.



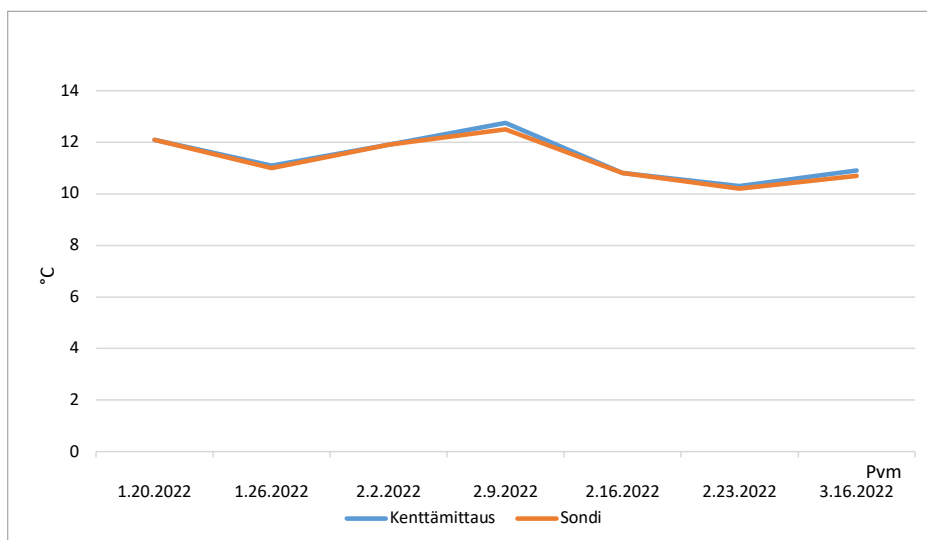
Kuva 11. Pumppaamon 3 kenttämittausten pH-tulokset verrattuna online-mittariin.

Kenttämittauksissa myös sähkönjohtokyvyn arvot olivat online-mittarin kanssa lähes identtiset (kuva 12). Pienet erot johtuvat online-mittarin 15 minuutin mittausvälistä, mistä johtuen kenttämittausten tuloksia verrattiin lähimpään online-mittarin mittaustulokseen.



Kuva 12. Pumppaamon 3 kenttämittausten sähkönjohtavuustulokset verrattuna online-mittariin.

Lämpötilanvaihtelut jätevedessä olivat lyhyellä aikavälillä pieniä, joten kenttämittarin ja online-mittarin mittaustulokset ovat käytännössä identtisiä (kuva 13). Mittareiden välillä oli suurimmillaan 0,25 °C:n ero.



Kuva 13. Pumppaamon 3 kenttämittausten lämpötilatulokset verrattuna online-mittariin.

Talven mittausjaksolla sondin pintaan kertynyttä mustaa ja limaista likaa päätettiin tutkia tarkemmin. Lika kiinnittyi sondin mittauspäihin lisäten huoltojen tarvetta. Näytteenottoon käytettiin muovista näytteenotinta, jonka pintaan lika kertyi sondin tapaan. Näytteestä määritettiin kuiva-ainepitoisuus sekä orgaanisen aineen määrä. Kuiva-aineen ja orgaanisen aineen määrittämisessä käytettiin standardia Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäätännöksen määrittämisestä (SFS 3008). Näytteen vähäisestä määrästä johtuen rinnakkaisia näytteitä saatiin vain kaksi kappaletta. Taulukossa 1 on esitetty näytteiden massat määrittämyksen eri vaiheissa.

Taulukko 1. Näytteiden massat analyysin eri vaiheissa.

