

Loppuraportti

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027 15.05.2025

Biokaasulaitoksen tekninen ja taloudellinen tarkastelu sekä jäteveden lämmöntalteenottoratkaisun konseptitason suunnittelu Lapinlahden Suoniemeen

Niko Nevalainen, Julia Virtanen, Arttu Juntunen,
Anni Bruun, Mari Saario ja Janne Hautala

Sisällysluettelo

1. Johdanto	4
2. Biokaasulaitos, tekninen konsepti, liiketoiminta ja kannattavuus.....	5
2.1 Syötevirrat ja mädätteet.....	6
2.1.1 Syötteet.....	6
2.1.2 Syötteiden esikäsittely.....	7
2.1.3 Maatalousbiomassaan liittyvät kestävyyskriteerit.....	8
2.2 Laitostyyppien ja -tekniikan esittely ja vertailu.....	10
2.2.1 Anaerobisen hajoamisen päävaiheet.....	10
2.2.2 Prosessin kuvaus ja päälaitteet	11
2.2.3 Märkä- ja kuivamädätys	12
2.2.4 Yksi- ja kaksivaiheinen prosessi	13
2.3 Lopputuotteet.....	13
2.3.1 Biokaasun paineistus ja nesteytys	14
2.3.2 CBG:n ja LBG:n logistiikka	15
2.4 Suoniemen biokaasulaitoskonseptien yleiskuvaukset ja syötteet.....	16
2.4.1 Biokaasulaitoksen konsepti	20
2.4.2 Laitoksen sijainti ja alue	20
2.5 Konseptien massa- ja energiavirrat.....	22
2.5.1 Laitoskonsepti 1	24
2.5.2 Laitoskonsepti 2	24
2.6 Biokaasun kysyntäpotentiaali	25
2.6.1 Biokaasun kaupallinen käyttö.....	25
2.6.2 Hiilidioksidi.....	26
2.6.3 Mädätysjäännöksen hyödyntäminen	27
2.7 Valittujen laitosten konseptien kassavirta- sekä kannattavuuslaskelmat.....	27
2.7.1 Investointikustannusten arviointi (CAPEX).....	27
2.7.2 Laitosten käyttökustannusten arviointi (OPEX).....	29
2.7.3 Laitosten myyntitulojen arviointi.....	31
2.7.4 Laitosten kannattavuuslaskennat.....	33
2.7.5. Mahdollisuuksia parantaa laitosinvestointien kannattavuutta.....	35
3. Lapinlahden biokaasuekosysteemi ja sen jatkokehitysmahdollisuudet.....	37
3.1 Ravinteita kierrättävä ekosysteemi, markkinat ja käyttökohteet	37
3.1.1 Maatalous ja peltoviljely	39
3.1.2 Metsäteollisuus.....	40

3.1.3 Kasvualustojen kaupalliset valmistajat	41
3.1.4 Kauppapuutarhat ja avomaanviljely	41
3.1.5 Puutarhamyymälät.....	42
3.1.6 Golf-kentät.....	42
3.2 Mädatteen jalostamisen ratkaisu	43
3.2.1 Kierrätyspohjaisia ravinnetuotteita koskeva sääntely	43
3.2.2 Kompostointi jatkokäsittelymenetelmänä	44
3.2.3 Termiset ja mekaaniset käsittelyvaihtoehdot	45
Biohiiltäminen	45
Separointi ja kiinteät fraktiot	46
Mädätysjäännös-tuhkaseoksen rakeistaminen.....	46
3.3 Ekosysteemin kehittäminen ja kumppanuudet	48
3.4 Tiekartta Suoniemen alueen ravinnekierron ekosysteemin kasvulle.....	48
3.4.1 Lyhyen aikavälin ratkaisu mädatteelle.....	48
3.4.2 Kasvun mahdollisuudet alkutuotannossa ja muissa käyttökohteissa	49
3.4.3 Ekosysteemin synnyttäminen ja kasvaminen	49
4. Jäteveden lämmöntalteenoton toteutus ja kannattavuus	51
4.1. Tausta ja tavoite	51
4.2. Lyhenteet	51
4.3. Lähtötiedot ja niiden käsittely	52
4.4. Jäteveden energiapotentiaali	54
4.5. Lämmön käyttökohteet	55
4.6. LTO-järjestelmän mitoitus	56
4.7. LTO-järjestelmän tuotanto	57
4.8. LTO-järjestelmä ja lämpöpumput.....	59
4.9. LTO-järjestelmän periaatekaavio ja toiminta	61
4.10. LTO-järjestelmän sijoittelu.....	61
4.11. LTO-järjestelmän investointikustannusarvio.....	63
4.12. LTO-järjestelmän kannattavuus ja LCOH.....	63
4.13. LTO-järjestelmän kannattavuus takaisinmaksuajan kautta	64
5. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	67
5.1. Biokaasun tuotanto.....	67
5.2 Ravinteiden kiertotalouden ekosysteemin kehitys.....	69
5.3 Lämmön talteenotto.....	69
5.4 Suositukset ja jatkoselvitystarpeet	70

5.4.1 Biokaasun tuotanto	70
5.4.2 Lapinlahden biokaasuekosysteemi ja ravinteiden kierrätys	71
5.4.3 Jäteveden lämpöenergian hyödyntämisen toteutus ja kannattavuus	72
Lähdeluettelo	73
Liitteet.....	76

1. Johdanto

Lapinlahden kunta on saanut Pohjois-Savon liiton JTF-rahoitusta Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027 EU:n alue- ja rakennepolitiikan ohjelmasta, jonka tarkoituksena on tutkia Suoniemen alueen kehittämismahdollisuuksia kiertotalousalueena, joka edistää puhdasta siirtymää. Hanke sisältää suunnitelman kiertotalousalueen perustamiseksi ja biotalouden elinkeinojen kehittämiseksi alueella. Tavoitteena on innostaa uusia investointeja ja houkutella sijoittajia alueen mahdollisuuksien pariin sekä esiselvittää käytännön investointihankkeiden aloittamista. Hankkeen toteutusaika on 1.5.2024–30.6.2025, ja sen kokonaisrahoitus on yhteensä 206 068 euroa, josta kunnan osuus on 20 % ja EU:n/valtion osuus 80 %. Kunnan yhteyshenkilöinä olivat hanketyöntekijä Roosa-Maria Lahnavik, kunnanjohtaja Henri Ruotsalainen sekä tekninen johtaja Rami Linna.

Sweco Finland Oy toteutti ajalla 1.9.2024–29.11.2024 esiselvityksen, jonka tulosten perusteella laadittiin tämä jatkokehittämisselvitys niistä investointikohteista, jotka esiselvityksessä todettiin lupaavimmiksi puhtaan siirtymän osalta. Jatkoselvityksen tavoitteena on löytää teknistaloudellinen ratkaisu biokaasuliiketoiminnalle sekä suunnitella jäteveden lämmöntalteenottoratkaisua konseptitasolla. Näiden toimenpiteiden avulla pyritään parantamaan uusien investointien ja liiketoimintojen toteutumisedellytyksiä alueella.

Selvitys koostuu kolmesta toisiinsa kytkeytyvästä kokonaisuudesta eli ns. ”työpaketista”, joita voidaan tarkastella myös melko itsenäisinä temaattisina osioina. Ensimmäinen kokonaisuus on Biokaasulaitos ja sen tekninen konsepti, liiketoiminta ja kannattavuus, toinen kokonaisuus Lapinlahden biokaasuekosysteemi ja sen jatkokehitysmahdollisuudet ja kolmas kokonaisuus Jäteveden lämmöntalteenoton toteutus ja kannattavuus. Jokainen työkokonaisuus on kirjoitettu niin, että lukija voi halutessaan tarkastella työpaketteja myös itsenäisinä kappaleina.

Ensimmäisessä osiossa kehitetään biokaasulaitoksen teknistä konseptia ja arvioidaan sen liiketoimintamallia sekä kannattavuutta. Aluksi tarkennetaan esiselvityksestä saatuja tietoja lähialueiden potentiaalisista syötteistä, mukaan lukien niiden määrät, laatu ja saatavuus. Tiedonkeruuta varten haastatellaan paikallisia maatiloja ja muita mahdollisia kumppaneita Lapinlahden alueella.

Syötepuhjan analyysin jälkeen suunnitellaan biokaasulaitoksen tekninen konsepti ja toteutus. Selvityksessä tarkastellaan kahta erilaista konseptia, jotka auttavat määrittelemään optimaalista laitoksen kokoa. Vaihtoehtoina ovat suurempi laitos, joka hyödyntää laajempaa syötepuhjaa, sekä pienempi laitos, joka keskittyy pääasiassa paikallisiin syötteisiin. Syötepuhjan perusteella määritellään molemmille laitostyöskoluokille massa- ja energiavirrat, esitellään laitoksen keskeiset komponentit ja tehdään alustava asemakuva Lapinlahden kunnan määrittämälle tontille.

Lopuksi selvityksessä kartoitetaan biokaasun ja muiden lopputuotteiden kysyntäpotentiaalit sekä markkinatilanne. Tämän analyysin perusteella voidaan tarkentaa laitoksen liiketoimintamallia sekä tulonmuodostusta koskevaa kannattavuuslaskentaa. Selvityksessä arvioidaan konseptitasolla investointi- ja käyttökustannuksia sekä arvioidaan kassavirrat ja kannattavuudet molemmille laitostokoluokille. Työ perustuu pääasiassa julkisesti saatavilla olevaan aineistoon, tilaajan toimittamiin lähtötietoihin, yrityksiltä saatuihin haastatteluinformaatioihin sekä Swecon sisäiseen dataan ja arvioihin.

Toisessa työpaketissa tunnistetaan mädätteen hyödyntämisen potentiaalisia asiakasryhmiä sekä mahdollisia kehityskumppaneita ja yhteistyötahoja biokaasulaitoksen ympärille rakentuvan ravinnekiertoekosysteemin luomiseksi. Lisäksi työpaketissa kartoitetaan erilaisia ratkaisuja mädätteen jatkojalostamiselle, tunnistetaan kansallisen ja EU-tason lainsäädännön reunaehdot ja arvioidaan logistiikan merkitystä eri vaihtoehtoissa. Työpaketissa hyödynnetään myös sidosryhmien osallistamista ja näkemyksiä ajankohtaisesta ravinnekiertomarkkinasta muun muassa tiedonkeruuhaastatteluilla, sekä syvennetään Suoniemen alueen toimijoiden verkostoitumista työpajatyöskentelyllä. Osion tavoitteina on koostaa yhteenveto mädätteen nykyisestä markkinakysynnästä ja liiketoimintapotentiaalista pohjautuen aiemmassa työpaketissa hahmoteltuihin syötteisiin, sekä muodostaa alustava tiekartta mädätteen käytölle huomioiden lyhyen ja pidemmän aikavälin, nykyiset sääntelyn rajaukset ja mahdollisia teknologiavaihtoehtoja mädätteen jatkojalostukselle.

Kolmannessa työpaketissa käydään läpi Lapinlahden jätevedenpuhdistamon jäteveden lämmöntalteenoton toteutettavuutta sekä kannattavuutta. Työpakettin tavoitteina ovat energiapotentiaalin selvittäminen, eli talteen otettavan lämpöenergian määrän, tehon sekä hyödynnettävyyden arviointi eri kohteissa. Ensiksi käydään asiakkaan kanssa läpi lähtötiedot ja määritellään konsepti alustavasti, ottaen huomioon reunaehdot. Tämän jälkeen mallinnetaan lämmön talteenottoratkaisu ja sen kannattavuus käytettävissä olevan datan perusteella.

Kun jäteveden lämmöntalteenoton potentiaali on kartoitettu, voidaan tunnistaa alueen lämpöenergian hyödyntämiskohteet, kuten Lapinlahden kaukolämpöverkko sekä biokaasulaitos, jota käsitellään työpaketissa 1. Tarkemmin tarkasteltavien tapausten kohdalla mitoitetaan alustavasti teknis-taloudellisesti kannattava lämpöpumppujärjestelmä mahdollisine priimauksineen suhteessa lämmön kysyntään.

Lopuksi esitellään periaatekytkentäkaavio konseptitasolla sekä todennäköinen liityntäkohta hukkalämmön talteenotolle. Kuvataan laitteisto, teknologia ja lämmöntalteenotto prosessi pääpiirteissään.

Raportissa esitetään yhteenvetona työpakettien tärkeimmät tulokset ja suositukset lisäselvitystarpeista. Lisäksi siitä on laadittu PowerPoint-muotoinen tiivistelmä.

2. Biokaasulaitos, tekninen konsepti, liiketoiminta ja kannattavuus

Tässä luvussa tarkastellaan biokaasulaitosten käyttöön soveltuvia syötteitä ja niiden ominaisuuksia, biokaasulaitoksen toimintaa erilaisine prosessivaihtoehtoineen, sekä sen tuottamia lopputuotteita. Sen lisäksi selvityksessä perehdytään biometaanin paineistukseen, nesteytykseen ja logistiikkaan. Tavoitteena on tarjota lukijalle kattava ymmärrys biokaasulaitoksen toiminnasta ja lopputuotteiden hyödyntämisestä.

Teoriaosuuden jälkeen selvityksessä esitetään Lapinlahden Suoniemen alueelle valitun teknisen konseptin toteutus ja kuvaus. Luvussa käydään läpi kahden eri skenaarion, pienen ja suuren biokaasulaitoksen, osalta sekä näiden konseptien kuvaukset. Skenaarioiden laitoksille laaditaan prosessikuvaukset lohkokaa viotasolla sekä laitoksen investointi- ja käyttökustannusarviot molemmille skenaarioille.

Lopuksi esitetään arviot biokaasun kysyntäpotentiaalista ja liiketoimintamallista. Kappaleessa tarkastellaan, millaisia kaupallisia mahdollisuuksia biokaasulaitoksen lopputuotteille on tarjolla. Luvun päätteeksi käydään läpi valittujen skenaarioiden ja konseptien myyntitulo-, kassavirta- ja kannattavuuslaskelmat.

2.1 Syötevirrat ja mädätteet

Tämän luvun keskeiset teemat käsittelevät erilaisten syötteiden soveltuvuutta biokaasutuotantoon, sekä niiden esikäsittelyä ja käsittelymenetelmiä. Biokaasun tuotantoon soveltuvat syötteet voidaan jakaa eri alkuperän mukaan maatalouden, teollisuuden ja yhdyskuntien jätteisiin ja sivutuotteisiin, joista jokaisella on omat etunsa ja haasteensa niitä käsiteltäessä.

2.1.1 Syötteet

Biomassalla tarkoitetaan elävistä organismeista peräisin olevaa biologista materiaalia. Erityisen hyvin biokaasun tuotantoon soveltuvat biomassat, jotka sisältävät runsaasti helposti biohajoavaa ainetta, kuten hiilihydraatteja, proteiineja ja rasvoja. Mitä suurempi osuus syötteen kuiva-aineesta on helposti hajoavaa orgaanista ainesta ja mitä vähemmän siinä on epäorgaanista tai huonosti hajoavaa materiaalia, kuten kuituja, sitä paremmin se sopii biokaasutuotantoon¹. Esimerkiksi metsäbiomassat, joissa on runsaasti vaikeasti hajotettavaa ligniiniä, eivät sovellu suoraan biokaasutuotannon syötteiksi. Biokaasutuotantoon käytettävät syötteet voidaan myös luokitella niiden alkuperän mukaan maatalouden, teollisuuden ja yhdyskuntien biomassoihin².

Maataloudesta saataviin biomassoihin kuuluvat esimerkiksi eläinten lanta, sekä erilaiset nurmi- ja olkijakeet. Lannat soveltuvat biokaasuprosessin syötteiksi erinomaisesti, sillä ne sisältävät luonnostaan anaerobiseen hajoamiseen osallistuvia mikrobeja, ja niiden korkea vesipitoisuus mahdollistaa muiden, kuiva-ainepitoisempien syötteiden laimentamisen. Niitä syntyy jatkuvasti, ne ovat tasalaatuisia, eikä niissä ole juuri haitallisia aineita, kuten puhdistamolietteilissä. Lisäksi lannoilla on hyvä puskurointikyky ja ne sisältävät välttämättömiä hivenaineita. Haasteena lannoissa on, että niiden metaanintuottopotentiaali on suhteellisen alhainen, koska ne sisältävät vain rajallisesti energiapitoisia orgaanisia aineita. Lannoissa voi esiintyä hiilen lähteiden vajetta, joten niiden metaanintuoton parantamiseksi käytetään usein syötteitä, jotka sisältävät enemmän hiiltä. Maatalouden biomassat ovat puhtaita, joten niiden mädätysjäännöksiä voidaan hyödyntää ilman rajoitteita. Metaanintuottopotentiaaliin vaikuttaa kasvibiomassojen käytetty lajike, sekä kasvuolosuhteet. Olki, joka syntyy viljelyssä, on myös hyvä biokaasun lähde, mutta se vaatii pidemmän käsittelyajan kuin nurmi.³

Biojätteen koostumus vaihtelee keräyspaikan mukaan, ja se voi sisältää myös biokaasun tuotantoon soveltumatonta materiaalia, kuten muovia, metallia ja lasia. Siksi biojäte on aina esikäsiteltävä epäpuhtauksien poistamiseksi. Lisäksi biojätteen kuiva-ainepitoisuus on keskimäärin liian korkea

¹ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

² Motiva Oy, 2013

³ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

märkämädätykseen, joten sitä tulee käsitellä nestemäisen materiaalin kanssa kuiva-ainepitoisuuden laskemiseksi. Myös teollisuudesta saatavat sivuvirrat ja jätevedet soveltuvat biokaasuntuotantoon niiden tasaisen koostumuksen ja siten korkean metaanintuottopotentialin vuoksi, mutta toisaalta niiden koostumus voi jäädä yksipuoleiseksi, mikä saattaa vaikuttaa ravinteiden saantiin ja siten metaanintuottoon.

Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilta saatavat syötteet ovat hyviä biokaasuprosessiin, koska ne ovat helposti käsiteltäviä ja niitä on saatavilla säännöllisesti⁴. Mädätysjäännökseen voi kuitenkin päätyä haitta-aineita, jotka rajoittavat sen käyttöä lannoitteena. Puhdistamolietteet sisältävät erilaisia kemikaaleja, orgaanisia haitta-aineita, lääkettämiä ja mikromuoveja, jotka päätyvät jätevesiin kotitalouksista. Myös hulevedet voivat tuoda mukanaan raskasmetalleja. Puhdistamolietteiden käyttöön lannoitusvalmisteenä voi liittyä rajoitteita mm. viljanostajien sopimusehtojen osalta.

2.1.2 Syötteiden esikäsittely

Kiinteät syötteet puretaan yleensä vastaanottoasemana toimivaan siiloon, josta ne siirretään hydraulisten purkainten, syöttöruuvien, kahmarikouralla varustetun siltanosturin tai hydraulisesti säädettyjen seinien avulla. Laitoksilla on lisäksi poikkeustilanteita varten varapurkupaikka. Syötteiden alkuvaiheen mekaanisen käsittelyn tarve riippuu syötteiden laadusta ja laitosteknologian vaatimuksista. Esimerkiksi maatalouden biomassalle, kuten nurmelle ja kasvien osille, riittää yleensä murskaus tiettyyn maksimipalakokoon. Lannat eivät yleensä vaadi esikäsittelyä. Haastavampien materiaalien, kuten olkien, käymisprosessin tehostamiseksi voidaan tarvittaessa käyttää entsyymejä tai kemikaaleja. On myös tärkeää huomioida olki- ja rehupaalien pakkausmateriaalit esikäsittelysuunnittelussa⁵.

Biojätteet puolestaan vaativat lähes aina esikäsittelyä, riippumatta niiden alkuperästä ja keräystavasta. Tämä johtuu niiden sisältämästä pakkausmateriaalista, joka voi heikentää käsittelyjäännöksen lannoitusarvoa sekä aiheuttaa tukkeutumis- ja rikkoutumisriskejä laitostekniikalle. Laitteistona voi toimia esimerkiksi vasaramyllyt, hydromekaaniset pulpperit, tai rumpuseulat⁶.

Märkämädätyslaitoksissa syötemateriaalin tulee olla pumpattavassa muodossa, jossa kuiva-ainepitoisuus on 8–15 % ennen reaktoria. Tätä prosessia kutsutaan liettämiseksi, jossa syötteen sekaan sekoitetaan nestettä, usein mädätteen separoinnista saatuja nesteitä. On tärkeää varmistaa, ettei veteen liuennut tyyppi rikastu liikaa reaktorissa. Liettämisen jälkeen massasta voidaan erottaa epäpuhtauksia, kuten muovijätettä, kiviä ja hiekkaa⁷.

Hygienisoinnin tavoitteena on eliminoida riittävä määrä haitallisia bakteereita ja taudinaiheuttajia, kuten salmonella- ja kolibakteereita, käsiteltävästä materiaalista. Sivutuoteasetuksen mukaan hygienisointi on suoritettava kuumentamalla materiaali vähintään tunnin ajan +70 °C:ssa, jolloin maksimikoko palasille on 12 mm. Tänä aikana massaa ei saa poistaa tai lisätä, ja lisävaatimuksia voi olla myös lämpötilan seurannalle sekä vikatilanteiden hallinnalle.⁸

⁴ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

⁵ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

⁶ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

⁷ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

⁸ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

Hygienisointi voidaan toteuttaa joko ennen tai jälkeen mädätysreaktoria. Jälkihygienisointi on tällä hetkellä hieman yleisempää. Joissain tapauksissa hygienisointi voidaan myös suorittaa biokaasureaktorissa prosessin aikana, mikäli prosessilämpötila on riittävän korkea.⁹

Eri menetelmillä on omat etunsa ja vaikutuksensa. Ennen reaktoria tapahtuva hygienisointi mahdollistaa sen, että voidaan valita tai säädellä, mitkä materiaalivirrat hygienisoidaan, kun taas jälkikäteen tapahtuvassa hygienisoinnissa kaikki materiaalit käsitellään. Esimerkiksi mädätysjäännöksen nestejätettä ei välttämättä hygienisoida, jos se tulee prosessin sisältä. Lisäksi mädätysjäännöksen aumakompostointi voi joidenkin tapauksien mukaan toimia hygienisoivana vaiheena, mutta useissa laitoksissa kompostointia ei kuitenkaan toteuteta.

Jos hygienisointi toteutetaan biokaasureaktorissa, mädätyksestä käytetään tällöin termiä termofiilinen mädätys, jolloin prosessin lämpötila on noin 50–60 °C¹⁰. Koska prosessin lämpötila on korkea, tapahtuu mädätysprosessi paljon nopeammin kuin matalammissa lämpötiloissa. Toisaalta haasteena on, että prosessi on herkempi erilaisille häiriöille. Lisäksi korkeammilla lämpötiloilla toimivat biokaasureaktorit kuluttavat enemmän energiaa toimiakseen hyvin¹¹.

Hygienisoitua mädätejäännöstä voidaan hyödyntää esimerkiksi maanparannusaineena tai peltolannoituskäytössä¹². Lainsäädäntö edellyttää biokaasulaitokselta automaatiojärjestelmän ohjailemaa hygienisointia, ja hygienisoinnin tietokannasta tulee löytyä erakohtaiset tiedot käsittelyajoista ja -lämpötiloista valvovan viranomaisen tarkastuksia varten. Mikäli prosessin käsittelylämpötila alittaa riittävän lämpötilan raja-arvon, tulee massa kierrättää uudelleen hygienisoitavaksi. Hygienisointia voidaan varmentaa määrittämällä hygienisoidusta massasta salmonella- ja E. coli -näytteet¹³.

2.1.3 Maatalousbiomassaan liittyvät kestävyyskriteerit

Maatalousbiomassan käyttöön biokaasulaitoksen syötteenä liittyy EU-tason sääntelyä, joista keskeisimmät ovat uusiutuvan energian direktiivit RED II ja RED III (Renewable Energy Directive EU/2018/2001)¹⁴. Nurmen suhteellisen suuri osuus syötekokonaisuudesta voidaan nähdä eräänlaisena epävarmuustekijänä, joka tulee tunnistaa osana laitoksen suunnittelun riskienhallintaa. Maatalousbiomassojen sääntelyllä pyritään varmistamaan, että biokaasun tuotanto tapahtuu kestävästi eikä esimerkiksi monimuotoisuudeltaan arvokkaita alueita valjasteta biokaasun tuotantoon ohjautuvan nurmen viljelykäyttöön.

Vuosien 2009 ja 2018 RED-direktiivien pohjalta päivitettyssä RED III -direktiivissä otetaan käyttöön tiukempia toimenpiteitä, joilla varmistetaan, että kaikki mahdollisuudet uusiutuvien energialähteiden kehittämiseksi ja käyttöön ottamiseksi hyödynnetään täysimääräisesti, jotta voidaan saavuttaa EU:n tavoite ilmastoneutraaliudesta vuoteen 2050 mennessä ja vahvistaa Euroopan energian toimitusvarmuutta. Biokaasutoimialan kasvun tueksi julkaistiin 28.1.2020 Suomen ensimmäinen kansallinen biokaasuohjelma, joka antoi 24 toimenpide-esitystä biokaasun potentiaalin toteuttamiseksi. Yksi näistä toimenpiteistä koski biokaasun kestävyyttä, tarkemmin ottaen biokaasuohjelman julkaisun aikaan silloisen RED II:n kestävyyskriteerien kansallista toimeenpanoa.

⁹ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

¹⁰ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

¹¹ Motiva Oy, 2013

¹² Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

¹³ Lääkkölä, 2022

¹⁴ Euroopan Komissio, n.d.

RED II:n myötä kestävyyskriteerien soveltamisala laajeni pelkistä bionesteistä myös kiinteiden ja kaasumaisten biomassojen käyttöön sähkön, lämmön ja jäähdytyksen tuotannossa, mikä vaati kansallisen kestävyyskriteerilainsäädännön muuttamista¹⁵.

Jakeluvelvoitelain 5.3 §:n mukaan jakelijan on osoitettava, että jakeluvelvoitteen alaiset uusiutuvat polttoaineet täyttävät kestävyyslaissa säädetyt kestävyyskriteerit. Kyseiset kestävyyskriteerit tarkoittavat kestävyyslain 5 a §:n 2 momentissa, 6, 6 a, 7–10 ja 10 a §:ssä säädettyjä vaatimuksia. Näistä 5 a §, 7–10 § ja 10 a § koskevat biopolttoaineiden, bionesteiden ja biomassapolttoaineiden valmistukseen käytetyn biomassan kestävyttä. Biomassojen välillä on annettu erikseen kriteerit maatalousbiomassalle ja metsäbiomassalle sekä maatalousmaan jätteille ja tähteille. Energiavirasto, joka hoitaa kestävyyslain mukaisia viranomaistehtäviä ja valvoo sen noudattamista, on linjannut, että biokaasulaitosta varten viljelty nurmi katsotaan kestävyyslain mukaan syötäväksi kelpaamattomaksi selluloosaksi ja luokitellaan maatalousbiomassaksi. Näin ollen nurmesta tuotettu biokaasu täyttää kestävyyskriteerit, jos

1. Nurmi (maatalousbiomassa) ei saa olla peräisin alueelta, joka tammikuussa vuonna 2008 tai sen jälkeen oli kestävyyslain 7 §:ssä säädetyltä biologisesti monimuotoiselta alueelta
2. Nurmi (maatalousbiomassa) ei ole peräisin alueelta, jonka maankäyttömuoto on muuttunut pysyvästi vuoden 2008 tammikuun jälkeen kestävyyslain 8 §:ssä säädetyllä tavalla
3. Nurmi (maatalousbiomassa) ei saa olla peräisin kuivattamattomalta turvemaalta kestävyyslain 9 §:n mukaisesti

Maatalousbiomassan tulee täyttää kaikki yllä mainitut kriteerit riippumatta siitä, onko raaka-aine tuotettu EU:n alueella vai sen ulkopuolella. Kestävyyslain 5 a.2 § asettaa maatalousmaasta peräisin oleville jätteille ja tähteille lisäkriteerin, jonka mukaan maatalousmaasta peräisin olevista jätteistä ja tähteistä tuotettujen biopolttoaineiden, bionesteiden ja biomassapolttoaineiden osalta tulee toiminnanharjoittajalla olla käytössä seuranta- tai hallintasuunnitelmat maan laatuun ja maaperän hiileen kohdistuviin vaikutuksiin puuttumiseksi. Tämä vaatimus ei kuitenkaan koske sellaista kaasumaisia biomassapolttoaineita tuottavaa laitosta, jonka kokonaislämpöteho on alle 2 megawattia. Kestävyyslaki ei määrittele, mitä ovat maatalousmaasta peräisin olevat jätteet ja tähteet, joten Energiavirasto on kyseisen lain valvojana antanut linjauksia, mitä raaka-aineita lisäkriteeri koskee. Näitä ovat ainakin viherlannoitusnurmi, suojavyöhykenurmi, luonnonhoitopeltonurmi ja pilaantunut rehu sekä nurmi, joka ei kelpaa eläinrehuksi¹⁶.

Toiminnanharjoittajan, joka tuottaa, valmistaa, hankkii, tuo maahan, luovuttaa kulutukseen tai käyttää raaka-ainetta valmistukseen kestävyyslain piiriin kuuluvaa polttoainetta, on osoitettava kestävyyskriteerien täyttyminen hyväksyttävällä toiminnanharjoittajan kestävyysjärjestelmällä. Hyväksyttäviä kestävyysjärjestelmiä on kahdenlaisia; kansallinen kestävyysjärjestelmä, jonka hyväksymispäätös haetaan Energiavirastosta, ja Euroopan komission hyväksymät vapaaehtoiset kestävyysjärjestelmät. Toiminnanharjoittaja, jonka kestävyysjärjestelmä on hyväksytty kestävyyslain 3 luvussa säädetyllä tavalla eli jollain edellä mainituista kahdesta kestävyysjärjestelmästä, saa antaa biopolttoaine-, bioneste-, biomassapolttoaine- ja raaka-aine-erästä kestävyystodistuksen osoituksena kestävyyskriteerien täyttymisestä. Kestävyystodistuksen sisältövaatimukset on kuvattu

¹⁵ Työ- ja elinkeinoministeriö, 2020

¹⁶ Energiavirasto, 2017

biopolttoaineista, bionesteistä ja biomassapolttoaineista annetussa valtioneuvoston asetuksessa (kestävyysasetus, 6/2021).

Lisätietoja ja ohjeita kestävyyskriteereistä voi lukea Energiaviraston vuonna 2022 julkaisemasta ohjeesta ”Biopolttoaineita, bionesteitä ja biomassapolttoaineita koskeva toiminnanharjoittajan kestävyyskriteeriohje”.

2.2 Laitostyyppien ja -tekniikan esittely ja vertailu

Tässä kappaleessa käsitellään biokaasun tuotannon keskeisiä vaiheita ja prosesseja sekä siihen liittyviä laitteistoja ja menetelmiä. Ensimmäisessä osassa tarkastellaan hajoamisprosessin neljää päävaihetta: hydrolyysiä, asidogeneesiä, asetogeneesiä ja metanogeneesiä, jotka muodostavat biokaasun tuotannon perustan.

Toisessa osassa kuvataan biokaasun tuotantoprosessin laitteita ja toimintaa, mukaan lukien syöttölaitteet, anaerobiset reaktorit, biokaasun keräys- ja puhdistusjärjestelmät, kaasuväkärit ja mädätteen käsittelyjärjestelmät. Kolmannessa osassa keskitytään märkä- ja kuivamädätysprosesseihin, joissa käytetään lietemäisiä syöttömateriaaleja ja täyssekoitteisia reaktoreita.

Viimeisessä osassa vertaillaan yksi- ja kaksivaiheisia mädätysprosesseja, joissa hajoamisvaiheet tapahtuvat joko yhdessä tai erillisissä reaktoreissa, ja joissa olosuhteet voidaan optimoida kullekin vaiheelle erikseen. Tämä teksti tarjoaa yleiskuvan biokaasun tuotannon eri menetelmistä ja niiden tehokkuuden parantamiseksi tarvittavista laitteista ja olosuhteista.

2.2.1 Anaerobisen hajoamisen päävaiheet

Biokaasun tuotannossa useat erilaiset mikro-organismit osallistuvat yhdessä, osittain toisistaan riippuen orgaanisen aineen anaerobiseen hajottamiseen. Kun edelliset hajoamisvaiheet tuottavat välituotteita, niin seuraavat vaiheet käyttävät niitä edelleen hyödyksi, jolloin hajoamisprosessi etenee tasapainossa. Tällöin olosuhteiden tulee olla toimivat kaikille mikrobeille, jotta hajoamisprosessi onnistuu. Hajoamisprosessi koostuu neljästä päävaiheesta, jotka ovat hydrolyysi, asidogeneesi, asetogeneesi, ja metanogeneesi. Anaerobisen hajoamisen ensimmäisessä vaiheessa eli hydrolyysissä suurimolekyyliset orgaaniset aineet, kuten hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat, pilkotaan pienemmiksi molekyyleiksi, kuten sokereiksi, rasvahapoiksi, aminohapoiksi ja peptideiksi. Lisäksi muodostuu pieniä määriä asetaattia, vetyä ja hiilidioksidia. Jos syötteessä on runsaasti hitaasti hajoavia aineksia, hydrolyysivaihe voi rajoittaa anaerobisen hajoamisen nopeutta, ja metaanintuotto on suorassa suhteessa suurimolekyylisten aineiden pilkkoutumiseen liukoiseen muotoon.¹⁷

Anaerobisen hajoamisen toisessa vaiheessa, eli asidogeneesissä fermentoidaan ensimmäisessä vaiheessa syntyneitä sokereita, rasvahappoja, aminohappoja ja peptidejä haihtuviksi rasvahapoiksi, kuten etikkahapoksi, propionihapoksi ja voihapoksi. Asidogeneesiin osallistuu laaja kirjo erilaisia mikrobeja, joista monet ovat samoja kuin hydrolyysivaiheessa, mutta myös muita lajeja. Eri fermentaatioreittien määrä on suuri, ja tuotteen koostumus riippuu käytettävistä substraateista, läsnä olevista mikrobeista ja ympäristön olosuhteista, kuten lämpötilasta ja pH:sta. Fermentoinnin

¹⁷ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

pääasiallisina lopputuotteina syntyy asetaattia, propionaattia ja butyraattia, sekä pieniä määriä muita haihtuvia rasvahappoja, vetyä ja hiilidioksidia.¹⁸

Kolmannessa vaiheessa eli asetogeneesissä prosessissa tapahtuvien hapetusreaktioiden avulla haihtuvat rasvahapot, jotka syntyivät edellisessä vaiheessa, hajotetaan asetaatiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi erilaisissa hapettumisreaktioissa. Prosessin aikana muodostuu vetyä, jonka pitäminen matalassa paineessa on tärkeää anaerobisen hapettumisen onnistumiseksi.¹⁹

Lopulta viimeisessä vaiheessa, eli metanogeneesissä aiemmin anaerobisessa hajoamisessa syntyneet vety ja asetaatti muunnetaan metaaniksi (CH_4), ja prosessissa syntyy myös hiilidioksidia (CO_2). Tämän vaiheen reaktiot ovat kaikista hitaimpia, sekä herkkiä ympäristön olosuhteiden muutoksille, kuten lämpötilan vaihteluille. Lisäksi hapen määrä prosessivaiheessa tulee pitää minimissä.²⁰

2.2.2 Prosessin kuvaus ja päälaitteet

Biokaasua tuottavan mädätysprosessin yksinkertaistettu prosessikaavio on esitetty yleisellä tasolla kuvassa 1. Ennen syötteen päätymistä reaktoriin se vastaanotetaan erillisessä vastaanottoyksikössä esikäsitteilyä varten. Esikäsitteily voi pitää sisällään ei-toivottujen aineiden poistamista, tai syötteiden sekoittamista sopivaksi seokseksi. Syötettä voidaan myös hienontaa pienemmän raekoon aikaansaamiseksi, jotta kaasuntuotto paranisi. Kuvassa prosessin alkupää on esitetty yksilinjaisena, mutta joissakin tapauksessa mm. syötteiden eri laatujen vuoksi se voidaan toteuttaa myös kaksilinjaisena.

