



# Y-MAX - Yhdyskuntaliikenteen ravinne- ja energiapotentiaalin hyödyntämisen maksimointi

1.1.2024-31.10.2025

Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy - Xamk

Ductor Oy

Dewaco Oy

Finnish Water Forum (FWF)

Valmet Automation Oy

Intolead Oy

Metsäsairila Oy

Loppuraportti

Diaarinumero VN/36987/2023

Rahoituslähde: Ympäristöministeriö

# Tiivistelmä

Hankkeessa optimoitiin jätevesilietteen käsittelyprosessia tavoitteena saavuttaa mahdollisimman suuri hyöty ravinteiden talteenotossa samalla minimoiden energiankulutus ja maksimoiden energiantuotanto. Kokonaisuus kattoi koko yhdyskuntajätevesilietteen arvoketjun aina lietteestä biokaasutuotannon jälkeiseen mädätteen loppukäsittelyyn asti. Hanke toi yhteen merkittäviä suomalaisia yrityksiä kehittämään teknologioita lietteen käsittelyyn ja biokaasuprosessin eri vaiheisiin. Hankkeen toteuttajina olivat Valmet Automation Oy, Dewaco Oy, Ductor Oy, Intolead Oy, Finnish Water Forum ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Metsäsairila Oy toimi hankkeessa sidosryhmän edustajana ja tarjosi hankkeen käyttöön vahvaa biokaasulaitososaamista.

Yhdyskuntalietteen käsittely on monivaiheinen prosessi, jossa jokainen vaihe vaikuttaa energiatehokkuuteen, ravinteiden talteenottoon ja kustannuksiin. Prosessinhallinnan näkökulmasta luotettava, reaaliaikainen mittaustieto on avainasemassa. Hankkeessa Valmet kehitti ja sovelsi mittaustekniikkaa mädätys- ja biokaasuprosesseihin sekä rakensi pohjaa ohjaus- ja optimointikonseptille, joka tukee resurssiviisasta ja energiatehokasta toimintaa.

Laboratorio- ja demonstraatiomittakaavassa testattiin yhteismädätystä, jossa biokaasuntuotantoon pyrittiin tuomaan lisäenergiaa hyödyntämällä kananlantaa. Kananlanta sisältää kuitenkin paljon typpeä, joka voi aiheuttaa kaasuntuotannon inhibitiota mädätysreaktorissa. Ductorin typen talteenottomenetelmällä osa tyypestä otettiin talteen kananlannasta jo ennen varsinaista mädätysprosessia.

Lietteen kuivaus erilaisissa puhdistamotyypeissä on keskeinen osa jätevedenkäsittelyprosessin toimivuutta ja kustannustehokkuutta. Dewaco tutki biokaasuntuotannon jälkeisen mädätteen kuiva- ja nestejakeen erottelun optimointia ja testasi loppumädätteen mekaanista kuivausta suotonauhapuristimella.

Mädätteen käsittelyyn tarvitaan sekä tutkimustietoa että uusia kustannustehokkaita menetelmiä ravinteiden kierrätyksen ja talteenoton tehostamiseksi. Xamk valmisti jätevesiliete- ja kananlantapohjaisista mädätteistä koeseoksia kasvualustoiksi ja testasi niiden ominaisuuksia laboratorioanalyysillä, kasvatuskokeilla ja ekotoksisuustesteillä. Fosforin talteenottoa testattiin saostamalla mädätteistä struviittia laboratoriomittakaavassa. Lisäksi liete- ja mädätenäytteistä analysoitiin mikromuoveja, PFAS-yhdisteitä, lääkaineita ja raskasmetalleja. Analyysillä saatiin tärkeää uutta tutkimustietoa jätevesimädätteen haitta-aineisiin liittyvistä riskeistä.

Biokaasulaitoksen toimintaa ohjaa lainsäädäntö, joka päivittyy jatkuvasti. Alan toimijoilta vaaditaan hyvää yhteistyötä eri viranomaisten kanssa, jotta muutoksiin pystytään reagoimaan. Finnish Water Forum toteutti kattavan selvityksen biokaasualaan vaikuttavista regulaatioista sekä tulevista päivityksistä.

Biokaasualalla on kasvupotentiaalia niin kotimaassa kuin ulkomailakin. Intolead kartoitti teknologioiden kaupallistamis- ja vientimahdollisuuksia erityisesti Etelä-Afrikassa. Lietteiden käsittely ja biokaasuprosessi vaativat useita erillisiä teknologioita, ja viennin edistämiseksi kannattaa hyödyntää yritysten välisiä symbiooseja.

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	2
Sisällysluettelo .....	3
1. Hankkeen tausta .....	4
2. Hankkeen toteutus .....	5
2.1. TP1 Projektin koordinaatio ja viestintä.....	6
2.2. TP2 Regulaatiot, symbioosit ja kaupallistaminen.....	7
2.3. TP3 Karakterisointi, mittaus ja monitorointi.....	8
2.4. TP4 Typen poisto ja talteenotto.....	9
2.5. TP5 Jakeiden karakterisointi & lietteen ja mädätyksen optimointi .....	10
2.6. TP6 Mädätteen loppukäsittely ja ravinteiden talteenotto .....	10
3. Hankkeen tulokset .....	13
3.1. Regulaatio- ja markkinaselvitys .....	14
3.2. Mittaustekniikkaa biokaasuprosessin reaaliaikaiseen monitorointiin .....	15
3.3. Typen talteenotto lannoitteeksi .....	16
3.4. Kananlannasta lisäenergiaa jätevesilietteen mädätykseen .....	16
3.5. Suotonauhapuristin mädätteen loppukäsittelyssä .....	17
3.6. Jätevesilietemädätteet kasvualustan ainesosana.....	17
3.7. Mädätteen fosfori talteen struviittina .....	18
3.8. Tutkimustietoa jätevesilietteen mädätteiden sisältämistä haitta-aineista .....	19
4. Hankkeen vaikutukset .....	20
5. Talousraportti.....	20
6. Yhteenveto.....	21

# 1. Hankkeen tausta

## *Tarve ja relevanssi*

Suomessa valtaosa yhdyskuntien jätevesilietteestä ohjautuu biokaasulaitoksiin käsiteltäviksi, ja lietteestä noin 82 prosenttia mädätettiin vuosina 2021–2023 (Vilpanen & Seppälä 2025, 15). Yhdyskuntajätevesilietteen energiasisältö on alhainen, ja lisäkäsittely, kuten ravinteiden talteenotto, vaatii energiaa. Lisäksi sen koostumus ja laatu vaihtelevat kausittain ja alueittain. Biokaasuprosessi vaatiikin seurantaa ja optimointia energiapotentiaalin hyödyntämisen maksimoimiseksi.

Jätevesilietteet sisältävät arvokkaita ravinteita, ja niiden kierrätys ja hyötykäyttö on tunnistettu kansallisella tasolla tärkeäksi. Jätevesilietteiden sisältämät ravinteet tulisivat hyödyntää pääasiallisesti lannoitteena vuoteen 2030 mennessä, jotta ympäristöministeriön ravinteiden kierrätyksen toimenpideohjelman tavoite toteutuisi. (Vilpanen & Seppälä 2025, 1.)

Tällä hetkellä jätevesilietteiden mädätteet hyödynnetään pääosin maanparannusaineina viherrakentamisessa ja maataloudessa. Mädätteiden ravinnepotentiaalin hyödyntämisen maksimoimiseksi niistä tulisi pyrkiä jalostamaan nykyistä tehokkaammin arvokkaampia lannoitetuotteita tai kasvualustoja. Puhdistamolietepohjaisissa lannoitevalmisteissa voi kuitenkin olla muun muassa haitallisia metalleja, orgaanisia haitta-aineita, taudinaiheuttajia ja mikromuoveja (Vieno ym. 2019, 3–4). Jätevesilietteen käyttöä on rajoittanut huoli mahdollisten haitta-aineiden siirtymisestä kasveihin ja sitä kautta elintarvikeketjuun.

Yhdyskuntalietteen ravinne- ja energiapotentiaalia ei siis vielä hyödynnetä täysimääräisesti. Mädätysprosessia optimoimalla voidaan tehostaa biokaasun tuottoa. Mädätteen käsittelyyn tarvitaan sekä tutkimustietoa että uusia kustannustehokkaita menetelmiä ravinteiden kierrätyksen ja talteenoton tehostamiseksi.

## *Tavoitteet*

Y-MAX-hankkeen päätavoitteena oli hankkia tietoa siitä, miten jätevesilietteen käsittelyprosessin eri vaiheet voidaan optimoida ja saavuttaa mahdollisimman suuri hyöty ravinteiden talteenotossa samalla minimoiden energiankulutus ja maksimoiden energiatuotanto. Y-MAX-kokonaisuus kattoi koko yhdyskuntajätevesilietteen arvoketjun aina lietteestä biokaasutuotannon jälkeiseen mädätteen loppukäsittelyyn asti (kuva 1). Tavoitteena oli kantaa kalanlannan lisäyksellä tuoda biokaasuprosessiin lisäenergiaa, joka voidaan hyödyntää sähkön ja lämmön muodossa loppuprosessoinnissa ja ravinteiden talteenotossa. Mittauksen ja monitoroinnin tavoitteena oli reaaliaikainen ohjaus, joka parantaa koko prosessin energia- ja kustannustehokkuutta. Tavoitteena oli myös tunnistaa regulaatioiden asettamat reunaehdot ja tunnistaa relevantit arvoketjutoimijat symbioosien muodostamiseksi. Yhteishankkeella tavoiteltiin isompia vaikutuksia kuin yksittäisten toimijoiden irrallisilla hankkeilla on mahdollista saavuttaa.