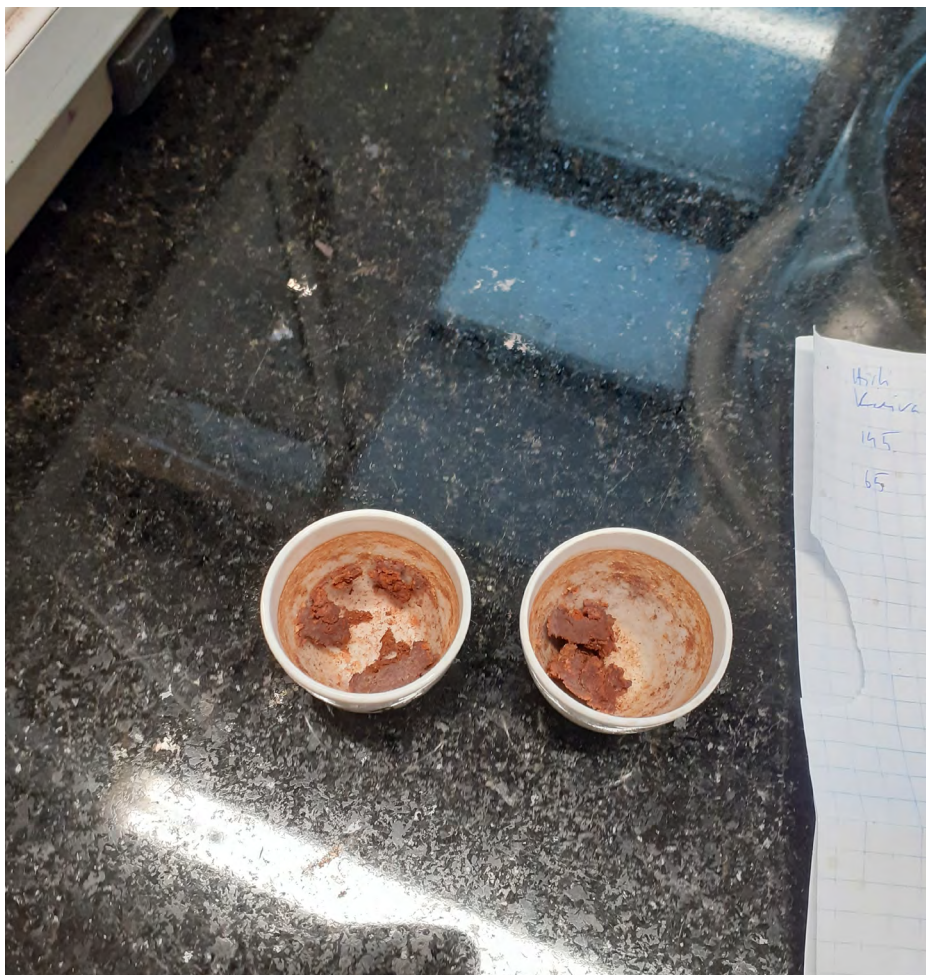
Näyte	Märkä näyte g	Kuiva näyte g	Hehkutettu näyte g
Musta lika 1	10,2519	0,5655	0,1062
Musta lika 2	9,8692	0,4708	0,0839

Taulukossa 2 on esitetty kuiva-aineen sekä orgaanisen aineen analyysin tulokset prosenttimuodossa. Näytteestä suurin osa oli odotetusti vettä. Kuiva-ainetta näytteessä oli vain hieman yli viisi prosenttia. Hehkuttamisen jälkeen ilmeni, että kuiva-aine koostui lähinnä orgaanisesta aineesta.

Taulukko 2. Kuiva-aine- sekä orgaanisen aineen analyysin tulokset.

Näyte	Kosteus %	Kuiva-aine %	Epäorg. aine kuiva-aineesta %	Org. aine kuiva-aineesta %
Musta lika 1	94,48	5,52	18,78	81,22
Musta lika 2	95,23	4,77	17,82	82,18
Keskiarvo	94,86	5,14	18,30	81,70

Hehkutuksen jälkeen näytteestä jäi jäljelle punertavaa epäorgaanista ainesta (kuva 14). Orgaanisen aineen suuren pitoisuuden sekä näytteen värimuutoksen perusteella on todennäköistä, että näytteen musta väri oli peräisin orgaanisesta aineesta, esimerkiksi hiilestä. Tämän tarkempaa analyysiä ei hankkeen aikana pystytty tekemään.



Kuva 14. Kuva näytteistä hehkutuksen jälkeen (kuva Lasse Hämäläinen).

JÄTEVEDEN METALLIPITOISUUKSIEN MONITOROINTI

Hankkeessa haluttiin testata myös jäteveden metallipitoisuuksien reaaliaikaista monitorointia. Sopivaa monitorointipaikkaa etsittiin aluksi teollisuusalueiden pumppaamoista, jotta päästölähteessä tapahtuva metallipitoisuuksien vaihtelu olisi tullut esiin. Esiselvitysten perusteella päädyttiin kuitenkin tekemään mittaukset Mikkelin Metsäsairilan kunnallisella jätevedenpuhdistamolla puhdistamattomasta, laitokselle saapuvasta jätevedestä. Testausjakso toteutettiin touko–kesäkuussa 2022 Sensmet Oy:n raskasmetallianalysaattorilla (kuva 15).