Esikäsitteilyn jälkeen syöte siirretään biokaasureaktoriin kuljettimilla tai pumpuilla. Reaktori itsessään on yksinkertainen rakenne, johon voi kuulua lämmitysjärjestelmä ja sekoitin, mutta anaerobinen hajoaminen tapahtuu mikrobiologisesti, kun mikrobit hajottavat orgaanista materiaalia syötemassassa. Reaktori tuottaa biokaasua, joka kerätään ja siirretään puhdistettavaksi jatkokäyttöä varten. Biokaasun virtausta hyödyntämisyksikköön voidaan tasapainottaa puskurivarastolla, joka on tyypillinen kaasukello tai kaasuhuppu. Kaasukello on erillinen, pallomainen rakenne, kun taas kaasuhuppu asennetaan reaktorin päälle. Nämä puskurivarastot pystyvät varastoimaan joidenkin tuntien tai päivän verran biokaasutuotantoa.²¹

Reaktorissa massaa prosessoidaan keskimäärin ennalta määrätty aika, jonka jälkeen se poistetaan mädätysjäännökseenä. Jos massa tuottaa vielä metaania, se siirretään jälkikaasutusaltaaseen, josta loppumetaani voidaan kerätä talteen, tai mädätysjäännös siirretään jatkokäsittelyyn. Tietyissä prosesseissa reaktorissa on myös takaisinsyöttöjärjestelmä, joka mahdollistaa mädätysjäännöksen tai suotoveden kierrättämisen, mikä auttaa säilyttämään mikrobipopulaation reaktorissa.²²

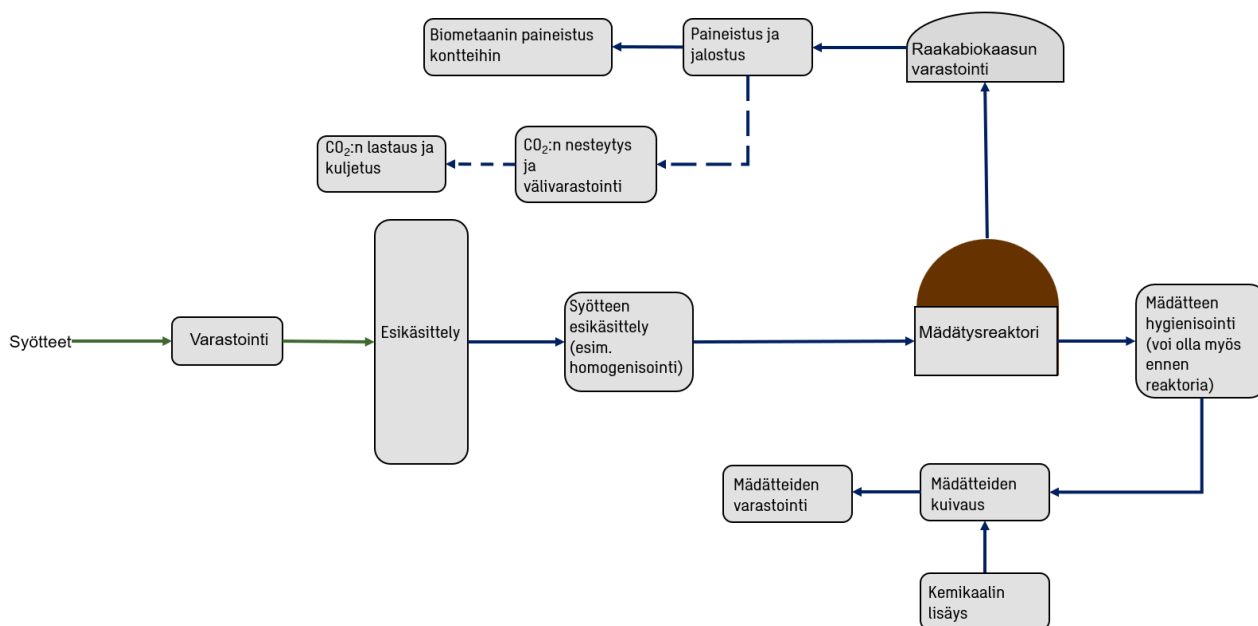
¹⁸ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

¹⁹ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

²⁰ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

²¹ Motiva Oy, 2013

²² Motiva Oy, 2013



Kuva 1. Biokaasulaitoksen ja siihen liittyvän toimintaympäristön yksinkertaistettu prosessikaavio.

2.2.3 Märkä- ja kuivamädätys

Märkämädätysprosesseissa käytetään lietemäisiä syöttömateriaaleja, joiden kuiva-ainepitoisuus on enintään 15 %, mikä mahdollistaa tehokkaan pumppaamisen ja sekoittamisen reaktorissa. Syöttö tapahtuu pumpun avulla ja mädätysjäännös poistuu painovoimaisesti tai pumppaamalla, mikä varmistaa reaktorimassan vakiona pysymisen. Prosessi on tyypillisesti jatkuvatoiminen, eli reaktoriin pumpataan säännöllisesti uutta syötettä samalla, kun mädätysjäännöstä poistuu. Tämä sekoittaa uuden syötteen prosessoituun massa. Riskinä on, että reaktorista voi poistua osittain hajottamatonta mädätysjäännöstä, jolloin tarvitaan jälkikaasutusallas biokaasun keräämiseksi. Prosessin etuna on mikrobipopulaation säilyminen, mutta toisaalta se vaatii riittävän pitkän viipymäajan reaktorissa.²³

Kuiva-ainepitoisuutta voidaan säädellä laimentamalla kuivia syötteitä esimerkiksi mädätysjäännöksellä. Lämmönsiirtoa tehostetaan kierrättämällä lämmintä vettä reaktorin ulkopuolella. Orgaaninen kuormitus ja viipymä riippuvat syöttömateriaalin hajoamisnopeudesta.²⁴

Kuivamädätysprosesseissa syöttömateriaalien kuiva-ainepitoisuus on 20–40 %. Prosessit voivat olla jatkuvatoimisia tai panosmallisia ja niissä käsitellään suurempia syöttömateriaalimääriä suhteessa reaktorin tilavuuteen. Jatkuvatoiminen kuivaprosessi perustuu tulppavirtaukseen vaakasuorassa

²³ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

²⁴ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

reaktorissa. Kierrätys auttaa ylläpitämään mikrobistoa ja säätämään prosessin kuiva-ainepitoisuutta. Kuivaprosesseja käytetään pääasiassa yhdyskuntien biojätteiden käsittelyssä.^{25 26}

Kuivamädätyksessä käytetään usein panosprosessia. Panosprosessissa reaktori täytetään orgaanisella syötteellä, hajoamisprosessi tapahtuu, ja syntynyt kaasua kerätään talteen. Lopuksi reaktori tyhjennetään osittain, mikä varmistaa mikrobipopulaation säilymisen seuraavaa erää varten. Panosprosessi ei tuota yhtä paljon kaasua kuin jatkuvatoimiset prosessit, mutta se on vähemmän herkkä häiriöille. Jatkuvatoimiset kuivamädätyslaitokset ovat uusi teknologia, mutta niiden käyttö on lisääntynyt viime vuosina.²⁷

2.2.4 Yksi- ja kaksivaiheinen prosessi

Yksivaiheisessa prosessissa kaikki anaerobisen hajoamisen vaiheet tapahtuvat yhdessä reaktorissa. Tämä tarkoittaa sitä, että syöte, kuten orgaaninen materiaali, käsitellään yhdellä kertaa, jolloin kaikki mikrobit, jotka osallistuvat hajoamisprosessiin, toimivat samassa ympäristössä. Prosessin etuja ovat sen yksinkertaisuus ja helppo hallittavuus. Yksivaiheinen prosessi soveltuu hyvin tilanteisiin, joissa halutaan nopeaa kaasuntuotantoa ilman monimutkaisempia vaiheita. Kuitenkin, koska kaikki mikrobit toimivat samassa ympäristössä, olosuhteiden on oltava sellaisia, että ne sopivat kaikille mikrobeille, mikä voi rajoittaa prosessin tehokkuutta.²⁸

Kaksivaiheisessa prosessissa hajoaminen jaetaan kahteen erilliseen vaiheeseen: hydrolyysivaiheeseen ja metanogeneesivaiheeseen. Tässä prosessissa massaa siirretään hydrolyysisäiliöstä varsinaiseen reaktoriin, jossa metaania tuotetaan. Hydrolyysivaiheessa mikrobit hajottavat suuria orgaanisia aineita pienemmiksi yhdisteiksi, kuten sokereiksi ja rasvahapoiksi, ja tämä vaihe voidaan optimoida eri olosuhteilla kuin metanogeneesivaihe. Esimerkiksi hydrolyysivaiheessa suotuisat pH-arvot ovat happamia, kun taas metanogeneesivaiheessa suotuisat olosuhteet ovat lähellä neutraalia pH:ta. Kaksivaiheisen prosessin etuna on se, että voidaan optimoida olosuhteet kullekin vaiheelle erikseen, mikä voi parantaa kaasuntuotannon tehoa ja laatua.²⁹

2.3 Lopputuotteet

Ennen kuin biokaasu voidaan hyödyntää polttoaineena, se on puhdistettava raakakaasussa esiintyvistä epäpuhtauksista. Tämä puhdistusprosessin tarkoituksena on vähentää energiantuotantolaitosten ja jalostuslaitosten vaurioitumista sekä hallita päästöjä. Puhdistetun biokaasun jalostaminen parantaa sen laatua ja energiatiheyttä poistamalla tarpeettomia komponentteja kuten hiilidioksidi.³⁰

Raakakaasun puhdistus on välttämätöntä biokaasun tehokkaalle hyödyntämiselle. Jalostustarve riippuu kaasun käyttötarkoituksesta. Käytännössä kaikki liikennekäyttöön tai esim. kaasuverkostoon syötettäväksi tarkoitettu kaasua tulee jalostaa biometaaniksi.

²⁵ Motiva Oy, 2013

²⁶ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

²⁷ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

²⁸ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

²⁹ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

³⁰ Motiva Oy, 2013

Sopivan puhdistus- ja jalostusteknologian valinta edellyttää raakabiokaasun koostumuksen selvittämistä. Raakabiokaasu sisältää metaania ja vetyä, jotka ovat hyödynnettävissä useissa prosesseissa. Hiilidioksidi ja typpi ovat inerttejä kaasuja, jotka eivät ole energiamielessä hyödyllisiä, mutta eivät myöskään haitallisia biokaasun käytölle. Haitallisia epäpuhtauksia ovat muun muassa vesihöyry, rikkivety, ammoniakki, happi, hiukkaset, hiilimonoksidi, halogenoidut hiilivedyt ja siloksaanit. Raakabiokaasusta puhdistetaan aina vähintään vesihöyry ja rikkivety, jotka muuten voisivat muodostaa rikkihappoa. Muita epäpuhtauksia poistetaan tarpeen mukaan.³¹

Puhdistus- ja jalostusprosessi voidaan jakaa eri vaiheisiin, ja se voidaan integroida osaksi muita biokaasulaitoksen järjestelmiä. Yleensä epäpuhtauksien osuus on alle 1 % kuivan raakakaasun tilavuudesta, mutta tietyissä reaktoreissa tai kaatopaikkakaasuissa niitä voi olla useita prosenttiyksiköitä. Erityistilanteita varten jokainen biokaasulaitos on varustettu soihdulla.³²

Toinen biokaasun tuotannossa valmistuva tuote on mädäte. Mädätysjäännöksen erotteluprosesseja on useita erilaisia. Erotteluprosesseja ovat ominaispainoeroihin, partikkelikokoon, tai termiseen käsittelyyn perustuvat menetelmät. Mekaanisessa erottelussa tyypillisimmät erotustavat ovat ruuvipuristin, suotonauhakuivain tai linkous. Sopiva erotusmenetelmä valitaan raaka-aineen ja erottelulopputuloksen mukaan. Erotustehokkuuden parantamiseksi mädätysjäännöksen sekaan voidaan lisätä erilaisia polymeerejä, jolloin vesi erottuu mädätysjäännöksestä tehokkaammin.³³

Ruuvipuristimen avulla saadaan hyvinkin kuivaa kuivajaetta, mutta hienojakoinen aines voi päästä helposti seulan läpi nestejakeeseen. Suotonauhapuristimella ei päästä yhtä kuivaan kuivajakeeseen kuin muilla menetelmillä, mutta sen toimintaa voidaan optimoida erilaisilla kankailla. Tehokkaana menetelmänä pidetään linkoa, joka soveltuu myös hienojakoisille mädätteille. Linkoaminen ja separointi voivat parantaa mädätejäännöksen jatkohyödyntämispotentialia.³⁴

2.3.1 Biokaasun paineistus ja nesteytytys

Biometaanin paineistus (kompressointi) on prosessi, jossa biokaasun tilavuutta pienennetään puristamalla se korkeaan paineeseen, jolloin sen siirtäminen ja säilyttäminen helpottuu. Paineistettua biokaasua kutsutaan yleisesti CBG:ksi (Compressed Biogas), ja sitä käytetään erityisesti henkilöautoliikenteessä. Paineistus voidaan toteuttaa suoraan biokaasulaitokselta emoasemille asennettavilla kompressoreilla, joilla kaasu johdetaan joko liikennekaasuasemalle tai teollisuuskaasukonttien täyttöön³⁵. Tyypilliset tulopaineet ovat 3–16 bar ja lähtöpaineet 200–275 bar³⁶.

Biometaania on myös mahdollista nesteyttää, jolloin se soveltuu erityisesti raskaan liikenteen käyttöön. Nesteyttämällä biokaasusta saadaan aikaan tiiviimpi ja helpommin kuljetettava muoto. Prosessissa biokaasu jäädytetään alhaisiin lämpötiloihin, noin -160 °C, normaali-ilmanpaineessa. Jäähdytysvaiheessa kaasusta erotetaan epäpuhtauksia, kuten vesihöyryä, hiilidioksidia ja muita

³¹ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

³² Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

³³ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

³⁴ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

³⁵ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

³⁶ Suomen Biovoima, 2019

haitallisia kaasuja. Jäähdytyksen jälkeen kaasu puristetaan edelleen, mikä auttaa muuntamaan sen nestemäiseksi biokaasuksi (LBG, Liquefied Biogas).³⁷

2.3.2 CBG:n ja LBG:n logistiikka



Kuva 2. Esimerkkinä kaasukonttien valmistajan UMOEN laiteratkaisu (UMOE, 2018).

Puhdistettua ja paineistettua biometaanua voidaan varastoida siirreltäviin kontteihin joko ilmanpaineisena normaaliolosuhteissa, noin 200 bar paineessa olevana, tai nesteytettynä. Biometaanua paineistetaan tyypillisesti kontteihin, joista se siirretään käyttökohteeseen. Tyhjät kontit palautuvat paineistuslaitokselle. Paineistetut säiliöt edellyttävät erittäin puhdistettua kaasua korroosion välttämiseksi³⁸. Paineen kasvaessa puhtausvaatimukset tiukentuvat, ja biokaasun kohdalla suurimmat korroosion aiheuttajat ovat rikkivety ja vesi, jopa hyvin pieninä pitoisuuksina. Esimerkkikuva CBG:n siirtokonttiratkaisusta on esitetty kuvassa 2.

LBG:n varastointi on haasteellisempaa kuin CBG:n varastointi, johtuen LBG:lle tyypillisestä kaasun haihtumisesta, jota kutsutaan BOG-kaasuksi (Boil-off gas). Haihtumista pyritään hallitsemaan teknisellä ratkaisulla, jossa terminaalin yhteyteen lisätään pieni uudelleennesteytysyksikkö. Tämä auttaa pitämään säiliön jatkuvasti kylmänä, jolloin BOG:ia ei pääse muodostumaan tai vapautumaan. Jos säiliö on pitkiä aikoja pois käytöstä, se voidaan tyhjentää LBG:stä ja antaa sen lämmetä. Säiliön käyttöönotto tapahtuu jäähdyttämällä säiliö nestemäisellä tyypellä, jonka jälkeen käyttö voidaan aloittaa uudelleen³⁹. Alla olevaan taulukkoon 1 on kerätty paineistetun ja nesteytetyn biokaasun valintaan vaikuttavia tekijöitä.

Taulukko 1. Yhteenveto paineistetun ja nestemäisen biokaasun valintaan vaikuttavista tekijöistä (Gasum Oy, 2024).

	Paineistettu biokaasu (CBG)	Nesteytetty biokaasu (LBG)
Liikennekäyttötyyppi	Lähiliikenne (jakeluatot, jätekuljetukset, bussiliikenne)	Runkoliikenne, paljon polttoainetta kuluttavat ajoneuvot

³⁷ Suomen Biovoima, 2019

³⁸ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

³⁹ Ahokas, 2022

		(jätepakkaus-, maansiirto- ja nostolava-autot)
Vuosittainen kilometrimäärä	<100 000 km	>100 000 km
Yhdellä tankkauksella saavutettava toimintasäde	n. 250-700 km	n. 700-1 500 km

Paineistettu (CBG) ja nesteytetty (LBG) biokaasu soveltuvat molemmat raskaan liikenteen polttoaineeksi. Paineistettu biokaasu sopii parhaiten ajoneuvoille, jotka liikkuvat lähiliikenteessä ja ajavat alle 100 000 kilometriä vuodessa, kuten jakeluautot ja bussit. Nesteytetty biokaasu taas sopii pitkän matkan ajoneuvoille, jotka ajavat yli 100 000 kilometriä vuodessa ja tarvitsevat pitkästä toimintasäteestä hyötyä, kuten rekkoihin ja maansiirtoautoihin. Paineistetun kaasun etuja ovat edullisempi ajoneuvon hinta ja nopea tankkausaika, eikä ulkolämpötilan vaihtelu vaikuta ajoneuvon toimintasäteeseen. Nesteytetty biokaasu tarjoaa pitkän toimintasäteen ja paljon energiaa tiiviissä muodossa⁴⁰.

Nesteytettyä kaasua käyttävää jakeluautoa ei kannata hankkia, jos ajoneuvolla ajetaan vähän, sillä tankissa seisova nesteytetty kaasu höyrystyy hitaasti lämpimissä olosuhteissa ja aiheuttaa kaasuhävikkiä. Kaasuajoneuvon investoitaessa on syytä ottaa huomioon se, että ajoneuvon voi tankata vain tietyn tyyppistä kaasua. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että paineistetulla kaasulla kulkevaan ajoneuvon ei voi tankata nestemäistä kaasua, tai nestemäisellä kaasulla kulkevaan ajoneuvon paineistettua kaasua⁴¹.

2.4 Suoniemen biokaasulaitoskonseptien yleiskuvaukset ja syötteet

Edellä on kuvattu yleisemmin biokaasulaitosprosessin syötteitä, keskeisiä vaiheita sekä lopputuotteita. Seuraavassa kuvataan, millaiset laitосkonseptit Lapinlahden Suoniemelle tässä hankkeessa kehitettiin sekä niiden valintaan liittyvät perusteet ja toisaalta epävarmuudet.

Laitосkonseptien kehittäminen käynnistyi syötearvioinnilla lähtien liikkeelle Suoniemen alueen materiaali- ja energiavirtaselvityksessä⁴² tunnistetuista potentiaalisista materiaalivirroista:

- 1) Suoniemellä sijaitsevan jätevedenpuhdistamon lietteet käsitellään jo nykyisellään ulkopuolisella biokaasulaitoksella, joten niiden käsittely lähellä sijaitsevalla laitoksella olisi järkevää. Lisäksi laitoksella voidaan käsitellä myös muualla syntyviä yhdyskuntien jätevedenpuhdistamolietteitä.
- 2) Lapinlahti sijaitsee ns. maitosuomen sydämessä, joten alueella on paljon lypsykarjatiloja sekä peltoja. Siten kotieläintilojen lanta ja muut laitokselle soveltuvat jakeet (mm. epäkurantti nurmi) ovat luonteva jae. Maatalouden rakennemuutoksen myötä viimeisen kymmenen vuoden aikana on lopettanut merkittävä osuus erityisesti pienemmistä kotieläintiloista. Näiden tilojen pellot eivät ole enää entiseen nähden aktiivisessa viljelyksessä. Tämä tarjoaa laitokselle merkittävän syötepotentiaalin nurmen muodossa, sillä nurmen

⁴⁰ Gasum Oy, 2024

⁴¹ Gasum Oy, 2024

⁴² Sweco, 2024



biokaasuntuottopotentiaali on merkittävä. Myös muualla alkutuotannossa syntyy sivuvirtoja esim. Pekka Vehviläisellä Siilinjärvellä sipulin kasvatuksessa ja jalostuksessa.

- 3) Lisäksi Pohjois-Savossa sijaitsee merkittävää elintarviketeollisuutta, joiden monet sivuvirrat olisivat potentiaalisia biokaasulaitoksen syötemateriaaleja. Alueella toimivia elintarviketeollisuuden yrityksiä ja tuotantolaitoksia ovat mm. Olvi Oyj:n Iisalmen tehtaat, Valion Lapinlahden tehdas sekä esim. kalatuotealan yrityksistä Kalavapriikki Oy ja Savon Taimen Oy / Hanka-Taimen Oy.

Syötevirroissa laitos tukeutuisi siis paikallisiin raaka-aineisiin. Pakattu biojäte jätettiin pois, jotta vältetään muovin päätyminen mädätteen joukkoon. Tämä nousi tärkeäksi asiaksi ja tavoitteeksi käytyjen maatilahaastattelujen pohjalta, joista kerrotaan tarkemmin kappaleessa 3.1.1. Kun pakattua biojätettä ei käsitellä, ei tarvitse investoida muovinpoistoon laitoksen vastaanotossa. Muovirejekti on myös eräs mahdollinen kustannuserä laitoksen operatiivisissa kustannuksissa.

Maatilojen sivuvirrat edustavat merkittävää potentiaalista syötevirtaa laitoksen kannalta. Lisäksi maatilat toimivat luontaisina yhteistyötahoina myös mädätteiden käytön osalta. Maatilasyötteiden määriä, laatuja ja yleistä yhteistyön toimintamallia koskevia asioita kartoitettiin toteuttamalla kattavat maatilahaastattelut 16 erityyppiselle toimijalle. Haastateltujen joukossa oli

- 7 lypsykarjatilaa. Niiden kokoluokka vaihteli pienemmästä yhden robotin navetasta aina hyvin suureen neljän robotin navettaan,
- 3 sikalaa tai vasikkakasvattamoa,
- 6 pelto-/avomaaviljelytiloja, joista osa oli lopettaneita lypsykarjatiloja. Valtaosalla haastatelluista päätuotantosuunta oli viljan tai nurmen/heinän viljely, mutta joukossa oli myös eräs merkittävän kokoinen vihanneksen avomaaviljelyyn ja jalostukseen keskittynyt tila.

Haastatelluista tiloista suurimmalla osalla tilakeskus sijaitsi noin 10 kilometrin etäisyydellä Suoniemestä. Kaikki lypsykarjatilat sijaitsivat tällä etäisyydellä. Muut haastatellut sijaitsivat 11–50 kilometrin etäisyydellä Suoniemestä.

Käytyjen keskustelujen ja muun analyysin pohjalta määrittyi pääpiirteiksi syötemateriaalin hankintasäteiksi laadituissa konsepteissa seuraavat:

- Lietelannoille noin 10 kilometriä
- Kuivalannalle noin 20 kilometriä
- Nurmelle ja muulle vastaavalle noin 45 kilometriä

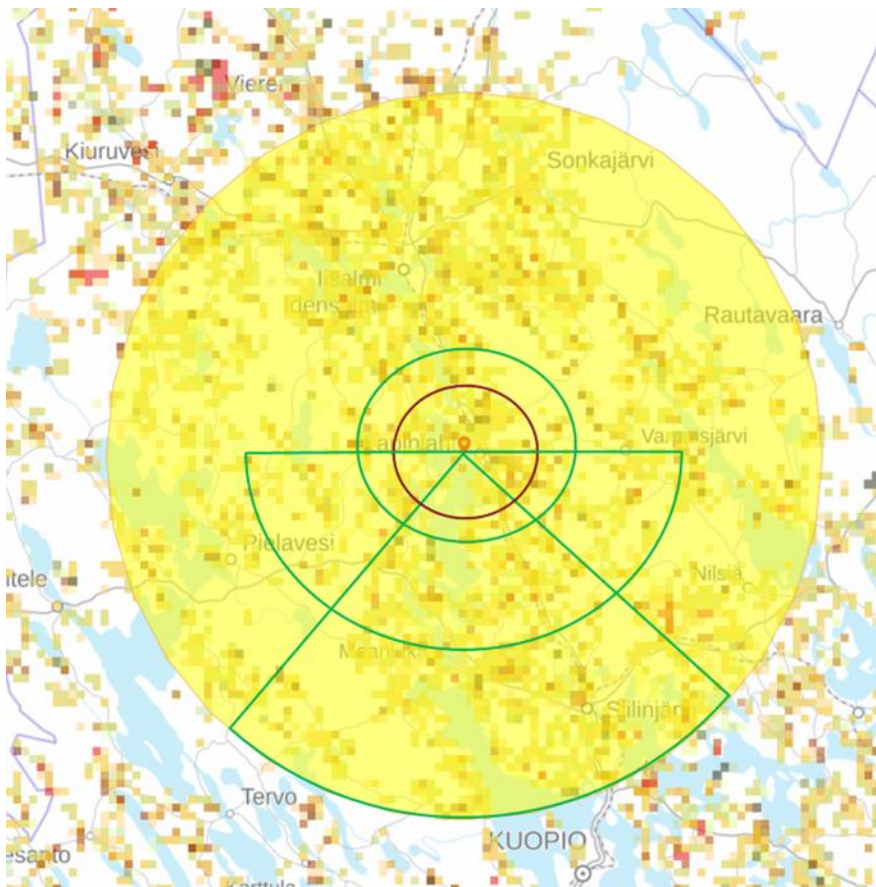
Rajaukset perustuivat mm. syötemateriaalien kuiva-ainepitoisuuksiin sekä niiden kaasuntuotantopotentiaaleihin suhteessa painoon ja logistiikkakustannuksiin. Lisäksi huomioitavaksi tulee se, että kaasuntuotantopotentiaaliin nähden painavien syötteiden kuljetus pitkiä matkoja ei välttämättä ole kestävyysmielessä järkevää.

Maatilojen syötemääräpotentiaalit määriteltiin kahdella tavalla. Lantajakeiden (naudan ja sian kuiva- ja lietelanta) osalta käytettiin suoraan haastatteluissa saatuja määrätietoja, sillä haastattelut kohdistettiin edellä mainittujen hankintasäteiden alueelle ja niissä siten saadut tiedot olivat hyvin käyttökelpoisia ja realistisia laitoksen kannalta. Haastatellut tilat edustivat arviolta karkeasti 90 %

osuutta valitulla hankintasäteellä sijaitsevien kotieläintilojen lantamääriä. Lantajakeilla hankintasäteet olivat mainitut noin 10 ja 20 kilometriä laitoksesta.

Nurmisyötepotentiaali arvioitiin hyödyntäen Biomassa-Atlaksesta saatavia peltopinta-alojen tilastotietoja sekä toisaalta arvioiden Lapinlahden alueella ns. vajaatehoviljelyksessä olevia nurmipinta-aloja. Näitä ovat mm. osa lopettaneiden kotieläintilojen pelloista. Lisäksi nurmisyötepotentiaalin osalta katsottiin relevantiksi hankintasäteeksi 15 km alueelta koko hankintasäteen mukainen ympyräalue, 30 km osalta noin puolet hankintasäteen kaaresta ja 45 km:n osalta n. 30 % hankintasäteen kaaresta. Näin muodostui nurmelle kokonaispotentiaalialue, jota on havainnollistettu kuvassa 3.

Nurmen potentiaalisen hankinta-alueen määrittämisessä oli taustalla tavoite välttää päällekkäiset maataloussyötteiden hankinta-alueet muiden alueelle tiedossa olevien laitosten kanssa. Tiedossa olevia merkittäviä laitoshankkeita alueella ovat mm. Suomen Lantakaasu Oy:n Kiuruveden sekä Lapinlahden laitokset.



Kuva 3. Maatalousjakeiden hankintasäteet syötepotentiaalin määrittämiseksi: Ruskea kehä 10 km lietelanta, vihreä ympyrä nurmi 15 km, vihreä puoliympyrä nurmi 30 km ja keltainen ympyrä 45 km hankintasäde, joista vihreä osa nurmi 45 km.

Selvityksessä oli tavoitteena selvittää kahden eri kokoluokan laitoksen teknistä ja taloudellista konseptia sekä kannattavuutta. Näitä laitospohjaisia tai -skenaarioita on tästä eteenpäin kutsuttu termeillä "pieni laitos" ja "suuri laitos". Skenaarioiden merkittävimpänä muuttujana ovat syötemäärät erityisesti nurmen, puhdistamolietteen ja muiden syötteiden osalta.

Pieni laitos on konseptiltaan ns. paikallinen laitos, jolloin sen syötteet on ajateltu kerättävän laitoksen välittömästä läheisyydestä. Lannoilla hankintasäteet ovat edellä kuvatut eli 10 ja 20 km, mutta nurmen osalta suunnitellaan hyödynnettävän vain 15 km etäisyydellä oleva nurmipotentiaali. Lisäksi laitokselle on arvioitu käsiteltävän Lapinlahden puhdistamon omien lietemäärien (n. 7200 t/a 14 % kuiva-ainepitoisuudessa) muita ulkopuolisia lietteitä n. 2500 t/a. Taulukossa 2 on esitetty pienen laitoksen syötemäärät.

Taulukko 2. Pienen laitoksen (laitoskonsepti 1) syötteet. Tiedot perustuvat Luonnonvarakeskuksen Biokaasulaskurin tietoihin ja Swecon arvioihin.

Syöte	Määrä (t/v)	Massaosuus (%)	Kuiva-ainepitoisuus (%) *
Jätevedenpuhdistamon liete	9 700	19 %	14 %
Nurmi	9 600	19 %	33 %
Naudan lietelanta	23 500	47 %	6 %
Naudan kuivalanta	2 600	5 %	23 %
Sian lietelanta	4 800	9 %	4 %
Muut	-	-	-
Yhteensä	50 200	100 %	16 %

Taulukossa 3 on esitetty suuren laitoksen syötemäärät. Tässä skenaariossa syötemääriä kerätään suuremmalta alueelta, nurmet osin 45 kilometrin etäisyydeltä, jolla mahdollistetaan suurempi biokaasuntuotanto laitoksella. Suurempi biokaasuntuotanto voi mahdollistaa pitemmällä aikavälillä tarkasteltuna biokaasun nesteytyksen, jolloin valmistuva tuote soveltuisi raskaampienkin ajoneuvojen polttoaineeksi pitkien välimatkojen runkoliikenteeseen.

Merkittävimmät erot eri laitosten syötevirrassa ovat jätevedenpuhdistamolietteen, nurmen ja muiden syötteiden määrissä. Puhdistamolietettä on suuren laitoksen konseptissa ajateltu saatavan Lapinlahden lietteiden lisäksi muualta n. 5 000 t/v. Nurmen määrä kasvaa jo mainitun laajemman hankintaa-alueen myötä. Muina syöteinä mainittu 15 000 t/v. voi edustaa esim. Ylä-Savon alueella elintarviketuotannossa syntyviä sivuvirtoja, joista on esimerkkejä mainittu aiemmin tässä luvussa.

Taulukko 3. Suuren laitoksen (laitoskonsepti 2) syötteet. Tiedot perustuvat Luonnonvarakeskuksen Biokaasulaskurin tietoihin ja Swecon arvioihin

Syöte	Määrä (t/v)	Massaosuus (%)	Kuiva-ainepitoisuus (%) *
Jätevedenpuhdistamon liete	12 200	17 %	16 %
Nurmi	12 300	17 %	33 %
Naudan lietelanta	26 700	36 %	6 %
Naudan kuivalanta	2 600	4 %	23 %
Sian lietelanta	4 800	7 %	4 %

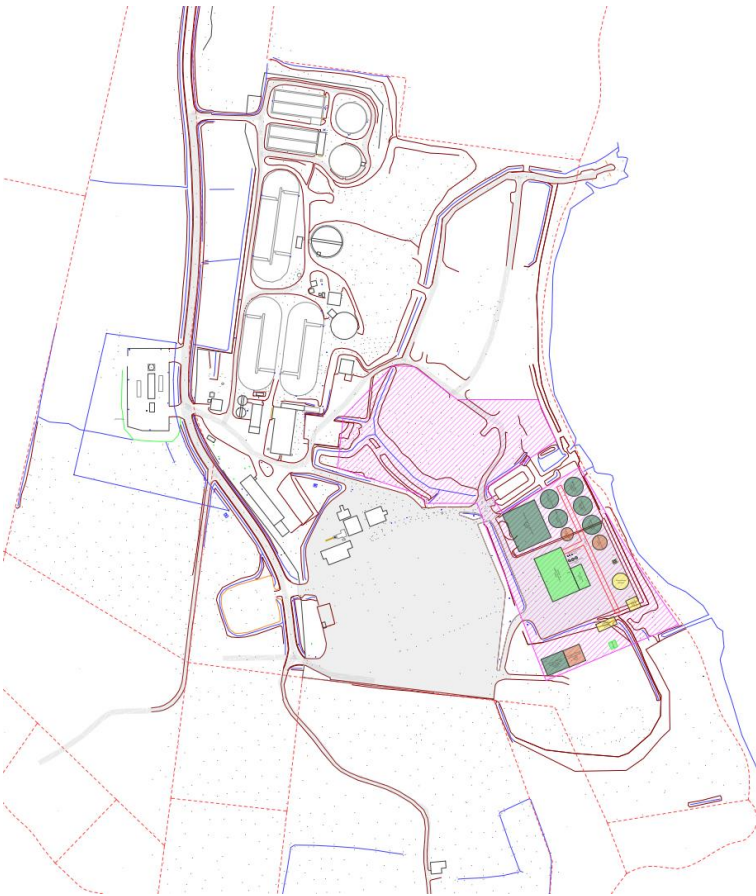
Biokaasu- ja jäteveden lämmöntalteenottolaitoksen kaavailtu sijainti on Suoniemessä noin kaksi kilometriä Lapinlahden keskustaaajamasta länsi-lounaaseen. Kuvassa 4 on esitetty ilmakehän alueesta, johon laitosta on suunniteltu. Kuvaan on merkitty laitoksen käyttöön yhteensä yli kolmen hehtaarin alue, joka on jo nykyisellään merkittävältä osin asfaltoitu. Tarvittaessa alueella on kunnan tai Lapinlahden Vesi Oy:n kautta käytettävissä tätäkin laajempi alue.



Kuva 4. Ilmakuva tarkasteltavan biokaasulaitoksen mahdollisesta sijaintipaikasta (Lähde: Lapinlahden kunta).

Lapinlahden kunnalla on alueella myös mm. kaavoitukseen ja kiinteistöihin liittyviä kehityshankkeita käynnissä. Lisäksi laitokselle kaavaillun alueen vieressä sijaitsevat Lapinlahden kunnan 100 % omistama Lapinlahden Vesi Oy:n vedenpuhdistuslaitos sekä Savon Voima Oy:n lämpökeskukset ja kaukolämpöverkosto. Alue rajautuu sen oikealla puolella sijaitsevaan vesistöön.

Kuvassa 5 on esitetty alustavalla tasolla suunniteltu layout-suunnitelma suuremman kapasiteetin biokaasulaitokselle. Alueen halki kulkee putkisilta, johon eri yksiköiden väliset putkistot kootaan. Peltobiomassojen varastointialueen pinta-alaksi on arvioitu noin 1 500 m², ja varastointi on mitoitettu noin yhden kuukauden tarpeisiin. Varastointialueen edessä, lähempänä rantaa, sijaitsevat reaktorit. Biomassan käsittelyyn tarvitaan arvioiden mukaan kaksi noin 5 000 m³ kokoista reaktoria, ja jätevesilietteen käsittelyyn yksi 1 400 m³ kokoinen reaktori.



Kuva 5. Suuremman kapasiteetin (laitoskonsepti 2) asemakuva.

Rannan läheisyydessä olevat säiliöt on tarkoitettu mädätevarastoksi. Bioreaktorin tuottama mädäte vaatii alustavasti kolme 5 000 m³ kokoista säiliötä, ja lietepohjainen mädäte yhden 3 200 m³ kokoisen säiliön.

