

# Fosforin talteenotto kuivamädätyksessä

MÄD-P-hanke

Jahotec Oy, yhteistyössä Luulajan teknillisen yliopiston kanssa

Loppuraportti 1.1.2021-30.6.2023

VN/24393/2020

10.10.2023

## Tiivistelmä

Hankkeen tavoitteena oli käsitellä jätevesilietteen mädätyksen rejektivesiä siten, että fosforia ja typpeä saadaan talteen struviittina (magnesiumammoniumfosfaattina), joka soveltuu lannoitekäyttöön. Struviitin talteenotosta on jo kokemusta eräillä tiettytyypisillä jäteveden puhdistamoilla Euroopassa ja struviitin soveltuvuudesta lannoitekäyttöön on myös saatu hyviä tuloksia.

Tämän tutkimuksen kokeellinen lähtökohta oli hyödyntää Jahotec Oy:n Rantsilan uudentyyppistä biokaasulaitosta, jota operoidaan tavanomaista korkeammalla kuiva-ainepitoisuudella kuivamädätystyyppisessä tulppavirtausprosessissa. Tällöin rejektiveden määrä on vähäisempää ja on laadultaan konsentroituneempaa. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös märkähiiletyksen (HTC, hydrothermal carbonisation) soveltuvuutta ravinteiden talteenottoon laboratoriomittakaavassa. Yhteistyökumppanina oli Luulajan teknillinen yliopisto, jossa laboratorionkokeet ja osa analytiikasta suoritettiin alihankintana.

Struviitin talteenotto-prosessin kehittäminen aloitettiin astiamittakaavan laboratorionkokein, josta edettiin pilot-mittakaavan jatkuvatoimisella laitteistolla suoritettuihin koeajoihin, joiden pohjalta suunniteltiin laitosmittakaavan prosessi ja reaktori. Prosessikokonaisuus koostui esikäsittelystä sekä varsinaisesta saostusreaktorista. Fosfaattifosforin talteenoton tehokkuus rejektivedestä oli panosluonteisissa pilot-kokeissa noin 65 – 95 % luokkaa, jatkuvatoimisissa pilot-kokeissa 75 % ja laitospilot-mittakaavan kokeissa 80 – 85 %. Rejktiveden korkean ammoniumtyypipitoisuuden vuoksi liukoisesta tyyppistä on sitoutunut lopputuotteeseen vain pienehkö osa. Tuotetun saostuman fosfori- ja typipitoisuudet poikkesivat vain hieman struviitin vastaavista teoreettisista pitoisuuksista, sen sijaan magnesiumin osuus poikkesi enemmän. EU:n asetuksessa saostettujen fosfaattijohdannaisien laatuvaatimusten suhteen fosforipitoisuus lopputuotteessa oli riittävä, samoin alumiinin ja raudan osuus alitti enimmäisrajan. Kadmiumin ja elohopean pitoisuudet lopputuotteessa alittivat määritysrajan ja Cd/P-suhde oli alle 10 % mädätysprosessin syötemateriaalin tai mädätteen vastaavasta.

Mädätteellä suoritettut märkähiiletyskokeet osoittivat, että fosforin vapautumista kiintoainefaasista voidaan selvästi tehostaa. Laitospilot-mittakaavassa tämä edellyttäisi HTC-reaktoria sekä kemikaalien käyttöä, mistä muodostuisi investointi- ja käyttökustannuksia. Märkähiiletyksen soveltuvuutta tulisi tutkia tarkemmin pilot-mittakaavassa, jolloin operointituloksia ja kustannusvaikutuksia voidaan tarkentaa.

Struviitin talteenoton taloudellisuutta arvioitaessa eräs ongelma oli kemikaalien viimeaikaiset epävakait hinnat. Taloudellisuuteen vaikuttaa myös laitoksen kokoluokka. Tutkimuksen aikana saatiin kokemuksia esikäsittelyn ja saostusreaktorin kokonaisuudesta ja kokemuksia kartutetaan prosessin edelleen optimoimiseksi ja jatkosovellutuksia silmällä pitäen.