Puhdistamolle tulevan kunnallisen jäteveden metallipitoisuudet olivat tarkastelukohteessa melko pieniä µg/l-pitoisuustasossa. Lisäksi kunnallisen jäteveden epäpuhtaudet, kuten kuitumaiset roskat, vaikeuttivat online-mittauksen edellyttämää jatkuva-aikaista näytteenottoa. Jätevedestä mitattiin kupari-, nikkeli- ja sinkkipitoisuuksia sekä sähkönjohtavuutta ja lämpötilaa. Tulokset olivat reaaliaikaisesti seurattavissa internetin kautta.



Kuva 15. Näkymä Sensmet Oy:n mittaustuloksista internetpalvelun kautta.

Mittausjakson aikana otettiin perinteisiä näytteitä verkoston päästölähteistä sekä tehtiin mittauksia fotometrillä. Tulosanalyysiä ja johtopäätöksiä mittausjaksosta tehdään yhä, ja tulokset ovat luettavissa myöhemmin hankkeen verkkosivuilla www.xamk.fi/vemo.

MONITOROINNILLA TIETOA JÄTEVEDEN LAADUN VAIHTELUSTA

Monitoroinnin avulla saatiin tietoa pumppaamojen jäteveden laadun vaihtelusta jäteveden pH:n, lämpötilan ja sähkönjohtavuuden osalta. Jatkuvatoimisella seurannalla saadaan tietoa hetkellisestikin vaihtelut, jotka eivät välttämättä tulisi esiin perinteisellä näytteenotolla tai yksittäisillä kenttämittauksilla. Mittaustulokset ovat nähtävissä reaaliaikaisesti, jolloin muutokset havaitaan ja niiden syitä voidaan selvittää ja tarvittaessa korjata ne välittömästi. Tulokset voidaan tallentaa ja niitä voidaan käsitellä tarvittaessa myös jälkikäteen. Tuloksia voidaan myös verrata toisiinsa eri pumppaamojen tai ajanjaksojen kesken.

Tässä tutkimuksessa tehtyjen monitorointitestauksien perusteella jäteveden jatkuvatoimisen laadunseurannan avulla saadaan tietoa jäteveden ominaisuuksista ja vaihteluista. Nyt käytetty jäteveden laadun monitorointilaitteisto oli sijoitettava pumppaamoihin, joissa vesikerros oli antureille riittävä ja verkkovirta käytettävissä. Erilaiset saatavilla olevat ratkaisut mahdollistavat monitoroinnin tarvittaessa myös sähköttömissä ja haastavimmissa olosuhteissa.

Tehtyjen monitorointien aikana laitteistot toimivat melko luotettavasti. Jäteveden likavuudesta johtuen oli puhdistus- ja huoltokäyntejä tehtävä pumppaamoissa suhteellisen usein. Anturien puhdistustarpeeseen vaikuttavat jäteveden ominaisuudet. Varsinkin jätevesien rasva kiinnittyi laitteistoihin ja vaikutti osaltaan mittaustuloksiin. Myös jäteveeseen päätyneet vierasesineet ja sakka saattoivat jäädä kiinni laitteistoihin ja haitata mittauksia. Anturipäiden automaattiset puhdistusharjat pidentävät osaltaan laitteiston puhdistusväliä, mutta eivät auta tilanteissa, joissa vierasesine peittää koko anturin.

Raskasmetallimonitoroinnin osalta tarkastelukohteen jäteveden pieniä $\mu\text{g/l}$ -pitoisuuksia ja niiden vaihteluita saatiin mitattua. Käsittelemättömän kunnallisen jäteveden likaisuus tuottaa mittaukselle lisähaasteita lähinnä näytteenotossa, mutta saadut kokemukset ja oppi siitä, kuinka näytteenotto kannattaa toteuttaa, antavat viitteitä siitä, että näinkin vaativia mittauksia on mahdollista toteuttaa kentällä jatkuvatoimisesti. Koska tarkoitukseen sopivaa laitetta ja kohdetta selvitettiin suunniteltua pidempään, touko–kesäkuun 2022 tulosten analysointi on vielä kesken tätä artikkelia kirjoitettaessa ja tulokset julkaistaan myöhemmin.

Vaikka jatkuvatoimisella mittauksella ei ainakaan vielä voida korvata perinteistä näytteenottoa, se toimii hyvin jäteveden laadunseurannassa. Näissä mittauksissa nähtiin mittaustuloksissa yritysten toiminnan vaikutus jäteveden laatuun. Esimerkiksi tuotantotilojen puhdistukset näkyivät jäteveden pumppaamolla veden lämpötilan ja pH:n nousuina. Myös jäteveden joukkoon sulamisvesien myötä päätyvien vuotovesien vaikutus näkyi lähinnä lämpötilan laskuna.

