



Jätevesien ravinteiden ja hiilen kokonaisvaltainen talteenotto

Loppuraportti 2021–2022

19.12.2022

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä

PL 100

00066 HSY

puhelin 09 1561 2110

faksi 09 1561 2011

www.hsy.fi**Lisätietoja**

Maria Valtari

maria.valtari@hsy.fi**Copyright**

Kartat, graafit, ja muut kuvat: HSY

Kansikuva: HSY

Sisällys

1	Hankkeen nimi ja toteuttajat	4
2	Lyhyt hankekuvaus	4
3	Hankkeen tulokset ja vaikutukset	5
3.1	Osatehtävä 1	5
3.1.1	Kemiallisen lietteentuotannon testaus täydessä laitosmittakaavassa	5
3.1.2	Lainsäädännöllinen selvitys kemiallisen lietteen hyödyntämisestä	6
3.2	Osatehtävä 2	6
3.2.1	Liutuskokeet	7
3.2.2	Uuttokokeet ja 1000 avl:n pilotin koeajo	9
3.2.3	Selvitys RAVITA-prosessin lisäämisestä Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolle	11
3.3	Osatehtävä 3	11
3.3.1	Pyrolysointi ja lietehiilen laatu	11
3.3.2	Lietebiohiili biokaasuprosessissa	13
3.3.3	Lannoitevaikutus – lietehiili ja mädäte	13
4	Viestinnän toteutuminen	15
5	Arvio hankkeen ympäristö- ja työllisyysvaikutuksista	16
6	Talousraportti	17
7	Yhteenveto	17
8	Kirjallisuus	18

Liite 1. Lainsäädäntöselvitys: kemiallisen lietteen hyödyntäminen teollisuudessa.

Liite 2. HSY Lietehiilihanke. Pilottivaiheen loppuraportti.

Liite 3. Lietebiohiili biokaasuprosessissa

Liite 4. Kasvualustakokeet – Lietebiohiilen ja mädätteiden lannoitevaikutukset astiakokeissa

Liite 5. Fosforin liukoisuustestaukset - Lietebiohiilen ja mädätteiden fosforin liukoistuminen uuttokokeissa

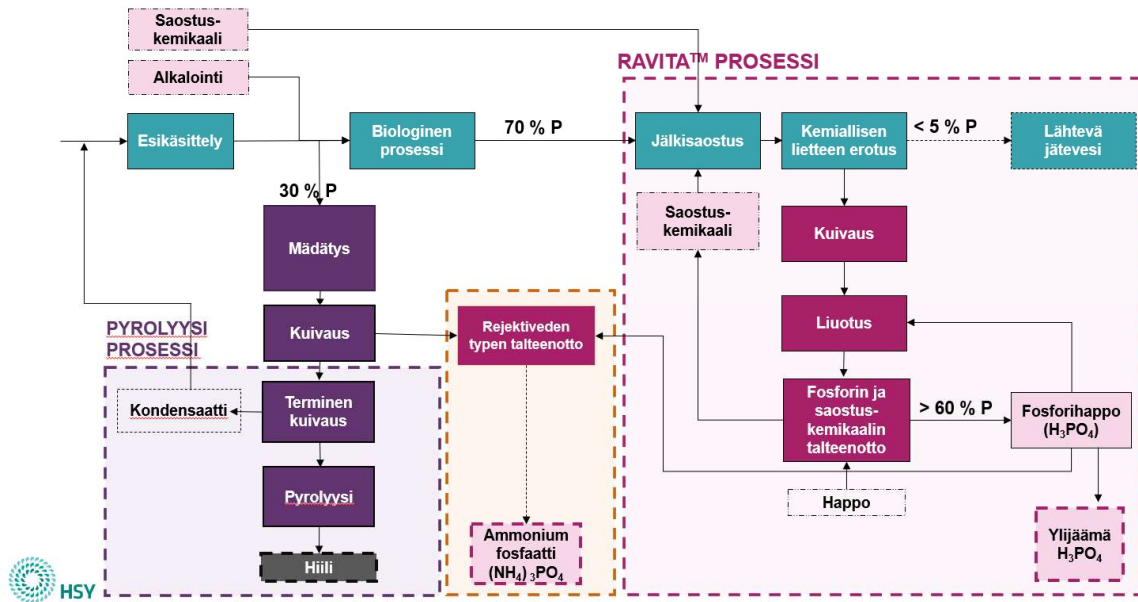
Liite 6. Peltokokeet – Lietebiohiilen vaikutus mädätteen lannoitevaikutukseen

1 Hankkeen nimi ja toteuttajat

Nimi/Lyhenne	Jätevesien ravinteiden ja hiilen kokonaisvaltainen talteenotto / RAHI
Hakija:	Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY
Y-tunnus	2274241–9
Yhteyshenkilö/vastuullinen vetäjä:	Maria Valtari / Linda Röman / Mari Heinonen
Yhteystiedot	Maria Valtari maria.valtari@hsy.fi +358 40 738 9703
Rahoittajat:	Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY Hämeen ammattikorkeakoulu HAMK Ympäristöministeriö
Hankekumppanit	Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy Porvoon Vesi
Hankkeen kesto	1.1.2021-31.12.2022

2 Lyhyt hankekuvaus

RAHI-hankekokonaisuus muodostui kolmesta toisiaan täydentävästä osatehtävästä, joissa kehitettiin ravinteiden talteenoton teknologiaa (kuva 1) kohti käytännön sovellutuksia suomalaisilla puhdistamoilla. Hankekokonaisuuden ensimmäinen osatehtävä keskittyi RAVITA:n välituotteen eli kemiallisen lietteentuotannon testaukseen täydessä laitosmittakaavassa, toinen osatehtävä liuotus- ja uuttoprosessin skaalaukseen täyden mittakaavan koelaitosta varten ja kolmas pyrolyysin teollisen koemittakaavan laitoksen koetoimintakäyttöön ja siellä valmistetun puhdistamolla syntyvästä biolietteestä tehdyn lietehiilen hyödyntämiseen. Kaikki osatehtävät on toteutettu tiiviissä yhteistyössä hankekumppaneiden kanssa.



Kuva 1. Kokonaisvaltainen ravinteiden ja hiilen talteenotto jätevedenpuhdistamolla RAVITA- ja pyrolyysitekniiikan avulla

3 Hankkeen tulokset ja vaikutukset

3.1 Osatehtävä 1

3.1.1 Kemiallisen lietteentuotannon testaus täydessä laitosmittakaavassa

Osatehtävässä tarkasteltiin kemiallisen lietteen tuotantoa täyden mittakaavan laitoksella. Osatehtävän tavoitteena oli viedä kemiallisen lietteen tuotanto teolliseen mittakaavaan sekä arvioida RAVITA:n välituotteena olevan kemiallisen lietteen kaupallisia reunaehtoja. Osakokonaisuuden teknisenä yhteistyökumppanina toimi Jyväskylän seudun puhdistamo Oy, jonka Jyväskylässä sijaitsevalla Nenäinniemen jätevedenpuhdistamolla osatehtävän koeajot toteutettiin. Nenäinniemen jätevedenpuhdistamon olemassa oleva laitekanta (mm. jälkikäsittelevä vaiheen kiekkosuodattimet) mahdollisti kemiallisen lietteen tuotannon toteuttamisen täydessä mittakaavassa kustannustehokkaasti.