Lännentie 22, 91900 Liminka

Loppuraportti MÄD-P 90-030

## Sisällysluettelo

|  |    |
|--|----|
| Tiivistelmä.....                           | 2  |
| Sisällysluettelo.....                      | 3  |
| 1. Hankkeen tausta ja tavoitteet.....      | 4  |
| 2. Hankkeen toteutus.....                  | 5  |
| 3. Tulokset.....                           | 6  |
| 4. Tulosten hyödyntäminen.....             | 9  |
| 5. Hankkeen vaikutukset.....               | 9  |
| 6 Viestinnän toteutuminen ja tulokset..... | 10 |
| 7 Talousraportti.....                      | 10 |
| 8 Johtopäätökset.....                      | 12 |
| Viitteet.....                              | 12 |

## 1. Hankkeen tausta ja tavoitteet

Mäd-P-hanke on ympäristöministeriön 60 % rahoittama ravinteiden kierrättämiseen ja talteenottoon keskittyvä tutkimushanke. Hanke sai rahoitusta ympäristöministeriön Ravinteiden kierrätyksen ja jätevesien käsittelyn energiatehokkuutta edistävästä rahoitusohjelmasta. Hankkeen valvojana toimi AFRY Finland Oy ympäristöministeriön toimeksiannosta. Vastuullinen toimija oli Jahotec Oy. Analysointien sekä märkähiiletyskokeiden osalta yhteistyökumppanina oli Luulajan teknillisen yliopisto (LTU). Hanke on aloitettu vuoden 2021 alussa ja hanke päättyi 30.6.2023.

Hankkeen tavoitteena on kehittää menetelmä fosforin talteen ottamiseksi struviittina (magnesiumammoniumfosfaatti) jätevesilietteestä mädätysprosessin yhteydessä. Tarkoituksena oli rakentaa laitosmittakaavainen prosessi Jahotec Oy:n Rantsilan uuden biokaasulaitoksen yhteyteen. Laitoksen pääasiallinen syöte on kunnallinen jätevesiliete. Mädätys tapahtuu tulppavirtausreaktorissa, jossa kuiva-ainepitoisuus on tavanomaista mädätysprosessia suurempi, jolloin myös rejektineste on tavanomaista konsentroituneempaa.

Hanke sisälsi laboratorio-, pilot- ja laitosmittakaavan kokeita. Pienestä mittakaavasta edettiin suurempaan mittakaavaan saatujen koetulosten pohjalta. Pilot-kokeiden tavoitteena oli tuottaa laitosmittakaavaista prosessia kuvaava reaktorimalli, jossa erilaisia ajotapoja on helpompaa tutkia. Pilotreaktorin avulla pyrittiin saamaan mahdollisimman sopivat olosuhteet ja ajoparametrit, joita sovellettiin isommassa mittakaavassa. Pilot-kokeilla saatavilla tuloksilla oli siten olennainen vaikutus laitosmittakaavan koetoimintaan.

Tuotettavan struviitin laatua selvitettiin lannoitekäytön kannalta. Lisäksi hankkeen osana selvitettiin laboratoriokokein märkähiilettyksen (HTC, hydrothermal carbonisation) soveltuvuutta ravinteiden (fosforin) talteenoton yhteydessä. Tavoitteena oli saada tietoa märkähiilettyksen soveltuvuudesta fosforin (struviitin) talteenottoon ja samalla typen käyttäytymisestä. Tähän liittyi myös sen tutkiminen, miten HTC soveltuu osaksi koko käsittelyketjua, esimerkiksi kemikaalitarpeen/ -kustannusten kannalta.

Märkähiiletys soveltuu lähtökohtaisesti paljon nestettä sisältäville jakeille, joissa kuiva-ainepitoisuus, TS, on alle 25 %. Kirjallisuustutkimuksen perusteella HTC-käsittely edistää myös pysyvien orgaanisten (POP-) yhdisteiden hajoamista. Koska osa orgaanisesta aineesta hajoaa, tapahtuu raskasmetallien jonkinasteista konsentroitumista lopputuotteeseen.