Jatkuvatoimisella mittauksella saadaan tietoa jäteveden yleisestä tilasta, ja se auttaa myös osaltaan suunniteltaessa näytteenottoja. Muutokset laadun indikaattoreina toimivissa mittaussparametreissa tuovat esiin jätevesiverkoston eri toimintojen vaikutuksia jäteveden laatuun. Monitoroinnin avulla saadaan tietoa myös muutosten yleisyydestä ja vakavuudesta. Mittaustulosten suuri määrä auttaa hahmottamaan myös trendejä jäteveden laadun muutoksissa.

LÄHTEET

SFS 3008. Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 1990-12-03.

Tuominen, R. & Hämäläinen, L. 2021. Jatkuvatoiminen mittaus jätevesien haitta-aineiden havainnoinnissa. Julkaisussa Soininen, H., Haatanen, N. & Pulkkinen, L. 2021. Metsä, ympäristö ja energia. Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Sivut 58–66. Vuosijulkaisu 2021. ISBN 978-952-344-408-9.

OHJEISTUS JÄTEVESIEN HAITTA-AINEIDEN VÄHENTÄMISEKSI

Riina Tuominen & Lasse Hämäläinen & Mirka Viitala & Perttu Salmi

Jätevedenpuhdistamolle ohjataan jätevesiä kotitalouksista, laitoksista ja yrityksistä. Yrityksien osalta jätevesien laatu vaihtelee toiminnasta riippuen. Osa yrityksistä tuottaa asumisjätevesiin rinnastettavaa jätevettä, mutta osalla jäteveden laatu vaatii esimerkiksi teollisuusjätevesisopimuksen tekemisen vesilaitoksen kanssa.

Haitta-aineiden pitoisuutta jätevedenpuhdistamolle saapuvissa jätevesissä voidaan pienentää, kun haitta-aineiden pääsy jätevesiviemäriin pyritään ehkäisemään jo niiden syntysijoilla. Vemo-hankkeen yhtenä toimenpiteenä oli laatia ohjeistus toiminnanharjoittajille, kunnille ja kuluttajille ehkäisemään ja vähentämään haitta-aineiden viemäriverkostoon pääsyä. Ohjeistuksen laadinnassa käytettiin apuna jo olemassa olevia ohjeistuksia sekä selvitettiin ohjeistusten painotustarvetta haastatteluiden, kyselyn ja työpajan avulla.

HAASTATTELUT

Yrityshaastattelut suoritettiin syyskuun 2021 ja helmikuun 2022 välillä. Haastateltavia yrityksiä valittiin eri toimialoilta Mikkelin alueelta. Haastattelupyyntö lähetettiin sähköpostitse 20:lle eri yritykselle, joista viiden kanssa sovittiin haastattelu-aika. Näiden lisäksi pienempien yritysten edustajia tavoiteltiin soittamalla. Haastattelut suoritettiin puhelimitse. Yhteensä haastatteluja varten lähestyttiin 29 yritystä, joista 14 vastasi kysymykseen (vastausprosentti 48). Haastateltujen yritysten toimialat on esitetty taulukossa 1. Osa haastattelupyyntöön vastanneista yrityksistä ilmoitti, että toiminnasta ei aiheudu erityisiä jätevesipäästöjä.

Taulukko 1. Haastateltujen yritysten toimialat

Yritysten toimialat	Haastattelupyyntöjä alan yrityksille, kpl	Vastanneet yritykset, kpl
Elintarviketeollisuus	6	1
Metalli- ja elektroniikka-teollisuus	3	1
Lasikuitu-/hiilikuitu-teollisuus	1	1
Puuteollisuus	2	2
Betoniteollisuus	2	2
Huoltoasemat, auto-korjaamot, autopesulat, automaalaamot	2	1
Terveystenhoito	3	2
Pesulat	2	1
Energiantuotanto	1	1
Kampaamot, kosmetologit, tatuointiliikkeet	3	0
Liikuntapaikat	1	0
Lentokenttä	1	0
Jätehuolto	1	1
Laboratoriot	1	1

Haastateltavat yritykset olivat toimialasta ja toiminnan koosta riippuen erilaisia. Yritysten vedenkulutus sekä jätevesien määrä vaihtelivat muutamasta sadasta kuutiosta kymmeniintuhansiin kuutioihin vuodessa. Jäteveden määrä oli suhteessa laitoksen kokoon, ja suurimmat jätevesimäärät syntyivät jätehuolto-, elintarvike- sekä terveydenhuoltoteollisuuden yrityksissä, jotka palvelevat koko Mikkelin alueen asukkaita. Vähiten jätevettä syntyi pienillä autokorjaamoilla sekä betoni- ja puuteollisuuden toimipaikoilla.