Hankesuunnitelman mukaisesti vuoden 2021 aikana toteutettiin kemiallisen lietteen talteenoton esisuunnitelma AFRY Finland Oy:n kanssa. Esisuunnitteluaineiston pohjalta laadittiin vuonna 2022 toteutussuunnitelma Jyväskylän seudun puhdistamo Oy:n Nenäinniemen puhdistamolle. Toteutussuunnitelman laati AFRY Finland Oy. Rakennusurakan toteutti Savo-Karjalan Vesihuolto

Oy. RAVITA-lietteen tuotantoa varten tarvittava dekantterilinkokokonaisuus vuokrattiin Alfa Laval Nordic Oy:ltä.

Kemiallisen lietteen tuotannon koeajot toteutettiin syyskuussa 2022 Nenäinniemen jätevedenpuhdistamolla. Koeajotulokset raportoitiin diplomityönä (Närvänen, 2022). Koeajojen ensisijaisena tavoitteena oli selvittää, onko jälkisaostuksessa syntyvän kiintoaineen mekaaninen erottaminen mahdollista täydessä mittakaavassa. Lietteiden erotukseen käytettiin kiekkosuodattimia. Niiden pintaan tarttunut kemiallinen lieteflokki pestiin ja muodostunut pesuvesi tiivistettiin dekantterilinkolla.

Koeajoissa tiivistetyn lietteen kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat välillä 6–12 %, mitä voidaan pitää soveltuvana tasona RAVITA-prosessissa käytettäväksi. Em. kuiva-ainetasoja korkeampia pitoisuuksia ei tavoiteltu koejärjestelyistä aiheutuneiden käytännön rajoitteiden vuoksi. Kokeissa lingoille syötettävän pesiveden kuiva-ainepitoisuus oli noin 0,2 % TS ja rejektiveden kuiva-ainepitoisuus alle 0,1 % TS. Koeajoissa tarkasteltiin myös erilaisten ajoparametrien vaikutuksia kiviainepitoisuuteen sekä tuotetun lietteen laadullisia ominaisuuksia esimerkiksi haitallisten aineiden osalta. Tulokset on raportoitu yksityiskohtaisesti lähteessä Närvänen (2022). Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että RAVITA-lietteen tuotanto yhdyskuntajätevedenpuhdistamolla on mahdollista kustannustehokkaasti.

3.1.2 Lainsäädännöllinen selvitys kemiallisen lietteen hyödyntämisestä

Lainsäädännöllinen selvitys RAVITA™-prosessissa syntyvän kemiallisen lietteen hyödyntämisestä toteutettiin vuonna 2021. Selvityksen laati kilpailutuksen voittanut Ecobio Oy. Selvityksessä tarkasteltiin kemiallisen lietteen tilannetta kolmessa eri vaihtoehdossa eli jätteenä, sivutuotteena tai End-of-Waste-tuotteena ("ei-enää-jätettä"). Mikäli kemiallinen liete ei ole jäte, vaan sitä käsitellään sivutuotteena tai End-of-Waste-tuotteena, kuuluu se REACH-asetuksen puitteisiin. Selvityksen lopputuloksena todettiin, että tässä vaiheessa kemiallinen liete kannattaa luokitella jätteenä, sillä tällöin kemiallinen liete rajautuu REACH-velvoitteen ulkopuolelle. Selvityksessä ilmeni hyvin kiertotaloustuotteisiin liittyviä lainsäädännöllisiä haasteita. Lainsäädännöllinen selvitys on esitetty liitteessä 1.

3.2 Osatehtävä 2

Hankkeen toisen osan tavoitteena oli liuotus- ja uutto-prosessin optimointi sekä täyden mittakaavan koelaitoksen suunnitteluperusteiden ja kaupallisten reunaehtojen selvittäminen. Hankkeessa hyödynnettiin Viikinmäen jätevedenpuhdistamon liuotus- ja uutto-prosessin 1000 avl:n pilot-laitteistoa. Lisäksi tässä osakokonaisuudessa laadittiin esisuunnitelmatasoinen selvitys RAVITA-prosessin edellyttämistä muutoksista tyypillisellä täyden mittakaavan yhdyskuntajätevedenpuhdistamolla. Esisuunnitelmatyön yhteistyökumppanina toimi Porvoon Vesi, jonka Porvoossa sijaitseva Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamo soveltuisi kokoluokaltaan ja toimintaympäristöltään RAVITA-prosessin täyden mittakaavan koelaitoksen toteutuspaikaksi.

3.2.1 Liuotuskokeet

Osatehtävässä 2 optimointiin liuotusta laboratorio- ja pilot-mittakaavassa hankesuunnitelman mukaisesti. Vuoden 2021 kokeissa liuotusprosessin kriittiseksi prosessivaiheeksi osoittautui jäljelle jääneen kiintoaineen tehokas erottaminen nestejakeesta sen jälkeen kun liuotusvaihe on saatu päätökseen. Erotuksen haasteellisuus ja sen oleellinen vaikutus fosforin massataseeseen havaittiin sekä laboratorio- että pilot-mittakaavan liuotustuloksissa. Pilot-laitteiston liuotuksissa saostusmetallia liukeni parhaimmillaan yli 90 %, kun fosforin liukenevuus yksittäisissä liuotuksissa vaihteli paljon.

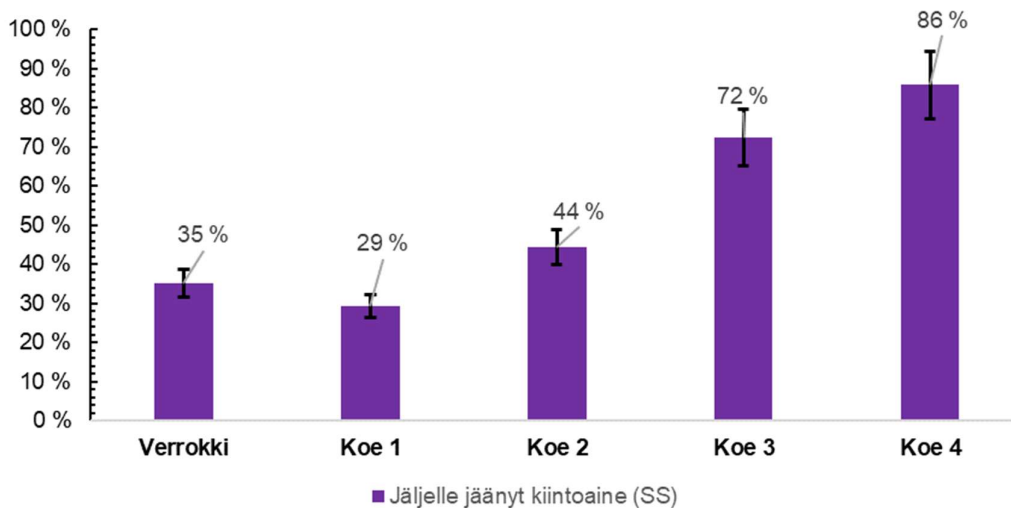
Muita liuotukseen tai sen esikäsitteilyyn liittyviä laboratoriokokeita toteutettiin vuonna 2021 liittyen tuhkatun RAVITA-lietteen käyttöön liuotuksen lähdemateriaalina sekä aktiivihillen käyttöön liuotuksen esikäsitteilyssä ennen uuttoa. Tuhkan liuotuksessa kiintoainesta jäi nesteeseen liuotuksen päätyttyä yhtä suuri määrä kuin lietteen liuotuksessa, joten polton ei voida todeta merkittävästi auttavan kiintoainepitoisuuden vähentämisessä. Kiintoaineksen tehokas erottaminen nesteestä on tärkeää uuttovaiheen kannalta, sillä korkea kiintoainepitoisuus uuton liuoksissa häiritsee massasiirtymää. Aktiivihillen käyttöä liuotuksen esikäsitteilyssä ennen uuttoa testattiin liuoksen sisältämän orgaanisen aineksen takia. Osa orgaanisesta aineksesta siirtyy liuokseen liuotuksessa, minkä seurauksena se voi häiritä uuton massasiirtymää. Kokeissa liuotuksessa syntyneitä nestejakeita käsiteltiin eri valmistajien granuloiduilla hiilillä. Kokeet toteutettiin panoksittain laboratoriossa. Lyhyesti koottuna aktiivihillikokeista voidaan todeta, että granuloidulla hiilellä pystytään pienentämään orgaanisen aineksen määrää liuoksessa, mutta haluttuun lopputulokseen pääseminen vaatii verrattain suuren määrän aktiivihillä.

