

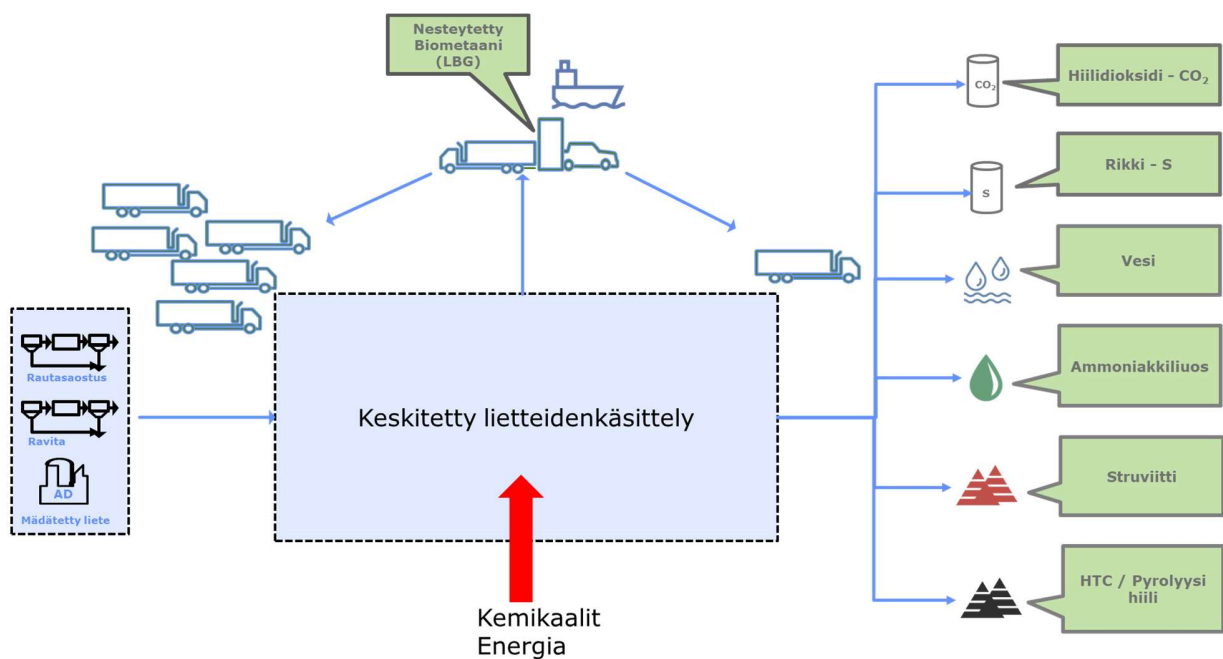
Jäteveden ravinteet keskittäen kiertoon (Järkki)

VN/24341/2020 – LOPPURAPORTTI RAHOITTAJALLE
lopullinen, avoin tulosjulkaisu valmistuu 2/2023

1.1.2021 – 31.12.2021

Gasum Oy, Hämeen ammattikorkeakoulu (HAMK)

Viljami Kinnunen, Maritta Kymäläinen, Satu Tiainen, Olli Koskela, Marianne Honkasaari, Saara Järvi, Iivari Kunttu, Varpu Somersalo, Päivi Vartiainen, Katja Alhonoja, Rauni Karjala, Matias Alarotu, Eeli Mykkänen



Tiivistelmä

Tämä on Järkki-hankkeen loppuraportti rahoittajalle. Tulosten analyysi sekä tarkastus on vielä osin kesken ja siksi tämä raportti voi sisältää virheitä, eikä sen sisältöä tule käyttää päätöksissä tai mahdollisissa jatkosuunnitelmissa. Hankkeen viimeistelty tulosjulkaisu julkaistaan 2/2023

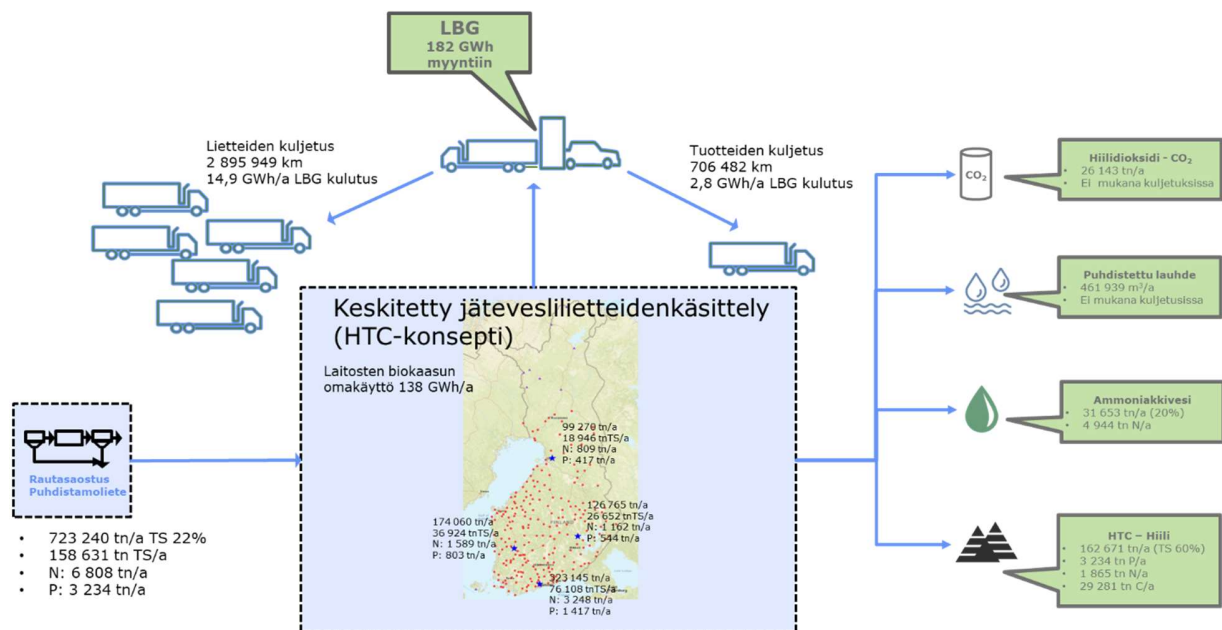
Hankkeessa tarkennettiin olemassa olevia Suomen jätevesilietetietoja erityisesti niiden sisältämien ravinteiden osalta. Suomen jätevedenpuhdistamoilla syntyvässä käsittelemättömässä raakalietteessä arvioitiin olevan tyyppiä 6 950 tn/a ja fosforia 3 300 tn/a – käsittelemättömän raakalietteen ravinteita ei ole aiemmin näin tarkasti arvioitu. Aiemmissa tutkimuksissa on arvioitu jätevesilietteiden tyypin määräksi n. 3 800 tn/a, joka perustuu käsiteltyihin, todennäköisesti useimmiten kuivattuihin lietteisiin (mädätetty, kompostoitu, kemiallisesti käsitelty). Käsitellyissä tyyppiä menetetään eri vaiheissa, ja voidaankin kysyä mihin yli 3 000 tn tyyppiä vuosittain päätyy, mikä on sen ympäristövaikutus ja voitaisiinko se saada kiertoon. Hankkeessa kerätty tieto vahvistaa, että merkittävä osa tyypin häviöstä päätyy takaisin jäteveden puhdistusprosessiin mädätyksen rejektiveden mukana, aiheuttaen typpioksiduulipäästöjä, lisääntynyttä ilmastuksen energiankulutusta sekä tarvetta lisätä hiilenlähdettä puhdistusprosessiin. Osa tyypestä myös menee puhdistamon läpi vesistöihin. Hankkeen alustavan arvion mukaan nykyisillä puhdistamoilla, joilla on oma lietteenmädätys, noin 1 400 tn N/a (20 % Suomen jätevesilietteiden tyypestä) päätyy rejektivesien mukana takaisin puhdistamoprosessiin. Suurin osa jätevesilietteestä mädätetään puhdistamosta erillään toimivilla biokaasulaitoksilla, jotka useimmiten käsittelevät useamman puhdistamon lietteitä ja mahdollisesti myös muita syötteitä. Mädätysjäännöstä käytetään sellaisenaan lannoitteena tai se kuivataan mekaanisesti. Mikäli kuivauksessa syntyvän rejektiveden tyyppiä ei oteta talteen, menetetään se kierrosta, ja mikäli rejektivesi lasketaan yhdyskuntapuhdistamolle sellaisenaan, kuormittaa se puhdistamoprosessia. Biokaasulaitoksilta rejektiveden mukana karkaavan tyypin määrää on kuitenkin vaikea arvioida olemassa olevilla tiedoilla. Rejektiveden laskeminen puhdistamolle on yleensä kallista ja luvanvaraista, joten toimijat pyrkivät sitä välttämään.

Nykyisin Suomen jätevesipuhdistamoilta lähtevien lietteiden kokonaispainosta noin 72 % on käsittelemättömää raakalietettä, joka suurelta osin kuljetetaan mädätykseen muualle (arviolta 70–80 % jätevesilietteestä mädätetään). Loput 28 % (kuiva-aineen kokonaispainosta 37 %) on puhdistamolla mädätettyä lietettä. Raakaliete on kuiva-ainepitoisuudeltaan keskimäärin 17 % (painottoman puhdistamoiden keskiarvo) ja mädätetty liete 29 %. Viime vuosina useat puhdistamot ovat onnistuneesti tehostaneet vedenerotusprosessiaan raakalietteestä saavuttaen jopa lähelle 30 % kuiva-aine pitoisuuksia. Mikäli jätevedenpuhdistamot pystyisivät tehostamaan lietteen kuivausta siten, että lietteen kuiva-ainepitoisuus nousisi painotettuna keskiarvona 25 %:n kuiva-aineseen, puhdistamoilta lähtevä lietemäärä vähenisi 16 % eli lähes 100 000 t/a.

Hankkeessa mallinnettiin potentiaalisia laitossijainteja ajatuksella, että kaikki Suomen jätevesilietteet käsiteltäisiin keskitetysti joko kahdessa tai neljässä laitoksessa. Keskitetyn käsittelyn perusteluna on, että suurempi mittakaava voisi mahdollistaa investoinnit pidemmälle vietyyn teknologiaan ravinteiden ja energian talteenotossa. Keskitämisen käänöpuolena on lisääntyvä lietteiden kuljetustarve, kun käsittelylaitosten määrä vähenee. Myös tuotteiden kuljetusmatkat pitenevät, mutta toisaalta pidemmälle jalostetut, kuivemmat tuotteet pienentävät kokonaisvolyymiä huomattavasti. Järkki-hankkeessa kuljetussuorite mallinnettiin sekä käsiteltäville jätevesilieteteille, että uloslähteville tuotteille. Kaikki kuljetustarve pystytään toteuttamaan lietteistä tuotetulla biometaanilla. Keskitetty käsittelylaitoskonsepti suunniteltiin siten, että se kykenee käsittelemään sekä raakalietettä, että jatkojalostamaan muualla mädätettyä lietettä –

tavoitteena tuottaa ainoastaan konsentroituja ja käyttökelpoisia tuotteita. Keskitetyn lietteidenkäsittelyn perusprosesseina olivat mädätys, biokaasun jalostus nesteytetyksi biometaaniksi (LBG) ja mädätysjäätöksen käsittely hiili-fosforituotteeksi vaihtoehtoisesti joko pyrolyysi- tai märkäpyrolyysi (HTC) teknologioilla. Rejektiveden käsittely mallinnettiin haihdutus-strippaus-käänteisosmoosi yhdistelmällä. Jonka avulla saadaan tuotettua ammoniakkevettä ja puhdistettua haihdutuksen lauhde. Laitoksille laskettiin massa- ja energiataaset ja skenaarioita vertailtiin elinkaarilaskennan avulla.

Kuvassa 1 on esitetty pienimmän ilmastonlämpenemisvaikutuksen elinkaaritarkastelussa kuudestatoista mallinnetusta antanut skenaario. Skenaario mallintaa Suomen jätevesilietteiden laskennallisen maksimipotentialin ravinteiden ja biokaasun tuotantoon siten, että Suomessa olisi neljä keskitettyä lietteenkäsittelylaitosta, joihin kuljetettaisiin käsiteltäväksi kaikki jätevesilietteet maksimissaan 300 km etäisyydeltä. Tällä leikkurilla pohjoisimmat ja itäisimmät puhdistamot rajautuvat keskitetyn käsittelyn ulkopuolelle (98 % lietteestä käsittelyyn). Mädätetyn lietteen jatkokäsittely perustuu märkäpyrolyysiin (HTC). Skenaario esittää eräänlaisen maksimipotentialin, mutta on käytännössä varsin epärealistinen, koska Suomessa on rakennettu ja rakenteilla pitkäikäistä infrastruktuuria jätevesilietteiden mädätykseen – nämä laitokset tulevat olemaan toiminnassa vielä vuosikymmeniä. Siksi vastaavia skenaariotarkasteluja tehtiin myös sovelletulle nykytilanteelle ja sovelletulle tulevaisuudennäkymälle, jossa osa jätevesilietteestä mädätetään muualla kuin keskitetyssä käsittelylaitoksessa, mutta mädätetty liete kuljetetaan keskitettyyn käsittelylaitokseen jatkojalostukseen (pyrolyysi tai HTC).



Kuva 1. Esimerkki Järkki-hankkeen keskitetystä jätevesilietteen käsittelykonseptista, jossa 98 % Suomen jätevesilietteistä käsiteltäisiin raakalietteenä neljässä eri kokoisessa keskitetyssä laitoksessa. Ulos on rajattu puhdistamot, joihin kuljetusetäisyys on yli 300 km. Laitoskonsepti perustuu biokaasuntuotantoon mädätysprosessilla, mädätysjäätöksen käsittelyyn märkäpyrolyysillä (HTC) ja rejektiveden käsittelyyn haihdutus – strippaus – käänteisosmoositekniologialla.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	2
1 Hankkeen tausta ja tavoitteet.....	6
2 Hankkeen toteutus.....	9
2.1 Lietteet ja logistiikka	9
2.1.1 Puhdistamolietedatan keruu	9
2.1.2 Logistiikan mallintaminen	10
2.2 Laitoskonsepti	12
2.3 Lopputuotteet, käyttö ja tuotteistaminen	13
2.4 Elinkaaritarkastelu (LCA)	13
2.5 Viestintä	14
3 Hankkeen tulokset	15
3.1 Lietteet ja logistiikka	15
3.1.1 Puhdistamolietedatan keruu	15
3.1.2 Logistiikan mallintaminen	21
3.2 Keskitetty laitoskonsepti.....	22
3.2.1 Biokaasuprosessi.....	25
3.2.2 Biokaasun jalostus ja nesteytys	25
3.2.3 Omakäyttökattila	26
3.2.4 Mädätetyn lietteen terminen käsittely – märkähiilto, HTC	26
3.2.5 Mädätetyn lietteen terminen käsittely – Pyrolyysi.....	28
3.2.6 Rejektiveden käsittely	29
3.2.7 Struviitin saostus.....	30
3.3 Lopputuotteet.....	37
3.4 Elinkaaritarkastelu	37
4 Tulosten hyödyntäminen	37
5 Hankkeen vaikutukset.....	38
5.1 Arvio hankkeen ympäristö- ja työllisyysvaikutuksista.....	38
5.2 Muut vaikutukset	38
6 Viestinnän toteutuminen ja tulokset	39
6.1 Yhteenveto hankkeen viestintätoimista	39
6.2 Onnistumiset ja haasteet	40

7 Talousraportti.....	41
7.1 Hämeen ammattikorkeakoulu, HAMK.....	41
7.2 Gasum	41
8 Johtopäätökset.....	42
LÄHDELUETTELO	42
LIITTEET	43

1 Hankkeen tausta ja tavoitteet

Suomessa syntyy vuosittain noin 140 000–150 000 tonnia puhdistamolietettä (kuiva-aineena), josta yli 70 % mädätetään (Vilpanen & Toivikko 2017; Pöyry Finland 2019). Erityisesti pienet biokaasulaitokset eli lietemädättämöt jätevedenpuhdistamojen yhteydessä toimivat usein tehottomasti. Ne on perustettu hoitamaan liete hajuttomaksi sekä helpommin hyödynnettäväksi, mutta energiantuottoa tai ravinteiden talteenottoa on harvoin optimoitu – vaikka lietteestä tuotetun biokaasun poltolla onkin tärkeä rooli puhdistamoiden omaenergiantarpeen tyydyttämiseksi. Useimmiten mädätteestä erotettu typpirikas neste jae palautuu puhdistamolle, jolloin pääosa lietteen typestä menetetään ravinnekierrosta aiheuttaen ravinne-päästöjä vesistöön, typpioksiduulipäästöjä ilmaan ja puhdistamon energiakulutuksen kasvua lisäilmastus-tarpeen vuoksi. Mahdollisesti myös tarve lisätä hiilenlähdettä (esimerkiksi metanolia) puhdistusprosessiin kasvaa. Pienien puhdistamoiden on kannattamatonta investoida prosessien tehostamiseen ja omaan lietteiden käsittelyyn, ja kentällä onkin herännyt kiinnostus selvittää keskitettyjä kannattavia ratkaisuja. Kes-kittämisen etuna nähdään myös mahdollisuus ravinteiden laajamittaisempaan talteenottoon ja tuotteis-tamiseen. Tänä päivänä puhdistamolietteet päätyvät pääasiassa lietemäisenä tai kuivattuna mädätysjään-nöksenä ja kompostimultana maatalouteen ja viherrakentamiseen. Tuotteiden ravinnesuhteet ja käyttö-kelpoisuus eivät ole välttämättä kasvien kannalta optimaalisia. Myös tuotteiden volyymi on suhteellisen suuri korkean vesipitoisuuden vuoksi, mikä lisää kuljetuskustannuksia ja negatiivista ilmastovaikutusta.

Vuonna 2016 käsitellyistä puhdistamolietteistä maatalouskäyttöön päätyi noin 40 %, jonka jälkeen hyö-dyntäminen on mahdollisesti laskenut, lietteeseen liittyvien imagokysymysten ja markkinavoimien muu-tosten johdosta. Venäjän hyökkäyksestä Ukrainaan 2022 seurannut akuutti ravinne-pula ja hintojen nousu voi jälleen lisätä maatalouskäyttöä ainakin hetkellisesti. Suomessa Luonnonvarakeskus on arvioinut jäte-vesilietteiden sisältävän vuosittain noin 2 900 tonnia fosforia ja noin 3 800 tonnia typpeä (Marttinen ym. 2017), joskin ainakin typen määrä lienee selvästi suurempikin, erityisesti jos laskenta tehdään suoraan puhdistamalla muodostuvasta lietteestä (raakaliete), eikä jo käsitellystä lietteestä, josta typpi on hävin-nyt. Raakalietteen typpipotentialin tarkentaminen onkin ensiarvoisen tärkeää. Jätevesilietteiden sisäl-tämä fosforin määrä on toiseksi suurin kotimaisista biomassoista kotieläinten lannan jälkeen. Yhdyskun-tapuhdistamoiden lisäksi jätevesilietteitä syntyy merkittäviä määriä erityisesti metsäteollisuuden omilla jätevedenpuhdistamoilla. Metsäteollisuuden lietteet pääasiassa poltetaan tehdasintegrateissa.

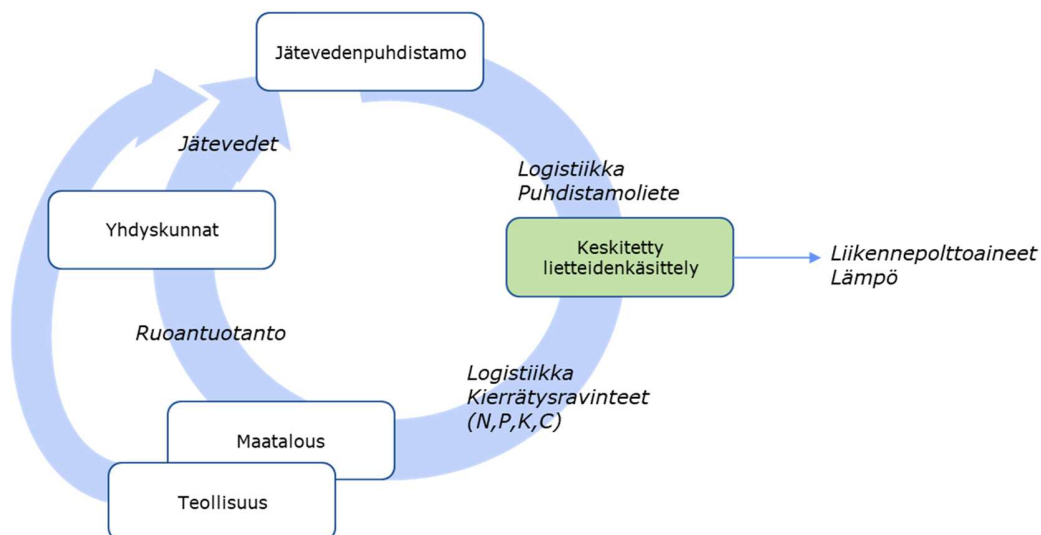
Ravinteiden kierrätys muodostaa oleellisen osan Euroopan kiertotalousohjelmassa (COM/2015/0614), mihin liittyy mm. EU:n sekä kansallisen lannoitevalmistelainsäädännön uudistaminen. Myös Suomi on nostanut ravinteiden kierrätyksen avainkehityskohteeksi. Valtioneuvoston tiedonannossa 2015 tavoit-teeksi on kirjattu mm. ravinteiden talteenoton lisääminen ”erityisesti Itämeren ja muiden vesistöjen kan-nalta herkillä alueilla siten, että vähintään 50 % lannasta ja *yhdyskuntajätevesilietteestä* saadaan kehitty-neen prosessoinnin piiriin vuoteen 2025 mennessä”.

