

Ravinnehiili-hanke

LOPPURAPORTTI / 1.5.2022 – 31.12.2024

DTS FINLAND OY, CARBONS FINLAND OY, HÄMEENKYRÖN KUNTA

TMI SIMO SALO

PIRJO NIEMELÄ/DTS FINLAND OY

Tiivistelmä

Ravinnehiili-hanke toteutettiin 1.5.2022 – 31.12.2024 välisenä aikana. Hankkeen päätavoitteena oli toimivan ja kustannustehokkaan käsittelymenetelmän testaaminen yhdyskuntajätteen jätevesilietteen käsittelyssä ja lietteen sisältämien ravinteiden hyötykäyttö maanparannusaineena ja ravinteiden lähteenä bioenergian kasvatuksessa ja sitä kautta hiilen sidonnassa sekä toiminnan kannattavuuden arviointi.

Hankkeen päävastuullinen vetäjä oli DTS Finland Oy, toteutukseen osallistui myös Carbons Finland Oy (pajun kasvatuskoe, laskennat) sekä Tmi Salo (pajukenttä, istutus, ylläpito, kokemukset). Ravinnehiili-hankkeen rakenne jouduttiin muuttamaan heti ensimmäisen toteutuskuukauden aikana. Investointihanke muutettiin tutkimus- ja kehityshankkeeksi, mikä vastasi paremmin hankesuunnitelman sisältöön. Hankkeen aikana myös budjettia jouduttiin muuttamaan, koska alkuperäisessä budjetissa ulkopuolisille ostoille (asiantuntemus, suunnittelu, laskenta, kokeet, analyysit jne) ei ollut korvamerkitty käytännössä yhtään varoja.

Hankkeessa toteutettiin uusi, hyötytilavuudeltaan 5,5m³ biomikseri. Biomikserillä tehtiin hankkeen aikana riittävä määrä koeajoja ja koeajojen aikana biomikserin toimintaa saatiin edelleen kehitettyä. Kehitystyön tuloksena biomikserillä saatiin noin 1,5 vuorokaudessa tuotettua jätevedenpuhdistamon lietteestä ravinteikas ja turvallinen (ei salmonellaa tai E.Colia) lopputuote. Biomikserin suunnittelussa huomioitiin energiatehokkuus ja kun käsittelyparametrit saatiin optimaaliseksi, kulutus oli noin 340kWh/4m³/24h.

Kun mikroterminen prosessi käynnistyi kunnolla, oli jätevedenpuhdistamon lietteen käsittelyn ohjaus ja hallinta helppoa. Käytännössä käsittelyä voitiin seurata ja ohjata etänä ja vain täytön ja tyhjennyksen osalta jouduttiin olemaan läsnä. Koekäsittelyiden yhteydessä selvisi, että käsiteltävän massan lämmön seuranta on selkeästi paras muuttuja, jonka avulla voidaan arvioida prosessin toimivuutta ja lopputuotteen laatua.

Mikrotermisestä käsittelystä vapautui luonnollisestikin hiilidioksidia. Suurimmillaan päästöt olivat, kun käsiteltävän lietemassan lämpötila oli noussut lähelle 50°C astetta tai sen yli. Lietteen mikrotermisestä käsittelystä aiheutuvat hajuhaitat saatiin parhaiten hallintaan poistamalla kosteus poistoilmasta, liittämällä kosteuden poiston jälkeiseen ulkoputkeen biosuodatin ja kasvattamalla poistoputken korkeutta yli katonharjan.

Vaikka mikrotermisestä prosessoinnista kertyi vuorokaudessa merkittäviä määriä kondenssivettä, se ei tämän selvityksen mukaan ole ongelma. Vedessä oli runsaasti ammoniumtyyppiä ja orgaanista kiintoainetta, mutta molempiin päästöihin voidaan vaikuttaa prosessin ohjausmuutoksilla.

Mikrotermisen menetelmän kustannustehokkuus lietteenkäsittelyssä arvioitiin laskelmalla käsittelykustannukset käsiteltyä lietemäärää, sekä tuotettua lopputuotetonna kohden (lietepohjainen lannoite) vuodessa. Käsittelykustannuksiin otettiin mukaan biomikserin kuukausi-leasing, puhdistamolle tehtävien muutosten kustannukset ja käsittelyn sähkönkulutus. Laskelmien mukaan kustannukset olivat lietetonna kohden 156€ ja lopputuotetonna kohden 624€. Kustannukset ovat korkeita, varsinkin kun niitä vertaan vaikkapa biokaasulaitosten porttimaksuihin, jotka ovat tällä hetkellä keskimäärin 50€/t. Kun biomikserin sijoittamisesta puhdistamolle aiheutuvien rakennustöiden, sekä itse biomikserin kulut on saatu kuoletettua, laskee lietteen käsittelykustannukset merkittävästi. Tällöin kustannukset olivat lietetonna kohden alle 40€ ja lopputuotetonna kohden noin 140€. Näillä hinnoilla toiminta olisi kustannustehokasta, kun huomioidaan lopputuotteen myynti ja ennen kaikkea energiapajun tuotto.

Parkanon Pohjoisnevalle perustettiin hehtaarin koekasvatusalue pajuille (*Salix Tora*). Koekasvatusalue jaettiin kolmeen osaan, joista yhdelle alueelle käytettiin mineraalilannoitetta, toiseen mikrotermisesti käsiteltyä lietettä ja kolmanteen mikrotermisesti käsiteltyä lietettä ja biohiiltä. Pajuja istutettiin noin 10 000 pistokasta/ha.

Pajujen koekasvatus epäonnistui. Epäonnistuminen oli monen tekijän summa: Pajut istutettiin laiteongelmien vuoksi liian myöhään, jolloin ne eivät hyötäneet kevään kosteudesta ja juurtuminen hidastui. Osa pajupistokkaista ei istutettu tarpeeksi syväälle, mikä heikensi niiden kykyä juurtua ja kestää kuivuutta. Osa pistokkaista istutettiin syväälle, mutta maannos sitoi kosteutta huonosti, ja jälleen juurtuminen epäonnistui. Kesä 2023 oli kaiken lisäksi hyvin kuiva ja sen myötä 90% pistokkaista kuivui pystyyn. Eloonjääneistä yksilöistä suuri osa kärsi pakkasvaurioita talven 2023-2024 aikana. Myös hirvet olivat syöneet osan pistokkaista. Keväällä 2024 Pohjoisnevan turvesuolle iski rankkasateet ja koesarkojen välilojat tulvivat. Tulvavesi vei osan pistokkaista mukanaan, myös muu koealue kärsi tulvasta, kun vesi vei kuohkean turpeen mukanaan ja hyvin juurtuneiden pajujen ympäriltä katosi turve. Pajuja jäi lopulta kasvuun vain noin 5% alkuperäisestä istutusmäärästä.

Pajunäytteiden perusteella pajuyksilöihin oli kertynyt kuiva-ainetta keskimäärin 144g mineraalilannoitteella ja 113g lietepohjaisella kierrätyslannoitteella kahdessa vuodessa. Maaperään tällä kertymällä saadaan hehtaaria kohden kahdessa vuodessa lisää hiiltä mineraalilannoituksella 540kg/C/ha/2v ja lietteellä 141kg/C/ha/2v. Tämä on laskennallinen arvio, joka tehtiin 23:n näyteyksilön kuiva-ainemittausten keskiarvon perusteella. Lietteellä saatiin siis kahden kasvukauden aikana keskimäärin 20% pienempi kuiva-ainebiomassa kuin mineraalilannoitteella. Ero näkyi nimenomaan juurten biomassassa, ei verson. Tulosten mukaan liete ei kenties ollut paras mahdollinen lannoite, jos mietitään pajun kasvua pelkästään juuribiomassan ja hiilen kautta. Lietteellä kuitenkin saatiin hyvä versokasvu ja pajut olivat muutenkin terveitä. Pajut siis tuottivat lietteen avulla lähes yhtä paljon biomassaa kuin mineraalilannoitteellakin, mutta kahden ensimmäisen vuoden aikana biomassaa kertyi pajuihin eri tavalla.

Hankkeessa tehtyjen analyysien mukaan mikrotermisesti tuotetussa lietepohjaisessa kierrätyslannoitteessa oli 60,8% orgaanista ainesta, käytännössä siis tonni kyseistä lannoitetta sisälsi 352 kg hiiltä. Kun maaperän hiilikertymässä huomioidaan myös kierrätyslannoitteen vaikutus, kertyi kullekin koekasvualueelle lähes yhtä paljon hiiltä, josta sitten maaperän olosuhteiden (pH, mikrobit, kosteus, mururakenne, lämpö jne) mukaan osa siirtyi pitkäaikaiseen hiilivarastoon. Tämän hankkeen selvitysten perusteella pajun ja kierrätyslannoitteen vaikutusta pitkäaikaiseen hiilivarastoon voidaan vain teoreettisesti arvailla. Tämä onkin aihe, jota pitäisi tutkia lisää ja nimenomaan kierrätyslannoitteiden, mikrobien ja pajukasvatuksen näkökulmasta.

Hanketulosten perusteella, jätevedenpuhdistamon lietteen ja pajun kasvatuksen ympärille perustettu arvoketju ei tuottaisi ensimmäisen kymmenen vuoden aikana voittoa, vaan noin 200 000€ tappiota. Tästä tappiosta suurin osa kohdistuisi jätevedenpuhdistamoon. Kun laite- ja pajukentän perustamiskustannusten kuoletetaan (10 vuotta), pajukasvatuksen pitäisi vuosi vuodelta tuottaa enemmän voittoa. Käytännössä pajupellot ehtisivät tuottaa siis 15 vuotta voittoa, ennen kuin pajujen istutus jouduttaisiin tekemään uudelleen. Arvoketjussa jäi huomioimatta ympäristönäkökulmat, koska niille on vaikea antaa laskennallista arvoa.

Ravinnehiili-hanke saatiin kaikista vastoinkäymisistä huolimatta toteutettua niin, että hanketavoitteet saavutettiin kohtuullisesti. Parhaiten onnistuttiin uuden biomikserin suunnittelun ja toteuttamisen osalta, huonoiten pajunkasvatuksessa. Tulosten mukaan mikroterminen käsittely soveltuu myös jätevedenpuhdistamoiden lietteen käsittelyyn. Lietepohjainen kierrätyslannoite oli laadullisesti hyvää, toki osa raskasmetalleista oli koholla ja niitä tuleekin seurata tarkasti, jos lietteen laajempaan lannoitekäyttöön pajupelloilla päädytään. Pienille puhdistamoille mikroterminen menetelmä laitteineen on kuitenkin raskas sijoitus, ja yhdessä pajukentän perustamiskulujen kanssa menot kasvavat niin suuriksi, että toiminta on kannattamatonta ainakin kymmenen vuoden ajan.

Sisällys

Tiivistelmä	1
1 Hankkeen tausta ja tavoitteet	4
1.1. Taustaa	4
1.2. Tavoitteet	4
DTS Finland Oy:n asettamat yksityiskohtaiset tavoitteet	4
2. Hankkeen toteutus	5
2.1. Hankkeen toteutus työpakettikohtaisesti	5
2.1.1. Projektin hallinta	5
2.1.2. Biomikseri	6
2.1.3. Heräte	8
2.1.4. Puhdistamolla tehtävät muutokset	8
2.1.5. Mikroterminen käsittely	8
2.1.6. Energiapajun kasvatus	9
2.1.7. Luvitus ja loppulaskelmat	11
3 Hankkeen tulokset	12
3.1 Biomikseri	12
3.2. Heräte	13
3.3 Mikroterminen käsittely	13
3.4. Energiapajun kasvatus	16
3.5. Loppulaskelmat	20
4. Tulosten hyödyntäminen	24
5. Hankkeen vaikutukset	24
5.1. positiiviset vaikutukset	24
5.2. Negatiiviset vaikutukset	25
6 Viestinnän toteutuminen ja tulokset	26
7. Talousraportti	27
7.1. Yhteenveto kustannusarvion ja rahoitussuunnitelman toteutumisesta	27
7.2. Virhe kirjanpidossa	28
8. Johtopäätökset / Yhteenveto hankkeesta ja päätuloksista	29

1 Hankkeen tausta ja tavoitteet

1.1. Taustaa

Ravinnehiili-hankkeen tarkoitus oli selvittää jätevedenpuhdistamon lietteen soveltuvuutta energiapajun kasvatuksessa vanhoilla turvetuotantoalueilla ja laskea saadaanko näiden ympärille rakennettua kannattava arvoketju. Energiapuun systemaattinen kasvatusta polttoturpeen jätösoilla vastasi hyvin Marinin-hallituksen energiavoitteen. Uusi puu sitoo hiiltä ja luovuttaa hiiltä polton yhteydessä, mutta juuriin ja maaperään oletettavasti jää pitkäkestoista hiiltä varastoon. Näin uusi kasvusto toimii hiilinieluna. Samalla suo saa uuden elämän, kun sinne leviää muitakin kasveja. Puusto ei kuitenkaan kasva ilman lisäravinteita. Puhdistamoliete nähtiin oivallisena lannoitteen paju- ja kasvatukselle. Runsaasti haitta-aineita sisältävä ravinteikas liete ohjattaisiin pois ruoantuotannosta, mutta kuitenkin hyötykäyttöön. Haitta-aineet sitoutuisivat osittain pajujen juuristoon ja bioremediaation voitaisiin olettaa hajottavan ainakin osan haitta-aineista. Varsinkin jos paju- ja kasvatuksen yhteydessä nostettaisiin pohjaveden pintaa, toiminnalla olisi soiden hiilidioksidipäästöihin merkittävä päästöä vähentävä vaikutus.

Puhdistamoliete on jätevedenpuhdistusprosessin seurauksena syntyvää jätevesilietettä. Siinä yhdistyvät usein yhdyskuntien, teollisuuden ja kotitalouksien jätevedet. Yhdyskuntajätevedenpuhdistamoita on Suomessa yli 500 kappaletta. Näiden lisäksi on pienempiä ympäristöluvanvaraisia puhdistamoita. Näissä laitoksissa puhdistamolietettä syntyy vuosittain noin miljoona tonnia, mikä kuiva-aineena vastaa noin 150 000 tonnia. Jätevedenpuhdistamoissa syntyvän lietemäärän odotetaan vielä tulevaisuudessa kasvavan sekä väestökasvun että puhdistustekniikan kehityksen myötä. Lisäksi yhä suurempi osa kiinteistöistä liitetään kunnallisen verkoston piiriin.

Puhdistamolietepohjaiset lannoitevalmisteet sisältävät usein noin 50 % orgaanista ainesta, jolla voidaan parantaa viljelymaan rakennetta ja vedenpidätyskykyä sekä edistää eliöiden viihtyvyyttä maaperässä. Nämä lannoitevalmisteet sisältävät myös runsaasti viljelykäytössä hyödyllisiä ravinteita. Lietteen maatalouskäyttö ei ole kuitenkaan ongelmaton ratkaisu, vaan sen merkittävänä esteinä ovat muun muassa lietteen sisältämät raskasmetallit, taudinaiheuttajat, orgaaniset haitta-aineet, hormonihäiritsijät, palonestoaineet, lääkkeitä sisältävät, mikromuovit yms. Maatalouskäytössä lietteen käytön esteenä on ennen kaikkea ennakkoluulot ja asenteet. Näin lietteen käyttö maataloudessa ei ole edennyt toivotulla tavalla. Vain alle 10 % puhdistamolietevalmisteistä päätyy maatalouteen.