Alueen eteläosassa sijaitsee hieman suurempi rakennus, jonka pinta-ala on 1 000 m² ja johon on suunniteltu prosessi- ja vastaanottotoimintoja. Rakennuksen yhteydessä oleva lämmön talteenottoyksikkö on kooltaan noin 200 m². Lämmöntalteenottoyksikön läheisyydessä sijaitsevat jätevesilietteen (3 x 3 m³) ja lannan (3 x 9 m³) hygienisointiyksiköt. Lämmöntalteenottoyksikölle on esitetty myös toinen mahdollinen esimerkkisijainti talteenottoa koskevassa kappaleessa.

Alueen eteläisimmässä päädyssä sijaitsevat alustavan suunnitelman mukaan soihtu, kaasuväkä (1 520 Nm³), biokaasun jalostusyksikkö (100 m²), biokaasun konttivarastot (4 kpl) sekä muuntaja. Alueen eteläisessä vasemmassa reunassa ovat kuivatun mädätteen varastot, joista yksi on varattu biomassalle (300 m²) ja toinen lietteelle (225 m²). Varastot voivat olla joko katos- tai hallimallisia. Laitoksen asemakuvan suurennos löytyy liitteestä 2.

2.5 Konseptien massa- ja energiavirrat

Tässä kappaleessa tarkastellaan lyhyesti laitoskonseptien 1 ja 2 massa- ja energiavirtoja. Molempien konseptien keskeisimmät tulokset on koottu taulukkoon 4. Seuraavissa alaluvuissa massa- ja energiavirrat esitetään lisäksi visuaalisessa muodossa.

Taulukko 4. Laitoskonseptien 1 ja 2 massa- ja energiavirrat.

	Laitoskonsepti 1	Laitoskonsepti 2
	Massavirrat	
	Sisään	
Lietelinjan syöte (t/v)	9 700	12 200
Biolinjan syöte (t/v)	40 500	61 400
Kemikaalin syöttö (kg/v)	2 500	4 000
Veden kulutus (m ³ /v)	n. 10 000	n. 10 000
	Ulos	
Hiilidioksidi CO ₂ (t/v)	1 800	2 500
Biometaani CH ₄ (t/v)	n. 1000	n. 1 400
Kuivaamaton lietemädäte (t/v)	8 800	10 000
Lietemädäte kuivajae (t/v)	500	800
Kuivaamaton biomädäte (t/v)	40 000	55 000
Biomädätteen kuivajae (t/v)	0	0
	Energiavirrat	
	Sisään	
Sähkön kulutus (MWh)	5 200	7 600
Lämmön kulutus (MWh)	4 500 - 6 000	5 000 - 8 800
	Ulos	
Biometaanin tuotanto CH ₄ (MWh)	13 900	19 600

Massavirtoja ovat biokaasulaitoksen syötteiden, kemikaalien ja veden määrät sekä valmistuvien tuotteiden, kuten biometaanin, mädätteen ja hiilidioksidin määrät. Reaktoreissa muodostuvat mädätteet voivat osittain ohjautua uudelleen reaktoriin esim. syöteenlaimennuksen myötä. Linkouksen aikana mädätteen sekaan voidaan lisätä kemikaaleja, jotka edistävät nesteen erottumista.

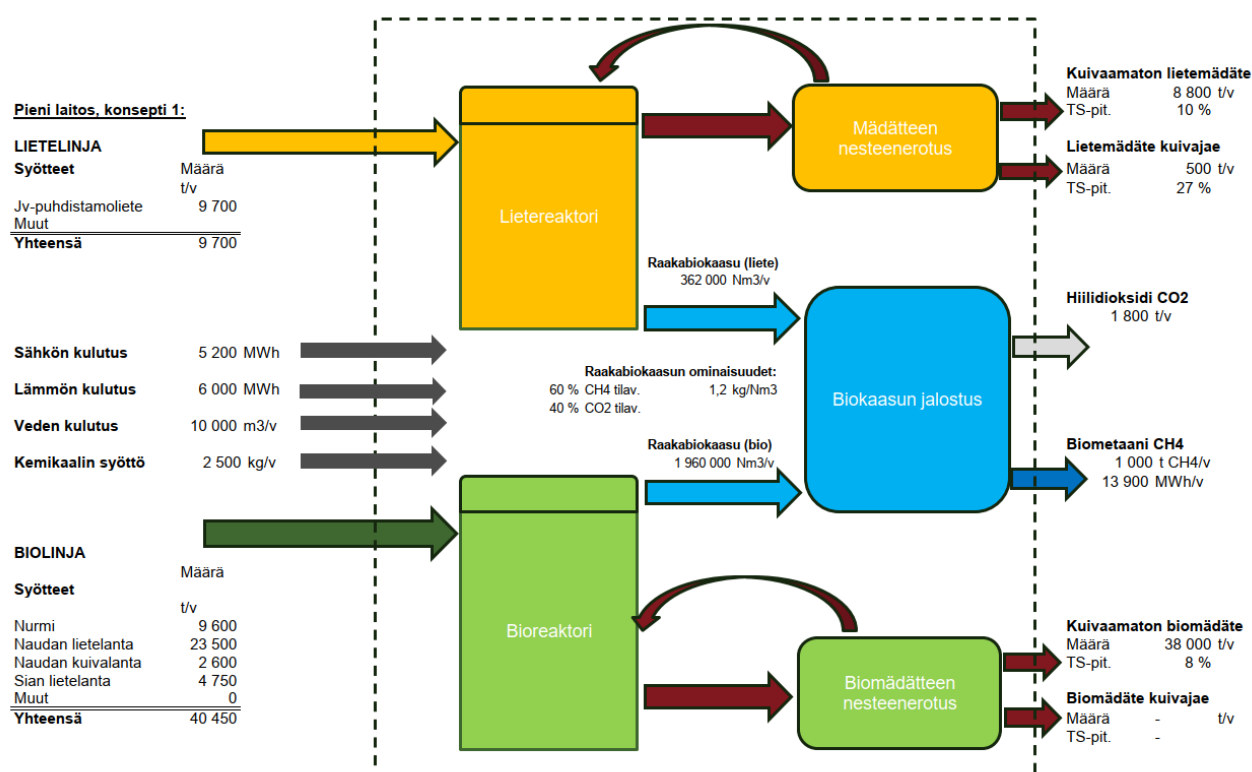
Veden käyttökohteita ovat muun muassa laitoksen eri osien, kuten säiliöiden ja putkistojen puhdistus ja pesu hygienian varmistamiseksi, syötteiden esikäsitteleminen ja sekoitus ennen niiden syöttämistä reaktoreihin sekä raakabiokaasun puhdistus- ja jäähdytysprosessit. Veden ja kemikaalien käyttötarpeet ovat suuruusluokka-arvioita.

Energiavirtoihin kuuluvat arviot vuosittaisesta lämmön- ja sähkönkulutuksesta sekä biometaanin tuotannosta. Pääasiassa lämpöä kuluttaa syötteiden lämmitys sekä lämpöhäviöt, mutta sitä tarvitaan myös hygienisoinnissa sekä raakabiokaasun kosteuden poistamisessa. Lämmön käytön arvioidaan olevan pienessä laitoksessa 4500-6000 MWh/v ja 5000-8800 MWh/v suuressa laitoksessa. Sähköä

kuluu raaka-aineen käsittelyyn, kuten murskaus- ja siirtoprosesseihin, sekä prosessin ylläpitoon ja valvontaan liittyviin laitteisiin, kuten pumppuihin ja sekoittimiin. Lisäksi sähköä tarvitaan raakabiokaasun puhdistamiseen, jalostamiseen ja paineistamiseen, mädätteiden käsittelyyn ja varastointiin sekä laitoksen ylläpitoon ja valvontajärjestelmiin.

2.5.1 Laitoskonsepti 1

Laitoskonseptissa 1 esitellään pienemmän syötekapasiteetin biokaasulaitoksen massa- ja energiavirrat, joka on esitetty kuvassa 6. Syötemäärät pohjautuvat luvun 2.4 mukaisiin tietoihin. Lietereaktorissa muodostuu raakabiokaasua noin 360 000 Nm³/v ja bioreaktorissa noin 1 900 000 Nm³/v.

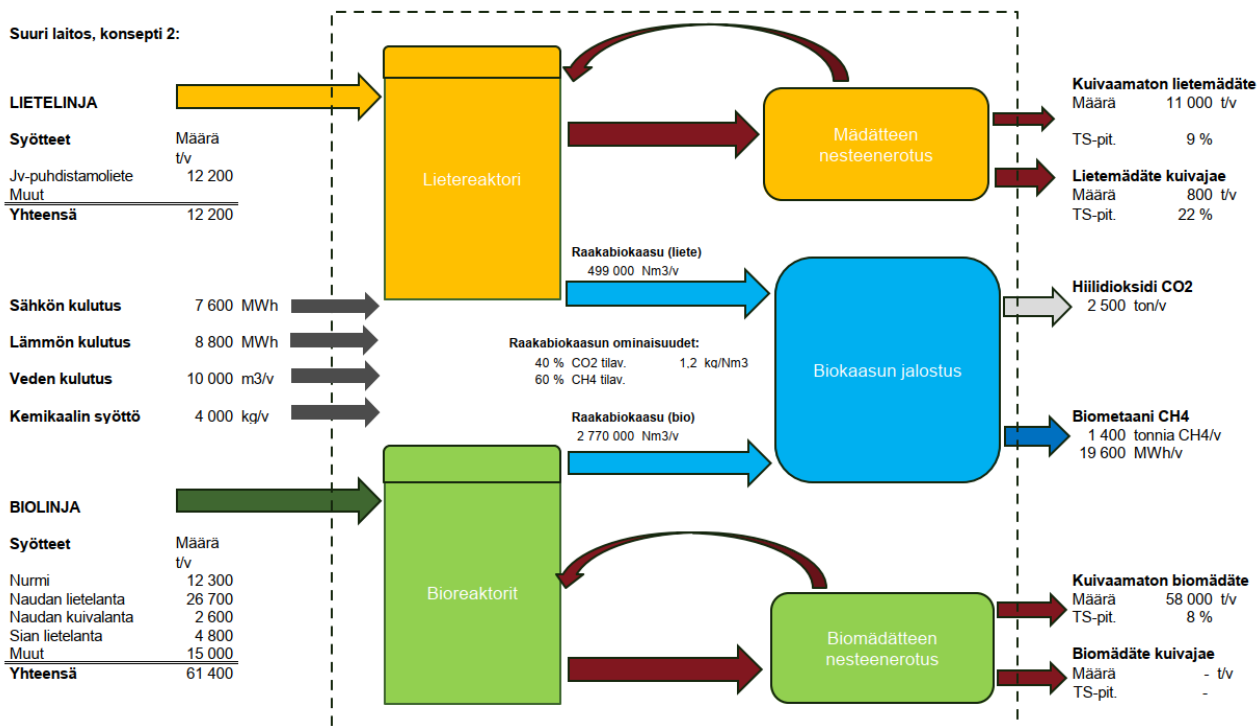


Kuva 6. Laitoskonseptin 1 massa- ja energiavirrat taserajoinen.

Raakabiokaasun jalostuksessa muodostuu biometaania ja hiilidioksidia. Biometaanin vuosituotanto olisi arvion mukaan noin 1 000 t_{CH₄}/v, joka vastaa noin 13 900 MWh/v energiana. Hiilidioksidia muodostuu arvion mukaan noin 1 800 t_{CO₂}/v.

2.5.2 Laitoskonsepti 2

Laitoskonseptissa 2 esitellään suuremman syötekapasiteetin biokaasulaitoksen massa- ja energiavirrat, jotka on esitetty kuvassa 7. Syötemäärät pohjautuvat taulukon 2.4 mukaisiin tietoihin. Lietereaktorissa muodostuu raakabiokaasua noin 500 000 Nm³/v ja bioreaktorissa noin 2 770 000 Nm³/v.



Kuva 7. Laitoskonseptin 2 massa- ja energiavirrat taserajoineen.

Raakabiokaasun jalostuksessa muodostuu biometaanin ja hiilidioksidia. Biometaanin vuosituotanto olisi arvon mukaan noin 1 400 t_{CH₄}/v, joka vastaa noin 19 600 MWh/v energiana. Hiilidioksidia muodostuu arvon mukaan noin 2 000 t_{CO₂}/v.

2.6 Biokaasun kysyntäpotentiaali

2.6.1 Biokaasun kaupallinen käyttö

Yksinkertaisimmillaan biokaasua voidaan hyödyntää voimalaitoskattiloiden polttoaineena, jolloin muodostuvaa lämpöä voidaan ohjata kaukolämmön muodossa kotitalouksille, tai prosessilämpönä teollisuuden tarpeisiin. Sitä on mahdollista hyödyntää myös CHP-laitoksissa, jossa lämmön lisäksi voidaan tuottaa myös sähköä. Tämä onnistuu esimerkiksi ns. moottorivoimalaitoksen avulla.⁴³

Suomen biokierto ja biokaasu ry:n mukaan vuonna 2023 biometaanin tuotanto oli noin 243 GWh⁴⁴. Biokaasun tuotanto sen sijaan oli noin 676 GWh. Biometaanin osuus kokonaisbiokaasun ja biometaanin tuotannosta oli vuonna 2023 noin 26 prosenttia. Uutta biometaanin tuotantokapasiteettia on tullut erityisesti yhdyskuntien biojätteiden ja puhdistamolietteiden käsittelyn myötä. Biometaanin tuotanto alkoi kasvaa vuonna 2018, ja tämä kasvu on jatkunut siitä eteenpäin. Vuonna 2023 suurin osa biokaasusta tuotettiin biojätteestä ja puhdistamolietteistä.

⁴³ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

⁴⁴ Suomen biokierto ja biokaasu ry, 2025

Biokaasusta jalostettua biometaania on mahdollista käyttää myös liikenne- ja työkonepolttoaineena, jolloin sille saadaan sen korkein jalostusarvo. Sen keskihinta on ollut vuoden 2024 lokakuun ja joulukuun välisenä aikana noin 1,68 €/kg (alv 25,5 %). Biokaasun keskihinta perustuu Gasum Oy:n hintatietoihin ja lisäksi joidenkin biokaasun suurimpien jakelijoiden toimittamaan hintadataan. Alkuvuodesta 2025 liikennekaasuna käytettävän biometaanin ns. mittarihintaa on ollut noin 2 €/kg (alv 25,5 %). Tämä tarkoittaa noin 110–120 €/MWh (alv 0 %) hintatasoa. Lapinlahtea lähimmät biokaasun tankkausasemat löytyvät tällä hetkellä Vieremältä ja Kuopiosta.^{45 46}

Jos raskaat ajoneuvot pitkien välimatkojen Suomessa käyttäisivät polttoaineena biometaania enemmän, voisi se vähentää tieliikenteen hiilijalanjälkeä. Autoalan tiedotuskeskuksen mukaan vuoden 2025 alussa liikenteessä oli noin 17 000 kaasukäyttöistä henkilöautoa, noin 1 200 pakettiautoa, noin 800 kuorma-autoa ja noin 70 linja-autoa. Kaasukäyttöisten ajoneuvojen määrä on viime vuosina kasvanut eniten kuorma-autoissa, joissa metaania käytetään paineistettuna jakelu- ja keräilyliikenteessä sekä nesteytettynä pitkän matkan raskaissa ajoneuvoyhdistelmissä⁴⁷. Kaasukäyttöisten henkilöautojen määrän kasvu on kuitenkin pysähtynyt viime vuosina, sillä monet kaasuautojen valmistajat ovat vähentäneet uusien kaasuautojen tuotantoa ja siirtäneet painopisteensä sähköautojen valmistukseen. Myös EU:n päästädirektiivien valmistelu on vaikuttanut kaasuautojen tuotantomääriin. EU:n lainsäädännöllä voi olla tulevaisuudessa vaikutusta siihen, millaisiksi biokaasukäyttöisten autojen markkinat tulevat muotoutumaan.

2.6.2 Hiilidioksidi

Biokaasun valmistusprosessissa syntyvä hiilidioksidi on perinteisesti päästetty ilmaan, mutta nykyään sen talteenotto ja jalostus ovat yhä kiinnostavampia vaihtoehtoja käyttää sitä jatkojalostuksessa. Biokaasu sisältää yleensä hiilidioksidia noin 30–40 tilavuus-% riippuen käytetyn raaka-aineen koostumuksesta⁴⁸. Vaikka hiilidioksidin kaupalliset käyttökohteet ovat toistaiseksi rajalliset, sen jatkojalostamiseen on herännyt kiinnostusta.

Hiilidioksidin puhtausvaatimukset vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan; elintarviketeollisuudessa tarvitaan yli 99,9 % puhtautta⁴⁹, kun taas teollisuuden sovelluksissa puhtaus voi olla alhaisempikin, kuitenkin yli 90 %. Potentiaalisia käyttökohteita ovat esimerkiksi elintarviketeollisuuden pakkauskaasu, hiilihapollisten juomien valmistus, erilaiset pakastussovellukset, kasvihuoneissa kasvihuonekaasuna hyödyntäminen, betonin kovettaminen ja synteettisten polttoaineiden tuotanto⁵⁰.

Jos suunnitellaan suuren kapasiteetin voimalaitoksesta talteen otettavan CO₂:n siirtoa esimerkiksi uusiutuvien polttoaineiden jatkojalostukseen, voidaan yleisesti todeta, että hiilidioksidia tulisi siirtää putkistossa vähintään noin 1 000 000 tCO₂/v, ja maanteitse noin 100 000 tCO₂/v, jotta se olisi kannattavaa. Kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa siirrettävän hiilidioksidin olomuoto, kuljetusmuoto, sekä siirrettävän matkan pituus, sekä lopputuotteen markkinahinta. Tässä selvityksessä esitetty arvio hiilidioksidin määrästä on siirron kannattavuuden näkökulmasta todennäköisesti liian vähän.

⁴⁵ Liikenne- ja viestintävirasto Traficom, 2025

⁴⁶ Gasum Oy, 2025

⁴⁷ Autoalan tiedotuskeskus, 2025

⁴⁸ Kymäläinen ja Pakarinen, 2015

⁴⁹ Biocidal Products Committee, 2014

⁵⁰ Suutari ja Vilja-Sarronmaa, 2022

2.6.3 Mädätysjäännöksen hyödyntäminen

Mädätysjäännös voidaan hyödyntää sellaisenaan lannoitteena ja maanparannusaineena, siitä voidaan erotella neste- ja kuivajae, ja jatkojalostaa lannoitevalmisteiksi riippuen käytetyistä syötteistä. Niin ikään puhdistamolietteitä sisältävät kuivajakeet soveltuvat mullan raaka-aineeksi tai kompostituotteiksi. Mädätysjäännöksen kaupallisesta hyödyntämisestä on kerrottu enemmän luvussa 3.1.

2.7 Valittujen laitospäätösten kassavirta- sekä kannattavuuslaskelmat

Tässä kappaleessa esitetään arviot konseptilaitosten investointi- ja käyttökustannuksista sekä niillä saatavista myyntituotoista. Näiden kautta muodostuu laitoksille kannattavuusarviolaskennat. Luvussa esitellään myös edellä mainittujen taustaoletukset ja keskeisimmät niihin liittyvistä epävarmuuksista ja mahdollisuuksista. Laskelmia arvioidessa on syytä huomioida, että kyseessä on konseptitasoinen esitys laitoksista, jolloin niin yksittäisiin kannattavuuslaskennan riveihin kuin kokonaisuuteenkin liittyy merkittäviä epävarmuuksia, sillä mm. arviota tehtäessä ei ole pyydetty laitetoimittajilta sitovia tarjouksia. Toisin sanoen tulot ja kustannukset on mielekästä nähdä suuruusluokkatasolla. Myöskään varsinaisia syötteiden hankinta- tai toisaalta kaasunmyyntineuvotteluja ei ole käyty relevanttien tahojen kanssa. Edellä kuvattu on tyypillinen tilanne alkuvaiheen selvityksissä. Toinen tärkeä huomio on se, että seuraavassa annetut hinnat ja eurosummat eivät sisällä arvonlisäveroa, ellei toisin mainita.

2.7.1 Investointikustannusten arviointi (CAPEX)

Biokaasulaitoksen investointikustannuslaskennassa mittakaava on merkittävä tekijä. Toisaalta pienen laitoksen, esimerkiksi yksinkertaista maatilamittakaavan tekniikkaa edustavan biokaasulaitoksen, investointi voi myös olla melko edullinen, mutta silloin usein puuttuu korkeamman teknologian tekniikkaa kuten biokaasun jalostus, paineistus sekä jakeluasema, jotka vaativat lisäinvestointeja.

Suuremmissa, yli 50 000 tonnin laitoksessa hyötynä on skaalaetu, sillä suurempien laitosten komponenttien kustannukset eivät kasva lineaarisesti ja operointityövoima kasvaa vähemmän. Suurissa laitoksissa investoinnit monimutkaisempiin teknisiin ratkaisuihin ovat kustannustehokkaampia. Kun puhutaan nimenomaan maatalouden biomassasta syötemateriaaleina, suuria selkeämmän skaalaedun omaavia ovat yli 100 000 tonnin kapasiteetiltaan olevat laitokset.

Taulukossa 5 on esitetty arviot projektin aikana kehitettyjen biokaasulaitosten investointikustannuksista. Arviot on tehty perustuen Swecon aikaisempiin kokemuksiin biokaasuprojekteista sekä julkisesti saatavissa olevaan tietoon laitoshankkeista Suomessa. Projektin aikana ei ole käyty laitetoimittajakeskusteluja tai pyydetty budjettitarjouksia. Tähän on ollut perusteena se, että laitospäätösten voi rakentaa hyvin monella tavalla riippuen investoivan tahon strategiasta ja painotuksista. Kaikki tämä vaikuttaa hyvin merkittävästi investointikustannukseen. Ei ole ollut kovin mielekästä tässä vaiheessa pyytää budjettitarjouksia, kun investoiva taho ja sitä kautta laitospäätös ei ole tarkasti määritelty.

Taulukko 5. Biokaasulaitoskonseptien investointikustannusarviot

Investointikustannusarvio		Laitoskonsepti 1		Laitoskonsepti 2	
		Pieni laitos		Suuri laitos	
Biokaasulaitos	€		4 600 000		6 900 000
Hygienisointi	€		600 000		1 000 000
Lämmöntuotanto	€		900 000		1 200 000
Jalostus	€		1 200 000		1 800 000
Kaasukompressori, konttien täyttö ja kontit	€		900 000		1 600 000
Mädätteen käsittely ja varastointi	€		670 000		900 000
Prosessilaitteistot	€		8 900 000		13 400 000
Maansiirtotyöt	€		1 400 000		1 800 000
Muut mm. liittymät	€		80 000		100 000
Suunnittelu, projektihallinto, luvitus jne	% investoinnista	10 %	1 000 000		1 500 000
Investointi yhteensä	€		11 400 000		16 800 000
Ennakoimattomat erät	% investoinnista	20 %	2 300 000		3 400 000
Investointi yhteensä (ei korkokuluja)	€		13 700 000		20 200 000

Merkittävin yksittäinen kustannuskomponentti on varsinainen biokaasulaitostekniikka sisältäen mm. syötteiden vastaanoton, esikäsittelyn, kuljettimet ja reaktorit sekä laitosrakennukset. Muita huomattavia kustannuskomponentteja ovat jalostus sekä kaasun paineenkorotus, konttien täyttöasema sekä paineistetun kaasun siirtoon ja varastointiin käytettävät kontit. Pienelle laitokselle on suunniteltu riittävän kolme teräskonttia ja suurelle laitokselle neljä komposiittikonttia. Komposiittikonttien investointikustannus on teräskontteja suurempi (arviolta n. 100 000 €/kontti), mutta myös niiden hyötykuorma on merkittävästi teräskontteja arviolta noin 70 % korkeampi. Biokaasun jalostustekniikkaa ei eritellä vielä konseptointivaiheessa tarkemmin vaan se tarkentuu suunnitteluvaiheessa.

Suurempikin laitos on nykyisellä nesteytyksen teknologia- ja kustannustasolla todennäköisesti liian pieni, jotta oman nesteytyslaitoksen investointi olisi kannattavaa. Siksi nesteytystä ei ole sisällytetty investointikustannuksiin. Tästä syystä tavoiteltaessa raskaan liikenteen polttoainekäyttöä, oletetaan että nesteytyksessä on mahdollista tehdä esimerkiksi yhteistyötä jonkun toisen seutukunnalla sijaitsevan laitoksen kanssa, jolloin kaasua joudutaan kuljettamaan pitkiäkin matkoja. Logistiikkakustannusten ja kaasun kuljetuksen hiilijalanjäljen kannalta on järkevää investoida komposiittikontteihin. Ne parantavat myös laitoksella valmiin biometaanin varastointikapasiteettia.

Varsinaisten prosessilaitteistojen investointikustannukseksi on arvioitu pienellä laitoksella hieman alle yhdeksän miljoonaa euroa ja suuren laitoksen tapauksessa yli 13 miljoonaa euroa. Eri komponenttien investointikustannusten arvioinnissa on käytetty menetelmänä skaalausta Lapinlahden kapasiteetteihin. Käytetyn menetelmän vuoksi ns skaalaetua ei saada kunnolla näkyviin laitosten välillä.

Varsinaisen laitostekniikan päälle on laskettu maanrakennuskustannuksia 1,4–1,8 M€. Kustannusarvio on tehty ilmakehän aineiston ja tämänhetkisen asemapiirustuksen perusteella, eikä käytössä ole ollut esimerkiksi maaperätutkimustuloksia. Perustustavaksi on oletettu suuremmille rakennuksille ja silloille paalutus. Kustannusarvio ei sisällä Urakan aikaista pohjaveden hallintaa (pohjaveden korko ei tiedossa) eikä hulevesien hallintaa.

Suunnittelu- ja projektipalveluihin on varattu 1,0–1,5 M€. Niihin kuuluvat tyypillisesti mm.:

- Projektinhallinta
 - Luvat, viranomaishyväksynät
 - Riskianalyysi
 - Projektipäällikkö ja projekti-insinööri
 - Hankinnat, nopeuttaminen
- Laitoksen esi- ja perussuunnittelu
 - Arkkitehtisuunnittelu
 - Kaikki eri suunnittelualat
- Työmaan valvonta
 - Työnjohtaja
 - Tehtävien koordinointi, työmaan suunnittelu, turvallisuus, varastointi, koulutus jne.
 - Eri suunnittelualojen työmaavalvonta
- Käyttöönotto ja käynnistys

Laitoksen prosessi on suunniteltu vasta konsepti- ja lohkokaaviotasolla, varsinaisia tarkkoja mitoituksia ei ole tehty eikä myöskään hankintaneuvotteluja mahdollisten laitetoimittajien kanssa ole käynnistetty. Myöskään laitoksen mahdollinen toteutusaikataulu ei ole selvä. Edellä mainittujen epävarmuuksien takia on investointilaskentaan sisällytetty 20 % varaus ennakoimattomille erille. Tämän suuruus on 2,3–3,4 M€. Investointikustannusarvioiksi saadaan pienelle laitokselle n. 13,7 M€ ja suurelle laitokselle n. 20,2 M€.

Realistisen investointikustannusarvion määrittäminen on aina vaikeaa erityisesti laitoshankekehityksen alkuvaiheessa. Käytäntö on myös osoittanut, että monen investointihankkeen alkuperäiset kustannusarviot ovat ylittyneet hyvin merkittävästi hankkeen edetessä toteutukseen. Hankkeen seuraavassa vaiheessa onkin syytä käynnistää keskustelut laitetoimittajien kanssa investointikustannusarvion tarkentamiseksi.

Esitetyt investointiarviot eivät sisällä mm. seuraavia osia:

- Tonttiin tai maanhankintaan liittyvät kustannuksia
- Kuormien punnituslaitteistoja. Oletettu, että vaakapalvelut voidaan hankkia ostopalveluna eli vuokrata.
- Investoivan yrityksen oman henkilöstön oman työn osuutta
- Vakuutuksia
- Käyttöpääoman kustannusta

2.7.2 Laitosten käyttökustannusten arviointi (OPEX)

Taulukossa 6 on esitetty arviot biokaasulaitosten käyttökustannuksista.

Taulukko 6. Arviot Biokaasulaitoskonseptien käyttökustannuksista.

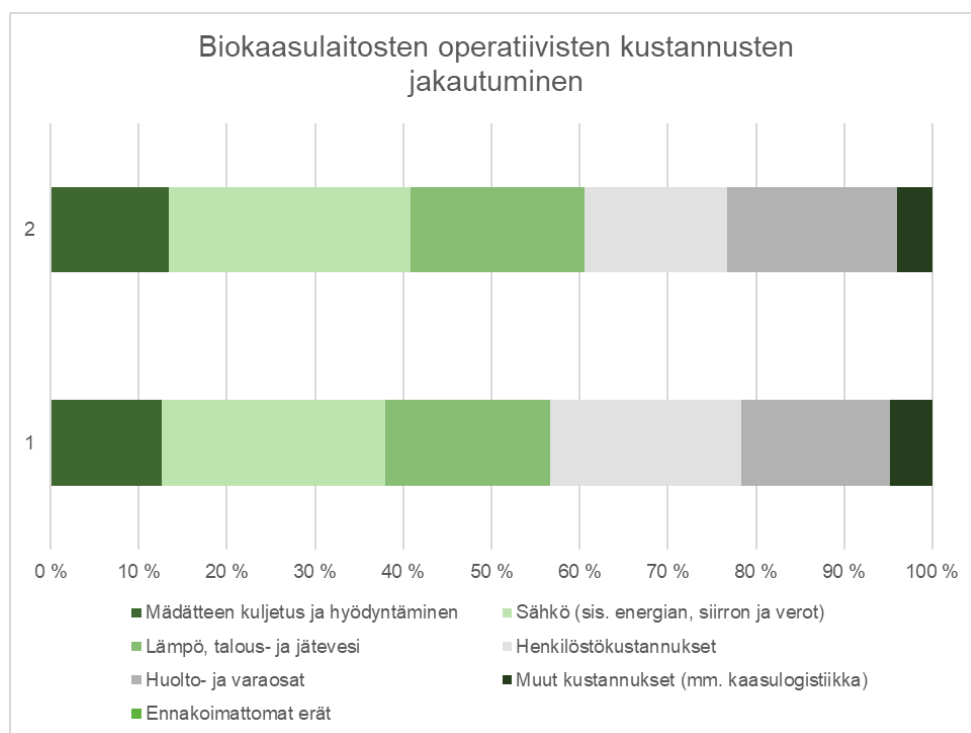
	1. Pieni laitos	2. Suuri laitos
Operatiiviset kustannukset	€/vuosi	€/vuosi
Mädätteen kuljetus ja hyödyntäminen	210 000	300 000
Sähkö (sis. energian, siirron ja verot)	420 000	610 000
Lämpö, talous- ja jätevesi	310 000	440 000
Henkilöstökustannukset	360 000	360 000
Huolto- ja varaosat	280 000	430 000
Muut kustannukset (mm. kaasulogistiikka)	80 000	90 000
Ennakoimattomat erät	0	0
Käyttökustannukset yhteensä	1 660 000	2 230 000

Biokaasulaitoksen merkittävimmät operatiiviset kustannuserät ovat tyypillisesti henkilöstökustannukset, huolto- ja varaosakustannukset sekä hyödykkeet eli sähkö, lämpö, vesi ja kemikaalit. Samoin syötteisiin ja mädätteisiin liittyvät kustannukset ovat merkittävä kustannuserä. Lapinlahden laitoksenkonseptien tapauksessa syötteisiin liittyvät hankinta ja rahtikustannukset eivät ole esitetty tässä taulukossa, vaan ne on sisällytetty negatiivisina erinä porttimaksutuottojen laskentaan, joka käsitellään seuraavassa kohdassa 2.7.3. Ne tulevat siten huomioiduiksi laitoksen kannattavuuden arvioinnissa.

Eri hyödykkeiden kulutusarviot perustuvat Swecon tietoon aiemmista projekteista, jotka on skaalattu Lapinlahden laitosten kokoluokkiin. Sähkön hankintakustannukseksi on oletettu keskimäärin 80 €/MWh sisältäen energian, siirtomaksun ja veron. Lämmön hankintamääränä käytettiin varmuuden vuoksi 8800 MWh/v. ja sen ajateltiin tuotettavan oman hakelämpökeskuksen avulla, jolloin lämmön tuotantokustannuksen arvioidaan olevan noin 45 €/MWh. Vastaavasti oma hakelämpökeskus on sisällytetty investointikustannuksiin. Tämä oli ennakoitava tapa arvioida lämmöntuotannon investointi- ja käyttökustannusvaikutusta. Toinen järkevä ja mielekäs tapa olisi hankkia lämpö paikallisesta naapurissa sijaitsevasta lämpökeskuksesta. Tämä laskisi lämmöntuotannon investointikustannuksia suuren laitoksen tapauksessa arviolta n. 900 000 €, mutta se nostaisi taas käyttökustannuksia lähes kaksinkertaiseksi korkeamman kaukolämmön hinnastohinnan 84,42 €/MWh vuoksi⁵¹.

Mädätekustannuksia arvioitaessa ne on oletettu saatavan käyttöön laitoksen lähialueelle n. 10–20 km säteellä laitoksesta niin että osittain voidaan hyödyntää syötekuljetusten synergioita. Henkilöstökustannuksissa on arvioitu laitoksen henkilöstötarpeeksi neljä täysiaikaista työntekijää. Kuvassa 8 on esitetty käyttökulujen suhteellinen jakautuminen molemmille laitoksille.

⁵¹ Savon Voima, 2025a ja Savon Voima, 2025b



Kuva 8. Operatiivisten käyttökustannusten jakautuminen ja niiden vertailu laitostyöskäytön välillä (1 Pieni laitos n. 50 000 t/v., 2 Suuri laitos n. 75 000 t/v.)

2.7.3 Laitosten myyntitulojen arviointi

Biokaasulaitosten myyntitulot ja liiketoimintamalli perustuu tällä hetkellä Suomessa yleisesti kolmelle tukijalalle:

- Vastaanotettavien jätejakeiden porttimaksutulot
- Kaasun myyntitulot
- Liikennekaasua tuottaessa ns. tikettikauppa

Tässä hankkeessa tarkasteltujen laitostyöskäytön tapauksessa jätevedenpuhdistamolietteet sekä suuren laitoksen tapauksessa muut teollisuuden lietteet on arvioitu porttimaksutuloja laitokselle antaviksi jakeiksi. Sen sijaan maatalouden syötteiden mukana ei tule porttimaksutuloja. Käytännössä ne ovat logistiikka- ja muut mahdolliset syötekustannukset huomioiden porttimaksutuloltaan negatiivisia. Muita mahdollisia porttimaksutuloja aikaansaavia jätejakeita olisivat mm. biojätteet ja muut orgaaniset jätejakeet. Porttimaksutuloiksi muodostuu pienellä laitoksella n. 350 000 €/v., saavutetun keskiporttimaksun ollessa n. 7 €/tonni, ja suurella laitoksella n. 1 000 000 €/v. saavutetun keskiporttimaksun ollessa n. 14 €/tonni. Esitetyt porttimaksutuotot sisältävät syötteiden hankintaan liittyvät kustannukset.

Kaasun myyntituloja huomioitaessa yleisesti biometaanin liikennekäytöstä on saatavissa korkein myyntihinta muihin käyttökohteisiin verrattuna tuotettua energiayksikköä kohden erityisesti, kun myös ns. tikettikaupan vaikutus huomioidaan. Lisäksi liikenteen hiilidioksidipäästöjä ollaan Suomessa vähentämässä niin kansallisin kuin esim. yrityskohtaisin tavoittein, joten markkinan voidaan nähdä kasvavan. Suurin potentiaali on todennäköisesti raskaassa liikennekäytössä eli rekka- ja laivaliikenteessä. Näiden segmenttien käyttötarpeet huomioiden, biometaanin käyttö

todennäköisesti edellyttää nesteytystä. Joka tapauksessa laitospäätösten kehittämisvaiheessa on järkevää tavoitella biokaasun liikennekäyttöä. Se toki tarkoittaa myös merkittäviä lisäinvestointeja mm. kaasun jalostukseen ja jakeluun sekä raskaan liikenteen käyttöä tavoitellessa nesteytykseen.