## 2. Hankkeen toteutus

Hanke alkoi vuoden 2021 alussa ja ensimmäisenä ohjelmassa oli laboratoriomittakaavan kokeet LTU:ssa Ruotsissa. Kuitenkin rajan sulkeutuminen pandemian vuoksi viivästytti kokeiden aloittamista noin viisi kuukautta. Tänä aikana keskityttiin siten kirjallisuustutkimukseen. Laboratoriomittakaavan kokeissa tutkittiin ensin, voidaanko mädätysprosessiin syötettävällä seosaineella eli lisäsyötteenä mahdollisesti käytettävällä materiaalilla tehostaa fosforin vapautumista nestefaasiin. Samoin tutkittiin pH:n säädön vaikutusta. Tästä edettiin varsinaisiin saostuskokeisiin, jossa vertailuna käytettiin puhtaita kemikaaleja struviitin tuottamiseksi. Tuotetun saostuman laatua tutkittiin laboratoriossa tarkemmin röntgendiffraktiomenetelmällä (XRD). Vuoden 2022 tammikuun ajan raja oli suljettu, mikä aiheutti lisäviivästymistä. Laboratoriokokeita tehtäessä kooreaktoreiden kokoluokka oli maksimissaan 1 litra.

Pilot-kokeet aloitettiin keväällä 2022 ensi vaiheessa lyhytkestoisempina panoskokeina. Syöttemateriaalina käytettiin pääasiassa rejektinestettä, mutta myös puhtaita kemikaaleja kokeiltiin saostusta- ja havainnollistamiseksi. pH:n säätö oli aluksi manuaalista, mutta kokeiden keston pidentessä jatkuvatoimiseksi, siirryttiin automaattiseen pH:n säätöön. Tuotetun saostuman koostumusta analysoitiin laboratoriossa. Pilot-kokeiden mittakaava oli monikymmenkertainen laboratorioskokeisiin verrattuna.

Laitosmittakaavan mädätysreaktorin rakentamisen ja varustamisen aikatauluun vaikutti pandemia komponenttien saatavuuden vaikeutumisen takia. Kesäkuussa 2021 alueen yli kulki trombi, joka aiheutti vaurioita lähiympäristössä ja laitoksella, joskin toimintaan ei syntynyt pitempiaikaista katkoa, mutta haittaa kylläkin. Mädätteen linkoamisessa syntyvän rejektinesteen laatua tutkittiin ja tehtiin polymeerikokeita rejektinesteen laadun optimoimiseksi. Pilot-kokeiden edettyä riittävän pitkälle voitiin aloittaa laitosmittakaavaisen fosforin talteenotto-prosessin ja saostusreaktorin suunnittelu ja hankinta vuoden 2022 lopulla. Projektia kohdanneiden viiveiden vuoksi anottiin ministeriöltä puolen vuoden jatkoaikaa, joka hyväksyttiin. Laitosmittakaavaiset fosforin talteenotto-kokeet suoritettiin keväällä ja alkukesästä 2023.

Märkähiiletyskokeet suoritettiin laboratoriomittakaavassa syksyn 2022 ja talven 2023 aikana LTU:ssa.

### 3. Tulokset

#### Laboratoriokokeet

Laboratoriokokeissa tutkittiin ensin syötteen kolmen eri seosmateriaalin ja hapotuksen vaikutusta lähtökohtaisesti kahdella annostuksella ja kahdella eri pH-tasolla. Seosmateriaalien lisäyksen vaikutus fosfaatin vapautumiseen oli pääsääntöisesti melko vähäinen. Yhden seosaineen vaikutus oli merkittävämpi, mutta arvioidut kustannukset vaikuttivat siihen, että näiden seosaineiden jatkokäyttöä ei tarkasteltu enempää. Sen sijaan pelkän hapotuksen vaikutusta tutkittiin neljännessä kokeessa, jonka perusteella pelkällä hapotuksella päästiin selvästi suurimpaan ja saostamisen kannalta riittävään fosfaattipitoisuuteen. Kuitenkin (kemikaali)kustannuksia on syytä arvioida tarkemmin.

Laboratoriokokein suoritettiin myös struviitin saostustestejä. Rejektinesteen saostuskokeet (astiakokeet laboratoriossa) tehtiin esikäsitellyllä nesteellä, jotta orgaanista kiintoainesta ei päätyisi lopputuotteeseen heikentäen sen laatua. Vastaavia saostuskokeita suoritettiin puhtailla kemikaaleilla (referenssimateriaaleilla). Saostumia on analysoitu LTU:ssa XRD:llä (röntgendiffraktio), ja tehdyn tulkinnan mukaan rejektinesteestä tuotettu kiteinen saostuma on struviittia (magnesiumammoniumfosfaattia). Kiteisen saostuman tuottaminen rejektinesteestä siten onnistui, mutta referenssimateriaaleilla ei ensin saatu kiteistä vaan amorfista tuotetta, sittemmin myös kiteistäkin lopputuotetta.