Tällä hetkellä puhdistamolietteiden käsittely Suomessa perustuu pääsääntöisesti vedenerotukseen ja massan käsittelemiseen haitattomaksi, eikä varsinaisesti ravinnetuotteiden jalostukseen. Lietteiden ja sen sisältämien ravinteiden hyödyntämisen haasteena on lietteeseen kemiallisesti saostetun fosforin heikko käyttökelpoisuus kasveille (Ylivainio ym. 2017). Lietteen hyödyntämistä voivat hankaloittaa myös sen sisältämät haitalliset aineet, kuten esimerkiksi raskasmetallit, orgaaniset haitta-aineet, lääkeainejää-mät ja mikromuovit. Raskasmetallien osalta lietteet alittavat kansalliset raja-arvot (Sarvi ym. 2017), mutta muille haitta-aineille ei lainsäädännössä tällä hetkellä ole raja-arvoja. Viimeisten vuosien aikana erityisesti huoli jätevesilietteiden orgaanisten haitta-aineiden aiheuttamasta imagohaitasta on markkinaehtoisesti

vaikeuttanut lietteiden käyttöä lannoitteena ja nostanut lietteenkäsittelijöiden sekä jätevedenpuhdistamoiden lietteenkäsittelykustannuksia merkittävästi – luoden tarpeen lietteidenkäsittelyn uudistamiseen. Venäjän hyökkäys Ukrainaan puolestaan on korostanut erityisesti typen huoltovarmuuden tärkeyttä, ja kotimaisten typenlähteiden hyödyntämistä, sillä suurin osa Suomessa käytettävästä typestä on tullut Venäjältä. Maatalous on käytännössä täysin riippuvainen lannoitetypestä, mutta myös esimerkiksi metsäteollisuuden puhdistamot ja erilaiset savukaasujen puhdistustarpeet (DeNOx) tarvitsevat toimiakseen huomattavia määriä typpeä.

Jätevedenkäsittelyn, lietteenkäsittelyn ja ravinnekierrätyksen haasteeseen on vastattu jo useilla hankkeilla ja tutkimuksilla mm. 2012 alkaneen ympäristöministeriön ravinteiden kierrätyksen edistämiseen ja Saaristomeren tilan parantamiseen tähtäävän (Raki) rahoitusohjelman kautta. Viimeisten vuosien aikana on kehitetty; mm. RAVITA–prosessia, jossa fosfori saostetaan jätevedenpuhdistusprosessin viimeisenä vaiheena ja jäteveden fosfori saadaan suurelta osin talteen fosforihappona. Myös biologisen fosforin poiston soveltuvuutta Suomeen on tutkittu. Sekä RAVITA, että biologinen fosforin poisto muuttaisivat jätevesilietteitä siten, että lietteen fosforin ei ole tiukasti sitoutunut saostuskemikaaliin (useimmiten rautaan). Lietteen käsittelyn osalta on tutkittu muun muassa lietteen käsittelyä pyrolysoimalla, lietteen kuivausta, lietteen polttoa, sekä erilaisia teknologioita typen ja fosforin talteen ottamiseksi rejektivesistä (Ympäristöministeriö: Ravinteiden kierrätyksen edistämisen ja Saaristomeren tilan parantamiseen tähtäävästä rahoitusohjelmasta rahoitetut hankkeet 2012–2022). Myös Vesilaitosyhdistyksen tilaama selvitys; Puhdistamolietteiden termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen” (Pöyry Finland 2019) antaa arvokasta tietoa jätevesilietteiden käsittelyn uusista menetelmistä.

Koska erilaisia ratkaisupolkuja jätevesien ravinteiden hyödyntämiseen on lukuisia ja ne ovat usein kytköksissä toisiinsa, on toimivan teknologiayhdistelmän ja kokonaistoimintamallin valinta haastavaa. Järkki-hankkeen tavoitteena oli luoda konkreettinen, osaratkaisut yhdistävä, toteuttavissa oleva laituskonsepti, jossa huomioidaan tuotettavien kierrätysravinteiden, energian ja näihin sekä lietteisiin liittyvän logistiikan ympäristökestävyys. Kuvassa 2 on esitetty Järkki-hankkeen kytkeytyminen yhdyskuntajätevesien käsittelyyn ja ravinnekiertoon.



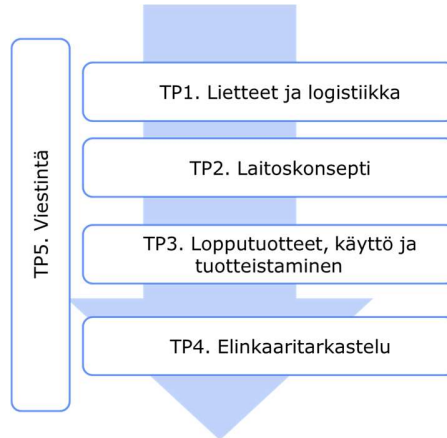
Kuva 2. Puhdistamolietteiden sisältämien ravinteiden kierto yhteiskunnassa ja keskitetyn lietteidenkäsittelyn asemoituminen.

Hankkeen tavoitteet

- Järkki-hankkeen kunnianhimoisena pidemmän aikavälin ylätason tavoitteena oli olla osaltaan uudistamassa Suomen jätevesilietteidenkäsittelyä siten, että lietteiden ravinteet ja energia voidaan mahdollisimman täysimääräisesti hyödyntää.
- Etsiä logistiikkaa mallintamalla keskitetylle käsittelylaitokselle sopivia kokoluokkia ja sijaintipaikkoja, taloudelliset ja ympäristönäkökohdat huomioiden
- Suunnitella markkinoilla olevista, tai sinne lyhyellä aikavälillä kehittyvistä teknologioista 2–3 vaihtoehtoista keskitettyä lietteidenkäsittelykonseptia, yhdistäen jätevesilietteiden ravinteiden kierrätys- ja energian talteenottoratkaisut. Konsepteja ja niihin liittyvää logistiikkaa verrattiin massa- ja energiataseiden sekä elinkaaritarkastelumallien avulla toisiinsa.
- Tuottaa tietoa vaihtoehtoisten keskitettyjen lietteidenkäsittelykonseptien ravinneloppuotteiden volyymistä, laadusta, sekä käyttökohteista (maatalous, teollisuus, muut), sekä niihin liittyvästä lainsäädännöstä (esim. ei enää jätettä, EEJ).
- Luoda pohjaa mahdolliselle keskitetyn lietteenkäsittelylaitoksen investoinnille keskipitkällä–pitkällä aikavälillä, tuottamalla materiaalia keskitetyn laitoksen suunnitteluun, tähdäten investointipäätöksen tekemiseen, investointikonsortion muodostamiseksi, sekä mm. laitoksen YVA- ja luvi- tusprosesseja varten.
- Tuottaa tietoa, kuinka uusien kehitteillä olevien jätevedenpuhdistusprosessien tuomat muutokset lietteen määrissä ja laadussa (esim. Fe- ja Al-kemikaalisaostuksen poistumisen vaikutus) vaikuttavat lietteiden käsittelyyn ja ravinteiden kierrätysmahdollisuuksiin uusien kehittyneiden teknologioiden avulla.
- Innostaa, osallistaa ja sitouttaa keskeiset sidosryhmät mukaan konkreettisesti uudistamaan Suomen lietteidenkäsittelyä.

2 Hankkeen toteutus

Järkki-hanke toteutettiin viidessä työpaketissa (kuva 3).



Kuva 3. Järkki-hankkeen työpaketit.

2.1 Lietteet ja logistiikka

Lietteet ja logistiikka -työpaketin (TP1) toteutus jakautui kahteen osioon: Puhdistamoliettedatan keruu ja Logistinen mallintaminen. Nämä toteutettiin tiiviissä yhteistyössä HAMKin kahden tutkimusyksikön kesken siten, että tiedonkeruu keskittyi HAMK Bio -tutkimusyksikköön ja mallintaminen HAMK Smart-tutkimusyksikköön.

2.1.1 Puhdistamoliettedatan keruu

Suomen jätevedenpuhdistamojen sijaintitietojen ja aineiston keruussa ja päivittämisessä käytettiin useita eri tapoja: puhdistamojen nettisivut, vuosi- ja toimintakertomukset, aiemmat selvitykset, verkkokysely, sähköpostikontaktointi, sekä suorat puhelinkontaktit ja haastattelut. Lisäksi tehtiin tarkempi lieteselvitys hakkeeseen osallistuville kahdelle jätevedenpuhdistamolle, HS Veden Paroisten puhdistamo Hämeenlinnassa ja Riihimäen Veden puhdistamo Riihimäellä. Lieneselvitys, keskittyen typen ja fosforin käyttäytymiseen, toteutettiin AMK-opinnäytetyönä (Saara Järvi, 2022), joka pohjautui laitosnäytteenottoihin ja omiin analysointeihin HAMKin laboratoriossa.

Kaikkia saatuja lietetietoja tarkasteltiin kriittisesti vertaillen, sillä jo työn alussa oli tiedossa, että mm. lietenimitykset kentällä ovat hyvin kirjavia. Kaikki aineisto kerättiin yhteen Excel-tiedostoon. Aineiston keruu onnistui lopputuloksen näkökulmasta hyvin, mutta kesti ajallisesti suunniteltua kauemmin. Aikataulua hidastivat mm. osin ristiriitaiset, tarkistusta vaativat tiedot ja viiveet vastausten saamisessa. Aineiston keruun viiveestä huolimatta logistinen simulointityöosio pääsi etenemään suunnitellusti, sillä se alkoi simulointimallin kehittämällä. Exceliin kerätyn aineiston muokkausta ja uudelleen jäsentelyä tehtiin koko hankeajan logistisen mallinnuksen eri skenaarioiden tarpeisiin.

Suunnitelman mukaisesti tavoite oli ottaa tarkasteluun myös kehitteillä olevien uusien jätevesien käsittelykonseptien aiheuttamat muutokset lietteisiin. Tähän valittiin yksi kehitteillä oleva ratkaisu, HSY:n RAVITA-prosessin. Merkittävää tässä konseptissa on, että lietteenkäsittelyssä ei käytetä rautasaostusta. Käytännössä ei ole vielä mitattuja tuloksi RAVITA-prosessin mahdollisista vaikutuksista lietemäärään ja laatuun, mutta yhdessä HSY:n RAVITA-asiantuntijoiden kanssa tähän saatiin käyttöön paras mahdollinen arvio.

2.1.2 Logistiikan mallintaminen

Lietteen kuljetuksesta aiheutuvien logististen kustannusten mallintamiseen kehitettiin MATLAB-ohjelma, joka laskee mahdollisille keskitetyille käsittelylaitoksille kuljettamisesta aiheutuvan kuljetussuoritteen. Ohjelman avulla voidaan arvioida eri sijaintien hyvyttä sekä kuljetuskustannusten että laitoksille saapuvan lietteen ja mädätteen jakauman avulla. Erilaisia skenaarioita testattiin aluksi 2–5 käsittelylaitoksella, joihin koko Suomen lietteet ja mädätteet kuljetetaan. Alustavien tulosten perusteella päädyttiin tutki-
maan tarkemmin 2 ja 4 keskitetyn laitoksen vaihtoehtoja.

Lieteskenaariot:

Skenaarioita tuotettiin viisi erilaista: nykytilanne, raakaliete, tehokkaampi kuivaus, tulevaisuus ja RAVITA. Nykytilanne-skenaariossa käytetään lähtötietona nykyisiä jätevedenpuhdistamoilta saatuja tietoja.

Raakaliete-skenaario on toteutettu oletuksella, että kaikilta jätevesipuhdistamoilta lähtisi liete keskitettyihin lietteenkäsittelylaitoksiin raakalietteenä.

Tehokkaamman kuivauksen skenaariossa on tehty oletus, että jätevesipuhdistamot kykenisivät nostamaan heiltä lähtevän jätevesilietteen kuiva-aineprosenttia niin, että raakalietteellä se olisi vähintään 25 % ja mädätteellä vähintään 35 %.

Tulevaisuus-skenaariossa tarkastelu on tehty siten, että ainoastaan suurimpien lietemädättämöiden (Helsinki, Espoo ja Tampere) lietteet huomioidaan mädätteenä ja pienempien puhdistamoiden omien lietemädättämöiden lietteet huomioidaan raakalietteenä (eli oletetaan että pienet puhdistamokohtaiset mädättämöt ovat lopettaneet toimintansa). Lisäksi tulevaisuus -skenaariossa huomioidaan mädätetyn lietteen syntypaikkoina puhdistamoiden läheisyydessä toimivia puhdistamolietteitä vastaanottavia biokaasulaitoksia. Tulevaisuus-skenaariossa mädätteen kuiva-ainepitoisuudeksi oletetaan 35 % ja raakalietteen 25 %.

RAVITA-skenaariossa oletetaan kaikki puhdistamoilta lähtevä liete raakalietteeksi, jonka kuiva-ainepitoisuus on vähintään 25 %. Niiltä puhdistamoilta, joiden asukasvastineluku on yli 50 000, raakaliete lähtee RAVITA-lietteenä (primääriliete + aktiiviliete). RAVITA-lietettä on oletettu syntyvän kuiva-aineena 20 % vähemmän kuin rautasaostettua lietettä ja fosforin määrän oletetaan olevan 28 % rautasaostetun raakalietteen fosforimäärästä.

Lietteiden logistiikkamallintaminen toteutettiin näille viidelle eri skenaariorolle. Jokaisen skenaarion kohdalla suoritettiin tarkastelu sekä kahdella että neljällä keskitetyllä lietteenkäsittelylaitoksella. Lisäksi kuljetussuoritteita tarkasteltiin sekä kuljettamalla lietteet kaikilta puhdistamoilta sekä rajoittamalla kuljetusetäisyys maksimissaan 300 km:n etäisyydelle. 300 km:n rajaan päädyttiin 200–350 km kuljetusrajoitusten herkkyytstarkastelujen jälkeen. 300 km:n rajoitetta sovellettiin kahdella eri tavalla. Ensimmäisissä tarkasteluissa se muodosti ehdon keskitettyjen käsittelylaitosten sijaintien optimointiin. Toisissa tarkasteluissa, joita valittiin myöhemmin käytettävän LCA-laskelmissa, keskitettyjen laitosten sijoittamisessa ei huomioitu kuljetusrajoitetta, vaan se otettiin huomioon laitosten sijoitusten päättämisen jälkeen.

Lietteiden kuljetus oletettiin toteutettavan rekoilla pitkin nykyisiä tieverkostoja. Kuljetusmatkat noudettiin Mapboxista ([Maps, geocoding, and navigation APIs & SDKs | Mapbox](#)). Rekkosten oletettiin pystyvän kuljettamaan 45 t lietettä kerralla. Jätevesipuhdistamoiden tuottamien lietteiden määrät tiedettiin vuositasolla ja lietteen syntymisen oletettiin jakautuvan tasaisesti vuoden aikana. Mallinnuksessa oletettiin rekkosten kuljettavan lietelastin puhdistamolta keskitetyille laitokselle aina heti, kun puhdistamolla on täysi

rekallinen lietettä kuljetettavaksi. Rekkojen oletettiin palaavan tyhjinä suoraan puhdistamoihin takaisin vietyään lietelastin keskitetyille laitoksille. Näillä oletuksilla pystyttiin tarkastelemaan kuljetussuorituksen lisäksi tarvittavaa rekkakapasiteettia sekä keskitettyjen laitosten tarvitsemaa lietteiden vastaanottokapasiteettia.

Tarvittavan polttoaineen määriä tarkasteltiin sekä nesteytetyllä biokaasulla (LBG) kulkeville rekoille että dieselrekoille. Oletuksena on, että rekat käyttäisivät polttoaineena keskitettyjen laitosten tuottamaa LBG:tä, mutta myös dieselkulutusta tutkittiin vertailun vuoksi. Polttoaineen kulutuksen oletettiin olevan täydelle LBG-rekalle 30 kg/100 km ja tyhjälle 27 kg/100 km. Vastaavasti dieselin kulutus olisi täydelle rekalle 37.5 l/100 km ja tyhjälle 35 l/100 km.

Vuonna 2021 saavutetuista tuloksista julkaistiin diplomityö (Marianne Honkasaari) joulukuussa 2021 (<https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/112872>). Diplomityö sisältää ainoastaan nykytilanne-skenaarion. Siinä on tarkasteltu sekä kahden että neljän keskitetyn laitoksen vaihtoehtoja sekä kilometriraajoitteella että ilman. Lisäksi diplomityössä tarkastellaan tuotekuljetusta yhden tuotteen osalta sekä lietteiden kuljetusta nykytilanteessa ilman keskitettyjä laitoksia.

Lietteiden logistiikan lisäksi mallinnettiin lopputuotteiden logistiikkaa. Lopputuotteet, niiden määrä ja ominaisuudet riippuivat käsiteltävästä skenaariorista sekä käsittelylaitosten konseptista. Lopputuotteita oli useita erilaisia ja niiden määränpää riippui kullekin tuotteelle määritetystä käyttökohteesta.

Hiilituotteet (HTC-hiili, pyrolyysihiili ja struviitti) määriteltiin menevän lannoitteena maatalouskäyttöön. Sitä varten jokaiselle Suomen kunnalle laskettiin kokonaistarve fosforin määrälle peltolannoitteissa. Laskussa huomioitiin kuntien peltopinta-alat, maan ravinnepitoisuus ja eri maalajien tarve ravinteille. Yksityiskohdat ovat löydettävissä diplomityöstä. Mallinnuksessa hiilituotteita kuljetettiin käsittelylaitosta lähimpänä oleviin kuntiin niiden vuosittaisen tarpeen verran. Lähimmän kunnan tarpeen täytyttyä hiilituotteita alettiin kuljettaa seuraavaksi lähimpään kuntaan, kunnes sen vuosittainen fosforilannoitetarve täyttyi. Tätä jatkettiin, kunnes kaikki vuodessa syntyvät hiilituotteet oli kuljetettu. Vastaanottopisteiksi kunnissa määritettiin kuntien keskustataajamat. Hiilituotteiden kuljetuksessa oletettiin käytettävän samantyyppisiä rekkajonoja kuin lietteiden kuljetuksessa.

Typpituotteet (ammoniakkivesi) kuljetettiin sellua ja kartonkia tuottaville metsäteollisuustehtaille ([Metsäteollisuuden tuotantolaitokset kartalla \(metsateollisuus.fi\)](#), 3.6.2022). Metsäteollisuus käyttää typpeä erityisesti biologisen jätevedenpuhdistusprosessin ravinteena. Julkisista lähteistä löytyvän tiedon avulla arvioitiin tehtaiden käyttämän urean määrä Stora Enson Varkauden kartonkitehtaalalle sekä UPM-Kymmene Kymin ja Kaukaksen sellutehtaille. Näiden perusteella laskettiin suhteessa sellun ja kartongin tuotantoon muille sellu- ja kartonkitehtaille typen tarve. Ammoniakkiliuoksen oletettiin pystyvän korvaamaan urean käyttöä typen suhteessa 1:1.

Mallinnuksessa typpituotteita kuljetettiin aina lähimpään tehtaaseen, kunnes sen typpiveden tarve tuli täytettyä. Tämän jälkeen siirryttiin kuljettamaan typpituotetta seuraavaksi lähimpään tehtaaseen. Näin jatkettiin, kunnes koko vuotuinen tuotanto oli kuljetettu. Jos keskitetyn lietteidenkäsittelylaitoksen tuotanto oli suurempi kuin kaikkien Suomen sellu- ja kartonkitehtaiden arvioitu typen tarve yhteensä, oletettiin jäljelle jäävän typpituotteen olevan käytettävissä samoille tehtaille savukaasukäyttöön. Tästä tarpeesta ei ole dataa, ja se on Järkki-hankkeessa tehty yksinkertaistus. Jäljelle jäänyt ylimääräinen typpituote kuljetettiin kaikille tehtaille savukaasukäyttöön siinä suhteessa, jossa ne olivat vastaanottaneet typpituotetta urean korvaukseen.

Typpituotteiden kuljetuksessa rekkojen oletettiin pystyvän kuljettamaan 40 t kuormaa. Polttoaineen kulutuksen oletettiin olevan samalla tasolla kuin lietettä kuljettavilla rekoilla.

Keskitettyt käsittelylaitokset tuottavat nesteytettyä biokaasua (LBG). Mallinnuksessa sitä käytettiin käsittelylaitosten omaan energiantarpeeseen sekä lietteen ja tuotteiden kuljetukseen. Jäljelle jäävä LBG mallinnettiin kuljetettavan LBG tankkausasemille ([Tankkausasemakartta | Gasum](#), 8.6.2022). Gasumilta saatiin arvio LBG:n kuukausittaisesta tarpeesta asemilla.

Kuljetuskaluston oletettiin olevan samanlaista kuin typpituotteen kuljettamisessa käytettävä. Yhden rekan oletettiin kuljettavan kuormansa kahdelle eri tankkausasemalle, 20 t kummallekin, sillä yhden aseman varastokoko ei riitä vastaanottamaan kerrallaan koko 40 t lastia. Mallinnuksessa LBG:tä kuljetettiin aina lähimmälle tankkausasemalle, joka vielä pystyi tarpeensa rajoissa sitä vastaanottamaan. Sieltä rekka kuljetti jäljelle jäävän puolikkaan lastin sieltä lähimpänä olevalle tankkauspisteelle, joka pystyi vielä LBG:tä vastaanottamaan. Tämän jälkeen tyhjä rekka ajoi takaisin keskitetyille laitokselle hakemaan uutta lastilista.