Muita biokaasun käyttömahdollisuuksia ovat mm. biokaasun käyttö teollisuuden prosesseissa, käyttö lämmöntuotannossa sekä esim. maatalouskäyttö. Maatalouskäyttö on tässä työssä katsottu sen verran pienimuotoiseksi laitoksen mittakaava huomioiden, että sitä ei ole tarkasteltu syvemmin. Teollisuusprosessikäyttöä ajatellen kaasun myynti paikalliseen teollisuuteen joko putkea pitkin tai konteilla kuljettaen on yksi varteen otettava ja tärkeä vaihtoehto. Olisi laitoksen kannattavuuden kannalta tärkeää tavoitella sellaisia käyttökohteita, jossa biokaasu korvaisi muita korkeamman markkinahinnan omaavia polttoaineita esimerkiksi kevyttä polttoöljyä tai nesteytettyä maakaasua. Esimerkiksi kevyen polttoöljyn markkinahinta oli maaliskuussa 2025 n. 1,3 €/litra (alv 25,5 %) eli n. 100 €/MWh (alv 0%).

Edellisen Lapinlahden kunnalle toteutetun selvityksen⁵² perusteella tiedossa on, että Valion arvioima tarve nesteytetyn biometaanin liikennekäytölle Lapinlahden tehtaalle suuntautuvassa säiliöautoliikenteessä tulisi olemaan n. 500 000–600 000 kg/v. Tämä vastaa noin 6–8 GWh/v energiasisältöä. Lisäksi tehtaalla saattaa olla tarvetta myös jakeluautoliikenteen polttoaineelle, mutta sen tarve arvioidaan olevan huomattavasti pienempi. Lisäksi työssä arvioitiin Valion Lapinlahden tehtaan vara- ja huipputehopolttoaineen käytöksi n. 3 GWh /v. Lisäksi Pohjois-Savossa on arviolta muitakin potentiaalisia vastaavia käyttökohteita kaasulle. Niihin kaasun toimitus tapahtuisi kontein. Tämä aiheuttaa kuljetuskustannuksia, mikä laskee laitoksen nettomyyntihintaa.

Kolmantena myyntipotentialisegmenttinä voidaan nähdä tavanomainen lämmöntuotanto, jossa tosin kilpailevan uusiutuvan polttoaineen markkinahinta on alhaisempi, mutta toisaalta käyttövolyymit suuremmat ja ennakoitavammat. Kilpailevana uusiutuvana polttoaineena voidaan nähdä puupelletti, jonka markkinahinta on arviolta karkein luvuin 50–60 €/MWh (alv 0 %), tai puuhake, jonka markkinahintana voi pitää n. 30–40 €/MWh (alv 0%), kun huomioidaan myös kiinteän polttoaineen käytön johdosta aiheutuvia lisäkustannuksia kaasuun nähden. Kauko- ja prosessilämmön käyttökohteissa on se hyvä puoli, että biokaasun ei tarvitse olla jalostettua biometaaniksi saakka, vaan puhdistettu biokaasu on tekniseltä laadultaan useimmiten riittävä. Tämä laskisi sen osalta kaasun tuotantokustannuksia.

Myöhemmin esitettävissä kassavirtalaskennoissa on oletettu 90 % tuotetusta kaasusta myytävän liikennekäyttösovellukseen keskihinnalla 100 €/MWh (alv0%). Loppuosuudesta 8 % arvioidaan myytäväksi lämmöntuotantoon keskihinnalla 55 €/MWh (alv0%) ja 2 % poltetaan soihdussa erilaisissa häiriö- tai muissa poikkeavissa tilanteissa. Liikennekaasun jakelumalliin ei ole otettu tässä kohtaa tarkemmin kantaa, mutta kuten edellä kohdassa 2.7.1 todetaan, investointikustannusarvioon ei ole sisällytetty nesteytystä tai liikennekaasun jakeluasemaa. Jakelun toteutumismalli oletetaan tarkentuvan myöhemmin, ja eräs mahdollinen malli on yhteistyö jonkun toisen toimijan kanssa jakeluun sekä ehkä myös nesteytykseen liittyen. Koska kaasun myynnistä 90 % ohjautuu liikennekäyttöön, arvioidaan laitoksen saavan myyntituloja myös liikenteen jakeluvelvoitteen ylittävien osuuksien myynnistä eli ns. tiketti-kaupasta. Jakeluvelvoitteen keskimääräiseksi suuruudeksi laitoksen pitoajalla on oletettu 30 % ja tiketin hinnaksi 65 €/MWh.

⁵² Sweco Finland Oy, 2024b

Jakeluvelvoitteen suuruuteen liittyy merkittävää poliittista riskiä ja sitä onkin viime vuosina eri hallitusten toimista laskettu. Tällä hetkellä tiedossa olevalla suunnitelmalla jakeluvelvoitteen suuruus kehittyy seuraavasti⁵³:

2025: 16,5 %

2026: 19,5 %

2027: 22,5 %

2030: 34 %

Tikettikauppa on luonteeltaan kahden välistä eikä siitä ole olemassa läpinäkyvää markkinahintatietoa tai tilastoa sen kehityksestä. Myös sen vuoksi sen arvioiminen on hankalaa. Tikettien markkinahintojen voidaan toisaalta nähdä tulevaisuudessa myös kasvavan jakeluvelvoitteen tiukentuessa.

2.7.4 Laitosten kannattavuuslaskennat

Yhteenveto edellä kuvatuista syötteistä, investoinneista ja käyttökustannuksista sekä kannattavuudesta on esitetty taulukossa 7. Pienen laitoksen käyttökatteeksi saatiin n. 570 000 €, käyttökateprosentin ollessa matala n. 25 %. Suuren laitoksen käyttökatteeksi saatiin n. 1 400 000 €, käyttökateprosentin ollessa tyydyttävä n. 39 %.

Laitosinvestointien vuosikustannus määritettiin käyttäen annuiteettimenetelmää. Laitoksen pitoajaksi määritettiin 15 vuotta ja laskentakoroksi 6 %. Laskennan perusteella nähdään, että laitosten käyttökatteet eivät riitä kattamaan investointien vuosikustannuksia, joten ne eivät ole kannattavia. Tätä kautta myös niiden nettonykyarvot jäävät negatiivisiksi ja sisäiset korot alhaisiksi. Suuremman laitoksen koroton takaisinmaksu aika on 10,6 vuotta ja sisäinen korko lievästi positiivinen. Kannattavuuslaskennasta voidaan nähdä, että nykyisestä lopputuloksesta huolimatta, suuremman laitoksen tapauksessa on todennäköisesti mahdollista päästä hankekehityksellä myös investoinnin positiiviseen kannattavuuteen.

Aikaansaadut tulokset nyt esitettyjen konseptilaitosten kannattavuudesta kertovat, että kannattavuustunnusluvut eivät ole vielä riittävät, joten jatkokehitystä tarvitaan edelleen, mutta toisaalta ne antavat selkeää toivoa siitä, että erityisesti suuremman laitoksen kohdalla on selkeää potentiaalia saada sen liiketoiminta kannattavaksi. Mahdollisuuksia vaikuttaa positiivisesti kannattavuuteen on esitelty seuraavassa luvussa 2.7.5.

⁵³ Työ- ja elinkeinoministeriö, 2024



Taulukko 7. Yhteenvedo laitosten kassavirroista ja kannattavuudesta.

	1. Pieni laitos	2. Suuri laitos
Vastaanotetut jakeet:	t/a	t/a
Jätevedenpuhdistamon liete	9 700	12 200
Nurmi	9 600	12 300
Naudan lietelanta	23 500	26 700
Naudan kuivalanta	2 600	2 600
Sian lietelanta	4 750	4 800
Muut	0	15 000
Vastaanotot yhteensä	50 150	73 600
Saavutettu keskim. porttimaksu, €/t	7	14
Kaasun käyttökohteet:	MWh/a	MWh/a
Kaasun tuotanto	13 900	19 600
Laitoksen omakäyttö prosessiin		
Kaasun liikennemyynti	12 510	17 640
Kaasun myynti konteilla	0	0
Kaasun myynti lämmön tuotantoon	1 112	1 568
Soihtu	278	392
Käyttö yhteensä	13 900	19 600
Saavutettu kaasun keskihinta, €/MWh	94	94
Investointi	€	€
Laiteinvestoinnit	8 900 000	13 400 000
Muut investoinnit (mm. maanrakennus, projektointi)	2 500 000	3 400 000
Kustannusvaraus / ennakoimattomat erät	2 280 000	3 360 000
Investointi yhteensä ilman tukia	13 700 000	20 160 000
Investointituki %	-3 400 000	-5 040 000
Investointi yhteensä tukien jälkeen	10 300 000	15 120 000
Operatiiviset kustannukset	€/vuosi	€/vuosi
Mädäte lopputuote kuivajae	53 000	65 000
Mädäte lopputuote kuivaamaton	152 000	232 000
Mädätteen kuljetus ja hyödyntäminen	210 000	300 000
Sähkö (sis. energian, siirron ja verot)	420 000	610 000
Lämpö, talous- ja jätevesi	310 000	440 000
Henkilöstökustannukset	360 000	360 000
Huolto- ja varaosat	280 000	430 000
Muut kustannukset (mm. kaasulogistiikka)	80 000	90 000
Ennakoimattomat erät	0	0
Käyttökustannukset yhteensä	1 660 000	2 230 000
Myyntituotot	€/vuosi	€/vuosi
Porttimaksutulot	350 000	1 000 000
Kaasun myynti	1 310 000	1 850 000
Tikettimyynti	570 000	803 000
Muut tuotot ja kustannussäästöt		
Myyntituotot yhteensä	2 230 000	3 653 000
Investoinnin kannattavuus		
Käyttökate %	25,6 %	38,9 %
Käyttökate / Nettotuotot	570 000	1 420 000
Investoinnin vuosikustannus (annuiteetti)	-1 060 000	-1 560 000
Yhteensä	-490 000	-140 000
Nettonykyarvo	-4 760 000	-1 330 000
Sisäinen korko %	-2,2 %	4,6 %
Koroton takaisinmaksuaika (a)	18,1	10,6
Rahoitus:		
Pitoaika / laina-aika, v.	15	
Korko	6,0 %	

2.7.5. Mahdollisuuksia parantaa laitosten investointien kannattavuutta

Suuremmalla laitospäätöksellä on edellisten kappaleiden perusteella paremmat mahdollisuudet kuin pienemmällä. Tästä syystä tässä kappaleessa käsitellään tarkemmin kannattavuuslaskennan tulosta sekä mietitään mahdollisuuksia parantaa laitoksen kannattavuutta erityisesti suuren laitoksen eli konseptin 2 näkökulmasta.

Kannattavuuslaskennasta on nähtävissä, että laitoksen myyntitulot ovat liian pienet suhteessa operatiivisiin kuluihin ja tarvittaviin investointeihin. Alla on esitettynä tunnistettuja keinoja, joilla laitoksen kannattavuutta voisi olla mahdollista parantaa:

1. Porttimaksutulojen lisääminen kasvattamalla jätejakeiden käsittelyä laitoksella

Mahdollisia jakeita olisivat

- Muiden taajamien yhdyskuntien jätevedenpuhdistamolietteet Ylä-Savossa. Alustavasti n. 50 km säteellä alueella on potentiaalisia puhdistamolietteitä n. 15 000 t/v. Luken Biomassa-Atlaksen tietojen mukaan. Suuren laitoksen tapauksessa jätevesipuhdistamolietteitä on jo nyt sisällytetty n. 12 500 t/v. laitokselle, joten merkittävää kasvuvaraa siinä ei ole.
- Yritysten toiminnassa syntyvät pakkaamattomat jätestatuksen omaavat jakeet. Näitä ovat mm. tietyt biojätevirrat esimerkiksi elintarviketeollisuudesta. Pohjois-Savossa toimivia elintarviketeollisuuden yrityksiä ja tuotantolaitoksia ovat mm. aiemminkin työssä mainitut Olvi Oyj:n Iisalmen tehtaat, mehuvalmistaja Refresco Finland Oy Kuopiossa sekä esim. kalatuotealan yrityksistä Kalavapriikki Oy ja Savon Taimen Oy / Hanka-Taimen Oy. Näiden jätemääriä ja markkinatilannetta ei tässä työssä analysoitu, mutta määrinä ne ovat merkittävät. Myös kuntien erilliskerätyt biojätteet ovat eräs vaihtoehto.
- Yrityksissä esim. kaupanalalla ja teollisuudessa syntyvät pakatut biojätteet ovat myös eräs vaihtoehto. Tätä pidetään prioriteettijärjestyksessä matalampana, sillä se vaatisi lisäinvestointeja muovirejektin poistoon ja rejektin käsittely jätteenä aiheuttaa myös lisää käyttökustannuksia. Se on myös riski mädätteen laadun kannalta, sillä muovin poisto onnistuu harvoin täydellisesti.
- Kaikkien edellä mainittujen osalta on syytä muistaa, että ne päätyvät jo nykyisellään johonkin vaihtoehtoiseen käsittelyyn. Jotta nämä materiaali- ja jätevirrat saisi Suoniemen laitokselle, tulisi käsittely siellä olla kustannustehokkain vaihtoehto jätteen tuottajalle.

2. Biokaasun myyntitulojen kasvattaminen

Kaasun myyntituloja voidaan kasvattaa kaasun myyntivolyymin kasvattamalla ja / tai kaasun keskimyyntihintaa kasvattamalla. Yleisesti voidaan sanoa, että tällä hetkellä paras myyntihinta on saatavissa kaasun liikennekäytöstä tikettikauppa huomioiden. Tietysti liikennekäytön kasvamiseen liittyy myös epävarmuutta. Kaasun markkinahintoja on käsitelty tarkemmin laitoksen myyntituloja käsittelevässä luvussa 2.7.3. Jo nykyisellään 90 % kaasun tuotannosta on arvioitu menevän liikennekäyttöön, joten kaasun keskihinnassa ei nähdä merkittävää nousupotentiaalia lyhyellä tähtäimellä.

Edellä mainitusta syystä kaasun myyntimäärän kasvattaminen on realistisempi mahdollisuus kasvattaa myyntituloja. Kaasun määrää voidaan kasvattaa joko nostamalla korkeamman

kaasuntuotantopotentiaalin omaavien syötemateriaalien suhteellista osuutta tai kasvattamalla syötemääriä. Edellä kohdassa 1 mainitut jakeet ovat pääosin esim. lantajakeita korkeamman metaanintuotantopotentiaalin omaavia jakeita, joten niiden osuutta kasvattamalla, myös kaasun tuotanto kasvaisi.

Käytännössä huomattavasti suuremman kaasuntuotannon saavuttaminen edellyttäisi todennäköisesti myös maatalousbiomassojen ja vastaavien laajaa hyödyntämistä, sillä ne ovat ainoat vapaat, tällä hetkellä hyödyntämättömät, syötevirrat Suomessa. Toisaalta on huomioitava myös, että aivan Suoniemen läheisyydestä n. 10 km säteeltä, ei ole nykytilanteessa todennäköisesti saatavilla merkittäviä määriä lisää lanta- ja nurmijakeita, että niiden määrä voisi esimerkiksi kaksinkertaistua. Suuremman skaalan saavuttaminen vaatisi siten tarkempia selvityksiä syötteiden, niin nurmen kuin lannankin, saatavuudesta ja ehkä myös kehitystoimenpiteitä esim. lietelannan vesipitoisuuden eli kuljetuskustannusten alentamiseksi.

3. Löytää malli, jolla laitos voidaan toteuttaa oleellisesti esitettyä investointiarviota alhaisemmalla kustannuksella, ja / tai toisaalta operoida sitä esitettyä edullisemmalla mallilla.

Biokaasulaitoksen investointikustannuksen arvioiminen on erityisen vaikeaa varsinkin hankekehityksen alkuvaiheessa. Investointikustannus tarkentuu prosessisuunnittelun ja hankintaneuvotteluiden edetessä. Joka tapauksessa tärkeitä seuraavia vaiheita olisi varmistaa jollakin tavoin investointikustannus jo ennen mahdollisen investointitukihakemuksen jättämistä. Eräs keino laskea nettoinvestointikustannusta olisi korkeamman investointituen saaminen. Tässä työssä investointitueksi on oletettu 25 %. Tuet ovat olleet Swecon kokemuksen mukaan suuruusluokassa 20–30 %, mutta perinteistä toteutusmallia olevan biokaasulaitoksen tapauksessa, on katsottu Lapinlahden tapauksessa olevan realismia käyttää tässä kohdin n. 25 % tasoa. On kuitenkin mahdollista, että jossakin tapauksessa ja vaikkapa jonkun kansallisen poliittisen ohjelman kautta esim. 30 % tuki voisi tulla kyseeseen. Se pienentäisi nettoinvestointia ja lyhentäisi hieman takaisinmaksuaikaa.

Laitoksen operoinnin kannalta eräs mielenkiintoinen mahdollisuus voisi olla henkilöstökustannusten osalta merkittävien synergioiden saavuttaminen sellaisen toimijan kohdalla, jolla olisi alueella jo sellaista teollista toimintaa ja osaamista, joiden avulla henkilöresurssia voisi käyttää myös Suoniemen biokaasulaitoksen operoinnissa ilman merkittäviä lisärekrytointeja.

Edullisen energiantuotantomallin löytyminen on myös eräs mahdollinen keino saada tehostettua operatiivisia kuluja. Nykypäivänä tehokas lämpöjen sisäinen kierrätys ja talteenotto yhdistettynä kustannustehokkaaseen sähkökattilainvestointiin voisi olla eräs mahdollinen ratkaisu. Siihen voisi yhdistää myös älykkään kuormaohjauksen, jolla painottaa lämmöntuotantoa halvoille pörssisähkötunneille. Toinen selkeä potentiaali on lämpimän jäteveden lämmöntalteenotto, jota on käsitelty alempana kappaleessa 4. Nämä ratkaisut vaikuttaisivat sekä investointi- että käyttökustannuksiin, mutta kokonaisvaikutus olisi arviolta kannattavuutta nostava.

4. Muiden myyntitulojen kasvattaminen

Tässä hankkeen kehitysvaiheessa ei sisällytetty laitoksiin hiilidioksidin talteenottoprosesseja niiden vaatimien investointien vuoksi, eikä siten hiilidioksidin mahdollisia myyntituloja ole otettu mukaan laitoksen taloudelliseen tarkasteluun. Tämä tyypillinen ratkaisu Suomessa on, että jalostuksessa erotettua hiilidioksidia ei oteta talteen, mutta biokaasutuotannossa syntyvän uusiutuvan hiilidioksidin hyödyntäminen on kuitenkin tällä hetkellä tutkimuksen alla olevaa toimintaa erityisesti hyvin suurissa laitoksissa. Se edustaakin Lapinlahden laitoksella myöhemmän kehitysvaiheen potentiaalia.

Pohdittaessa kuinka suuren liikevaihdon hiilidioksidin myynnillä voisi saavuttaa, voi käyttää referenssinä esimerkiksi Suutarin ja Sarronmaan⁵⁴ käyttämää hiilidioksidin markkinahinta-arviota 130 €/tCO₂. Valitettavasti lähteessä ei otettu kantaa missä käyttösegmentissä tämä markkinahinta on relevantti.

Taulukossa 8 on esitetty Suoniemen biokaasulaitoksen teoreettinen hiilidioksidimyyntiin liikevaihtopotentialiarvio edellä mainitulla markkinahintatasolla. Tulee huomioida, että se ei ota kantaa liikevaihdon aikaansaamiseen tarvittaviin investointi- ja käyttökustannuksiin tai kannattavuusvaikutuksiin vaan kuvaa vain liiketoiminnan mittakaavaa. Kappaleessa 2.6.2. kuvattiin hiilidioksidin hyödyntämistä yleisellä tasolla. Siinä kuvatus mukaisesti pienemmät hiilidioksidimäärät voisivat soveltua esim. elintarviketeollisuuteen, mutta tällöin hiilidioksidin tulee olla elintarvikelaatuista. Tämä asettaa erityisiä ja korkeita vaatimuksia hiilidioksidin puhdistamiselle. Elintarvikelaatuista hiilidioksidia voisi hyödyntää esimerkiksi Valion Lapinlahden tehdas, tai Kuopiossa vajaan 60 kilometrin päässä Lapinlahdesta sijaitseva Refresco Finland Oy, joka valmistaa tehtaallaan sekä mehu- että virvoitusjuomia. Joka tapauksessa puhdas biogeeninen hiilidioksidi on merkittävä myyntimahdollisuus tulevaisuudessa ja sillä voi olla vaikutusta laitoksen kannattavuuteen ja investointipäätöksiin, vaikkei se olisikaan laitoksen pääasiallinen myyntituote.

Taulukko 8. Teoreettinen hiilidioksidimyyntiin liikevaihtopotentialiaali eri laitostokoluokassa ja markkinahintatasolla.

€/t CO ₂	Pieni laitos, €/v	Suuri laitos, €/v
100	180 000	250 000
150	270 000	370 000

Mädätteen tuotteistaminen ja sen avulla liikevaihdon luominen on eräs luonteva, mutta valitettavasti ilmeisesti kauempana tulevaisuudessa oleva mahdollisuus. Sitä on käsitelty tarkemmin luvussa 3.4.

3. Lapinlahden biokaasuekosysteemi ja sen jatkokehitysmahdollisuudet

Tässä osiossa selvitystä tarkastellaan Lapinlahden biokaasulaitoksen mädätteen mahdollisia käyttökohteita ja asiakasryhmiä sekä kehityskumppaneita laitoksen ympärille rakentuvan ravinnekiertoekosysteemin luomiseksi. Osiossa tarkastellaan lisäksi logistiikan merkitystä mädätteen hyödyntämisen ja jatkojalostamisen kannalta, lainsäädännön reunaehdoja lannoitevalmisteiden osalta sekä arvioidaan mädätteen hyödyntämisen kannalta mahdollisia kasvupolkuja niin lyhyellä kuin pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna.

3.1 Ravinteita kierrättävä ekosysteemi, markkinat ja käyttökohteet

Ravinteita kierrättävän biokaasuekosysteemin luomiseksi tarvitaan alueellista yhteistyötä eri toimijoiden kesken, jotta laitos saa toimintaansa tarvitsemat syötteen ja vastaavasti prosessissa syntyvät loppu- ja sivutuotteet saadaan hyötykäyttöön. Suoniemen alueen biokaasuekosysteemissä

⁵⁴ Suutari ja Sarronmaa, 2022

tarvittavia toimijoita ovat esimerkiksi laitoksen työntekijät, teknologiavalmistajat, mahdolliset sijoittajat, syötteiden toimittajat kuten jätevedenpuhdistamot ja elintarviketeollisuuden toimijat, energiasektorin toimijat sekä mädätteen hyödyntäjät kuten kiertoravinteiden ja kasvualustojen käyttäjät. Ekosysteemin markkinatilanne määräytyy käyttäjiensä perusteella, ja käyttäjäsegmenttien tarpeet kytkeytyvät sekä alueelliseen että kansalliseen markkinatilanteeseen.

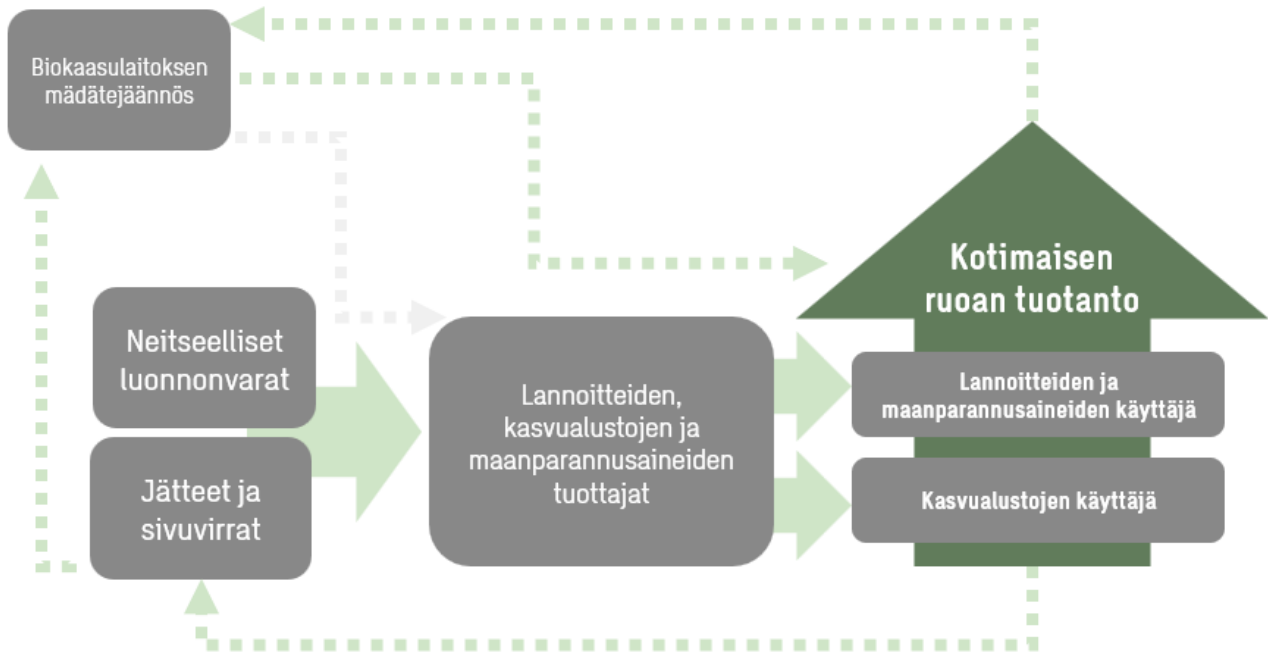
Suoniemen biokaasulaitoksen kaasuntuotannon ohessa syntyy orgaanisten materiaalien anaerobisessa prosessissa mädätettä, joka sisältää kaasuntuotannosta jäljelle jääneen materiaalin. Se sisältää ravinteita, kuten typpeä ja fosforia. Usein mädäte käsitellään mekaanisen erotuksen avulla neste- ja kiinteäksi jakeeksi niiden jatkokäyttöön ja esim. logistiikkakustannuksiin johtuvista syistä. Erottelun jälkeen kiinteä mädätejäte voidaan käsitellä edelleen esimerkiksi kompostoimalla, jolloin se muuttuu turvallisemmiksi lannoitevalmisteiksi. Nestejäte voidaan hyödyntää biokaasulaitosprosessissa ja lannoitteena. Valtaosa mädätteen massasta on vettä, johon on liuenneena osa mädätteen ravinteista. Suoniemeen suunnitellun biokaasulaitoksen syötteiden pohjalta jäljelle jäävä mädätejäännös on ravinteikasta ja kosteaa massaa, jonka materiaalit ovat peräisin maataloudesta (lanta, nurmi), elintarviketeollisuudesta ja jätevedenpuhdistamoista (jätevedenpuhdistamoliete).

Mädätettä voidaan jalostaa erilaisiksi tuotteiksi prosesseissa, joita ovat esimerkiksi kompostointi, biohiiltäminen, separointi sekä mädätteen ja tuhaseoksen rakeistaminen. Jatkojalostusteknologiat vaativat lisäinvestointeja, mikä nostaa syntyvien tuotteiden hintoja. Näin ollen biokaasulaitoksen kannattavuudelle on olennaista löytää ne vaihtoehdot, joissa mädätteet saadaan hyödynnettyä kustannustehokkaasti tai jalostettua kannattavasti.

Työvaiheen tavoitteena oli tunnistaa keskeisiä asiakasryhmiä ja kumppaneita mädätteen hyödyntämiselle sekä osallistaa kiinnostuneita tahoja ekosysteemin ideointiin. Lisäksi tavoitteena oli tunnistaa sääntelyn vaatimuksia ja markkinatarvetta, sekä laatia alustava kasvun tiekartta erilaisia kasvupolkuja huomioiden.

Mädätteen asiakasryhmiä kartoitettiin työpöytätyönä ja kohdennettuja haastatteluja sekä kartoituskyselyjä hyödyntäen. Tavoitteena oli tunnistaa sekä suoraan mädätettä sellaisenaan käyttäviä toimijoita (lyhyt aikaväli) että mahdollisuuksia tulevaisuuden jalostamiseen (keskipitkä ja pitkä aikaväli). Kokonaiskuvan kartoittamiseksi eri käyttäjäryhmiä tunnistettiin suomalaisista ravinneriittien tutkimus- ja kehityshankkeista sekä muista biokaasuhankkeista matalalla kynnyksellä. Työpöytäanalyysin jälkeen pyrittiin selvittämään eri käyttäjäryhmien kiinnostusta mädätejäännöksen tai sen jalosteiden käyttöön. Hankkeen puitteissa käyttökohteita kartoitettiin maa- ja metsätalouden, kasvualustojen kaupallisten valmistajien, kauppapuutarhaliikkeiden, puutarhamyymälöiden, avomaanviljelyn, golf-kenttien ja jätehuollon osalta. Osalle toimijoista toteutettiin tiedonkeruun syventämiseksi kartoitushaastatteluja puhelimitse tai täydennettiin tietopuutteita sähköpostitse.

Suoniemeen suunniteltu biokaasulaitos kytkeytyy osaksi ravinneriittoja mädätteen eri käyttökohteiden kautta. Kuva 9 havainnollistaa mädätteen hyödyntämistä osana kotimaista ruuantuotantoa. Laitos mahdollistaa alueellista kierrätysravinneriittomarkkinaa hyödyntäen toiminnassaan paikallisia yhdyskuntajätevesiä sekä elintarviketeollisuuden ja alkutuotannon sivuvirtoja, sekä tarjoten vastaavasti Lapinlahden ja lähialueiden halukkaille toimijoille ravinnerikasta mädätejäännöstä eri käyttötarkoituksiin lannoitteesta viherrakentamiseen. Kasvualusta- ja lannoitekäytössä mädätteen osalta tulee ymmärtää sekä lannoitelainsäädännön asettamat vaatimukset ja sääntely että loppukäyttäjien kriteerit mädätteen hyödyntämiselle omissa toiminnoissaan.



Kuva 9. Mädatteen hyödyntämiseen linkittyviä toimijoita kotimaisessa alkutuotannossa.

3.1.1 Maatalous ja peltoviljely

Mädatteen potentiaalisimpia käyttökohteita lyhyellä aikavälillä Lapinlahden alueella on yhteistyö halukkaiden tilallisten kanssa biokaasulaitoksen syötevirtojen toimitusten ja vastaavasti mädätejäännöksen peltolevityksen kierron osalta. Yhteistyö maatilojen kanssa varmistaisi sekä syötteiden riittävyyden (nurmibiomassa, kuiva- ja lietalanta) biokaasulaitoksen tarpeisiin, että mädatteen kulkeutumisen takaisin hyötykäyttöön alueellisesti.

Maatalouskäytössä mädatteelle kohdistuu kuitenkin tiettyjä rajoituksia, jotka tulee huomioida jo biokaasulaitoksen suunnittelussa. Jätevedenpuhdistamolietettä sisältävät mädatteen käyttökohteet ovat rajallisemmat kuin pelkästään eläin- tai kasvibiomassaan pohjaava mädate, sillä ihmisperäistä syötettä sisältävää mädätejäännöstä ei saa tai haluta levittää yhtä laajalti peltoviljelyyn hygieniatekijöiden ja tautiriskien vuoksi. Puhdistamolietteen osalta mädatteen käyttöä säätelee lainsäädäntö, mutta myös viljelijöiden henkilökohtaiset mielipiteet tai satokasveja ostavien tahojen vaatimukset voivat estää lietepohjaisen mädatteen hyödyntämistä maatalouskäytössä.

Peltoviljelyssä biokaasulaitoksen mädate on käyttökelpoista lannoitteena, kunhan se on hygienisoitua ja vapaata rikkakasvien siemenistä, taudinaiheuttajista sekä patogeeneistä. Käyttöä rajoittaa puhdistamolietteen osuus, joka estää levityksen esimerkiksi rehuksi viljeltävälle nurmelle kasvukauden aikana. Puhdistamolietettä sisältävän mädatteen tautiriski on lanta- tai kasvibiomassapohjaista mädätettä korkeampi ja nurmen intensiivisen kasvukauden vuoksi mädättemassaa ei voi levittää rehunurmelle kuin nurmea perustettaessa tai korjuun jälkeen ennen talvikautta. Rehuviljalle puhdistamolietettä sisältävää mädätettä voidaan levittää, sillä viljan kasvukausi on rehunurmea pidempi ja sadosta korjataan kuorien sisällä oleva jyvä toisin kuin nurmesta korjataan koko maanpäällinen biomassa. Mikäli nurmi on rehun tuotannon sijaan

siementuotannossa (esimerkiksi timotei), voi puhdistamolietepohjainen mädäte tulla kyseeseen viljan tavoin.

Mädätettä voidaan hyödyntää pelloilla joko sellaisenaan tai jatkokäsittelynä, esimerkiksi liuos- tai raemuodossa. Mädätteen jatkojalostus edellyttää käsittelyyn resursseja biokaasulaitokselta ja kasvattaa mädätteeseen kohdistuvia kuluja, mutta vastaavasti voi alentaa logistiikkaan liitännäisiä kuluja mädätteen ravinteiden jalostuessa kevyempään sekä helpommin kuljetettavaan ja varastoitavaan muotoon esimerkiksi rakeeksi tai suodosnesteeksi. Laitoksen lähietäisyydellä oleville maataloille käsittelemätöntä mädätejäännöstä voidaan kuljettaa peltolannoitteeksi, mutta mikäli mädätteen käyttökohteet sijaitsevat kauempana, on hyvä huomioida jatkojalostuksen edut logistiikan ja käyttökohteiden markkinoiden kannalta.

Alueen maatiloja haastateltiin biokaasulaitoksen syötteiden analyysissä ja heiltä kysyttiin alustavaa kiinnostusta mädätteen vastaanottoon. Jätevedenpuhdistamolietteen osalta tulee huomioida eriävät näkemykset mädätteen käytölle, satokasveja ostavilta tahoilta mahdollisesti tulevat määräykset puhdistamolietteen käytöstä sekä lannoitelainsäädännön rajaukset viljelyssä. Hankkeessa haastateltiin 16 tilaa ja suurin osa haastatelluista maataloista esitti alustavaa kiinnostusta mädätteen vastaanottoon, kunhan biokaasulaitokselta saapuva mädätejäännös ei sisällä epäpuhtauksia, kuten raskasmetalleja tai muovia. Mädätejäännöksen osalta tilallisilta tiedusteltiin halukkuutta sekä maatalouden ja elintarviketeollisuuden syötteisiin pohjautuvaan mädätejäännökseen että mahdollisesti myös jätevedenpuhdistamolietettä sisältävään mädätejäännökseen. Suurimmalla osalla jätevedenpuhdistamolietteen osuus ei aiheuttanut kynnyskysymystä, kunhan mädäte on hygienisoitua ja turvallista käyttää. Vähäinen osuus tiloista ei halua vastaanottaa käyttöönsä lainkaan mädätettä, mikäli se sisältää puhdistamolietettä syötteenä.

3.1.2 Metsäteollisuus

Metsäteollisuuden näkökulmasta mädäte on kiinnostava lannoitustarkoituksessa, mutta nykyisen lainsäädännön epävarmuudet jarruttavat käytön edistämistä. Kasvualustakäytössä mädätteen ravinnepitoisuudet ovat liian korkeat esimerkiksi siirtovarvikon kasvatusta varten. Metsäteollisuuden käyttökohteet ovat mielenkiintoinen aihio säilyttää mielessä kiertoravinnemarkkinan kehittyessä, mutta tällä hetkellä toimialan potentiaali nähdään vähäisenä.

Mädätteen hyödyntäminen metsäteollisuuden tarpeisiin on kiinnostava käyttökohdeaihio metsälannoituksen suuren menekin vuoksi. Mikäli mädätettä voitaisiin hyödyntää metsäteollisuudessa esimerkiksi taimikoiden ja leimikoiden lannoituksessa, olisi toimiala erittäin potentiaalinen käyttökohde mädätejäännökselle suurissa määrin. Mädätteen käyttö metsäteollisuuden lannoitteena säilyy kuitenkin tällä hetkellä epävarmana, sillä mädätejäännöksestä jalostettu raemuotoinen metsälannoite on maa- ja metsätalousministeriön vuoden 2017 päätöksen myötä poissuljettua⁵⁵. Toistaiseksi vuoden 2017 jälkeistä päivitettyä tietoa ei aineistoanalyysissä avoimista tietolähteistä löytynyt, minkä vuoksi mädätteen käyttö metsälannoitteena säilyy epävarmana.