Laboratoriokokeista saatiin riittävät lähtötiedot pilot-prosessia varten, tavoitteiden mukaisesti.

#### Pilot-mittakaavan kokeet

Pilot-kokeita suoritettiin sekä rejektinesteellä että puhtailla referenssimateriaaleilla. Rejektinesteen ominaisuutena on voimakas värillisuus, joka vaikeuttaa prosessin visuaalista seurantaa eli sitä, miten saostumaa alkaa muodostua. Puhtaiden referenssimateriaalien käyttö auttoi ongelman ratkaisemisesta.

Liukoisesta fosforista sitoutui parhaimmillaan 99 % saostumaan käytettäessä sekä referenssimateriaaleja että esikäsiteltyä rejektinestettä. Laboratoriotesteissä tulos oli samansuuntainen. Jatkuvat oimissa kokeissa fosforin talteenottoaste oli 75 %:n luokkaa ja käytettäessä säästeliästä magnesiumin annostelua tätä vielä jonkin verran pienempi. Näitä tuloksia hyödynnetään prosessin taloudellisuutta arvioitaessa. Olennaisena tekijänä taloudellisuustarkastelussa on myös lähtöpitoisuustaso. Syötteessä on ylimäärin ammoniumtyyppiä, jolloin vain osa tyypestä on sitoutunut saostumaan. Muodostuvan saostuman partikkelikokoa seurattiin mikroskopoimalla ja saatiin näin käsitys partikkelikoon kehittymisestä.

Fosforin osuus saostumasta oli hyvin lähellä struviitin teoreettista arvoa (12–13 %). Magnesiumin osuus oli hieman teoreettista arvoa pienempi (vajaa 9 %), lisäksi mukana oli pienehköjä pitoisuuksia kalsiumia, rautaa ja alumiinia. Raskasmetallipitoisuudet olivat myös pieniä, esimerkiksi kadmium (alle 0,15 mg/kg TS) ja elohopea (alle 0,1 mg/kg TS). Tärkeä laatusuure Cd/P-suhde oli hyvin pieni (noin 1 mg Cd/kg P) eli alle kymmenesosa lietteen vastaavasta.

Struviittilannoitteen laatuvaatimukseen /1/ suhteutettuna fosforipitoisuus on hyvä ja raudan ja alumiinin määrä alittaa selvästi sallitun maksimitason. TOC-pitoisuus näytteessä oli 5 %, joka ylittää raja-arvon 3 %, joskaan syötteen esikäsittely ennen struviittireaktoria ei ollut optimaalinen – asia johon on ollut sittemmin tarpeen kiinnittää huomiota.