Kuva 1. Hankkeen lähtökohta ja tavoitteet hankesuunnitelmassa.

## 2. Hankkeen toteutus

Hankkeen toteutusaika oli 1.1.2024-31.10.2025. Hankkeen rahoituspäätös saatiin 29.4.2024, joten hankkeen toteutus aloitettiin käytännössä pääosin tämän jälkeen. Hankkeen toimenpiteet oli jaettu kuuteen työpakettiin, joiden tarkempi toteutusaikataulu on esitetty taulukossa 1. Toimenpiteet on esitelty tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

Taulukko 1. Y-MAX-hankkeen toimenpiteiden toteutusaikataulu.

Y-MAX HANKKEEN GANTT-KAAVIO	2024												2025									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KOKO HANKE																						
Hankkeen kokonaiskesto																						
TP1 Projektin koordinaatio																						
Projektihallinta																						
Raportointi																						
Disseminaatio ja muu viestintä																						
TP2 Regulaatiot, symbioosit ja kaupallistaminen																						
Regulaatiot																						
Symbioosit																						
Kaupallistamispotentiaalain määrittäminen																						
TP3 Karakterisointi, mittaus- ja monitorointi																						
Projektihallinta																						
Mittausten tutkiminen ja prototestaus																						
Optimointikonseptin tutkiminen																						
TP4 Typen poisto ja talteenotto																						
Typen poisto kananlannasta laboratoriomittakaavan mädätyskokeisiin																						
Typen poisto kananlannasta pilot-mittakaavan mädätyskokeisiin																						
TP5 Lietteen ja mädätyksen optimointi																						
Kokeilut laboratorioympäristössä (kuiva- ja märkämädätys)																						
Pilot -kokeilut Bioluuppi-ympäristössä (kuiva- ja märkämädätys)																						
Materiaalien ravinne ja haitta-ainepitoisuuksien määrittäminen																						
TP6 Mädätteen loppukäsittely ja ravinteiden talteenotto																						
Mädätteen kuiva- ja nestejakeen erottelun optimointi																						
Lopputuotteiden ekotoksisuus ja kasvuindeksi testaukset																						
Struviitin saostaminen laboratorioympäristössä																						

## 2.1. TP1 Projektin koordinaatio ja viestintä

Xamk oli vastuullinen partneri tässä työpaketissa. Toimenpiteeseen kuului projektin yleinen ohjaus ja koordinaatio sekä viestintä. Hankkeessa toimi kaksi työryhmää, joissa suunniteltiin ja seurattiin työpakettien toteutumista ja yhteistoimintaa partnereiden välillä. Työryhmä 1 keskittyi kaupallistamiseen ja viestintään sekä hankkeen kokonaistilanteeseen. Työryhmä 2 puolestaan keskittyi TP3, 4, 5 ja 6 käytännön toimenpiteisiin. Työryhmät kokoontuivat yhdeksän kertaa.

Hankkeen aikana järjestettiin kaksi toteuttajien välistä tapaamista Mikkelissä. Ensimmäinen vierailu järjestettiin 7.-8.10.2024. Kokousten lisäksi hankeryhmä kävi tutustumassa Mikkelin jätevedenpuhdistamoon, Metsäsairilan biokaasulaitokseen sekä Xamkin ympäristölaboratorioon ja Bioluoppi-demonstraatioympäristöön. Toinen vierailu järjestettiin 1.-2.9.2025 ja silloin vierailtiin Xamkin materiaalitekniikan laboratoriossa (Mikpolis Oy) ja käytiin tutustumassa Dewacon koeajokonttiin Metsäsairilassa.

Osaamisen kasvattamiseksi työryhmäkokousten yhteydessä järjestettiin toteuttajayritysten esittelijä ja työryhmiin pyydettiin ulkopuolisia yritys- ja asiantuntijaesittelijä. Lisäksi osallistuttiin alan webinaareihin, seminaareihin ja konferensseihin.

### *Viestintä*

Xamk vastasi hankkeen viestinnästä ja julkaisutoiminnasta tavoitteena tulosten laaja ja näkyvä viestintä. Finnish Water Forumin roolina oli yritysverkoston laajentaminen ja tiedottaminen sekä hankkeen luomien liiketoimintamahdollisuuksien kommunikointi myös hankkeen ulkopuolisille toimijoille jatkokehitystä ajatellen. Muut partnerit tukivat viestintää. Taulukossa 2 on esitetty toteutetut viestintätoimenpiteet.

Hankkeen nettisivut löytyvät osoitteesta [www.xamk.fi/y-max](http://www.xamk.fi/y-max)

**Taulukko 2.** Hankkeessa toteutetut viestintätoimenpiteet.

Ajankohta	Viestintätoimenpide
Kesäkuu 2024	Laadittu hankkeen esittely-kalvosarja, jota partnerit voivat hyödyntää esitellessään hanketta eri tilaisuuksissa.
17.6.2024	FWF: Teollisuusvesityöryhmä kokous, jossa kerrottu hankkeesta
18.6.2024	FWF: hanke-esitys kesäpäivillä
Syyskuu 2024	Julkaistu nettisivut: <a href="http://www.xamk.fi/y-max">www.xamk.fi/y-max</a>
Syyskuu 2024	Painatettu hankejulistte. Näkyvillä Xamkin laboratoriossa ja BioLuoppi-ympäristössä sekä Finnish Water Forumilla.
Syyskuu 2024	Intolead ja FWF isännöivät afrikkalaisia vesialan yritysvieraita.
17.9.2024	Xamk: Hanke esillä Water week/Lakeland Forum-tapahtumassa Mikkelissä. Kutsuvieraat BioLuupilla.
30.10.2024	Hankkeen esittely Xamkin Kuulumisia ja tulevaa kiertotaloudesta - tutkimuswebinaarissa
6.-7.11.2024	FWF: Finnateria 2024 messut. Kerrottu Y-MAX-hankkeesta, juliste esillä FWF:n standilla.

3.12.2024	Hanketta esittelevä artikkeli Xamkin READ-verkkolehdestä. <a href="#">Yhdyskuntalietteen ravinne- ja energiapotentiaalin hyödyntämisen maksimointia   READ Xamk</a> Artikkelia on jaettu myös LinkedInissä (429 näkijää).
17.12.2024	FWF: Hanke esillä FWF:n glögitilaisuudessa, vesiosaamisen kasvu ja kansainvälistyminen -ohjausryhmä
22.1.2025	Osallistuminen Ravinteet kiertoon! BioP-rec-hankkeen loppuwebinaariin 22.1.2025 (FWF + Xamk)
Helmikuu 2025	Valmetin sisäinen yhteistyöfoorumi, hanke tuotu esille
21.3.2025	Hanke esillä FWF:n vuosikokouksessa
11.-14.3.2025	FWF: Osallistuminen Aquatech Amsterdam –messuille
Syyskuu 2025	Tukholman vesiviikko. Hanke esillä FWF:n standilla.
16.-17.9.2025	Lakeland Forum 16.9. ja yrityspäivä 17.9. (Mikkelin Water Week – tapahtuma). Hanke esillä FWF:n ja ja Xamkin standilla. Bioluupin esittely kutsuvieraille.
7.10.2025	Hanke esillä Xamkin TKI-päivässä Mikkelin Saimaa Stadiumilla
Lokakuu 2025	Loppuwebinaarin mainostus FWF:n uutiskirjeessä, LinkedInissä ja sähköpostitse suoraan sidosryhmille
28.10.2025	Loppuwebinaari (42 kuulijaa)
Marraskuu 2025	Loppujulkaisu. Julkaisusta tiedottaminen verkostoille.
Marraskuu 2025	Tiedote julkaistu 13.11.2025: <a href="#">Yhteistyöllä tulevaisuuden konseptointia biokaasualalle - Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu</a> Tehty LinkedIn-postaus, 586 näyttökertaa 21.11.2025.
Joulukuu 2025	Hanke mainitaan FWF:n asiantuntija-artikkelissa Baltic Rim Economies -julkaisun "sustainable water management" teemanumerossa. Hanke mainitaan esimerkkinä kestävään vesihuoltoon liittyvistä R&D hankkeistamme.

Tuloksista on koottu [loppujulkaisu](#):

Malk, V. (toim.) 2025. Yhdyskuntalietteen ravinne- ja energiapotentiaalin hyödyntämisen maksimointi. Xamk kehittää 251. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Mikkelä. ISBN: 987-952-344-634 (PDF). ISSN: 2489-3102 (verkko). Julkaisun pysyvä osoite: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-634-2>

Seuraavissa kappaleissa on kuvattu hankkeen toimenpiteet lyhyesti. Kokeiden tarkempi toteutus ja tulokset on kuvattu loppujulkaisun artikkeleissa.

## 2.2. TP2 Regulaatiot, symbioosit ja kaupallistaminen

Biokaasuprosessiin ja ravinteiden talteenottoon liittyy monenlaista lainsäädäntöä, johon on tulevana vuosina tulossa tiukennuksia muun muassa haitta-aineiden pitoisuuksien osalta. Lainsäädäntö vaikuttaa oleellisesti teknologiakehitykseen ja teknologioiden kaupallistamiseen.