2.2 Laitoskonsepti

Työpaketissa suunniteltiin kaksi keskitetyn lietteidenkäsittelyn konseptia, perustuen joko märkäpyrolyysiin (HTC) tai pyrolyysiin, sekä kehittyneeseen typhen talteenottoon ja vesien puhdistukseen. Konsepteissa yhdistettiin osaprosesseja perustuen aiempiin selvityksiin, joita ovat mm. *Puhdistamolietteen termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen* (Pöyry Finland 2019), Gasumin hanke *Kierrätysravinteiden ekosysteemin rakentaminen ja kumppanuudet* (2018-2019, VN/7705/2019), jossa tehtiin kokeellista tutkimusta mädätettyjen jätevesilietteiden käsittelystä HTC -teknologialla. Tietoa saatiin myös aiemmista ja samanaikaisista Raki-hankkeista mm. Lietehiili, Norma, Rahi ja NP-harvest. Pyrolyysiin saatiin ensiarvoisen tärkeää massataseitietoa HSY:n pyrolyysilaitoksen (demonstraatiolaitos) koeajoista. Gasumilla on myös jo teollisessa käytössä kehittyneitä teknologioita ravinteiden talteenottamiseksi, joista saatuja kokemuksia hyödynnettiin hankkeessa – erityisesti haihturi-stripperi yhdistelmä Turun biokaasulaitoksella (tuotteena end-of-waste ammoniakkivesi, vaihtoehtoisina tuotteina ammoniumsulfaatti ja ammoniumnitraatti). Gasumin Turun biokaasulaitoksella on myös käytössä Suomen ensimmäinen biometaanin nesteytyslaitos (LBG tuotanto), jonka tietoja voitiin hyödyntää Järkki-hankkeen konseptisuunnittelussa. Massataseiden ja käsittelylaitoksen sisäisten kiertojen mallinnus tehtiin Gasumin jo ennen Järkki-hanketta kehittämällä biokaasulaitosten massataseyökalulla.

Laitoskonsepteista arvioitiin ja laskettiin:

- Prosessikuvaukset ja niiden teknologisen kypsyyden arvio
- Massa – ja energiataseet
- Lopputuotteiden laskennallinen laatu ja volyyymi

Järkki-hankkeessa syntyi suuri määrä perusskenaarioita (16 kpl) elinkaaritarkasteluun ja tästä syystä työpaketissa päädyttiin rajaamaan käytettävät teknologiat hiiltä säästäviin – jolloin lietteen polttoskenaario päätettiin rajata pois. Lietteiden polttokonseptille kuitenkin luonnosteltiin mahdollinen laitoskonsepti, ja sen jatkotarkastelu on hankkeessa tuotettujen massataseiden avulla mahdollista. Varsinaisena poikkeamana hankesuunnitelmaan, keskitetyn laitoksen lay-out eli tilavaatimukset päätettiin jättää tekemättä, koska käytännössä kaikissa konsepteissa syntyi eri kokoisia laitoksia – yhteensä 36 hieman erilaista laitosta. Järkki-hanke kuitenkin tuotti osaprosessien vaatimat kapasiteetit, jolloin tulevaisuudessa myös yksityiskohtainen lay-out työ on mahdollista.

2.3 Lopputuotteet, käyttö ja tuotteistaminen

Työpaketissa tarkasteltiin TP2:ssa valituissa konseptivaihtoehdoissa syntyviä kierrätysravintetuotteita perustuen niiden määriin ja ominaisuuksiin (esim. ravinne- ja haitta-ainepitoisuudet). Lähtötietoina käytettiin hankkeessa tehtyjä laskennallisia massataseita, aiempien hankkeiden ja tutkimusten tuloksia ja käytännön kokemuksia. Tarkastelussa keskityttiin etenkin tuotteiden sisältämien ravinteiden käyttökelpoisuuteen eri käyttökohteiden kannalta (mm. maatalous, teollisuuden ravinnekäyttö).

Tuoteturvallisuutta (ml. mikromuovit, orgaaniset haitta-aineet, raskasmetallit, patogeenit) ja tuotteiden käytöstä tarkastelualueella aiheutuvaa riskiä arviotiin kirjallisuuden, aiempien ja meneillään olevien hankkeiden tulosten perusteella.

Työpaketissa tuotettiin tietoa seuraavista pääkohdista:

- Vaihtoehtoisten käsittelykonseptien tuotteet – määrä, laatu ja turvallisuus, markkinat
- Potentiaaliset käyttökohteet ja tuotteistamismahdollisuudet (maatalous, teollisuus, maanrakennus, metsälannoitteet ym.)
- Tuotteisiin liittyvä lainsäädännöllinen ohjaus – mukaan lukien end-of-waste tarve
- Lannoitetuotteiden käyttömahdollisuudet maataloudessa huomioiden Suomen peltojen ravinnetasot (-> tarkennettua lähtötietoa logistiikka tarkasteluun)

Työpaketin toteutus jäi hankesuunnitelmassa kaavailtua kevyemmäksi, johtuen siitä, että työpaketin suoritus oli aikataulutettu hankkeen toiselle toteutusvuodelle (2022), ja työpaketin toteutukselle kriittinen resurssin siirtyi muihin töihin vuoden alkupuoliskolla.

2.4 Elinkaaritarkastelu (LCA)

Elinkaaritarkastelun tietojen tarkastus ja syvempien johtopäätösten vetäminen on vielä tässä raporttiluonnoksessa kesken (9.12.2022) ja valmistuu viimeisteltyyn loppuraporttiin 1/2023.

Elinkaaritarkastelu hankittiin ostopalveluna LCA consulting oy:ltä, joka hankkeen aikana siirtyi Etteplan oy:n alle. Suurin osa elinkaaritarkastelun lähtötiedoista tuotettiin Järkki-hankkeen toimesta. Elinkaaritarkastelun menetelmät löytyvät Liitteestä 4: Jätevesilietteen käsittelyn elinkaaritarkastelu ja Liitteestä 5: Typpipitoisen rejektiveden palautus jätevesilaitokselle

Elinkaaritarkastelun avulla pyrittiin vertailemaan hankkeessa suunniteltuja lietteenkäsittelykonsepteja, mm. seuraavien vaikutusten kautta:

- Kuljetus käsittelyyn (ml. Mahdollinen lisäkuivauksen tarve)
- Käsittelyprosessit
- Lopputuotteiden hyödynnys: biokaasu, kiinteät ja nestemäiset lannoite- ja muut lopputuotteet (sekä muut mahdolliset lopputuotteet)
- Mahdolliset päästöhyvitykset, joita saadaan kierrätysravinteita ja biokaasua tuottamalla, korvaan neitseellisten vastaavan käyttötarkoituksen ravinteiden ja polttoaineiden valmistusta

Työpaketti toteutui pääosin suunnitelmien mukaisesti, kuitenkin nykyisenmukaisen jätevesilietteen käsittelyn mallintaminen ja elinkaaritarkastelu osoittautui mahdottomaksi, johtuen jätevesilietteen nykyisen käsittelyketjun kartoittamisen monimutkaisuudesta. Käsittelijälle saakka ketju on vielä mahdollista kartoittaa – mutta esimerkiksi biokaasulaitokselta voi muodostua useita ravintetuotteita (mädätysjäännös, kuiva mädätysjäännös, rejektivesi, mahdollisia typpituotteita) – jotka osaltaan muodostuvat myös muista

laitoksen käsittelemistä materiaaleista. Näiden tuotteiden ominaisuudet, massat, käytöt ja kuljetukset on erittäin työlästä kartoittaa. Suunniteltujen keskitettyjen käsittelyskenaarioiden vertaaminen nykytilanteeseen olisi ollut todella mielenkiintoista ja tärkeää, ja tämä jääkin selväksi jatkotutkimustarpeeksi.

2.5 Viestintä

Viestinnällä oli keskeinen rooli tässä hanketoteutuksessa ja siksi se kirjattiin hankesuunnitelmaan yhdeksi työpakettikonaisuudeksi (TP5). Viestinnän päävastuullinen toteuttaja oli HAMK.

Viestinnän yleistavoitteena oli hankkeessa saadun uuden tiedon välittäminen tehokkaasti ja laajasti eri kohderyhmille, tulosten jalkauttaminen käytäntöön sekä hankkeen vaikuttavuuden lisääminen. Hankkeen alussa viestittiin hankkeen olemassaolosta, tavoitteista ja toimenpiteistä. Viestinnällinen tavoite oli myös mahdollistaa kentältä eri kohderyhmistä ym. tulevan palautteen ja kysymysten vastaanotto ja huomiointi. Keskeiseksi työtavaksi valikoitui hankkeen järjestämät virtuaaliset työpajatilaisuudet.

Viestinnän kohderyhmä oli laaja: jätevedenpuhdistamot (vesihuoltolaitokset, teollisuus, etenkin metsäteollisuus), lietteiden käsittelijät, kierrätysravintetuotteiden jatkojalostajat ja käyttäjät, teknologia- ja laitekehittäjät ja -toimittajat, toimintaan liittyvät viranomaiset, järjestöt ja yhdistykset sekä lietteiden ja kierrätysravinteiden tutkimuksen ja tuotekehityksen parissa toimivat. Kohderyhmien tavoittamisessa tehtiin yhteistyötä mm. Vesilaitosyhdistyksen ja Biokaasu- ja biokierto-yhdistyksen kanssa, niiden tiedotuskanavia hyödyntäen. Viestintäsuunnittelussa ja toteutuksessa tehtiin yhteistyötä myös muiden puhdistamolietteisiin liittyvien tai niihin vaikuttavien hankkeiden kanssa (mm. RAHI-hanke/HSY).

3 Hankkeen tulokset

Tämä on Järkki-hankkeen rahoittajalle suunnattu loppuraportti. Hankkeen tulosten analyysi sekä tarkastus on vielä osin kesken ja siksi tämä raportti voi sisältää virheitä, eikä sen sisältöä tule käyttää päätöksissä tai mahdollisissa jatkosuunnitelmissa. Hankkeen viimeistely, julkinen tulosjulkaisu julkaistaan viimeistään 2/2023

Tässä raporissa tiivistetään hankkeen tärkeimmät tulokset. Järkki-hankkeen yksityiskohtaisempia tuloksia sekä menetelmiä löytyy liitetiedostoissa: *"Jätevesilietteiden ravinnetarkastelu: case: HS-Vesi, Paroisten puhdistamo ja Riihimäen Vesi, Riihimäen puhdistamo. Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö, Saara Järvi"* (Liite 1), *"On Optimization of the Logistics Related to Recycling of Nutrients in Wastewater Sludges. Diplomityö, Marianne Honkasaari"* (Liite 2), *"Järkki LCA skenaariot – Luonnos"* (Excel-tiedosto, Liite 3), *"Jätevesilietteen käsittelyn elinkaaritarkastelu"* (Liite 4) ja *"Typpipitoisen rejektiveden palautus jätevesilaitokselle"* (Liite 5).

3.1 Lietteet ja logistiikka

Lietteet ja logistiikka -osion päätyövaiheet olivat puhdistamoliettedatan keruu ja logistinen mallintaminen.

3.1.1 Puhdistamoliettedatan keruu

Tavoitteena oli selvittää Suomen jätevedenpuhdistamoilta lähtevän lietteen määrä (t/a), kuiva-aine- (tTS/a) ja ravinnemäärät (N, P) puhdistamokohtaisesti, ja koota data Excel-taulukkoon hankkeessa tehtäviä tarkasteluja varten.

Aineiston keruun pohjatietona käytettiin vuonna 2019 laaditun selvityksen *Puhdistamolietteen termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen, Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 56* (Pöyry Finland 2019). Edellä mainitun selvityksen lietetiedot saatiin hankkeen käyttöön listauksena Excel-muodossa ja ovat peräisin vuoden 2016 YLVA-tietokannasta hakuehdoilla: lähtevä jätevirta, EWC-koodi 190805. Tämän hankkeen lietemääräselvityksessä laitoksilta lähtevä lietemäärä oli noin 4 % pienempi kuin vuoden 2019 selvityksessä, jossa lietemäärä puolestaan oli vähäisempi kuin sitä edeltäneessä selvityksessä, jossa tarkasteltiin lietteen vastaanottomääriä käsittelylaitoksissa (VVY 2017), (Taulukko 1). Lisäksi tarkasteltiin viimeisimpiä Suomen ympäristökeskuksen julkaisemia EU:n lietedirektiivin edellyttämiä raportteja Suomen jätevesipuhdistamoilla tuotetusta lietteestä, jotka raportoidaan EU-komissiolle kolmen vuoden jaksoissa. Järkki-hankkeen päättymisen aikaan Tilastokeskus ei ollut vielä laskenut vuoden 2021 lietemäärätietoja.

Taulukko 1. Järkki-hankkeen lietemäärien vertailua aikaisempien julkaisujen lietemääriin.

	Lietteen kuiva-aine (t)	Lietteen kokonaispaino (t)
Sludge produced by the waste water treatment plants, EU-komissiolle toimitettu lietedirektiivin (86/278/ETY) edellyttämä raportti v. 2016, SYKE (Kirsi Merilehto, Hanne Salmenperä), 2019	146 995	
Sludge produced by the waste water treatment plants, EU-komissiolle toimitettu lietedirektiivin (86/278/ETY) edellyttämä raportti v. 2017, SYKE (Kirsi Merilehto, Hanne Salmenperä), 2019	161 197	
Sludge produced by the waste water treatment plants, EU-komissiolle toimitettu lietedirektiivin (86/278/ETY) edellyttämä raportti v. 2018, SYKE (Kirsi Merilehto, Hanne Salmenperä), 2020	146 621	
Sludge produced by the waste water treatment plants, EU-komissiolle toimitettu lietedirektiivin (86/278/ETY) edellyttämä raportti v. 2019, SYKE (Joona Koskinen, Eevaleena Häkkinen), 2022	160 173	
Sludge produced by the waste water treatment plants, EU-komissiolle toimitettu lietedirektiivin (86/278/ETY) edellyttämä raportti v. 2020, SYKE (Joona Koskinen, Eevaleena Häkkinen), 2022	153 651	
Sludge produced by the waste water treatment plants, EU-komissiolle toimitettu lietedirektiivin (86/278/ETY) edellyttämä raportti v. 2021, SYKE (Joona Koskinen, Eevaleena Häkkinen), 2022	-	
Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus, Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 46, 2017	147 000	832 200
Puhdistamolietteen termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen, Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 56, 2019 *	140 328	639 926
Jätevesilietteiden ravinteet keskittään kiertoon -hanke, Gasum & HAMK, 2020-2021	137 151	612 134
Suhteellinen ero edelliseen* selvitykseen	-2,3 %	-4,3 %

Käyttöön saadussa Excel-listauksessa olevien suurimpien laitosten (> 1 000 tTS/a) lähtevän lietteen määrä- ja ravinnetiedot (typpi ja fosfori) määriteltiin tutkimalla laitosten viimeisimpiä vuosi- ja toimintakertomuksia sekä kontaktoimalla laitosten henkilökuntaa puhelimitse ja sähköpostitse. Osalta laitoksia tarvittava tieto saatiin kyselylomakkeella, jolla laitoksilta kysyttiin muitakin tietoja. Laitoksilta lähtevien lietteiden (raakasekalietettä tai mädätettyä) määrästä (t/a) päivitettiin noin 40 % verrattuna vuoden 2016 lietemäärätietoihin. Laitoksilta lähtevien mädätettyjen määräästä (t/a) päivitettiin noin 80 %. Suomen ympäristökeskuksen EU:n lietedirektiivin edellyttämässä raportissa on kirjattu Suomessa oleva arviolta 250 jätevesipuhdistamoa asukasvastineluvultaan 100–5000. Pienimpien laitoksien lietteen tuotantomääriä ei päivitetty vaan käytettiin aikaisemman listauksen tuotantomääriä.

Tämän selvityksen perusteella laitoksilta lähtevä raakaliete on kuiva-ainepitoisuudeltaan keskimäärin 17 % ja mädätetty liete 29 %. Laskettiin, että vuosittain puhdistamoilta lähtevä lietemäärä vähenisi 16 % eli lähes 100 000 t/a, jos kaikki liete saataisiin kuivattua vähintään 25 % kuiva-ainepitoisuuteen. Jätevesipuhdistamoilta lähtevien lietteiden kokonaispainosta 28 % (kuiva-aineen kokonaispainosta 37 %) on mädätettyä lietettä ja loput raakaliettä.

Aineistosta poistettiin tiedossa olevia jo poistuneita laitoksia tai tulevaisuudessa poistuvia laitoksia sekä lisättiin tiedossa olevia uusia laitoksia lietemäärä- ja koordinaattitietoineen. Lisäksi joissakin tarkasteluissa huomioitiin mädätetyn lietteen syntypaikkoina joitakin biokaasulaitoksia, jotka vastaanottavat puhdistamolietettä. Hankkeen aikana aineiston muokkausta tehtiin jatkuvasti logistisen mallinnuksen tarpeisiin, eli tarkasteluihin valittujen erilaisten skenaarioiden vaatimusten mukaan. Esimerkkinä tästä tarkastelu tulevaisuuden jätevedenpuhdistamokonseptille (RAVITA), jossa tuotetaan raudatonta lietettä. Tällöin mm. laitoksilta lähtevät lietemäärät ja fosforimäärät muuttuvat.

Aikaisempaan aineistoon verrattuna uuteen aineistoon laskettiin kuljetettavan lietteen määrä oletuksella, että lietteenkuivauksessa saavutettaisiin raakalietteen osalta vähintään 25 % kuiva-ainepitoisuus ja mädätetyn lietteen osalta 35 % kuiva-ainepitoisuus kaikilla laitoksilla. Kullekin puhdistamolle laskettiin lähtevän raakasekalietteen metaanituottopotentiali, biokaasuenergiapotentiaali sekä mädätteen

jäännöspotentiaali, joka on mahdollista saada hyödynnettyä HTC teknologialla, joka liukoistaa mädätysjäännöksen orgaanista ainesta. Edellä mainituissa laskennoissa oletettiin puhdistamolietteen tuottavan metaania 280 m³/tVS tai 190 m³/tTS, jolloin puhdistamolietteen VS/TS-suhde on 68 %. Huomioitavaa on, että sekä jätevesilietteiden metaanintuotto, että VS/TS pitoisuus vaihtelevat varsin paljon puhdistamoiden välillä. Nyt metaanituottoon käytettyjä arvoja voidaan pitää melko konservatiivisina, ja tuotanto voi olla isompikin. Mädatteiden jäännöspotentiaaliksi HTC teknologian avulla määritettiin 20 m³CH₄/tTS, perustuen aiempiin kokeellisiin tutkimuksiin. Lietemädättämöiden tapauksessa mädatteen määrä muunnettiin raakasekalietteen määräksi olettamalla, että kuiva-aineen vähenemä mädatyksessä on 32 %.

Aikaisempaan aineistoon verrattuna Järkki-hankkeen aineistoon lisättiin lietteen ja mädatteen kuiva-aineessa vuosittain laitoksilta lähtevä fosfori- ja typpimäärät (Taulukko 2). Määrä on laskettu joko laitoksilta saatujen ravinnepitoisuuksien avulla tai jos tietoja ei ole saatu, on käytetty keskiarvoisia pitoisuuksia. Tässä hankkeessa tarkastellun perusteella puhdistamolietteiden ja mädatteiden ravinnepitoisuudet vaihtelivat. Puhdistamolietteiden kuiva-aineessa kokonaistyyppipitoisuus oli 4,7–6,4 % (keskiarvo 4,8 %) ja kokonaisfosforipitoisuus oli 1,4–3,5 % (keskiarvo 2,2 %). Mädatteiden kuiva-aineessa kokonaistyyppipitoisuus oli 3,3–4,2 % (keskiarvo 3,8 %) ja kokonaisfosforipitoisuus oli 2,6–3,3 % (keskiarvo 3,3 %). Tarkasteluissa oletetaan fosforin olevan sitoutuneena lietteen kuiva-aineeseen.

Taulukko 2. Järkki-hankkeessa määritellyt jätevesipuhdistamoilta (244 laitosta) lähtevät ravinteet.

kok-P mädatteen ka:ssa (tP/a)	1 481
kok-P raakalietteen ka:ssa (tP/a)	1 826
kok-P yhteensä mädatteissä ja raakalietteessä (tP/a)	3 307
kok-N mädatteen ka:ssa (tN/a)	1 825
kok-N raakalietteen ka:ssa (tN/a)	3 739
kok-N yhteensä mädatteissä ja raakalietteessä (tN/a)	5 565
kok-N yhteensä pelkissä raakalietteissä ennen mädatystä (tN/a)	6 949

EU:n lietedirektiivin edellyttämästä raportista ilmenee, että maatalouskäyttöön tarkoitettu jätevesilietteestä analysoidaan ravinnepitoisuudet sitä useammin, mitä suurempi on puhdistamon asukasvastineluku. Asukasvastineluvun ollessa < 500 tulee ravinnepitoisuudet analysoida vähintään kahden vuoden välein ja asukasvastineluvun ollessa > 100 000 tulee ravinnepitoisuudet analysoida vähintään neljä kertaa vuodessa (Suomen ympäristökeskus, 2022).