Lähes kaikilta yritysaloilta päätyi jäteveten pesuaineita. Suurin osa pesuaineista oli kotitalouksissa käytettävien pesuaineiden kaltaisia, mutta elintarvike- sekä energiantuotantoaloilla oli käytössä myös luvanvaraisia pesuaineita. Elintarvikealalla käytössä olevia luvanvaraisia pesuaineita kierrätettiin useaan kertaan, jolloin kuormitus jätevesiin on pienempää.

Jätevesiä kuormittavien haitta-aineiden määrä ja laatu riippui yritysten toimialasta. Haastateltujen perusteella jätevesiin Mikkelin alueella päätyy esimerkiksi lääkeaineita, autokorjaamoissa käytettäviä öljyjä ja pesuaineita, raskasmetalleja sekä kivennäis- ja hivenaineita. Päästöt olivat kuitenkin pääosin pieniä.

Haastatelluilla yrityksillä ei ollut käytössä erillistä jätevesiin keskittyvää ohjeistusta, eikä sellaiselle koettu olevan tarvetta. Osalla yrityksistä oli voimassa erillinen jätevesisopimus Mikkelin vesilaitoksen kanssa. Muut teollisuusyritykset noudattivat Vesilaitosyhdistyksen Teollisuusjätevesiopasta (VVY 2016). Pienet yritykset eivät käyttäneet ohjeistuksia eivätkä kokeneet tarvetta sellaiselle.

Yritysten jätevesiasiat ovat haastattelujen perusteella pääosin kunnossa. Teollisuuden alasta riippumatta yrityksillä on tarvittavat luvat ja esikäsittelyjärjestelmät, joilla vähennetään jätevedenpuhdistamoille kohdistuvaa kuormitusta. Jätevesien laatua myös seurattiin säännöllisesti lähes kaikissa haastatteluun osallistuneissa yrityksissä.

Haastatteluun vastanneiden yritysten määrä jäi valitettavan pieneksi, eikä kaikilta toimialoilta saatu vastauksia. Osalla yritysten edustajista oli myös puutteellisia tietoja käytössä olevista esipuhdistusjärjestelmistä, eikä tarkentaviin kysymyksiin saatu vastauksia. Osa yrityksistä lupasi toimittaa tarkempia tietoja jätevesien seurannasta ja laadusta myöhemmin.

KYSELY

Kysely toteutettiin Webropolin avulla helmi–maaliskuussa 2022. Kyselystä tiedotettiin pääasiassa sosiaalisen median kanavissa. Kyselyn vastaajamäärä jäi vähäiseksi, ja kyselyyn saatiin vain 33 vastausta. Kysely oli kuitenkin avattu lähes 400 kertaa. Vastaajista yksi edusti yrityssektoria, muut vastaajat olivat yksityishenkilöitä. Yritysvastaus on analysoitu haastattelujen yhteydessä.

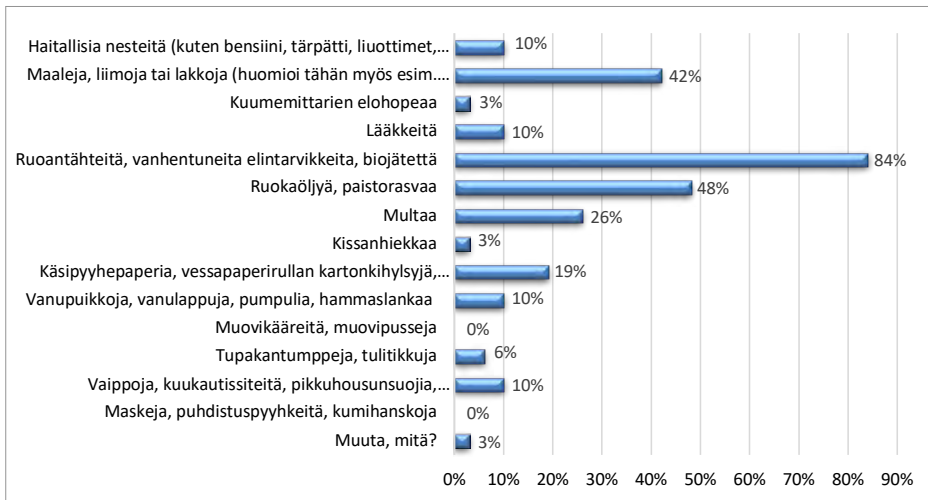
Kuluttajakyselyn perusteella muovituotteet hävittää oikein yli 70 prosenttia vastaajista. Muovituotteiden ostoa välttää usein tai melkein aina 31 prosenttia vastaajista. Muovia sisältävien tekstiilien ostoa välttää lähes puolet vastaajista (47 %) ja pesu- ja puhdistusaineita sekä kosmetiikkaa 31 prosenttia. Vaatteiden pesukertoja vastaajista on tietoisesti vähentänyt 38 prosenttia.