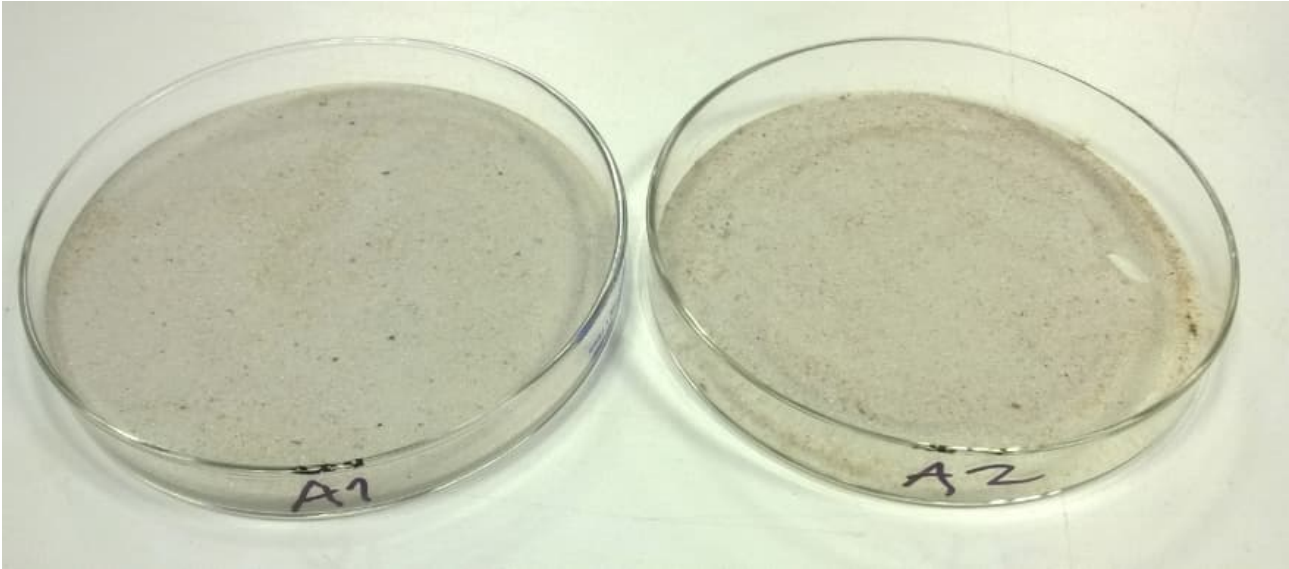
Tulosten pohjalta saatiin lähtökohdat laitosmittakaavan prosessin suunnittelua ja operointia varten, tavoitteen mukaisesti.

#### Laitosmittakaavan kokeet

Laitosmittakaavan prosessin käynnistämiseksi hyödynnettiin pilot-mittakaavassa saatuja kokemuksia ja kuormitusta kasvatettiin asteittain. Prosessin seuranta koostui prosessista lähtevän nesteeseen niin visuaalisten kuin kemiallisten ominaisuuksien tarkkailusta.

Lingolta tulevan nesteen esikäsittelynä oli laskeutus sekä suodatus. Lingon toimintaa oli ensin optimoitu siten, että laskeutusreaktorin tehokas toiminta oli mahdollista, eikä sitä ylikuormitettu. Esikäsittelyn toimintaa seurattiin aluksi ja melko nopeasti voitiin valita soveltuva ajotapa. Koeprosessin pH:n säätö tapahtui reaktorissa samalla tavoin kuin pilot-mittakaavassa, ja magnesiumsuolan annostus säädettiin pilot-kokeiden pohjalta. Kun prosessin toiminta saatiin vakioitumaan, otettiin näytteet kahden eri työviikon aikana prosessin syötteestä, poistuvasta nesteestä sekä kertaalleen reaktorin sisältä saostumasta. Näytteet analysoitiin LTU:ssa sekä osin tilauslaboratoriossa. Fosfaattifosforin poistuma oli vakaata ja tehokkuus oli melko korkea 80 – 85 % (havaintojen lukumäärä 5).

Saostuman visuaalinen tarkastelu osoittaa, että sen väri on vaalea ja siinä on vähänlaisesti orgaanista flokkia tai vastaavaa vierasperäistä ainesta (kuva 1).



Kuva 1. Kuivattua struviittisakkaa Petri-maljoissa, laitosmittakaavan koe.

Saostuman fosfori-, magnesium- ja typpipitoisuudet olivat lähellä struviitin teoreettisia arvoja. Raudan, kalsiumin ja alumiinin yhteispitoisuus oli alle prosenttia ja elohopea- ja kadmium-pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan 0,05 mg/kg TS osoittaen varsin alhaisia raskasmetallipitoisuuksia. Tulokset ovat paljolti samankaltaisia kuin pilot-kokeissa, nyt elohopean ja kadmiumin määrittäysraja oli aikaisempaa alhaisempi. Cd/P-suhde oli alle 0,5 mg Cd/kg P. Fosforipitoisuus sekä raudan ja alumiinin pitoisuudet täyttävät EU-asetuksen vaatimukset samoin kuin pilot-tuloksissakin.