EU:n lietedirektiivin edellyttämässä raporteissa on vaihtelua vuosina 2016–2021 sekä lietemäärien (tTS/a) että ravinnemäärien (mg/kg) osalta (Suomen ympäristökeskus, 2022). Raporteissa esitetään keskimääräiset ravinnepitoisuudet maatalouskäyttöön ohjatuille puhdistamolieteteille, joiden osuus kaikista puhdistamolieteteistä oli 38–46 % vuosina 2016–2020. Raporteissa maatalouskäyttöön ohjautuvien puhdistamolietteiden kokonaistyyppipitoisuus on 2,7–4,5 % ja kokonaisfosforipitoisuus on 1,4–2,5 %. Olettaen loputkin puhdistamolieteteet pitoisuuksiltaan samankaltaisiksi kuin maatalouskäyttöön ohjautuneet puhdistamolieteteet, saadaan laskettua arviot puhdistamolietteiden vuosittaisille typpi- ja fosforimäärille. Raporttien tietojen perusteella laskettuna puhdistamolietteiden typpimäärä vuosina 2016–2020 vaihteli välillä 4 000–7 200 tN/a ja fosforimäärä 2 000–3 900 tP/a. Nämä ovat kuitenkin vain arvioita, koska todellisuudessa ravinnepitoisuuksissa on alueellisten erojen lisäksi eroa sen mukaan, kuinka liete on käsitelty.

Suomen ympäristökeskuksen julkaisemassa NORMA-hankkeen raportissa *Jätevesien ravinteet kierto on turvallisesti ja tehokkaasti* puhdistamolietteisä hyödynnettäväksi päätyy hyödynnettäväksi tyyppiä 3 740 tN/a ja fosforia 2 880 tP/a (Lehtoranta ym., 2021). NORMA-raportin tiedot ovat peräisin vuoden 2014 VAHTI-tietojärjestelmästä (Marttinen, 2017, s. 10). NORMA-raportissa arvioidaan, että noin kaksi kolmasosaa lietteenkäsittelyn (esikäsittely ja mädätys) fosforista päätyy kuivattuun ja lopputuotteena hyödynnettävään puhdistamolietteeseen. Järkki-hankkeen tarkasteluissa oletetaan, että lietteenkäsittelyssä kaikki fosfori pysyy puhdistamolietteen kiintojakeessa (todellisuudessa jonkin verran fosforia päätyy mädätetyn lietteen mekaanisessa kuivauksessa rejektiveen).

Yleisesti Järkki-hankkeessa tarkastellut lietemäärät eli puhdistamoilta lähtevien raakalietteiden ja puhdistamomädätteen ravinnemäärät ja -pitoisuudet asettuvat suuruusluokaltaan aikaisempien raporttien ja tarkastelujen määrien ja pitoisuuksien vaihteluväleille (Taulukko 3).

Taulukko 3. Järkki-hankkeen lietetietojen vertailu aiempiin tutkimuksiin.

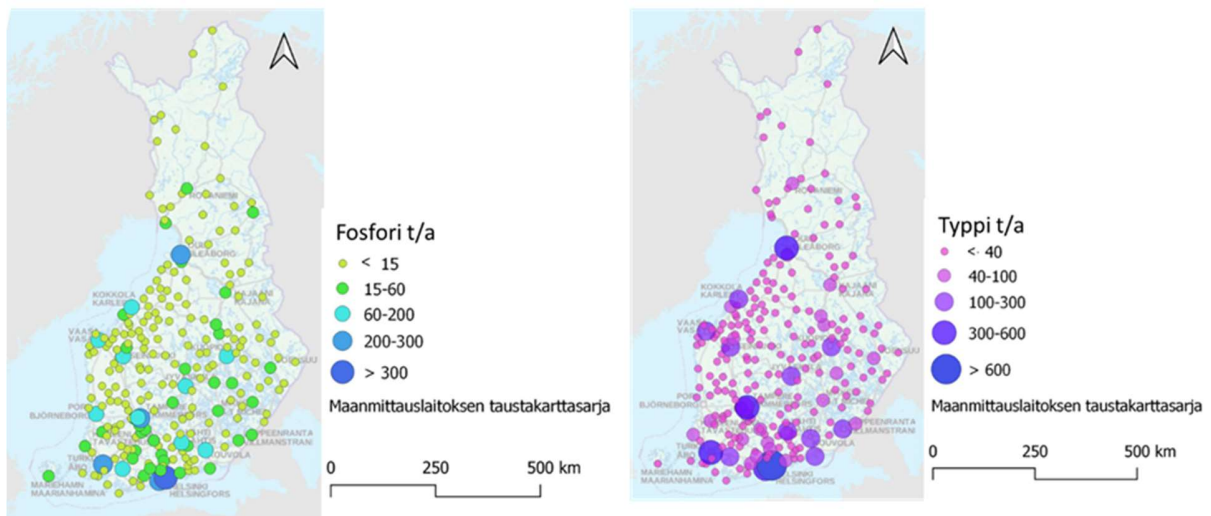
Vuosi	Lietedirektiivin (86/278/ETY) edellyttämän raportin tietoja, Syke / Tilastokeskus						NORMA- hanke	JÄRKKI- hanke ^{b)}
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2021	2020-2022
Puhdistamoliete (tTS/a)	146 995	161 197	146 621	160 173	153 651		140 000	137 151
Puhdistamoliete maatalouskäyttöön (tTS/a)	63 800	74 048	64 079	64 069	59 023			
Puhdistamolietteestä maatalouskäyttöön (%)	43 %	46 %	44 %	40 %	38 %			
Keskimääräinen ravinnepitoisuus (g/kg TS)	maatalouskäyttöön ohjatut puhdistamolietteet						käsittelemätön liete	mädätteet ja raakalietteet
N-tot (g/kg TS)	27,3	44,5	43,3	27	41,8	42	35-55	33-64
P-tot (g/kg TS)	13,6	24,5	23,4	22	16,1	16,6	15-25	14-35
Ravinteiden määrä (t/a) puhdistamolietteisissä	(laskettu yllä olevista arvoista) ^{c)}							
N-tot (t/a)	4 013	7 173	6 349	4 325	6 423		3740 ^{a)}	5 565
P-tot (t/a)	1 999	3 949	3 431	3 524	2 474		2880 ^{a)}	3 307

a) Tiedot VAHTI-tietojärjestelmästä vuodelta 2014

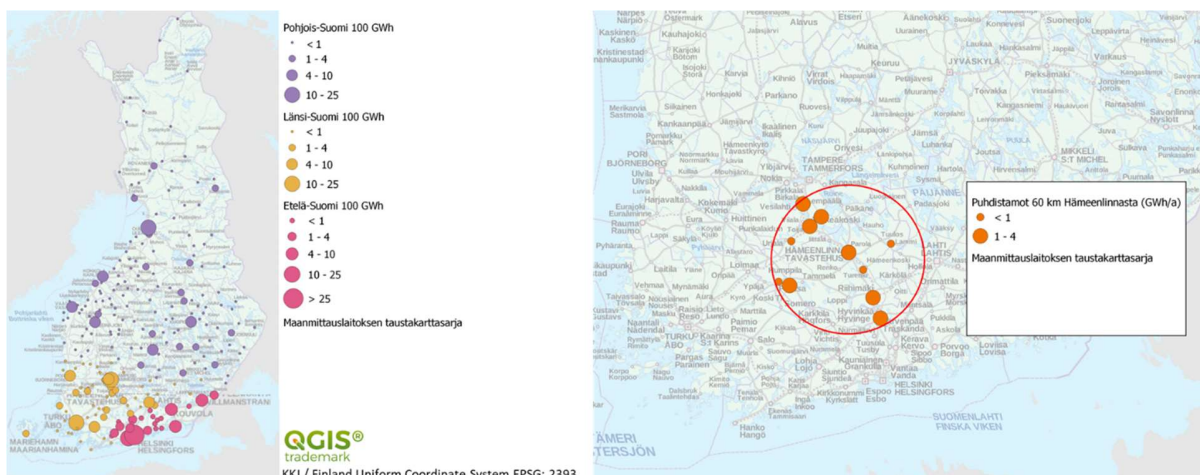
b) Tiedot YLVA-tietojärjestelmästä vuodelta 2016 sekä puhdistamoilta vuosilta 2020 ja 2021

c) Laskettu lietedirektiiviraportin arvoista, esim. vuosi 2016: 63 800 tTS/a * 27,3 g/kg TS / 1000 / 43 %

Aineistossa mukana oleville jätevesipuhdistamoille (244 laitosta) haettiin puuttuvat sijaintikoordinaatit. Laitokset sijoitettiin kartalle Qgis-ohjelmalla viidessä eri kokoluokassa laitoksilta lähtevän lietemäärän (tTS/a), lähtevän fosforimäärän (tP/a), lähtevän typpimäärän (tN/a) ja biokaasuenergiapotentiaalin (GWh/a) mukaan. Lisäksi tarkasteltiin kahden hankkeeseen osallistuvan puhdistamon lähialuetta erikseen siten, että tarkastelussa huomioitiin laitokset 60 km:n säteellä Hämeenlinnasta (Kuvat 4 ja 5).



Kuva 4. Yhdyskuntajätevesilietteiden sisältämän fosforin ja typen jakautuminen Suomessa.

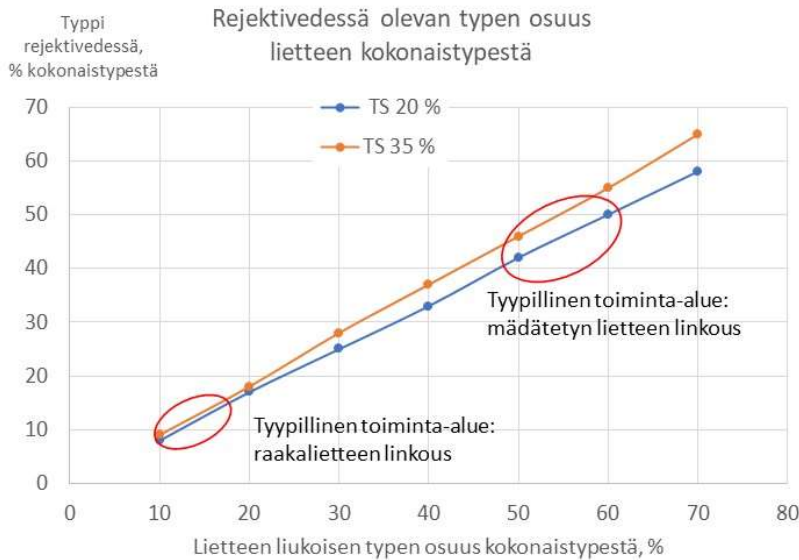


Kuva 5. Yhdyskuntajätevedenpuhdistamoiden lietteiden biokaasuntuotantopotentiaalit Suomessa ja Hämeenlinnan seudulla.

Edellä mainittujen kirjallisten lähteiden ja suorien kontaktointien lisäksi puhdistamokohtaista lietedataa selvitettiin tarkemmin kahden hankkeeseen osallistuvan puhdistamon (HS Vesi ja Riihimäen Vesi) osalta näytteenottojen ja laboratorioanalysointien avulla. Tarkastelun kohteena olivat vastaavat tiedot kuin edellä (kuiva-aine, kokonaistyyppi, kokonaisfosfori) ja lisäksi ravinteiden liukoiset osuudet, minkä perusteella pystytään tarkemmin arvioimaan ravinteiden jakautumista liuos- ja kiintojakeisiin lietteen mekaanisessa kuivauksessa. Tulosten pohjalta laadittiin laitoskohtaisia taseita sekä tarkasteltiin ravinteiden pääymistä mekaanisesti kuivattuun raakalietteeseen ja/tai mädätteeseen. Tuloksista julkaistiin AMK-opinnäytetyö (Saara Järvi) vuonna 2022 (Liite 1).

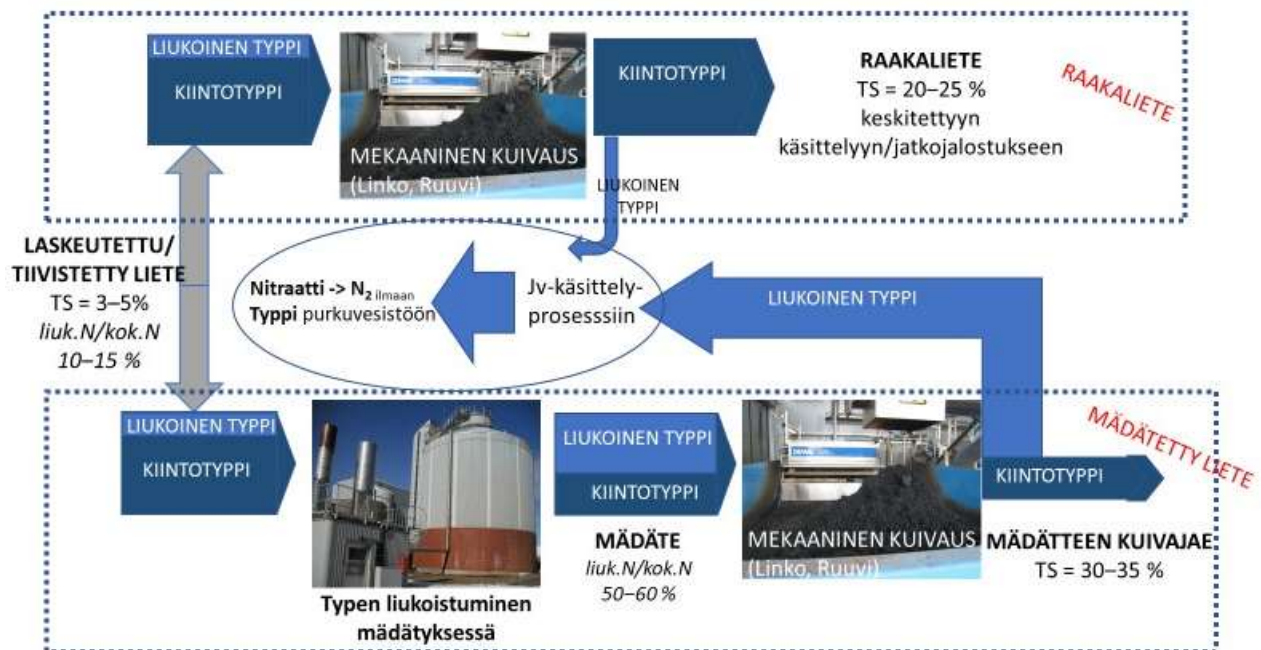
Näytteenottojen ja laboratorioanalyysien perusteella todettiin, että tarkastelun kohteena olleilla lietemädättämöillä mädätteen mekaanisessa kuivauksessa erottuvan rejektiveden mukana noin puolet lietteen sisältämästä typestä palautuu takaisin jäteveden käsittelyprosessiin, kun raakalietteen kuivauksessa puhdistamolle palautuvan typen osuus kokonaistypestä on vain noin 10–15 %. Puhdistamolle palautuvan

typen määrään merkittävimmin vaikuttava tekijä on se, kuinka paljon lietteen tyypestä on liukoissa muodossa, ja jonkin verran vaikuttaa myös kuinka korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen liete mekaanisesti kuivataan. Kuvassa 6 on havainnollistettu näiden tekijöiden vaikutusta puhdistamolle palautuvan lietteen määrään. Loppuosa lietteen tyypestä on mekaanisen kuivauksen kiintojakeessa.



Kuva 6. Rejektivedessä olevan (puhdistamolle palautuvan) tyypimäärän osuus lietteen kokonaistypestä, riippuen lietteen liukoisen tyypin osuudesta ja mekaanisella kuivauksella saavutettavasta lietteen kuiva-ainepitoisuudesta (TS 20 % ja 35 %).

Harvalla lietemädättämöllä on rejektiveden käsittelyteknologiaa, jolla tyypeä saataisiin poistettua rejektivedestä. Lisäksi tyypillisiä lietemädättäjätoimia operoidaan alhaisilla kuiva-aineilla, ilman sisäistä laimennuskiertoa, jolloin rejektiveden tyypipitoisuus jää suhteellisen alhaiseksi, tyypillisesti n. 1 g N/L tasolla. Sisäistä rejektivesikiertoa (syötteen laimennukseen) hyödyntävillä biokaasulaitoksilla rejektiveden tyypipitoisuus on selvästi korkeampi, n. 4–5 g N/L, joka helpottaa tyypin talteenottoa rejektivedestä.



Kuva 7. Puhdistamolietteen typen vaihtoehtoiset reitit raakalietteen tai mädätetyn lietteen mekaanisen kuivauksen kautta rejektiveen ja kiintojakeeseen.

Mädätyksen aikana typpi liukoistuu ja tällöin mädätetyn lietteen mekaanisessa kuivauksessa noin puolet mädätteen tpestä päätyy rejektiveen (kuva 7). Raakalietteen mekaanisessa kuivauksessa puolestaan vain n. 10–15 % tpestä päätyy rejektiveen.

Järkki-hankkeen tarkastelujen perusteella koko Suomen tasolla raakalietteiden rejektivesien mukana jätevedenpuhdistusprosessiin palautuva typpimäärä on noin 400 tN/a ja mädätteiden rejektivesien mukana puhdistamon kiertoon palautuva typpimäärä on noin 1 400 tN/a. Nämä typpimäärät kuormittavat puhdistamoja, aiheuttavat lisäilmastuksen tarvetta, typpioksiduulipäästöjä ja mahdollisesti tarpeen hiilen lähteen syötölle. Rejektiveden typen talteenotto tai poisto vaatii merkittäviä investointeja soveltuvaan teknologiaan. Lisäksi jätevesiperäistä tpeä menetetään kierrosta niistä raakalietteistä, jotka kuljetetaan mädätettäväksi muualle biokaasulaitoksiin, joissa ei ole typen talteenottoa. Suomessa puhdistamolietteistä mädätetään kaikkiaan n. 80 % joko puhdistamojen yhteydessä tai ulkopuolisissa biokaasulaitoksissa. Jos tpeä ei oteta näiden mädätteiden rejektivedestä talteen, menetetään sitä vuosittain noin 2 400 tN/a.

3.1.2 Logistiikan mallintaminen

Hankkeessa kehitettiin MATLAB-ohjelmointiympäristössä sovellus, joka laski eri sijaintien ja skenaarioiden kuljetusvaativuuden. MATLAB-ohjelmakoodi on julkaistu osoitteessa <https://github.com/hamkuas/jarkki>. Sovelluksesta toteutettiin Polar Analytics Oy:n alihankintana myös suppeampi, mutta helppokäyttöisempi, AnyLogic-ympäristössä toimiva sovellus, joka voidaan jakaa selaimessa toimivan pilvipalvelun ja mahdollistaa käyttäjien omien kuljetusskenaarioiden testaamisen. Sovellukseen tarjotaan oletuksena Järkki-hankkeen tuloksina syntyneet skenaariot, mikä visualisoi hankkeen logistiikan mallinnustyötä. AnyLogic-sovellus julkaistaan joulukuussa 2022.

Taulukossa 4. on esitetty 300 kilometrin etäisyysrajoituksen (etäisyys puhdistamolta keskitettyyn laitokseen) vaikutusta ajettuihin kilometreihin ja kerättyyn kokonaisuudessaan massa. Useimmissa skenaarioissa rajoitus vähentää ajettujen kilometrien määrää suhteessa enemmän kuin vastaavaa massaa jää keräämättä. Ratkaisuisa kilometriraja on huomioitu kuljetettavien kuormien laskennassa kullekin ratkaisulle erikseen eli ilman rajoitusta ja rajoituksella on laskettu (mahdollisesti) eri ratkaisut kuljetuskilometri määrässä. Taulukoidut ratkaisut ovat osa valmistelemaa analyysiä eli poikkeavat lähtöoletuksiltaan lopullisista lukemista.

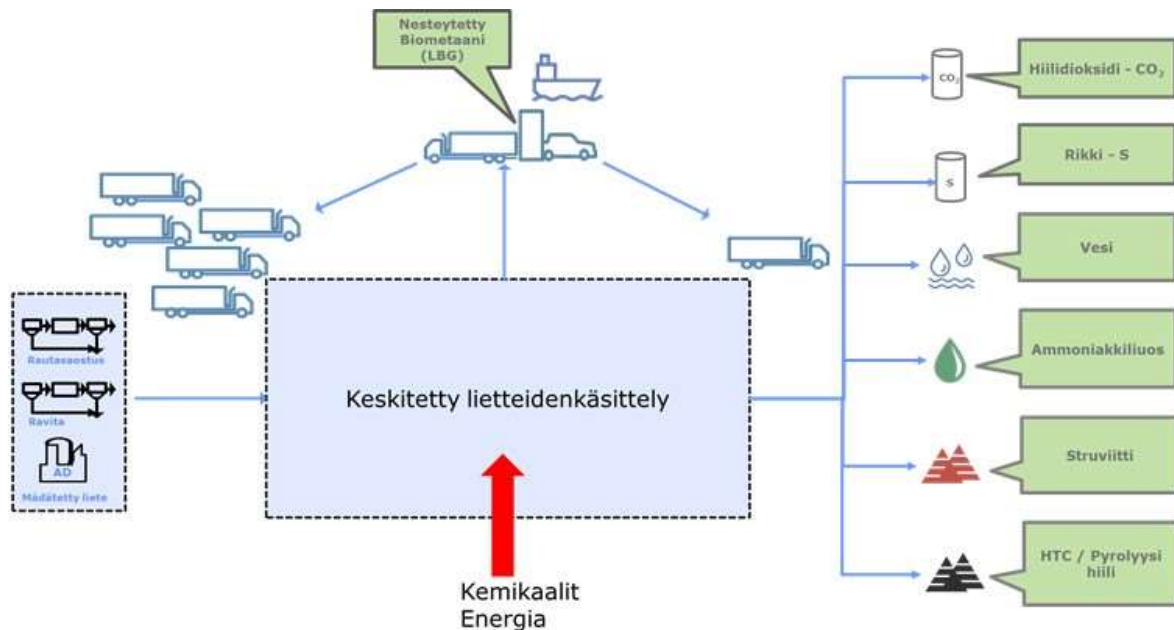
Taulukko 4. (A) on skenaarion tunnus. (B) on ajetus kilometrit ilman rajoitusta, (C) ajetus kilometrit 300 km etäisyysrajoituksen kanssa ja (D) sarakkeen arvo on montako prosenttia rajoituksen kanssa ajetus kilometrit ovat rajoittamattomasta kilometrimäärästä. Vastaavasti (E) on kerätty massa yhteensä ilman rajoitusta, (F) rajoituksen kanssa ja (G) montako prosenttia rajoituksen kanssa kerätty massa on ilman rajoitusta kerätystä massasta. Tunnuksat NYK: nykyisen kaltainen puhdistamojen jakauma, RAA: raakalietepainottunut lietteen kuljetus keskitettyyn laitokseen, KUI: tehostetusti kuivatetun lietteen kuljetus, TUL: mahdollinen lähitulevaisuuden skenario perustuen puhdistamojen oletettuihin ylläpitopäätöksiin, RAV: RAVITA-prosessin laajamittainen käyttöönotto puhdistamoilla.