Marinin hallitusohjelman puhdistamolietteen liittyvän tavoitteen saavuttaminen edellyttää prosessien kehittämistä, kokeiluja ja uusien menetelmien käyttöönottoa. Jo tarkasteltuja tekniikoita ovat olleet terminen kuivaus, märkähiilto, torrefiointi, pyrolyysi, kaasutus, erillispoltto ja yhteispoltto. Näistä suurin osa on uusia ja lopputuotteen soveltuvuudesta ravinteiden talteenoton näkökulmasta katsottuna ei ole merkittäviä tuloksia.

Tässä hankkeessa käyttöön otettiin uusi, monella tavalla edellisistä poikkeava nopea mikroterminen menetelmä. Sitä on testattu Urjalan puhdistamolietteen käsittelyssä pienillä koneilla ja lopputuloksena syntyvää kuivajauhetta on käytetty kasvatuskokeissa purkeissa ja pellolla hyvin tuloksin. Menetelmä on hakijayrityksen kehittämä ja tämän hankkeen myötä menetelmää halutaan kehittää edelleen, jotta se soveltuisi paremmin myös lietteenkaltaisten, haasteellisten ja märkien jätteiden käsittelyyn.

1.2. Tavoitteet

Hankkeen päätavoitteena oli toimivan ja kustannustehokkaan käsittelymenetelmän testaaminen yhdyskuntajätteen jätevesilietteen käsittelyssä ja lietteen sisältämien ravinteiden hyötykäyttö maanparannusaineena ja ravinteiden lähteenä bioenergian kasvatuksessa ja sitä kautta hiilen sidonnassa sekä toiminnan kannattavuuden arviointi.

DTS Finland Oy:n asettamat yksityiskohtaiset tavoitteet

Alkuperäisessä hankehakemuksessa tavoitteet oli jaettu yksityiskohtaisesti 16 eri tavoitteeseen. Koska hankkeen sisältö muuttui Urjalan kunnan vetäytyttyä hankkeesta pois, on hankkeen tavoitemäärä laskenut ja

niiden sisältö muuttunut vastaamaan olemassa olevaa tilannetta. Alla esitettynä Ravinnehiihi-hankkeen tavoitteet huomioiden hankemuutokset.

1. Käsittelylaitteen (biomikserin) valmistuttaminen
2. Oikein mitoitettu biomikseri ja prosessinopeus vähintään riittävä kohteeseen (konseptisuunnittelu ja laskennat)
3. Laadun ja turvallisuuden suhteen hyvin toimiva prosessi, josta saadaan tasalaatuista lopputuotetta (koekäsittelyt ja prosessin valvonta)
4. Laadun, turvallisuuden ja prosessin toimivuuden seurantaan parhaiten soveltuvat seurantamuuttujat.
5. Energian kulutusseuranta, hukkaenergian hyödyntämisen arvio, ylläpidon arviointi (työmäärä),
6. Käsittelyn taloudellinen arviointi.
7. Prosessin riskien kartoitus
8. Hiilidioksidipäästöjen arviointi ja hajuhaittojen hallinta
9. Lopputuotteen kasvuominaisuudet ja hiilen sidonta, laskelmat erikseen juuristoon sitoutuva hiili ja kasvuun sitoutuva hiili
10. Energiapajun kasvatuskoe

2. Hankkeen toteutus

Hanke toteutettiin hankesuunnitelman mukaisesti aikavälillä 1.5.2022 – 31.12.2024. Hankkeen sisältö pysyi suunnitelman mukaisena, vaikka esimerkiksi lietteen käsittely jouduttiin tekemään DTS Finland Oy:n omalla hallilla, eikä Urjalan jätevedenpuhdistuslaitoksella, kuten alkuperäisessä suunnitelmassa esitettiin. Aikataulu- ja rahoitusvaikeuksista huolimatta hankkeen aikana rakennettiin uusi biomikseri, tehtiin riittävä määrä koekäsittelyitä jätevedenpuhdistamon lietteellä, perustettiin pajupelto vanhalle turvetuotantoalueelle ja saatiin alustava käsitys lietteen ja pajukasvatuksen ympärille perustettavasta arvoketjusta. Alkuperäistä budjettia muutettiin hankkeen aikana kaksi kertaa. Molemmissa tapauksissa rahoitusta kohdennettiin uudelleen siten, että pystyttiin tekemään riittävä määrä ulkopuolisia ostoja asiantuntijoilta.

2.1. Hankkeen toteutus työpakettikohtaisesti

Ravinnehiihi-hankkeen sisällön laajuudesta johtuen, hanke jaettiin alun pitäen seitsemään (7) eri työpakettiin. Työpakettikohtaisesti hanketta oli helpompi ohjata eteenpäin ja se helpotti myös aikataulun muodostusta ja tiedottamista hanketoteuttajien ja muiden yhteistyötahojen kesken. Työpaketit olivat 1. Projektinhallinta, 2. Biomikseri, 3. Heräte, 4. Puhdistamolla tehtävät muutokset, 5. Mikroterminen käsittely, 6. Energiapajun kasvatus ja 7. Luvitus ja loppulaskelmat. Hankeaikaisten muutosten vuoksi työpaketti 4. jätettiin hankkeen toteutuksesta pois. Urjalan kunta kieltäytyi kaikesta yhteistyöstä vedoten talouteen ja hankemuutoksiin, jolloin kaikki Urjalassa alun pitäen toteutettavaksi suunnitellut työvaiheet jouduttiin siirtämään DTS Finland Oy:n omalle hallille.

Mikäli jätevedenpuhdistamo ottaisi biomikserin puhdistamolleen lietteen käsittelyyn, se aiheuttaisi muospaineita puhdistamolle. Nämä muutokset vaikuttavat arvoketjuun ja näin ollen hankkeessa selvitettiin merkittävimmät kulut liittyen biomikserin sijoittamiseen puhdistamolle, jolloin ne voitiin huomioida myös arvoketjulaskelmassa.

2.1.1. Projektin hallinta

Projektin hallinnasta vastasi DTS Finland Oy. Hankkeen projektipäälliköksi nimettiin DTS Finland Oy:n työntekijä Pirjo Niemelä. Niemelän työaika jakaantui useammalle hankkeelle ja hänen Ravinnehiihi-hankkeelle tekemästään työajasta pidetään kirjaa. Käytännön työvaiheisiin osallistui DTS Finland Oy:n toinenkin työntekijä.

Hän osallistui mm hankkeeseen liittyviin käytännön työvaiheista, kuten pajukentän perustamiseen, koekäsittelyihin ja laitteen pystytykseen.

Projektin hallinnan helpottamiseksi hankkeelle luotiin aluksi ylläpidon työkalut. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että hankkeen sopimukset, NDA:t, raportointi, kirjanpito, tiedottaminen (sisäinen ja ulkoinen) suunniteltiin tarkemmin, ja koko projektin hallinnalle perustettiin oma sivustonsa. Sivuston pohjana käytettiin kaupallista Trelloa. Trellon projektinhallinta perustuu siihen, että yksittäisiä sivuja voidaan jakaa eri hanketoteuttajille ja he voivat suoraan kirjata muun muassa aikataulumuutokset ja edistymiset suoraan hallintatyökaluun ja välttyään päällekkäisiltä kirjauksilta.

Projektin vastuulliset työryhmät perustettiin pajukasvatukseen, laitteen toteutuksen ja projektihallinnan osalta. Työryhmät on pidetty kooltaan pieninä (avainhenkilöt) ja niiden välinen viestintä on hoidettu sähköpostitse, sekä Teams-kokousten välityksellä.

Projektille tehtiin sisäinen ja ulkoinen tiedotussuunnitelma. Tiedottamisen avuksi ostettiin alihankintana materiaalia, kuten posterit, A5 esite ja logoilla varustettu tiedotuspohja. Myös Ravinnehiili-hankkeelle perustettu sosiaalisen media alusta ja sivujen ylläpidon opetus ostettiin ulkopuolelta. Niemelä toimi palvelun tuottajien yhteyshenkilönä ja ohjasi tiedottamista tältä osin. Ulkoista tiedottamista tehtiin esimerkiksi LinkedIn postauksina, mutta pääsääntöisesti kuitenkin osallistumalla erilaisiin tapahtumiin ja pyytämällä aihealueesta kiinnostuneita tahoja yritysvierailulle.

Riskienhallintajärjestelmä on osa jokaista projektiohjausta. Riskien arviointi tehtiin kunkin työpaketin osalta erikseen ja hankkeen aikana ilmenneiden ongelmien myötä riskiarviointia myös päivitettiin tarvittaessa. Osana riskien arviointia kirjattiin ylös myös ne hallintakeinot, joilla riskit minimoitiin. Eteenkin energiapajujen koekasvatukseen liittyvät riskit arvioitiin etukäteen tarkasti ja niiden seurantaan rakennettiin muun muassa kattava veden laadun vaikutustarkkailuohjelma, joka osittain toteutettiin DTS Finlandin toimesta ja osittain ostettiin Seinäjoen Eurofins Ahma toimipisteeltä.

Osana projektiohjausta suoritettiin myös tarvittavat kilpailutukset. Kilpailutuksen kautta hankittiin muun muassa näytteenotto ja laboratorioanalytiikka, uuden biomikserin kestävyyslaskennat, materiaalit, toiminnalliset yksiköt, suunnittelu ja toteutus. Osaan kilpailutuksista ei määräaikaan mennessä saatu kuin yksi vastaus. Tämä johtui siitä, että hankeaikataulu oli laitetoteutuksen osalta kohtuullisen tiukka, mutta samalla taloudellisesti liian pieni, jolloin isommat toimittajat eivät kokeneet työtä kovinkaan mielekkääksi. Tästä huolimatta sopiva osaja löydettiin kuhunkin työvaiheeseen ja esimerkiksi biomikserin toteutus kaikkienensa tehtiin Pirkanmaalla, mikä helpotti muun muassa katselmointien toteuttamista.

Eniten projektipäällikköä työllisti väliraportit ja siihen liittyvä takaisinmaksatus, jotka tehtiin hankkeen aikana yhteensä seitsemän kertaa. Raportoinnin yhteydessä seurattiin hankkeen edistymistä ja tavoitteissa pysymistä, ja samalla saatiin kommentteja valvojilta. Kaikki tämä helpotti hankkeen laadullista ylläpitoa. Lisäksi viikkopalaverien myötä saatiin hyvin nopeasti palautetta myös konkreettisesta työstä, ja tämä kaikki edisti sitä, että hanke pysyi hyvin hankesuunnitelman mukaisena eikä isoja virheitä tehty.

2.1.2. Biomikseri

DTS Finland Oy:n uuden biomikserin konseptisuunnittelu, kuljettimien suunnittelu, materiaalihankintojen kilpailutus ja sopimusten muodostaminen aloitettiin lokakuussa 2022. Tavoite oli, että uusi biomikseri suunnitellaan ja toteutetaan siten, että se olisi energiatehokkaampi kuin aikaisemmat laitteet, ja että se soveltuisi hyvin jätevedenpuhdistamon tarpeisiin. Kilpailutukset, konseptointi ja suunnittelutyö sekä materiaali- ja laitetuottajat saatiin pääpiirteittäin selvyyteen tammikuun helmikuun 2023 mennessä.

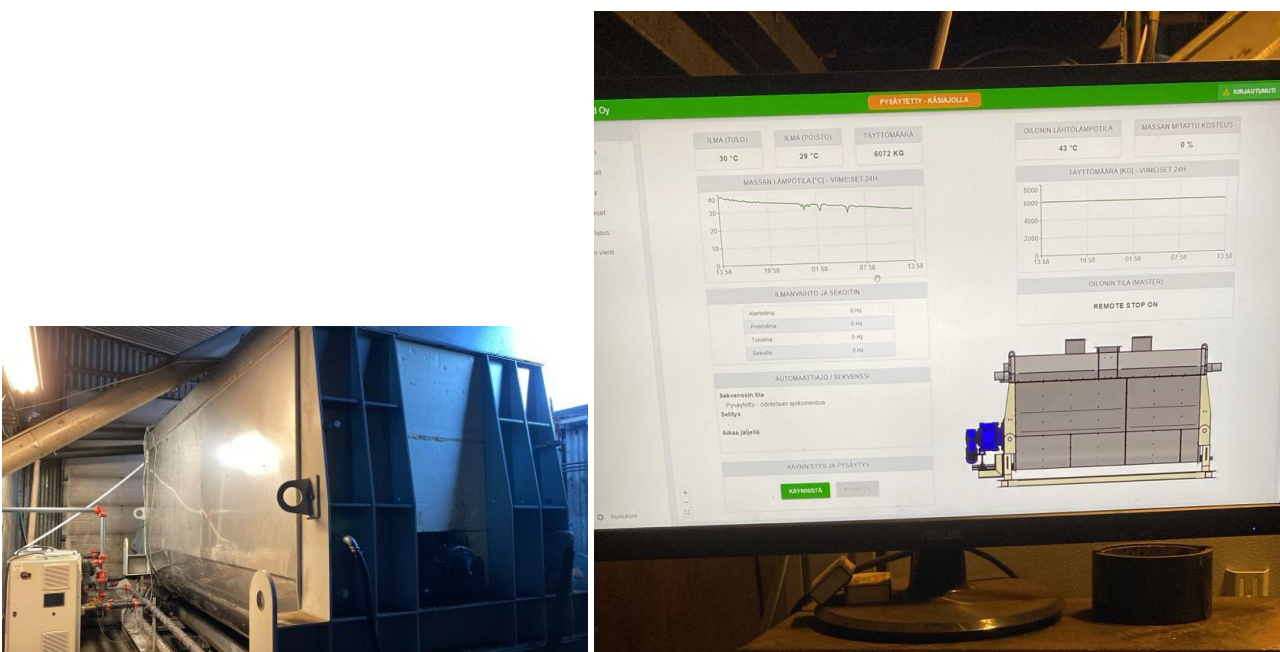
Tammikuussa 2023 valittiin pitkällisten neuvotteluiden päätteeksi toimittaja biomikserin rungolle ja sekoittimelle. Työhön valikoitui taho, joka pystyi tarjoamaan myös konseptointiin ja työnaikaiseen testaukseen ja suunnitteluun asiantuntijuutta. Biomikserin kestävyyslaskelmat tehtiin näin ollen osana laitteen konseptointia. Aikaisemmissa laitteissa oli ollut suuria ongelmia juurikin laitteen sekoituksen ja lapojen kestävyden osalta, ja siirryttäessä suurempaan laitekantaan näiden suunnittelu- ja selvitystyöhön haluttiin panostaa.

Varsinainen rakentaminen aloitettiin toukokuussa 2023. Biomikserin kaksoisvaipparunko saatiin valmiiksi syksyn 2023 aikana ja alkutalvesta valmiiseen runkoon päästiin kiinnittämään niin sanottuja toiminnallisia yksiköitä. Laitteen OPEX kulujen näkökulmasta katsottuna, lämpöpumppujen ja lauhduttimen asennus ja niiden testaus oli erittäin merkittävässä asemassa. Mikroterminen prosessi on eksoterminen, mutta ennen kuin prosessi lähtee käyntiin, tarvitaan käsiteltävälle massalle nopea lämmönnosto, joka tehdään koneellisesti käyttäen ulkopuolista lämmitystä. Prosessiin syötetty lämpö ja mikrobien kehittämä lämpö saatiin lämpöpumppujen ja lauhduttimen avulla talteen, jolloin myös käsittelyn ylläpitokulut laskivat. Tässä vaiheessa myös mikrotermisen prosessin etäohjaus- ja seurantasuunnittelu oli saatu hyvin alkuun.



Kuva 1. Lämmöntalteenoton yksiköt eli pumput ja lauhdutin.