Finnish Water Forum oli vastuullinen partneri tässä työpaketissa. FWF toteutti kattavan selvityksen biokaasualaan vaikuttavista regulaatioista ja kaupallistamismahdollisuuksista. Selvitys kattaa EU:n ja Suomen lainsäädäntöä lietteen hyötykäyttöön liittyen. Selvitystä varten tehtiin useita haastatteluja Euroopassa toimivien sidosryhmien kanssa ja sisältöä käytiin läpi

hankkeen työryhmäkokouksissa. Ajantasaista tietoa saatiin myös osittain FWF:n verkostojen kautta. FWF:ltä kirjoittaja on muun muassa mukana EU-tason BREF asiakirjojen revisiointi työryhmissä, joissa keskustellaan erityisesti ympäristöpäästöistä. Biokaasusektorille on eduksi jätevesien haitta-aineiden nollatoleranssi ja odotettavissa on lähivuosina huomattavia **tiukennuksista** nykyisiin teollisuuden päästötasoihin. Edunvalvonta järjestöissä kuten SME United on esittänyt, ettei tällä hetkellä ole taloudellisesti hyväksyttävissä olevia teknologioita tarjolla päästöttömään toimintaan. Biokaasusektorilla tämä tarkoittaa, että mädätteen hyödyntämisessä on huolehdittava myös tulevaisuudessa sisään tulevan raaka-aineen käyttökelpoisuudesta haitallisten aineiden kuten raskasmetallien ja tiettyjen kemikaalien osalta. **ETA alueen lainsäädännön yhdenmukaisuutta tarkasteltiin tekoölyn avulla.** Kaupallistamisen kannalta EU on lainsäädännöllisesti yhtenäinen alue Direktiivien puolesta eli ne ovat kansallisesti ajan tasalla. Maakohtaisia eroja on laitosten luvituksissa ja mädätteen loppukäytössä sekä ravinteiden hyödyntämismahdollisuuksissa.

Intoleadin roolina oli markkinaselvitys ja ekosysteemin kartoitus, jossa tunnistettiin keskeisimpiä ekosysteemitomijoina tulevaisuudessa **kaupallistettavien ratkaisuille.** Erityisenä fokusalueena oli Etelä-Afrikka, joka on nostettu Suomen ja EU:n Afrikan strategiassa kärkimaaksi geopolittisista syistä ja markkinapotentiaalinsa seurauksena. Etelä-Afrikan markkinoilla haetaan aktiivisesti erilaisia uusia ja innovatiivisia puhtaan energian ja kiertotalouden ratkaisuja.

Hankkeen aikana toteutettiin kaksi matkaa Etelä-Afrikkaan, joiden tarkoituksena oli tunnistaa keskeiset yhdyskuntajäteliikkeen arvoketjun ekosysteemitomijat, lainsäädännöllinen tilanne ja mahdolliset esteet. Kaupallistamismahdollisuuksien osalta haluttiin ymmärtää mahdollisia jakeluverkostoja ja myyntiverkostoja kaupallisen kiinnostavuuden arvioimiseksi.

Ensimmäinen tiedonkeruumatka tehtiin syyskuussa 2024. Matkan aikana haastateltiin toimiala-asiiantuntijoita Kapkaupungissa ja Johannesburgissa ja osallistuttiin South Africa Circular Economy 2024 tapahtumaan 19–20.9.2024. Toinen markkinoihin tutustumismatka toteutettiin Johannesburgiin helmikuussa 2025. Matka keskittyi asiakkaisiin ja heidän kehityshankkeisiinsa tutustumiseen.

Kiinnostavimmat asiakaskeskustelut käytiin Rand Waterin ja Lanseria Smart City –toimijoiden kanssa ja kummallakin asiakkaalla on kiinnostusta lähteä jatkamaan yhteistyömahdollisuuksien edistämistä. Projektin aikana kiinnostavimmiksi alueiksi tunnistettiin vesisektorin kiertotalouden edistäminen (veden uudelleen käyttö, lietteen prosessointi, biokaasutuotannon kehittäminen) sekä yhteistyö Etelä-Afrikan Smart City –hankkeiden kanssa, joissa jätehuolto ja uusiutuvat energiamuodot ovat keskeisiä kehitysalueita.

### 2.3. TP3 Karakterisointi, mittaus ja monitorointi

Yhdyskuntaliikkeen käsittely on monivaiheinen prosessi, jossa jokainen vaihe vaikuttaa energiatehokkuuteen, ravinteiden talteenottoon ja kustannuksiin. Prosessinhallinnan näkökulmasta luotettava, reaaliaikainen mittaustieto on avainasemassa.

Valmet oli vastuullinen partneri tässä työpaketissa. Valmetilla on pitkäaikaista osaamista jätevesiprosessien mittauksissa ja automaatiassa. Valmetin ratkaisut perustuvat reaaliaikaiseen, jatkuvatoimiseen mittaamiseen ja sen päälle rakennettuun ohjaukseen. Valmetin nykyiset mittausratkaisut kattavat lietteenkäsittelyn keskeiset vaiheet, kuten

syöttölietteen ja kuivakakun kuiva-ainepitoisuuden seurannan, rejektiveden kiintoainepitoisuuden sekä polymeerin konsentraation mittauksen, edustavan näytteenoton sekä kuivauksen optimoinnin.

Hankkeessa Valmet kehitti ja sovelsi mittaustekniikkaa mädätys- ja biokaasuprosesseihin sekä rakensi pohjaa ohjaus- ja optimointikonseptille, joka tukee resurssiviisasta ja energiatehokasta toimintaa. Yhteistyön avulla tunnistettiin prosessin kannalta keskeiset muuttujat ja ohjaustarpeet sekä lisättiin ymmärrystä mädätys- ja biokaasuprosessien reaaliaikaisesta seurannasta. Tämä luo perustan uusille ratkaisuille, jotka tukevat prosessin vakautta ja energiatehokkuutta.

Käytännön tutkimus keskittyi erityisesti prosessin kiintoainepitoisuuden hallintaan. Tutkimusta tehtiin todellisissa prosesseissa yhteistyössä asiakkaiden, kuten lietteenkäsittelylaitosten, kanssa. Kenttätutkimus on ollut ratkaisevaa, jotta on voitu ymmärtää koko prosessiekosysteemi ja tunnistaa mittaamiseen liittyvät haasteet käytännössä. Tämä lähestymistapa on varmistanut, että kehitystyö perustuu todellisiin käyttötarpeisiin ja ratkaisut kestävät vaativat olosuhteet.

Xamkin roolina tässä toimenpiteessä oli koordinoita yhteistyötä partnereiden välillä ja tämä toteutui työryhmytyöskentelyn kautta. Lisäksi Xamk toteutti analyysejä prosessin eri vaiheiden jakeista. Biokaasuprosessin syötemateriaaleista, loppumädätteistä ja niistä valmistetuista tuotteista analysoitiin fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia, ravinnepitoisuuksia ja haitta-aineita Xamkin ympäristölaboratoriossa ja ulkopuolisissa akkreditoituissa laboratorioissa.

## 2.4. TP4 Typen poisto ja talteenotto

Ductor oli vastuullinen partneri ja ainoa toteuttaja tässä työpaketissa. Ductorin roolina oli tutkia typen poistoa kananlannasta ennen sen lisäämistä märkä- ja kuivamädätykseen typen aiheuttaman metaanin tuoton inhibition estämiseksi mädätyksessä.

Ductor toimitti käsittelemätöntä ja käsiteltyä kananlantaa Xamkin työpaketissa 5 toteuttamiin laboratorioympäristön biokaasukokeisiin. Näytteet toimitettiin kolmessa erässä: ensimmäinen erä kesäkuussa 2024, toinen erä tammikuussa 2025 ja kolmas erä huhtikuussa 2025.

Ensimmäisessä näyte-erässä suomalaista kananmunatuotannon kananlantaa fermentoitiin Ductorin jatkuvatoimisessa mädätysprosessissa, laboratoriomittakaavan bioreaktoreissa kolmen kuukauden ajan, ja kokeen aikana reaktoreista otetut poisteet kerättiin talteen. Poisteista erotettiin sentrifugoimalla kiintoaine ja typpipitoinen neste, ja kiintoainefraktio toimitettiin edelleen Xamkille biokaasukokeisiin. Xamkin biokaasukokeisiin toimitettiin tämän käsitellyn kananlannan lisäksi samaa kananlantaa käsittelemättömänä.

Toisessa näyte-erässä fermentoitiin meksikolaista kananmunatuotannon kananlantaa Ductorin jatkuvatoimisessa mädätysprosessissa, laboratoriomittakaavan bioreaktoreissa kuuden kuukauden ajan, ja kokeen aikana reaktoreista otetut poisteet kerättiin talteen. Poisteista erotettiin sentrifugoimalla kiintoaine ja typpipitoinen neste. Nesteestä poistettiin typpeä ammoniakkipauksella. Erotettu kiintoaine sekä stripattu neste toimitettiin edelleen Xamkille biokaasukokeisiin. Xamkin biokaasukokeisiin toimitettiin tämän käsitellyn kananlannan lisäksi meksikolaista kananlantaa käsittelemättömänä.