(A)	(B) Kilometrit yhteensä ei km-rajaa	(C) Kilometrit yhteensä 300 km rajoitus	(D)	(E) massa yhteensä ilman km-rajaa	(F) massa yhteensä 300 km rajoitusta	(G)
2 NYK	3 919 143	3 195 783	82 %	1 210 680	1 121 760	93 %
4 NYK	3 055 908	2 562 508	84 %	1 210 680	1 152 720	95 %
2 RAA	4 218 398	3 557 694	84 %	1 469 520	1 399 230	95 %
4 RAA	3 098 756	2 895 949	93 %	1 469 520	1 446 480	98 %
2 KUI	3 111 357	2 607 122	84 %	957 870	895 950	94 %
4 KUI	2 352 125	2 150 415	91 %	957 870	934 110	98 %
2 TUL	3 194 048	2 690 558	84 %	1 010 250	957 420	95 %
4 TUL	2 349 999	2 194 272	93 %	1 010 250	993 780	98 %
2 RAV	3 182 258	2 611 367	82 %	1 091 340	1 022 220	94 %
4 RAV	2 293 061	2 133 658	93 %	1 091 340	1 074 780	98 %

3.2 Keskitetty laitoskonsepti

Järkki-hankkeen keskeisenä tavoitteena oli kehittää markkinoilla olevista, tai sinne lyhyellä aikavälillä kehittyvistä teknologioista keskitetty jätevesilietteiden käsittelykonsepteja, joissa yhdistyvät jätevesilietteiden ravinteiden kierrätys- ja energian talteenottoratkaisut. Ohjaavana tekijänä konseptien kokoonpanossa oli rajaus, että laitokselta lähtee ulos ainoastaan konsentroituja tuotteita (Kuva 8). Esimerkiksi nykyistä linkokuivattua mädätysjäännöstä ei katsottu Järkki-hankkeen rajauksessa lopullisena tuotteena, vaikka sille soveltuvia käyttökohteita onkin maataloudessa, maisemoinnissa ja muussa viherrakentamisessa – jälkimmäisissä ravinteet eivät tule välttämättä optimaalisesti hyödynnettyä. Kuvassa 8 on esitetty keskitetyn konseptin potentiaalisia tuotteita – jatkokäytön kannalta hankkeessa on kuitenkin keskitytty biometaaniin, typpituotteisiin, fosforituotteisiin ja hiilituotteisiin. Struviitin (magnesium ammonium fosfaatti) saostus vaatii rejektiveden runsaasti liuenutusta fosfaattia. Tämä ei ole mahdollista, mikäli jäteveden puhdistuksessa käytetään rauta- tai alumiinikemikaaleja fosforin saostamisen. Rautakemikaalin käyttö sitoo myös tehokkaasti rikkiä, jolloin biokaasun rikkivety (H_2S) -pitoisuus jää alhaiseksi – helpottaen biokaasun jalostusta. RAVITA-prosessia käytettäessä jätevedenpuhdistamon rauta- tai alumiinikemikaalien käyttö loppuu, mahdollistaen fosforin talteenoton rejektivedestä struviittina. Samalla biokaasun

rikkivetyypitoisuus nousee merkittävästi ja rikkivety täytyy poistaa ennen jalostusta biometaaniksi. Rikkivedyn poistoon on useita teknologisia vaihtoehtoja, ja rikki voidaan myös ottaa talteen alkuainerikkinä.



Kuva 8. Hankkeen tavoite – ulos vain konsentroituja tuotteita sekä esimerkki mahdollisista tuotteista.

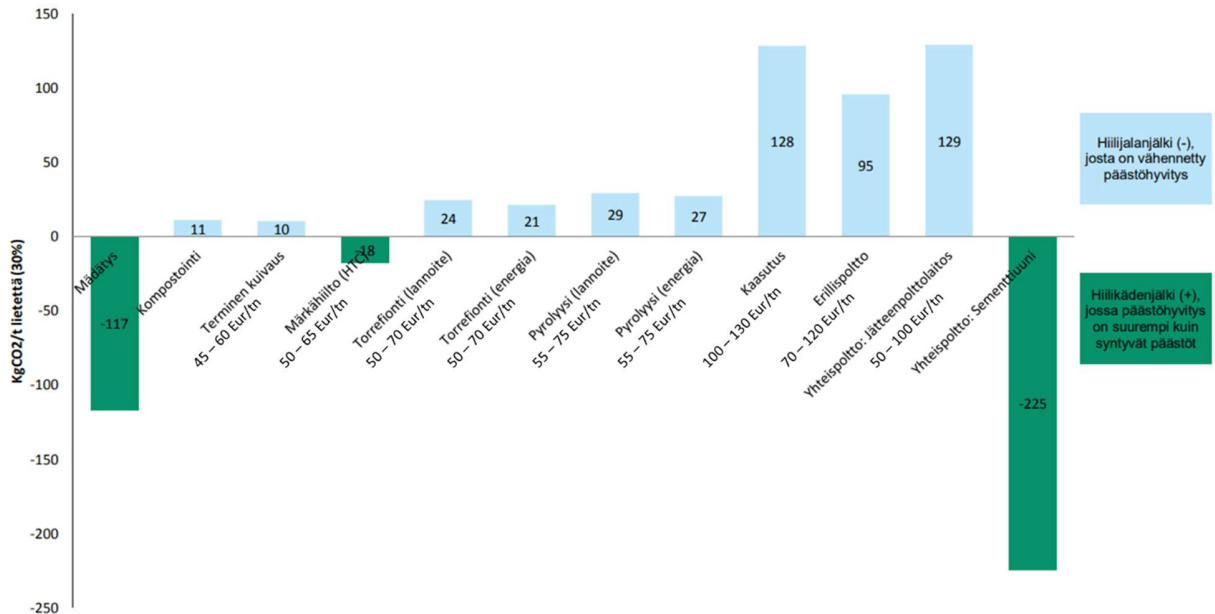
Keskitetty laitoskonsepti koostuu useista osaprosesseista, jotka valittiin aiempien selvitysten sekä hankkeessa pidettyjen työpajojen keskusteluiden perusteella.

Keskeisenä lähtötietona prosessien valinnassa käytettiin julkaisua Puhdistamolietteiden termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen (Pöyry Finland 2019). Kuvassa 9. on summattu termisten lietteenkäsittelymenetelmien etuja ja haittoja (Pöyry Finland 2019). Kuvaan on Järkki-hankkeen toimesta lisätty typen kierrätys ja hiilen sidonta, joilla molemmilla nähdään olevan merkittävä arvo jätevesilietteiden käsittelyssä. Kuvassa 10. on termisten käsittelyiden hiilijalanjälki ja – kädenjälki sekä termisten käsittelymenetelmien suuntaa antava kokonaiskustannus, sisältäen investointi ja käyttökustannukset mutta ei eri tuotteista saatavia tuloja tai niiden kustannuksia (Pöyry Finland 2019).

Yhdistämällä jätevesilietteen mädätykseen termiset käsittelyt/kuivausmenetelmät sekä kehittyneet rejektivesien käsittelyteknologiat, voidaan suunnitella konsepteja, jotka vastaavat Järkki-hankkeen tavoitteeseen; ulos vain tuotteita. Hankkeessa tarkasteltaviksi valikoituivat märkäpyrolyysi (HTC) ja pyrolyysi – koska näistä teknologioista oli myös olemassa tarkimmat lähtötiedot HSY:n ja Gasumin aiemmista hankkeista. Myös terminen kuivaus, torrefiointi sekä erillispoltto ovat potentiaalisia käsittelyteknologioita, joista kuivaus rajautui tästä työstä, koska sen ei katsota merkittävästi vähentävän lietteen orgaanisia haitta-aineita tai mikromuoveja. Toisaalta kuivaus on osaprosessina mukana pyrolyysi konseptissa ja myös erillispolttokonseptissa. Torrefiointista saatavilla olevat lähtötiedot olivat puutteellisia suomalaisista puhdistamolietteistä. Erillispoltosta tehtiin konseptitason massatase kuvaus, mutta koska poltossa menetetään lietteiden hiili, rajattiin se resurssien vuoksi pois pidemmälle viedystä suunnitelmista. Pöyry Finland 2019) työssä selvästi parhaan hiilikädenjäljen antanut lietteenpoltto sementtiuunissa on erittäin kiinnostava lietteenkäsittelyn vaihtoehto, mutta se rajattiin tarkastelusta koska se on erityisen spesifi yhteen teolliseen tuotantoprosessiin, ja siinäkin tyyppi, fosfori sekä hiili käytännössä menetetään.

	Terminen kuivaus	Märkähiilto (HTC)	Torrefiointi	Pyrolyysi	Kaasutus	Erillispoltto	Yhteispoltto
Fosforin kierrätys							
	Kyllä, (maanparannusaine)	Vähän referenssejä	Kyllä, (maanparannusaine)	Kyllä, (maanparannusaine)	Vaatii jatkokäsittelyä, tekniikoita olemassa mutta ei käytössä	Vaatii jatkokäsittelyä, tekniikoita olemassa mutta ei käytössä	Ei
Typen kierrätys							
	Kyllä, orgaaninen tyyppi säilyy (maanparannusaine)	Kyllä, orgaaninen tyyppi säilyy (maanparannusaine)	Kyllä, orgaaninen tyyppi säilyy (maanparannusaine)	Kyllä, osa orgaanisesta tuestä säilyy (maanparannusaine)	Ei	Ei	Ei
Haitta-aineiden poisto (mikromuovit, orgaaniset yhdisteet, raskasmetallit)							
	Ei merkittävää vaikutusta orgaanisiin haitta-aineisiin, raskasmetalleihin eikä mikromuoveihin	Orgaanisista haitta-aineista poistuu osa (tieto puutteellista), voi syntyä haitallisia hajoamistuotteita, ei vaikuta muoveihin. Raskasmetallit sitoutuvat HTC-hiileen.	Tieto puutteellista. Orgaanisista haitta-aineista poistuu osa, raskasmetallit sitoutuvat hiileen	Orgaanisista haitta-aineista valtaosa poistuu. PAH-yhdisteitä voi muodostua. Muovit poistuvat. Raskasmetallit sitoutuvat hiileen, elohopea poistuu	Orgaanisista haitta-aineet poistuu. PAH-yhdisteitä voi muodostua. Muovit poistuvat. Raskasmetallit säilyvät tuhkassa, elohopea poistuu.	Orgaaniset haitta-aineet poistuvat. Muovit poistuvat. Raskasmetallit säilyvät tuhkassa, elohopea poistuu.	Orgaaniset haitta-aineet poistuvat. Muovit poistuvat. Raskasmetallit säilyvät tuhkassa, elohopea poistuu. Tuhkan ominaisuudet määräävät jatkokäytön.
Hiilensidonta							
	Hiili säilyy jakeessa, eikä muunnu prosessissa. Hiilen pysyvyys esimerkiksi maaperässä vaatii lisätietoa	Suurin osa hiilestä säilyy (osin muuntuneena) HTC-hiilessä, osa liuennenna nestejakeessa. HTC-hiilen pysyvyys vaatii lisätietoa.	Osa hiilestä säilyy pyrolyysihielessä, osa päättyy tuotekaasuun. Hiili muuntuu pysyvämpään muotoon	Osa hiilestä säilyy torrefioidussa hiilessä, osa päättyy tuotekaasuun. Hiili muuntuu pysyvämpään muotoon	Hiili palaa hiilidioksidiksi	Hiili palaa hiilidioksidiksi	Hiili palaa hiilidioksidiksi

Kuva 9. Puhdistamolietteiden termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen (Pöyry Finland 2019) termisten käsittelyiden vertailu täydennettynä Järkki-hankkeen subjektiivisella arviolla hiilen sidonnasta ja typen kierrätyksestä. Järkki-hankkeessa keskityttiin HTC- ja pyrolyysitekologioihin.



Kuva 10. Jätevesilietteen käsittelymenetelmien hiilijalanjälki tai -kädenjälki, sekä arvioitu käsitteilykustannus (Pöyry Finland 2019).

3.2.1 Biokaasuprosessi

Keskitetyn lietteenkäsittelylaitoksen osaprosessit on summattu kuvassa 17.

Biokaasuntuotanto on mukana kaikissa konsepteissa, koska sen avulla voidaan tuottaa kestävästi monikäyttöistä uusiutuvaa energiaa biometaanin muodossa. Lisäksi biokaasuprosessissa jätevesilietteeseen sitoutunut orgaaninen typpi mineralisoituu suurelta osin liukoiseksi ammonium-typeksi, mahdollistaen sen talteenoton. Keskitettyssä lietteenkäsittelyssä sisään tuleva liete on melko kuivaa, noin 20 %TS, vaati laimennuksen valitussa märkämädätysmallissa. Laimennusvesinä käytetään HTC nestejätettä (HTC konseptissa), rejektivettä, sekä lauhdevettä rejektiveden käsittelystä. Sisäisillä kierroilla voidaan nostaa nestejätteen ammoniumtyppipitoisuutta, joka helpottaa sen talteenottoa. Toisaalta lauhdevettä, jossa typpeä ei ole, tarvitaan jotta typpi ei nouse biokaasuprosessin biologialle haitalliselle tasolle. Biokaasuprosessin mallintamisessa käytetyt oletukset on annettu Liitteessä 3. Mallinnus tehtiin Gasumin kehittämällä mallinnustyökalulla.

3.2.2 Biokaasun jalostus ja nesteytys

Biokaasun jalostusteknologiaksi valittiin amiinipesu, jonka jälkeen metaani nesteytetään nesteytetyksi biometaaniksi (liquified biometane gas, LBG). Amiinipesu mahdollistaa hyvälaatuisen biometaanin nesteytysvaiheeseen, lisäksi amiinipesulla on alhainen metaanipäästö (metaanislip, 0,1 %) ja sen avulla voidaan ottaa talteen myös biokaasun hiilidioksidi korkeassa pitoisuudessa (>95 % CO₂). Hiilidioksidin jatkokäyttö vaatisi todennäköisesti myös nesteytyksen, mutta sitä ei mallinnettu, vaan Järkki-hankkeessa laskettiin ainoastaan hiilidioksidin tuotantopotentiaali. Lähitulevaisuudessa hiilidioksidille todennäköisesti avautuu useita käyttökohteita esimerkiksi P2X ratkaisuihin. Jalostuksen ja nesteytyksen mallintamisessa käytetyt oletukset on annettu liitteessä 3.

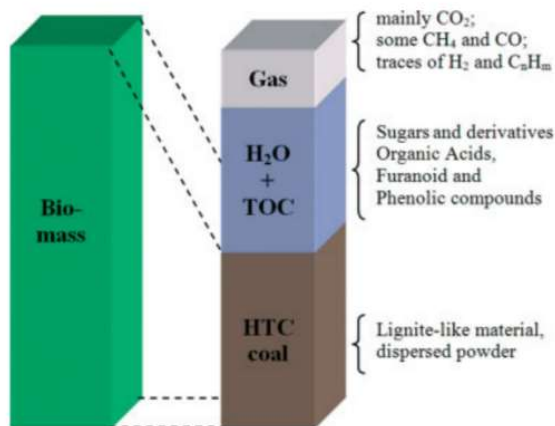
3.2.3 Omakäyttökattila

Hankkeessa oletettiin, että laitos tekee kaiken omalämpöenergian biokaasulla ja pyrolyysiskenaariossa pyrolyysikaasulla tyydytetään mädätteen kuivausenergian tarve. Oman biokaasun käyttö ei kuitenkaan välttämättä ole ainakaa taloudellisesti järkevin vaihtoehto, vaan esimerkiksi sähkön käyttö mahdollistaisi huomattavasti suuremman myytävän biometaanin tuoton. Omaenergian käyttöä ei tässä suunnittelussa ole optimoitu, joten siinä voi piillä merkittäviä säästö/optimointi mahdollisuuksia, ja esimerkiksi lämpöpumppujen käyttö voi muuttaa energiatasetta siten että LBG tuotanto kasvaa ja kokonaisenergiatarve pienenee. Omakäyttöenergian mallintamisessa käytetyt oletukset on annettu liitteessä 3.

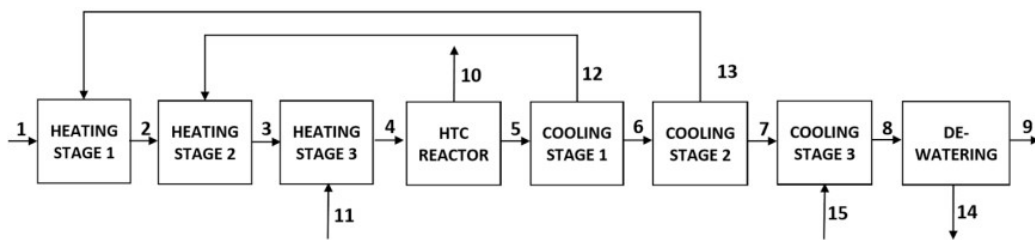
3.2.4 Mädätetyn lietteen terminen käsittely – märkähiilto, HTC

Märkähiillon tarkempi tekninen kuvaus ja soveltuvuus jätevesilietteilte sekä mädätysjäännökselle on löydettävissä julkaisusta *Puhdistamolietteiden termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen* (Pöry Finland 2019). Märkähiilto (Hydrothermal Carbonization, HTC) on prosessi, jossa kosteaa biomassaa käsitellään paineessa ja hapettomissa oloissa noin 180–250 °C lämpötilassa. Märkähiillolla käsitelty liete voidaan kuivata mekaanisesti jopa n. 50–70 % kuiva-ainepitoisuuteen, sitä voikin pitää varsin enegiatehokkaana kuivausmenetelmällä. Kuivan jakeen ohella prosessissa syntyy nestefraktio (rejekti) ja kaasufraktio (Kuva 11). Prosessissa nestejakeeseen liukenee orgaanista ainetta, josta voidaan tuottaa biokaasua kun nestejae kierrätetään takaisin biokaasuprosessiin. Käsittelyn viipymäaika on yleensä muutamia tunteja, tyypillisesti n. 2–5 h. (Pöry Finland, 2019; Ylivainio et al. 2019).

HTC prosessin etuna on, että mädätysjäännös tarvitsee kuivata vain n. 15% TS-pitouslyuteen (tai kuivempi liete voidaan laimentaa sisäisellä vesikierrolla) ennen prosessia ja se, että sen avulla voidaan lisätä typen ja fosforin liukoistumista sekä biokaasun tuotantoa. HTC prosessin lämmitys voidaan tehdä niin sanotulla märkähapetuksella, jolloin reaktoriin syötetään happea joka regoi tuottaen lämpöä. Vaihtoehtoisesti lämmitys voidaan tehdä ulkoisella lämmöllä. Ulkoisen, biokaasulla tuottu lämpö valittiin Järkki-hankkeen mallinnukseen. HTC mallintaminen perustui Gasumin Turun biokaasulaitoksne mädätysjäännöksellä aiemmin tehtyjen kokeiden tuloksiin (Kuva 12). Käytetyt oletukset on annettu liitteessä 3. HTC laitoksia on rakennettu teollisessa mittakaavassa mm. Saksaan (Terranova), myös Suomessa on C-Greenin demonstraatiolaitos Stora Enson tehtaalla Heinolassa ja sillä käsitellään metsäteollisuuden jätevesilietettä. Olemassa olevien HTC laitosten kapasiteetti on noin 7 000–25 000 t/a biomassaa tai lietettä (n. 30 % TS) ja taloudellisuuden kannattavuuden rajaksi on esitetty vähintään 10 000 t/a 30 % TS (Pöry Finland 2019).