Liuotusprosessin optimointia edistettiin vuonna 2022 tutkimusyhteistyökumppanina toimineen Teollisuuden Vesi Oy:n kanssa. Optimoinnin tarkoituksena oli parantaa fosforin talteenottoastetta liuotusvaiheessa ja etsiä tehokas menetelmä kiintoaineksen ja nestejakeen erotukseen liuotuksen päätyttyä. Tähän liittyen Teollisuuden Vesi Oy toteutti sarjan liuotus- ja kiintoaineen erotuskokeita omilla pilot-laitteistoillaan.

Liuotuskokeissa tutkittiin lämpötilan ja hapon määrän nostamisen vaikutusta fosforin liukenemiseen ja jäljelle jäävän kiintoaineksen määrään. Kokeiden toteutuksessa ja tulosten analysoinnissa hyödynnettiin tilastollista koesuunnittelua. Kokeet toteutettiin kuvassa 2 esitetyllä pilot-säiliöllä, joka on tilavuudeltaan 50 litraa. Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että lämpötilan tai hapon määrän nostaminen ei vähennä jäljelle jäävän kiintoaineksen määrää tilastollisesti merkittävällä tasolla (kuva 3). Täten todettiin, että kiintoaineen erotuskokeissa käytetään liuotusvaiheessa jo aiemmin optimoituja liuotusolosuhteita.



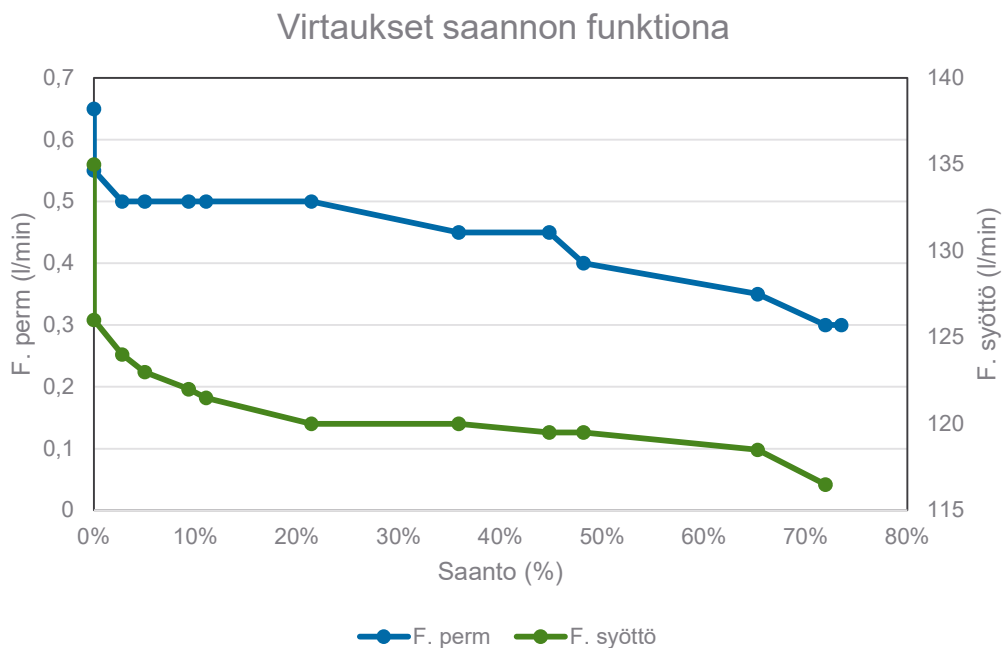
Kuva 2. Liuotuskokeissa käytetty liuotussäiliö.



Kuva 3. Nesteeseen jääneen kiintoaineen prosentuaalinen määrä kussakin liuotuskokeessa. Verrokki on koe, jossa on käytetty alkuperäisiä optimoituja liuotusolosuhteita. Tulokset on ilmoitettu kahden rinnakkaisen näytteen keskiarvoina ja virherajoina on käytetty analyysituloksen mitatusepävarmuutta.

Kiintoaineksen poistamista metallifosfaattiliuoksesta testattiin laskeuttamalla, suodatuksella, sentrifugoinnilla ja ultrasuodatuksella. Sentrifugoinnilla saatiin lupaavia tuloksia, mikä viittaisi siihen, että linkous voisi olla toimiva menetelmä kiintoaineksen poistoon. Linkokokeilu tässä mittakaavassa (50 l) ei kuitenkaan ollut mahdollista, sillä laboriomiittakaavan laitteistoja ei ole olemassa.

Myös ultrasuodatus osoittautui toimivaksi menetelmäksi kiintoaineksen poistamiseksi. Pilot-mittakaavan koeajossa permeaatin kiintoainepitoisuus saatiin laskettua alle 100 mg/l:n tasolle. Kyseinen kiintoainepitoisuus on tarpeeksi matala uuttoon. On kuitenkin huomioitava, että ultrasuodatusta käytettäessä prosessissa syntyvä konsentraatti on käsiteltävä sopivalla menetelmällä, jotta saavutetaan riittävä erotusaste nesteelle ja kiintoainekselle. Lisäksi rajoitetun nestemäärän takia ei ollut mahdollista testata ultrasuodatuksen maksimisaantoa. Tässä koeajossa 70 % nesteestä saatiin käsiteltyä ilman vastavirtahuuhtelua (kuva 4). Tämän jälkeen koe oli keskeytettävä, koska syöttövesimäärä laski liian matalaksi. Tulevaisuuden tutkimuksissa onkin oleellista, että ultrasuodatuksen jatkuvatoimivuus ja maksimisaanto määritetään, ennen kuin voidaan todeta ultrasuodatus sopivaksi menetelmäksi kiintoaineksen käsittelyyn.



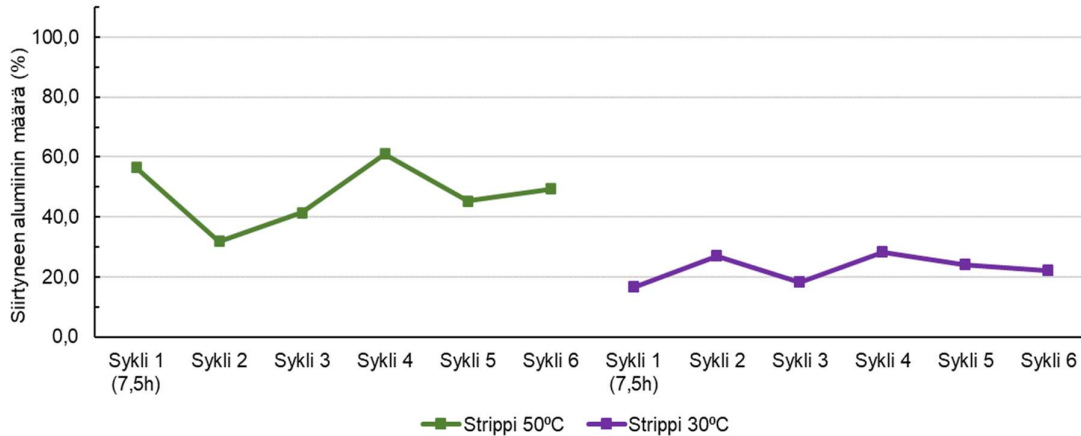
Kuva 4. Pilot-mittakaavan kiintoaineen poistokokeen virtaukset permeaatille ja syöttöliuokselle saannon funktiona.