Mädätteen käyttöä siirtovarvikon eli kunnan kasvattamisessa kartoitettiin puhelinhaastattelulla. Biokaasulaitoksen mädätejäännöksen arvioitiin olevan liian ravinnepitoista kunnan kasvatukseen sekä kasvualustan että lannoitevalmisteen osalta, sillä siirtovarvikkoa kasvatetaan hyvin

⁵⁵ Kuokkanen, 2017

niukkaravinteisessa, hiekkapitoisessa maaperässä eikä lannoitevalmisteita hyödynnetä prosessissa ollenkaan. Kasvualustassa niukkaravinteisuuden ohella seoksen puhtaus ja vapaus rikkakasveista on erityisen tärkeää. Siirtovarvikon kasvatuksessa olisi potentiaalisesti kysyntää mädätteestä tuotteistetulle kompostoidulle ja niukkaravinteiselle, rikkakasveista vapaalle kasvualustatuotteelle, jota olisi mahdollista tuottaa suuria määriä. Kyseinen käyttökohde ei asiantuntija-arvion mukaan nouse realistiseksi kasvupoluksi mädätteen korkean ravinnepitoisuuden vuoksi, ellei jatkojalostuksen avulla mädätteestä saataisi ravinnepitoista liuosta eroteltua kompostoitavasta kasvualustaksi soveltuvasta massasta.

3.1.3 Kasvualustojen kaupalliset valmistajat

Kasvualustojen kaupallisessa valmistuksessa löytyy kiinnostusta mädätteen hyödyntämiselle, mutta nykytilanteessa vaihtoehtoisia raaka-aineita ja materiaaleja on vakiintuneessa käytössä. Mädätteen hyödyntämiseen kasvualustojen kaupallisessa valmistuksessa liittyy ratkaistavia kysymyksiä muun muassa puhtauden, tasalaatuisuuden ja kosteuden osalta, eikä nykyinen markkinatilanne kasvualustojen muodossa näyttäydy realistiselta kasvupolulta mädätteen hyödyntämiselle.

Yksi mahdollisista potentiaalisista kasvupoluista ravinnepitoisen mädätteen hyödyntämiselle koski massan jatkojalostusta kasvualustakäyttöön. Ravinteikkaan mädätejäännöksen hyödyntäminen osana kasvualustoja yhdistäisi ideaalitalanteessa käyttökelpoisen kasvualustan ja vähentäisi lisälannoituksen tarvetta alustan sisältäessä ravinteita kasvien käyttöön.

Kartoituskyselyjen perusteella ilmeni, ettei kasvualustojen suurilla teollisilla valmistajilla ole kiinnostusta mädätejäännöksen hyödyntämiseen nykyisessä liiketoiminnassaan. Mädätejäännöserien epätasaisuus, kosteus, liiallinen ravinnepitoisuus ja hygieniatekijät, kuten haitta-ainepitoisuudet ja mahdolliset muovijakeet, rajoittavat käyttömahdollisuuksia. Lannoitevalmistelain määrittelemät hygieniakriteerit kasvualustoille ovat tiukat. Mädätejäännös ei myöskään saa sisältää jätevedenpuhdistamolietettä eikä erilliskerättyä biojätettä, jolloin Suoniemen biokaasulaitos tulisi tämän käyttökohteen näkökulmasta toteuttaa kaksilinjaisena säilyttäen maatalouden ja elintarviketeollisuuden syötteet erillisinä jätevedenpuhdistamolietteestä.

Onnistuessaan mädätejäännöksen hyödyntäminen osana kasvualustojen kaupallista valmistusta ja teollisessa mittakaavassa olisi erittäin potentiaalinen kasvupolku, mutta käytännössä valmistajat eivät ole halukkaita vastaanottamaan mädätettä ylempänä mainittujen tiukkojen kriteerien ja jäännöserien epätasaisuuden vuoksi. Hankkeessa kasvualustojen valmistajien osalta suoritettiin kartoituskysely sähköpostitse ja puhelimitse alan toimijoille.

3.1.4 Kauppapuutarhat ja avomaanviljely

Kauppapuutarhojen ja avomaanviljelyn parissa mädäte saattaa tulevaisuudessa olla kiinnostava vaihtoehto esimerkiksi hitaasti uusiutuvien raaka-aineiden, kuten turpeen, käytön rinnalle. Ammattiviljelyssä kriteerit kasvualustoille ovat erittäin tarkat ja mädätteeseen liittyvät edellisessä kappaleessa käsitellyt epävarmuustekijät, kuten puhtaus ja tasalaatuisuus. Ammattiviljelykäyttöön hankittavat kasvualustat useimmiten saapuvat kaupallisten kasvualustojen valmistajilta eikä tilakohtaista suoramarkintaa koeta erityisen potentiaalina käyttökohteena mädätteelle.

Kauppapuutarhojen osalta mädäte nähdään kiinnostavana vaihtoehtona kasvualustana esimerkiksi turpeen käytölle, mutta hygieniakriteerit ovat tiukat. Erityisesti ammattiviljelyssä vaatimukset kasvualustojen hygienialle ja tasaiselle, varmalle laadulle ovat korkeat viljelyn onnistumisen

pohjautuessa kasvualustaan. Kotimaiselle, vaihtoehtoiselle ja kiertotalouden mukaiselle kasvualustalle voi toimialalla olla kiinnostusta, mikäli kasvualusta täyttää tarkat kriteerit ja on todennetusti turvallista ravintokasvien viljelykäyttöön. Mädätteen käytön nähtiin toimivan etenkin pieninä osuuksina kasvualustaseoksissa, sekä mahdollisesti maanparannusaineena myös avomaanviljelyssä. Avomaanviljelyssä samojen laatu- ja hygieniakriteerien tulee toteutua, mutta tarvittavat volyymit kasvualustoille ja mädätteen käytölle voisivat olla kasvihuonekasvatusta laajemmat. Hidasteeksi voi ilmetä maksuhalukkuus, joka ei välttämättä ole järkevä ja mädätteestä jalostetun kasvualustan taloudellinen lisäarvo saattaa olla alhainen. Hankkeessa kauppapuutarhojen osalta suoritettiin kartoituskysely sähköpostitse kattojärjestölle.

Hankkeessa tunnistettiin potentiaalinen, alueellinen avomaanviljelyn toimija, jonka tuotannosta syntyvää maatalousbiomassaa voitaisiin mahdollisesti tarkastella osana biokaasulaitoksen syötepotentiaalia. Kyseisen avomaanviljelijän tuotannosta syntyvä sivuvirta, sipulikasvien kuoret ja muut kasvinjäännökset, voisivat mahdollisesti toimia merkittävänäkin osana biokaasulaitokselle toimitettavaa syötekokonaisuutta ja muodostaa vaihtoehtoista syötevirtaa esimerkiksi nurmibiomassan tilalle. Hankkeen puitteissa käytiin kartoituskyselyä toimijan kanssa, mutta tarkemmat jatkokeskustelut tulisi toteuttaa tämän selvityksen ulkopuolella.

3.1.5 Puutarhamyymälät

Puutarhamyymälät hankkivat kuluttajamyynäisiin tarkoitettut tuotteet kaupallisilta valmistajilta, jolloin heidän valikoimansa koostuu kasvualustojen ja lannoitevalmistajien tuotannollisista linjauksista. Mädäte saattaa olla kuluttajakiin nostava kiertotalouden tuote kasvualusta- ja lannoitekäyttöön, mikäli se on kuluttajakäyttöön jatkojalostetussa muodossa ja tutun brändin valmistama. Puutarhamyymälöiden osalta mädätteen hyödyntäminen on siis riippuvaista aiemmin tuotteiden arvoketjussa tehdyistä materiaalivalinnoista ja laajemmin kansallisesta ravinnekierromarkkinasta.

Yhtenä käyttökohteena mädätteelle arvioitiin sen hyödyntämistä alueen viherrakennuksessa ja puutarhamyymälöiden valikoimissa kuluttajatuotteena. Alueen toimijoilta kartoitettiin kiinnostusta mädätteen hyödyntämiseen heidän valikoimissaan. Yksi toimijoista ei ollut kiinnostunut mädätteestä, ja toinen toimija esitti alustavaa kiinnostusta riippuen mädätejäännöksen olomuodosta ja soveltuvuudesta pienimuotoiseen viherrakennukseen sekä kuluttajamyynäisiin puutarhamyymälän valikoimassa. Mädätteen tulee olla hajutonta ja turvallista käyttää sekä koristekasveille että syötävillä kasveille, ja irtomyynnin sijaan kysyntää olisi erityisesti tuotteistetulle ja pakatulle kuluttajatuotteelle niin kasvualustojen kuin lannoitetuotteidenkin osalta. Lannoitetuotteissa mädätteen ravinteita voisi hyödyntää kuluttajakäyttöön jatkojalostetussa muodossa, kuten rakeena tai liuksena. Toimijan asiantuntemuksen mukaan asiakkaat arvostavat luonnonmukaisia ja paikallisia lannoitetuotteita (hevosenlanta, kanankakka), jolloin myös mädätteestä jatkojalostettu kiertoravinne saattaisi ominaisuuksista ja olomuodosta riippuen kiinnostaa asiakkaita.

3.1.6 Golf-kentät

Mädätteen käyttökohteiksi golf-kenttien osalta selvitettiin lannoituskäyttöä pysyvän nurmen aikana, mutta käyttökohteeksi osoittautui epätodennäköiseksi viheriöiden ja lyöntipaikkojen niukan lannoitustarpeen vuoksi.

Virkistyskäyttöön tarkoitettujen viheralueiden lannoituskäyttöä kartoitettiin golf-kenttien osalta. Mädätteen hyödyntäminen lannoitevalmisteenä osoittautui epätodennäköiseksi viheriöiden ja



lyöntipaikkojen niukan lannoitustarpeen vuoksi. Muilla golf-kenttien viheralueilla lannoituskertoja on vielä viheriöitä ja lyöntipaikkoja vähemmän. Golf-kentillä hyödynnetään kiertoravinnevalmisteita, mutta niiden tulee olla tuotteistettu hajuttomiksi ja helposti käytettävään muotoon, kuten liuokseksi tai rakeeksi. Määdtejäännös ei sellaisenaan sovellu golf-kenttien lannoitukseen, ja potentiaali kyseiselle käyttökohteelle on epätodennäköinen kenttien vähäisen lannoitustarpeen ja lukumäärän (150 kpl koko Suomessa) vuoksi. Alueellista toimijaa ei hankkeessa tavoitettu.

3.2 Mädatteen jalostamisen ratkaisut

Mädatteen jatkojalostamiseen on olemassa useita erilaisia prosesseja. Kierrätyspohjaisten ravinteiden valmistusta ja käyttöä ohjailee sekä kansallinen että EU-tason sääntely, ja optimaalisen jalostusteknologian valintaan vaikuttavat muun muassa mädatteen käyttökohte, logistiikka sekä lopputuotteen kysyntä ja arvonmuodostuksen markkinat.

3.2.1 Kierrätyspohjaisia ravinnetuotteita koskeva sääntely

Lannoitteiden käyttö ja valmistus on tarkasti säänneltyä niin kansallisella kuin EU-tasolla, ja lannoitevalmisteiden käyttöön, tuotantoon, markkinoille saattamiseen sekä tuontiin ja vientiin liittyy useita lakeja ja asetuksia. Sääntelyn rinnalla ovat käyttäjien (muun muassa maanviljelijöiden) omat tekniset ja taloudelliset reunaehdot ja vaatimukset sekä oman arvoketjun asiakkaiden vaatimukset liittyen esimerkiksi elintarvikkeiden brändeihin ja laatuun. Mädatteen hyödyntämisen osalta tulee ymmärtää, millaisia vaatimuksia sen käyttökohteisiin esimerkiksi alkutuotannossa kohdentuu.

Nykyinen lannoitelaki 711/2022 astui voimaan heinäkuussa 2022 ja on kumonnut aiemman lannoitevalmistelain 539/2006. Lannoitelaki säätelee lannoitevalmisteiden ja niiden ainesosien valmistusta, käyttöä, varastointia ja kuljetusta, markkinoille saattamista sekä vientiä ja tuontia. Uudistetun lain tavoitteena on yhdenmukaistaa EU-lainsäädännön ja tuotelainsäädännön kytköksiä muuhun elintarvikeketjun lainsäädäntöön. Uudistetulla lannoitelailalla on pyritty luomaan aiempaa notkeampi toimintamalli, joka vahvistaisi uudenlaisten ja kestävien tuotteiden markkinoita huolehtien samalla niiden turvallisuudesta. Lannoitelakia täydentävät maa- ja metsätalousministeriön asetukset lannoitevalmisteiden laatuvaatimuksista 964/2023 sekä toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta 965/2023^{56 57}.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 964/2023 säätelee tuoteluokkien laatuvaatimuksia, ainesosaluokkia ja luokkien laatu- ja käsittelyvaatimuksia, ainesosaluettelon sisältöjä, lannoitevalmisteiden ja lannan käyttöä sekä tuoteluokkakohtaisia merkintävaatimuksia, ilmoitustapaa ja lannoitevalmisteen ominaisuuksien sallittuja poikkeamia⁵⁸. Mädatetta koskevaa sääntelyä kuvataan MMM:n asetuksessa tarkemmin ainesosaluokassa 4.

Suoniemeen suunnitellun laitoksen näkökulmasta keskeisin määrittely on, ettei lannoitevalmisteena käytettävä mädate saa sisältää yhdyskuntajätevesilietettä. Tämä ei kategorisesti estä mädatteen ravinteiden hyödyntämistä muussa tarkoituksessa, mutta se tarkoittaa, ettei tällä hetkellä voimassa olevan lainsäädännön mukaan mädatteesta voi tuottaa lain tarkoittamaa lannoitevalmistetta eikä sitä voi sellaisenaan myydä.

⁵⁶ Ruokavirasto, 2025

⁵⁷ Ruokavirasto, n.d.

⁵⁸ Ruokavirasto, 2025

Alueellisia ja kansallisia toimijoita haastatellessa on vahvistunut, että myös yhdyskuntajätevesilietteistä syntyviä mädätteitä käytetään ja voidaan käyttää rajatusti pelloille ja alkutuotantoon, esimerkiksi nurmen viljelyssä. Tällöin olennaista on, että tiloilla on kalusto mädätteen käyttämiseen ja viljelijä tietää mädätteen syötevirrat, yhteisesti toimien läpivalaistaan arvoketju ja seurataan alan kehitystä ja lainsäädännön linjauksia. Alkutuotannon toimintaan ja ratkaisuihin vaikuttavat lainsäädännön lisäksi erityisesti tuotettuja elintarvikkeita ostavien yritysten linjaukset kierrätysravinteiden käytöstä.

Kansallisia asetuksia ovat maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteita koskevasta toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta 965/2023 sekä Valtioneuvoston asetus fosforia sisältävien lannoitevalmisteiden ja lannan käytöstä 64/2023. MMM:n asetus säätelee, millaisia tietoja talouden toimijan tulee ilmoittaa toiminnastaan, millaisia tietoja lannoitevalmisteita sisältävästä erästä tulee ilmoittaa sekä miten viranomaisten tarkastus- ja valvontamenettelyt tulee toteuttaa. Valtioneuvoston asetus säätelee fosforin käyttöä maa- ja puutarhataloudessa sekä viher- ja ympäristörakentamisessa. Fosforiasetuksen uudistus on parhaillaan valmistelussa hallituksella, ja tällä hetkellä voimassa oleva karjanlantapoikkeus sai jatkoa vuoden 2026 loppuun saakka^{59 60}.

EU:n lannoitevalmisteasetus on kolmen asetuksen sääntelykokonaisuus. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1009 määrittelee EU-lannoitevalmisteiden markkinoille asettamista ja sääntöjen vahvistamista. Komission delegoitu asetus (EU) 2022/973 täydentää edellä mainittua asetusta vahvistamalla maatalouden tehoa ja turvallisuutta koskevia kriteerejä sivutuotteiden käytön osalta, ja komission delegoitu asetus (EU) 2024/1682 säätelee käsitellyn lannan lisäämistä EU-lannoitevalmisteiden ainesosaksi⁶¹.

Ympäristönsuojelulaki 527/2014 säätelee ympäristönsuojelua liittyen jätteiden ja sivutuotteiden hyötykäyttöön. Lain tarkoituksena on muun muassa ehkäistä ympäristöhaittoja, edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä sekä vähentää jätteiden määrää. Laissa määritellään muun muassa jätevesien käsittelyvaatimuksia ja lietettä koskevia säädöksiä⁶².

3.2.2 Kompostointi jatkokäsittelymenetelmänä

Lannoitetuotteena myytävän tai käytetyn kompostoidun mädätteen tulee täyttää lannoitelainsäädännön vaatimukset ja rajoitukset liittyen käytön turvallisuuteen ja ympäristövaikutuksiin. Kompostointia voidaan käyttää myös yhdyskuntien jätevesilietteistä tuotetun mädätteen käsittelyyn, mutta tällöin on huomioitava, että se rajoittaa lopputuotteen käyttöä.

Mädätteen biologiset käsittelyprosessit perustuvat mikrobiologisiin prosesseihin, joissa mikrobeja hyödyntämällä muunnetaan materiaalia haluttuun olomuotoon. Kompostointi tapahtuu hapellisissa olosuhteissa, joissa mikrobit hajottavat eloperäistä materiaalia ja kiinteät aineet hajoavat aerobisesti. Kompostoinnissa orgaaninen aines hajoaa mikrobien vaikutuksesta ja sivutuotteena syntyy hiilidioksidia, vettä ja lämpöä. Prosessia voidaan toteuttaa aumassa tai suljetussa kompostorissa, ja lannan kompostoinnissa tulee huomioida ammoniakkin haihtuminen pH:n nousun seurauksena.

⁵⁹ Ruokavirasto, 2025

⁶⁰ MMM, 2025

⁶¹ Ruokavirasto, 2025

⁶² FINLEX, 2014

Kompostoinnin lopputuotoksena syntyy hajutonta, kypsää ja runsaasti humusta sisältävää kompostia, jonka eloperäinen aines on pitkälle hajonnutta. Kompostoitua mädätejäännöstä voidaan hyödyntää sekä lannoitevalmisteena että maanparannusaineena maataloudessa, viherrakennuksessa ja maisemoinneissa. Kompostin etuina ovat humuksen maaperän rakennetta edistävät ominaisuudet sekä ravinteiden hyvä saatavuus kasveille. Kompostoitu massa on käsittelemätöntä mädätettä kuivempaa, hajuttomampaa ja stabiilimpaa, jolloin myös sen logistiikka ja kuljetuskustannukset ovat märkää mädätejäännöstä kannattavampia⁶³.

Ravinneresisällön vaatimuksista kompostoidun mädätteen tulee täyttää typen, fosforin ja kaliumin määrien vaatimukset, ja kompostointiprosessin tulee täyttää hygieniavaatimukset patogeenien, rikkakasvien siementen ja taudinaiheuttajien osalta. Käytännössä kompostoinnissa tulee ylittää tietty lämpötilan taso ja prosessin tulee olla ajallisesti riittävän pitkäkestoinen hygieniavaatimusten täyttämiseksi. Lannan mahdollisesti sisältämä salmonella pyritään tuhoamaan kompostointikäsitteilyllä. Kompostoitu mädäte ei saa myöskään sisältää raskasmetalleja tai muita haitallisia aineita.

Eri viljelymailla on eriävät suositukset kompostoidun mädätteen käyttösuosituksille. Kompostin tulee myös olla asianmukaisesti merkittyä ja käyttöä tulee seurata kirjanpidon avulla laadun ja turvallisuuden varmistumiseksi⁶⁴.

3.2.3 Termiset ja mekaaniset käsittelyvaihtoehdot

Biohiiltäminen

Mädätettä voidaan jatkojalostaa myös hiiltämällä, jolloin prosessin lopputuotoksena syntyy kevytrakenteista ja huokoista biohiiltä. Biohiileksi kutsutaan biomassasta keinotekoisesti valmistettua hiiltä, jota tuotetaan pyrolyysillä eli anaerobisissa olosuhteissa kuumentamalla. Biohiilessä hiili on maaperään hyvin sitoutuvassa muodossa ja sitä voidaan hyödyntää etenkin maanparannuksessa. Lisäksi biohiili on hiilnegatiivinen tuote eli se sitoo hiiltä, jolloin ilmastopäästöjä voidaan pienentää esimerkiksi peltoviljelyssä.

Mädätejäännöksen pyrolyysissä ravinnerikkaan mädätemassan ravinteet saadaan tehokkaasti talteen ja siirrettyä biohiileen, joka tekee menetelmästä erinomaisen erityisesti peltoviljelyn maanparannuskäyttöön. Biohiili itsessään ei ole lannoitevalmiste, mutta sen maaperää muokkaavat ominaisuudet luovat viljelyskasveille edullisemmat kasvuolosuhteet. Biohiili pidättää maaperän kosteutta ja ravinteita sekä luovuttaa niitä kasvien käyttöön tasaisesti. Haasteita mädätteen biohiiltämisessä voi aiheutua mädätemassan kosteuspitoisuudesta, sillä pyrolyysissä mädätteen tulisi olla vähintään kosteusprosenttia 25.

Biohiilen markkinat ovat vielä kehitymässä, mutta jo nykyisellään ne ovat melko vakaat erityisesti biohiilen tuottajan näkökulmasta. Markkinat myös kasvavat jatkuvasti ja kysyntä biohiilelle kasvaa. Biohiilen markkina-arvo voi myös olla kompostoitua massaa arvokkaampi, jolloin arvonlisä pyrolysoidulle mädätteelle olisi kompostoitua korkeampi. Pyrolyysi vaatii erillisen investoinnin ja tuo siten mädätteen jalostamiseen lisäkustannuksia, mutta biohiilen arvon lisäksi myös prosessin sivutuotteena syntyvää lämpöä voitaisiin myös ottaa talteen ja hyötykäyttää paikallisesti. Prosessissa mahdollisesti sivutuotteena syntyvää bioöljyä voidaan myös hyödyntää biohiilen lisäksi⁶⁵. Lisäksi

⁶³ Turpeinen, 2010

⁶⁴ Kanninen ja Laakso, 2018

⁶⁵ Muhonen, 2024



biohiilen valmistuksessa syntyviä hiilidioksidin päästövähennysyksiköitä voidaan myydä vapaaehtoisilla hiilimarkkinoilla saaden mahdollista taloudellista lisäarvoa.⁶⁶

Mädätteen biohiiltämisestä ei tämän selvityksen koostamisen aikana löytynyt vielä julkisista lähteistä viitteitä käytössä olevasta pyrolyysistä. HSY:llä on käynnissä Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen biokaasulaitoksella investointihanke, jossa selvitetään mädätteen hiiltämisen mahdollisuuksia. Hankkeen on tarkoitus valmistua vuoden 2025 aikana.⁶⁷

Separointi ja kiinteät fraktiot

Mädätteen separointi on mekaaninen prosessi, jossa liete erotellaan kiinteään sekä nestemäiseen muotoon hyödyntämällä esimerkiksi ruuvipuristimia, dekanttereita tai sentrifugeja. Prosessi tapahtuu mekaanisesti ja sitä voidaan tehostaa joissakin tapauksissa kemikaalin lisäyksellä. Separoinnin lopputuotoksina syntyy niin ikään ravinnepitoista kiinteää ainesta sekä käsiteltyä nestemäistä liuosta.

Separoidun jakeen ravinnepitoisuudet ja ravinteiden suhteelliset osuudet ovat käsittelemätöntä jaetta paremmat kasvien ravinteiden käytettävyyttä tarkasteltaessa. Typen ja fosforin suhde on separoinnilla huomattavasti käsittelemätöntä ainesta parempi, ja etenkin liukoisen typen osuus nestejakeessa on suuri. Liukoinen tyyppi kuvaa kasveille käyttökelpoista tyyppiä. Separoinnissa tyyppi rikastuu etenkin nestemäiseen jakeeseen, kun taas fosfori jää hyödynnettäväksi jäljelle jäävään kiinteään massa. Separoidun mädätteen eli kuivajakeen logistiikka on huomattavasti kannattavampaa kuin käsittelemättömän ja nestepitoisen mädätemassan, jolloin ravinnepitoista jaetta voidaan kuljettaa kauemmas pelloille^{68 69}.

Mädätysjäännös-tuhkaseoksen rakeistaminen

Rakeistamisella tarkoitetaan menetelmää, jossa kiinteää ainesta muokataan haluttuun kiintoaineshiukkasten muodostamaan raekokoon. Prosessin etuna on materiaalin korkeampi irtotiheys, jolloin materiaali vaatii vähemmän tilaa esimerkiksi logistiikassa ja kuljetuksessa. Rakeistamista voidaan tehdä kerrostaen, puristaen sekä nestemäistä faasia rakeistamalla. Kerrostava rakeistus toteutetaan rakeistusrummuilla tai lautasrakeistimilla, puristava rakeistus valssi- ja suulakepuristimilla ja nestemäinen rakeistus pisararakeistamalla.

Rakeistaminen on yleinen menetelmä etenkin kaupallisen mittakaavan väkilannoitteiden tuotannossa. Raemuotoinen lannoite on helpompi käsitellä, sen annostelu on tarkempaa ja rakeet liikkuvat helpommin levittimissä. Suurin osa N-P-K-lannoitteista on kuivarakeistettuja tai vaihtoehtoisesti valmistettu nitrofosfaattiprosessoimalla eli liuottamalla raakafosfaattia tyyppihappoon. Rakeistettua lannoitetta voidaan myös pinnoittaa, jotta se hylkii kosteutta ja ei paakkuunnu. Raemuotoisen lannoitteen logistiikka ja kuljetuskustannukset ovat käsittelemätöntä mädätettä edullisemmat kuivan olomuotonsa ja irtotiheyden ansiosta.

Tuhkan lisääminen mädätejäännökseen nostaa seoksen kuiva-ainepitoisuutta sekä pH:ta, ja tuhkan on todettu maanparannusainekäytössä nostavan peltomaan pH:ta. Lisäksi tuhkan on todettu lisäävän kivennäis- ja hivenainepitoisuuksia seoksessa. Tuhka on lannoitelainsäädännön alainen aines, jolla tulee olla tuoteseloste ja jonka raskasmetallipitoisuuksia tarkkaillaan. Maatalouskäytössä

⁶⁶ GRK, n.d.

⁶⁷ HSY, n.d.

⁶⁸ Kanninen ja Laakso, 2018

⁶⁹ BioKanta, 2024

raskasmetallipitoisuuksien raja-arvot ovat metsäteollisuuteen verrattuna tiukemmat. Tuhkalannoitteiden tulee täyttää lannoitevalmisteille asetetut vaatimukset, joita säätelevät lannoitevalmistelaki 711/2022 sekä siihen perustuva maa- ja metsätalousministeriön asetus 964/2023. Jos tuhkaan sekoitetaan orgaanista ainesta, kuten lietettä, ja seosta valmistetaan lannoitteeksi, tulee tuotteelle hakea Ruokavirastolta tyyppinimi. Tuhka voi olla peräisin puun ja/tai turpeen poltosta tai lannan poltosta⁷⁰.

Rakeistamista teknologiana ja jatkoselvitystarpeita tuhkan jalostukseen liittyen kartoitettiin tarkemmin Lapinlahden biokaasulaitoksen aiemmassa selvityshankkeessa⁷¹. Rakeistaminen teknologiana on kustannuksiltaan melko hintava ratkaisu.

Nestejaetta voidaan myös konsentroida, ja kyseinen teknologia on käytössä ainakin Vehmaan biokaasulaitoksella. Vehmaan laitoksella on Suomen tasolla uniikki ratkaisu, jossa rejektiveden haihturikäsittelyllä erotetaan vesi ja ravinteet konsentroituina. Vesi ohjautuu käänteisosmoosiin, jonka jälkeen se on täysin puhdistettua ja voidaan johtaa lähivesistöön. Ravinteikas konsentraatti voidaan hyödyntää maataloudessa lannoitteena sekä metsäteollisuudessa jätevedenpuhdistamalla.⁷²

3.2.8 Logistiikan merkitys eri ratkaisuissa

Mädäte eri olomuodoissa ja jalostusasteissa edellyttää erilaisia logistisia ratkaisuja niin biokaasulaitoksen kuin loppukäyttäjän osalta. Erilaiset jalostusratkaisut ja käsittelyvaihtoehdot eivät ainoastaan vaikuta syntyvään lopputuotteeseen, vaan kuljetuksen ja varastoinnin edellytyksiin jalostusketjun eri osissa.

Kuivaamaton ja käsittelemätön mädäte vaatii runsaasti tilaa ja on kuljetuskustannuksiltaan arvokkaampaa kuivattuun ja/tai jatkojalostettuun ravinnevalmisteeseen verrattuna. Korkean kosteusprosentin omaava massa vie tiiviissä ja kuivassa olomuodossa olevaan tuotteeseen verrattuna runsaasti tilaa sekä biokaasulaitoksessa, kuljetuskalustossa että loppukäyttäjällä. Varastointitilat on suunniteltava siten, että ne estävät mädätteen pääsyn ympäristöön ja vähentävät hajuhaittoja. Mädätteen varastoinnille käytetään yleensä suljettuja säiliöitä, jotka mahdollistavat myös lämpötilan ja kosteuden hallinnan. Varastoinnin kesto aika riippuu mädätteen käyttötarkoituksesta, mutta se pyritään pitämään mahdollisimman lyhyenä, jotta ravinteet säilyvät tehokkaasti. Kosteaa ja käsittelemättömän mädätejäänöksen logistisesti järkevä käyttöalue onkin suhteellisen lähellä biokaasulaitosta, jotta logistiikan kustannukset eivät nouse liian korkeiksi.

Mädätteen olomuodon ja kuiva-ainepitoisuuden ratkaisee käyttökohde ja käyttäjä. Lapinlahdella haastatelluista maataloista suurin osa piti kuivaamatonta mädätettä sopivampana muotona heille siitä syystä, että heillä oli lietelannan varastointiin ja levitykseen soveltuvat puitteet ja kalusto.

Mädätettä kompostoidessa tulee huomioida riittävät tilat aumalle tai tunnelille. Aumakompostointi sopii parhaiten hajuttomien jakeiden kompostointiin, jolloin kyseinen ratkaisu ei biokaasulaitoksen mädätejäänökselle sovellu parhaiten. Biokaasulaitoksen tunnelikompostoinnista aiheutuu erilaisia laitteistokuluja muun muassa kompostointitunnelien, seulontalinjojen ja poistoilman puhdistuksen laitteiden vuoksi.

Matalamman kosteusprosentin ravinnevalmisteet vaativat vähemmän varasto- ja kuljetustilaa sekä biokaasulaitoksen että loppukäyttäjän päässä. Kuivattu, pelletti- tai raemuotoinen ravinnevalmiste

⁷⁰ Kanninen ja Laakso, 2018

⁷¹ Sweco, 2024 b

⁷² Gasum, n.d.

on helpommin käsiteltävää ja irtotiheydeltään korkeampaa märkään mädätejäännösmassaan verrattuna, jolloin sen logistiikan kustannukset ovat verraten alhaisemmat. Jatkokäsittelyn, kuten rakeistamisen, kustannukset ovat käsittelemätöntä mädätettä korkeammat, jolloin rakeistetun lopputuotteen hinta nousee korkeammaksi. Alkutuotannon käyttökohteiden osalta rakeistetut lannoitevalmisteet näyttäytyvät kiinnostavina, mutta todellisen maksuhalukkuuden arvioidaan olevan vähäistä.

Myös separoitu, ravinnepitoinen suotoneste on rakeistetun tai pelletöidyn valmisteen tapaan logistiikan näkökulmasta helpompi käsitellä ja varastoida, mutta lopputuotteen hinta voi nousta viljelijöiden maksuvalmiuteen nähden kannattamattomaksi. Separoinnin kustannukset voivat olla verrattain korkeat prosessin vaatiman laitteiston ja kemikaalien vuoksi.

3.3 Ekosysteemin kehittäminen ja kumppanuudet

Alueellisen ekosysteemin toimivuus syntyy sitoutuneiden toimijoiden kesken, jotta laitoksen toiminnan jatkuvuus varmistuu ja ekosysteemin kumppanien roolit ovat selkeät. Laitos tarvitsee oman henkilöstönsä lisäksi kumppaneikseen niin teknisen toteutuksen asiantuntijoita (laitteiston ja teknologioiden toimittajat), rahoituskumppaneita, syötteiden toimittajat, kuten jätevedenpuhdistamot, maatilat sekä elintarviketeollisuuden tehtaat, sekä mädätteen hyödyntämisen kumppanit, kuten maatilat ja viherrakennuskohteet.

Mädätteen hyödyntämisen yhteistyötahoja kartoitettiin hankkeessa kohdentuen erityisesti potentiaaliin yrityskumppaneihin. Aiemmassa vaiheessa kartoitettuja asiakasryhmiä ja keskusteluja mädätteen kasvupoluista tarkennettiin potentiaalisten yhteistyötahojen kanssa järjestetyssä työpajassa. Työpajaan osallistettiin potentiaalisia käyttäjäsegmenttejä ja kumppanitahoja eri toimialoilta, kuten energiasektorin yrityksistä, kierrätysravinnemarkkinoiden asiantuntijoista, jätehuollon asiantuntijoista sekä elintarviketeollisuuden ja biokaasualan asiantuntijoista.

Valikoiduille toimijoille järjestetyssä työpajassa keskusteltiin mädätteen hyödyntämisen näkymistä Suoniemen alueella etenkin lyhyellä aikavälillä, mutta työpajassa syvennettiin ymmärrystä myös pidemmän aikavälin mahdollisuuksista ja hidasteista mädätteen hyödyntämiselle laajemmin kansallisessa kontekstissa. Mädätteen käytön mahdollisuuksia ja kasvupolkuja lyhyellä ja pidemmällä aikavälillä kuvataan seuraavassa kappaleessa.

3.4 Tiekartta Suoniemen alueen ravinnekierron ekosysteemin kasvulle

3.4.1 Lyhyen aikavälin ratkaisu mädätteelle

Lyhyen aikavälin tarkastelussa mädätteen potentiaalisimmaksi käyttökohteeksi arvioidaan alueellinen yhteistyö maatalojen kanssa. Maatiloilla mädätettä voidaan hyödyntää niin lannoitus- kuin maanparannuskäytössä suunnitellusta laitoksesta logistisesti järkevillä etäisyyksillä. Samalla voitaisiin rakentaa biokaasulaitoksen ja alkutuotannon välistä kiertoa, jossa biokaasulaitoksen syötteiksi vastaanotettaisiin maatalojen biomassoja, kuten nurmea ja lantaa, ja vastaavasti maatilat vastaanottaisivat biokaasutusprosessin myötä syntynyttä mädätettä peltoviljelyyn omille peltolohkoilleen.

Nykyinen kiertoravinnemarkkina ei toistaiseksi kannusta sivuvirtapohjaisten lannoitevalmisteiden laajempaan tuotantoon, sillä neitseellisistä raaka-aineista valmistetut lannoitevalmisteet ovat



toistaiseksi vakiinnuttaneet paikkansa käyttäjien keskuudessa ja markkinat ovat valmiina. Kiertotalouden mukaiset lannoitus- ja maanparannusaineet ovat nykyisellään ammattikäytössä enimmäkseen paikallisesti, mutta vakiintunutta ja laajempaa markkinaa kiertotalouteen pohjautuville ja etenkin mädätepohjaisille tuotteille ei toistaiseksi ole olemassa.

Mädätteen hyödyntäminen alueellisesti alkutuotannon lannoitus- ja maanparannuskäytössä biokaasulaitoksen läheisyydessä näyttäytyy kannattavimpana ja kiinnostavimpana vaihtoehtona. Mädätettä voidaan Suoniemen alueen maatiloilla hyödyntää sellaisenaan ilman jatkojalostusta esimerkiksi alueen karjataloilla, joissa lietelannan käsittelyyn ja käyttöön tarvittavat kalustot ja logistiikka soveltuvat myös mädätteelle. Mädätteen jatkojalostus tuotteistettumaksi lannoitevalmisteeksi esimerkiksi separoimalla tai rakeistamalla ei näyttäydy kannattavana vaihtoehtona alkutuotantoon nähden, vaan mädätejäännöksen hyödyntäminen alueellisesti lannoitus- ja maanparannuskäytössä ilman jatkojalostusta arvioidaan kokonaiskannattavuuden näkökulmasta edullisimmaksi vaihtoehdoksi.