Marras-joulukuussa 2023 biomikseri oli metallipainossa ilmoitettuna 100% valmis. Vuodenvaihteessa siihen liitettiin vielä ilmanvaihto ja biomikserin eristys tehtiin loppuun. Ennen eristeen lisäämistä tarkistettiin tankin hitsausaumausten vedenpitävyys. Joulukuussa lähdettiin viemään läpi testiajosarjaa, jonka tarkoitus oli todentaa laitteen toimivuus. Laitteen tarkastuksissa edettiin järjestelmällisesti siten, että ensin testattiin täyttö ja tyhjennyslukun toimivuus ja tiiviyys, sitten ilmanvaihdon toimivuus ja säätömahdollisuus ja viimeiseksi lämmön talteenotto ja kierrätys, tankin hapetus ja kondenssiveden poisto lauhduttimen välityksellä. Aikataulusta oltiin tässä vaiheessa noin 3–4 viikkoa jäljessä, ja varsinainen prosessin ylösajo herätteen kera aloitettiin vasta kevättalvesta 2024. Biomikseri siirrettiin DTS Finland Oy:n omalle hallille 4.3.2024.



Kuva 2. Valmis biomikseri ja ohjauspaneeli, jossa näkyy mm massan lämmön seuranta.

Vielä hankkeen viimeisinä kuukausina biomikseriä muutettiin ajoparametrien, ohjauksen ja ilmanvaihdon osalta. Muutostöiden aikana ja niiden jälkeen tehtiin vielä kolme + kaksi uutta koekäsittelyä, joiden aikana päästiin parempaan tulokseen niin koekäsittelyn laadun kuin massan kuivumisenkin suhteen.

2.1.3. Heräte

Mikroterminen menetelmä perustuu koneelliseen käsittelyyn, jossa käytetään jätejake kohtaista mikrobiherätettä optimaalisissa olosuhteissa. DTS Finland on käsitellyt aikaisemmassa yhteishankkeessa Urjalan kunnan puhdistamon lietettä ja hankkeesta on varastoitu lietteelle soveltuvaa herätettä. Toukokuussa 2022 vuokrattiin Tampereen kaupungin Hiedanrannan vanhaan tehdaskiinteistöön perustettu tila, jossa aloitettiin herätteen testaus. Mikrobiherätteet ohjataan kuivaamalla niin sanottuun lepotilaan, jolloin niitä voidaan onnistuneesti varastoida pitkiäkin aikoja. Lepotilassa mikrobit muodostavat lepoitiöitä, joiden elinkyky pysyy yllä, jos varastointiolosuhteet pidetään optimaalisina ja vakioituina.

Lieteherätteen toimintakyky testattiin Tyyppaamalla touko-kesäkuun 2022 aikana. Testauksessa heräte altistettiin kosteuden ja lämmön nousulle ja samalla seurattiin massan pH-muutoksia. Kun herätteen pH saatiin toivotulle tasolle, lisättiin herätteen sekaan lietettä sekä biojätettä. Biojäte toimii niin sanottuna merkkiaineena, jonka hajoamisen määrää ja laatua on helppo seurata aistinvaraisesti. Herätteen testaus kesti kesäkuun 2022 loppuun asti.

Toimivan mikrobiherätteen avulla aloitettiin herätekannan kasvatusta. Uutta herätettä valmistettiin Tyyppaamossa pienellä laitekannalla heinäkuusta lokakuun 2022 loppuun asti. Tavoite oli tuottaa uutta, vahvakantaista herätettä ison biomikserin käynnistämiseen sekä niin sanottua varakantaa mahdollisten prosessiongelmien ratkaisemiseksi. Panosprosessityyppiset kierrätyslannoitelaitokset kuuluvat Ruokaviraston laitoshyväksynnän piiriin ja osa laitoshyväksyntää on omavalvontasuunnitelman teko. Keskeinen osa omavalvontasuunnitelmaa on riskikartoitus ja riskienhallintasuunnitelma. Suurin riski mikrotermisessä laitoksessa on herätekannan kaatuminen kesken käsittelyn ja se voidaan ratkaista vain varastoimalla ja ylläpitämällä elävää, toimintakuntoista herätettä vähintään yhden prosessikäynnistyksen verran. Tästä syystä uutta herätettä valmistettiin ja säkitettiin Tyyppaamossa noin 6 m³, kun mukaan laskettiin myös vanha ja testattu herätekanta. Tyyppaamon vuokrasopimus loppui lokakuuhun 2022 ja valmis heräte siirrettiin DTS Finlandin Hiedanrannan vuokratilaan muiden herätteiden joukkoon.

Tarvittava määrä herätettä saatiin valmistettua oletettua nopeammin, johtuen edellisen herätteen hyvästä kunnosta. Työpaketti saatiin päätökseen jo lokakuun 2022 lopussa. Hankkeessa kuitenkin varauduttiin vielä herätteen valmistamiseen myöhemmässä vaiheessa. Uutta herätettä jouduttiinkin tekemään vielä alkuvuodesta 2023, kun osa Tyyppaamoon varastoidusta herätteestä kontaminoitui jyrtsijöiden päästyä varastotilaan. Herätettä tehtiin lisää noin 500kg ja tämä määrä yhdessä jyrtsijöiden kynsistä selvinneen herätteen kanssa riitti hyvin hankkeen toteuttamiseen.

Valmistettu heräte toimi varsinaisissa lietteen käsittelyissä erittäin hyvin. Mikrobisto käynnistyi nopeasti ja lietteelle ominainen hajukin saatiin hallintaan nopeasti mikrobeiden tehokkaan toiminnan myötä. Mikrobit erittävät entsyymejä ja sen myötä massaan tulee hyvin voimakas mallomainen haju.

2.1.4. Puhdistamolla tehtävät muutokset

2.1.5. Mikroterminen käsittely

Lietteen käsittely tehtiin DTS Finland Oy:n kehittämällä mikrotermisellä menetelmällä. Mikroterminen menetelmä on koneellinen orgaanisen jätteen käsittelymenetelmä, menetelmä perustuu maamikrobien hyödyntämiseen. Optimaalisissa olosuhteissa mikrobien kyky hajottaa helposti hajoavia hiiliyhdisteitä saadaan maksimoitua, ja tehokkaan toiminnan myötä, orgaanisen jätteen maatumisen saatetaan alkuun. Laitteiston lämmityksen, sekä mikrobien tuottaman lämmön avulla massa samalla kuivuu ennen näkemättömän tehokkaasti ja samalla ravinteet konsentroituvat. Näin saadaan tuotettua kuivia, keveitä, laadultaan tasaisia ja turvallisia lopputuotteita, kuten kierrätyslannoitteita ja maanparannusaineita. Prosessi on tehokas ja parissa

vuorokaudessa orgaanisesta jätteestä saadaan valmis lopputuote. Täysin luonnollisena prosessina mikroterminen käsittely soveltuu myös luomutuotantoon.

Varsinainen koekäsittelyjakso voitiin aloittaa vasta siinä vaiheessa, kun biomikseri saatiin valmiiksi ja siirrettyä käsittelyhalliin 4.3.2024. Ennen koekäsittelyä voitiin kuitenkin aloittaa alustavia selvityksiä liittyen mikrotermisen seurannan laatuarviointiin ja seurantaan. Nämä toteutettiin seuraavanlaisen aikataulun mukaisesti:

Prosessin toimivuuden seurantaan parhaiten soveltuvat seurantamuuttujat. (11/22 – 6/23)

Hiilidioksidipäästöjen arviointi ja hajuhaittojen hallinta (11/22-4/23, sekä 11-12/23 ja 5-10/24)

Energian kulutusseuranta, hukkaenergian hyödyntämisen arvio, ylläpidon arviointi (2-5/23 jatkui 11/23-11/24)

Jätevedenpuhdistamon lietettä haettiin Hämeenkyrön kunnan puhdistamolta kaksi eri erää. Yhteensä lietettä saatiin käsittelyihin noin 10m³. Käytännössä tällä määrällä saatiin vietyä läpi yhdeksän koekäsittelyä. Prosessin nosto tehtiin pelkällä biojätteellä, seuraavat käsittelyt biojätteen ja lietteen seoksella, ja viimeiset neljä käsittelyä Hämeenkyrön jätevedenpuhdistamon lietteellä. Kunkin käsittelyn sähkönkulutusta seurattiin. Hämeenkyrö on pienehkö kunta, eikä puhdistamoon kohdistu merkittävää määrää teollista kuormitusta. Näin ollen liete vastasi tältä osin Urjalan lietettä, eikä muutos aiheuttanut tältääkään osin liian suurta muutosta hankesisältöön. Hämeenkyrön jätevedenpuhdistuslaitos toimitti DTS Finland Oy:lle viimeisimmät lietteen seuranta-analyysit, joten lietteen lähtöarvoista saatiin kattava käsitys.

Käsittelyiden aikana seurattiin tärkeimpiä parametrejä sekä automaatiolla, mutta myös manuaalisesti. Eteenkin ylimääräisiä lämpö- ja kaasumittauksia tehtiin, koska näiden avulla voidaan määrittää muun muassa prosessin toimivuutta. Muuttujien vaikutusta käsittelyyn ja haihduntaan arvioitiin ja niitä verrattiin sähkönkulutukseen/käsitelty tonni. Näin saatiin määritettyä karkeasti syntyvän lietepohjaisen kierrätyslannoitteen tuotantokustannukset.

Myöhemmin loka-marraskuussa 2024 tehtiin vielä lisäkäsittelyitä lietteen ja lietelannan seoksella. Aikaisempien käsittelyiden haihduntaan ei oltu tyytyväisiä. Lisäkäsittelyiden avulla haluttiin selvittää, saadaanko sekoitusta lisäämällä, ilmanvaihtoa ja painetta säätämällä parannettua haihduntaa/ käsiteltävä tonni/vrk. Myös lämmön johtuminen massassa haluttiin testata uudelleen, kun ilmanvaihto saatiin käsittelyyn paremmin soveltuvaksi.

Kaikkien käsittelyiden yhteydessä seurattiin hajuhaittoja, syntyvän kondenssiveden määrää ja laatua. Lopputuotteen laatu ja turvallisuus todennettiin laboratorioanalytiikalla, samalla voitiin määrittää lopputuotteen käyttökelpoisuus energiapajujen kasvatukseen.

2.1.6. Energiapajun kasvatusta

Pajun kasvatuskenttä perustettiin Parkanon Pohjois-Nevalle syys-marraskuun 2022 välisenä aikana. Kentän perustamisessa toimi asiantuntijana Carbons Finland Oy. Heidän avustuksellaan löydettiin koekasvatukselle sopiva turvetuotantoalue, tilattiin pajupistokkaat ja saatiin vuokrattua istutuskone. Carbons Finland Oy:n edustaja oli ohjaamassa istutuksen aloitusta, ja he antoivat ohjeet kentän perustamiseen. Asiantuntijuutta käytettiin myös loppulaskelmissa niiltä osin, kun laskelmat koskivat pajun hiilensidontaa ja energiapajun kustannustehokkuutta.

Kenttä koostui kolmesta eri sarasta, jotka lannoitettiin eri tavoin. Sarkojen kokonaispinta-ala oli noin hehtaarin ja sarkojen päästä eroteltiin lannoittamaton verrokialue. Koekenttä perustettiin Pirkanmaan ELY keskuksen ohjeidenmukaisesti siten, että ensimmäisen lannoitetun saran ja puhdistuskentän väliin jätettiin yksi noin 10m leveä sarka suojavyöhykkeeksi. Sarat käytiin mittaamassa ja merkitsemässä lokakuussa 2022 ja lannoitus tehtiin marraskuussa 2022.

Lähimpänä suojavyöhykettä käytettiin kaupallista N-P-K lannoitetta, keskimmaisessä sarassa käytettiin mikrotermisesti käsiteltyä lietettä ja viimeisessä sarassa mikrotermisesti käsiteltyä lietettä ja biohiiltä. Kukin

sarka oli tuhattu, jotta maaperän pH saatiin muutettua emäksisemmäksi. Kutakin lannoitetta levitettiin saralle maksimaalinen määrä eli kokonaistyyppinä ilmaistuna 170kg kok-N/ha. Näin toimien saroille tuli vastaavat määrät typpeä, mutta fosforin ja kaliumin määrissä oli vaihtelua riippuen siitä, mitä lannoitetta oli käytetty.

Koska kentälle tehtiin lannoitus, seurattiin alueen vedenlaatua kohdennetulla vesinäytteenotolla. Vedenlaadun seurannan näytteenotto toteutettiin osittain omatyönä, osittain Seinäjoen Eurofinsin toimesta. Nämä vesinäytteet siis otettiin normaalin velvoitetarkkailun lisäksi ja DTS Finland Oy kustansi näytteen oton ja analytiikan. Vesinäytteistä analysoitiin turvetuotantokentän ympäristöluvassa määritetyt analyysit eli Kadmium ($\mu\text{g/l}$), Nitraatti ja nitriittitypen summa ($\mu\text{g/l}$), fosfori ($\mu\text{g/l}$), fosfaattifosfori ($\mu\text{g/l}$), happi (mg/l), väri (mg Pt/l), ammoniumtyppi ($\mu\text{g/l}$) ja typpi ($\mu\text{g/l}$). Velvoitetarkkailusta ja kolmesta ylimääräisestä vesinäytteestä muodostettiin aineisto, josta voitiin todeta lannoituksen vaikutus alueelta syntyvän valumaveden laatuun.



Kuva 3 A ja B. A kuvassa on istutuskone ja traktori, joka oli kuitenkin liian kevytrakenteinen eikä istutus onnistunut. Kuvassa B on pajupistokkaiden aihiot.



Kuva 4. Pajujen käsinistutuksen vaiheita

Pajujen istutus tehtiin touko-kesäkuussa 2023. Istutuksiin käytettiin pajulajia Tora, joka on kylmänkestävä ja soveltuu monenlaisiin kasvuympäristöihin (mm. Taylor et al 2008) Istutustyöhön tilattiin istutuskone, mutta alueelta ei loppujen lopuksi löytynyt riittävän järeää traktoria sen käyttöön (kuva 3). Työ jouduttiin tekemään näin ollen käsin (kuva 4).

Pistokkaat oli lähetetty Tanskasta noin 2,5-3 m mittaisina rankoina. Rangoista sahattiin reilun 20 cm pituisia pätkiä, jotka toimivat pistokkaina. Pistokkaat istutettiin riveihin, rivien sisällä oli vierekkäin kaksi pistokasta noin metrin välillä. Eri rivien väliin jätettiin noin 1,5-2 metriä tilaa. Tällainen istutusväli mahdollistaa koneellisen korjuun ja muun huoltotyön.

Turvesuon mineraalimaannos oli paikoitellen niin pinnassa, että istutustyö oli äärimmäisen raskasta ja hankalaa. Istutus eteni hitaasti ja paikalla jouduttiin käymään useamman kerran, ja lopulta työhön palkattiin ulkopuolista apua. Työ saatiin vietyä läpi juhannusviikolla, mikä on viimeinen hetki istuttaa pajua.

Pajun kasvun ensimmäinen arvio tehtiin 12.9.2023. Sarat käytiin läpi ja kasvusto kuvattiin. Satunnaisotannalla valittiin muutamia pajuyksilöitä kultakin saralta ja niiden maanpäällinen ja maanalainen kasvu arvioitiin mittaamalla.

Varsinainen kasvun vertailu tehtiin vasta syksyllä 2024, toisen kasvukauden jälkeen. Vertailu jouduttiin tekemään pienellä aineistolla, koska kasvuun oli lähtenyt vain noin 5% pistokkaista. Satunnaisesti valitut yksilöt kaivettiin maasta, juuret puhdistettiin ja pajut pakattiin muovipusseihin. Maanpäällinen ja maanalainen kasvusto mitattiin kustakin yksilöstä erikseen, mittaus tehtiin tuorepainolle sekä kuivapainolle. Mittaustuloksia verrattiin sarakohtaisesti, vertailu tehtiin keskiarvojen mukaan. Koska kerätty aineisto oli tilastollisesti arvioituna huono, oli kasvuskokeen arvioinnissa pääpaino fyysisten (fenomi) piirteiden arvioinnissa kuten pajujen juurten ja vuosikasvun arvioinnissa, sekä kunkin saran yleisilmeen tarkastelussa.