Kuva 11. HTC prosessin vaikutus biomassaan (suuntaa-antava)



#	Medium	Mass flow (t/h)	Temperature (C)	Pressure (bar)	Load (kW)	Dry solids (%)	Ash (%)
1	Sludge	1,00	20	0	-	25	43
2	Sludge	1,02	83	0	-	24,4	43
3	Sludge	1,20	167	8,8	-	20,9	43
4	Sludge	1,20	250	39,8	-	20,9	43
5	Sludge	1,17	250	39,8	-	20,7	43
6	Sludge	1,02	175	8,8	-	23,9	43
7	Sludge	0,93	120	2	-	26	43
8	Sludge	0,93	60	0	-	26	43
9	Filter cake	0,22	60	0	-	63	54,2
10	Offgas	0,02	250	39,8	-	-	-
11	Heating	-	-	-	90,3	-	-
12	Steam	0,16	175	8,8	121,6	-	-
13	Steam	0,08	120	2	62,6	-	-
14	Filtrate	0,66	60	0	-	9,7	14,4
15	Cooling	-	-	-	48,4	-	-

Balance calculation results for dewatered digestate

Kuva 12. HTC prosessin massa- ja energiatase Turun mädätetylle jätevesilietelle (Fifth Innovation, Gasum)

3.2.5 Mädätetyn lietteen terminen käsittely – Pyrolyysi

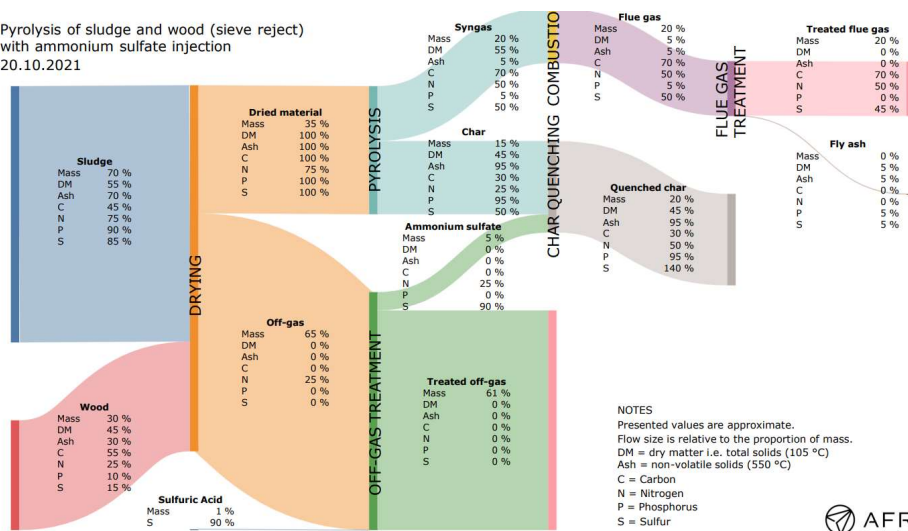
Pyrolyysin tarkepi tekninen kuvaus ja soveltuvuus jätevesilietteille sekä mädätysjäännökselle on löydetävissä julkaisusta *Puhdistamolietteiden termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen* (Pöyry Finland 2019). Pyrolyysillä tarkoitetaan termistä muuntamista hapettomissa olosuhteissa, kaasua- ja kiinteään fraktioon sekä pyrolyysikaasuksi, josta voidaan kondensoida hiilivetyjä pyrolyysiöljyiksi. Ennen pyrolyysiä mädätetty jätevesiliete täytyy kuivata termisesti noin 90 % kuivaainepitoisuuteen (linkokuivasta n. 30 % kuiva-ainepitoisuudesta). Pyrolyysissä syntyy pyrolyysikaasua, joka sisältää mm. hiilivetyjä, hiilimonoksia ja vetyä. Kaasu voidaan polttaa lämmöksi. Gasumin ja HSY:n aiemmissa hankkeissa mm. Gasumin Turun pyrolyysipilotilla on havaittu että pelkän jätevesilietteen pyrolyysissä syntyvän kaasun energiapitoisuus ei ole riittävä kattamaan energiaintensiivistä lietteen termistä kuivausta. HSY:n pilotlaitteistolla on haettu tarvittava puolisäys prosessiin, jotta pyrolyysikaasun energialla voidaan kuivata liete. Puumateriaali voi olla puuhaketta, jätepuuta tai esimerkiksi laitosmittakavan kompostoinnin seulontarejektia.

Pyrolyysilaitoksissa käytettävä tekniikka on olemassa olevaa ja tunnettua tekniikkaa, jota on käytetty muiden materiaalien käsittelyssä vuosikymmenien ajan. Lietettä käsitteleviä täyden mittakaavan pyrolyysilaitoksia on maailmalla tiittävästi käytössä muutamia kokoluokassa 2 500–100 000 tn/a linkokuivattua lietettä (25-30 %TS). Useimmat olemassa olevista laitoksista niistä tähtää kiinteän polttoaineen tuotantoon. Järkki- hankkeen pyrolyysin mallintaminen pohjautuu HSY:n demonstraatiolaitoksessa suoritettuihin koeajoihin (Kuvat 13 ja 14) ja käytetyt oletukset on annettu liitteessä 3.



Kuva 13. HSY:n pilot-mittakaavan pyrolyysilaitoksen prosessit.

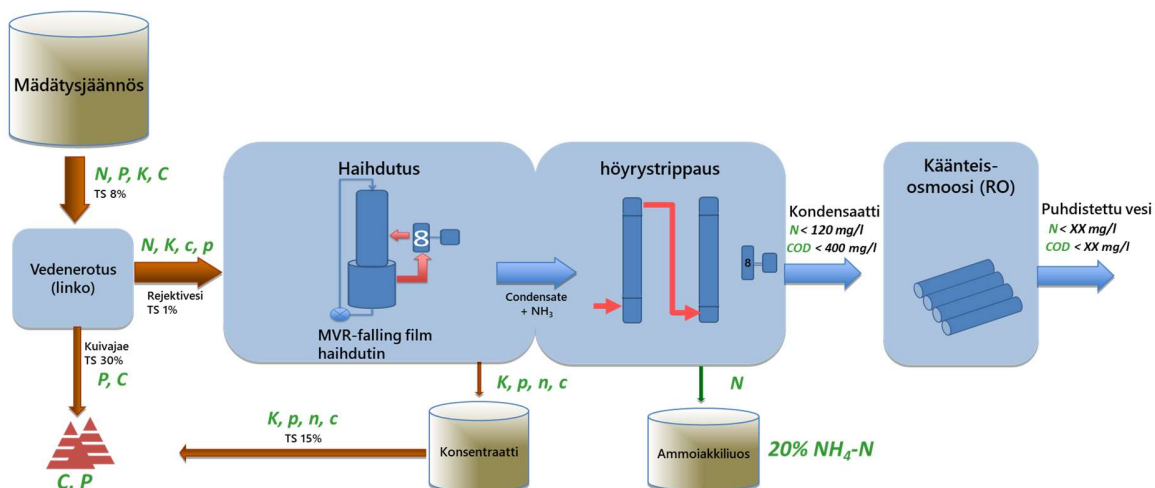
Pyrolysis of sludge and wood (sieve reject)
with ammonium sulfate injection
20.10.2021



Kuva 14. HSY:n pilot-laitoksen massatase. Huom; Järkki-hankkeessa käytettiin kuvasta poiketen puumateriaalina puuhaketta eikä kompostin seulontarejektiiä.

3.2.6 Rejektiveden käsittely

Rejektiveden käsittelymenetelmäksi mallinnettiin yhdistetty haihdutus-strippausprosessi, joka on ollut käytössä Turun biokaasulaitoksella vuodesta 2019. Haihdutuksen lauhde käsitellään lisäksi käänteisosmoosilla (reverse osmosis, RO), joka mahdollistaa puhdistetun lauhteen luvittamisen ljoin uuntoon laskukelpoiseksi jos vedelle ei ole käyttöä esimerkiksi alueen teillisuudessa. Käänteisosmoosi on ollut käytössä haihdutuksen jälkeen Gasumin Vehmaan biokaasulaitoksella jo useita vuosia, ja osoittautuen luotettavaksi. Kuvassa 15 on esitetty haihdutus-strippaus sekä käänteisosmoosiprosessit.

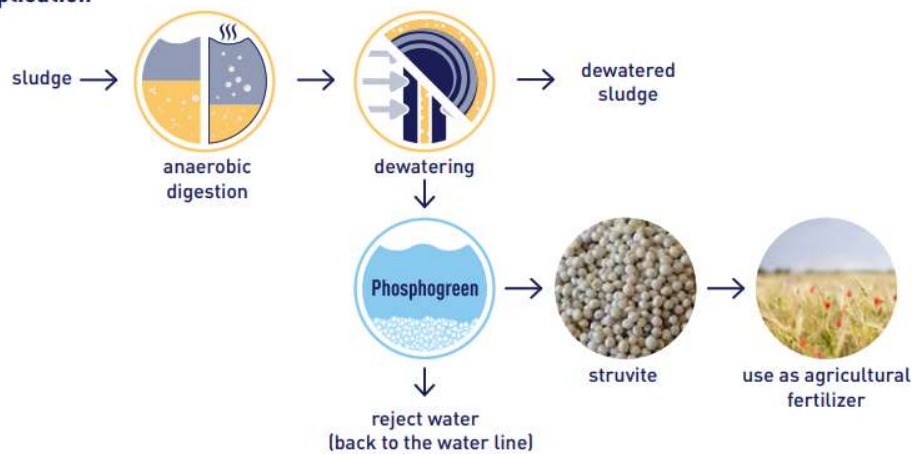


Kuva 15. Mädätysjäännöksen vedenerotus linkolla ja nestejakeen (rejektiveden käsittely haihdutus-strippaus teknologiolla). Haihdutuksen lauhde jatkokäsitellään käänteisosmoosilla. N (typpi), P (fosfori), K (kalium) ja C (hiili) kuvavat pääravinteiden jakautumista prosessissa. Iso kirjain tarkoittaa pääosaa aineesta virtaa ja pieni kirjain pientä osaa jakeesta.

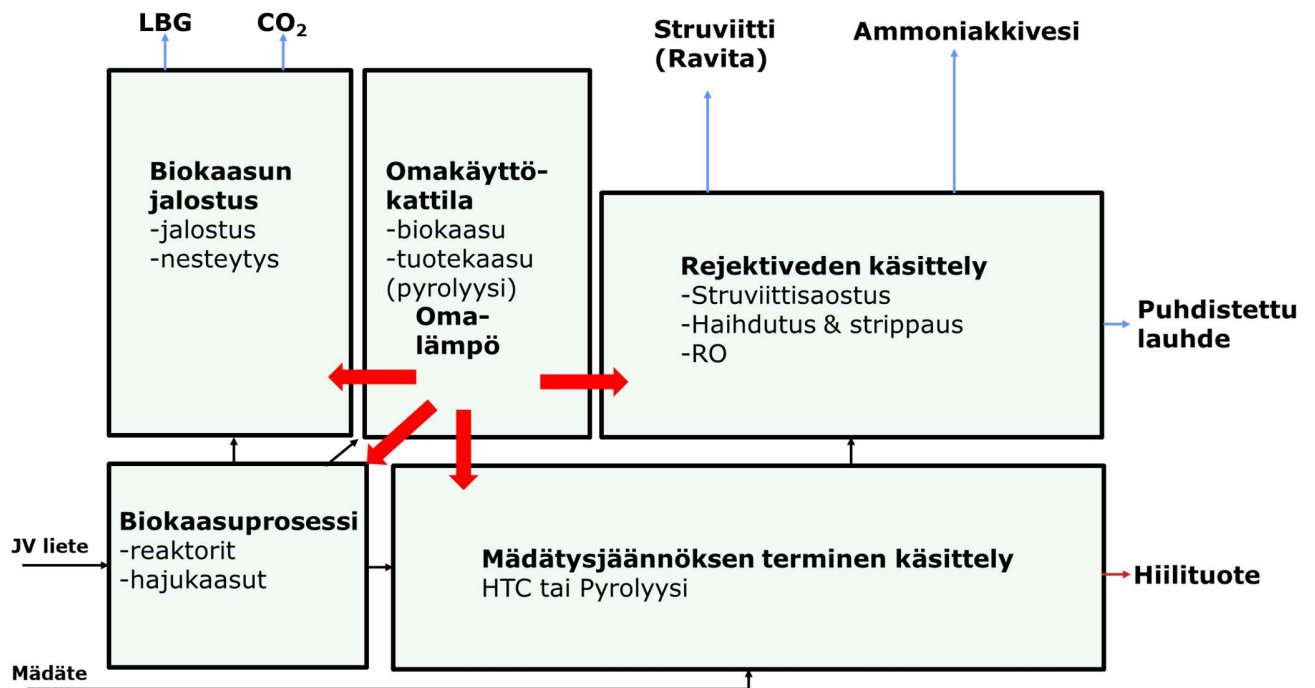
3.2.7 Struviitin saostus

RAVITA-skenaariossa jätevesilietteen fosforin oletetaan olevan selvästi helpommin liukoistuvaa kuin raudalla tai alumiinilla saostetussa jätevesilietteessä. Anaerobinen biokaasuprosessi mineralisoi orgaaniseen ainekseen sitoutunutta fosforia ja vapauttaa sitä fosfaattina. Struviittia (NH_4MgPO_4) saostuu itsestään, kun vedessä on riittävästi ammoniumia, fosfaattia ja magnesiumia – usein saostuminen on haitallista, sen tukkiessa putkistot. Struviittia voidaan kuitenkin saostaa myös hallitusti. Rejektivesissä on ylimäärin ammoniumia, joten fosfaatti sekä magnesium ovat yleensä rajoittavia tekijöitä. Vapaan fosfaatin lisääntyessä esimerkiksi RAVITA-prosessin jälkeen tulee struviitin saostus kiinnostavaksi, mutta magnesiumin lisäys tarvitaan. Struviitin saostus on maailmalla ja Euroopassa käytössä olevaa teknologiaa erityisesti biologista osforinpoittoa käyttävien jätevedenpuhdistamoiden lietteiden mädätyksen jälkeen. Kuvassa 16 on esitetty yhden teknologian kaupallisen tarjoajan, Suezin Phosphogreen prosessin pääperiaate.

example of application

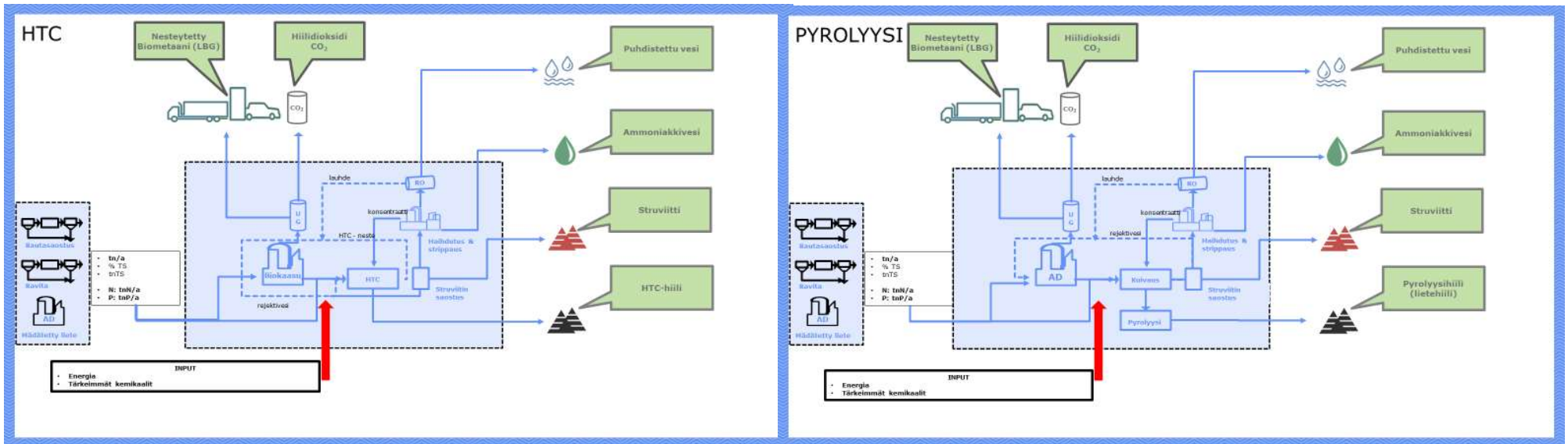


Kuva 16. Suez:n Phosphogreen prosessin pääperiaate



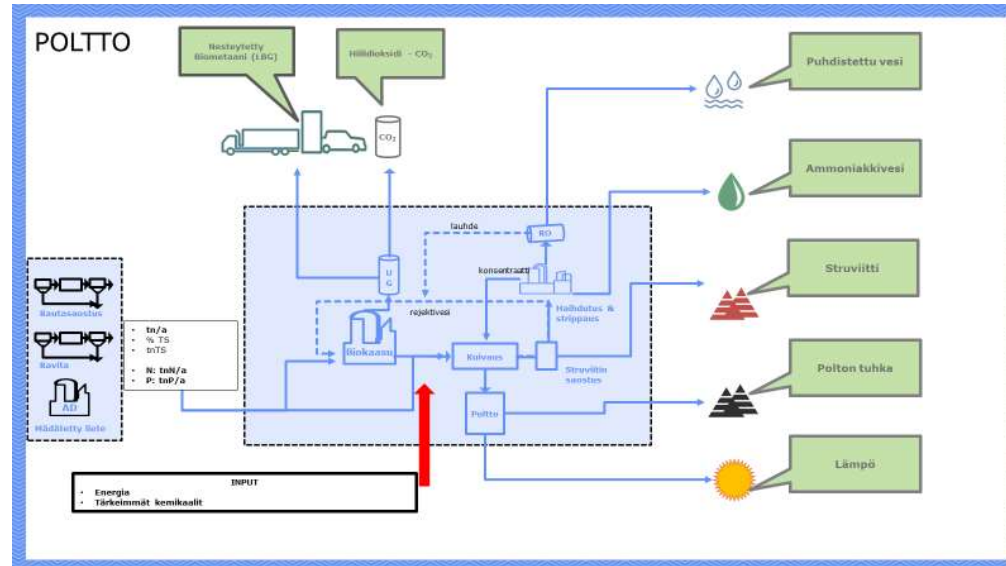
Kuva 17. Keskitetyn lietteidenkäsittelykonseptin yksinkertaistetut erillisprosessit.

Kuvissa 18–20 on esitetty prosessikuvat HTC-, pyrolyysi- ja polttokonsepteista. Näistä HTC- ja pyrolyysikonsepteille mallinnettiin massataseet eri lieteskenaarioilla (Raakaliete, Nykytilanne, Tulevaisuus RA-VITA). Päätulokset on summattu taulukossa 4. Kuvissa 21–30 on esimerkkinä esitetty pääpiirteiset massataseet Raakalieteskenaarioille, kun Suomen kaikki jätevesilietteet käsiteltäisiin joko kahdessa tai neljässä laitoksessa, käyttäen HTC tai pyrolyysiteknologiaa. Kuvat 21–30 on esitetty suurempina Liitteessä 6.



Kuva 18. HTC-konseptin prosessikuva. Struviitin saostus mukana vain RAVITA-lietteelle.

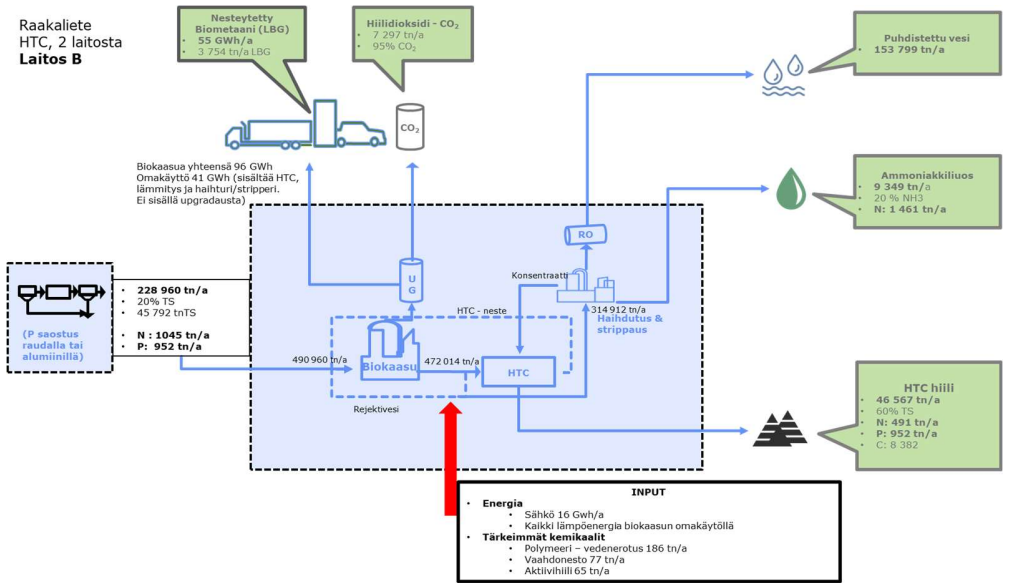
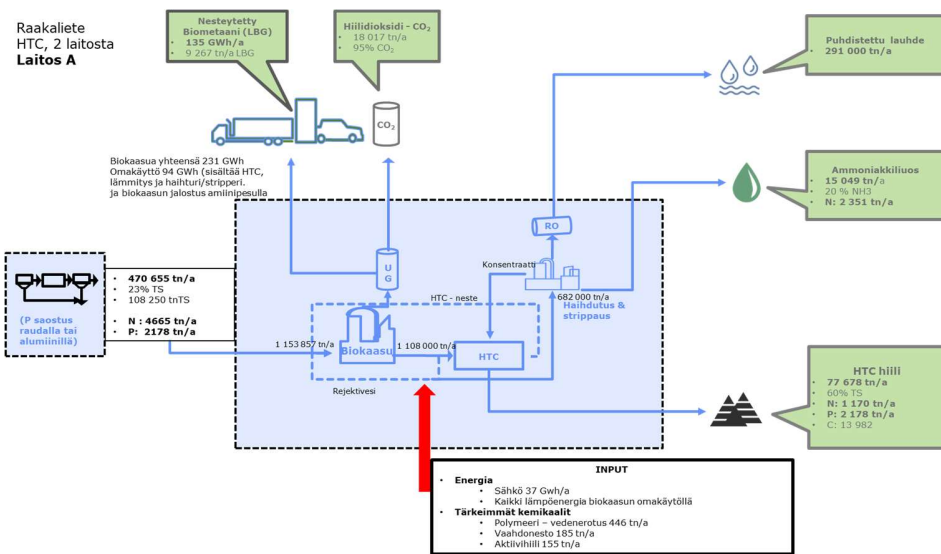
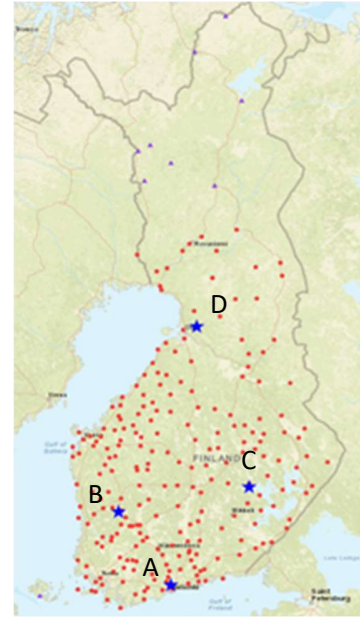
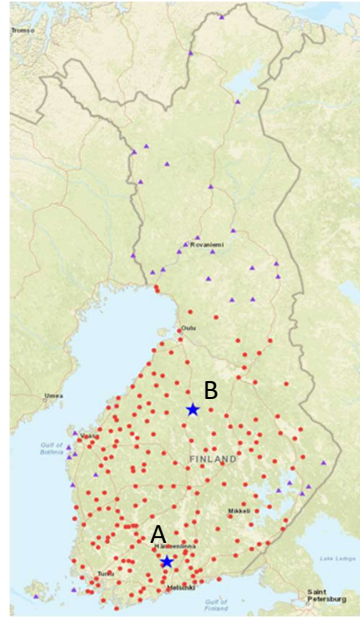
Kuva 19. Pyrolyysikonseptin prosessikuva. Struviitin saostus mukana vain RAVITA-lietteelle.