3.4.2 Kasvun mahdollisuudet alkutuotannossa ja muissa käyttökohteissa

Erilaiset kasvupolut mädätteen hyödyntämiselle voivat keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä muotoutua nykytilanteesta eriäviksi riippuen yhteistyön kehittymisestä, sääntelyn muutoksista ja kiertoravinnemarkkinoiden kypsymisestä. Kansallinen ja EU-tason sääntely ohjaa vahvasti sekä kierrätysravinteiden ja kiertotalouden maanparannusaineiden että kiertotalouden mukaisten vaihtoehtoisten kasvualustojen markkinoita, ja mädätteeseen kohdistuvat reunaehdot ja odotukset todennäköisesti säilyvät jatkossakin sääntelyn piirissä. Mädätteen jatkojalostusmahdollisuuksia kannattaa seurata avoimin mielin, sillä kiertotalouden mukaisten ratkaisujen voi odottaa kehittyvän rinta rinnan esimerkiksi ilmastonmuutokseen ja luontokatoon kytkeytyvän lisääntyneen tiedon ja tarvittavien ratkaisukeinojen myötä.

Kiertoravinnemarkkinan kehittymisen myötä mädätteen hyödyntäminen osana lannoite- ja maanparannusvalmisteita voi olla yksi potentiaalinen kasvupolku. Mikäli EU-tason ja kansallinen sääntely kannustavat tulevaisuudessa yhä enemmän kiertotalouden ratkaisuihin alkutuotannon lannoitekäytössä, voi mädätteen jatkojalostuksella olla merkittävää potentiaalia osana lannoitevalmisteita ja maanparannusaineita niin maatalouden kuin metsätaloudenkin näkökulmista.

Mädätteen hyödyntäminen osana kasvualustoja voi myös olla mahdollinen kasvupolku tulevaisuudessa, mikäli kaupalliset valmistajat kokevat mädätteen ominaisuuksiltaan ja kustannuksiltaan nykyistä houkuttelevammaksi raaka-aineeksi hygieni- ja laatuksiteerit varmistaen. Jo nykyisellään kasvualustojen valmistava teollisuus indikoi varovaista kiinnostusta mädätteen hyödyntämiselle, mutta sen käyttöön liittyvien haasteiden ratkominen edellyttää yhteistyötä ja nykyisten raaka-aineiden kustannusten uudelleentarkastelua mädätteeseen verrattuna.

Mädätteen käyttö kuivikkeiden tuotannossa on myös yksi kiinnostava ja mahdollisesti tulevaisuudessa potentiaalinen kasvun suuntaus, joka kuitenkin nykyisellään vaatii runsaasti lisäselvitystä eikä toistaiseksi näyttäydy ajankohtaisena mädätteen käyttökohteena muun muassa hygieniasyistä.

3.4.3 Ekosysteemin synnyttäminen ja kasvaminen

Mädätteen käyttökohteiden varmistamiseksi lyhyellä aikavälillä biokaasulaitos on riskittömintä suunnitella kaksilinjaiseksi, jolloin ihmisperäinen jätevedenpuhdistamoliete käsitellään erillisellä linjastollaan irrallaan muista syötteistä. Jätevedenpuhdistamolietettä sisältävää mädätettä ei tällöin kulkeutuisi maatalouskäyttöön tai muihin tarkasti säänneltyihin kohteisiin (kasvualustat,

metsälannoitus, kauppapuutarhat), vaan sitä voitaisiin ohjata muille käyttökohteille kuten viherrakennukseen ja virkistysalueiden lannoitukseen. Maatalouskäyttöön ohjautuvan mädätteen osalta on tärkeää varmistaa, ettei jätevedenpuhdistamolietettä kulkeudu mädätemassan sekaan ihmisperäisen lietteen hygieni- ja laatu-tekijöiden vuoksi. Osa maatioista saattaa hyväksyä myös jätevedenpuhdistamolietettä sisältävää mädätettä, mutta riskienhallinnan näkökulmasta on varmempaa käsitellä maatalouspohjaisia syötteitä ja mädätteitä erillään ihmisperäisistä. Tällöin kaksilinjaisesta laitoksesta voidaan erotella luomulaatuiset ja ainoastaan maatalouden sekä elintarviketeollisuuden sivuvirtoihin pohjautuva mädäte omaksi kokonaisuudeksi jätevedenpuhdistamolietepohjaisesta mädätteestä, ja etsiä molemmille mädätemassoille omat käyttökohteensa. Jätevedenpuhdistamolietettä sisältävä mädäte tulee laitossuunnittelun arvioiden mukaan olemaan pienessä osassa muihin syötteisiin pohjautuvaan mädätteeseen verrattuna, ja tälle mädätemassalle voidaan löytää käyttökohteita esimerkiksi kunnallisesta viherrakentamisesta.

Selvityksen mukaan mädätettä on kannattavinta hyödyntää biokaasulaitoksen lähistöllä sijaitsevien maatiilojen alkutuotannossa lannoite- ja maanparannuskäytössä ilman merkittävää jatkojalostusta. Lapinlahden alueen maatalousperinteet ja kokemus esimerkiksi karjataloudesta ja lietelannan käsittelystä mahdollistaa mädätejäännöksen logistiikan sellaisenaan, eikä mädätteen jatkojalostusta esimerkiksi separoimalla tai rakeistamalla koeta kannattavaksi vaihtoehdoksi alueellisella tasolla tai lyhyellä aikavälillä. Tilakohtaisten haastattelujen perusteella alueellista kiinnostusta mädätteen hyödyntämiseen on olemassa, mutta jatkokeskustelut ja tilakohtaiset sopimukset syötteiden toimittamiseen ja mädätteen vastaanottamiseen tulee toteuttaa tämän selvityksen ulkopuolella.

Mädätteen hyödyntämiseen pidemmän aikajänteen tarkastelussa ja kansallisia ravinnekiertomarkkinoita arvioitaessa liittyy mahdollisuuksia, joiden edistämiseen tarvitaan alueellista ekosysteemiä laajempaa yhteistyötä. Mädätteen hyödyntämisen mahdollisuudet tunnistetaan potentiaalisena kiertoravinnevalmisteenä niin alkutuotannossa, kiertoravinteiden valmistajien parissa kuin elintarviketeollisuudenkin puolella, mutta käyttöön liittyy nykyisellään hidasteita ja lainsäädännön haasteita.

Jotta siirtymää fossiilisiin luonnonvaroihin perustuvasta lannoitetuotannosta kohti suljetumpia ravinnekiertoja ja kiertotalouteen pohjaavia lannoite- ja maanparannusvalmisteita saadaan edistettyä, tarvitaan koko ruokajärjestelmältä yhteistä sitoutuneisuutta ja yhteistyötä siirtymän mahdollistamiseksi. Mädätteen käyttöön alkutuotannossa liittyy sekä lainsäädännön reunaehdot että mielipiteitä ja asenteellisia hidasteita, jotka jarruttavat mädätteen hyödyntämistä kiertoravinteena. Elintarviketeollisuuden, kiertoravinnevalmistajien ja alkutuotannon toimijoiden keskinäinen yhteistyö ja kommunikaatio yhdistettynä ajantasaiseen tutkimustietoon mädätteen käytön turvallisuudesta ja hygieniatekijöistä on avainasemassa nykyisen kiertoravinnemarkkinan vauhdittamisessa ja alkutuotannon ravinnekiertojen kehittämisessä.

4. Jäteveden lämmöntalteenoton toteutus ja kannattavuus

4.1. Tausta ja tavoite

Osana tätä hanketta tarkasteltiin Lapinlahden kunnan Suoniemen alueella sijaitsevan jäteveden puhdistamon hukkalämpöpotentiaalia. Jäteveden puhdistamon jätevesivirtaamat ovat noin kuusi kertaa suuremmat ja lämpötila huomattavasti korkeampi kuin vastaavan kokoisissa kunnissa, johtuen paikkakunnalla sijaitsevasta Valion tehtaasta, jonka jätevedet käsitellään Suoniemen laitoksella.

Seuraavassa esitetään konseptitason suunnitelma teknisesti ja taloudellisesti järkevästä lämpöpumpputekniikkaa hyödyntävästä jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmästä, sekä tarkastellaan eräät todennäköisimmistä paikallisista lämmönkäyttökohteista.

4.2. Lyhenteet

Alla olevassa taulukossa 9 on selvennetty tekstissä ja kuvaajissa käytetyt lyhenteet:

Taulukko 9. Työpaketin 3 lyhenteet.

KL	kaukolämpö	dT	lämpötilaero (°C)
T,x	lämpötila pisteessä x	MW	Megawatti
MWh	megawattitunti	GWh	gigawattitunti
Q,x	virtaama (kg/s) pisteessä x	LTO	lämmön talteenotto
LP	lämpöpumppu	JV	jätevesi
GWP	global warming potential; kuvaa kylmäaineen ominaislämmitysvaikutusta eli sitä, kuinka paljon kylmäaine sitoo lämpöenergiaa ilmakehään suhteessa hiilidioksidiin, jonka GWP=1	ODP	ozone depletion potential; kuvaa ilmakehän kloorifluorihilivetyjen kykyä aiheuttaa haittaa otsonikerrokselle
LCOH	levelized cost of heat; tuotetun lämmön elinkaarikustannus	COP	coefficient of performance; hyötysuhde

PR	priimaus	SCOP	seasonal coefficient of performance; kausihyötysuhde, useimmin yhden vuoden jaksolla
TMA	takaisinmaksuaika	OKH	omakustannehinta

4.3. Lähtötiedot ja niiden käsittely

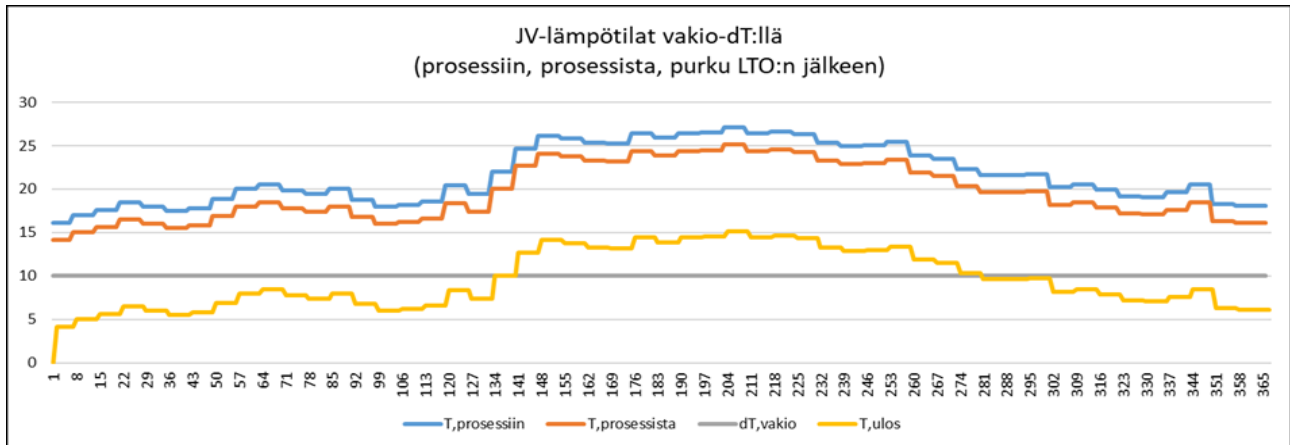
Alla olevassa taulukossa 10 on lueteltu käytetyt lähtötiedot lähteittäin:

Taulukko 10. Työpaketin 3 lähtötietoaineisto.

Lapinlahden kunta	- Kartta-aineistot Suoniemen jäteveden puhdistamon alueelta
Savon Voima	- Lapinlahden lämpölaitosten energian tuotanto kuukausittain 2023–2024 - Lapinlahden kaukolämpöverkon meno- ja paluulämpötilojen päiväkeskiarvot 2023–2024
Operon Group Oy	- Lapinlahden jätevesilaitoksen vuorokausivirtaamat 2020–2024 - Lapinlahden jätevesilaitoksen ilmastusprosessin viikoittaiset keskilämpötilat 2023–2024
Ilmatieteenlaitos	- Lähimmän mittauspisteen (Maaninka, Kuopio) tuntinen ilman keskilämpötila 2023–2024 - Lähimmän mittauspisteen (Maaninka, Kuopio) ilman vuorokauden keskilämpötila 2023–2024

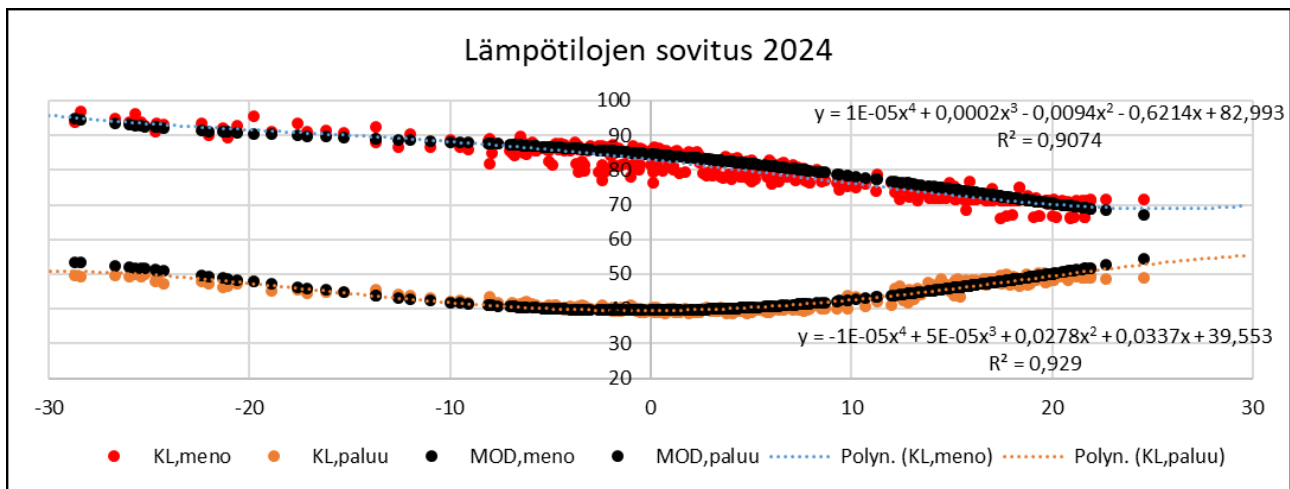
Lähtötietoja voidaan soveltaa monella tavalla konseptitarkasteluvaiheessa, riippuen tavoitellun lopputuotoksen halutusta tarkkuudesta. Kaukolämpöverkkoja ja lämpöpumppulaitoksia tarkasteltaessa on tavanomaista käyttää tuntisarjoja. Tässä tapauksessa ainoa valmis tuntisarja oli Ilmatieteenlaitokselta vapaasti ladattava mittaustieto.

Jätevesitiedot (viikko- ja vuorokausikeskiarvot tai -summat) muutettiin tuntisarjoiksi suoraan. Tiedetään, että jäteveden virtausten tuntinen vaihtelu voi olla yli 20 %, mutta ilman tarkkaa mittaustietoa päädyttiin oletamaan, että virtausvaihtelu tasaantuu prosessin altaissa ja lopulta käsitelty järveen johdettava jätevesi on virtaukseltaan tasaisempaa kuin laitokselle saapuessa. Kuvassa 10 on esitetty laskennan välivaihe jäteveden lämpötiloista.



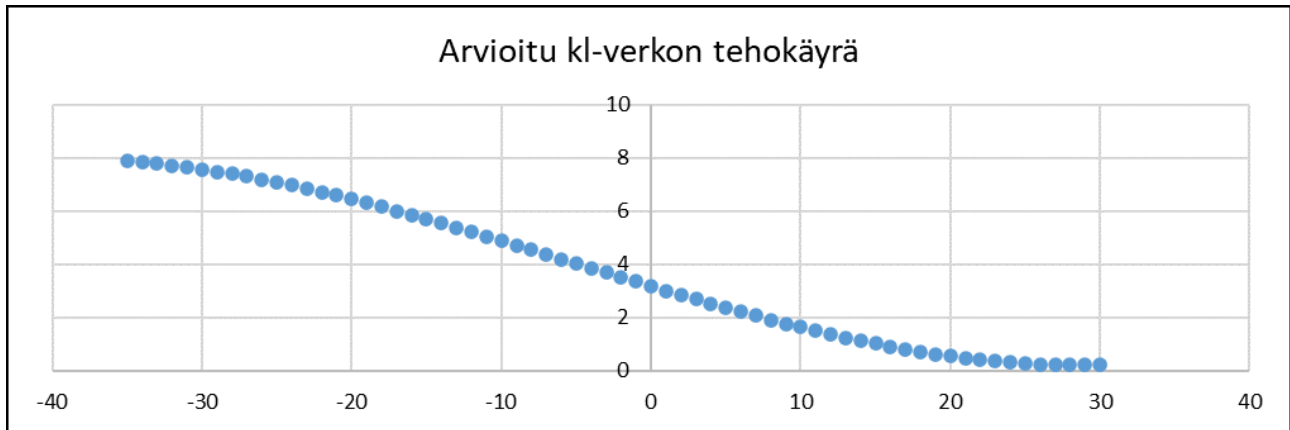
Kuva 10. Jäteveden lämpötilat (°C) päivittäin ilmastusprosessiin (sinisellä), arvio puhdistetusta jätevedestä laitokselta ulos (oranssi), sekä puhdistetun jäteveden purkulämpötila vesistöön LTO-prosessin jälkeen teoreettisesti dT:n ollessa 10°C (keltaisella).

Kaukolämpöä koskevien lähtötietojen saattaminen tuntidataksi vaati enemmän vaiheita. Laskentaa varten lähtödataksi toimitetut vuorokautiset keskiarvolämpötilat sovitettiin käyrille ja edelleen funktioiksi, joista saatiin ulkolämpötilatuntisarjojen avulla arvioitua kaukolämpöverkon meno- ja paluulämpötilat (ks. kuva 11).



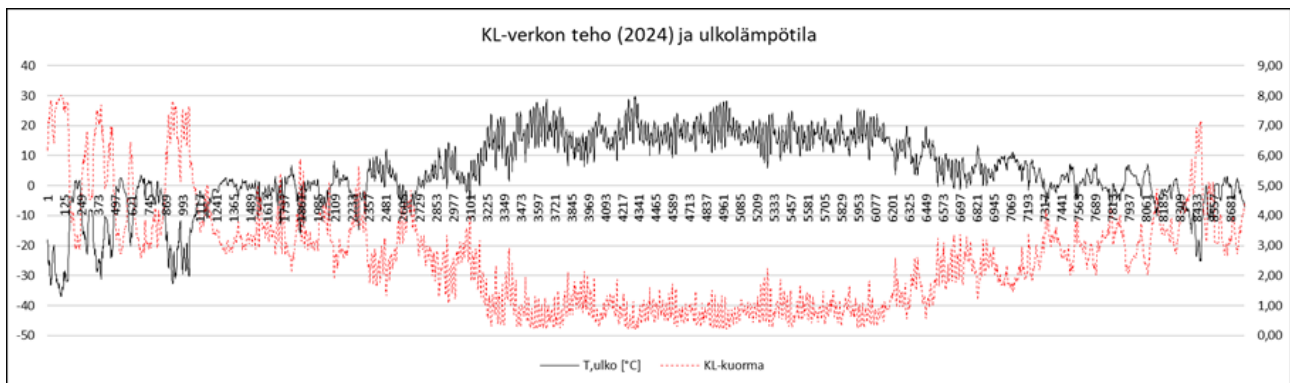
Kuva 11. Lapinlahden kaukolämpöverkon arvioidut toimintalämpötilat. Vaaka-akselilla ulkolämpötila (°C), pystyakselilla kaukolämmön verkostolämpötilat (°C).

Kaukolämpöverkon lämpötilojen lisäksi oli tarpeen arvioida kaukolämpöverkon kuorma eri ulkolämpötiloissa. Arvion tueksi oli käytettävissä kuukausittaiset summaenergiat kolmelta eri tuotantolaitokselta. Arvio tehtiin manuaalisesti kaukolämpöverkon tehokäyrää muotoilemalla, kunnes arvioidut kuukausittaiset tuotetut energiat vastasivat kohtuullisesti paikallisen kaukolämpöverkon mitattua kuukausituotantoa. Arvio kaukolämpöverkon tehotarpeesta on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Lapinlahden kaukolämpöverkon arvioitu teho (MW) ulkolämpötilan (°C) funktiona.

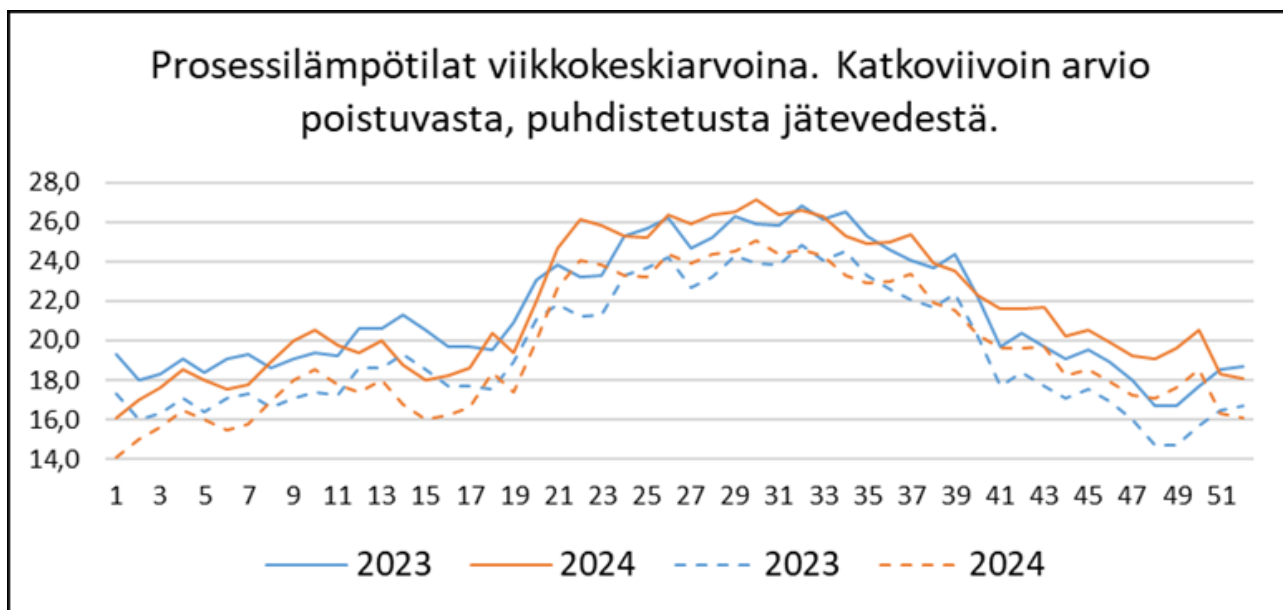
Lopputuloksena saatiin alla olevan kuvan (Kuva 13) mukainen arvio kaukolämpöverkon tehosta vuodelta 2024.



Kuva 13. Vuoden 2024 tuntisen ulkoilman lämpötilan keskiarvon mukaan arvioitu Lapinlahden kaukolämpöverkon teho. Vaaka-akselilla vuoden tunnint, vasemmalla pystyakselilla ulkolämpötila (°C) ja oikealla pystyakselilla kl-verkon teho (MW).

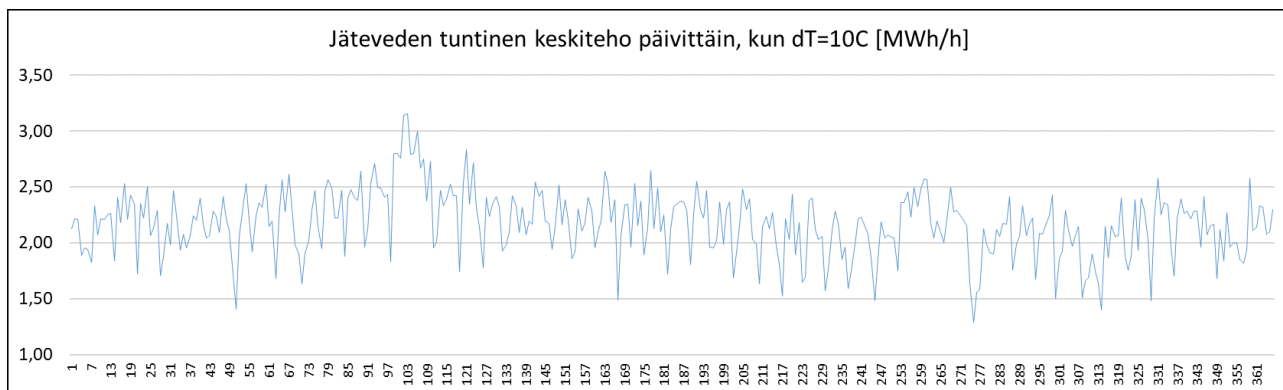
4.4. Jäteveden energiapotentiaali

Jätevedessä olevan energiapotentiaalin määrittäminen riippuu jäteveden virtauksesta ja lämpötilasta, sekä siitä, kuinka paljon jätevettä halutaan jäähdyttää. Lähtötietoaineiston perusteella puhdistetun jäteveden lämpötila vaihtelee välillä 14–25°C vuoden aikana (Kuva 14). Puhdistettua jätevettä johdetaan läheiseen vesistöön noin 4700 kuutiometriä vuorokaudessa.



Kuva 14. Jäteveden lämpötilat. Yhtenäiset viivat kuvaavat jv-lämpötilaa ilmastusprosessissa ja katkoviivat lämpötila-arviota puhdistusprosessien jälkeen purkukanavassa. Vaaka-akselilla viikot, pystyakselilla lämpötilat ($^{\circ}\text{C}$)

Jäteveden lämpötila on korkeimmillaan kesällä lämmityskauden ulkopuolella (ks. Kuva 14). Tällöin talteen otettavaa energiaa olisi eniten tarjolla, mutta ilman lämpöenergian kausivarastointia sen hyödyntämismahdollisuudet ovat vähäisimmillään. Muun muassa tästä syystä energiapotentiaalin tarkastelutavaksi valittiin kiinteä lämpötilaero talteenottoprosessiin ($dT=10^{\circ}\text{C}$). Kiinteällä lämpötilaerolla talteen otettava teho on esitetty kuvassa 15, josta nähdään talteen otettavan tehon vaihtelevan noin 1,5–2,5 MW:n välillä.

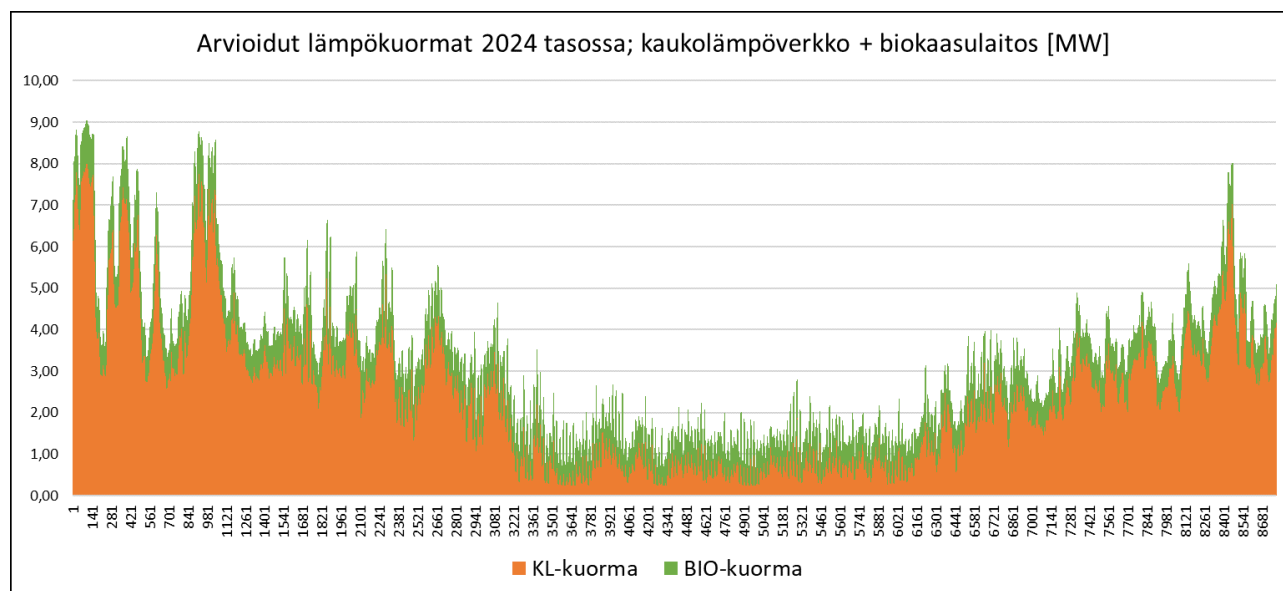


Kuva 15. Jäteveden keskimääräinen tehopotentiali kiinteällä lämpötilaerolla ($dT=10^{\circ}\text{C}$). Vaaka-akselilla vuoden päivät, pystyakselilla jäteveden talteen otettavissa oleva lämpöteho (MW) vuoden 2024 jätevesien virtaamiin perustuen.

4.5. Lämmön käyttökohteet

Puhdistetusta jätevedestä talteen otetun lämmön käyttökohteista selkein on Lapinlahden alueen kaukolämpöverkko. Toinen mahdollinen käyttökohde on tässä raportissa tarkasteltu biokaasulaitos.

Kaukolämmön tehotarpeen arviointi on kuvattu kappaleessa 4.3. Biokaasulaitoksen lämmöntarpeen on arvioitu olevan jatkuvaa, vaihdellen välillä 0,5–1,0 MW ulkolämpötilan mukaan. Vuositasolla kaukolämpöverkon energiatarpeen on arvioitu olevan 22 GWh ja biokaasulaitoksen 5 GWh. Arvio kaukolämpöverkon ja biokaasulaitoksen lämmönkulutuksesta on esitetty kuvassa 16.

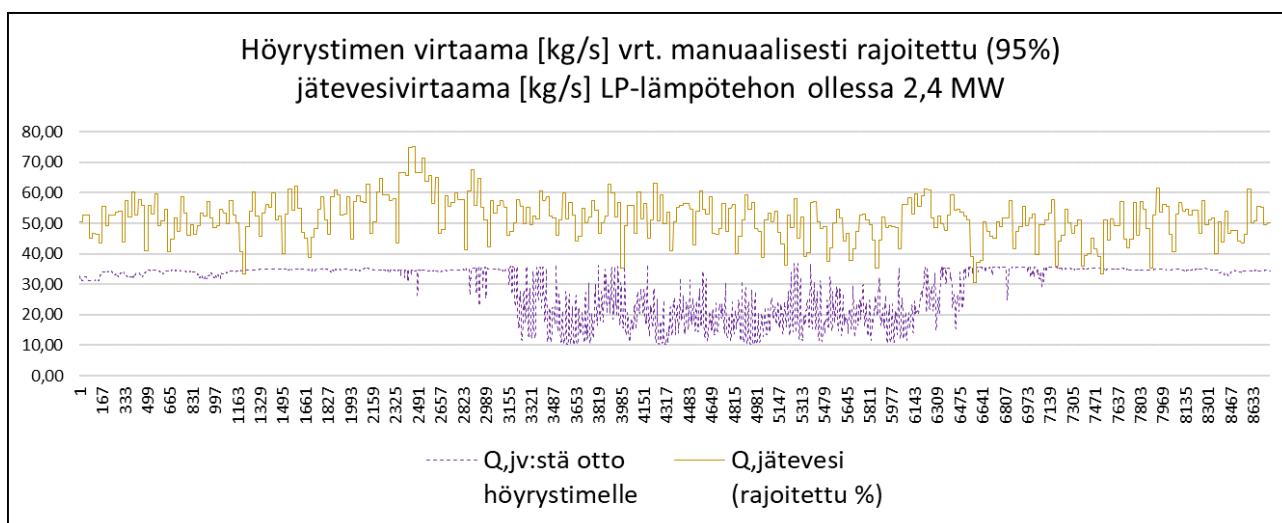


Kuva 16. Kaukolämpöverkon ja biokaasulaitoksen lämpötehon tarve tuntisarjana. Vaaka-akselilla vuoden tunnit, pystyakselilla lämpötehon tarve (MW).

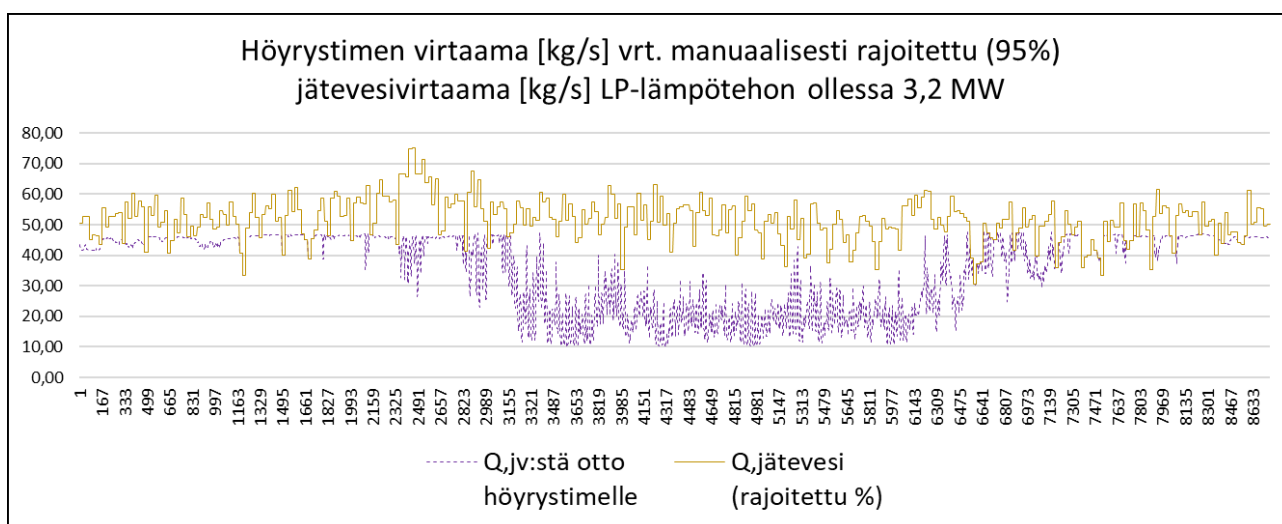
4.6. LTO-järjestelmän mitoitus

Lämmön talteenottojärjestelmän mitoitus tehdään pääsääntöisesti investoinnin kannattavuuden perusteella; vaikka hukkalämpöä olisi saatavilla paljon, mutta sille ei ole järkevää käyttökohdetta, ei sitä kannata silloin ottaa täysimääräisesti talteen. Tämä on usein totta jäteveden hukkalämpöä talteen otettaessa. Kesällä hukkalämpöä on runsaasti tarjolla, mutta käyttökohdetta ei löydy.

Lapinlahden tapauksessa on muutaman iterointikierroksen jälkeen päädytty tarkastelemaan kahta laitostekoa. LP-LTO-laitos A on lämpöteholtaan 2,4 MW ja laitos B 3,2 MW. Alla olevissa kuvissa 17 ja 18 on keltaisella esitetty käytettävissä oleva jätevesivirtaama siten, että arvioidusta todellisesta virtaamasta on vähennetty 5 %. Samoissa kuvissa violetilla värillä on kuvattu LP-LTO-laitosten käyttämä jv-virtaama. Kuvista nähdään, että lämpöteholtaan 2,4 MW LP-LTO-laitos tulee valtaosan vuoden tunneista toimeen käytettävissä olevalla jv-virtaamalla; vain 0,8 % vuoden tunneista ovat sellaisia, että LP-LTO-laitos joutuu rajoittamaan tehoaan riittämättömän jv-virtaaman vuoksi. Suuremassa, lämpöteholtaan 3,6 MW LP-LTO-laitoksessa, laitoksen lämpötehoa joudutaan rajoittamaan noin 11 % vuoden tunneista. Tarkennettakoon, että lämpötehon rajoittaminen ei tarkoita LP-LTO-laitoksen alasajoa, vaan tuolloin laitos ei pysty tuottamaan sen hetkistä maksimilämpötehoaan.