3.2.2 Uuttokokeet ja 1000 avl:n pilotin koeajo

Uuttoprosessia optimoitiin pöytämittakaavan laitteistolla. Koeajojen tarkoituksena oli löytää sopivat ajoparametrit 1000 avl:n laitteelle, jolla toteutettiin koeajo vuoden 2022 aikana. Optimaalisilla parametreilla uuttoon on pöytämittakaavassa saatu robustisuutta, jolloin prosessissa alumiinin uutto orgaaniseen faasiin on tasaisempaa.

Ennen koeajon toteutusta pilotin teknisessä koekäytössä ilmenneitä puutteita korjattiin investoimalla pilottiin lisähankintoja, mm. lämmittimet tiettyihin uuttoyksikön tankeihin. Lämmitys uuton tietyissä prosessivaiheissa tehostaa takaisinuuton reaktioita, jolloin prosessi toimii paremmin. Tämä osoitettiin pöytämittakaavan koeajossa, jossa takaisinuuton (toiselta nimeltä strippaus)

sekoitin-yksiköitä lämmitettiin ajon aikana. Kuvasta 5 havaitaan että korkeampi lämmitys parantaa alumiinin siirtymistä orgaanisesta faasista vesifaasiin.



Kuva 5. Takaisinuu-ton (strippaus) tehokkuus pöytämittakaavan laitteistolla, kun prosessia lämmitetään 50 °C tai 30 °C.

RAVITA DEMO-pilotin koeajon toteutukseen sisältyi myös opinnäyte. Kyseisen opinnäytteen tarkoituksena oli pilot-mittakaavan koeajon näytteenoton suunnittelu ja toteutus. Huolellisella näytteenottosuunnitelmalla varmistetaan, että kerätyt näytteet ovat edustavia ja että näytteenotto toteutetaan turvallisesti. Opinnäyte keskittyi kvalitatiivisesti arvioimaan näytteenottosuunnitelman onnistuneisuutta ja näytteenoton toteutusta.

Koeajo itsessään toteutettiin syksyllä 2022. Ajo toteutettiin kahdessa osassa ja yhteensä ajon kokonaispituus oli 11 h. Varsinaisen koeajon lisäksi työ koostui laitteiston täyttämisestä ja tyhjennyksestä. Koeajossa käytettiin synteettistä metallifosfaattiliuosta simuloimaan lieteliuotuksessa muodostuvaa metallifosfaattiliuosta. Synteettisen liuokseen päädyttiin sen takia että lieteperäisen liuoksen kiintoaineksen poistomenetelmien tutkiminen on vielä kesken.

Koeajon tavoitteina oli testata laitteiston täyttöön, tyhjennykseen ja ajon aikaiseen operointiin liittyvät suunnitelmat, sekä toistaa uutto pöytämittakaavassa löydettyjen optimaalisten parametrien mukaisesti. Koeajo toi esiin kehityskohteita liittyen laitteiston operointiin, sillä tällä hetkellä laitteisto on täysin manuaalisesti ohjattava. Tästä syystä koeajo sitoo operoijan työaikaa, kun prosessia valvovaa automaatiota ei ole ollenkaan, lukuun ottamatta lämmittimien automaattiohjausta. Mikäli prosessia halutaan tulevaisuudessa ajaa jatkuvatoimisena, vaati se pilotin automaatiopuolen kehittämistä.

Kemiallisesti uutto toteutui odotusten mukaisesti ja vastasi tuloksiltaan pöytämittakaavan laitteistolla saatuja tuloksia. Seuraavaksi uuttoprosessi toteutetaan pidemmän aikajakson koeajolla. Tähän mennessä koeajon pituus on vaihdellut 12–45 tuntiin. Seuraavassa hankkeessa pöytämittakaavan koeajo tullaan toteuttamaan huomattavasti pidemmällä ajanvälillä (100–120 h). Tällöin pystytään tarkastelemaan jatkuvatoimisen prosessin vaikutusta uuttokemikaaliin,

epäpuhtauksien vaikutusta uuttoprosessiin ja saadaan lisää suunnitteluperusteita täyden mittakaavan laitokseen.

3.2.3 Selvitys RAVITA-prosessin lisäämisestä Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolle

Edellä kuvattujen toimien lisäksi osatehtävässä 2 toteutettiin esisuunnittelutasoinen selvitys RAVITA-prosessin vaikutuksista puhdistusprosessin toimintaan (30 000 avl:n kokoluokassa). Selvityksessä tarkasteltiin sitä, miten RAVITA-prosessin edellyttämä tertiäripainotteinen fosforinpoisto vaikuttaisi olemassa olevan tyyppillisen modernin yhdyskuntajätevedenpuhdistamon puhdistusprosessiin ja millaisia muutoksia RAVITA-prosessin toteuttaminen puhdistamon olemassa olevassa prosessissa vaatisi.

Selvityksen esimerkkipuhdistamona toimi Porvoon Veden Hermanninsaaren puhdistamo, jossa on kemiallisen fosforinpoiston ja tyyppä poistavan aktiivilieteprosessin lisäksi jälkikäsitteilyvaiheen kiekkosuodatus. RAVITA-prosessin edellyttämä jälkisaostuspainotteinen kemiallinen fosforinpoisto voidaan toteuttaa eri tavoin, ja optimaalinen toteutustapa riippuu puhdistamosta. Porvoon Hermanninsaaren tapauksessa tarkasteltiin tilannetta, jossa esikäsitteilyvaiheen kemiallinen saostus lopetetaan kokonaan ja rinnakkaissaostusta vähennetään. Selvityksen perusteella kemiallisen saostusprosessin muutokset mm. vähentävät raakalietteen tuotantoa sekä lisäävät biologiseen käsitteilyprosessin ja kiekkosuodatuksen kuormitusta. Porvoon Hermanninsaaren tapauksessa arvioitiin, että RAVITA-prosessin edellyttämät muutokset nykyiseen käsitteilyprosessiin ovat vähäisiä. Esiselvityksen perusteella merkittävin lisäinvestointitarve koski jälkisaostuksessa käytettävän saostuskemikaalin varastointi- ja annostelujärjestelmää. Myös vaikutukset nykyisen puhdistusprosessin käyttökustannuksiin arvioitiin vähäisiksi.

Varsinaisen RAVITA-prosessin toteuttamisesta aiheutuvia investointikustannuksia tai prosessin käyttökustannuksia ei arvioitu tässä työssä. RAVITA-prosessin toteuttaminen toisi Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolle lisäksi täysin uusina prosessivaiheina tertiärikäsittelyn kemiallisen lietteen talteenoton ja kuivauksen, kemiallisen lietteen liuotuksen, jatkuvatoimisen neste-nesteuton sekä nanosuodatuksen. Näillä prosesseilla olisi todellisuudessa merkittäviä vaikutuksia sekä prosessin investointi- että käyttökustannuksiin. Kemiallisen lietteen kerääminen usealta puhdistamolta ja keskitetty käsittely saattaisi olla teknistaloudellisesti parempi vaihtoehto kuin puhdistamokohtainen talteenotto-prosessi. Esiselvityksen perusteella esimerkkitapauksena toimineella Porvoon Hermanninsaaren puhdistamolla ainakin RAVITA-prosessin vaatiman kemiallisen lietteen tuottaminen olisi toteutettavissa verrattain vähäisillä muutoksilla.