Kolmannessa näyte-erässä fermentoitiin saksalaista kananlantaa Ductorin jatkuvatoimisessa mädätysprosessissa, laboratoriomittakaavan bioreaktoreissa 14 kuukauden ajan, ja kokeen aikana reaktoreista otetut poisteet kerättiin talteen. Poisteita konsentroidiin dekantoimalla ja samalla lietteestä poistui typpeä. Tämä liete toimitettiin edelleen Xamkille biokaasukokeisiin.

Xamkilla suoritetuista biokaasukokeista kerrotaan kappaleessa 2.5.

## 2.5. TP5 Jakeiden karakterisointi & lietteen ja mädätyksen optimointi

Laboratorio- ja demonstraatiomittakaavassa testattiin yhteismädätystä, jossa jätevesilietteen biokaasuntuotantoon pyrittiin tuomaan lisäenergiaa hyödyntämällä kananlantaa. Kananlanta sisältää kuitenkin paljon typpeä, joka voi aiheuttaa kaasuntuotannon inhibitiota mädätysreaktorissa. Ductorin typen talteenottomenetelmällä osa tyypestä otettiin talteen kananlannasta jo ennen varsinaista mädätysprosessia.

Xamk toimi työpaketissa vastuullisena partnerina. Biokaasukokeita toteutettiin laboratoriossa kahden litran pulloreaktoreissa, 15 litran puoliautomaattisissa reaktoreissa sekä demonstraatiomittakaavassa Xamkin BioLuuppi-ympäristössä 0,5 m<sup>3</sup>:n reaktoreissa. Laboratoriossa toteutettiin kuusi koesarjaa ja BioLuupissa kaksi koeajoa. Kaikki kokeet toteutettiin panostoisesti.

Raaka-aineena kokeissa käytettiin jätevesilietettä sekä kanan- ja kalanlantaa. Jätevesiliete oli kaikissa kokeissa yhdyskuntajätevesien jätevedenpuhdistamolta. Kanan- ja kalanlannan laatu ja alkuperä vaihtelivat eri koesarjoissa. Mukana oli sekä paikallista käsittelemätöntä kanan- ja kalanlantaa, että Ductorin modifioitua kananlantaa, josta oli poistettu typpeä. Ductorin typenpoistoprosessi ja biokaasukokeisiin valmistellut materiaalit on kuvattu tarkemmin kappaleessa 2.4.

Eri syötemateriaalien biokaasu- ja metaanintuottopotentiaali testattiin erikseen. Lisäksi testattiin kananlannan ja jätevesilietteen yhteismädätystä kahdella eri seossuhteella: 1) 75 % jätevesilietettä ja 25 % kananlantaa ja 2) 50 % jätevesilietettä ja 50 % kananlantaa. Yhteismädätyksessä käytettiin sekä käsittelemätöntä kananlantaa että modifioitua kananlantaa, josta typpeä oli poistettu. Seossuhteet määritettiin kuiva-aineen mukaan.

Syötemateriaalien ja loppumädätteiden ominaisuuksia analysoitiin Xamkin laboratoriossa ja ulkopuolisissa akkreditoituissa laboratorioissa. Näytteistä määritettiin mm. pH, johtokyky, alkaliteetti, kuiva-aine (TS), orgaaninen aines (VS) sekä typpi- ja ammoniumpitoisuus. Tulosten perusteella määritettiin laskennallinen hiili-typin suhde. Lisäksi osasta näytteistä tehtiin haitta-ainemäärityksiä (ks. kappale 2.1.6.).

## 2.6. TP6 Mädätteen loppukäsittely ja ravinteiden talteenotto

Mädätteen käsittelyyn tarvitaan sekä tutkimustietoa että uusia kustannustehokkaita menetelmiä ravinteiden kierrätyksen ja talteenoton tehostamiseksi. Lietteiden kuivaus erilaisissa

puhdistamotyypeissä on keskeinen osa jätevedenkäsittelyprosessin toimivuutta ja kustannustehokkuutta. Kuivauksella voidaan vaikuttaa kuljetus- ja käsittelykustannuksiin sekä laitoksen kokonaisenergiatohokkuuteen ja loppusijoituksen taloudellisuuteen.

Tässä työpaketissa Xamk toimi vastuullisena partnerina ja Dewaco tutki mädätteen kuivausominaisuuksia yhteistyössä Metsäsairila Oy:n kanssa. Valmet testasi mittaustekniikkaa myös tähän prosessivaiheeseen liittyen (ks. kappale 2.1.3.) ja mädätteen loppukäsittely ja ravinteiden talteenotto on huomioitu FWF:n regulaatiotarkastelussa (ks. kappale 2.1.1.).

### *Mädätteen kuiva- ja nestejakeen erottelu*

Dewacolla on pitkä historia jätevedenkäsittelylaitteiden suunnittelusta ja valmistuksesta. Yritys on toimittanut ratkaisujaan yli 95 maahan ja tuhansiin asennuskohteisiin eri puolilla maailmaa. Vuoden 2023 lopulla markkinoille tuotu uusi AURA-suotonauhapuristin edustaa yrityksen uusinta tuotekehitystä mekaanisen lietteenkäsittelyn saralla, jossa suuretkin laitekokonaisuudet saadaan mahtumaan logistisesti kustannustehokkaihin merikontteihin. Laitte valittiin myös Y-MAX-hankkeen testauslaitteeksi, sillä sen avulla haluttiin saada lisätietoa mallin suorituskyvystä ja soveltuvuudesta biokaasulaitosten loppumädätteelle.

Dewaco tutki hankkeessa biokaasutuotannon jälkeisen mädätteen kuiva- ja nestejakeen erottelun optimointia loppukäsittelyssä sekä sitä, miten loppumädätteen mekaaninen kuivaus sopii yrityksen Solids-tuotelinjan laitteille. Käytännön testaukset olivat tärkeässä roolissa. Projektia varten rakennettiin koeajokontti, joka mahdollistaa mahdollisimman todennukaiset testausolosuhteet lähellä mädätteen syntypaikkaa (kuva 2). Konttiin integroitiin täydellinen lietteenkuivauslinjasto, joka sisältää muun muassa siirtolaitteiston, AURA-suotonauhapuristimen, tarvittavat rajapinnat yhteistyökumppaneiden analysointitarpeisiin sekä ohjausjärjestelmän. Ratkaisu mahdollistaa testien tekemisen hallituissa mutta käytännön toimintaa vastaavissa olosuhteissa.



**Kuva 2.** Dewacon koeajokontti ja Aura-suotonauhapuristin. (Kuvat Rikku Kettunen)

Hankkeen alkuvaiheessa mädätteen ominaisuuksia tutkittiin IBC-konttimenetelmällä, jotta saatiin peruskäsitys kuivattavan materiaalin koostumuksesta ja käyttäytymisestä. Näiden

alustavien testien perusteella pyrittiin määrittelemään optimaaliset syöttöolosuhteet, esikuormitus ja puristimen ohjausparametrit AURA-laitteella tehtäviä koeajoja varten. Koeajokontti on mahdollistanut käytännön testit suoraan laitosten yhteydessä, jolloin tulokset kuvaavat todellisia prosessiolosuhteita. Testeissä on tarkasteltu muun muassa seuraavia tekijöitä:

- loppumädätteen erotusastetta (kuiva- ja nestejake)
- puristustehon ja lietetyypin välistä suhdetta
- kuiva-ainepitoisuuden kehitystä eri asetuksilla
- mädätteen käyttäytymistä ilman polymeerin annostelua.

#### *Kasvatus- ja ekotoksisuustestit mädätepohjaisilla kasvualusta-seoksilla*

Xamk valmisti jätevesiliete- ja kananlantapohjaisista mädätteistä koeseoksia kasvualustoiksi ja testasi niiden ominaisuuksia laboratorioanalyysillä, kasvatuskokeilla ja ekotoksisuustesteillä. Testatut mädätteet olivat yhdyskuntajätevesilietteen mädäte täyden mittakaavan biokaasulaitoksesta sekä modifioidun kananlannan ja jätevesilietteen yhteismädätteen laboratoriomittakaavan kokeista. Mädätteistä valmistettiin neljä erilaista seosta. Mädätteiden lisäksi seoksissa käytettiin hiekkaa ja turvetta. Valmiit seokset sisälsivät mädätettä kuiva-aineeseen suhteutettuna 5–10 prosenttia ja tilavuuteen suhteutettuna 9–27 prosenttia. Seoksia kypsytettiin laboratoriossa kolme kuukautta.

Koeseoksille toteutettiin kasvatuskokeet kontrolloiduissa olosuhteissa kasvatuskaapissa (kuva 3). Koekasvina oli vihanneskrassi (*Lepidium sativium*). Taustakontrollina toimi kaupallinen kylvö- ja taimimulta. Kokeen perusteella määritettiin itävyys ja kasvuindeksi. Lisäksi tehtiin visuaalista havainnointia esim. kasvien väristä ja juurista. Ekotoksisuutta tutkittiin *Aliivibrio fischeri* -valobakteeritestillä. Seosten ravinne- ja raskasmetallipitoisuudet määritettiin ulkopuolisessa laboratoriossa.