2.1.7. Luvitus ja loppulaskelmat

Hankesuunnitelman mukaan Urjalan jätevedenpuhdistuslaitokselle olisi hankkeen aikana pitänyt hakea tarvittavat luvat lietteen mikrotermiseen käsittelyyn ja lopputuotteen lannoitekäyttöön. Koska Urjala perääntyi hankkeesta, ei luvitusta tehty. Lisäksi hankkeen aikana siirryttiin vanhasta lannoitelaitosta uuteen, mikä vaikutti siihen, että laitoksille ei enää automaattisesti pyydetty omavalvontasuunnitelmaa. Uusien asetusten mukaan, lannoitteen tuottajan tulee varmistaa lannoitteensa laatu riittävällä seurannalla ja pitää tästä kirjaa, josta laadunvalvonta voidaan todentaa. Koska hankkeessa tehtiin lopulta vain muutamia rinnakkaisia koekäsittelyitä, ei toiminnalle perustettu myöskään varsinaista laadunvalvontaohjelmaa.

Jätevesilietteen käsittelystä kirjattiin ylös laadun näkökulmasta riskialteimmat kohdat ja näiden riskien hallintakeinot, määritettiin käsittelylle ja lopputuotteelle laatusuureet ja analyysitarpeet. Mutta koska tehty koekäsittelyiden sarja oli ajallisesti hyvin lyhyt ja käsitellyn massan määrä pieni, lopullista dokumenttia laadunvalvonnasta ei tehty.

Käsittelyt tehtiin DTS Finland Oy:n omalla hallilla. Hallille tehtiin ympäristötarkastus 21.3.2024 ja tämän tarkastuksen perusteella hallille saatiin Tampereen kaupungin ympäristönsuojelusta lausunto, jossa kyseisille koekäsittelyille annettiin lupa. Lausunnossa kuitenkin todettiin, että halli sijaitsee niin keskeisellä paikalla, että sinne ei voida suunnitella pysyvää käsittelytoimintaa. Tähän hankkeeseen tarvittavat koekäsittelyt nähtiin niin vähäisenä kuormituksen aiheuttajana, että ne voitiin kuitenkin hallilla tehdä, kunhan koekäsittelyiden aikaiset hajuhaitat vain rajoitettiin mahdollisimman tehokkaasti.

Ravinnehiili-hankkeen laskelmat koskivat lietteen käsittelyn ja pajun kasvatuksen kokonaistaloudellisuutta mutta myös pajujen hiilensidontaa. Laskelmiin käytettiin pajukentältä saatua aineistoa, mutta aineiston puutteiden vuoksi sitä täydennettiin kirjallisuuden pohjalta. Lietteen käsittelyn kustannukset arvioitiin hankkeen aikaisten koekäsittelyiden yhteydessä. Koekäsittelyiden aikana seurattiin sähkönkulutusta ja henkilötyötuntien määrä/käsittelyvuorokausi. Hankkeen aikana saatiin myös selkeä käsitys biomikserin valmistuskustannuksista, jotka huomioitiin kannattavuuslaskelmissa. Työtä hankaloitti se, että biomikseriä ei Urjalan kunnan taloudellisten vaikeuksien vuoksi viety jätevedenpuhdistamolle ja siirtoon sekä laitoksen mahdollisiin muutoksiin liittyvät kustannukset jouduttiin arvioimaan. Hankkeen aikana on onneksi pyydetty tarjous muun muassa teollisuuspressuhallin kustannuksista, joten kokonaiskustannusten pohjaksi on olemassa lukuja.

Laskelmien pohjalta tehtiin alustava malli arvoketjusta, joka voidaan rakentaa jätevedenpuhdistamon ja pajukentän ympärille.

3 Hankkeen tulokset

Tässä loppuraportissa esitellään vain hankkeen aikana saadut konkreettiset tulokset. Tuloksissa ei käsitellä erikseen hankkeen ylläpitoa tai projektiohjausta, koska ne ovat osa jokaista projektia eivätkä näin ollen kuvaa hankkeen varsinaista tavoitetta tai tulosta.

3.1 Biomikseri

Hankkeen selkeästi merkittävin onnistuminen saatiin uuden biomikserin osalta. Aikataulullisten ja taloudellisten hankaluuksien vuoksi biomikserin valmistuminen venyi vuodenvaihteeseen 2023-2024, mutta siitäkin huolimatta biomikserillä ehdittiin tehdä riittävä määrä lietteen koekäsittelyitä.

Hankkeen aikana toteutettiin lietteen käsittelyyn hyvin soveltuva, hyötytilavuudeltaan noin 5,5m³ biomikseri. Biomikserin lämmöntalteenotto toimi suunnitellusti. Lämpöpumppujen ja lämmönvaihtimen avulla hukkalämpö saatiin hyvin kiertoon ja verrattuna DTS Finland Oy:n tekemiin aikaisempiin lieteajoihin, energiankulutus oli noin 15-30% pienempää kuin aikaisemmissa koeajoissa. Viimeisten muutostöiden jälkeen biomikserin toimintaa saatiin parannettua niin, että vaikeallakin materiaalilla päästiin jo puolentoista vuorokauden käsittelytahtiin. Laitteen ominaisuudet siis tukivat mikrobien toimintaa siten, että massan käsittely ja sitä kautta sen tehokas kuivuminen saatiin aikaiseksi.

Biomikserin osalta hankkeessa saavutettiin sille asetetut tavoitteet. Vaikka aikataulullisesti ei alkuperäisessä hankesuunnitelmassa pysyttykään, biomikseri valmistui kuitenkin riittävän ajoissa ja koekäsittelyt saatiin tehtyä. Biomikserin säätö ja parannustyöt jäi viime hetkeen, mutta niidenkin vaikutus ehdittiin todentaa koekäsittelyiden avulla. Käytännössä biomikserin toimintaan voidaan olla erittäin tyytyväisiä, vaikka 24 tunnin käsittelyyn lietteen osalta ei päästyäkään. Hankkeessa kuitenkin sisäistettiin se, että varsinainen mikrobien aikaansaama prosessointi kyllä menee läpi vuorokaudessa, mutta siinä vaiheessa lopputuote voi olla vielä liian kosteaa pelletöintiä tai varastointia silmällä pitäen. Kuivuminen lopulliseen tavoitteeseen vaatii materiaalista riippuen, vielä 1/2-2vrk lisääaikaa, mutta uudessa biomikserissä toteutetun lämmön talteenoton vuoksi, sen sähkönkulutus on kuivaamisvaiheessakin maltillista käsiteltävään tonnimäärään nähden.

Koekäsittelyiden yhteydessä selvisi, että käsiteltävän massan lämmön seuranta on selkeästi paras muuttuja, jonka avulla voidaan arvioida prosessin toimivuutta ja lopputuotteen laatua. Jos käsiteltävän massan lämpötila ei noussut ensimmäisen 12 tunnin aikana reilusti yli 40°C asteen, ei käsittely missään vaiheessa käynnistynyt parhaalla mahdollisella tavalla. Lopputuote kyllä saatiin aikaiseksi, mutta se vei oletettua kauemmin ja lopputuotteesta saattoi syntyä muutaman viikon varastoinnin jälkeen uudelleen esimerkiksi ammoniakkipäästöjä eli sen stabiilius heikkeni. Jos käsiteltävän massan lämpötila nousi nopeasti yli 50°C, käsittely eteni hyvin, eksotermistä lämpöä syntyi ja noin 1,5 vuorokaudessa saatiin lopputuote, jonka kuiva-aineosuus oli noin 70%. Laadun paremmuus näkyi konkreettisesti varastoitavuudessa ja analytiikan mukaan nopeasti lämmenteestä käsittelystä valmistui myös typpipitoisuudeltaan parempaa lopputuotetta. Analytiikkaotos oli tässä tutkimuksessa niin pieni (3kpl), että tilastollisesti pitoisuuksien eroja ei päästy arvioimaan. Prosessin etenemistä pystyttiin seuraamaan myös biomikserin automaattisen painonmittauksen perusteella. Painon muutos kertoi suoraan haihdunnan tehokkuuden.

Nämä kaksi helppoa ja yksiselitteistä fysikaalista muuttujaa kuvasivat prosessin etenemistä ja laatua paljon paremmin kuin esimerkiksi kaasumittaukset (NH₃, CO₂, CH₄). Kaasumittauksiin vaikutti muun muassa käsiteltävän jätteen laatu, pH ja ilmanvaihto. Kaasumittauksen perusteella tehtiin helposti vääriä johtopäätöksiä prosessin toimimattomuudesta, vaikka muutos kaasumittauksessa aiheutui todennäköisesti pelkästään ilmavirtauksen muutoksesta tai sekoituksen pysähdyksestä. Kun biomikseri on ammattimaisessa käytössä, tulee biomikserin poistoilmasta kuitenkin seurata ammoniakkaa. Ammoniakkimittauksen avulla voidaan reagoida ajoissa typen kaasuuntumiseen ja estää arvokkaan ammoniakkin haihdunta massasta.

3.2. Heräte

Koko mikrotermisen käsittelyn varsinainen ydin on heräte. Herätteen avuksi tarvitaan laite, jolla prosessia voidaan ylläpitää halutulla tavalla ja jonka avulla haihduntaa saadaan tehostettua, mutta laitteella yksistään ei orgaanisen jätteen käsittelyssä saada tuloksia.

Tämän hankkeen tavoitteiden mukaisesti tehtiin mikrobiheräte, joka oli jo valmiiksi sopeutettu lietteen käsittelyyn. DTS Finland Oy on aikaisemmissa projekteissa käsitellyt jätevedenpuhdistamon lietettä ja tätä massaa käytettiin Ravinnehiihi-hankkeen herätteen juurena.

Herätettä saatiin tehtyä jo hankkeen alussa noin 3m³, mutta varastointitilaan pääsi rottia ja ne kontaminoivat suurimman osan herätteestä. Uutta herätettä tehtiin lisää ja keväeseen 2024 mennessä oli valmiina riittävä määrä herätettä, sekä noin kuutio varaherätettä mahdollisten ongelmien varalta. Herätteen kunto tarkastettiin muutaman viikon välein kaasumittauksilla (ei päästöjä = kunnossa) ja tekemällä noin 30 kg koekäsittely pienellä biomikserillä.

Heräte toimi hyvin myös varsinaisissa isoissa koekäsittelyissä. Ensimmäisessä yhdeksän ajon sarjassa ei tosin päästy lähellekään vuorokauden käsittelyvauhtia, mutta on tulkintakysymys, johtuiko alun varsinaisten koekäsittelyiden hitaus herätteestä vai laitteesta. Heräte kehittyy aina varsinaisten käsittelyiden aikana tehokkaammaksi kuin se alun alkaen on. Tämä johtuu siitä, että jätteen mukana massaankulkeutuu uusia mikrobikantoja, jotka vahvistavat omalta osaltaan herätteen toimivuutta. Viimeisten koekäsittelyiden yhteydessä myös uuden biomikserin tärkeimpiä parametrejä pystyttiin säätämään paremmin kuin kokeiden alussa, näin ollen mikrobeille saatiin myös korkeampi käsittelylämpötila ja parempi paine/ilmanvaihto kuin ensimmäisissä koekäsittelyissä. Todennäköisesti kyseessä oli molempien tekijöiden yhteisvaikutus. Näiden muutosten avulla päästiin laadullisesti onnistuneisiin käsittelyihin ja myös käsittelyaika lyheni jopa puolella toista vuorokaudella.

3.3 Mikroterminen käsittely

Pääsääntöisesti mikrotermiset koekäsittelyt onnistuivat hyvin. Alussa lietteen käsittelynaikaista lämpötilaa ei saatu riittävän korkeaksi, vaan se jäi alle 40°C asteen. Tällöin myös käsittelyn läpivienti vei yli kolme vuorokautta, mikä on mikrotermiselle käsittelylle pitkä prosessointi aika. Kun käsittelykammion ympärille rakennetun vaipan toimintaa saatiin parannettua, näkyi tämä suoraan myös käsiteltävän massan lämpötilan nousuna. Lisäksi käsittelykammion sisäpuolista painetta muutettiin ja ilmanpoistoa nostettiin, jolloin käsittely käynnistyi paremmin ja prosessointi nopeutui, mutta vieläkin ei päästy 24 h käsittelyaikaan.

Mielenkiintoinen kuriositeetti oli käsiteltävän lietteen hajumaailman radikaali muutos prosessin käynnistymisen myötä: lietteen käsittelyyn tutustuneet vieraat ovat verranneet lietteen hajua määmiin, hajumaailma oli niin selkeästi mallasmaisen makea. Kaasumittausten avulla voitiin todentaa, että käsittelyprosessi oli hajumaailman muutoksen aikoihin selkeästi lähtenyt käyntiin, mutta se ei suuresta muutoksesta huolimatta saavuttanut korkeinta mahdollista toimintakykyään. Tämä näkyi muun muassa siinä, että prosessista ei vapautunut lämpöä odotetusti ja lopputuotteen kuiva-ainepitoisuus jäi alle tavoitetason, ja näin ollen käsittelyä jouduttiin jatkamaan noin kaksi vuorokautta yhden sijaan. Massan lämpötilaa seurattiin biomikserin oman lämmönseurannan lisäksi myös infrapunalämpömittarilla ja todettiin, että vaikka vaipan lämpötila pysyi korkeana (jopa 80°C astetta), käsiteltävän massan lämpötilaa ei saatu nostettua riittävän nopeasti tavoitetasoon eli 50 asteeseen ja sen yli.

Energiankulutus oli lietteen käsittelyn aikana varsin maltillinen. Uuden biomikserin konseptoinnissa kulutukseksi arvioitiin laskelmien ja mallinnuksen perusteella noin 300kWh/vuorokausi. Käytännössä käsittelynaikainen kulutus vaihteli 280-640 kWh välillä. Kulutuksen erot johtuivat useammastakin tekijästä, kuten kammion täyttöasteesta, ilman kosteudesta, käytetyn lietteen lähtöarvoista ja massan sekoituksen taajuudesta. Kun käsittelyparametrit saatiin optimaalisiksi, kulutus oli noin 340kWh/4m³/24h. Kun kyseisen massamäärän kuivuminen käsitellään teoriapohjalta, käsittely ja kuivuminen veisi optimiolosuhteissa laskennallisesti vähintään 455kWh/vrk. Käytännön pienempi kulutus johtunee biomikserissä käytetystä tekniikasta, jossa hyödynnetään lämmön talteenottojärjestelmää, mutta myös itse mikrotermisestä prosessista, joka on eksoterminen.

Hankkeen loppumetreilla tehtiin vielä kolme+kaksi uutta koeajoa. Biomikserin ohjausta ja ilmanvaihdon säätöä oli muutettu ja näillä parannuksilla päästiin laadullisesti parempiin koekäsittelyihin. Haihdunta tehostui ja vuorokaudessa päästiin jo yli 1000l haihduntaan. Näissä käsittelyissä haluttuun lopputulokseen päästiin noin 32 tunnissa. Myös käsiteltävän massan lämpötila nousi näissä käsittelyissä nopeasti yli 55°C asteen ja poistoilman lämpötilakin oli jo yli 58°C astetta.