### Märkähiiletyskokeet

Märkähiiletyskokeita (HTC) suoritettiin LTU:n laboratoriossa Luulajassa. Märkähiiletys on prosessi, jonka lämpötila-alueena pidetään yleensä 160–250 °C ja painealueena 10–30 bar. Nyt käsitelty materiaali oli mädätysreaktorista poistuvaa mädätettä. Näytteen käsittelyajaksi valittiin yksi tunti. Käsittelyajan lisäksi panosprosessiin kuuluvat lämmitys- ja jäähdytysajat. Tutkimuksen lämpötila-alueeksi valittiin em. lämpötila-alueen alempi puolisko, joka kirjallisuustutkimuksen perusteella soveltuu parhaiten fosforin liukoistamiseen. Paine oli alle 25 bar. Testejä tehtiin mädätteelle sellaisenaan sekä pH:n säädön kanssa.

Tuloksena voitiin todeta, että panostesteissä tapahtui selvää fosfaatin liukoistumista nestefaasiin ilman kemikaalin lisäystäkin. Hapon lisäyksen vaikutus oli arvioitua heikompi, mikä vaikuttaa taloudellisuuteen. Tutkituissa prosessiolosuhteissa fosforin vapautuminen tehostui alemmassa lämpötilassa ja paineessa, kirjallisuustietojen mukaisesti. Toisaalta ammoniumtyypen liukeneminen tehostui korkeammassa lämpötilassa ja paineessa. Typpihäviöitä muodostui ilman hapon lisäystä. Kokonaisuuutena arvioiden märkähiiletysellä voidaan saavuttaa etuja fosforin talteenotossa fosfaatin liukoistumisen muodossa.



## 4. Tulosten hyödyntäminen

Tuloksia voidaan hyödyntää pienemmässä mittakaavassa melko suoraviivaisesti struviitin tuottamiseksi, mutta lopputuotteen hyödyntämistapa vaatii selvittämistä. Laitosmittakaavan prosessin automaatiota voidaan kehittää kattavammasi koskien sekä rejektiveden esikäsittelyä että saostusreaktoria. Rakennetun laitosmittakaavaisen koereaktorin kuormitettavuudesta tarvitaan tarkempaa tietoa. Kuormitettavuuden lisäksi tarkempaa tietoa tarvitaan myös muodostuvan lopputuotteen partikkelikokoon vaikuttavista tekijöistä. Tältä pohjalta voidaan arvioida teknologian teknistaloudellista soveltuvuutta laajemmin. Käyttökustannuksiin vaikuttavat kemikaalien hinnat (magnesiumsuola, pH:n säätö tarvittaessa) aiheuttavat epävarmuutta hintatason vaihtelevuuden takia.

Liiketaloudellisesti edellä mainittu jatkokehittäminen ei muodosta isompaa riskiä, sillä tärkeimmät investoinnit on jo tehty. On perusteltua saada tarkempaa tietoa prosessin pitempikestoisesta toiminnasta ja kuormitettavuudesta, jotta voidaan arvioida talteenotto prosessin taloudellisuutta toisenlaisissa ympäristöissä, joissa rejektivesimäärät ovat tyypillisesti suurempia ja veden koostumuksessa voi olla eroja. Sen pohjalta voidaan vastata kysymykseen, onko talteenotto prosessi monistettavissa kannattavasti. Selvitystyö jatkuu laitosmittakaavan kokeita varten haetun koetoimintaluvan puitteissa.

Biokaasulaitoksen orgaaniselle lopputuotteelle on melko vakaa vastaanottajakunta. On tarpeen selvittää, miten tätä voitaisiin hyödyntää jalostetun lopputuotteen, struviitin, kohdalla.

## 5. Hankkeen vaikutukset

Ravinteiden talteenotto jätevesilietteestä ja hyödyntäminen kierrätyslannoitteena on ympäristön kannalta eduksi, kun samalla voidaan vähentää uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä. Biokaasulaitoksen yhteydessä jalostus tapahtuu myös paljolti energiaomavaraisena. Prosessissa tarvitaan kuitenkin myös kemikaaleja, jotka vaikuttavat tuotettavan kierrätyslannoitteen tuotantokustannuksiin (ks. kohta 4). Prosessissa tarvitaan pumppausenergiaa, jonka määrä on melko vähäinen. Ajateltaessa kokonaisuutta, jonka osana olisi märkähiiletys, tarvitaan lämpöenergiaa, joka on mahdollista tuottaa laitoksella omavaraisesti.