**Kuva 3.** Jätevesilietepohjaisista mädätteistä valmistettiin kasvualustaseoksia ja niille tehtiin kasvatuskokeita kontrolloiduissa olosuhteissa. (Kuvat Jonna Hauvala)

### *Struviitin saostus jätevesilietepohjaisista mädätteistä*

Fosforin talteenottoa testattiin saostamalla mädätteistä struviittia laboratoriomittakaavassa. Fosfori on yksi uusiutumaton ja elämälle välttämätön luonnonvara. Struviitti on hyvin lannoitteeksi sopivaa kiteistä ainetta, joka koostuu fosfaatista, ammoniumista ja magnesiumista ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Suomessa jäteveden kemiallisessa puhdistuksessa yleisesti käytetty ferrosulfaatti saostaa fosforin liukenemattomiksi rautafosfaattiyhdisteiksi, jotka painuvat lietteen mukana pohjalle. Tämä rautaan sitoutunut fosfori on huonosti liukenevaa, eivätkä kasvit voi sitä hyödyntää. Struviitin muodostusta varten on oleellista, että kiintoaineksen fosfaatti saadaan liukoiseen muotoon.

Hankkeessa testattiin laboratoriomittakaavassa struviitin saostusta jätevesilietteen mädätteestä sekä jätevesilietteen ja kananlannan seoksen yhteismädätteistä. Kokeissa testattiin struviitin saostusmenetelmää, jossa fosfori uutetaan jätevesilietteen mädätteestä ensin liukoiseen muotoon.

### *Haitta-aineanalyysit*

Jätevedessä esiintyy monenlaisia kotitalouksista ja teollisuudesta peräisin olevia haitta-aineita, kuten mikromuoveja, lääkeaineita ja PFAS-yhdisteitä. Jätevedenpuhdistamoilla haitta-aineista valtaosa päätyy vedenpuhdistusprosessissa jätevesilietteeeseen. Haitta-aineet voivat inhibioida biokaasuprosessia ja heikentää siten biokaasuntuottoa. Lisäksi riskinä on haitta-aineiden päätyminen maaperään ja vesistöihin sekä niiden aiheuttamat ympäristö- ja terveysvaikutukset. Nämä riskit jarruttavat jätevesilietteiden ravinteiden kierrätystä.

Liete- ja mädätenäytteistä analysoitiin mikromuoveja, PFAS-yhdisteitä, lääkeaineita ja raskasmetalleja ulkopuolisissa laboratorioissa. Nämä haitta-aineryhmät nousivat esiin muun muassa työryhmäkeskusteluissa ja haitta-ainepitoisuuksia koskevan lainsäädännön odotetaan tulevaisuudessa kiristyvän.

Mikromuovit analysoitiin yhdestä jätevesilietteen mädätenäytteestä. PFAS- ja lääkeaineanalyysit tehtiin kahdeksasta näytteestä. Näytteet olivat yhdyskuntajätevesilietettä sekä sen mädätettä täyden mittakaavan laitokselta. Osa näytteistä oli hankkeessa toteutettujen biokaasukokeiden purkumädätteitä. Lisäksi mukana oli infrapunamenetelmään perustuvalla Paskier®-prosessilla kuivattu ja rakeistettu jätevesilietteen mädäte. Prosessilla oli tavoiteltu jätevesiliettemädätteen tuotteistamista lannoiterakeeksi. Kuivaus ja rakeistus oli toteutettu Metsäsairila Oy:n BioLuuppi-demonstraatioympäristössä. Mikromuovit, PFAS-yhdisteet ja lääkeaineiden analyysit toteutti Mesurlabs ja raskasmetallien analyysin Eurofins Viljavuuspalvelut Oy.

## 3. Hankkeen tulokset

Seuraavissa kappaleissa on esitetty hankkeen tärkeimmät tulokset. Tarkempi kuvaus tuloksista on luettavissa [loppujulkaisusta](#).

### 3.1. Regulaatio- ja markkinaselvitys

Finnish Water Forumin toteuttaman regulaatioselvityksen tuloksena nykyiset biokaasualaan vaikuttavat regulaatiot on tunnistettu ja analysoitu ja tulevien regulaatioiden vaikutus alaan ja kaupallistamispotentiaaliin on arvioitu. Selvitys osoitti, että lainsäädäntöön on tulossa tiukennuksia, jotka tulevat vaikuttamaan biokaasualaan tulevina vuosina. EU:n päästrategioita ja suurimpia vaikuttajia tiukentuviin ympäristöpäästösäädöksiin ovat muun muassa vihreä siirtymä eli Green Deal, kiertotalousasetus eli Circular Economy Act ja uusimpana Euroopan komission 4.6.2025 julkistama vesiresiliensstrategia eli European Water Resilience Strategy. Kaikissa näissä on yhteisenä tavoitteena ympäristöpäästöjen merkittävä vähentäminen uuden teollisuuden ympäristöpäästödirektiivin mukaisesti ja raaka-aineen säilyttäminen tuotanto- ja kulutusketjussa mahdollisimman pitkään. Huomoitava on kiertotalousasetus, joka on todella laaja-alainen eli siihen sisältyy lukuisia alakohdan lakeja niin EU tasolla kuin maakohtaisia markkinointiin vaikuttavia omia säädöksiä. Niihin tulee päivityksiä vuosittain. Selvitys on luettavissa [loppujulkaisun](#) artikkelissa *Biokaasualaan liittyvä lainsäädäntö ja kaupallistamismahdollisuudet*.

Intoleadin Etelä-Afrikkaan suuntautuneessa selvityksessä tuloksena saatiin merkityksellistä markkina- ja ekosteemi-informaatiota, mikä auttaa suuntaamaan kehitystyötä oikeaan suuntaan ja avaamaan keskustelua tärkeimpien toimijoiden kesken tulevaisuuden kaupallistamisen mahdollisuuksista. Selvityksessä huomattiin, että tarve uusiutuvan energian ratkaisuille Etelä-Afrikassa on laajaa ja potentiaalinen kysyntä merkittävää. Jätehuollon ongelmat alueella ovat poikkeuksellisen isoja ja haastavia. Potentiaali biokaasun tuotantoon on kuitenkin suurta, sillä maataloudella, erityisesti karjataloudella, on iso merkitys ja rooli taloudessa.

Etelä-Afrikassa on paljon yksittäisiä biokaasuun liittyviä aloitteita käynnissä ja suunnitelmissa, mutta konkreettiset toteutus suunnitelmat vielä puuttuvat. Keskeinen sektoria eteenpäin vievä toimija on Southern African Biogas Industry Association (SABIA, noin 40 jäsentä). Muita keskeisiä toimijoita ovat Department of Mineral Resources and Energy (DMRE), maataloussektori, Development Bank of Southern Africa (DBSA) ja muutama yliopisto (esim. Stellenbosch) Markkina on vielä kehityksensä alkuvaiheessa. Etelä-Afrikassa on arviolta noin 30–40 (isohkoa) biokaasulaitosta toiminnassa. Osaavan työvoiman puute haittaa sektorin kehitystä ja on myös johtanut laitosten sulkemiseen.

#### *Johtopäätökset ja seuraavat askeleet*

Potentiaalisen kysynnän kääntäminen reaalikysynnäksi suomalaiselle kiertotalous- ja biokaasutoimialalle vaatii aktiivista reagoitua todettuun markkinamahdollisuuteen erityisesti vesisektorilla ja uusissa kaupunkikehityshankkeissa. Oleellista on suomalaisen biokaasusektorin tunnistaminen ja todellisen kiinnostuksen kartoittaminen. Jos kiinnostusta löytyy, seuraavana vaiheena on Y-MAX-hankkeessa kartoitetun ekosysteemin kontaktointi ja delegaatiomatkan järjestäminen Etelä-Afrikkaan, mikä on sitoutumisen osoittamiseksi erittäin tärkeää. Lisäksi tarvitaan yhteistyöprojektien tunnistamista ja myyntityön käynnistämistä. Mahdollisten rahoittajien kuten DBSA:n mukaan ottaminen on tärkeää heti alkuvaiheessa.

Teemaa tullaan pitämään esillä Y-MAX-hankkeen päättymisen jälkeenkin tulevien Etelä-Afrikan delegaatiomatkojen yhteydessä. Esimerkiksi Finnish Water Forumilla ja ulkoministeriöllä on yhteinen delegaatio AWSISA-konferenssissa 9.-12.11.2025 ja pääministeri Petteri Orpo vieraillee

Johannesburgissa ja Pretoriassa 26-27.11.2025. Finnish Water Forum on valmis edustamaan kiertotalouden ja biokaasutoimialan intressejä Etelä-Afrikassa jatkossakin.

## 3.2. Mittaustekniikkaa biokaasuprosessin reaaliaikaiseen monitorointiin

Y-MAX-hanke tarjosi Valmetille arvokkaan ympäristön kehittää ja testata ratkaisuja, jotka tukevat dataohjattua toimintamallia biokaasuprosessien hallinnassa. Kumppaneiden osaaminen ja avoin tiedonvaihto olivat keskeisiä, jotta mittausteknologian kehitys voitiin kytkeä osaksi laajempaa tavoitetta: tehokkaampaa, kestävämpää ja turvallisempaa lietteenkäsittelyä. Biokaasulaitoksen prosessi on herkkä syöttökuorman, lämpötilan ja koostumuksen vaihteluille, ja massatasapainon hallinta on kriittistä kaasuntuoton ja prosessin vakauden kannalta. Lisäksi mädätyksen jälkeinen lietteen kuivaus on taloudellisesti merkittävä vaihe, jossa tarkka mittaustieto tukee kemikaalien optimointia ja kustannustehokkuutta.