Hankkeen aikana saatiin toteutettua onnistuneita lietteen, sekä lietteen ja biojätteen ja lietteen ja lannan käsittelyitä yhteensä neljätoista. Mikrotermisen käsittelyn soveltuvuus lietteen jalostukseen voitiin siis todentaa, vaikka biomikseriä ei saatukaan sijoitettua oikean jätevedenpuhdistuslaitoksen yhteyteen. Käsittelyiden perusteella voitiin todeta, että kun käsittely toimii hyvin ja biomikserin täyttö ja tyhjennys on automatisoitu, ei lietteen käsittelyn ylläpitoon tarvita yhden työntekijän kokoaikaista panosta, vaan käsittely voidaan pyörittää todennäköisesti jätevedenpuhdistuslaitoksen olemassa olevan henkilöstön voimin, kunhan henkilökunta on koulutettu tehtävään. Tällöin lietteenkäsittelystä aiheutuvat kustannukset jätevedenpuhdistuslaitoksella koostuvat pääsääntöisesti hankinnoista sekä laitoksella tehtävistä muutoksista ja sähkönkulutuksesta.

Mikrotermisesti käsiteltyä lietettä lähetettiin kokoomanäyte laboratorioanalytiikkaan. Koska viimeiset Hämeenkyrön lietteellä tehdyt käsittelyt jatkuivat marraskuuhun asti ja näytteen lähetys viivästyi, ei mikrotermisesti käsitellystä Hämeenkyrön lietteestä saatu tähän loppuraporttiin analyysituloksia mukaan. Käsittelyn lietteen laatu ja turvallisuus käsitellään siis Urjalan lietteestä tehtyjen analyysien pohjalta, mikä tukee hyvin pajukentän kasvatustuloksien tulkintaa; kenttä lannoitettiin Urjalan lietteestä valmistetulla kierrätyslannoitteella.

Analyysin mukaan käsittely oli onnistunut hyvin, vaikka vesiliukoisen tyyppien pitoisuus olikin lopputuotteessa oletettua pienempi. Lietteiden pitoisuudet on esitelty tarkemmin taulukossa 1. Vaikka nykyisin jätevesilietteet sisältävät vähemmän raskasmetalleja kuin esimerkiksi 1990-luvulla, vaikuttaa siltä, että ne tulevat estämään lietteiden lannoitekäyttöä jossakin määrin. Urjalan ja Hämeenkyrön (varmistuu joulukuun lopussa) lietteessä oli näiden analyysien perustella muun muassa korkea sinkki ja kupari pitoisuus ja myös elohopean pitoisuus oli lähellä raja-arvoa. Raskasmetallien pitoisuudessa vaikuttaa olevan myös suurta hajontaa eri näytteiden välillä ja pitoisuuksia tulee seurata todella tarkasti, jos lietettä halutaan aktiivisesti käyttää pajujen kasvatuksessa. Pajukentät ovat tässä tapauksessa erittäin kiitollinen kohde liete-annotteelle. Pajut sitovat juuriinsa raskasmetalleja ja näin haitta-aineet eivät ajaudu helposti valumavesien kautta vesistöön. Myös fosforipitoisuus on liete-annotteessa sen verran korkea, että se tulee olemaan määrittävä tekijä lannoitteen käyttömääriä suunniteltaessa. Hygienianalyysissä ei sen sijaan ollut mitään ongelmaa.

Taulukko 1. Mikrotermisesti käsitellyn lietteen analyysitulokset. Liete on Urjalan puhdistamosta.

Kok N	kg/t	34	As	g/t	4,4	E.Coli	pmy/g	<10
vesil N		6,17	Cd	g/t	1	Salmonella		ei todettu
Kok P	kg/t	14	Cr	g/t	48			
vesil P	g/t	64	Cu	g/t	150			
K	kg/t	5,2	Hg	g/t	0,25			
Mg	kg/t	2,8	Ni	g/t	35			
pH		6	Pb	g/t	7,4			
johtokyky	mS/m	366	Mn	g/t	310			
Kuiva-aine	%	83	Zn	g/t	450			
Tuhka	% ka	39,2	B	g/t	<17			
Hehkutushäviö	% ka	60,8	Na	kg/t	1,1			
Tilavuuspaino	kg/m ³	760	S	kg/t	4,7			
C/N		8,1	Fe	g/t	70 000			

Käsittelyiden yhteydessä seurattiin myös hajuhaittoja, hiilidioksidipäästöjen määrää ja käsittelyn aikana syntyvän kondenssiveden määrää ja laatua. Hajuhaittoja havaittiin enemmän, kun ilman suhteellinen kosteus oli suuri. Käytännössä lietekäsittelyiden hajuhaitat saatiin hallintaan lämmönvaihtimen avulla. Kun poistoilmasta saatiin lämmönvaihtimen avulla suuri osa kosteudesta pois, poistuivat myös hajuhaitat. Viimeiset käsittelyt tehtiin lokamarraskuussa 2024, jolloin satoi paljon vettä ja ilma oli muutenkin hyvin kostea. Käsittelyistä tehtiin tältä ajanjaksolta yksi hajuhaittavalitus Tampereen kaupungille. Kun biomikserin poistoputken korkeutta kasvatettiin, hajuhaitta väheni, mutta ei riittävästi.

Herätetestien yhteydessä pienen koneen poistoputken liitettiin hajunpoistoyksikkö, johon laitettiin biohiiltä, villaa, rahkasammalta ja pajuhaketta. Tällä biosuodattimella saatiin pienen koeajon hajuhaitat hyvin hallintaan, mutta tarvittavan biomassan määrä olisi uudessa, hankkeessa toteutetussa biomikserissä niin suuri, että hajunpoisto olisi vastaavalla biosuodatinyksiköllä sekä kallista että kömpelöä. Isolle biomikserille tarvittaisiin kokeen perusteella noin 5m³ hajunpoistoyksikkö. Käytännössä lietekäsittelyiden hajuhaitat saadaan parhaiten hallintaan poistamalla kosteus poistoilmasta, liittämällä kosteuden poiston jälkeiseen ulkoputkeen pieni, noin puolen kuution biosuodatin ja kasvattamalla poistoputken korkeutta ainakin yli katonharjan. On kuitenkin muistettava, että lietekäsittelyistä ei koskaan saada täysin hajutonta. Tämän vuoksi käsittely tulisi nimenomaan liittää osaksi puhdistamaa, jolloin käsittelyn aiheuttamat hajuhaitat eivät aiheuttaisi turhia valituksia.

Käsittelystä vapautui luonnollisestikin hiilidioksidia. Biomikseriin ei asennettu CO₂ sensoria, vaan mittaukset tehtiin käsimitarilla, yläyhteiden kautta. Suurimmillaan päästöt olivat, kun käsiteltävän lietemassan lämpötila oli noussut lähelle 50°C astetta tai sen yli. Tämä osoitti sen, että kun käsiteltävän massan optimaalinen lämpötila saavutettiin, hajotustoiminta lisääntyi ja myös hiilidioksidipäästöt kasvoivat. Tässä vaiheessa päästöt vaihtelivat välillä 2200ppm-800ppm (minuutin mittaus, 11 kuution käsittelykammioista, kun massaa oli noin 3,5m³ ja ilmanvaihto maksimissa). Koska prosessista ei vapautunut hiilidioksidia tasaisesti ja poistoilmasta mitattiin myös ammoniakki- ja metaanipäästöjä eli hiilidioksidi ei ollut puhdasta, on sen hyödyntäminen muualla kuin kasvihuoneissa erittäin haastavaa.

Käsittelyn aikana syntyvän ja kuution säiliöön kerätyn kondenssiveden määrä oli suoraan suhteessa siihen, kuinka märkää käsiteltävä massa lähtökohtaisesti oli. Käytännössä massasta haihtui koko prosessin ajan samalla intensiteetillä kosteutta, riippumatta siitä missä vaiheessa käsittely oli, mikä oli sinänsä erikoinen ilmiö. Tämä antaa vihjeitä siitä, että ilmanvaihdon tehostamisesta huolimatta biomikserissä oli edelleen liian heikko ilman poistuma. Toisin sanoen massasta voisi poistua käsittelyn ensimmäisten tehokkaiden tuntien aikana paljon enemmänkin kosteutta, jos kammion ilma vain pystyisi vastaanottamaan sitä. Nyt ilma vaihtuu niin hitaasti, että se oli koko ajan täysin kyllästetty. Tämä on kuitenkin helposti korjattavissa oleva seikka.

Kun biomikseriin oli laitettu kuutio biojätettä ja kolme kuutiota jätevedenpuhdistamon lietettä, kertyi kondenssivettä 2,5vrk aikana yhteensä 1,7m³. Loppu kosteus purkautui poistoilman mukana höyrynä ulkoilmaan. Analyysin mukaan käsittelystä syntynyt kondenssivesi sisälsi runsaasti ammoniumtyyppiä ja jonkin verran kuparia ja sinkkiä ja sekä kemiallinen että biologinen hapenkulutus oli suurta. Raskasmetallipitoisuus ei ylittänyt Tampereen veden jätevedelle asettamia raja-arvoja.

Taulukko 2. Kondenssiveden analyysit

	µg/l	Tre veden raja-arvot jätevedelle (mg/l)		mg/l	
Pb	13	0,5	kok P	0,17	
Cd	<0,08	0,01	TSS kiintoaine	≈1,0	
Sn	0,82	2,0	kok N	110	
Co	<2		COD	8400	
Cr	7,1	1,0	BOD7	≈7000	
Cu	210	2,0			
Ni	5,1	0,5			
Zn	850	3,0			
NH4-N	110 000		pH	3,5	

Ammoniumtyypen määrä on selitettävissä sillä, että suurin osa koekäsittelyistä tehtiin niin, että ammoniumtyypen haihduntaan ei yritetty vaikuttaa. Tyypen haihdunta käsittelyn aikana on piirre, johon uuden biomikserin konseptoinnissa on puututtu ja ratkaisut sen hallintaan ovat tiedossa. Hallintakeinot ovat kuitenkin sellaisia (voimakas alipaine, rikkihapotus), joita lietteen koekäsittelyissä ei haluttu ottaa vielä huomioon. Tämän hankkeen koeajoissa panostettiin siihen, että prosessi saatiin toimivaksi, ajoparametrit saatiin säädettyä optimaaliseksi, käsittelyaika saatiin riittävän lyhyeksi ja lopputuotteen laatu ja turvallisuus sellaisiksi, että mikrotermisen menetelmän yleinen soveltuvuus lietteen käsittelyyn voitiin todentaa. Kondenssiveden analyysin mukaan biomikseriä tulee kehittää myös ilmanvaihdon osalta; kondenssivedessä oli analyysien mukaan runsaasti orgaanista kiintoainetta ja tämä voidaan estää muuttamalla ilmanvaihtoa sellaiseksi, että kiintoaine suodatetaan poistoilmasta pois, ennen kuin se ohjataan lauhduttimeen. Näin myös lauhduttimen toimintakyky pysyy parempana, kun sinne ei kerry kiintoainetta.

Uudessa biomikserissä oli valmiina ajoparametrit 24h käsittelyyn. Kyseistä ajoparametria muutettiin koekäsittelyiden aikana muun muassa sekoitusnopeuden, sekoitus taajuuden, sekoitustauon ja ilmanvaihdon suhteen. Ohjaus kaikkien oli helppoa ja suurin osa parametrien muutoksista voitiin tehdä etänä. Näin ollen biomikserin ja käsittelyn konkreettiseen ylläpitoon ei tarvittu läsnäoloa ja voidaankin laskea, että käsittelyn ylläpito on ainakin henkilötyötuntien suhteen edullinen. Yhden laitospäivän panoksella saadaan ylläpidettyä useampaan biomikseriä, ainoastaan tyhjennyksen ja täytön osalta suositellaan vielä tässä vaiheessa läsnäoloa ja seuranta, mutta nekin voidaan automatisoida ja ennen kaikkea rakentaa suljetuiksi yhteyksiksi, jolloin kyseiset työvaiheet voidaan hoitaa tarvittaessa automaattisesti ja ohjata etänä.

3.4. Energiapajun kasvatus

Energiapajun kasvatuksessa koettiin tämän hankkeen suurimmat haasteet ja epäonnistumiset. Pajukentälle löydettiin turvetuotannon loppuvaiheen suo, josta saatiin kasvatukseen reilu hehtaarin alue. Turvetuotanto on aina ympäristöluvituksen alaista toimintaa ja pajukentän toteuttamiselle saatiin alueellisesta, luvan myöntäneeltä ELY-keskukselta lupa. Osana lupaa sovittiin muun muassa ylimääräisten vesinäytteiden otosta.

Vesianalyysien tulosten mukaan kentän perustaminen ja lannoitus näkyivät veden laadussa, mutta muutos ei ollut merkittävä. Kaikissa seurantapisteissä veden laatu oli lannoituksenkin jälkeen edelleen sallitun rajoissa. Raportti tuloksista toimitettiin Pirkanmaan ELY-keskukseen. Joulukuussa 2023 otettiin viimeinen ylimääräinen

vesinäyte. Myös tässä havaittiin laadun muutosta verrattuna aikaisempien vuosien joulukuun näytteisiin. Muutos oli selkein fosforipitoisuudessa. Muutoksesta huolimatta veden laatu oli edelleen muihin vastaavan kokoluokan turvetuotantokenttiin verrattaessa hyvä, eikä sallittuja pitoisuusrajoja ylitetty. Veden laadun seuranta jatkettiin hankkeen loppuun asti, mutta niissä ei näkynyt vuodenaikaan ja sadeolosuhteisiin suhteutettuna mitään sellaisia muutoksia, joiden olisi voitu olettaa johtuvan turvealueen ylimääräisestä lannoituksesta. Tulosten mukaan vanhojen turvetuotantoalueiden lannoitus ei siis aiheuttaisi merkittävää riskiä valumavesiin.

Kentän perustaminen alueelle onnistui olosuhteisiin nähden hyvin. Alueiden tuhkaus ja eri lannoitteiden levitys saroille tehtiin Tmi Salon traktorilla. Tuulinen sää teki jauhemaisen lietepohjaisen lannoitteen levityksestä epätasaista, mutta epätasaisuutta korjailtiin käsivoimin lapiolla ja haralla. Mineraalilannoite levitettiin kokonaan käsin ja sen levitys onnistui hyvin.

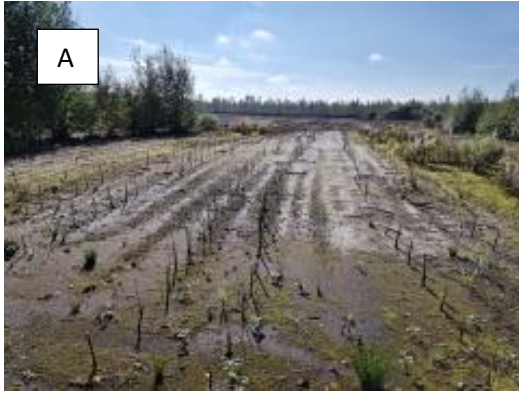
Lannoitteen levityksen jälkeen kukin alue olisi pitänyt kyntää, jotta lannoitteet, tuhka ja biohiili olisi sekoittunut kasvukerrokseen ja lannoitteet olisivat peittyneet maahan. Näin ne olisivat pysyneet paremmin turvassa muun muassa syysateilta. Yhteistyökumppani ei kuitenkaan ollutkaan käynyt kentällä heti lannoitteen levitystä seuraavana päivänä tekemässä kyntöä, vaan siirsi työn seuraavan viikon alkuun. Viikonloppuna tuli kuitenkin kova pakkas ja lumisade, ja kyntöä ei pystytty enää tekemään, koska pintakerros oli kovettunut kovien yöpakkasten vuoksi.