3.3 Osatehtävä 3

Tässä kappaleessa tekstissä esiintyvät termit "lietehiili" ja "lietebiohiili". Lietehiili valmistetaan pyrolyysimenetelmällä lietteestä. Lietebiohiilellä viitataan hiileen, jonka raaka-aineena käytetään lietteen lisäksi puuhaketta ja lopputuotteeseen, jolla on sekä lietehiilen että biohiilen ominaisuuksia.

3.3.1 Pyrolysointi ja lietehiilen laatu

Tavoitteena oli edistää jätevesilietteiden sisältämien ravinteiden ja hiilen turvallista ja energiatehokasta hyödyntämistä ja kokeilla siihen soveltuvaa teknologiaa. Tarkoituksena oli, että liete saadaan käsiteltyä mahdollisimman vähin ympäristövaikutuksin ja lopputuote voidaan hyödyntää turvallisesti mm. lannoitteena tai viherrakennuskäytössä. Koetoimintalaitoksen tavoitteena oli varmistaa koko prosessin toiminta ja kerätä käyttökokemuksia täyden mittakaavan laitoksen suunnittelua varten sekä optimoida prosessia. Pilottivaiheeseen sisältyi myös Hämeen ammattikorkeakoulun kanssa tehty tutkimusyhteistyö, jossa testattiin lietebiohiilen käyttöä biojätteen mädätyksen lisänä sekä tutkittiin mädätteen käyttöä lannoitteina. Samalla selvitettiin päästötietoja ympäristölupia varten sekä pyrittiin määrittelemään käyttökustannuksia ja optimoimaan energiata-
setta.

Koekäytössä pääprosessi toimi varsin vakaasti ja ennustettavasti. Tavoitteena oli löytää oikeat toimintaparametrit, kuten lämpötila, viipymäaika ja syötteen sekoitussuhde. Laitoksen syötteinä käytettiin Suomenojan jätevesilietettä ja puumateriaalia (sekä puhdasta puuhaketta että kompostoinnin seulaylitettä). Suurimmat ongelmat laitoksen käytössä olivat pölyn muodostuminen eri prosessivaiheissa ja sen kertyminen putkiin, esimerkiksi lämmönsiirtoöljyjärjestelmän lämmönvaihtimen aiheuttamat huoltokatkokset pölyn kertymisen vuoksi. Pilottivaiheesta saatujen kokemusten perusteella saatiin laadittua luettelo yksityiskohdista, jotka täytyy ottaa huomioon täyden mittakaavan laitosta suunniteltaessa. Savukaasujen ja poistoilman puhdistus ovat merkittäviä tekijöitä investoitaessa täysikokoiseen lietepyrolyysilaitokseen.

Laitosta voidaan pitää tehokkaana lietteen sisältämien orgaanisten haitta-aineiden poistamisessa, ja jatkuvan prosessin pitäisi tuottaa hiiltä, jonka PAH-tasot ovat alhaiset. Haihtumattomat metallit kertyvät hiilituotteeseen, ja siten lietteet, jotka sisältävät runsaasti tällaisia metalleja, voivat aiheuttaa ongelmia tuotetun hiilen käytölle. Jos RAVITA™-prosessia käytettäisiin jäteveden käsittelyyn täydessä mittakaavassa, lietehiilen rauta- ja fosforipitoisuudet laskisivat merkittävästi, sillä kemiallista saostusta tehdään tällöin myös jätevedenpuhdistuksen tertiäriveriivaiheessa, josta syntyvä liete kerätään erikseen jatkokäsiteltäväksi RAVITA-prosessiin. Mikromuovien osalta analysointi osoittautui haastavaksi, mutta tulokset olivat yleensä alle määräysrajan < 0,03 mg/kg. Analyysitulosten perusteella lietehiili alitti kansallisessa lannoitevalmisteasetuksessa (MMM 24/11) määritetyt haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet. Orgaanisten haitta-aineiden pitoisuudet alittivat pääosin myös EU-lannoiteasetuksen (EU 2019/1009) raja-arvot, mutta PAH-pitoisuudet ylittivät ajoittain. PAH-yhdisteiden muodostumiseen ja sitoutumiseen lietehiileen voidaan kuitenkin vaikuttaa teknisillä ratkaisuilla. Koetoiminnassa on tunnistettu keinoja minimoida haitallisten aineiden määrää lopputuotteessa.

Lietteen käsittelykustannukset ovat suuremmat kuin aumakompostointijärjestelmässä, mutta muihin korkean teknologian vaihtoehtoihin kuten polttoon verrattuna kustannukset ovat kilpailukykyiset. Lisäksi hiilidioksidin talteenoton mahdollisuus sekä pienemmät jäte- ja päästömäärät tekevät pyrolyysistä erittäin houkuttelevan vaihtoehdon. Verrattaessa pyrolyysin ja aumakompostoinnin päästöjä voidaan todeta, että pyrolyysi vähentäisi CH₄- ja N₂O-päästöjä, joita seuraa aumakompostoinnista. Myös hiilipäästöjen kompensointi voisi olla mahdollista. Hiilidioksidin poistokauppaan tarkoitetun PURO.EARTH-markkinapaikan tarjoajan kanssa käytyjen keskustelujen mukaan lietebiohiilestä saisi todennäköisesti CO₂-päästöhyvityksiä (CORC).

Liite 2. HSY Lietehiilihanke. Pilottivaiheen loppuraportti.

3.3.2 Lietebiohiili biokaasuprosessissa

Rautasaostetun vesisammutteisen lietebiohiilen vaikutusta biojätteen mädätysprosessiin tutkittiin HAMK Bio-tutkimusyksikössä 5 litran jatkuvatoimisilla koereaktoreilla, mesofiilisessä lämpötilassa. Hankkeen aikana tehtiin kaksi bioreaktorikoetta, joista ensimmäinen oli kestoaltaan 10 kuukautta ja toinen 6,5 kuukautta. Tutkimuskysymyksenä oli lietebiohiilen määrän vaikutus prosessin vakautteen sekä tuotetun biokaasun laatuun ja mädätetyn ominaisuuksiin. Biokaasureaktoreiden syötteenä käytettiin HSY:n biojätettä, jolla reaktoreiden kuormitusta nostettiin vähitellen. Ensimmäisessä kokeessa biojättesyötteen lisäaineena käytettiin lietebiohiiltä siten, että hiililisäyksen orgaanisen aineen (VS) määrä oli joko 1,5 % (VS-paino-%) tai 5 % (VS-paino-%) biojätteen orgaanisen aineen määrästä. Toisessa kokeessa biojättesyötteen lisäaineena käytettiin vastaavasti pajuhiiltä 4,5 % (VS-paino-%) tai lietebiohiiltä 4,5 % (VS-paino-%). Molemmissa kokeissa oli myös verrokki-reaktori, jota kuormitettiin pelkällä biojätteellä. Kaasun koostumus analysoitiin ensimmäisessä bioreaktorikokeessa 2–4 viikon välein ja toisessa bioreaktorikokeessa kahden viikon välein. Prosessin tilaa seurattiin analysoimalla kunkin reaktorin mädätteitä viikoittain. Analyysituloksien perusteella lietebiohiilen 4,5 % tai 5 % (VS-paino-%) lisääminen biojätteen mädätysprosessiin vakauttaa prosessia, hillitsee rikkivetyjen määrää biokaasussa, sitoo ammoniumtyyppiä mädätetyn lietehiileen sekä lisää mahdollisuuksia varastoida hiiltä mädätteen mukana maahan pitkäaikaisesti.