Hankkeen aikana Valmetin tutkimus sisälsi sekä nykyisten mittausratkaisujen ja teknologioiden arviointia ja soveltamista biokaasuprosessin tarpeisiin, että uusien mittausteknologioiden soveltuvuuden arvioimista. Työ toteutettiin käytännön tutkimuksena sekä laboratoriossa että kenttäolosuhteissa, mikä mahdollisti menetelmien toimivuuden ja luotettavuuden arvioinnin todellisissa prosessiympäristöissä.

Hankkeen aikana tutkimus sisälsi kolme keskeistä osa-aluetta:

- **Ideointi ja validointi:** Hankkeen alkuvaiheessa järjestettiin sisäisiä työpajoja ja keskusteluja, joissa R&D-tiimi, liiketoiminta ja tuoteryhmät yhdessä hahmottelivat uusia ratkaisuideoita. Tutkimuksen aikana suoritettujen kenttätestien tuloksia arvioitiin monialaisessa yhteistyössä, sekä sisäisesti asiantuntijoiden kanssa että yhdessä lietteenkäsittelylaitosten kanssa. Näin varmistettiin, että tutkimus- ja kehitystyö pohjautui tekniseen toimivuuteen ja käytännön sovellettavuuteen huomioiden asiakastarpeet ja liiketoimintamahdollisuudet.
- **Kenttätestit:** Toteutettiin käytännön kokeita lietteenkäsittelyprosesseissa, joissa arvioitiin reaaliaikaisen mittaustiedon merkitystä prosessin hallinnassa ja lietteenkäsittelyn optimoinnissa. Kenttätestit olivat keskeinen osa tutkimusta, sillä ne tarjosivat arvokasta dataa todellisista olosuhteista ja vahvistivat ideointivaiheessa tehdyt oletukset.
- **Yhteistyö pk-yrityksen kanssa:** Hankkeessa tehtiin tiivistä yhteistyötä suomalaisen pk-yrityksen kanssa uuden mittausteknologian tutkimuksessa. Yhteistyö sisälsi myös tutkimustyön ostamista palveluna, mikä nopeutti kehitystä tilanteessa, jossa omat resurssit olivat rajalliset. Tämä kumppanuus toi hankkeeseen uusia näkökulmia ja mahdollisti nopeamman etenemisen.

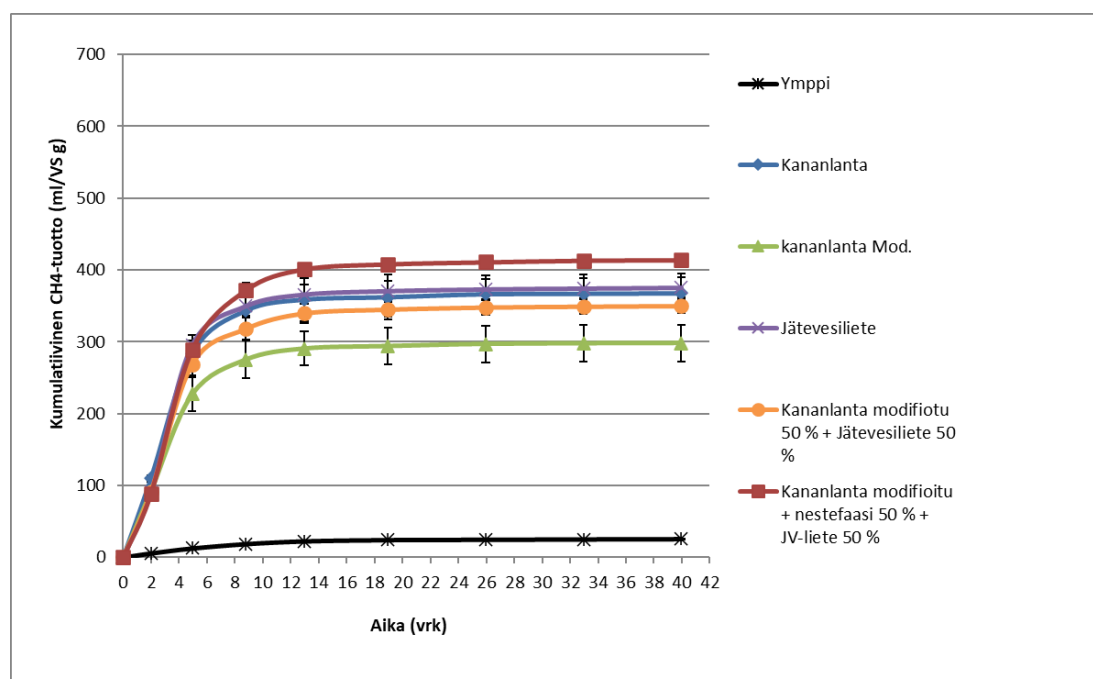
Tulosten perusteella on ollut mahdollista hahmotella optimointikonseptia, jossa mittaustieto integroidaan prosessinohjaukseen. Tämä luo pohjan ratkaisuille, jotka parantavat prosessin vakautta, vähentävät kemikaalien kulutusta ja tukevat ravinteiden kierrätystä sekä energiatehokkuutta biokaasulaitoksissa.

### 3.3. Typen talteenotto lannoitteeksi

Ductorin osuus tässä projektissa oli tuottaa tutkimusmateriaalia Xamkin biokaasukokeisiin. Tutkimusmateriaalina oli erilaiset kananlannat, joille Ductor teki typenpoistokäsittelyjä. Tutkimussuunnitelmassa oli mainittu tutkimusmateriaalina myös kalanlanta, mutta tutkimuksissa päätettiin keskittyä kananlantaan. Biokaasukokeiden tulokset on esitetty raportissa Xamkin osiossa kappaleessa 3.4. Ductorin typenpoistokäsittelyllä voidaan tuottaa orgaanisia typpilannoitteita, mikä auttaa vähentämään fossiilisella energialla tuotettujen epäorgaanisten lannoitteiden tarvetta. Samalla saatetaan biokaasulaitoksille perinteisesti hankalana pidetty syötemateriaali eli kananlanta biokaasuprosessiin paremmin sopivaan muotoon.

### 3.4. Kananlannasta lisäenergiaa jätevesilietteen mädätykseen

Biokaasukokeet osoittivat, että jätevesilietteen ja kananlannan yhteismädätyksellä voidaan lisätä kaasuntuottoa pelkän jätevesilietteen mädätykseen verrattuna. Ductorin typenpoistoprosessilla kananlannasta voidaan poistaa typpeä jo ennen yhteismädätysprosessia ja näin estää liiallisen typen inhibiitiovaikutuksia. Parhaiten biokaasukokeissa toimi yhteismädätys, jossa hyödynnettiin modifioitua kananlannan lisäksi typenpoiston yhteydessä talteen otettu nestefaasi yhdessä jätevesilietteen kanssa (kuva 4). Seossuhteena oli 50 % jätevesilietettä (kiintoainesta) ja 50 % modifioitua kananlantaa sekä nestefaasia.



**Kuva 4.** Eri syötemateriaalien ja -seosten kumulatiivinen metaanin tuotto orgaanisen aineen määrään (VS) suhteutettuna.

Jätevesilietteen biokaasuntuottopotentiaali vaihteli eri koesarjoissa 495–536 m<sup>3</sup>/tVS ja metaanintuottopotentiaali 263–350 m<sup>3</sup>/tVS. Käsittelemättömällä kananlannalla vastaavat arvot olivat puolestaan 443–608 m<sup>3</sup>/tVS ja 283–342 m<sup>3</sup>/tVS ja modifioidulla kananlannalla 195–408 m<sup>3</sup>/tVS ja 111–273 m<sup>3</sup>/tVS. Kalanlannan biokaasuntuottopotentiaali oli 583 m<sup>3</sup>/tVS ja metaanintuottopotentiaali 336 m<sup>3</sup>/tVS. Käsittelemättömän kananlannan biokaasun- ja metaanintuottopotentiaali oli siis yksittäisistä syötemateriaaleista korkein poikkeuksena yksi koesarja, jossa jätevesiliete tuotti enemmän kaasua.

Yhteismädätyksessä seossuhteella 25 prosenttia kananlantaa ja 75 prosenttia jätevesilietettä biokaasuntuottopotentiaali oli eri sarjoissa 318–517 m<sup>3</sup>/tVS ja seossuhteella 50 prosenttia kananlantaa ja 50 prosenttia jätevesilietettä 300–546 m<sup>3</sup>/tVS. Seossuhteen muuttaminen ei näyttänyt juurikaan vaikuttavan biokaasuntuottopotentiaaliin. Modifioidulla kananlannalla tuottopotentiaali oli käsittelemättömään kananlantaan verrattuna heikompi, mutta tämä ero selittyi sillä, että modifioinnin aikana typenpoistoprosessissa on jo poistunut biokaasua ja metaania. Sen sijaan nestefaasin mukaan ottaminen yhteismädätykseen modifioidun kananlannan lisäksi kasvatti biokaasun ja metaanin tuottopotentiaalia käsittelemättömän kananlannan tasolle. Nestefaasi sisältää typen poiston jälkeenkin helposti hajoavaa orgaanista ainesta, mikä lisää biokaasun tuottoa.