Kuva 20. Polttokonseptin prosessikuva. Polttokonseptin massatasetta ja elinkaarilaskentaa ei tehty tästä pidemmälle.

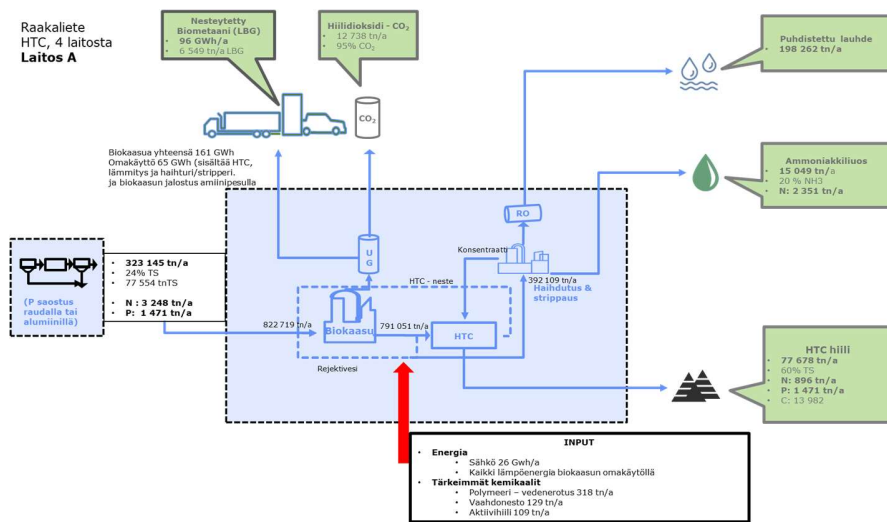
Taulukko 5. Skenaarioiden massataseet summattuna

Skenaario (kaikissa 300 km rajoite)		Raakaliete, HTC		Raakaliete, Pyrolyysi		Nykytilanne, HTC		Nykytilanne, Pyrolyysi		Tulevaisuus, HTC		Tulevaisuus, Pyrolyysi		Ravita, HTC		Ravita, Pyrolyysi	
Laitosten lukumäärä	kpl	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Liettonnit																	
Raakaliete	tn/a	699 615	723 240	699 615	723 240	395 775	405 720	395 775	405 720	361 935	380 115	361 935	380 115	184 140	201 645	184 140	201 645
Mädäte	tn/a	0	0	0	0	165 105	170 640	165 105	170 640	116 775	116 775	116 775	116 775	0	0	0	0
Ravita liete	tn/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	326 970	335 745	326 970	335 745
Yhteensä	tn/a	699 615	723 240	699 615	723 240	560 880	576 360	560 880	576 360	478 710	496 890	478 710	496 890	511 110	537 390	511 110	537 390
Ravinteet lietteissä																	
typpi	tnN/a	6 611	6 808	6 611	6 808	5 157	5 298	5 157	5 298	5 276	5 479	5 276	5 479	6 472	6 780	6 472	6 780
fosfori	tnP/a	3 133	3 234	3 133	3 234	3 067	3 163	3 067	3 163	3 086	3 190	3 086	3 190	1 450	1 559	1 450	1 559
Biokaasun tuotanto																	
Yhteensä	MWh/a	326 115	335 718	301 381	310 696	177 546	182 045	154 427	157 942	209 919	222 209	186 373	197 829	273 970	288 190	234 856	267 584
Laitosten omakäyttö	MWh/a	135 783	138 028	75 675	91 381	95 988	99 133	46 270	42 194	96 455	101 863	43 046	46 852	109 965	141 866	59 298	62 678
Kuljetuskilometrit																	
Lietteet	km/a	3 557 694	2 895 949	3 557 694	2 895 949	3 195 784	2 562 508	3 195 784	2 562 508	2 690 558	2 194 272	2 690 558	2 194 272	2 611 367	2 133 658	2 611 367	2 133 658
Tuotteet	km/a	706 482	836 299	310 684	279 097	527 805	610 922	192 656	223 247	551 474	528 023	216 477	180 968	424 988	548 054	221 629	246 567
Kuljetukset yhteensä	km/a	4 264 176	3 732 248	3 868 378	3 175 046	3 723 589	3 173 430	3 388 440	2 785 755	3 242 032	2 722 295	2 907 035	2 375 240	3 036 355	2 681 712	2 832 997	2 380 225
LBG kulutus kuljetuksiin	MWh/a	17 766	14 891	16 117	13 228	15 501	13 221	14 105	11 606	13 507	11 341	12 111	9 895	13 283	150 370	11 802	9 916
Tuotteet ulos																	
ammoniakkivesi	tn/a	31 540	31 643	16 207	16 289	22 443	23 488	8 375	8 531	23 419	24 675	9 329	9 855	30 432	32 384	13 713	16 021
hiilituote	tn/a	157 393	162 671	62 812	64 761	152 690	157 811	61 535	63 151	155 853	161 943	59 710	62 168	133 125	139 722	51 125	62 771
struviitti	tn/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3 037	3 015	2 553	2 613
LBG	MWh/a	172 571	181 617	209 594	206 092	64 333	69 196	94 055	104 145	99 632	108 285	131 219	141 086	150 370	134 768	163 760	194 995

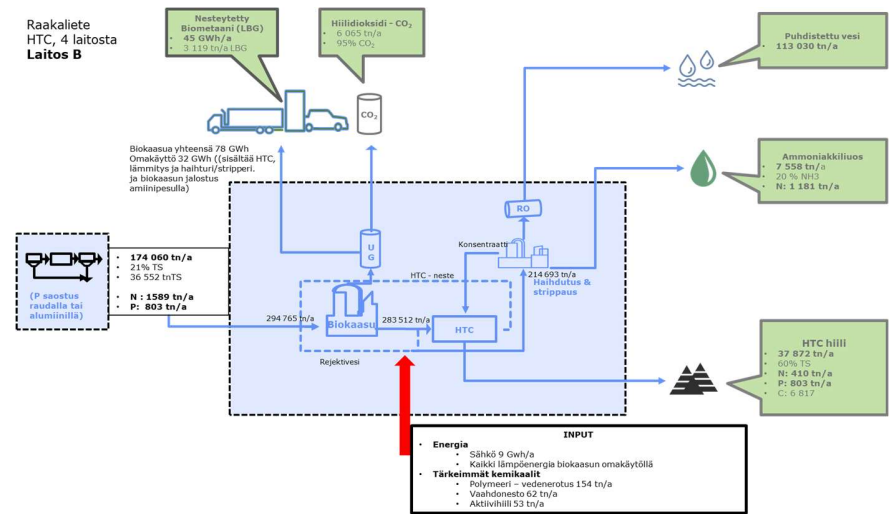


Kuva 21 Raakaliete, HTC konsepti; kaksi keskitettyä laitosta, eteläisen laitoksen massatase.

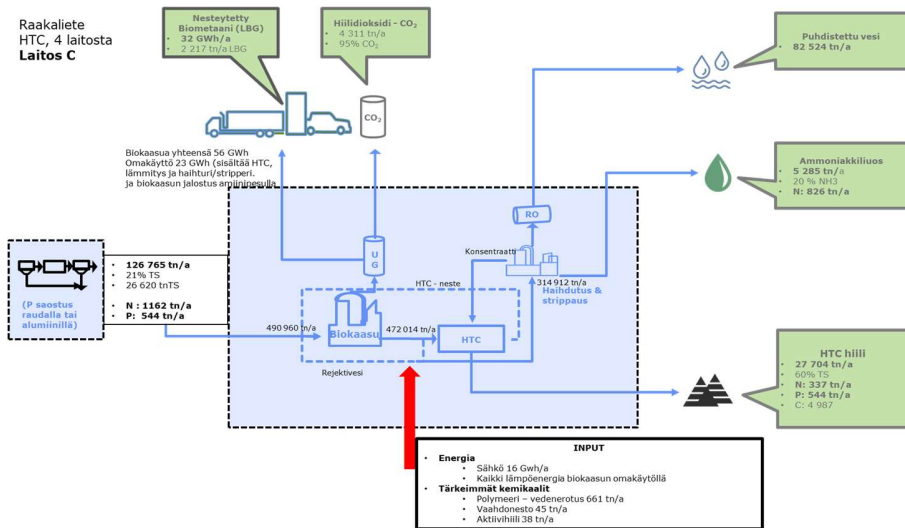
Kuva 22 Raakaliete, HTC konsepti; kaksi keskitettyä laitosta, pohjoisen laitoksen massatase.



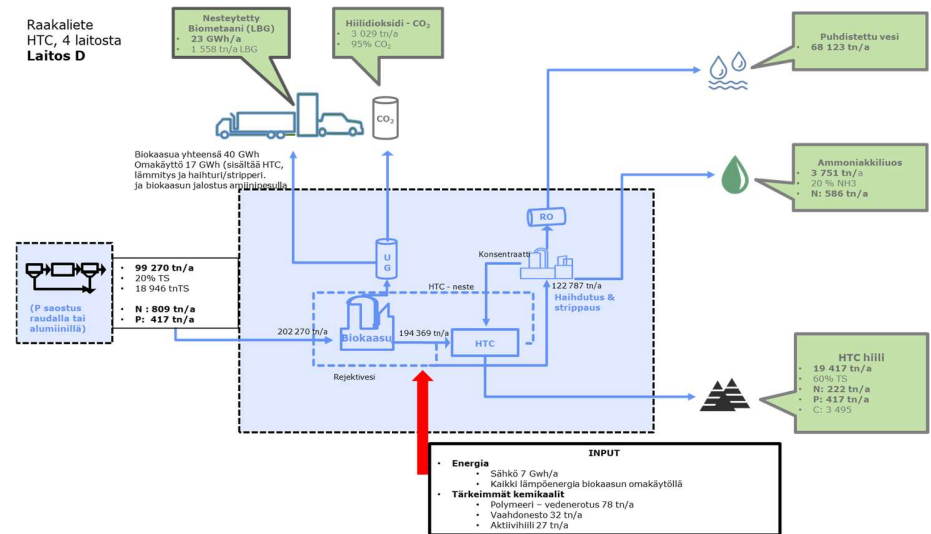
Kuva 23 Raakaliete, HTC konsepti; neljä keskitettyä laitosta, eteläisen laitoksen massatase



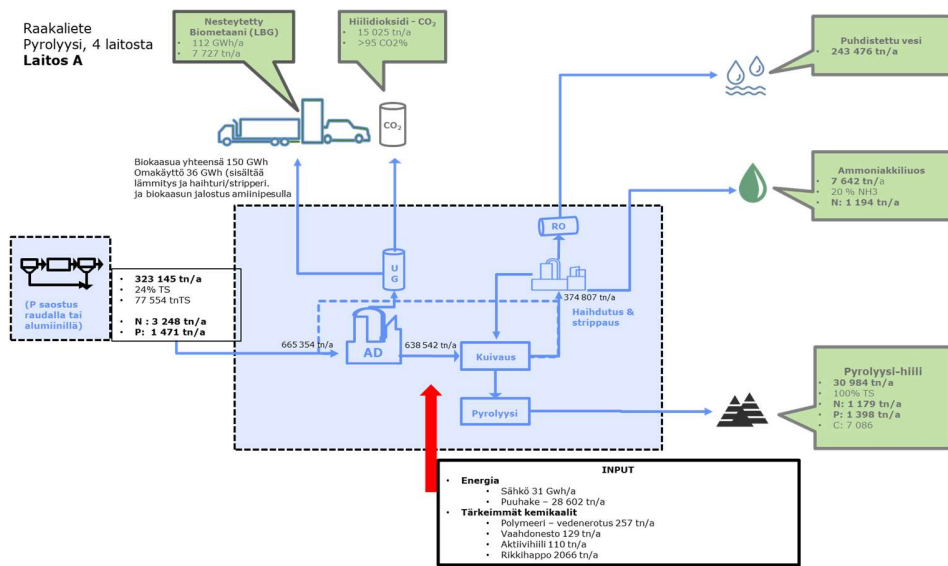
Kuva 24 Raakaliete, HTC konsepti; neljä keskitettyä laitosta, läntisen laitoksen massatase



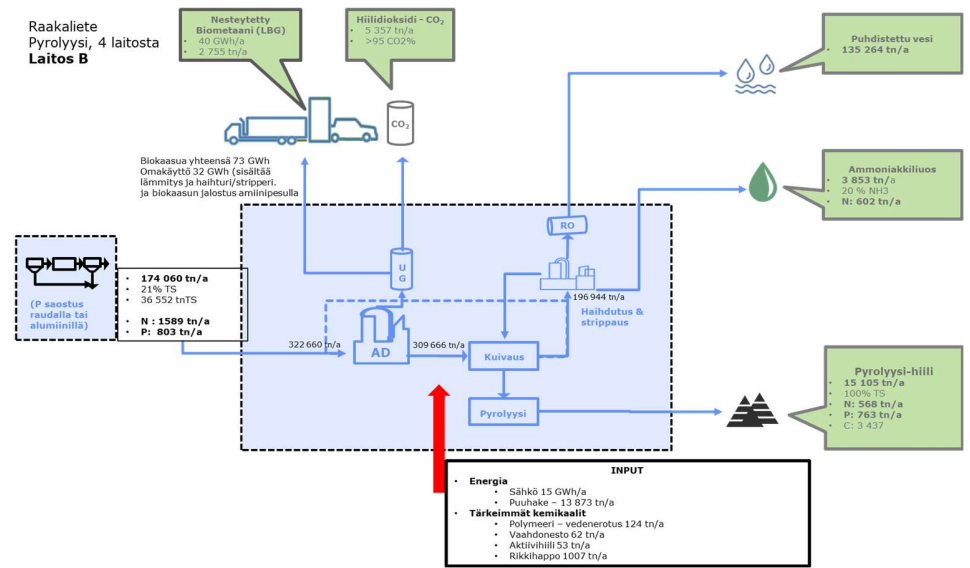
Kuva 25 Raakaliete, HTC konsepti; neljä keskitettyä laitosta, itäisen laitoksen massatase



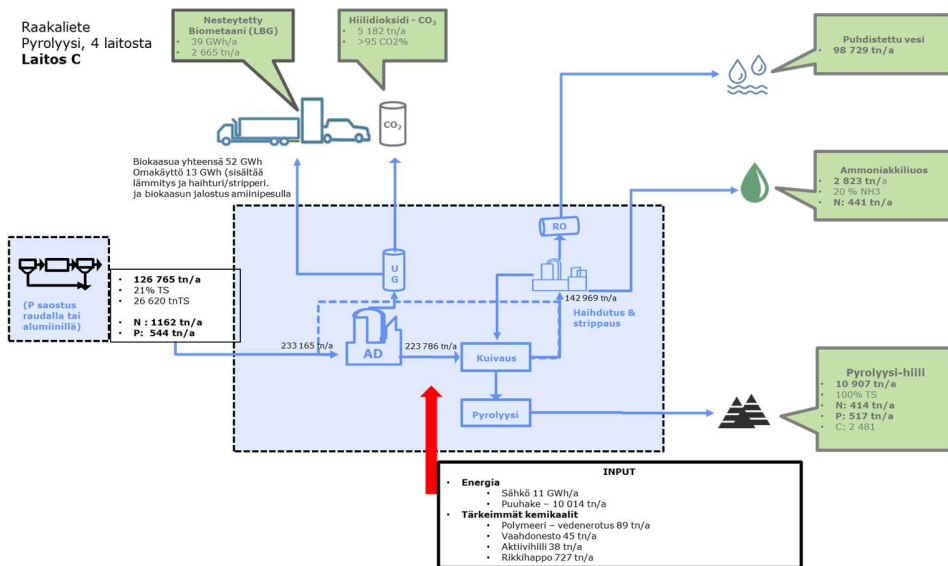
Kuva 26 Raakaliete, HTC konsepti; neljä keskitettyä laitosta, pohjoisen laitoksen massatase



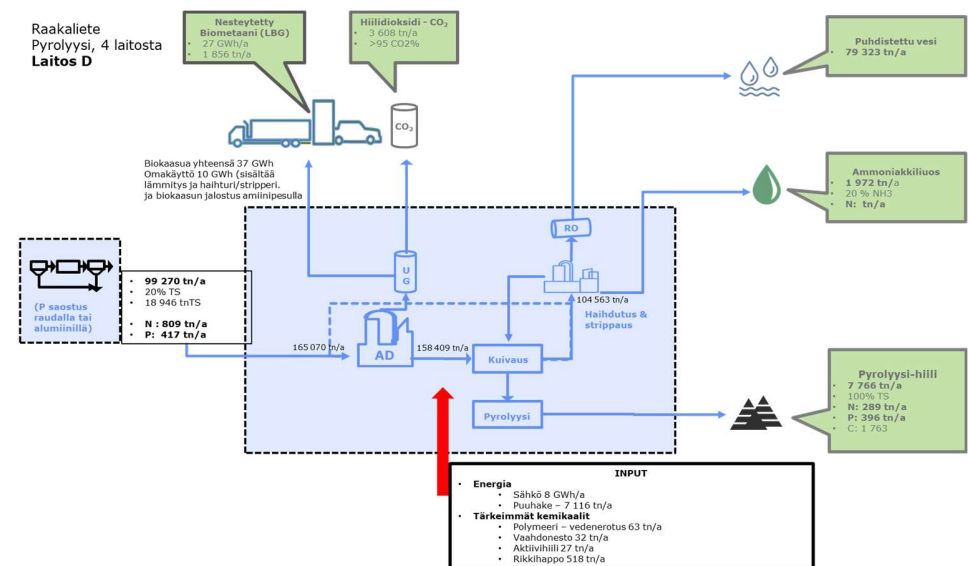
Kuva 27 Raakaliete, pyrolyysi-konsepti; neljä keskitettyä laitosta, eteläisen laitoksen massatase



Kuva 28 Raakaliete, pyrolyysi-konsepti; neljä keskitettyä laitosta, läntisen laitoksen massatase



Kuva 29 Raakaliete, pyrolyysi-konsepti; neljä keskitettyä laitosta, itäisen laitoksen massatase



Kuva 30 Raakaliete, pyrolyysi-konsepti; neljä keskitettyä laitosta, pohjoisen laitoksen massatase

3.3 Lopputuotteet

Lopputuotteiden volyymit eri skenaarioissa, tyyppi, fofori ja hiilipitoisuudet on annettu Liitteessä 3. Tämä osio täydentyy valmiiseen tulosjulkaisuun

3.4 Elinkaaritarkastelu

Hankkeen elinkaaritarkasteluista on erilliset raportit (Liitteet 4 ja 5). Summaus elinkaaritarkastelun tärkeimmistä tuloksista täydentyy valmiiseen tulosjulkaisuun.

4 Tulosten hyödyntäminen

Järkki-hankkeessa tarkennettiin aiemmin kerättyjä tietoja Suomen yhdyskuntajätevesilietteiden määristä ja ominaisuuksista. Erityisesti uutta tietoa tuotettiin käsittelemättömän jätevesilietteen tyyppipotentiaalista. Tämä tieto on ensiarvoisen tärkeää päätöksenteossa ja tulevissa jatkohankkeissa sekä suunnittelutyössä.