Työllisyysvaikutuksia voidaan laajemmin arvioida laitosmittakaavan tulosten pohjalta (kohta 4) perustuen siihen, kuinka taloudellisesti kierrätyslannoitetta on mahdollista tuottaa. Yleisesti uusiutuvan energian ja lannoitetuotteiden tuotanto biokaasulaitoksessa kohdistuu alueellisesti siten, että raha kiertää paikallisella tasolla hyödyttäen alueen taloutta. Jos talteenotto prosessia voidaan monistaa kaupalliseksi tuotteeksi, tarkoittaa se työllisyysvaikutusta muun muassa yrityksen konepajalle sekä alihankkijoille.

## 6 Viestinnän toteutuminen ja tulokset

Viestintä oli pääasiallisesti hankkeen sisäistä Jahotec Oy:n ja Luulajan Teknillisen Yliopiston, LTU, välillä. LTU:ssa on ollut käynnissä jätevesilietteen käsittelyn tutkimusta sisältäen myös HTC:n soveltamista ja aiheesta on valmistunut jatko-opinnäytteitä. Tämä on hyödyttänyt hankkeen toteuttamista. Fosforin talteenoton eurooppalaisten yhteistyöryhmien ja workshoppien seuranta on koettu hyödylliseksi myös viestinnän kannalta, kuten osallistuminen aiheeseen liittyneeseen workshoppiin (Progress in manure and digestate) tammikuussa 2021.

Olimme yhteydessä Sitraan tämän hankkeen tavoitteesta. Sitran vetämä asiantuntijaryhmä julkisti toukokuun 2022 lopulla tiedotteen jätevesien ravinteiden hyödyntämisen tarpeellisuudesta keinolannoitteiden saatavuuden olennaisesti vaikeuduttua kevään aikana. Kannanotto on valtakunnan tasolla iso henkinen muutos muutaman vuoden takaiseen, jolloin jätevesilietteistä valmistettujen lannoitteiden hyödyntämisestä ruoan tuotannossa oli julkisuudessa enimmäkseen negatiivisävyteistä uutisointia ja linjanvetoa. Biokaasuprosessi on erinomainen käsittely lietteille ennen lannoitekäyttöä. Suomessa lietteiden lannoitekäytöstä on pitkät perinteet jo ennen biokaasulaitoksia, mutta biokaasulaitosten myötä kuluttajat ovat tulleet tietoisemmiksi lannoitteiden alkuperästä.

Laitoksella kävi myös vierailijoita yrityksistä tutustumassa ravinteiden talteenottoon biokaasutuksen yhteydessä. Hanketta ja sen tavoitteita esiteltiin myös sekä Limingan että Rantsilan biokaasulaitoksilla vierailuille viranomaisille sekä yrityksemme sidosryhmille.

Viestintään panostamisessa oli haasteita erityisesti hankkeen kohtaamien viiveiden vuoksi, niistä johtuen viestintään panostaminen on ollut tavoiteltua suppeampaa. Täydentävää viestintää voidaan jatkossa tehdä esimerkiksi Raki-seminaarien yhteydessä sekä julkaisujen avulla.

## 7 Talousraportti

Hankkeen alkuperäinen kustannusarvio on 179 772 euroa, josta ympäristöministeriön osuus on 107 000 euroa (60 %). Kumulatiivinen kokonaiskustannus hankkeen ajalta on yhteensä 122 859 euroa, joka on 68 % hankkeen alkuperäisistä kokonaiskustannuksista. YM:n osuus hankkeen kokonaiskustannuksista on yhteensä 73 715 euroa. Vuoden 2023 raportointijaksolla toteutuneet kustannukset ovat 41 413 euroa.

Hanketta haettaessa investoinnit esitettiin hankekuluina poistojen sijaan hankintahinnalla, palkkakustannusten sivukuluina esitettiin 50 % palkkakustannuksista ja yleiskuluja 20 % palkkauskustannuksista. Suurimmat erot kustannusarvioon muodostuvat edellä mainituista seikoista. Hankkeeseen

vaikuttaneet viiveet ovat vaikuttaneet jossain määrin myös toteutuneisiin kustannuksiin: osa hankkeen aikana suunnitelluista töistä ja ostopalveluista toteutuu hankkeen päättymisen jälkeen.