### 3.5. Suotonauhapuristin mädätteen loppukäsittelyssä

Y-MAX-hankkeen testit osoittivat, että loppumädätteen mekaaninen kuivaus suotonauhapuristimella ainakaan ilman polymeerin käyttöä ei ole tällä hetkellä teknisesti realistista. Ilman polymeeriä erotusaste jäi selvästi alle tavoitetason, eikä laitteisto pystynyt tuottamaan stabiilia kuiva-ainetta.

Tulokset tarjoavat perustan jatkokehitykselle. Seuraavissa vaiheissa voidaan tarkastella muun muassa mädätteen esikäsittelyä, kuivausparametrien optimointia ja mahdollisia lisäaineiden käyttöstrategioita. Näin voidaan kehittää ratkaisu, joka mahdollistaa loppumädätteen tehokkaan kuivaamisen ja samalla tukee ravinteiden kierrätystä sekä biokaasulaitoksen energiatehokkuutta.

Vaikka alkuperäinen tavoite toteuttaa kuivausprosessi täysin mekaanisesti ilman polymeeriä ei täyttynyt, koeajot tuottivat arvokasta tietoa materiaalin käyttäytymisestä ja prosessin rajoista. Tämä tieto on keskeistä, kun jatkossa pyritään kehittämään kaupallisesti toimivia ja ympäristöystävällisiä kuivausratkaisuja biokaasulaitosten loppumädätteelle.

### 3.6. Jätevesilietemädätteet kasvualustan ainesosana

Biokaasulaitosten mädätteet sisältävät runsaasti ravinteita, ja käyttämällä mädätteitä osana kasvualustoja saadaan ravinteet ja orgaaninen aines kiertoon kiertotaloutta edistäen. Laadukkaiden kasvualustatuotteiden kehittäminen vaatii kuitenkin tarkkaa optimointia. Y-MAX-hankkeessa toteutetut analyysit osoittivat, että kananlannan mädätys yhdessä jätevesilietteen

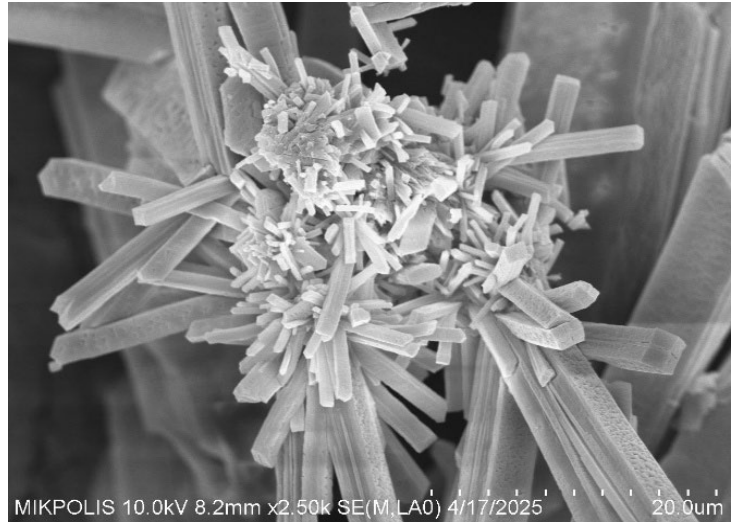
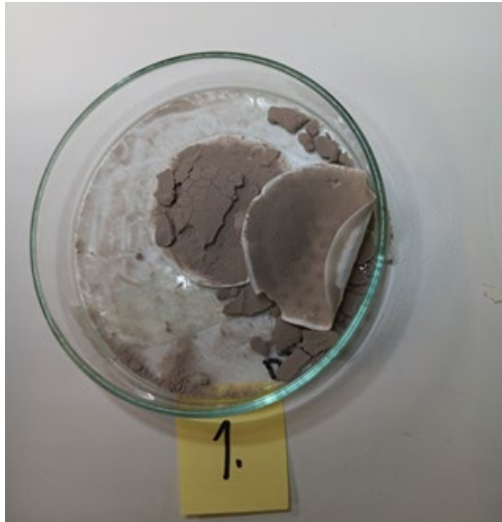
kanssa toi mädätteisiin runsaasti typpeä. Tämän ansioista vihanneskrassit kasvoivat rehevästi näistä mädätteistä valmistetuissa koeseoksissa, mutta tarkempi tarkastelu osoitti, että juuristo ei ollut yhtä vahvaa ja kasvit olivat haaroittuneempia kuin kaupallisessa kylvö- ja taimimullassa kasvaneilla kasveilla. Erityisesti jätevesilietteen mädäte puolestaan toi koeseoksiin fosforia. Jätevesilietemädätteen sisältämä fosfori on kuitenkin tiukasti sitoutuneena kiintoaineeseen ja kasveille helposti ja nopeasti hyödynnettävässä muodossa olevan vesiliukoisen fosforin pitoisuus jäi alhaiseksi. Myös kaliumin pitoisuus erityisesti jätevesilietteen mädätteestä valmistetuissa koeseoksissa jäi matalaksi.

Vaikka kananlantaa sisältävien mädätteiden lisääminen koeseokseen osoitti suotuisia vaikutuksia kasvuindeksiin, tarvitaan lisää tutkimusta, jotta esimerkiksi itävyys sekä ravinnepitoisuus saadaan optimaaliselle tasolle. Jatkossa olisi optimoitava seossuhteita, kompostointiaikaa ja koeseoksen ravinteiden tasapainoa, kuten liukoisen fosforin pitoisuutta. Ravinnetasapainon optimoimiseksi kasvualustojen reseptiikassa voisi hyödyntää muita sivuvirtoja tai tarvittaessa säätää ravinnepitoisuuksia mineraaliravinteilla. Ravinnepitoisuuksien perusteella tuotteita voidaan myös suunnata sopiville kasvilajeille ja tarkoituksiin.

### 3.7. Mädätteen fosfori talteen struviittina

Struviitin saostus erilaisista mädätenäytteistä onnistui laboratoriossa, ja tuloksena saatiin suhteellisen puhdasta struviittia, jossa lainsäädännössä asetetut raskasmetallien sallitut enimmäispitoisuudet eivät ylittyneet. Saantoprosentit olivat 59–63 prosenttia. Onnistunein kidemuoto havaittiin modifioidun kananlannan ja jätevesilietteen yhteismädätteestä saostetussa struviittisakassa (kuva 5).

Suomessa jätevedenpuhdistamoilla yleisesti käytössä olevan fosforin kemiallisen saostusmenetelmän myötä fosfori on mädätteessä pääosin tiukasti sitoutuneena rauta- ja alumiinisuoloihin, jolloin se pitää ensin vapauttaa liukoiseen muotoon. Monissa Euroopan maissa käytetään biologista fosforinpoistoa, joka helpottaa struviitin saostusprosessia. Hankkeessa testattu menetelmä onkin monivaiheinen ja vaatisi testausta isommassa mittakaavassa kustannustehokkuuden arvioimiseksi.



**Kuva 5.** Mädatteestä saostettu struviittisakka. SEM-kuva struviittikiteistä. (Kuvat Jonna Hauvala ja Kai Möller)

### 3.8. Tutkimustietoa jätevesilietteen mädatteiden sisältämistä haitta-aineista

Hankkeessa saatiin uutta tutkimustietoa jätevesilietteen ja sen mädatteiden sisältämistä haitta-aineista. Haitta-aineiden ja niiden pitoisuuksien tunteminen on tärkeää, sillä yhdisteet voivat päätyä takaisin ympäristöön, mikäli jätevesilietettä käytetään esimerkiksi maanparannusaineena, kasvualustana tai lannoitteena. Haitta-aineet voivat aiheuttaa terveysriskejä ja rajoittavat jätevesilietteen mädatteiden hyödyntämistä.

Jätevesilietteen mädatteesta löydettiin mikromuoveja yhdeksää eri laatua, joista lukumäärällisesti 10–50  $\mu\text{m}$ :n kokoluokan partikkeleita oli eniten. Näytteessä polypropeeni ja polyeteeni olivat vallitsevia muovilaatua. PFAS-yhdisteitä löydettiin liete- ja mädatenäytteistä muutamia. Kuivatussa ja rakeistetussa mädatteessa yhdisteitä havaittiin enemmän ja pitoisuudet olivat korkeammat. Lääkeaineista havaittiin yhdeksän eri yhdistettä, joista neljä kuuluu EU:n jätevesidirektiivissä (2024/3019) mainittuun lääkeaineryhmään, joka voi aiheuttaa terveyshaittaa. Raskasmetallipitoisuudet näytteissä eivät ylittäneet organisiselle maanparannusaineelle asetettuja sallittuja enimmäispitoisuuksia.

Vastaavaa analyysidataa esimerkiksi jätevesilietteen mädatteiden sisältämistä mikromuoveista ei vielä juurikaan ole saatavilla. Mikromuovien analyysimenetelmät ovat kehitysvaiheessa eikä niitä ole vielä standardoitu. Analyysit ovat myös työläitä ja kalliita toteuttaa. Y-MAX-hankkeessa mikromuovit oli tarkoitus analysoida kahdella menetelmällä.  $\mu\text{FTIR}$ -menetelmällä määrittäminen onnistui mutta pyrolyysi-GC-MS-menetelmällä määrittäminen mädatenäytteestä ei onnistunut, sillä mikromuovien erottelu kiintoaineksesta osoittautui hankalaksi.