Kuva 17. Lämpöteholtaan 2,4 MW LP-LTO-laitoksen (laitos A) hyödyntämä jv-virtaama (violetilla) suhteessa käytettävissä olevaan jv-virtaamaan (keltaisella). Pystyakselilla virtaama, vaaka-akselilla vuoden tunnit.

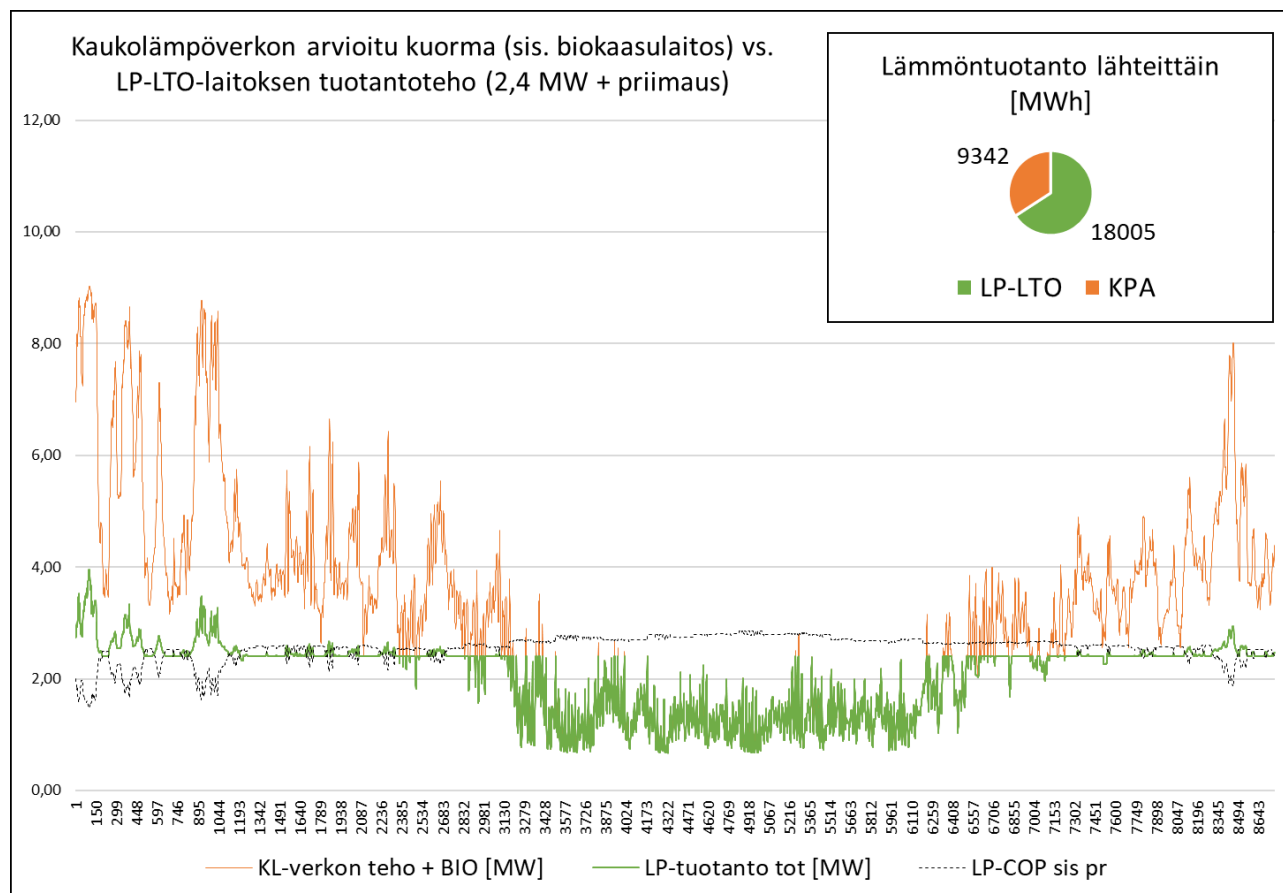


Kuva 18. Lämpöteholtaan 3,2 MW LP-LTO-laitoksen (laitos A) hyödyntämä jv-virtaama (violetilla) suhteessa käytettävissä olevaan jv-virtaamaan (keltaisella). Pystyakselilla virtaama, vaaka-akselilla vuoden tunnit.

4.7. LTO-järjestelmän tuotanto

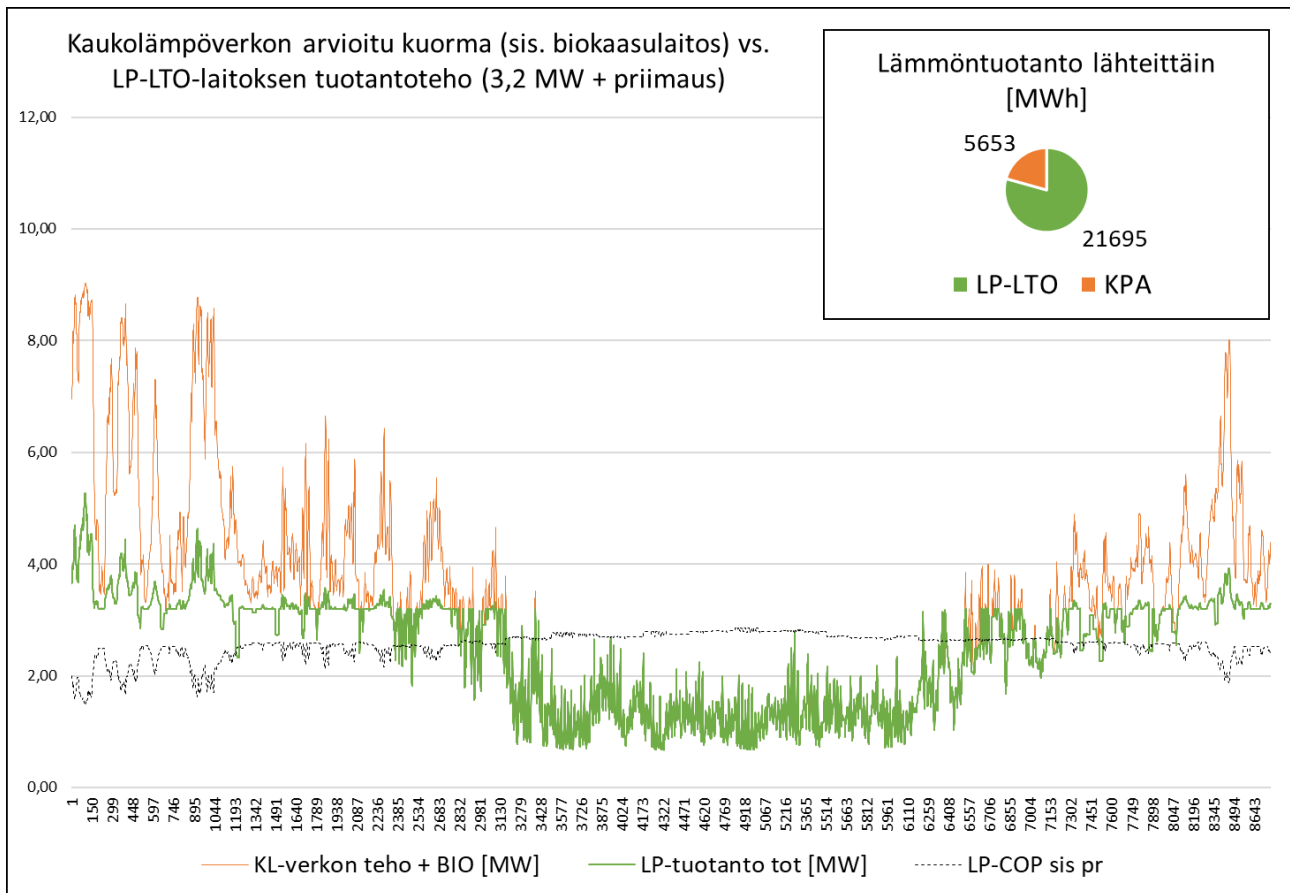
LP-LTO-laitosvaihtoehtojen tuottamat lämpöenergiamäärät ja priimauslämpöenergiat ja -tehot käydään läpi seuraavaksi. Tarkasteluun valittujen lämpöpumppujen arvioidaan kykenevän vaivattomasti tuottamaan 85°C:n menolämpötilan lauhduttimella. Ajoittain kovalla pakkasella kaukolämpöverkon lämpötila nousee yli edellä mainitun LP-järjestelmän maksimilämpötilan. Tällöin LP-järjestelmän tuottamaa lämpöenergiaa priimataan, eli sen lämpötilaa nostetaan kaukolämpöverkon menolämpötilaa vastaavaksi, esimerkiksi 95°C:een. Tässä tarkastelussa priimaustehon lähteeksi on ajateltu sähkökattila, mutta toinen teknisesti todennäköisesti mahdollinen ratkaisu on nostaa menolämpötilaa viereisellä lämpölaitoksella.

Laitos A (lämpöteho 2,4 MW) voi tuottaa teoriassa 17,5 GWh lämpöenergiaa, kuluttaen tähän 6,8 GWh sähköenergiaa. Priimausenergiaa tarvitaan tällöin 0,5 GWh ja priimauksen maksimiteho on 1,55 MW. LTO-LP-lämmöntuotannon ollessa yhteensä 18 GWh, vastaa se 66 %:a lämmönkäyttökohteiden yhteenlasketusta vuosienenergiasta, mikäli LTO-LP-laitoksen annetaan tuottaa lämpöä jatkuvasti, sähkön hinnasta riippumatta. Vuosihyötysuhde (SCOP) priimaus huomioon otettuna tällöin 2,5. Laitoksen A tuotanto suhteessa lämpökuormaan on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. LP-LTO-laitosvaihtoehdon A (LP-lämpöteho 2,4 MW) tuotanto (MW, vihreällä) suhteessa kaukolämpöverkon ja biokaasulaitoksen lämpötehon tarpeeseen (MW, oranssilla). Mustalla kuvattu LP-LTO-laitoksen hyötysuhde, priimaus huomioon otettuna. Pystyakselilla lämpöteho ja COP, vaakakselilla vuoden tunnit.

Laitos B (lämpöteho 3,2 MW) voi tuottaa teoriassa 21,1 GWh lämpöenergiaa, kuluttaen tähän 8,2 GWh sähköenergiaa. Priimausenergiaa tarvitaan tällöin 0,6 GWh ja priimauksen maksimiteho on 2,1 MW. LTO-LP-lämmöntuotannon ollessa yhteensä 21,7 GWh, vastaa se 79 %:a lämmönkäyttökohteiden yhteenlasketusta vuosienenergiasta, mikäli LTO-LP-laitoksen annetaan tuottaa lämpöä jatkuvasti, sähkön hinnasta riippumatta. Vuosihyötysuhde (SCOP) priimaus huomioon otettuna tällöin 2,5. Laitoksen B tuotanto suhteessa lämpökuormaan on esitetty kuvassa 20.



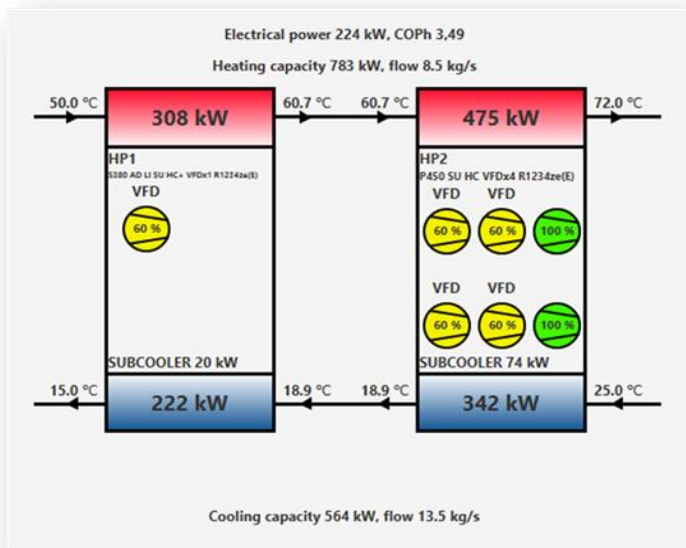
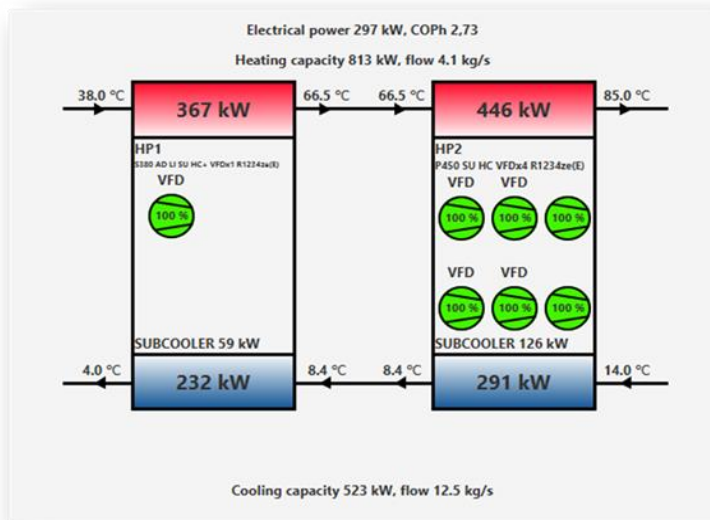
Kuva 20. LP-LTO-laitosvaihtoehdon B (LP-lämpöteho 3,2 MW) tuotanto (MW, vihreällä) suhteessa kaukolämpöverkon ja biokaasulaitoksen lämpötehon tarpeeseen (MW, oranssilla). Mustalla kuvattu LP-LTO-laitoksen hyötysuhde, priiamaus huomioiden. Pystyakselilla lämpöteho ja COP, vaakakselilla vuoden tunnit.

4.8. LTO-järjestelmä ja lämpöpumput

Tässä konseptisuunnitelmassa LTO-LP-järjestelmät (laitokset A ja B) mitoitettiin Oilon Oy:n OST-mitoitustyökalulla sen käytettävyyden ja kattavan datan vuoksi. Mahdollisissa myöhemmissä, investointia edeltävissä vaiheissa, tulee valita lämpöpumpuille tarkasteltavat toimintapisteet ja pyytää laitekohtaiset mitoitukset laitetoimittajilta. Lämpöpumppujen kylmäaineeksi tarkasteluun valittiin R1234ze, jonka GWP- ja ODP-arvot ovat alhaiset (GWP=7, ODP=0). R1234ze-kylmäaine kuuluu luokkaan A2L eli se on myrkytön ja heikosti syttyvä.

Jäteveden lämpötilasta ja oletettavasta lämmönkäyttökohteesta johtuen lämpöpumppujärjestelmä on kaksiportainen (ts. kaksi puristusvaihetta). Valitut lämpöpumput ovat Oilon S380 ensimmäisessä portaassa, sekä Oilon P450 toisessa portaassa. S-sarjan lämpöpumput käyttävät ruuvikompressoreita ja P-sarjan lämpöpumput mäntäkompressoreita. Yksi kappale kumpaakin lämpöpumppua (S380+P450) muodostavat yhden yksikön. Laitos A (lämpöteho 2,4 MW) koostuu kolmesta yksiköstä ja laitos B (lämpöteho 3,2 MW) neljästä yksiköstä.

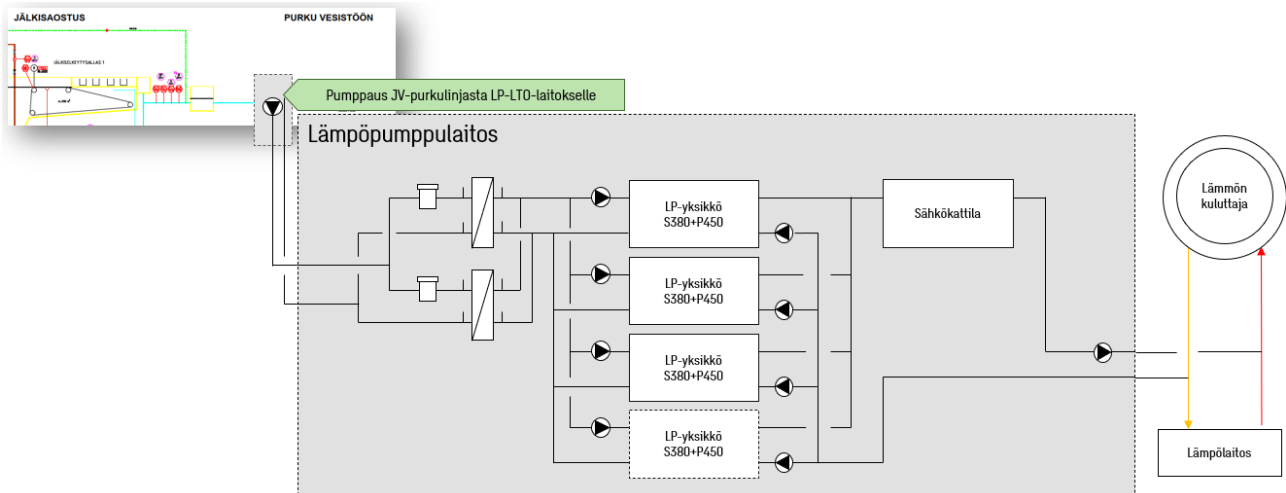
Kuvassa 21 on esitetty mitoittavat ajotilanteet talvella ja kesällä. Huomattavaa on, että mikäli biokaasulaitos 0,5 MW pohjalämpökuormineen ei toteudu, on kesäajotilanteen mitoitus lämpöteholtaan liian korkea. Tällöin voidaan tutkia vaihtoehtona yksikön sisäisen välipiirin kytkemistä höyrystinpiiriin, jolloin lämpötehoa saadaan laskettua paremmin lämpökuormaa vastaavaksi. Toisaalta, jos biokaasulaitos ei toteudu, on tarpeen varmistaa lp-lto-järjestelmän kokonaismoitus ja lp-yksikkömitoitus uudelleen.



Kuva 21. Valitun lämpöpumpppuyhdistelmän (yksikkö) mitoitusajot talvi- ja kesäajotilanteessa.

4.9. LTO-järjestelmän periaatekaavio ja toiminta

Kuvassa 22 kuvataan konseptitasolla LP-LTO-laitoksen virtauskaavio pääkomponentit huomioiden. Lämmön talteenotto prosessi alkaa pumppaamalla puhdistettu jätevesi kulloisenkin lämmöntuotantotilanteen vaatimalla virtaamalla jv-laitoksen jv-purkukanavasta lp-lto-laitokselle, jossa jv-vesi suodatetaan ja ajetaan vaihtim(i)en läpi. Vaihtimilta jv palaa jv-laitoksen purkukanavaan ja siitä edelleen vesistöön.



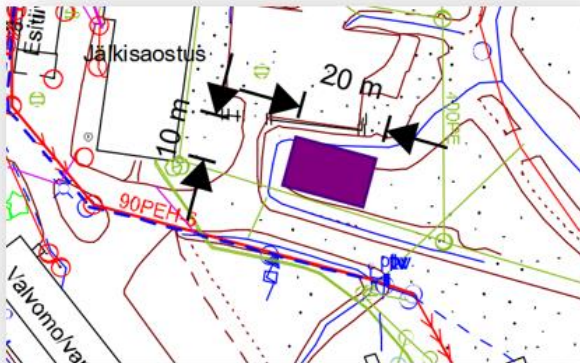
Kuva 22. LP-LTO-järjestelmä periaatekaavio.

LP-LTO-laitoksen vaihtimissa lämpö siirtyy höyrystinvälipiiriin ja siitä edelleen LP-yksiköiden ensimmäisen portaan koneiden höyrystimille. Ensimmäisen portaan koneet nostavat LP-yksikön sisäisen välipiirin lämpötilaa, joka siirtyy toisen portaan koneiden höyrystimille. Toisen portaan koneet pyrkivät tuottamaan lämmönkäyttökohteen asetusarvon mukaista lämpötilaa ja tarvittaessa toisen portaan koneiden lauhduttimilta lähtevän virtauksen lämpötilaa korotetaan sähkökattilalla (tai vaihtoehtoisella primaustavalla), ennen kuin se syötetään lämmönkäyttökohteeseen.

LP-yksiköiden toiminta on toisistaan riippumatonta. Vajaan kuormituksen aikana ajettavia yksiköitä tulee jaksoittain vaihtaa.

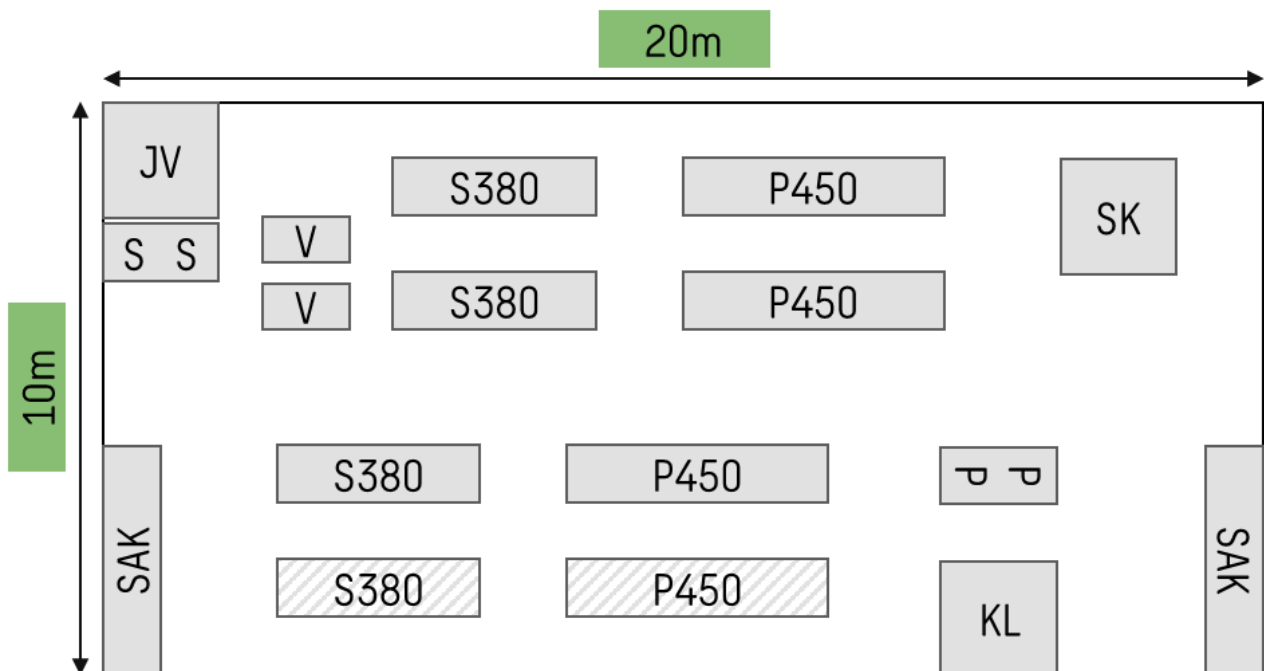
4.10. LTO-järjestelmän sijoittelu

LP-LTO-laitokset A ja B vaativat edellä kuvatuilla LP-yksikköratkaisulla samankokoisen rakennuksen ympärilleen, pinta-ala-arvioltaan 200m². Eräs rakennuksen mahdollinen sijainti on esitetty kuvassa 23. Kyseessä on varsin karkea arvio rakennuksen koosta ja sijainnista; maastoa ei ole katselmoitu eikä esimerkiksi maanalaisia rakenteita selvitetty. Rakennuksen ehdotettu paikka on valittu vain siitä syystä, että se sijaitsee lähellä jv-purkukanavaa ja hakelämpölaitosta. Liitteenä 2 olevassa biokaasulaitoksen asemapiirroksessa on esitetty esimerkksijainti, mikäli se rakennettaisiin biokaasulaitoksen välittömään läheisyyteen.



Kuva 23. LP-LTO-laitosrakennuksen viitteellinen sijainti ja pinta-ala.

Kuvassa 24 on esitetty LP-LTO-laitosrakennus ja sisälle sijoitettavat päälaitteet. Mahdollisessa esisuunnittelussa ja muissa myöhemmissä vaiheissa laitteet ja putkistot on syytä mallintaa kolmiulotteisesti, jotta esimerkiksi vaadittavat huoltotilat ja turvaetäisyydet voidaan todentaa.



Kuva 24. LP-LTO-laitosrakennus. Kuvattuna laitosvaihtoehdot A ja B (erona B:ssä oleva neljäs LP-yksikkö, joka esitetty viivoitettuna yllä). Selitteet: JV, jätevesikytkennät; S, suodatus; V, lämmönvaihdin; S380, lämpöpumppu 1. porras; P450, lämpöpumppu 2. porras

4.11.LTO-järjestelmän investointikustannusarvio

Investointikustannusarviot on esitetty taulukossa 11. Arvio perustuu LP-yksiköiden osalta laitetoimittajan hinnastoon. Rakennuksen, sähkökattilan ja laitteiden sekä asennusten osalta arvio perustuu skaalattuihin arvoihin Swecon toteutuneiden hankkeiden ja/tai esiselvitysten mukaan. Arvio ei sisällä sähköliittymäkustannuksia. Arviota tehdessä myöskään lp-rakennuksen sijaintia ja siten liityntäputkistojen pituutta, eikä rakennuksen perustamistapaa tunneta. Kokonaisuutena investointikustannusarvion tarkkuus on +/- 30 %.

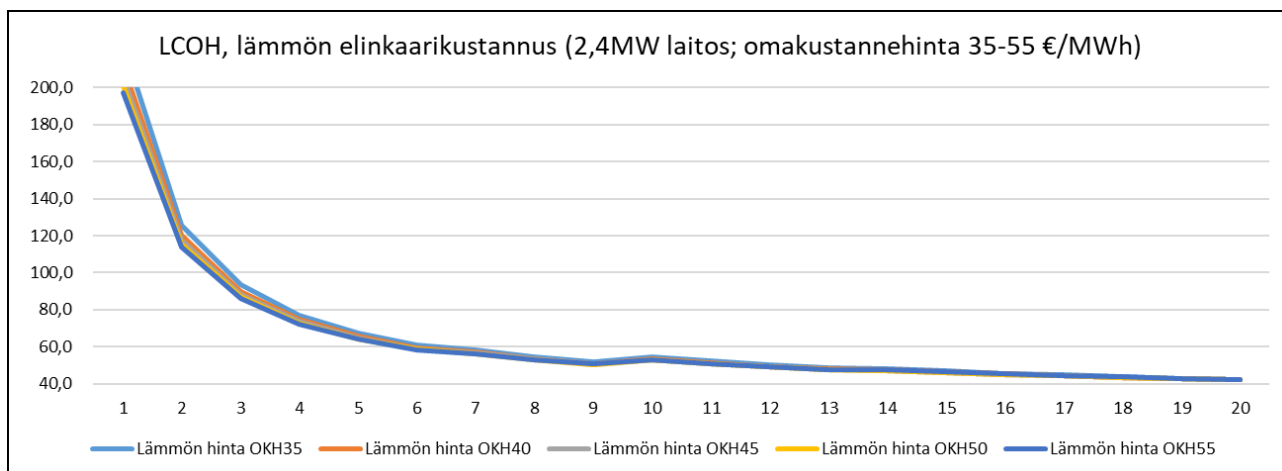
Taulukko 11. Investointikustannusarviot LP-LTO-laitosvaihtoehdoille A ja B.

Kustannustyyppi / Laitos	Laitos A	Laitos B
LP-yksiköt (€)	1 200 000	1 600 000
LTO-rakennus (€)	500 000	500 000
Sähkökattila (€)	200 000	250 000
Laitteet ja asennukset (€)	800 000	850 000
Yhteensä (€)	2 700 000	3 200 000

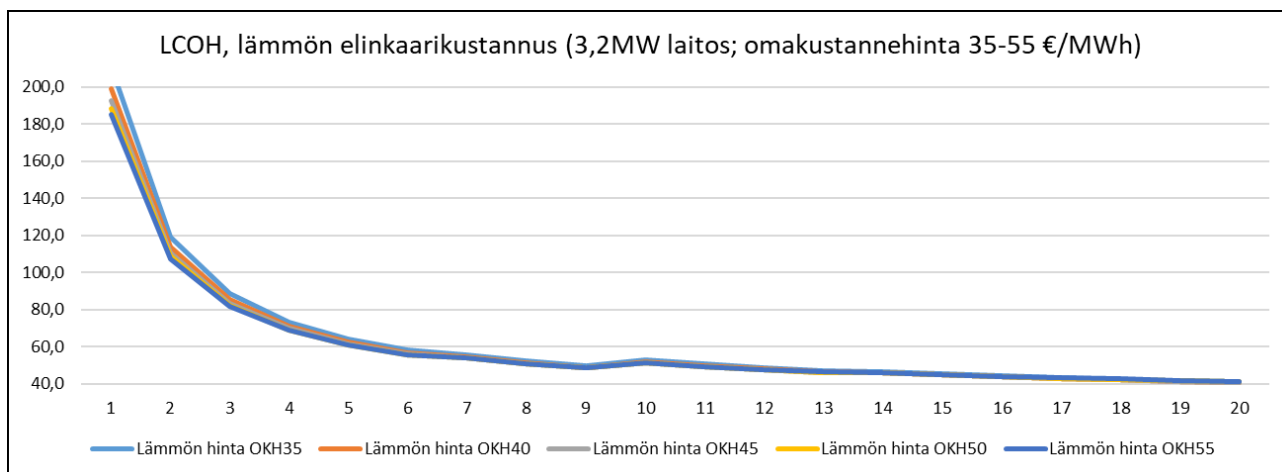
4.12.LTO-järjestelmän kannattavuus ja LCOH

LCOH tarkoittaa lämmön elinkaarikustannusta ja se on yksi tapa arvioida lämpölaitosinvestoinnin kannattavuutta. Se kertoo tässä tapauksessa, miten LP-LTO-laitosten tuottaman lämpöenergian omakustannehinta kehittyy suhteessa vuosien aikana kasvavaan, kumulatiiviseen tuotettuun lämpömäärään nähden. LCOH-laskelma huomioi investoinnin lisäksi sähköenergian hankintakulut ja huoltokulut, sekä laitekannan saneeraukset 20 vuoden ajanjaksolla. Laskelmissa on huomioitu muun muassa ruuvikompressoreiden uusinnat joka 7. vuosi sekä mäntäkoneiden uusinnat tarkasteluvuonna 10.

Kuvien 25 ja 26 kuvaajista nähdään, että lämmöntuotantotehosta ja asetetusta omakustannehintarajasta (35–55 €/MWh) riippumatta jo 10 vuoden kohdalla kaikki vaihtoehdot ovat elinkaarikustannuksiltaan liki toisiaan vastaavia. Mainitut omakustannehintarajat ovat 35, 40, 45, 50 ja 55 €/MWh, ja ne käytännössä tarkoittavat, että LP-LTO-laitoksen on sallittu tuottaa lämpöä, mikäli yhteenlasketut sähköenergiakustannus, sähkön siirtokustannus ja sähkövero alittavat kunkin omakustannehintarajan tunneittain (tuntisarjalaskennassa COP ja mahdollinen priimaus huomioiden). Näiden kustannusten jälkeen laskelmaan on lisätty sähköä koskevat teho- ja perusmaksut Savon Voima Verkko Oy:n keskijärnnitetehosähkö 3-hinnaston mukaisesti.



Kuva 25. Laitoksen A LCOH-kuvaaja. Pystyakselilla lämpöenergian elinkaarikustannus (€/MWh), vaaka-akselilla investointia seuraavat vuodet 1–20.



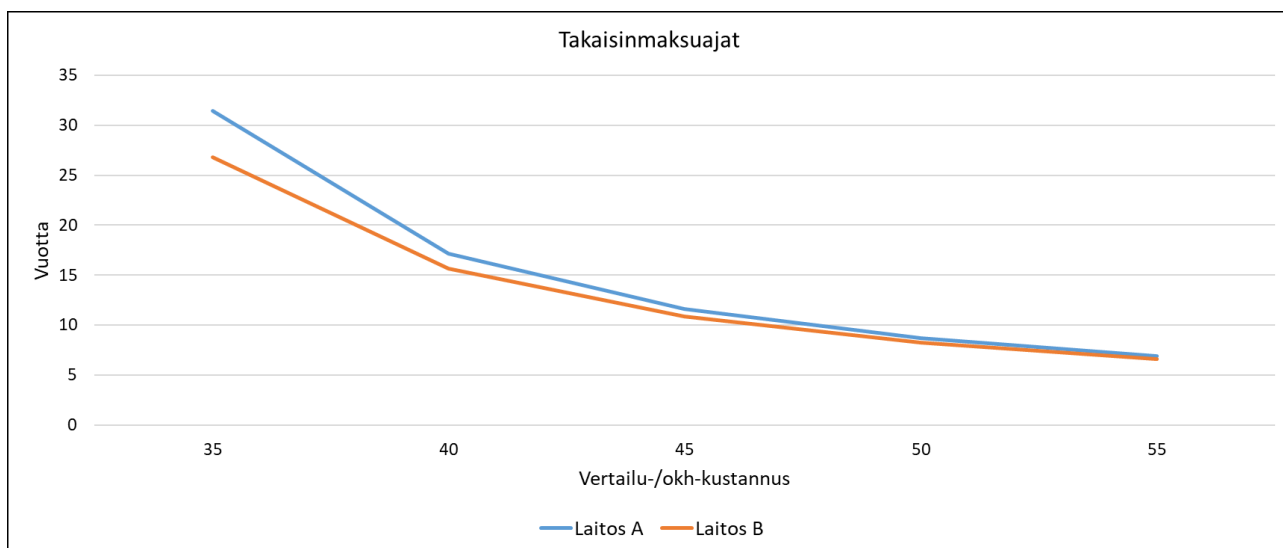
Kuva 26. Laitoksen B LCOH-kuvaaja. Pystyakselilla lämpöenergian elinkaarikustannus (€/MWh), vaaka-akselilla investointia seuraavat vuodet 1–20.

LCOH-tarkastelu ei paljasta suuria eroja eri omakustannehinnoin muodostuvissa lämmön elinkaarikustannuksissa, eikä siten ajotapojen välisessä kannattavuudessaakaan. Tuotetun lämpöenergian elinkaarikustannus molemmilla laitosvaihtoehdoilla pidemmän ajan kuluessa on noin 40–50 €/MWh.

4.13.LTO-järjestelmän kannattavuus takaisinmaksuajan kautta

Konseptisuunnittelussa pyrittiin kannattavuuden osalta tarkastelemaan investointeja neutraalisti eri toimijoiden mahdollisista näkökulmista. Relevanttia näin ollen on arvioida investointien takaisinmaksuaikoja suhteessa vaihtoehtoiseen lämmöntuotantoon. Vaihtoehtoinen lämmöntuotanto voi tarkoittaa esimerkiksi kiinteän polttoaineen kattilalaitoksia. Näiden laitosten paikallinen kulurakenne on kuitenkin tuntematon, joten tulokset esitetään vertailtavan

omakustannehinnan kautta kuvassa 27. Lähtötietona sekä jätevesivirtaamissa, kaukolämpötehossa, että sähkön hinnassa on vuoden 2024 toteutuneet ja arvioidut tiedot.



Kuva 27. LP-LTO-laitosvaihtoehtojen A ja B suorat (korottomat, diskonttaamattomat) takaisinmaksuajat suhteessa nykyisen kaukolämpötuotannon eri omakustannehintoihin. Pystyakselilla TMA vuosina, vaakakselilla vertailukustannus/OKH.

Kuvan 27 kuvaajaa tulkitaan seuraavasti: nykyisen kaukolämmön tuotantokustannuksen eli lämmön omakustannehinnan ollessa esimerkiksi 40 €/MWh, ovat LP-LTO-laitosten suorat takaisinmaksuajat 17,1 vuotta (Laitos A) ja 15,6 vuotta (Laitos B). Mitä korkeampi lämpölaitoksen omakustannehinta on, sitä lyhyempi on LP-LTO-laitoksen suora takaisinmaksuaika. Kappaleessa 4.12 selvitettiin millä perusteella LP-LTO-laitoksen lämmöntuotanto sallitaan.