Pajujen istutus epäonnistui ja tämä epäonnistuminen heijastui läpi koko loppuhankkeen. Koska Parkanon Pohjoisnevan läheltä ei löytynyt sellaista traktoria, jolla pajun istutuskone olisi saatu liikkeelle, tehtiin istutus käsin. Istuttajia oli monta ja yksistään jo istuttajan taito vaikutti siihen, oliko pajupistokas lähtenyt kasvuun vai ei. Mikäli pistokas oli työnnetty maahan vain muutaman sentin syvyydeltä, oli se todennäköisesti kärsinyt kesän 2023 kuivuudesta tai vastaavasti kevään 2024 rankkasateista. Molemmissa tapauksissa pistokas ei päässyt juurtumaan ja paju kuivettui/kuoli pystyyn tai lähti tulvaveden mukaan.

Syvään, lähes 15cm, syvyyteen työnnetty pistokkaat olivat selvinneet rankoista sääolosuhteista paremmin. Ne olivat suuremmalla todennäköisyydellä lähteneet hyvää kasvuun, eivätkä ne kaatuneet edes kevään 2024 rankkasateiden aikana, kun sarkojen välilojista valui voimakkaina puroina vesi suoraan istutusalueille.

Pajun kasvun ensimmäinen arvio tehtiin 12.9.2023. Arvion mukaan paju oli kasvanut lietepohjaisella lannoitteella yhtä hyvin kuin kaupallisella mineraalilannoitteella. Kesän kasvutulosta haittasi kuivuus. Tämä näkyi kaikilla koealueilla yhtä lailla, tosin sarka, jolle lisättiin biohiiltä, näytti kestäneen kuivuuden paremmin. Tämä oli se mitä biohiilillä haettiin. Tulosten mukaan ne alueet, joilta turve oli jyrstetty lähes mineraalimaannosta myöten pois, olivat herkimpiä kasvuolosuhteiden kuivuudelle. Tätä ei edes biohiilillä pystynyt korvaamaan.

Tässä kohtaa pajujen kasvua arvioitiin juuren ja verson pituuksia vertaamalla. Tulosten mukaan lannoitteen alkuperällä ei ollut merkittävää vaikutusta pistokkaiden menestymiseen, lietteellä ja mineraalilannoitteella saatiin hyvin samantapaiset kasvun tulokset. Kasvutulokseen näytti vaikuttavan enemmänkin se, oliko pistokas istutettu touko- vai kesäkuussa. Kuuma kesä oli kuitenkin aiheuttanut sen, että pistokkaista oli elossa enää vajaa 10%.



Kuva 3. Epäonnistunutta (A) ja onnistunutta (B) pajukenttää loppukesällä 2023. Kuvassa näkyy hyvin maannoksen vaikutus kasvuun.

Esimerkki syksyn 2023 mittauksista pajukentällä. Koska istutus kesti useamman viikon, on toukokuun ja kesäkuun istutuksista tehty mittauksia erikseen.

1. keinolannoite, toukokuun istutus, verson pituus 66cm
2. keinolannoite, toukokuun istutus, verson pituus 67cm
3. keinolannoite, toukokuun istutus, verson pituus 65cm
4. Liete, toukokuun istutus, verson pituus 96cm
5. Liete, toukokuun istutus, verson pituus 87cm
6. Liete, toukokuun istutus, verson pituus 103cm
7. Keinolannoite, kesäkuun istutus, verson pituus 105cm
8. Keinolannoite, kesäkuun istutus, verson pituus 95cm
9. Keinolannoite, kesäkuun istutus, verson pituus 66cm
10. Liete, kesäkuun istutus, verson pituus 63cm
11. Liete, kesäkuun istutus, verson pituus 44cm
12. Liete, kesäkuun istutus, verson pituus 47cm
13. Liete/hiili, kesäkuun istutus, verson pituus 86cm
14. Liete/hiili, kesäkuun istutus, verson pituus 86cm
15. Liete/hiili, kesäkuun istutus, verson pituus 51cm
16. Keinolannoite, toukokuun istutus, juuren pituus 40cm, erittäin haaroittunut
17. Liete, toukokuun istutus, juuren pituus 50cm
18. Keinolannoite, kesäkuun istutus, juuren pituus 37cm, erittäin haaroittunut
19. Liete, kesäkuun istutus, juuren pituus 41cm, vahvoja ja huonosti haarottuneita
20. Liete/hiili, kesäkuun istutus, juuren pituus 23cm
21. Verrokki, toukokuun istutus, juuren pituus 50-30cm, verson pituus 48cm

Kesäkuun 2024 tarkastuskäynnillä selvisi, että kova pakkastalvi oli palelluttanut parhaiten kasvuun lähteneiden yksilöiden vuosikasvuja, mutta näissä yksilöissä kasvu oli lähtenyt uudelleen käyntiin pistokkaan tyveltä, läheltä maanpintaa. Osa hyvin kasvaneista yksilöistä oli jäljistä päätellen päätynyt hirvien ruoaksi. Suurimman tuhon oli kuitenkin saanut aikaan kevään 24 runsaat sateet. Turvetuotantokentän valumavesiallas oli täytynyt ääriään myöten, jolloin veden pinta oli noussut korkealle myös koesarkojen välilojissa. Vesi oli tulvinut yli ja vesimassa oli vienyt mukanaan osan koesarkojen turvealustaa ja sen mukana myös pajupistokkaita. Tuhojen jälkeen alueelle jäi yhteensä noin 5% kasvussa olevia pajuja.



Kuva 4. Alkukesä 2024. Kuvassa näkyy, kuinka kevättulva on kaatanut ja vienyt mukana pistokkaita. Kuvassa näkyvät vaaleat juovat on tulvaveden kulkeumasta aiheutuneita maannoksen siirtymiä. Toisessa kuvassa on hyvin kasvuun lähtenyt, talvella paleltunut yksilö.

Lopullinen pajujen kasvun arvio tehtiin 4.8.2024. Arvio tehtiin tarkastelemalla kunkin saran pajukasvuston fyysistä kuntoa kokonaisuutena, ja muutaman satunnaistetun näytteen perusteella selvitetiin poikkesiko eri lannoitteella kasvatettujen pajuyksilöiden juurten tai maanpäällisen biomassan kasvu toisistaan. Koska elossa oli enää vain noin 5% istutetuista yksilöistä, jouduttiin kasvun arvio tekemään hyvin pienellä aineistolla ja tämä heikentää tulosten tilastollista uskottavuutta.

Tulosten mukaan pajujen kasvuun ja kehitykseen vaikutti tässä hankkeessa enemmän se, oliko pajuyksilö /yksilöt istutettu hyvälle alueelle. Hyvällä alueella tarkoitetaan sellaista turvetuotantokentän osaa, jolla oli riittävästi kasvuturvetta ja pistokas oli istutettu vähintään 15cm syvyyteen. Kaikki ohuelle turpeelle tai hiesu-savi-turve-maannokseen istutetut yksilöt olivat joko kuolleita tai todella huonossa kasvukunnossa syksyllä 2024.

Varsinaisten mittausten mukaan mineraalilannoitteella lannoitetulla alueella pajujen juurten biomassa oli suurempi kuin lietteellä tai lietteellä ja biohiilellä lannoitetulla alueella. Ero oli todella selvä; mineraalilannoitealueella mittaukseen mukaan otettujen yksilöiden juurten kuivamassan keskiarvo oli 109 g, kun vastaava arvo lietteellä lannoitetuilla koesaroilla oli vain 28 g. Maanpäällisessä biomassan kasvussa tulos oli päinvastainen; mineraalilannoitetulla alueella maanpäällinen biomassa oli mittaukseen mukaan otettujen pajujen perusteella keskimäärin 35 g, mutta lietteellä lannoitetuilla vastaava arvo oli 85 g. Kaikki punnitukset tehtiin kuivapainoista.



Kuva 5. Pajumateriaalin mittaukset.

3.5. Loppulaskelmat

3.5.1. Hiilensidonta

Pajun hiilensidonnan laskeminen perustuu pajun biomassan hiilipitoisuuden arviointiin. Yleisesti ottaen kasvien kuiva-aineen hiilipitoisuus on noin 45-58 %. Tässä hankeraportissa käytettiin laskelmissa arvoa 50 %. Hiilensidonta laskettiin ensin koekentältä saatuja tuloksia hyödyntäen. Näissä laskelmissa laskettiin erikseen mineraalilannoitesaran tulos ja sitä verrattiin lietteellä kasvatettuihin yksilöihin. Koska hankeaika käsitti vain kaksi kasvukautta ja nekin epäonnistuivat, tehtiin tuottavan yli kolmevuotiaan pajukentän laskelmat kirjallisuuden ja muiden Suomessa toteutettujen hankelaskelmien perusteella. Näin saatiin selville, kuinka paljon iso energiapajukenttä voisi sitoa hiiltä, kun sen kasvu on parhaimmillaan. Vain maahan sitoutuneella hiilellä on merkitystä, kun arvioidaan toiminnan kelpoisuutta esimerkiksi hiilikompensaatiota ajatellen.

Nuori pajukenttä, mineraalilannoitus

Pajukentän toinen kasvukausi, pajuyksilöiden (11 yksilöä) kuivabiomassan kertymän keskiarvo 144 g => 0,5 x 144 g = 72 g hiiltä. Kasvatuskokeessa käytettiin istutustiheytenä noin 10 000 pistokasta/ hehtaari. 72 g X 10 000 pajuyksilöä = 720 000 g eli 720 kg. Juuribiomassan osuus mineraalilannoitetulla kentällä oli peräti 75%, jolloin juuriin olisi näin ollen hehtaarin alueella kertynyt kahdessa vuodessa noin 540 kg hiiltä. Kuiva-ainetta pajukentältä syntyisi vuodessa noin 1,5 t/ha.

Nuori pajukenttä, jätevedenpuhdistamon lietteestä mikrotermisesti valmistettu kierrätyslannoite

Pajukentän toinen kasvukausi, pajuyksilöiden (7+5 yksilöä) kuivabiomassan kertymän keskiarvo 113 g => 0,5 x 113 g = 56,5 g hiiltä. Kasvatuskokeessa käytettiin istutustiheytenä noin 10 000 pistokasta/ hehtaari. 56,5 g X 10 000 pajuyksilöä = 565 000 g eli 565 kg. Juuribiomassan osuus lietteellä lannoitetulla kentällä oli vain 25 %, jolloin juuriin olisi näin ollen hehtaarin alueella kertynyt kahdessa vuodessa noin 141 kg hiiltä. Kuiva-ainetta pajukentältä syntyisi vuodessa noin 1,13 t/ha.

Parhaassa kasvussa oleva pajukenttä

Pajukentän kuudes kasvukausi, laskenta ennen sadonkorjuuta, pajuyksilöiden maksimaalinen kasvu, ja biomassaa-arviona käytetty arvoa 9,3t kuiva-ainetta/ha vuodessa (UusiSuo 2023): $9,3t \times 0,5 = 4650\text{kg/C/ha/v}$. Kolmessa vuodessa hiiltä kertyisi pajupeltohehtaarille tällöin 13 950kg. Useiden eri lähteiden perusteella, nopeakasvuisen energiapajun juuribiomassa kasvaa vuodessa noin 20-40 % verson biomassasta. Maahan kertyisi hehtaarille tämän mukaan silloin kolmessa vuodessa 2790–5580 kg ja vuodessa 930 – 1860 kg hiiltä juurten muodossa. Yhtä pajua kohden se tarkoittaisi 93–186 g/C/v, jos istutustiheys on 10 000 pistokasta/ha.

Luonnonvarakeskuksen toimittamassa ”Pajut biokiertotaloudessa Materiaaleja, arvoaineita, ympäristöhyötyjä”- julkaisussa (Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2022) pajujen hiilensidonnasta on tehty yhteenveto, jossa on käsitelty useamman eri tutkimuksen tuloksia pajujen maanalaisen hiilensidonnan määrästä ja laadusta. Yhteenvedon mukaan pajujen juurten ja maanalaisen karikkeen hiilensidonnasta on eri tutkimuksissa saatu hyvinkin poikkeavia tuloksia. Juuren biomassan kasvu on vain yksi osa hiilen sidonnan laskentaa. Osa maahan tulleesta hiilestä lähtee nopeasti takaisin kiertoon ja palaa ilmakehään maahengityksen kautta. Osa hiilestä on mukana niin sanotussa labiilissa hiilivarastossa, jonka määrä vaihtelee. Vain osa maaperään sitoutuneesta hiilestä siirtyy maaperän pitkäaikaisiin hiilivarastoihin ja vain tällä hiilellä on merkitystä, jos pajukenttienkin hiilikompensaatioita lähdetään laskemaan.

Tämän hankkeen selvitysten perusteella ei pystytty arvioimaan kuinka paljon hiiltä kertyy pitkäaikaiseen hiilivarastoon. On kuitenkin hyvä muistaa, että kierrätyslannoitteet sisältävät paljon orgaanista ainesta. Näin ollen maahan viedään jo lannoitteiden mukana orgaanista ainetta, joka osaltaan lisää maaperän hiilen määrää. Orgaanisten lannoitteiden hiilipitoisuus voidaan laskea orgaanisen aineksen perusteella käyttämällä seuraavaa kaavaa: $\text{Hiilipitoisuus} = \text{Orgaaninen aines} \times 0,58$. Tämä kaava perustuu siihen, että orgaaninen aines sisältää keskimäärin noin 58 % hiiltä. Hankkeessa tehtyjen analyysien mukaan mikrotermisesti tuotetussa lietepohjaisessa kierrätyslannoitteessa on 60,8% orgaanista ainesta, käytännössä siis tonni kyseistä lannoitetta sisältää 352 kg hiiltä.

Tulosten mukaan liete ei kenties ole paras mahdollinen lannoite, jos mietitään kenttiä pelkästään juuribiomassan ja hiilen kautta. Lietteellä kuitenkin saatiin hyvä versokasvu ja pajut olivat muutenkin terveitä.

Pajut siis tuottivat lietteen avulla lähes yhtä paljon biomassaa kuin mineraalilannoitteellakin. On hyvä miettiä, johtuiko juuribiomassan erot pelkästään käytetystä lannoitteesta vai myös muista juurten kasvuun vaikuttavista tekijöistä? Maaperäanalyysien mukaan pajukentät sijoittuivat eri maannostyypeille, mikä osaltaan voi vaikuttaa tulokseen. Maaperän viljavuustestin mukaan eri sarat olivat lähtötilanteessa viljavuutensa suhteen hyvin tasavertaiset. Myös syksyllä 2024 otettujen maaperänäytteiden perusteella viljavuus oli kullakin saralla samaa luokkaa. Tulosten perusteella pajut olivat sitoneet suurimman osan ravinteista kasvuunsa ja tulos oli sama riippumatta siitä, millä lannoitteella koesara oli lannoitettu. Tätä ajatusta tuki myös alueelta otetut vesinäytteet, joiden ravinnepitoisuus ei noussut lannoituksen jälkeen.

3.5.2 Arvoketju ja kannattavuus

Laskelman taustaa

Tämän hankkeen arvoketju arvioitiin yhden pienen jätevedenpuhdistamon näkökulmasta, eikä siinä pyritty laajaan elinkaarilaskentamalliin. Laskelmissa ei siis huomioitu esimerkiksi biomikserin materiaalihankintoja tai kuljetuskustannuksia, vaan biomikserin kustannukset huomioitiin laskelmissa leasing- maksuna, jonka puhdistamo maksaisi biomikseristä. Tämä leasing pitää sisällään herätteen ja vuosihuollot, sekä tarvittavan analytiikan ja laatureunan, jonka avulla lietepohjaisen lannoitteen lannoitekelpoisuus voidaan todentaa. Laskennassa oletettiin, että lietteen käsittely menee jätevedenpuhdistuslaitoksen olemassa olevan ympäristöluvan piiriin vähin muutostöin. Nämä muutostyöt ovat huomioitu puhdistamon muutostöiden kustannuksissa.