Vuoden 2023 raportointijaksolla korjattiin vuonna 2022 hankkeen kuluna olleen laitosmittakaavan struviittireaktorin sekä muiden hankkeen jälkeen käyttökelpoisten laiteinvestointien hankekustannus vastaamaan hankintahinnan sijaan korotettuja poistoja.

Tarkempi erittely toteutuneista kustannuksista on esitetty taulukossa 1. Ympäristöministeriön osuus toteutui noin 33 000 euroa alkuperäistä kustannusarviota pienempänä.

Taulukko 1. *Hankkeen kustannusarvio ja toteutuneet kustannukset sekä hankkeen kumulatiivinen toteuma prosentteina alkuperäisestä kustannusarviosta.*

| Kustannuslaji                     | Kustannusarvio | Kulut 2023    | YM osuus 60 % | Kertyneet kulut | % k-a:sta |
|-----------------------------------|----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------|
| A Henkilöstökulut yhteensä        | 78 900         | 20 211        | 12 127        | 58 388          | 74        |
| C Välineet ja laitteet            | 29 000         | 360           | 216           | 21 644          | 75        |
| D Ulkopuoliset palvelut           | 36 000         | 15 563        | 9 338         | 26 518          | 74        |
| E Muut kustannukset               | 35 872         | 5 279         | 3 167         | 16 309          | 45        |
| <b>Kaikki yhteensä</b>            | <b>179 772</b> | <b>41 413</b> | <b>24 848</b> | <b>122 859</b>  | <b>68</b> |
| <b>Ympäristöministeriön osuus</b> | <b>107 000</b> | <b>24 848</b> |               | <b>73 715</b>   |           |

## 8 Johtopäätökset

Hankkeessa kehitettiin ja rakennettiin laboratorio- ja pilot-tutkimusten pohjalta laitosmittakaavainen struviitin saostusprosessi mädätyslaitoksen rejektiveden käsittelyyn. Saostustuotteen raskasmetallipitoisuudet olivat murto-osan jätevesilietteen arvoista ja Cd/P-suhde oli alle 0,5 mg Cd/kg P. Lähökohdat laadukkaan lannoitetuotteen saamiseksi ovat siten hyvät.

Tutkimuksen pääasiallinen tavoite saavutettiin pandemian ja muiden syiden aiheuttamista viiveistä huolimatta. Tulosten laajempaa soveltamista ajatellen kustannus- ja taloudellisuuskysymyksien arviointi on ongelmallista havaitun kemikaalien hintojen vaihtelevuuden vuoksi. Vaikuttavia tekijöitä ovat myös rejektiveden fosfaattifosforipitoisuus sekä laitospoko. Laboratoriotutkimusten mukaan fosfaattifosforipitoisuutta voidaan merkittävästi kasvattaa lietteen märkähiiletysprosessin avulla, kuitenkin lisäprosessi tuo mukanaan lisäkustannuksia, mutta myös muitakin hyötyjä.

Jatkoa ajatellen on laitosmittakaavassa tarpeen saada tarkempaa tietoa saostusreaktorin kuormitettavuudesta sekä saostustuotteen partikkelikokoon vaikuttavista tekijöistä. Nämä voivat osaltaan liittyä myös prosessin automaation kehittämiseen koskien sekä esikäsittelyä että saostusreaktoria. Lopputuotteen laadun tarkemmat analyysit EU-asetuksen sekä 12.10.2023 voimaan astuneiden MMM asetusten pohjalta ovat myös tarpeen. Näiden pohjalta voidaan tehdä tarkempia arvioita prosessin teknistaloudellisesta soveltuvuudesta eri olosuhteisiin sekä kaupallistamisen mahdollisuuksista.

Saatujen koetulosten perusteella märkähiilettyksen tutkimusta on perusteltua jatkaa laboratoriomitakaavassa sekä edetä sen pohjalta pilot-mittakaavan kokeiluihin. Näin voidaan saada tietoa prosessin teknisestä toimivuudesta sekä kustannuksista laajempien sovellutusmahdollisuuksien arvioimiseksi koskien paitsi fosforia myös typpeä.

## Viitteet

/1/ Komission delegoitu asetukset (EU) 2021/2086. (saostettujen fosfaattisuolojen ja -johdannaisten lisääminen EU-lannoitevalmisteiden ainesosaluokaksi)