## 4. Hankkeen vaikutukset

Hanke auttoi tavoitteidensa mukaisesti yrityksiä hankkimaan uutta tietoa ja osaamista uusien ratkaisujen kehittämiseen yhdyskuntajätevesilietteiden käsittelyyn. Hankkeessa tehtiin useita käytännön testauksia ja pilotointeja, joiden varsinaiset talous-, työllisyys- ja ympäristövaikutukset nähdään vasta myöhemmin. Hanke loi uuden yritysverkoston ja pohjaa menetelmäratkaisuille. Mukana olevat yritykset ovat sitoutuneita ja motivoituneita jatkamaan kehitystyötä, ja hankkeessa tehty markkinaselvitys antoi positiivisen signaalin teknologian kysynnälle ja vientimahdollisuuksille. Tämän voidaan olettaa tulevaisuudessa tuovan alalle talouskasvua ja työpaikkoja. Lisäksi esimerkiksi Valmetin reaaliaikaiset monitorointiratkaisut ja Dewacon mädätteen kuivausratkaisut voivat tulevaisuudessa tuoda biokaasulaitoksille kustannussäästöjä.

Hankkeen toimenpiteet kohdistuivat suoraan ravinteiden kierrätyksen ja uusiutuvan energian tuontantomäärien lisäämiseen, millä on positiivisia ympäristövaikutuksia muun muassa ilmastonmuutoksen hillinnässä. Hankkeessa testatulla Ductorin typenpoistokäsittelyllä voidaan tuottaa orgaanisia typpilannoitteita, mikä auttaa vähentämään fossiilisella energialla tuotettujen epäorgaanisten lannoitteiden tarvetta. Samalla saatetaan biokaasulaitoksille perinteisesti hankalana pidetty syötemateriaali eli kananlanta biokaasuprosessiin paremmin sopivaan muotoon. Xamkin laboratoriomittakaavan koeajot osoittivat, että kananlannan ja jätevesilietteen yhteismädätyksellä voidaan lisätä biokaasun tuottoa pelkän jätevesilietteen mädätykseen verrattuna. Liete- ja mädätyksistä toteutetuista haitta-aine- ja mikromuovianalyyseistä saatiin arvokasta uutta tutkimustietoa, joka auttaa ympäristön pilaantumisen ehkäisemisessä. Valmetin tulokset mittausteknologian testauksesta tukevat kemikaalien käytön optimointia ja lietteenkäsittelyn hallintaa, mikä vähentää vesistökuormitusta, parantaa ravinteiden kierrätystä ja edistää uusiutuvan energian tuotantoa.

Hanke ei ainoastaan tuottanut välittömiä hyötyjä, vaan loi pitkäjänteisen pohjan teknologiselle kehitykselle ja yhteistyölle, joka tukee kestävää bioenergian tuotantoa Suomessa. Hankkeessa luodut ratkaisut voivat osaltaan tehostaa yhdyskuntalietteen käsittelyprosessia, lisätä mädätyksen energiantuotantoa ja ravinteiden talteenottoa sekä minimoida loppujättemäärää laajemminkin tulevina vuosina, kun menetelmät saadaan laajempaan käyttöön.

## 5. Talousraportti

Hankkeen kokonaisbudjetti oli 679 798 euroa, josta ympäristöministeriön avustuksen osuus oli 68,3 % eli 464 213 euroa. Hankkeen aikana tehtiin pieniä muutoksia budjettiin kustannuslajien sisällä, jotka hyväksyttiin rahoittajan edustajalla. Taulukossa 3 on esitetty yhteenveto kustannusarvion toteutumisesta hankkeessa partnereittain.

**Taulukko 3.** Yhteenvedo kustannusarvion toteutumisesta hankkeessa.

Partneri	Kustannusarvio (€)	Toteutunut (€) 1.11.2024- 31.10.2025	Jäljellä (€)
Xamk	241 016	241 773	-757
Ductor	36 083	16 721	19 362
FWF	98 022	81 791	16 231
Valmet	134 742	119 049	15 693
Dewaco	155 075	167 915	-12 840
Intolead	14 860	13 291	1 569
<b>Yhteensä</b>	<b>679 798</b>	<b>640 254</b>	<b>39 258</b>

## 6. Yhteenvedo

Hanke tuotti uutta tutkimustietoa ja kehitti menetelmiä yhdyskuntajätevesilietteen käsittelyn ja biokaasuprosessin eri vaiheisiin. Keskeisenä hyötynä oli yritysten yhdessä toteuttama kehitystyö.

Finnish Water Forumin regulaatioselvityksessä tunnistettiin biokaasualan vaikuttavat regulaatiot. Selvitys osoitti, että lainsäädäntöön on tulossa tiukennuksia, jotka tulevat vaikuttamaan biokaasualan ja alan kaupallistamispotentiaaliin tulevina vuosina. FWF ei ole aiemmin toiminut biokaasusektorilla, mutta hanke avasi energiatuotannon alan merkittävyyttä ja mahdollisuuksia jäsenistölle ja yhdistys haluaa jatkossa käynnistää ja etsiä yhteistoimintaa myös tällä sektorilla. Tämä on myös EU:n vesiresilienssistrategian tavoitteiden mukaista toimintaa.

Intoleadin Etelä-Afrikkaan suuntautuneessa markkinaselvityksessä huomattiin, että tarve uusiutuvan energian ratkaisuille Etelä-Afrikassa on laajaa ja potentiaalinen kysyntä merkittävää. Potentiaalisen kysynnän kääntäminen reaalikysynnäksi suomalaiselle kiertotalous- ja biokaasutoimialalle vaatii aktiivista reagoitua todettuun markkinamahdollisuuteen. Jatkossa oleellista on suomalaisen biokaasusektorin tunnistaminen ja todellisen kiinnostuksen kartoittaminen. Jos kiinnostusta löytyy, seuraavana vaiheena on Y-MAX-hankkeessa kartoitetun ekosysteemin kontaktointi ja delegaatiomatkan järjestäminen Etelä-Afrikkaan, mikä on sitoutumisen osoittamiseksi erittäin tärkeää. Lisäksi tarvitaan yhteistyöprojektien tunnistamista ja myyntityön käynnistämistä.

Valmetin osalta hanke vahvisti osaamista biokaasuprosessien mittausteknologioissa ja loi pohjaa uusille kehityshankkeille. Yhteistyö tutkimuslaitosten ja pk-yritysten kanssa toi uusia näkökulmia ja mahdollisuuksia mittausteknologian kehitykseen sekä vahvisti ekosysteemipohjaista innovaatiomallia. Kenttätestit ja asiakasvalidointi loivat arvokasta tietoa, jota Valmet hyödyntää tulevissa tutkimus- ja kehityshankkeissa.

Xamk ja Ductor tutkivat yhteistyössä jätevesilietteen ja kananlannan yhteismädätystä. Xamkin biokaasukokeet osoittivat, että jätevesilietteen ja kananlannan yhteismädätyksellä voidaan lisätä kaasuntuottoa pelkän jätevesilietteen mädätykseen verrattuna. Ductorin typenpoistoprosessilla kananlannasta voidaan poistaa typpeä jo ennen yhteismädätysprosessia ja näin estää liiallisen typen inhibiitiovaikutuksia. Kananlannan ja jätevesilietteen yhteismädätystä voisi tutkia seuraavaksi jatkuvatoimisessa prosessissa. Tämä voisi paljastaa prosessissa mahdollisesti pidemmän ajan kuluessa syntyvät inhibiitiovaikutukset.

Xamk valmisti myös jätevesiliete- ja kananlantapohjaisista mädätteistä koeseoksia kasvualustoiksi ja testasi niiden ominaisuuksia laboratorioanalyseillä, kasvatuskokeilla ja ekotoksisuustesteillä. Lisäksi Xamk testasi laboratoriossa struviitin saostusta mädätteistä kierrätyslannoitteeksi ja tutki mädätteiden haitta-aine- ja mikromuovipitoisuuksia. Tulokset osoittivat, että mädätteistä saadaan ravinteita kasvualustoihin, mutta jatkossa olisi optimoitava seossuhteita, kompostointiaikaa ja koeseoksen ravinteiden tasapainoa, kuten liukoisen fosforin pitoisuutta. Jätevesilietepohjaisista mädätteistä löydettiin mikromuoveja, PFAS-yhdisteitä ja lääkeaineita, mutta tutkimustietoa tarvitaan lisää, jotta voidaan arvioida näiden riskejä hyödynnettäessä mädätteitä esimerkiksi maanparannusaineina. Struviitin saostaminen mädätteistä olisi lupaava tapa ottaa talteen ravinteita, mutta kustannustehokkuuden arvioimiseksi hankkeessa testattua menetelmää tulisi päästä kokeilemaan isommassa mittakaavassa.

Dewacon toteuttamat testit osoittivat, että jätevesilietepohjaisen loppumädätteen mekaaninen kuivaus suotonauhapuristimella ainakaan ilman polymeerin käyttöä ei ole tällä hetkellä teknisesti realistista. Tulokset tarjoavat kuitenkin perustan jatkokehitykselle. Seuraavissa vaiheissa voidaan tarkastella muun muassa mädätteen esikäsittelyä, kuivausparametrien optimointia ja mahdollisia lisäaineiden käyttöstrategioita. Näin voidaan kehittää ratkaisu, joka mahdollistaa loppumädätteen tehokkaan kuivaamisen ja samalla tukee ravinteiden kierrätystä sekä biokaasulaitoksen energiatehokkuutta.