Puhdistamo tuottaa vuodessa 500t lietettä ja tästä määrästä syntyy kuivaa kierrätyslannoitetta mikrotermisen käsittelyn jälkeen noin 125t. Lietepohjaisen kierrätyslannoitteen ravinnepitoisuus oli pääravinteiden osalta (Urjala): kok N 34kg/t, vesiliukoinen N 6,17/t, kok P 14kg/t ja K 5,2 kg/t. Jos pajukenttien perustamisvaiheessa käytetään 170 kg kok N/ha lannoitemäärää, riittää 125 t mikrotermisesti valmistettua lannoitetta tällöin 25ha pajupellon perustamiseen ja ylläpitoon. Yhdelle hehtaarille levitetään tällöin 5t lietelannoitetta. Tästä määrästä hehtaarille pajupeltoa tulee 70 kg fosforia ja 26 kg kaliumia. Käytännössä lannoitetta jää myyntiin, koska pajupeltoa ei tule lannoittaa yli. Eteenkin uusi fosforiasetus asettaa lannoitukselle nykyisin paljon tiukemmat ehdot ja käytännössä pajupellolle saa levittää hehtaaria kohden vain noin 2,8t/ha. Lietepohjaiselle mikrotermisesti käsitellylle kierrätyslannoitteelle arvioitiin typen ja vesiliukoisen typen perusteella hinta 100€/t (alv 0%).

Puhdistamosta syntyvän lietteen kuiva-ainepitoisuus on ruuvikuivaimen jälkeen 15 %. Oletetaan, että liete kuljetetaan puhdistamolta biokaasulaitokselle (kuljetus noin 50km säteellä) ja lietteen hävityksestä aiheutuu kustannuksia kunnalle 21 000 €/ vuosi (kysely Urjalan ja Hämeenkyrön kunnasta). Jätevedenpuhdistuslaitos on vanha ja biomikseriä varten laitosta joudutaan laajentamaan. Laajennus päätetään tehdä teollisuuspressuhallilla. Kaikki kustannukset on jaettu laskelmaan siten, että niiden takaisinmaksuaika on 10 vuotta, myös hallin ja muutostöiden. Näin toimien mikrotermisestä menetelmästä aiheutuvia kokonaiskustannuksia oli helpompi verrata jätevedenpuhdistamon tämän hetken ylläpitokuluihin. Puhdistamon kokonaislaskelmasta saatavaa erotusta käytettiin arvoketjussa tunnuslukuna, joka kuvaa puhdistamon tilannetta takaisinmaksuaikana (10 vuotta).

Laskelmassa oletettiin hankesuunnitelman mukaisesti, että kunta omistaa/ostaa vanhan turvetuotantoalueen, jolle pajunkasvatuskenttä perustetaan. Tällöin kunta saa puhdistamosta ”ilmaiseksi” lannoitteet pajun kasvatukseen. Laskelmissa päädyttiin 25 ha pajupeltoon, koska kirjallisuuden mukaa se ylittää hyvin keskitetyn viljelyn vähimmäispinta-alan (tämä on se hehtaarimäärä, joka mahdollistaa tehokkaan viljelyn ja biomassan tuotannon, mikä on tärkeää erityisesti pajun bioenergia- ja biohiilikäytössä). Perustaminen voidaan tehdä osana olemassa olevaa ympäristölupaa ja pajukentällä otetaan huomioon suojavyöhykkeet ja valumavesien vaikutusta alueen vesistöön tarkkaillaan veloitettarkkailun mukaisesti 2 krt vuodessa. Pajupellon perustamiskulut laskettiin hankekustannusten perusteella ja niitä on verrattu kirjallisuuden vastaaviin arvioihin ja täydennetty tarvittaessa.

Taulukko 3 A ja B. Mikrotermisestä menetelmästä ja pajupellon perustamisesta aiheutuvat kulut sekä lietemyynnin ja pajun energiamyynnin tulot.

A	Biomikseri	Puhdistamon muutostyöt sis halli ja varastoinnin + muut muutokset	sähkö	sähkö	hlö kustannukset	lopputuotteen myyntihinta (125t/v)	kulut nyt (kuljetus ja porttimaksu)
	leasing		kwh/kk		€/kk	100€/t myyntihinta	€/kk
	-3200 €/kk	-2100 €/kk	10 350	-1200 €/kk	0		-1750
vuodessa	-38400 €/v	-25 200 €/v		-14400 €/v	0	+12 500	-21 000
YHT VUODESSA				-78 000		-65 500	-44 500

B	turvesuo 25h (maamittauslaitos.fi)	Pajukentän perustamiskulu pajukentän istutuskulut laitevuokra+työ +polttoaine	paju-pistokkaa t + kuljetus	pajukentän ylläpitokulut lannoitus tarvittaessa, rikkaruohojen hävitys, kastelu jne	pajujen leikkuu + haketus+kuljetus työtehoseurannan urakkararvioiden pohjalta korjuu 150€/ha -haketus alihankintana sisältäen kuljetuksen (100km) 25€/t (tuotto 9t ka/hax2 tuorebiomassa)	*hakkeen määrä kuiva-aineena, 1t kuiva-ainetta tuottaa 5,4 MWh energiaa MWh myyntihinta noin 20€	MWh hinta vaihtel 40,06 euroa /MWh (Tilastokeskus ja Luken tilastot)
yksikkö	800 €/ha (max)	4500€/ha	2200€/ha	2500€/vuosi	3 750€ + 11 250	3x(9,3x25) =697,5t	
kok	20 000€	112 500€	55 000€	7 500€/3v	15 000€/3v välein	697,5t x 5,4MWh= 3766,5	
				25 000€/10v	45 000€/10v	3766,5MWh x 20€= 75 330€/3 vuotta kasvua	150 660€
				62 500€/25v	120 000€/25v	10 vuotta= 251 100 €	502 200€
						25 vuotta 627 750€	1,3M€

Taulukko 4. Arvoketjun menot ja tulot takaisinmaksuaikana (10v)

Puhdistamo	Pajukenttä	Hakkeen myynti 3 v välein 10ssä vuodessa	Kaukolämpö	
-44 500€/v				
-445 000€/10v	-257 500€/10v	251 100/10v	251 000 (50% katteella)	
			-200 400€	

Hanketulosten perusteella, jätevedenpuhdistamon lietteen ja pajun kasvatuksen ympärille perustettu arvoketju ei tuottaisi ensimmäisen kymmenen vuoden aikana voittoa, vaan noin 200 000€ tappiota. Tästä tappiosta suurin osa kohdistuisi jätevedenpuhdistamoon. Lietteen käsittelyyn tarkoitettujen biomikserin, sekä puhdistamon korjaustöiden kuoletus saatiin laskelmissa tehtyä kymmenessä vuodessa. Tämän jälkeen biomikseri voidaan joko uusia, jolloin laitekustannukset pysyisivät samanlaisena kuin hankkeen alussakin. Toinen ja arvoketjun

näkökulmasta ajatellen parempi vaihtoehto olisi ottaa biomiseri kunnan omistukseen. Vaikka biomikseri on rakenteeltaan kohtuullisen yksinkertainen, on siinäkin osia, jotka kuluvat. On siis täysin tapauskohtaista, kuinka paljon korjaus ja huoltokuluja biomikserin ylläpitoon kuluu kymmenen vuoden käytön jälkeen. Kun kuoletukset on tehty, pajukasvatuksen pitäisi vuosi vuodelta tuottaa enemmän voittoa. Käytännössä pajupellot ehtisivät tuottaa siis 15 vuotta voittoa, ennen kuin pajujen istutus jouduttaisiin tekemään uudelleen.

Vaikka Suomeen ja eteenkin Tanskaan on viime vuosina perustettu uusia pajupeltoja, on pajun energiahake myynnistä yllättävän vähän erillisiä tilastoja käytettävissä. Tässäkin hankkeessa käytettiin laskelmien pohjana toisista hankkeista saatuja avainlukuja. Energiapajuhakkeen myyntituotto voidaan laskea monellakin tapaa ja laskettaessa kymmenen vuoden tuottoa, se vaihtelee laskutavasta riippuen 72 160 € - 251 100 € välillä. Pienin tuotto saatiin, jos hankkeen myyntituotto laskettiin hakkeen tuorepainoa kohden ja suurin tuotto saatiin, kun myynti laskettiin MWh perusteella, jota tässä hankkeessa käytettiin myös arvoketjua arvioitaessa. Muistettava on, että energiahakkeen kuin myös MWh hinnoittelu elää jo viikkotasolla, jolloin laskelmissa joudutaan käyttämään kvartaalien keskiarvoja.

Arvoketjussa jäi huomioimatta ympäristö- ja kansaintaloudelliset näkökulmat, koska niille on vaikea antaa sellaista hintaa, joka laskelmissa voitaisiin huomioida. Tällaisia kuitenkin on:

- Kun lietteen käsittely tehdään puhdistamalla, vähenee kuljetukset.
- Kuiva lopputuote saadaan vähemmällä kuljetusmäärällä pajupellolle, kuin liete biokaasulaitokselle
- Toiminnalla vähennetään fossiilisten mineraalilannoitteiden käyttöä ja lisätään lannoiteomavaraisuutta.
- Kotimaisen biomikserin valmistaminen työllistää useita pienyrittäjiä ja alueellisia toimijoita, myös pajun kasvatuksella on työllistävää vaikutusta.
- Energiapajun tuotanto lisää Suomen energiaomavaraisuutta ja vähentää ulkomaisen hakkeen tuontia, lisäksi se vähentää painetta kaataa metsää energiatuotantoon, jolloin kotimaisen puun jalostusarvo kasvaa.
- Kun liete käsitellään mikrotermisesti, lietteen ja siinä olevien haitta-aineiden jatkokäyttö on hallittua.
- Kun liete toimitetaan biokaasulaitokselle, siitä saadaan biokaasua, mutta samalla liete ja sen haitta-aineet ovat laimenneet suurempaan määrään nestettä. Haitta-aineiden hallinta vaikeutuu ja suurelle määrälle erittäin nestepitoista mädätettä on vaikeampi löytää mielekäs lannoituskohde. Lisäksi mädätteen kuljetus on kalliimpaa ja varastointi haastavampaa.
- Mikrotermisesti käsitelty liete on lannoiteominaisuuksiltaan hyvä, sen mukana maaperään saadaan myös orgaanista ainesta ja hiiltä. Liete on turvallista käsitellä, koska liete voidaan hygienisoida käsittelyn yhteydessä

Mikrotermisen käsittelymenetelmän kustannustehokkuus

Biomikserin kustannustehokkuus lietteenkäsittelyssä arvioitiin laskelmalla käsittelykustannukset käsiteltyä lietemäärää, sekä tuotettua lopputuotetonna kohden (lietepohjainen lannoite) vuodessa. Käsittelykustannuksiin otettiin mukaan biomikserin kuukausi-leasing, puhdistamolle tehtävien muutosten kustannukset ja käsittelyn sähkönkulutus. Laskelmien mukaan kustannukset olivat lietetonna kohden 156 € ja lopputuotetonna kohden 624 €. Kustannukset ovat korkeita, varsinkin kun niitä vertaan vaikkapa biokaasulaitosten porttimaksuihin, jotka ovat tällä hetkellä keskimäärin 50 €/t.

Lopputuotteen myynnistä ei tällä hetkellä saada niin suurta korvausta, että silläkään voitaisiin kattaa käsittelykuluja merkittävästi. Kustannustehokkuutta laskee biomikserin suurehko leasing- maksu. Biomiksereitä ei valmisteta vielä sarjana, mikä nostaa laitteen tuotantokustannuksia. Tällä hetkellä myös metallin maailmanmarkkinahinta vaihtelee. Tämän hankkeen aikana kärsittiin korkeista hinnoista niin metallin kuin toiminnallisten yksikköjenkin osalta, mikä nosti tuotantokustannuksia huomattavasti ja laski mikrotermisen käsittelymenetelmän kustannustehokkuutta lietteen käsittelyssä.

Kun biomikserin sijoittamisesta puhdistamolle aiheutuvien rakennustöiden, sekä itse biomikserin kulut on saatu kuoletettua, laskee lietteen käsittelykustannukset merkittävästi. Tällöin kustannukset olivat lietetonna kohden alle 40 € ja lopputuotetonna kohden noin 140 €. Tällöin toiminta olisi kustannustehokasta, kun huomioidaan lopputuotteen myynti ja ennen kaikkea energiapajun tuotto.

4. Tulosten hyödyntäminen

Kuten hankehakemuksessa jo todettiin, yksistään jätevedenpuhdistamoista syntyy vuositasolla jopa miljoona tonnia ravinnerikasta lietettä, jota voidaan käyttää lannoitetaroituksessa, kunhan käyttökohde on oikea. Suurin osa orgaanisesta jätteestä on erittäin vesipitoista. Lietteissä ja mädätteissä kuiva-aineen osuus on vain 5-30 %, ja näissäkin voi olla mukana jo esikuivaus. Jotta jätteissä olevat kalliit ravinteet saadaan hyötykäyttöön, tulisi märkä liete tai mädäte saada sellaiseen muotoon, että niiden varastointi, kuljetus ja peltolevitys on mielekästä ja taloudellisesti kannattavaa. Erilaisia orgaanisen jätteen käsittelymenetelmiä on olemassa, mutta selkeästi sellaisille menetelmille, jossa kuiva-aineen osuus nousee käsittelyn myötä lähelle 70 %, on tarvetta.

Ravinnehiili-hankkeen tuloksia on hyödynnetty ja tullaan hyödyntämään DTS Finland Oy:n toiminnassa. Hyödyntämisessä panostetaan siihen, että markkinoille saadaan menetelmä, jolla edellä esitettyyn ongelmaan voidaan vaikuttaa. Ravinnehiili-hankkeessa valmistettiin ensimmäisen kerran iso, useamman kuution biomikseri, jolla voidaan käsitellä 5-6m³ panoksia orgaanista jätettä kerralla. Uuden isomman biomikserin avulla DTS Finland Oy on voinut lähestyä jo täysin uusia asiakaskuntia ja käsittelymenetelmää on voitu kehittää hanketulosten avulla vastaamaan muun muassa biokaasutuotannon tarpeita.

Tämän hankkeen tuloksia tullaan hyödyntämään biomikserin ja mikrotermisen menetelmän edelleen kehittämisessä. Hankkeen aikana kävi selväksi, että panosyöttöinen laite ei riitä, jos jätettä syntyy vuositasolla lähemmäs 100 000 t. Hankkeen innoittamana lähdetään uusien yhteistyökumppaneiden ja hankkeen aikana tutuksi käyneiden suunnittelijoiden ja toteuttajien kanssa kehittämään jatkuvasyöttöistä biomikseriä.

Hanketuloksia tullaan hyödyntämään myös JFT-rahoitteisessa Pauli-hankkeessa. Pauli-hankkeessa pajun hyödyntämismahdollisuuksia avataan todella laajasti ja siinä tehdään kannattavuuslaskelmia, joiden perusteella on helppo lähteä viemään pajun jalostustoimintaa Suomessa eteenpäin.

Kun hankkeen aikana käytiin läpi pajunkasvatuksen taustatietoja ja aikaisempia tutkimustuloksia kävi selväksi, että pajussa on taloudellista potentiaalia hyvin monessa mielessä. Siitä huolimatta hankkeen kannattavuuslaskelmien perusteella energiapajun tuotanto saatiin laskelmissa positiiviseksi vasta, kun suurimmat alkusijoitukset oli kuoletettu, ja kuoletus aika oli kymmenen vuotta. Hankkeen arvoketjulaskelma perustui oletuksiin, mutta taustalla oli todellisia lukuja. Hankelaskelmia hyödynnetään, kun mikrotermisen käsittelymenetelmän kannattavuutta eri asiakassektoreille lasketaan. On kaikkien etu, että toiminnan kannattavuus pystytään laskemaan mahdollisimman realistisesti.