Lääkevalmisteista itsehoitolääkkeitä käyttää 87 prosenttia ja reseptilääkkeitä 77 prosenttia kyselyn vastaajista. Eläinten lääkkeitä on käytössä 29 prosentilla vastaajista ja hormonaalisia valmisteita 23 prosentilla. Vastaajista suurin osa toimittaa tarpeettomat lääkkeet apteekkiin. Vastaajista 78 prosenttia toimittaa nestemäiset ja 81 prosenttia kiinteät lääkkeet apteekkiin. Sekajätteen mukana lääkkeitä hävittää 16 prosenttia vastaajista (sekä nestemäisiä että kiinteitä) ja viemäriin nestemäisiä lääkkeitä kaataa yhdeksän prosenttia vastaajista.

Ostopäätöstä tehtäessä tuotteiden ympäristövaikutuksia miettii usein tai melkein aina 47 prosenttia vastaajista, ja viisi prosenttia vastaajista valitseekin ympäristöystävällisen tuotteen usein tai melkein aina. Pesu- ja puhdistusaineissa vastaajat mainitsivat useimmin valitsevansa ympäristöystävällisiä tuotteita. Ympäristöystävällisemmän tuotteen valintapäätökseen

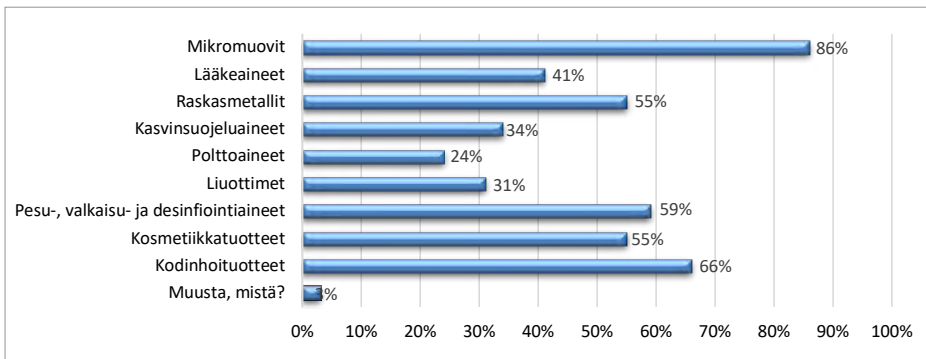
vaikuttaisi vastaajien mielestä tehokkaampi markkinointi (66 %), parempi saatavuus (53 %) ja halvempi hinta (47 %).

Vastausten perusteella eniten viemäriin päätyy ruoantähteitä, vanhentuneita elintarvikkeita ja biojätettä, ja vastaajista 84 prosenttia on huuhtonut viemäriin ainakin jotain niistä. Ruokaöljy ja paistorasva oli erotettu vastausvaihtoehdoissa omaksi kohdakseen, ja vastaajista 48 prosenttia huuhtoi niitä viemäriin. Maaleja, liimoja ja lakkoja on huuhtonut viemäriin 42 prosenttia vastaajista. Viemäriin ei kyselyn perusteella päädy muovikääreitä ja -pusseja tai maskeja, puhdistuspyyhkeitä ja kumihanskoja. Vastaukset on esitetty tarkemmin kuvassa 1.



Kuva 1. Vastaajien maininnat siitä, mitä he ovat huuhtoneet viemäriin.

Vastaajista 85 prosenttia toivoo lisätietoja haitallisten aineiden viemäriin pääsyn ehkäisystä. Ohjeistuksen suurin osa vastaajista (66 %) toivoisi olevan sähköisessä muodossa. Mikro-muoviin liittyvää tietoa kaipaa suurin osa vastaajista (86 %). Myös kodinhoitotuotteisiin (66 %), pesu-, valkaisu- ja desinfiointiaineisiin (59 %), raskasmetalleihin (55 %) ja kosmetiikkaan (55 %) liittyvälle tiedolle on tarvetta. Vastausten jakautuminen on nähtävissä tarkemmin kuvassa 2.