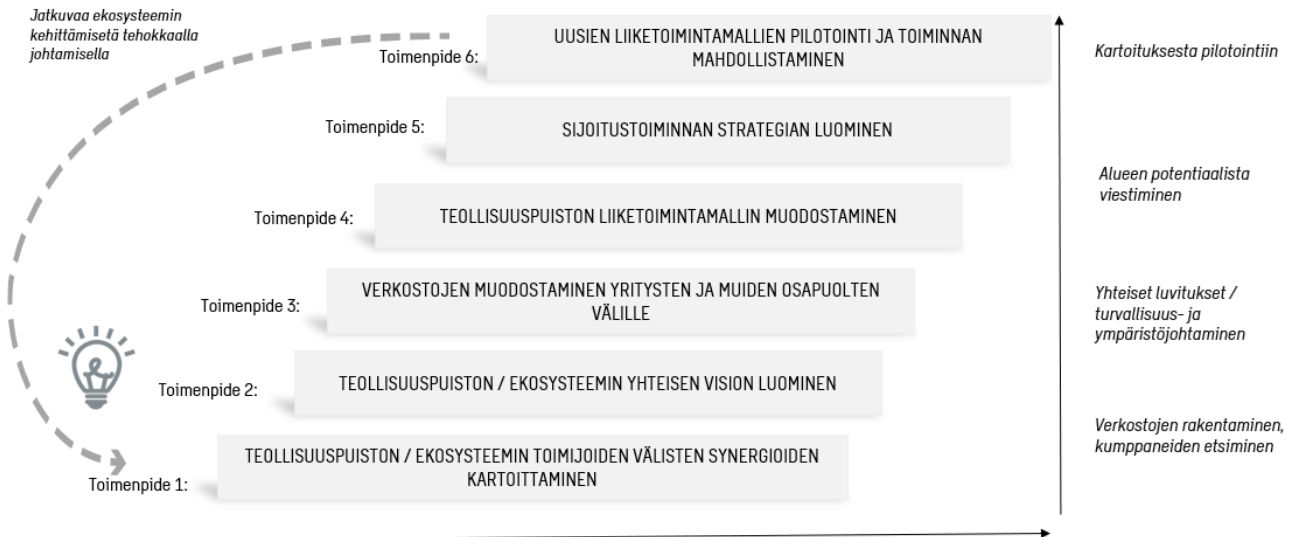
Taulukossa 12 on esitetty kannattavuuslaskennassa käytettyjä tietoja laskentavaihtoehtoina eri omakustannehinnoilla.

Taulukko 12. Kannattavuuslaskennassa käytettyjä tietoja.

LAITOS A		LP-Lämpöteho 2,4MW			
OKH-raja [€/MWh]	35	40	45	50	55
Tuotettu lämpö [MWh]	13900	14800	15400	15800	16200
Tuotantokulut (sähkö)	350 000 €	380 000 €	410 000 €	430 000 €	450 000 €
Huoltokulut 2%	54 000 €	54 000 €	54 000 €	54 000 €	54 000 €
COP,tot,av	2,6	2,5	2,5	2,5	2,5
Priimausteho [MW]	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Osuus KL-tuotannosta	51 %	54 %	56 %	58 %	59 %
LP-LTO, OKH-toteuma	28,8 €	29,3 €	29,9 €	30,3 €	30,8 €
TMA, vuotta	31	17	12	9	7

LAITOS B		LP-Lämpöteho 3,2MW			
OKH-raja [€/MWh]	35	40	45	50	55
Tuotettu lämpö [MWh]	16400	17600	18400	18900	19400
Tuotantokulut (sähkö)	390 000 €	430 000 €	470 000 €	490 000 €	520 000 €
Huoltokulut 2%	64 000 €	64 000 €	64 000 €	64 000 €	64 000 €
COP,tot,av	2,6	2,5	2,5	2,5	2,5
Priimausteho [MW]	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Osuus KL-tuotannosta	60 %	64 %	67 %	69 %	71 %
LP-LTO, OKH-toteuma	27,7 €	28,4 €	29,0 €	29,5 €	30,0 €
TMA, vuotta	27	16	11	8	7

5. Yhteenveto ja johtopäätökset



Kuva 28. Ekosysteemin ja/tai teollisuuspuiston kehittämisen kriittiset vaiheet.

Onnistuakseen luomaan menestyvän teollisuuspuiston tai ravinnekiertoekosysteemin, Suoniemen alue tarvitsee ensin kannattavan ja toiminnaltaan jatkuvan biokaasulaitoksen. Tulevaisuuden jatkokehityksessä alueessa on potentiaalia laajemman teollisen ekosysteemin kehitykseen. Alueen kehittymisen edellytyksinä on löytää toiminnalle tarvittavat sitoutuneet yhteistyökumppanit, asiakasryhmät ja investorit sekä onnistua luomaan Suoniemen alueelle yhteinen visio. Myös alueen potentiaalista viestiminen ulospäin laajemmalle kuulijajoukolle on avainasemassa tarvittavien verkostojen syntymiselle.

5.1. Biokaasun tuotanto

Biokaasulaitosinvestointi on ensimmäinen askel ja vaadittava investointi, jonka ympärille teollinen ekosysteemi voi lähteä rakentumaan kuvan 28 mukaisesti. Tähän asti tehdyn selvityksen mukaisesti Suoniemen alueelle on mahdollista sijoittaa biokaasulaitos. Biokaasulaitoksen kannattavuus koostuu useasta eri tulovirrasta ja jokainen mahdollinen biokaasulaitosliiketoimintaa Suoniemeen suunnitteleva taho voi muokata toimintamallia ympäröivien olosuhteiden ja oman liiketoimintastrategiansa mukaisesti.

Suoniemen alueen nykyinen jätevedenpuhdistamoliete toimii lähtökohtana laitokselle, muista saatavilla olevista syötevirroista oletettiin laitokselle toimitettavan tietty jakauma. Haastateltujen alan toimijoiden perusteella seudulla näyttää olevan riittävästi syötemateriaalia laitokselle. Määdätteitä hyödyntävien toimijoiden haastattelujen ja työpaketti 2:n mukaan kaksilinjainen laitos on suunnittelun lähtökohta, jotta lannoitelain mukaisia kierrätyslannoitteita voidaan hyödyntää erikseen.

Lapinlahden Suoniemelle kehitetyistä laitoksista pieni (n. 50 000 t/a) nojautuu vahvasti aivan paikallisiin raaka-ainelähteisiin, mikä edesauttaa operatiivisten käyttökustannusten puolella erityisesti logistiikkakustannuksissa, mutta toisaalta sen kohdalla eivät skaalaedut oikein toteudu. Suurempi laitos saavuttaa n. 75 000 t/a kapasiteetin, mutta myöskään se ei ole erityisen suuri huomioiden maatilasyötteiden suuren osuuden kapasiteetista. Toisaalta on huomioitava myös, että aivan Suoniemen läheisyydestä n. 10 km säteeltä, ei ole nykytilanteessa todennäköisesti saatavilla merkittäviä määriä enemmän lanta- ja nurmijakeita, että niiden määrä voisi esimerkiksi kaksinkertaistua. Suuremman skaalan saavuttaminen vaatisi siten tarkempia selvityksiä syötteiden saatavuudesta ja ehkä myös kehitystoimenpiteitä esim. lietelannan kuljetuskustannusten alentamiseksi.

Selvitysvaiheessa laadittujen laskelmien mukaan laitoksen kannattavuus ei ole vielä riittävällä tasolla, eli vielä ei ole löydetty sitä liiketoimintamallia, jolla liiketoiminta olisi kannattavaa. Laskennan lopputuloksesta voidaan kuitenkin nähdä, että suuremman laitoksen tapauksessa on todennäköisesti mahdollista päästä hanke- ja prosessikehityksen avulla myös kannattavan investoinnin laitосkonseptiin.

Nykyisten olemassa olevien laitosten tuloista osa muodostuu ns. "porttimaksuista", jolloin laitos ottaa käsiteltäväkseen jätteitä ja saa siitä tuloa. Tällaisella laitoksella on ympäristölupa jätteiden vastaanottoon ja käsittelyyn, ja laitos osallistuu esim. julkisiin kilpailutuksiin yhdyskuntien biojätteistä sekä tarjoaa jätteiden käsittelyä jätehuoltoyrityksille tai sopivia sivuvirtoja suoraan tuottaville yrityksille. Nykyisin Suomessa maatalouden sivuvirtoja, esimerkiksi lantaa, vastaanottava laitos ei saa porttimaksuja eikä erityistä tukea ravinteiden kierrättämisestä, kuten esimerkiksi muualla Pohjoismaissa.

Ilman porttimaksullisia syötteitä laitoksen tulot muodostuvat pääasiallisesti kaasun myynnistä esimerkiksi liikennepolttoaineeksi (sisältäen ns. "tikettikaupan") tai muuhun käyttöön, sillä kierrätysravinteiden (mädätteen) tuottama tulo on yleensä melko pienessä osassa ja mädätteen logistiikka aiheuttaa kustannuksia. Tällaisen laitoksen kannattavuudelle olennaista on varmuus kaasun asiakkaita sekä mahdollisimman läheltä laitosta edullisesti löydetty mädätteen hyödyntäjät.

Voikin sanoa hieman yleistäen ja yksinkertaistaen, että laitoksen tulee saavuttaa riittävän suuret myyntitulot joko riittävän suurien porttimaksutuottojen kautta käsitellen ns. jätestatuksen omaavia syötevirtoja tai suuremman käsittelykapasiteetin, kaasuntuotannon ja sitä kautta laitoksen skaalautumisen kautta tulevan kannattavuuden avulla. Suoniemen laitossuunnitelman kannattavuuden parantamiseksi laitосkonseptiin voidaan esimerkiksi lisätä porttimaksutuloja aikaansaavia jätejakeita, kasvattaa laitoksen kokoa ja kokonaissyötemäärää kaasun tuottamisen lisäämiseksi suhteessa investointikuluihin sekä kehittää energian myynnin konseptia (esimerkiksi seudullinen nesteytysyhteistyö). Selvityksen kannattavuuslaskenta on toteutettu tietyillä oletuksilla, mutta yksittäinen biokaasulaitosyritys toteuttaa lisäksi omat arvionsa ja voi muokata konseptia omilla oletuksillaan toteuttaen omaa liiketoimintastrategiaansa ja kasvusuunnitelmiaan.

Lisäksi valtionhallinnolla on Suomessa kasvanut kiinnostus huoltovarmuuteen, uusiutuvan energian tuottamiseen ja ravinteiden kierrättämiseen, joten biokaasun lisäämiseksi tutkitaan jatkuvasti erilaisia vaihtoehtoja ja tuki-instrumenttien kehittäminen on todennäköistä. Alan etujärjestö on arvioinut alalle mahdolliseksi voimakkaaseen kasvuun, *"Tavoitteen saavuttamiseksi tarvitaan kaikkiaan 100–200 uutta biokaasulaitosta eri puolella Suomea. Tämä tarkoittaa lähes 800 miljoonan euron investointeja. Erityisesti tarvitaan lisää biokaasulaitoksia, jotka käsittelevät maatalouden sivuvirtoja. Muutamia uusia laitoksia tarvitaan myös käsittelemään kasvavia määriä erilliskerättyä biojätettä, mutta tärkeässä roolissa yhdyskuntien jätteiden osalta ovat olemassa olevien laitosten*



*laajennukset ja modernisoinnit. Biometaanin ja ravinteiden kierrätyksen näkökulmasta isot biokaasulaitokset ovat avainasemassa, mutta pienemmät laitokset ovat tärkeitä paikallisesti ja alueellisesti”.*⁷³ Tällaisessa toimintaympäristössä Suoniemen alue näyttäytyy erittäin potentiaalisena investointikohteena.

5.2 Ravinteiden kiertotalouden ekosysteemin kehitys

Suoniemellä on tavoitteena rakentaa biokaasuun perustuva kiertotalouden ekosysteemi, joka tuottaisi paikallisesti uusiutuvaa energiaa, jalostettavissa olevaa kaasua sekä kierrätysravinteiksi ja osin kierrätyslannoitteiksi sopivia mädätteitä.

Toimivan ekosysteemin luominen biokaasulaitoksen ja mädätteen hyödyntämisen ympärille edellyttää toimivaa alueellista yhteistyötä ja erilaisia kumppanitahoja.

- **Veturitoimijoita** tulevat olemaan biokaasulaitoksen tuleva toteuttaja ja investori, vesilaitos ja sen operaattori, käsiteltävää vettä tuottava elintarvikelaitos sekä mahdollinen talteen otetun lämmön hyödyntäjä. Veturitoimijat sijoittuvat kiinteästi Suoniemelle tai sen yhteyteen, ne ovat ekosysteemille välttämättömiä ja niiden korvaaminen toisella on hankalaa tai mahdotonta.
- **Täydentäviä** toimijoita ovat biokaasulaitoksen muiden syötteiden tuottajat sekä kaasun, energian ja mädätteiden käyttäjät. Nämä voivat olla yrityksiä, alkutuotannon toimijoita tai julkisia toimijoita. Näiden rooli on asiakkaina ja kumppaneina olennainen, mutta niitä voidaan jossain määrin korvata toisillaan, kunhan kokonaisvolyymit ovat riittäviä. Tulevaisuudessa uusia täydentäviä kumppaneita ovat myös mahdolliset kaasun jalostajat, mädätteiden jalostajat sekä mahdollisten muiden sivuvirtojen jalostajat, esimerkiksi rakeistuksen kautta. Täydentävät toimijat voivat sijoittua myös muualle kuin Suoniemen alueelle tai sen välittömään ympäristöön.
- **Mahdollistavia** kumppaneita ovat ekosysteemin toimintaa kehittävät toimijat, jotka voivat esimerkiksi tuoda ekosysteemille uusia liiketoimintaideoita, kehityshankkeita, osaamista, työvoimaa tai rahoitusta.

5.3 Lämmön talteenotto

Lapinlahden jäteveden puhdistamolta vesistöön purettavassa käsitellyssä jätevedessä on merkittävästi hyödynnettävissä olevaa tehoa ja energiaa. Päiväkeskiarvona hukkalämpötehoa on jatkuvasti tarjolla noin 1,5–2,5 MW jäteveden lämpötilaerolla 10°C.

Hukkalämmön potentiaalisista hyödyntämiskohteista selkeimmät ovat Lapinlahden alueen kaukolämpöverkko ja mahdollisesti rakentuva biokaasulaitos. Paikallisen kaukolämpöverkon menolämpötilat ovat maltilliset, joten lämpöpumpputekniikalla kyetään suurelta osin vuotta tuottamaan lämpöä kl-verkkoon ilman lisätehon (priimaus) tarvetta.

Kaukolämpöverkon ja mahdollisen biokaasulaitoksen energiantarve vuositasona on arvioitu olevan noin 27 GWh:a, josta lämpöteholtaan 2,4 MW LP-LTO-laitos A voisi teoreettisesti tuottaa kaksi kolmasosaa ja isompi 3,2 MW LP-LTO-laitos B lähes neljä viidesosaa. Kun LP-LTO-laitosten tuotantoa rajaavaksi ehdoksi asetetaan sähköenergian hankintakustannus eri hintarajoin, voidaan arvioida

⁷³ Suomen Biokierto ja Biokaasu ry, n.d.

laitoksen A tuottavan 50–60 % ja laitoksen B 60–70 % kl-verkon ja biokaasulaitoksen lämmöntarpeesta. Tuotetut energiamäärät ja laitosvaihtoehtojen takaisinmaksuajat ovat kuitenkin voimakkaasti riippuvaisia vertailtavasta tuotantokustannuksesta, joka tarkoittaa nykyistä kaukolämmön tuotantokustannusta tai mahdollista kaukolämmön ostohintaa.

Lämmöntalteenottoinvestoinnin kannattavuuteen liittyy keskeisesti myös riippuvuus paikallisen Valion tehtaan toiminnasta ja kehitymisestä. Kaikesta jätevedestä noin 84 % tulee Valion tehtaalta ja 16 % kunnalliselta puolelta. Valion mahdolliset energiatehokkuustavoitteet ovat selkeä riski tässä selvityksessä tarkastelluille lämmöntalteenottolaitoksille. Riski realisoituessaan voisi tarkoittaa jäteveden lämpötilan alentumista, pienentynyttä jätevesivirtaamaa, tai molempia.

Toteutettava lämmöntalteenottojärjestelmä voi tarjota säästöjä ja energiatehokkuutta Lapinlahden alueen kaukolämpöverkolle ja biokaasulaitokselle. Huolellinen suunnittelu, yhteistyö paikallisten tahojen kanssa ja taloudellisten sekä teknisten näkökohtien tarkastelu ovat avainasemassa hankkeen onnistumisessa.

5.4 Suositukset ja jatkoselvitystarpeet

5.4.1 Biokaasun tuotanto

Biokaasulaitosliiketoiminta on tyypillisestikin melko matalan marginaalin liiketoimintaa, mutta toisaalta ennustettavaa sekä vakaata eli suhdanteista vähemmän riippuvaa. Tästä syystä liiketoimintasuunnitelman tulos- ja kassavirtalaskelman jokainen rivi tulee analysoida tarkasti läpi, jotta liiketoiminnasta voisi saada kannattavaa. Seuraavassa on esitetty jatkokehitysehdotuksina, miten kehittää konseptia eteenpäin kohti investointipäätöstä:

1. Porttimaksutulojen lisääminen kasvattamalla jätejakeiden käsittelyä laitoksella
 - Kaikki biokaasulaitokselle potentiaaliset jakeet ovat jo nykyisellään vaihtoehtoisessa käsittelyssä.
 - Suoniemen laitoksen käsittelyn tulisi olla kustannustehokkain vaihtoehto jätteen tuottajalle.
2. Kaasun myyntitulojen kasvattaminen myyntivolyymia kasvattamalla
 - Tarvitsisi syötemateriaalien laajempaa hyödyntämistä, kuten maatalousbiomassat (ainoat vapaat syötevirrat Suomessa).
 - Suurempi tuotanto vaatisi tarkempia selvityksiä ja kehitystoimenpiteitä, kuten lietelannan vesipitoisuuden alentamista kuljetuskustannusten vähentämiseksi.
 - Tarvitsisi syötemateriaalien laajempaa hyödyntämistä, kuten maatalousbiomassat (ainoat vapaat syötevirrat Suomessa).
 - Suurempi tuotanto vaatisi tarkempia selvityksiä ja kehitystoimenpiteitä, kuten lietelannan vesipitoisuuden alentamista kuljetuskustannusten vähentämiseksi.
3. Mahdolliset investointituet
4. Laitoksen operatiivisten kustannusten tehostamisvaihtoehtojen tarkka analyysi.
 - Logistiikan tehostaminen huomioiden syötteiden kaasuntuottopotentiaali suhteessa kokonaissyöte- ja mädätekustannuksiin



- Laitoksen prosessilämmöntuotantomalli sekä henkilökunnan tarve.
5. Muiden myyntitulojen kasvattaminen
- Suomessa biokaasulaitokselta vapautuvaa hiilidioksidia ei olla tyypillisesti otettu talteen, mutta sillä on tulevaisuudessa potentiaalia täydentää biokaasulaitoksen tulovirtaa.
 - Uusiutuvan hiilidioksidin hyödyntäminen on tutkimuksen alla, erityisesti suurissa laitoksissa.
 - Lapinlahden laitos voisi hyödyntää hiilidioksidia myöhemmässä kehitysvaiheessa.
 - Pienemmät hiilidioksidimäärät voisivat soveltua elintarviketeollisuuteen, mikä toisaalta edellyttää elintarvikelaatua.

Eräs mahdollinen selvitystarve olisi biokaasulaitoksen omistajuus tai eri sidosryhmien roolit. Biokaasulaitoksen arvoketjuun olisi siten kannatettavaa sitouttaa esim. maataloustoimijat pelkkää raaka-aineen toimitusroolia vahvemmin. Toisaalta pelkkään maatilojen yhteiseen biokaasulaitokseen verrattuna olisi tärkeää saada hankkeeseen mukaan laajemmin biokaasualan toimijoita, jotta riittävä asiantuntemus, investointikyky ja resurssit yleisestikin biokaasun tuotanto- ja jakeluketjuun saadaan varmistettua. Näin syötemateriaalien tuottajat pääsisivät laajemmin hyötymään arvonnoususta. Maataloustoiminnassa on pitkät ja toimivat perinteet osuuskuntatoiminnasta, joka muodostuu maataloustoimijoiden ja toimitusketjun ympärille.

5.4.2 Lapinlahden biokaasuekosysteemi ja ravinteiden kierrätys

Hankkeen aikana on tunnistettu seuraavat askelmerkit ekosysteemin rakentumiseksi:

- Suoniemen alueen maankäytön suunnittelu palvelemaan laitosinvestointia (esimerkiksi kaavoitus, mahdolliset maahankinnat)
- Jätevesilaitoksen uudistamiseen liittyvät päätökset ja ratkaisut, jotka mahdollistavat biokaasulaitoksen toteuttamisen
- Biokaasulaitoksen investorin löytyminen ja laitoksenkonseptin kannattavuuden varmistaminen
- Esisopimukset syötteiden toimittajien sekä kaasun ja mädätteen hyödyntäjien kanssa
- Laitosinvestoinnin käynnistäminen (esimerkiksi YVA-menettely/luvitus, suunnittelu, rakennuttaminen). Kunnalla on mahdollisuus tukea lupaprosessia esimerkiksi alueellisella sidosryhmätyöskentelyllä.
- Mädätteen logistiikan suunnittelu (esimerkiksi alueen maatilojen lietesäiliöiden hyödyntäminen)
- Ravinnekiertoekosysteemin organisoituminen (esimerkiksi teollisuuspuiston alueen yhteistyösuunnitelma ja kehitystä ohjaava operaattori)
- Jatkuva yhteistyö täydentävien yritysten ja yhteistyökumppanien hakemiseksi sekä kehityshankkeet lähtien yritysten liiketoiminnan kasvutarpeista (esimerkiksi ravinnekierron pilotit, julkinen hankerahoitus, uudet syötteet ym.)
- Alueen brändin rakentuminen ja jatkuva sidosryhmäyhteistyö, invest-in-toiminta ja markkinointi yhdessä kunnan ja alueellisten toimijoiden kanssa



5.4.3 Jäteveden lämpöenergian hyödyntämisen toteutus ja kannattavuus

Ehdotuksia jatkotoimenpiteistä lämmöntalteenoton toteutukseen ja optimointiin liittyen:

1. LP-LTO-laitosten A ja B tarkempi vertailu keskenään tekemällä optimointia paikallisten energiantarpeiden ja tuotantokustannusten osalta
2. Tarkempi arviointi LP-LTO-laitosten A ja B kustannuksista, sekä mahdollisista säästöistä eri energian hintarajoilla, nykyisen kaukolämmön tuotantokustannuksen ja mahdollisen kaukolämmön ostohinnan pohjalta.
3. Yhteistyö ja keskustelu paikallisten toimijoiden kanssa heidän energiatehokkuustavoitteistaan ja mahdollisista tulevaisuuden muutoksista, jotka voivat vaikuttaa jäteveden lämpötilaan ja virtaamaan ja siten myös lämmöntalteenoton toteutukseen.
4. Mahdolliset investointituet

Lähdeluettelo

Ahokas, M. 2022. Biokaasun käytön tekniset vaihtoehdot ja kannattavuus. Macon Oy, Pdf-dokumentti. Ei julkaisutietoa. Saatavilla: https://oamk.fi/wp-content/uploads/2020/08/arvoketjujen_kuvaus_esitys_korjattu_mikko_20062022.pdf Viitattu 10.4.2025.

Autoalan tiedotuskeskus, 2025. Liikennekäytössä olevien kaasuautojen määrä. Julkaistu 6.5.2025. Www-dokumentti. Saatavilla: https://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/kaasuautojen_maaran_kehitys Viitattu 9.4.2025.

BioKanta, 2024. Biokaasumädätteen separointitekniikat. Tietokortti. Luonnonvarakeskus, Hämeen Liitto ja Hämeen ammatikorkeakoulu. Saatavilla: https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2024/11/TIETOKORTTI_Separointitekniikat_BioKanta.pdf Viitattu 9.4.2025.

Biovoima, 2019. Kaasun kompressointi ja nesteytys. Www-dokumentti. Ei julkaisutietoa. Saatavilla: <https://biovoima.com/ratkaisut/kaasun-kompressointi-ja-nesteytys> Viitattu 10.4.2025.

Energiavirasto, 2017. Biopolttoaineita, bionesteitä ja biomassapolttoaineita koskeva toiminnanharjoittajan kestävyyskriteeriohje. Diaarinro 1321/702/2017. Saatavilla: <https://docplayer.fi/64194632-Biopolttoaineita-ja-bionesteita-koskeva-toiminnanharjoittajan-kestavyyskriteeriohje.html> Viitattu 28.4.2025

European Commission, n.d. Renewable Energy Directive. Saatavilla: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en?prefLang=fi Viitattu 28.4.2025

Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2023. Asetus (EU) 2023/851 uusien henkilöautojen ja uusien kevyiden hyötyajoneuvojen hiilidioksidipäästönormien kiristämisestä. Julkaistu 19.4.2023. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0851&qid=1744704843970> Viitattu 18.3.2025.

FINLEX, 2014. Lainsäädäntö, Suomen säädöskokoelma. 527/2014, Ympäristönsuojelulaki. Saatavilla: <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2014/527> Viitattu 11.4.2025.

Gasum Oy, 2024. Kaasu raskaan liikenteen polttoaineena: millaiseen käyttöön sopii LBG, millaiseen CBG – ja mitä ne tarkoittavat? Www-artikkeli. Julkaistu 17.6.2024. Saatavilla: <https://www.gasum.com/fi/uutiset-ja-asiakastarinat/artikkelit/2024/kaasu-raskaan-liikenteen-polttoaineena-millaiseen-kayttoon-sopii-lbg-millaiseen-cbg--ja-mita-ne-tarkoittavat/> Viitattu 10.4.2025.

Gasum Oy, 2025. Biokaasun hinnat Gasumin tankkausasemilla. Www-artikkeli. Ei julkaisutietoa. Saatavilla: <https://www.gasum.com/fi/kaasu-liikenteelle/yksityisille-kaasuautoilijoille/tankkaushinnat/> Viitattu 10.4.2025

Gasum Oy, n.d. Vehmaan biokaasulaitos. Saatavilla: <https://www.gasum.com/fi/gasum/toimitusketju/biokaasulaitokset/vehmaan-biokaasulaitos/> Viitattu 5.5.2025

GRK, n.d. Biohiili. Tulevaisuuden tuote ilmastonmuutoksen hillintään. Saatavilla: <https://www.grk.fi/palvelut/biohiili/> Viitattu 9.4.2025.

HSY, n.d. Biokaasulaitoksen mädätteen jalostus maatalouskäyttöön. Saatavilla: [Biokaasulaitoksen mädätteen jalostus maatalouskäyttöön - HSY](#) Viitattu 2.5.2025

Kanninen, J. ja Laakso, J. 2018. Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen käsittely. Rakeistaminen ja kemiallinen separointi. Opinnäytetyö, Savonia. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/149537/Kanninen_Johanna_Laakso_Jenni.pdf?sequence=1 Viitattu 11.4.2025.

Kuokkanen, S. 2017. Biokaasulaitoksen mädätejäämän tuotteistaminen ja sen kaupalliset markkinat. Ympäristötekniikan koulutusohjelma, teknillinen tiedekunta. Diplomityö. Saatavilla: <https://oulurepo oulu.fi/bitstream/handle/10024/10147/nbnfioulu-201712013243.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Viitattu 11.4.2025.

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia – Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin e-julkaisuja 36/2015. Ei julkaisutietoa. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf Viitattu 24.3.2025.

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. 2025. Polttoaineiden vertailuhintojen laskeminen. Www-dokumentti. Ei julkaisutietoa. Saatavilla: <https://www.traficom.fi/fi/polttoainekustannusvertailu> Viitattu 10.4.2025. Päivitetty 26.2.2025.

Lääkkölä, E. 2022. Hygienisointi osana maatalan biokaasulaitoksen prosessia. Opinnäytetyö, Oulun ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/750792/Laakkola_Elisa.pdf?sequence=2&isAllowed=y Viitattu 29.4.2025.

Maa- ja metsätalousministeriö, 2025. Fosforiasetuksen lantapoikkeukselle jatkoaikaa – pysyvän poikkeuksen valmistelu jatkuu. Tiedote, 16.1.2025 14.55. Saatavilla: <https://mmm.fi/-/fosforiasetuksen-lantapoikkeukselle-jatkokaikaa-pysyvan-poikkeuksen-valmistelu-jatkuu#:~:text=Valtioneuvosto%20vahvisti%20fosforia%20sis%C3%A4lt%C3%A4vien%20lannoitevalmisteiden%20ja%20lannan%20k%C3%A4yt%C3%B6st%C3%A4,loppuun%20asti.%20Pysyv%C3%A4n%20poikkeuksen%20valmistelua%20jatketaan%20hallitusohjelman%20mukaisesti.> Viitattu 11.4.2025

Motiva Oy, 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. E-kirja. Ei julkaisutietoa. Saatavilla: https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf Viitattu 25.3.2025.

Muhonen, S. 2024. Biohiilen valmistus biokaasulaitoksen mädätysjäännöksestä. Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö, bio- ja elintarviketekniikka. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/819244/Muhonen_Sampsa.pdf?sequence=2 Viitattu 11.4.2025.

Ruokavirasto, 2025. Lainsäädäntö. Saatavilla: <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/lainsaadanto2/#:~:text=Alle%20on%20koottu%20lannoitevalmisteiden%20k%C3%A4ytt%C3%B6n%20valmistukseen%20markkinoille%20saattamiseen%20Lains%C3%A4%C3%A4nt%C3%B6n%20my%C3%B6s%20maa- ja%20mets%C3%A4talousministeri%C3%B6n%20internetsivuilta.> Viitattu 11.4.2025.

Ruokavirasto, n.d. Lannoittelain keskeiset uudet asiat. Saatavilla:
<https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/uusi-lannoitelaki/> Viitattu 11.4.2025.

Savon Voima, 2025a. Kaukolämpöhinnasto 1.1.2025 alkaen. Saatavilla:
<https://savonvoima.fi/hinnastot-ja-sopimusehdot/kaukolammon-energia-ja-tehomaksuhinnasto/> Viitattu 29.4.2025

Savon Voima, 2025b. Kaukolämmön liittymishinnasto uudisrakennuksille 1.9.2024 alkaen. Saatavilla: <https://savonvoima.fi/hinnastot-ja-sopimusehdot/kaukolammon-liittymismaksuhinnasto-uudisrakennuksille/> Viitattu 29.4.2025

Suomen biokierto ja biokaasu ry, 2025. Biokaasu tilastot. Www-sivu. Ei julkaisutietoa. Saatavilla: [Biokaasu tilastot - Suomen Biokierto ja Biokaasu ry](#) Viitattu 31.3.2025. Päivitetty 27.3.2025.

Suomen Biokierto ja Biokaasu ry, n.d. Biokaasu2030. Saatavilla:
<https://biokierto.fi/biokaasu/biokaasu2030/> Viitattu 5.5.2025

Suutari, S. & Vilja-Sarronmaa, H. 2022. Päijäthämäläinen biokiertotalous – Esimerkkejä 2020-luvulta. LAB-ammattikorkeakoulun julkaisusarja, osa 47. Saatavilla:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/756019/LAB_2022_47.fi.pdf?sequence=2&isAllowed=y Viitattu 14.4.2025.

Sweco, 2024. Lapinlahden kunnan Suoniemen alueen materiaali- ja energiavirtaselvitys. Saatavilla: <https://www.lapinlahti.fi/media/suoniemi-hanke/Lapinlahden%20kunnan%20Suoniemen%20alueen%20materiaali-%20ja%20energiavirtaselvitys.PDF>

Sweco 2024 b. Lapinlahden Suoniemen alueen puhtaan siirtymän teknologia- ja liiketoimintapotentialikartoitus. Saatavilla: <https://www.lapinlahti.fi/media/suoniemi-hanke/Lapinlahden%20Suoniemen%20alueen%20puhtaan%20siirtym%C3%A4n%20teknologia-%20ja%20liiketoimintapotentialikartoitus.PDF>

Tilastokeskus, 2025. Kevyen polttoöljyn keskihinta laski maaliskuussa 2025. Saatavilla:
<https://stat.fi/julkaisu/cm18w25q05ltf08w9va93a87v> Viitattu 25.4.2025

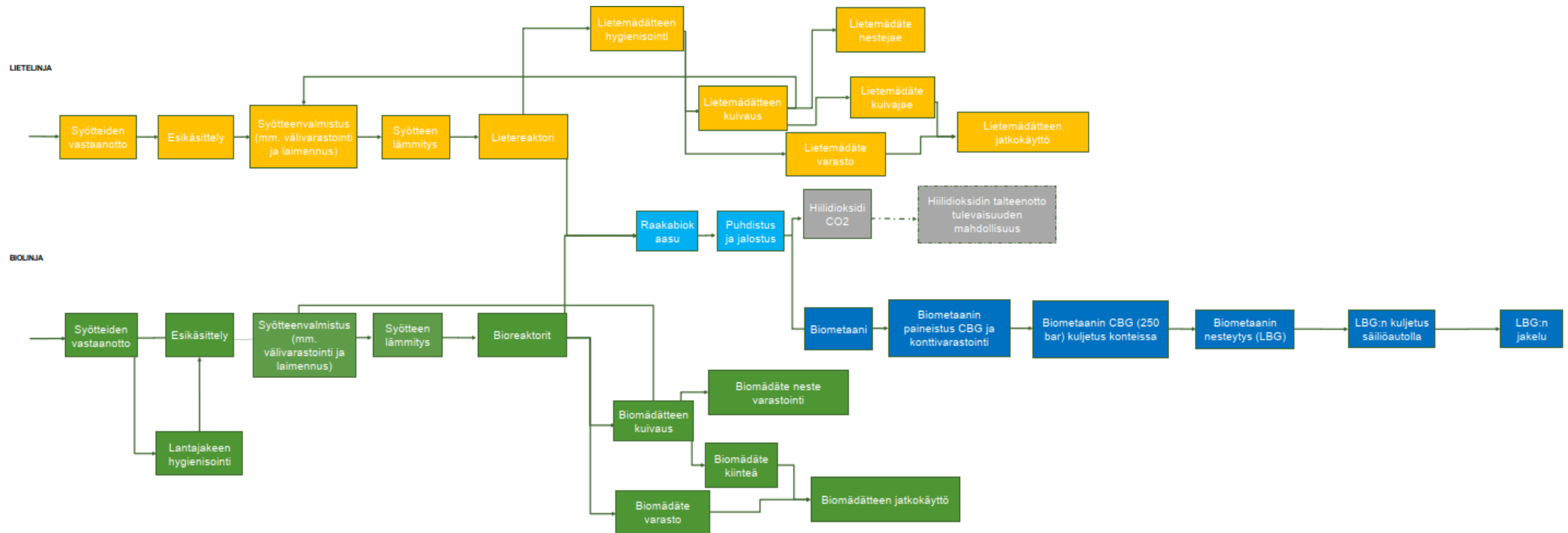
Turpeinen, J. 2010. Selvitys mädätetyn biojätteen kompostoinnista. Insinööritoimisto, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Kemianteleknikka. Saatavilla:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/15932/Turpeinen_Jarkko.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu 11.4.2025

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2020. Biokaasuohjelmaa valmisteleavan työryhmän loppuraportti, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 2020:3. Saatavilla:
https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162032/TEM_2020_3_Biokaasuohjelmaa%20valmisteleavan%20tyoryhman%20loppur%20.pdf?sequence=1 Viitattu 28.4.2025

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2024. Jakeluveto nousee ensi vuonna maltillisesti 16,5 prosenttiin. Saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/jakeluveto-nousee-ensi-vuonna-maltillisesti-16-5-prosenttiin> Viitattu 25.4.2025.

Liitteet

Liite 1. Biokaasulaitoksen lohkokaavio



Liite 2. Suuremman laitoksen (laitoskonsepti 2) alustava asemakuva