Liite 3. Lietebiohiili biokaasuprosessissa

3.3.3 Lannoitevaikutus – lietehiili ja mädäte

Edellä mainituissa biokaasureaktorikokeissa syntyneiden mädätteiden (v. 2021), aiemmissa (v. 2020) lietehiilellä toteutetuissa biokaasureaktorikokeissa syntyneiden mädätteiden sekä HSY:n biojättepohjaisen mädätteen lannoitevaikutuksia tutkittiin kasvatuskokein HAMK Bion Lepaan yksikössä. Näissä kasvatuskokeissa verrattiin mm. HSY:n nykytuotteen (kompostoitu lietemädäte) sekä HSY:n tuottaman lietebiohiilen ja raudattomasta liettestä HAMKissa tuotetun lietebiohiilen lannoitevaikutusta toisiinsa. Kasvatuskokeet käynnistyivät kasvihuoneessa syyskuussa 2021. Viljellyt kasvit olivat kiinankaali ja raiheinä. Tutkimuskysymyksenä oli, kuinka mädätteet tai lietebiohiili vaikuttaa ravinteiden käytettävyyteen kasveille, onko fosfori käyttökelpoisessa muodossa ja sitooko lietebiohiili itseensä lannoitteen ravinteita antaen heikomman kasvutuloksen kuin kontrolli. Lisäksi toisessa kasvatuskokeessa arvioitiin myös lietebiohiilessä olevan (sitoutuneen ammoniummuotoisen) typen käytettävyyttä kasveille. Tehdyissä kasvatuskokeissa eri käsittelyillä havaittiin lannoitusvaikutus. Vaikutus jäi kuitenkin lannoitekontrollia vähäisemmäksi. Kasvilaji vaikutti lietebiohiilten ja mädätteiden lannoitusvaikutukseen ja sitä kautta biomassan tuottoon. Esimerkiksi raiheinä pystyi hyödyntämään paremmin lietebiohiilen sisältämää ammoniummuotoista tyyppiä kiinankaaliin verrattuna, joka tarvitsee suuremman määrän nitraattimuotoista tyyppiä heti kasvun alussa. Kasvatuskokeessa 2 lietebiohiilellä (HSY:n vesisammutettu lietebiohiili) saadun biomassan kuiva-ainemäärät olivat lannoitekontrollia suuremmat molemmilla koekasvilla, ja raiheinäkokeissa kaikilla lietebiohiilikäsittelyillä havaittiin lannoitevaikutus verrattuna 0-kontrolliin.

Kasvilaji vaikutti myös siihen, miten tehokkaasti lietebiohiiliin sitoutunut fosfori oli kasvien hyödynnettävissä. Molemmista kasvatuskokeista raiheinän fosforinotto oli tehokkainta HAMKin ammosammutetulla raudattomalla lietebiohiilellä. Kiinankaali pystyi käyttämään tehokkaimmin HSY:n vesisammutettuun lietebiohiileen sitoutuneen fosforin, mutta tuloksessa on huomioitava, että osa kasveihin sitoutuneesta fosforista on tullut hallitusti liukenevasta lannoitteesta lietebiohiilen sijaan. HSY:n ammosammutettu lietebiohiili sisälsi paljon fosforia, mutta kasvit eivät sitä pystyneet hyödyntämään tehokkaasti. Todennäköistä on, että fosfori on sitoutuneena lietebiohiileen niin tiukasti, etteivät kasvit saa sitä käyttöönsä. Selkeää näyttöä siitä, että HAMKin ammosammutetun raudattoman lietebiohiilen fosfori olisi paremmin hyödynnettävissä verrattuna muihin kokeissa olleisiin lietebiohiiliin, ei tulosten perusteella saatu, koska fosforin määrä vaihteli eri käsittelyiden välillä kokeen alussa. Kasvatuskokeen perusteella lietebiohiilten ja mädätteiden ravinteita on mahdollista saada hyödynnettyä kasvien käyttöön, ja lietebiohiilien sammutuksessa käytettyä ammoniumsulfaattia peräisin olevaa ammonium-muotoista tyyppiä on mahdollista saada kasvualustoissa liukoiseen nitraattimuotoon. Eri lietebiohiilien käsittelyiden välillä oli kuitenkin selviä eroja siinä, kuinka paljon ravinteita, erityisesti tyyppiä, kasvit saivat hyödynnettyä.

Fosforin liukoisuustestaukset tehtiin HAMKin laboratorioissa vuoden 2022 aikana lietehiilille sekä niitä vastaaville raaka-aineille (eli pyrolysoinnin syötteen). Liukoisuustestauksissa fosforia uutettiin veteen, muurahaishappoon ja neutraaliin ammoniumsitraattiin (NAC). Fosforin liukoisuus neutraaliin ammoniumsitraattiin (NAC-uutto) indikoi keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä kasvien fosforin saatavuutta ja vesiliukoisuus taas kuvaa heti saatavilla olevaa fosforia. Tulokset olivat vaihtelevia sen suhteen, miten pyrolysointi vaikutti fosforin liukoistumiseen. Joissain tapauksissa pyrolysointi heikensi fosforin liukoistumista, kuten Huittisten raudattomassa lietteessä, jolloin fosforia liukoistui kaikissa uutoissa vähemmän lietehiilen kuin lietehiilen raaka-aineeseen. HSY:n hiilluotteiden NAC-uutossa liukoistui fosforia jopa hivenen paremmin kuin raaka-aineesta eli mädätetystä lietteestä. Hakkeen lisäyksellä oli vaikutusta liukoisuuteen HSY:n näytteissä, jolloin NAC-uutossa fosforia liukoistui enemmän haketta sisältävästä hiilestä (91 %) kuin ilman haketta (70 %). Huittisten raudattomasta lietebiohiilestä fosforia liukoistui enemmän kuin HSY:n lietebiohiilestä vesi- ja muurahaishappouutoissa, mutta vähemmän NAC-uutossa. Biojättemädätteen fosforista n. 27 % liukoistui veteen, kun liukoisuus raudattomalla lietteellä oli n. 14 % ja rautapitoisilla lietteillä (HSY ja HS-Vesi) vain n. 1–2 %.