Kuva 2. Vastaajien maininnat siitä, mistä he tarvitsisivat tai haluaisivat erityisesti tietoa.

TYÖPAJA

Erityisesti yritysten ja viranomaistahojen mielipiteitä ohjeistuksen sisällöstä selviteltiin Vemo-hankkeen työpajassa 24.3.2022. Työpaja järjestettiin Teams-sovelluksen avulla, ja tilaisuudessa oli 55 osallistujaa. Alustuksina kuultiin vesiasiantuntija Niina Vienolta Laki ja Vesi Oy:stä haitallisten aineiden esiintymisestä jätevedenpuhdistamoilla. Mikkelin ympäristöpalvelujen ympäristösuunnittelija Heikki Tanskanen kertoi Mikkelin taajama-alueen jätevesien laadusta, ja ajatuksia ja taustatietoja ohjeistuksen sisältöön liittyen kuultiin hankkeen henkilöstöltä. Työpajan materiaali on tutustuttavissa hankkeen verkkosivuilla www.xamk.fi/vemo.

Työpajassa osallistujat vastasivat kysymyksiin ohjeistuksen sisältöön liittyen. Vastaajien mielestä ohjeistuksella pitäisi ehkäistä erityisesti lääkeaineiden pääsyä jätevesiin (25 prosenttia vastaajista), ja lääkeaineista diklofenaakki oli mainittu erikseen. 25 prosentin mielestä myös metallien pääsyä jätevesiin pitäisi pyrkiä ehkäisemään. Myös POP-yhdisteiden eli pysyvien orgaanisten yhdisteiden pääsyä jätevesiin pyrkiä ehkäisemään 25 prosenttia vastaajista. Yksittäisiä mainintoja saivat myös pesuaineet ja torjunta-aineet. Metalleista lyijy, hopea, kadmium ja sinkki oli mainittu erikseen. 12 prosenttia vastaajista pyrki ehkäisemään mikromuovien pääsyä jätevesiin.

Osallistujat antoivat myös näkemyksensä toimialoista, joille ohjeistus olisi tarpeellinen. 33 prosenttia vastaajista mainitsi ohjeistusta tarvittavan niille toimialoille, joiden toiminta ei vaadi ympäristölupaa. Erikseen oli mainittu myös toimialat, joilla ei ole vielä ohjeistusta mutta joilla ongelma on tunnistettu. 13 prosenttia vastaajista mainitsi ohjeistusta tarvittavan autopesuloihin ja jätteenkäsittelyyn. Yksittäisen maininnan sai myös elintarviketeollisuus.

OHJEISTUKSET KULUTTAJILLE JA ERI TOIMIALOILLE

Ohjeistus päätettiin laatia erillisenä kuluttajille ja eri toimialoille. Kuluttajien ohjeistuksessa kerrotaan muun muassa, mitä viemäriin saa ja ei saa laittaa. Ohjeistukseen on koottu tiivistetysti toimenpiteitä, joilla voidaan vähentää jäteveden mikromuovi- ja lääkeainekuormaa. Myös metallien ja muiden haitallisten aineiden osalta sekä rasvan viemäriin pääsyn estämiseksi tehtiin omat ohjeistuksensa. Lisäksi ohjeistuksiin koottiin jo valmiina olleita materiaaleja linkitysten avulla.

Toimialakohtaisesti ohjeistuksia on koottu esimerkiksi Vesilaitosyhdistyksen Teollisuusjätevesioppaaseen (VVY 2016). Myös Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY on laatinut ohjeita vaarallisten jätteiden oikeaan käsittelyyn autoalalle, laboratorioihin, painotaloille, pesuloihin, taidepajoihin ja terveydenhuoltoon (<https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/poikkeavat-jatevedet/>). Lisäksi sivustolta löytyy esimerkiksi ravintoloille ohjeistus rasvojen käsittelyyn. (HSY s.a.)

Hankkeessa laadituissa ohjeistuksissa keskityttiin hankkeessa tarkemmin tarkasteltuihin toimialoihin eli elintarvike-, betoni- ja puunjalostusteollisuuteen, jäteasemiin, autopesuloihin ja sairaaloihin sekä työpajassa esiin tulleisiin toiveisiin yrityksistä, joiden toiminta ei vaadi ympäristölupaa. Näille yrityksille laadittiin yleisohjeistus jäteveeten liittyvistä hyvistä käytännöistä. Ohjeistukset ovat luettavissa hankkeen verkkosivuilla www.xamk.fi/vemo.