Hankkeessa mallinnettiin keskitettyjen jätevesilietteiden potentiaalisia sijainteja ja niihin kytkeytyvä logistiikkatarpeet lietteiden ja tuotteiden kuljetuksessa. Lisäksi hanke tuotti massa- ja energiataseet. Laitoskonsepteilla, joilla voidaan täysimääräisesti hyödyntää jätevesilietteiden ravinteet.

Työ luo pohjan alan toimijoille tai konsortioille edetä laitosten esisuunnitteluun ja liiketoimintasuunnitelman laskentaan joka lopulta määrittää konseptien elinkelpoisuuden ja käsittelykustannukset puhdistamolietteille. Gasum tulee hyvin todennäköisesti tekemään tulosten pohjalta karkean liiketoimintasuunnitelman sopivaksi katsomalleen laitoskokesimerkille. Teknisesti Järkki-hankkeessa suunnitellut konseptit ovat periaatteessa toteuttamiskelpoisia heti tai lähitulevaisuudessa, joskin etenkin suurimmat laituskoot olisivat maailmanlaajuisesti isoja / suurimpia toteutettuja ainakin HTC teknologian osalta. Taloudellinen toteuttamiskelpoisuus sen sijaan riippuu monesta tekijästä, mm. tuotteiden arvosta. Jos esimerkiksi hiili-tuotteeseen sidotusta hiilestä saa tulevaisuudessa CO₂-kompensaatiota päästökauppamekanismien avulla, voi se tehdä pyrolyysi ja HTC konsepteista hyvinkin kiinnostavia.

Suunnitellut laitokset ovat varsin monimutkaisia osaprosessien yhdistelmiä, etenkin verrattuna nykyisiin lietteenkäsittelymenetelmiin. Jätevesilietteiden käsittely on tärkeä osa maamme vesihuoltoa, joten laitosten käytettävyys nousee suureksi riskitekijäksi, joka on varmistettava riittävällä ja osaavalla henkilökunnalla, sekä varasuunnitelmilla, jos osa prosesseista ei toimi.

Järkki-hankkeen kaltaisten keskitettyjen laitosten eteneminen on hankalaa, koska isot laitokset ovat isoja investointeja (karkeasti lähtien 50 MEur luokasta ylöspäin), ja sellaisen toteuttaminen vaatii toteuttajalle varmuuden raaka-aineesta, eli tässä tapauksessa jätevesilietteestä, tällaisen varmuuden saaminen on haastavaa markkinoilla. Todennäköistä onkin, että teknologiat etenevät tässä hankkeessa mallinnetuista pienemmän pään kokoluokissa. Myös lainsäädäntä, kannustimet ja markkinaehtoinen lannoitteiden tai esimerkiksi hiilen arvon kasvu kannustaa toteuttamaan kehittyneitä ratkaisuja jätevesilietteiden resursien paremmaksi hyödyntämiseksi.

Järkki-hankkeessa käsiteltiin ainoastaan yhdyskuntapuhdistamoiden lietteitä, mutta yhdistämällä konseptiin myös teollisuuden, erityisesti metsäteollisuuden puhdistamolietteet – kasvaisi raaka-aine potentiaali vielä merkittävästi.

5 Hankkeen vaikutukset

5.1 Arvio hankkeen ympäristö- ja työllisyysvaikutuksista

Koska Järkki on luonteeltaan tutkimushanke, ei sillä ole välittömiä ympäristö- tai työllisyysvaikutuksia. Hanketta voidaan kuitenkin pitää esisuunnitteluna mahdollisia tulevaisuuden keskitettyjä lietteenkäsittelylaitosten rakentamista varten. Toteutuessaan tällaisilla laitoksilla olisi huomattavia työllisyysvaikutuksia niin suunnittelu, rakennus- kuin käyttövaiheessa - huomioiden koko arvoketjun ja siihen tarvittavan logistiikan.

Järkki-hankkeen toteutus työllisti HAMKissa yhteensä noin 18 htkk ja Gasumilla 7 htkk, 1.1.2021-30.11.2022 välisenä aikana.

5.2 Muut vaikutukset

Hanke syvensi entisestään tietoa Suomessa syntyvistä jätevesilietteistä ja niiden ominaisuuksista (kuiva-aine ja ravinnepitoisuudet), sekä puhdistamoilla puhdistusprosessiin palautuvan typen määrästä ja merkityksestä esimerkiksi typpioksiduulipäästöjen myötä.

6 Viestinnän toteutuminen ja tulokset

Viestinnän tavoitteena oli välittää hankkeen myötä tuotettu uusi tieto tehokkaasti sekä osallistaa ja sitouttaa keskeiset sidosryhmät mukaan konkreettisesti uudistamaan jätevesilietteidenkäsittelyä Suomessa. Viestinnällä haluttiin lisätä hankkeen vaikuttavuutta välittämällä aktiivisesti tietoa tutkimustuloksista ja hankkeen etenemisestä. Tärkeimpiä viestinnän kohderyhmiä olivat mm. jätevedenpuhdistamot (vesihuoltolaitokset, teollisuus), lietteiden käsittelijät, kierrätysravinnetuotteiden jatkojalostajat ja käyttäjät, teknologia- ja laitetoimittajat sekä viranomaiset ja järjestöt. Lisäksi viestittiin lietteiden ja kierrätysravinteiden tutkimuksen ja tuotekehityksen parissa toimiville. Hankkeen viestinnän vaikuttavuutta seurattiin keräämällä palautetta tapahtumissa ja työpajoissa.

6.1 Yhteenveto hankkeen viestintätoimista

Hankkeelle laadittiin viestintäsuunnitelma, jota noudatettiin aktiivisesti koko hankkeen ajan. Suunnitelmaa päivitettiin ja täsmennettiin hankkeen edetessä mm. lisäämällä työpajojen toteutuksia ja osallistumisia ajankohtaisiin tapahtumiin.

Hankkeelle perustettiin verkkosivut (www.hamk.fi/jarkki) heti hankkeen käynnistyessä. Verkkosivut sisältsivät hankkeen perustietojen lisäksi ajankohtaista tietoa hankkeen etenemisestä ja tuloksista, mm. työpajoissa tuotettu aineisto. Sivustolle koottiin myös tiedot hankkeessa tuotetuista julkaisuista. Sivusto on saatavilla kaksi vuotta hankkeen päättymisen jälkeen.

Ajankohtaisista asioista viestittiin HAMKi:n ja Gasumin sosiaalisen median kanavilla Facebookissa ja Twitterissä. Sosiaalisen median viestinnässä pyrittiin tiiviiseen, mielenkiintoa herättävään kansantajuiseen tiedottamiseen. Viestinnässä pyrittiin hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan paitsi hanketoteuttajien myös sidosryhmien omia viestintäkanavia, mm. aktivoimalla someviestien edelleen jakamista. Myös alan keskeiset yhdistykset (Suomen Vesilaitosyhdistys, Suomen Biokierto ja Biokaasu) jakoivat hankkeen viestejä edelleen omilla tileillään.

Hankkeen alkamisesta laadittiin toukokuussa 2021 mediatiedotteet, jotka julkaistiin Gasumin ja HAMKin toimesta. Tutkimuksen tavoitteita ja hyötyjä esittelevä juttu julkaistiin HAMKin uutiskirjeessä marraskuussa 2021.

Hankkeen aikana järjestettiin suunnitellusti kolme työpajaa verkkototeutuksina. Työpajojen tavoitteena oli a) täydentää hankkeessa kerättävää lähtötietoa (TP1) b) täsmentää tarkasteltavia sijaintipaikka- (TP1) ja laitoskonseptivaihtoehtoja (TP2) c) pohtia uusien lopputuotteiden kaupallistamismahdollisuuksia (TP3) ja d) kokonaisuuden symbioosimahdollisuuksia. Myös lopputuotteiden laatu- ja hyväksyttävyyssnäkökoh- tien huomioiminen eri käyttökohteissa pidettiin tärkeänä osana työpajojen sisällössä. Tilaisuuksien sisältö- ja toteutussuunnittelua tehtiin yhteistyössä hankkeen asiantuntevan ohjausryhmän kanssa. Työpajojen aineisto on saatavilla hankkeen verkkosivuilla. Työpajat tavoittivat aiheesta kiinnostuneet hyvin. Ensimmäisessä työpajassa oli 29 osallistujaa, toisessa 40 ja kolmannessa 28. Vuoden 2022 loppuun alustavasti suunniteltu neljäs työpaja päätettiin korvata alkuvuodesta 2023 toteutettavalla hankkeen lopullisia tuloksia esittelevällä seminaarilla, koska tämän arvioitiin tavoittavan ja hyödyttävän kohderyhmiä paremmin.

Hankkeelle tuotettiin esitysdiagrammeja, raportti- ja artikkelityyppisiä tuotoksia, joita hyödynnettiin alan tilaisuuksissa. Hankkeen lopussa tuotettiin infovideo jätevesilietteiden ravinteiden kierrätyksestä, huomioiden Järkki-hankkeen painotus eli keskitetyn käsittelyn hyödyt. Infovideota varten tehtiin kuvauksia hankkeen

yhteistyökumppanien puhdistamoilla: HS-Veden Paroisten puhdistamolla ja Riihimäen Veden puhdistamolla, sekä Gasumin Topinojan biokaasulaitoksella.

Hankkeen tuloksia esiteltiin alan kansallisissa ja kansainvälisissä tilaisuuksissa:

- Vesihuoltopäivät 11.-12.5.2022, Vaasa. Jätevesilietteiden ravinnepotentiaali ja ravinteiden tehokkaampi kierrätys, Satu Tiainen
- Open Bioeconomy Week Conference 18.-19.5.2022, Hämeenlinna. Increasing Nutrient Recycling and Biogas Energy Potential Usage from Wastewater Sludges through Centralized Treatment, Marianne Honkasaari
- Nordic Biogas Conference 3.-5.10.2022, Linköping, Ruotsi. [Konferenssiposteri](#): Increasing nutrient recycling and biogas production from sewage sludges through centralized treatment, Olli Koskela, Satu Tiainen, Maritta Kymäläinen, Viljami Kinnunen

Hankkeen aikana julkaistiin kaksi opinnäytetyötä:

- Saara Järvi (HAMK Bio- ja elintarviketekniikan koulutus, 2022) AMK-opinnäytetyö: Jätevesilietteiden ravinnetarkastelu. Case: HS-Vesi, Paroisten puhdistamo ja Riihimäen Vesi, Riihimäen puhdistamo
- Marianne Honkasaari (Aalto yliopisto, 2022) Diplomityö: Lietelogiikan mallinnus. On Optimization of the Logistics Related to Recycling of Nutrients in Wastewater Sludges

Hankkeen lopussa tuotettiin logistisen mallinnuksen työkaluja hyödyntävä visualisointityökalu, jolla käyttäjä voi laajentaa hankkeessa tehtyjen tulosten pätevyyttä myös sellaisiin skenaarioihin, joita hankkeessa ei toteutettu. Pohjana käyttäjälle ovat tuloksissa esitettävät optimaaliset ratkaisut valmiisiin skenaarioihin. Lähtö- ja sijaintitiedot ovat muokattavissa käyttäjän omien tarpeiden mukaan, joskin hieman rajoitetummin kuin täydellä MATLAB-työkalulla, joilla hankkeessa tuotetut tulokset on saatu. Julkisesti saatavilla oleva työkalu tukee hankkeen tulosten viestintää ja visualisointia. Työkalu toteutettiin alihankintana AnyLogic-ohjelmistolla ja työkalun julkisena pitämiseen hankittiin pilvipalvelun lisenssi yhden vuoden ajaksi. Työkalu toimii käyttäjän selaimessa ja laskee käyttäjän antamien lähtö- ja sijaintitietojen perusteella vaaditun kuljetussuorituksen.

6.2 Onnistumiset ja haasteet

Hankkeen viestintä toteutui pääosin suunnitellusti. Työpajat toteutettiin koronapandemian aiheuttamien kokoontumisrajoitusten vuoksi verkkototeutuksena. Haasteista huolimatta työpajojen osallistujamäärät olivat hyviä (28–40 osallistujaa per tapahtuma). Työpajojen työskentelysuuksissa käydyistä keskusteluista saatiin odotetusti lisätietoa hankkeen eteenpäin viemiseksi.

Aiheesta kirjoitettiin asiantuntija-artikkeli, jota tarjottiin Vesihuoltopäivien 2022 aikana ilmestyneeseen Vesihuolto-lehden teemanumeroon. Tätä tarjottua artikkelia ei hyväksytty julkaistavaksi. Hankkeella oli kuitenkin puheenvuoro tapahtumassa, joten tavoitellulle kohderyhmälle pystyttiin viestimään.

Viestintäsuunnitelman mukainen blogikirjoittelu jäi suunniteltua vähemmälle. Hankkeesta julkaistiin yksi vertaisarvioitu blogikirjoitus HAMK Beat –blogisivustolla. Hankkeessa on tuotettu paljon julkaisukelpoista aineistoa, jota ollaan kokoamassa loppuraporttijulkaisuun. Tuon pohjalta tiedottamista jatketaan. Tiedottaminen tulee valitettavasti hankeajkaan nähden jälkikäteen, sillä tulosten tuottaminen on jatkunut tiiviisti hankkeen loppuun saakka.

7 Talousraportti

Hankkeen kokonaisbudjetti oli 244 495 €. Siitä Gasumin osuus oli 81 500 € (33 %) ja HAMKin osuus 162 995 € (67 %). Budjetin mukainen YM:n rahoitusosuus oli 97 798 € (40 %), hankkeen toteuttajien omarahoitusosuus 130 698 €, josta Gasumin osuus 65 500 (27 % kokonaisbudjetista) ja HAMKin osuus 65 198 € (27 %). Muu suunniteltu rahoitus oli yritysrahoitusta HS-Vesi Oy:ltä ja Riihimäen Vesi Oy:ltä, molemmilta 8 000 € eli yhteensä 16 000 € (6 %).

Hankkeen toteutuneet kokonaiskustannukset olivat 211 095 € (86 % kokonaisbudjetista), josta Gasumin osuus 77 123 € ja HAMKin osuus 133 972 €. Ympäristöministeriön rahoitusosuus oli 40 %, eli 84 438 € (Gasumin 30 849 €, HAMKin 53 589 €) ja muun toteutuneen rahoituksen osuus oli 16 000 € (8 % hankkeen kokonaiskustannuksista).

Kokonaisbudjetista jäi käyttämättä 33 401 €. Hanketoimijoittain budjetin toteuma oli:

- Gasum: Budjetin alitus 4 377 € (5 % Gasumin hankebudjetista)
- HAMK: Budjetin alitus 29 023 € (18 % HAMKin budjetista)

Kokonaisbudjetin käytöstä tarkemmin seuraavana olevan, toimijakohtaisen budjetin tarkastelun yhteydessä.

7.1 Hämeen ammattikorkeakoulu, HAMK

HAMKin budjettiin tehtiin hankkeen loppuvaiheessa muutosesitys, joka käsiteltiin ohjausryhmäkokouksessa 10.10.2022. Muutoksessa siirrettiin noin 10 000 euroa palkkakulubudjetista matkakustannuksiin, välineisiin / laitteisiin sekä ostopalveluihin hankkeen suunniteltujen toimien mukaisten kustannusten kattamiseksi.

Edellä mainitusta palkkakululeikkauksesta huolimatta HAMKin budjetti alittui palkkakulujen osalta. Muutoksen jälkeisestä budjetoiduista suorasta palkkakulusta (80 297 €) jäi käyttämättä noin 20 %. Hankkeen aikana tarvittavaa todellista henkilötyömäärää ei pystytty hankkeen suunnitteluvaiheessa täysin arvioimaan, mikä selittää palkkakulujen alitusta. Logistisen simulointimallin ja laskentojen tekijä oli valmistusvaiheessa oleva Aalto-yliopiston opiskelija, jonka palkkakustannus jäi ennakoitua alhaisemmaksi. Tekijä oli erittäin osaava, mikä vähensi merkittävästi senioritekijän työn määrää. Hankkeen hankinnat olivat lähinnä laboratorioaineita ja pientarvikkeita sekä IT-kuluja (lisenssit). Matkakulut liittyivät hankkeen sidosryhmäviestintään ja käynteihin yhteistyöyritysten jätevedenpuhdistamoille.

7.2 Gasum

Gasumin budjettiin tehtiin loppuvaiheessa muutosesitys, jossa ostopalveluksi suunniteltu massa- ja energiatase sekä lay-out työn budjetti 10 000 € siirrettiin lakisääteisiin kuluihin ja tilintarkastuksen kuluihin.

Gasumin palkkakustannukset jäivät noin 20 % alkuperäisestä budjetista (40 000 €, ilman lakisääteisiä kuluja), joka johtui pitkälti valitettavista muutoksista Gasumin projektiryhmässätyöpaikan vaihdosten johdosta keväällä 2022. projektiryhmästä siirtyneiden henkilöiden työpanosta oli työsuunnitelmassa erityisesti vuodelle 2022 ja tätä ei täysin pystytty täysin paikkaamaan – ja erityisesti työpaketti 3; lopputuotteet, käyttö ja tuotteistaminen jouduttiin toteuttamaan suunniteltua suppeammin.

8 Johtopäätökset

Täydentyä kun tulosten analyysi ja tarkistus on valmis.

Yhteenvedo hankkeesta ja päätuloksista:

- Keskitetty jätevesilietteiden käsittelykonsepti, jossa kaikki Suomen jätevesilietteet käsitellään kahdessa tai neljässä laitoksessa on teknisesti toteutettavissa siten, että laitokselta tulee ulos ainoastaan tuotteita. Tuotteet olivat tässä selvityksessä ammoniakkivesi, HTC-hiili tai lietehiili (pyrolyysi), struviitti ja nesteytetty biometaanii (LBG). Lisäksi laitos tuottaisi puhdasta, talteenottokehoista hiilidioksidia, sekä puhdistettua lauhdevettä – joka sopii teollisuuden prosessivedeksi eikä tarvitse jatkopuhdistusta.
- Keskitetty laitos on energiaposiitiivinen, vaikka huomioidaan lietteiden sekä tuotteiden vaatimat kuljetukset. Keskitetyllä laitoksella on ilmastonmuutosta hillitsevä vaikutus (negatiivinen elinkaarren hiilijalanjälki) – mutta hankkeessa ei onnistuttu vertaamaan keskitettyä laitostmallia nykytilanteeseen, johtuen lietetietojen hajanaisuudesta.
- Hankkeessa tarkennettiin erityisesti Suomen jätevesilietteiden alun perin – ennen käsittelyitä – sisältämän typen määrää, joksi arvioitiin noin 7 000 tn N/a. Tästä vähintään 1 400 tn N/a (20 %), mutta todellisuudessa selvästi enemmän, johdetaan rejektivesien mukana takaisin jätevedenpuhdistusprosessiin.

LÄHDELUETTELO

Lehtoranta, S., Malila, R., Fjäder, P. Laukka, V., Mustajoki, J. & Äystö, L. (2021). Jätevesien ravinteet kiertoon turvallisesti ja tehokkaasti Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18/2021. NORMA-hanke. Haettu 7.12.2022 osoitteesta https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/328632/SY-KEra_18_2021_NORMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiahho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. & Castell-Rüdenhausen, M. (2017). Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi Suomessa. Luonnonvarakeskus, Helsinki. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Haettu 7.12.2022 osoitteesta http://juri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540214/luke-luobio_45_2017.pdf?sequence=12

Vilpanen, Maija; Toivikko, Saijariina (2017). Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 46. Haettu 7.12.2022 osoitteesta: https://www.vvy.fi/site/assets/files/1621/yhdyskuntalietteen_kasittelyn_ja_hyodyntamisen_nykytilannekatsaus_26092017.pdf

Sarvi, M., Ylivainio, K. & Turtola, E. 2017. Report on compliance of recycled product with present EU fertilizer regulations. BONUS PROMISE deliverable 3.3. 11 s.

Suomen ympäristökeskus (2020). Lietedirektiivi (86/278/ETY), raportointi vuosilta 2016–2018, raportoitu 2019 ja 2020. Haettu 7.12.2022 osoitteesta <https://ckan.ymparisto.fi/envi-reports/lietedirektiivi-86-278-ety-raportointi-vuosilta-2016-2018-raportoitu-2019-ja-2020>

Suomen ympäristökeskus (2022). Lietedirektiivi (86/278/ETY), raportointi vuosilta 2019–2021, raportoitu 2022. Haettu 7.12.2022 osoitteesta <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/lietedirektiivi-86-278-ety-raportointi-vuosilta-2019-2021-raportoitu-2022>

Pöyry Finland (2019). Puhdistamolietteen termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 56.

Ylivainio, K., Jermakka, J., Wikberg, Hanne & Turtola, E. (2019). Lämpökemiallisen käsittelyn vaikutus jätevesilietefosforin lannoitusarvoon : Jätevesien fosfori kiertoön lannoitteeksi (PRecover) - hankkeen loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 3/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 67 s.

LIITTEET

LIITE 1: Jätevesilietteiden ravinnetarkastelu: case: HS-Vesi, Poroisten puhdistamo ja Riihimäen Vesi, Riihimäen puhdistamo. Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö, Saara Järvi

LIITE 2: On Optimization of the Logistics Related to Recycling of Nutrients in Wastewater Sludges. Diplomityö, Marianne Honkasaari

LIITE 3: Järkki LCA skenaariot – Luonnos (Excel-tiedosto, Liite 3),

LIITE 4: Jätevesilietteen käsittelyn elinkaaritarkastelu

LIITE 5: Typpipitoisen rejektiveden palautus jätevesilaitokselle

LIITE 6: Skenaarioiden massatasekuvat