Peltoviljelykokeet toteutettiin HAMKin Lepaan yksikön pellolla Hattulan kunnassa. Tarkoituksena oli selvittää mädätetyn lannoitevaikutusta suhteessa väkilannoitukseen ja miten lietebiohiili vaikuttaa mädätteen lannoitusvaikutukseen, käytettäessä joko ammosammutettua tai vesisammutettua lietebiohiiltä. Tätä selvitettiin seostamalla lietebiohiiltä HSY:n yhdyskuntabiojätteen kuivamädätysprosessista saatavaan mädätteeseen. Testialana olevan pellon fosforitila oli hyvä, joten kokeilla ei siitä syystä ollut mahdollista saada selkeää vastetta tutkittavan näytteen fosforiin. Työssä keskityttiinkin mädätteen typpilannoitusvaikutukseen. Koealalla viljeltiin ohraa. Näytteille suunniteltiin 5 käsittelyä: HSY mädäte sellaisenaan ja mädäte yhdessä ammo- tai vesisammutetun lietebiohiilen kanssa, kahdella eri seossuhteella (3 % ja 6 %). Kasvuston kehittymistä seurattiin drone-kuvausten avulla, ja kokeen lopussa tehtiin jyväsadon mittaukset. Tulokset osoittivat, että lietebiohiilisyökset vaikuttivat positiivisesti mädätteen lannoitevaikutukseen. Pelkällä mädätteellä oli heikoin kasvusto ja jyväsato verrattuna kaikkiin lietebiohiilillä rikastettuihin mädätteisiin, ja 6 % lietebiohiiltä sisältävän mädätteen kasvusto ja sato olivat parempia kuin 3 % lietebiohiiltä sisältävän mädätteen kasvusto ja sato. Pelkän mädätteen jyväsato ja kasvusto olivat parhaimmillaan nollakontrollin eli lannoittamattoman tasolla. 6 % lietebiohiiltä sisältävän mädätteen

lannoitevaikutus oli parhaimmillaan sitä vastaavan typpilannoitekontrollin tasolla. Ammo- ja vesisammutettujen tuotteiden välillä ei ollut selkeää eroa.

Liite 4. Kasvualustakokeet – Lietebiohiilen ja mädätteiden lannoitevaikutukset astiakokeissa

Liite 5. Fosforin liukoisuustestaukset - Lietebiohiilen ja mädätteiden fosforin liukoistuminen uuttokokeissa

Liite 6. Peltokokeet – Lietebiohiilen vaikutus mädätteen lannoitevaikutukseen

4 Viestinnän toteutuminen

Ravinteiden talteenottoon liittyvät seikat ovat tällä hetkellä erittäin ajankohtaisia ja herättävät laajaa mielenkiintoa sekä vesihuoltoalan sisällä että alan sidosryhmissä. Sekä RAVITA™-prosessiin että Lietehiili-hankkeeseen liittyen mielenkiinto on ollut erityisen laajaa ja hankkeiden etenemisestä on kerrottu aktiivisesti kansainvälisissä ja kansallisissa seminaareissa ja muissa tilaisuuksissa. Hankkeeseen liittyvää viestintää on toteutettu hankesuunnitelman mukaisesti.

Vuonna 2022 toteutettuja viestintätoimenpiteitä:

Hankkeen posterit Nordic Biogas -konferenssissa 4-5.10.2022 (Linköping, Ruotsi)

https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2021/02/NBC-poster-base-70x100_RAHI_final_29.9.22.pdf

Mediatiedote lähetetty STT:lle hankkeen loppuvaiheessa <https://www.sttinfo.fi/tiedote/jateveden-tarkeat-ravinteet-ja-hiili-kiertoon-uusin-menetelmin?publisherId=4346&releaseId=69960139>

Hankkeen esittely HSY:n ja yhteistyökumppaneiden sisäisissä viestintäkanavissa sekä sidosryhmätilaisuuksissa

Vuonna 2021 toteutettiin seuraavat viestintätoimenpiteet:

Lehdistötiedote hankkeen aloituksesta ja tavoitteista keväällä sekä syksyllä

<https://www.sttinfo.fi/tiedote/jateveden-ravinteet-ja-hiili-tehokkaasti-kiertoon-uudella-menetelmalla?publisherId=4346&releaseId=69901273>

Hankkeen kotisivujen perustaminen (suomeksi ja englanniksi)

<https://www.hsy.fi/ymparistotieto/projektit-ja-hankkeet/rahi-hanke/>

Hankkeen esittely valtakunnallisilla Vesihuoltopäivillä 2021 (esitys ei julkisesti saatavilla)

https://www.vvy.fi/site/assets/files/5601/ohjelma_vesihuolto_2021_lokakuu_kotisivuille.pdf

Hankkeen esittely NORDIWA 2021 -konferenssissa (online, esitys ei julkisesti saatavilla)

Näillä edellä mainituilla toimenpiteillä on tavoitettu hankkeen pääkohderyhmät, joita ovat mm. vesihuollon sidosryhmät, asiakassidosryhmät sekä muut sidosryhmät, kuten kiertotalouden alan toimijat. Lisäksi hankkeessa saavutettuja tuloksia on tarkoitus viestiä hankkeen päättymisen jälkeen esittämällä hanketta eri tapahtumien ohjelmistoon kansallisella ja kansainvälisellä tasolla.

5 Arvio hankkeen ympäristö- ja työllisyysvaikutuksista

Hankkeen välittömät työllisyysvaikutukset ovat kohdistuneet hankkeen toteuttajatahoihin sekä yhteistyökumppaneihin. HSY:n palveluksessa työskenteleviä hanke on työllistänyt kokonaisuudessaan arviolta noin 3,4 henkilötyövuotta (htv) kahden hankevuoden ajalta. HAMK:n palveluksessa työskennelleitä on työllistänyt noin 1,7 htv:n verran. Välillisesti hanke on työllistänyt useita henkilöjä, sillä hankkeen aikana on ostettu suunnittelupalveluja alan johtavilta konsulttitoimistoilta ja urakointipalveluja yrityksiltä. Näiden lisäksi hanke on työllistänyt kahta opiskelijaa opinnäytetyöskentelyn parissa arviolta 1,2 htv.

Hankkeen ympäristövaikutuksia ovat olleet vähäiset. Osatehtävien toteutukseen on kuulunut konsulttiselvityksiä, joihin ei liity merkittäviä päästöjä. Myöskään hankkeen toteutukseen kuuluneiden laboratoriotöiden tai pöytämittakaavan sekä 1000 avl:n pilotmittakaavan tutkimuksen ei liity merkittävässä määrin päästöjä. Hankkeen pilot-toiminnasta syntyvät jätevedet on käsitelty asianmukaisesti voimassa olevan luvan mukaisesti ja muut syntyneet jätejakeet on toimitettu käsiteltäviksi jätealan yrityksille. Hankkeen energiankulutuksessa on käytetty uusiutuvaa sähköä, sillä kaikki HSY:n käyttämä sähkö on uusiutuvaa, joko omaa tuotantoa tai ostosähköä.

Pyrolyysikoelaitoksen savukaasut puhdistettiin vaadittujen päästörajoiden mukaisesti. Toiminnan ympäristövaikutuksia on tarkkailtu Ämmässuon alueen kattavien ympäristötarkkailujen yhteydessä. Lisäksi laitoksen toiminnasta on tehty päästömittauksia vuonna 2021 savu- ja poistokaasuista, ilmanlaatuun tai haju- ja melutasoihin laitoksen vaikutukset arvioidaan hyvin pieniksi. Pöly pysyy hyvin järjestelmän sisällä, syöteaineiden ja biohiilen varastointi laitoksen ulkopuolella on huomioitava huolellisesti. Viemäriin johdettavien vesien teollisuusjätevesisopimuksen mukaiset raja-arvot eivät ole ylittyneet tutkituilta osin vuoden 2021 tai 2022 (kesä) mittauksissa, eikä vesien laatu ole tutkittujen parametrien osalta muuttunut vuoden 2020 mittauksista, (osuus Ämmässuon alueen jätevesimäärästä 0,03 %). Pyrolyysilaitos tuottaa suuren osan tarvitsemastaan lämpöenergiasta, mutta se tarvitsee ulkoista sähköenergiaa ja tukipolttoaineena nestekaasua.