LÄHTEET

HSY s.a. Poikkeavat jätevedet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/poikkeavat-jatevedet/> [viitattu 23.5.2022].

VVY 2016. Teollisuusjätevesiopas. Asumajätevesistä poikkeavien jätevesien johtaminen viemäriin. Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 50. Helsinki 2016. ISBN 978-952-5000-80-1.

JÄTEVESIEN HAITTA-AINEIDEN VÄHENTÄMINEN EDISTÄÄ VESIEN HYVÄÄ TILAA

Riina Tuominen & Perttu Salmi & Mirka Viitala

Vemo – Kaupunkien jätevesien haitallisten aineiden vähentäminen monitorointia tehostamalla -hankkeen tavoitteena oli vähentää haitallisten aineiden pääsyä jätevesiin ja siten ylläpitää ja edistää myös vesien hyvän tilan saavuttamista. Hanke tuotti tietoa jäteveden haitallisten aineiden päästölähteistä, haitta-aineiden kulkeutumisesta, kohdekohtaisten poistojen käyttöönoton mahdollisuuksista sekä jäteveden mahdollisista uusista monitorointimenetelmistä.

Vemo-hankkeeseen osallistuivat lukuisat yritykset sekä näyttöottojen että haastattelujen ja keskustelujen kautta. Asiantuntijuutta toimenpiteiden toteutukseen antoivat myös Ramboll Finland Oy, Mikkelin seudun ympäristöpalvelut ja Operon Group Oy. Hankkeen tulokset tuotettiin yhteistyössä hankkeen toteuttajien ja hankkeeseen osallistuneiden tahojen kanssa, ja tieto on vapaasti kaikkien toimijoiden hyödynnettävissä. Hankkeessa tuotetun tiedon ja saatujen tulosten kautta pyritään tukemaan ja edistämään jätevesien laadun kokonaisvaltaista tarkastelua sekä entistä parempaa haitta-aineiden hallintaa.

Erilaisista lähteistä olevien jätevesien käsittelyyn liittyvät prosessi- ja teknologiaratkaisut sekä valmiudet tunnistaa vedessä olevia haitta-aineita ovat kehittyneet viime vuosina ratkaisevasti. Tämä on lisännyt jätevesilaitosten tulevaisuuden kehittymistarpeita, sillä tehokkuutta ja lopputuotteen laatua tulee tehostaa samalla, kun veden puhdistuksen kustannukset oletettavasti kasvavat. Jäteveden puhdistusprosessia tuleekin tarkastella ympäristönsä kanssa vuorovaikutuksessa olevana kokonaisuutena. Kehittyvät tekniikat mahdollistavat jäteveden laadun seurannan lähes jätevesiverkoston jokaisessa pisteessä, auttavat vähentämään päästölähteissä syntyvää haitta-ainekuormitusta ja havaitsemaan myös tahattomia haitta-ainepäästöjä.

Vemo-hankkeessa yhdistettiin jäteveden näyttöottoa, online-monitorointia, tutkimusta ja uusien menetelmien luontia, jotka yhdessä vahvistavat viemäriöityjen yhdyskuntavesien tehokasta hallintaa ja käsittelyä. Saadut tulokset auttavat osaltaan jäteveden laadun seurannassa ja ympäristöturvallisuuden varmistamisessa.

Hankkeessa laadittujen ohjeistusten avulla pyritään vähentämään haitta-aineiden pääsyä jätevesiin niin kuluttajien kuin eri toimialojenkin keskuudessa. Hankkeen tuotetun tiedon avulla vesilaitokset, viranomaiset, yritykset ja kansalaiset ovat tietoisia jäteveden laadun seurantaan ja vähentämiseen käytettävissä olevista menetelmistä ja niiden mahdollisuuksista.

Vemo-hanketta rahoitti ympäristöministeriö Vesiensuojelun tehostamisohjelmasta (www.ymp.fi/vedenvuoro). Vesiensuojelun tehostamisohjelma 2019–2023 on merkittävä panostus vesien suojeluun, ja sen tavoitteena on Itämeren ja sisävesien hyvä tila. Hyvän tilan saavuttaminen ja ylläpitäminen edellyttävät eri toimijoiden panostuksia ja saumatonta yhteistyötä. Tule sinäkin mukaan – nyt on veden vuoro!