Täyden mittakaavan RAVITA™- ja pyrolyysiteknologian myönteiset ympäristövaikutukset tulevat olemaan merkittäviä. Täyden mittakaavan teknologia mahdollistaa ravinteiden kierrättämisen ja hiilen sidonnan. Ravinteiden kiertotalous vähentää neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Prosessit tulevat täydessä mittakaavassa työllistämään henkilöstöä, kun talteen otettu fosfori jatkojalostetaan lannoitetuotteeksi ja pyrolyysilaitos käsittelee lietettä.

6 Talousraportti

RAHI-hankkeen toteutuneet kokonaiskustannukset osatehtävissä 1 ja 2 olivat yhteensä 506 029,62 EUR, josta Ympäristöministeriön rahoittama osuus on 40 % ja HSY:n rahoittama osuus 60 %. Osatehtävässä 3 kokonaiskustannukset olivat 252 455,44 EUR, josta Ympäristöministeriön rahoittama osuus on 40 % ja HSY:n ja HAMK:n osuus 60 %.

Hankkeen toteutuneet kokonaiskustannukset olivat 758 485,05 EUR. Hankkeen suunnitellut kokonaiskustannukset olivat 1 539 532 EUR, joten toteutuneet kustannukset vastasivat 49,3 % suunnitelluista kustannuksista. Kustannukset jäivät suunniteltua pienemmiksi koska mm. yhteistyöhanke metsäteollisuuslaitoksen kanssa ei toteutunut. Hankkeen kustannuserittely on esitetty kustannuslaskentataulukossa (RAHI_Kustannukset_1.1.2021-31.12.2022_final.xlsx), joka toimitetaan erillisenä dokumenttina tämän raportin yhteydessä.

Hankkeen osatehtävässä 1 kulut muodostuivat koetoiminnasta, siihen liittyvän koelaitoksen rakentamisesta, henkilöstökuluista ja suunnittelupalveluista. Osatehtävän kokonaiskustannukset olivat 226 321,78 EUR. Osatehtävän 2 kustannukset muodostuivat henkilöstökuluista, koelaitteiston käyttöönotosta, prosessin optimoinnista ja suunnittelupalveluista. Kokonaiskulut osatehtävässä 2 olivat 279 707,84 EUR.

Osatehtävän 3 kokonaiskustannukset olivat 252 455,44 EUR. HSY:n kustannukset (109 256,39 EUR) koostuivat palkkakustannuksista ja laboratoriopalveluista. HAMK:n kustannukset olivat 143 199,05 EUR eli noin 53 % osatehtävän 3 kokonaiskustannuksista.

7 Yhteenveto

Jätevesien ravinteiden ja hiilen kokonaisvaltainen talteenotto eli RAHI-hanke ja siihen liittyvä RAVITA™- ja pyrolyysitekniologian kehitystyö vastaa HSY:n strategian tavoitteisiin ravinnekuormituksen hallintaan ja ravinteiden kierrätykseen sekä kiertotalouteen liittyen. Hanke jakautui kolmeen osatehtävään, joissa ensimmäinen osatehtävä keskittyi RAVITA:n välituotteen eli kemiallisen lietteentuotannon testaukseen täydessä laitosmittakaavassa, toinen osatehtävä liuotus- ja uuttoprosessin skaalaukseen täyden mittakaavan koelaitosta varten ja kolmas puhdistamalla syntyvästä biolietteestä tehdyn lietehiilen hyödyntämiseen.

Ensimmäisessä osatehtävässä tarkasteltiin kemiallisen lietteen tuotantoa täydessä mittakaavassa. Jyväskylän seudun puhdistamo Oy:n Nenäinniemen jätevedenpuhdistamolla toteutettujen koeajojen perusteella RAVITA-prosessiin soveltuvan kemiallisen lietteen tuotanto on mahdollista täydessä mittakaavassa. Koeajoissa kemiallista lietettä tuotettiin jälkikäsitteilyvaiheen kiekko-suodatuksen pesuvesistä linkokuivauksen avulla. Koeajoissa saavutettiin tavoitteeksi asetettu 6–10 %:n kuiva-ainepitoisuus kemialliselle lietteelle.

Toisessa osatehtävässä edistettiin täyden mittakaavan laitoksen suunnitteluperusteita. Liuotusprosessissa kriittiseksi prosessivaiheeksi osoittautui jäljelle jääneen kiintoaineen tehokas erottaminen nestejakeesta liuotusvaiheen jälkeen. Hankkeessa selvitettiin useita kiintoaineiden

poistomenetelmiä, joista lupaavimmaksi nousi ultrasuodatus. Uuttoprosessia toteutettiin hankkeessa sekä pöytämittakaavan että 1000 avl:n kokoluokan pilot-laitteistolla. Optimaalisilla ajoparametreilla uuttoon saatiin vakautta, johtaen tasaisempaan alumiiniin siirtymiseen uutossa. Lisäksi toteutettiin esisuunnittelutasoinen selvitys RAVITA-prosessin vaikutuksista puhdistusprosessin toimintaan 30 000 avl-kokoluokassa. Selvityksen mukaan esimerkkilaitoksena toimineen Porvoon Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamon tapauksessa RAVITA-prosessin edellyttämät muutokset olemassa olevaan puhdistusprosessiin olisivat verrattain vähäiset kemiallisen lietteen tuotannon osalta. Koko RAVITA-prosessin toteuttamista puhdistamolle ei tässä vaiheessa tarkasteltu.

Kolmannessa osatehtävässä keskityttiin pyrolyysikoelaitoksen toimintaan optimoiden prosessin toimintaa, energiatasetta ja lopputuotteen laatua. Lopputuotteen eli lietehiilen hyödyntämistä tutkittiin HAMK:in bioreaktorikokeissa ja kasvatus- sekä peltokokeissa. Lietehiiltä voidaan hyödyntää biojätteen käsittelyssä, suoraan maanparannusaineena tai suodatinmateriaalina. Pyrolysoitu hiili on hyvin stabiilia eikä vapaudu takaisin ilmakehään. Koetoiminnan perusteella voidaan todeta, että koetoimintalaitoksessa käytetty prosessikokonaisuus on soveltuva jätevesilietteen käsittelyyn. Lopputuote on hyvälaatuista ja soveltuva lannoitevalmisteen.

RAVITA™- ja pyrolyysiprosessien kehitystyö ja skaalaus täyden mittakaavan laitosteknologiaan jatkuu RAHI 2-hankkeessa. Hanke tulee edistämään ravinteiden talteenoton teknologioiden tuomista kohti käytännön sovelluksia suomalaisilla puhdistamoilla. Lisäksi tuotetaan tietoa lietteen pyrolysoinnin kokonaisympäristövaikutuksista ja siitä, onko prosessin käyttökustannuksia mahdollista kattaa myymällä hiilikreditejä vapaaehtoisella päästökauppariistillä.

8 Kirjallisuus

Närvänen, S. 2022. Tertiäärilietteen kuivaaminen yhdyskuntajätevedenpuhdistamolla osana fosforin talteenottoa. Lappeenranta–Lahden teknillinen yliopisto LUT, Kemianteeniikka. Diplomityö. Saatavilla verkossa: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/164931>



Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä

PL 100, 00066 HSY, Ilmalantori 1, 00240 Helsinki

Puh. 09 1561 2110, Fax 09 1561 2011, www.hsy.fi

Samkommunen Helsingforsregionens miljötjänster

PB 100, 00066 HRM, Ilmalatorget 1, 00240 Helsingfors

Tfn. 09 1561 2110, Fax 09 1561 2011, www.hsy.fi

Helsinki Region Environmental Services Authority

P.O. Box 100, FI-00066 HSY, Ilmalantori 1, 00240 Helsinki

Tel. +358 9 1561 2110, Fax +358 9 1561 2011, www.hsy.fi