5. Hankkeen vaikutukset

Hankkeen vaikutukset arvioitiin puhtaasti DTS Finland Oy:n ja muiden hankkeeseen osallistuneiden tahojen näkökulmasta. Vaikutuksia tarkasteltiin työpaketikohtaisesti ja kuten ennakoitiinkin, hankkeen suurimmat vaikutukset kohdistuivat pääsääntöisesti biomikseriin, pajujen koekasvatukseen sekä tiedottamiseen.

5.1. positiiviset vaikutukset

- + On lisätty tietoisuutta siitä, että Suomen omavaraisuus lannoitteissa voisi olla paljon parempi, jos ravinnepitoiset orgaaniset jätteet otettaisiin järjestelmällisesti hyötykäyttöön
- + On lisätty tietoisuutta siitä, että mikrobien avulla voidaan tehdä muutakin kuin biokaasua.
- + DTS Finland Oy, mutta myös muut hankkeeseen osallistuneet saivat uusia asiakaskontakteja hankkeen myötä

++ Opittiin paljon uutta, ja tätä tietoa voidaan hyödyntää seuraavissa hankkeissa sekä yritystoiminnassa. Mikroterminen menetelmä on jätteenkäsittelymenetelmänä uusi ja se kärsii tietynlaisesta uskottavuusongelmasta. Tässä hankkeessa saatiin todennettua menetelmän soveltuvuus myös patogeenejä sisältävän lietteen käsittelyssä ja lisättiin mikrotermisen menetelmän positiivista imagoa.

-> Tällä hetkellä suuri osa jätevedenpuhdistamoiden lietteestä kuljetetaan biokaasulaitoksille tai kompostointiin. Biomikseri oli laskelmien mukaan taloudellisesti hyvin raskas sijoitus pienelle puhdistamolle, mutta voitaisiinko biomikserin rakennetta ja rakennustekniikka muuttaa siten, että leasing-maksu laskee.

-> Vaikka mikroterminen käsittelymenetelmä on DTS Finland Oy:n kehittämä, opittiin hankkeen aikana uutta myös itse käsittelystä. Isossa biomikserissä optimaalisten olosuhteiden hallinta ja aikaansaaminen ei ollut yhtä suoraviivaista kuin pienissä, muutaman sadan kilon laitteissa. Oppimisen myötä myös menetelmän ohjaus ja ennen kaikkea etäohjaus onnistui hankkeen loppua kohden koko ajan paremmin, jolloin myös päästiin selkeästi parempaan lopputulokseen. Niinkin pienellä asialla, kuin sekoituksen taajuuden nostolla saatiin merkittävä nousu lämmönjohtumiseen, mikrobien toimintaan ja sitä myöden myös haihduntaan ja kuivumiseen.

-> vaikka pajujen koekasvatus epäonnistui, aineiston perusteella saatiin osoitettua, että lietepohjainen kierrätyslannoite soveltuu pajujen kasvatukseen. Kasvu oli kahden vuoden arvion mukaan lietteellä lähes yhtä tehokasta kuin mineraalilannoitteella. Vaikka lietteellä lannoitetulla saralla pajuksilöiden juuret olivat biomassaltaan pienemmät kuin mineraalilannoitetulla alueella, oli pajujen versokasvu lietteellä kuitenkin yhtä hyvää, ellei jopa parempaa kuin mineraalilannoitteella.

-> Lietepohjainen kierrätyslannoite ei aiheuttanut laskuvesiin päästöhuippua, vaikka näin esimerkiksi viranomaiset pelkäsivät. Maaperänäytteiden perusteella liete oli pysynyt hyvin maaperässä ja sen lannoitevaikutus näkyi hankkeen lopussakin maaperässä vielä positiivisesti.

-> Hanketulosten perusteella liete on mikrotermisen käsittelyn jälkeen turvallista käsitellä (ei salmonellaa tai E.Colia)

-> Vaikka pajujen koekasvatus epäonnistui, hankkeen aikana opittiin virheiden kautta, miten pajupeltoja tulisi vanhoille turvesoille perustaa. Turvetuotannosta vapautuu merkittäviä määriä alueita seuraavien vuosien aikana ja alueille on hyvä löytää myös sellaista toimintaa, josta on taloudellista hyötyä omistajalleen. Nykyisin puhutaan paljon ennallistamisesta, mikä on erittäin tärkeää, mutta ennallistaminen ei tuo ansiotuloja vaan aiheuttaa tukitoimista huolimatta turvetuotantoalueen omistajalle kuluja. Pajuja kasvattamalla tuloja saadaan 2,5-3 vuoden välein, ja sama kasvusto tuottaa satoa jopa 25 vuotta.

-> Lietteen mikrotermisellä käsittelyllä ja hankkeessa konseptoidulla arvoketjulla on positiivisia vaikutuksia eteenkin ympäristön näkökulmasta, vaikka arvoketju ei toteutunutkaan taloudellisesta näkökulmasta parhaalla mahdollisella tavalla. Kun osaaminen pajun hyödyntämisessä kasvaa, arvoketjun kannattavuus paranee.

+ Biomikserien valmistus työllistää alueellisesti. Tässä hankkeessa käytettiin pienten pajojen ja yrittäjien osaamista ja huomattiin, että uutta ja innovatiivista voidaan tehdä myös mikroyritysten voimin.

+ Ymmärrettiin, että orgaanisten jätteiden määrä on maailmassa niin suuri, että panossyöttöinen laite ei toimi suurimmassa osassa tapauksia. Hanketulosten pohjalta aloitettiin uuden, jatkuvatoimisen laitteen konseptointi. Tätä kautta koko yritystoiminta on saanut uutta uskottavuutta myös isojen toimijoiden keskuudessa.

5.2. Negatiiviset vaikutukset

- Biomikserin valmistuskustannukset ovat alttiita maailman markkinahinnoille. Metallin kallistuminen laittoi DTS Finland Oy:n taloudellisesti ahtaalle, varsinkin kun biomikserin valmistuskustannuksista saatiin takaisin vain 70% vuosipoistoista, ei kokonaishinnasta.

- Samasta syystä moni biomikseriin ja mikrotermiseen menetelmään tutustunut taho jätti palvelun ostamatta, koska laitesidonnainen käsittely koettiin liian kalliiksi, kun lopputuotteen hinnoittelu on epävarmaa.

- Kun käsittely on kallista, asettaa se hinnan nousupainetta myös lopputuotteisiin eli kierrätyslannoitteisiin. Kierrätyslannoitteita ostetaan, jos ne ovat halvempia kuin mineraalilannoitteet. Mikroterminen menetelmä siis vei hintakehitystä tämän hankkeen tulosten perusteella väärään suuntaan.

- Pajupeltojen perustaminen vaatii paljon esityötä ennen varsinaista istutusta. Turvetuotantoalueet ovat yleensä kaukana kaupungeista, niin tässäkin hankkeessa. Tämä aiheuttaa kuljetuskustannuksia. Myös pajujen lisälannoitustarve aiheuttaa lisäkuormitusta luontoon. Kuormitus ei toki näkynyt alueelta otetuista vesinäytteistä näin yhden lannoituksen jälkeen, mutta suurin osa pajuista tarvitsee merkittäviä määriä lannoitusta tuottaakseen parhaan sadon eli enemmän kuin vain istutuslannoituksen. Osataanko lannoitus kohdentaa oikeaan aikaan ja paikkaan, tehdäänkö kosteikkoviljelyssä ylilyönnejä lannoituksessa, miten ylilannoitus näkyy?

- lietteessä on edelleen raskasmetalleja, vaikka pitoisuudet ovatkin laskeneet vuosikymmenien aikana. Lietepohjaisten kierrätyslannoitteiden latuseurantaan täytyy panostaa, jotta maaperään ei ajautuisi liikaa raskasmetalleja. Tulosten perusteella DTS Finland Oy puhuu vielä painokkaammin sen puolesta, että lietteet eivät kuulu lannoitteeksi ruoantuotannon puolelle. Pajukentillä haitta on vähäisempää, kun pajut pystyvät sitomaan haitallisia aineita ja bioremediaatiotakin tapahtuu.

-Pajut tarvitsevat istutuksen jälkeen tasaisen kosteuden, mutta eivät märkyyttä. Turvetuotantoalueen kokoomavesialtaasta pitäisi voida johtaa vettä mahdollisimman laajalle alueelle, että pajuja voidaan kastella tarvittaessa. Näin ne pääsevät kuivina ja kuumina kesinä kasvuun. Miten tämä vaikuttaa alueelta syntyvään kuormitukseen?

- Kaikki pajujen kasvatukseen vähänkin liittyvät hankkeet nostavat erittäin selkeästi esille sen, että Suomessa on tehty samanlaista pajututkimusta jo kymmeniä vuosia, mutta seuraava askelta ei saada otettua. Seuraava askel olisi pajun hyödyntämisen taloudellinen arviointi ja ennen kaikkea kannattavan toiminnan mahdollistaminen. Tämä ei niinkään ole tämän hankkeen negatiivinen vaikutus, vaan lähinnä negatiivinen huomio siitä, että hankkeessa olisi voinut olla hieman kunnianhimoisemmatkin tavoitteet, kuin mitä siinä oli.

6 Viestinnän toteutuminen ja tulokset

Hankeaikainen viestintä toteutettiin erikseen sisäisenä ja ulkoisena viestintänä. Sisäinen viestintä kohdistui niihin tahoihin ja henkilöihin, jotka konkreettisesti osallistuivat hankkeen toteuttamiseen tai tuutoroivat hankkeen toteuttajia. Tiedotus hoidettiin viikkopalavereiden yhteydessä, teamseinä, tapaamisten yhteydessä, sähköposteina ja tiedotteina tai perinteisesti kontaktoimalla puhelimitse. Hankkeen sisäinen viestintä oli vilkasta ja toimivaa, ja se toimi hyvin eri työpakettien sisällä, mutta myös niiden välillä.

Suurin sisäisen tiedottamisen epäonnistuminen koettiin hankekirjanpidossa. Vaikka hankekirjanpidon ja DTS Finland Oy:n yrityskirjanpidon kesken pidettiin kokouksia, lähetettiin viestejä ja soitettiin puheluita, oli osa uuden biomikserin hankintamenoista (C Tuotannon koneet ja laitteet) kirjattu yrityskirjanpitoon väärälle momentille ostoihin eli käytännössä vuosikuluihin (E muut kustannukset). Virheen vuoksi kirjanpito ei täsmännyt vuosipoistojen osalta ja tämä aiheutti hankkeen lopussa paljon ylimääräistä työtä ja hankaluuksia.

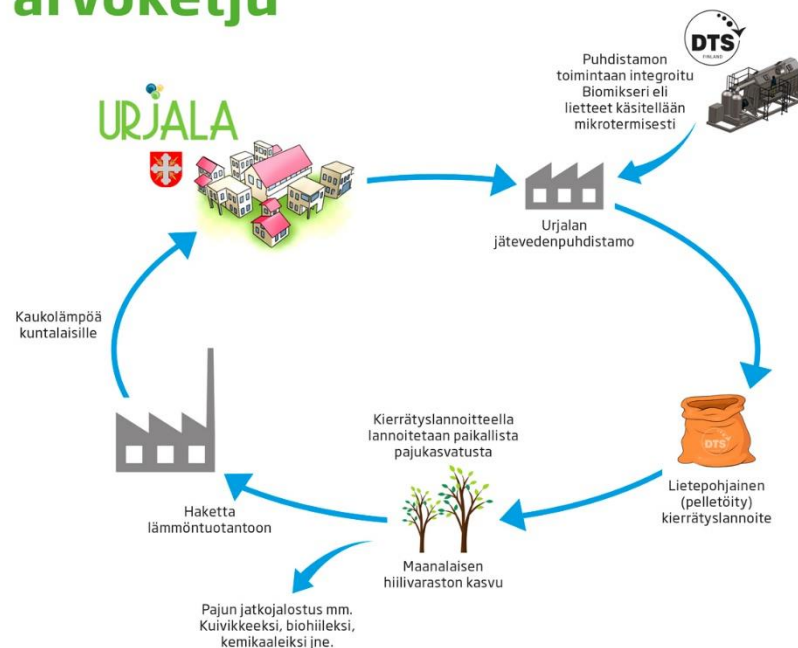
Ulkoinen viestintä ei ollut yhtä vilkasta kuin sisäinen. Hankkeesta ja sen edistymisestä tiedotettiin esimerkiksi LinkedIn kautta, sille perustettiin oma tili eri some-kanaville, mutta lopulta näiden kanavien kautta ei tehty niin paljon julkaisuja kuin olisi voitu tehdä. Syy löytyy projektipäälliköstä, joka oli vastuussa myös ulkoisesta viestinnästä. Projektipäällikkö ei itse ole sosiaalisessa mediassa mukana työ tai vapaa-ajallaan missään muotoa, ja hänellä ei ollut osaamista, halua tai aikaa viedä some- uutisointia tällöin eteenpäin. Ulkoisessa viestinnässä panostettiin projektipäällikön vanhakantaisuuden vuoksi erilaisiin esitteisiin ja osallistumisiin. Hankkeen aikana hanketta esiteltiin ministeriöiden järjestämällä hanketorilla, Tampereen ympäristöpäivillä, Tampereen kaupungin ilmastokumppanuustapaamisissa ja yhteistyökumppanin välityksellä myös maatalousmessuilla ja Lepaan puutarhamessuilla. Tämän lisäksi hankkeeseen, uuteen biomikseriin ja mikrotermisen menetelmän mahdollisuuksiin kävi tutustumassa hankkeen aikana 14 eri tahoa (yrittäjiä, kaupungin ja kunnan edustajia, yhdistys), joille hankekokonaisuutta esiteltiin tarkemmin. Näiden vierailuiden kautta saatiin myös uusia

kontakteja, kun tietoa oli viety meistä vierailun jälkeen myös eteenpäin. Myös DTS Finland Oy kävi hankkeen aikana yritys- ja kuntavierailuilla, ja ulkoista tiedottamista ylläpidettiin myös tätä kautta.

Kuva 6. Ravinnehiihi-hankkeen arvoketjusuunnitelma kuvana hankkeeseen toteutetussa tiedotusmateriaalissa. Arvoketjulaskelma toteutettiin suunnitelman mukaisesti, vaikka biomikseriä ei Urjalaan sijoitettukaan. Pajun muut jatkojalostusarvot jätettiin laskelmien ulkopuolelle.



Ravinnehiihi-hankkeen arvoketju



7. Talousraportti

7.1. Yhteenveto kustannusarvion ja rahoitussuunnitelman toteutumisesta

Ravinnehiihi-hanke muutettiin hankkeen alkutaipaleella investointihankkeesta tutkimus ja kehityshankkeeksi. Tämä muutti myös kustannusarviota ja hankebudjettia. Kun hanke saatiin biomikserin suunnittelun ja rakentamisen osalta kunnolla käyntiin, kävi nopeasti ilmi, että budjetoinnissa oli puutteita. Muun muassa suunnittelu ja kestävyyslaskelmat, rakennepiirustukset ja ilmanvaihdon mitoitus vaativat kaikki ulkopuolisten asiantuntijoiden käyttöä, johon hankkeessa ei ollut varattuna varoja. Budjettia jouduttiin siis muuttamaan ja esimerkiksi yleismenoista sekä palkoista siirrettiin ulkopuolisiin palveluihin lisää rahaa.

5.12.2023: Kustannuslajista E, muut kustannukset -> 30 000 € kustannuslajiin D, ulkopuoliset palvelut

14.11.2024: Kustannuslajista A, palkat -> 13 000 € kustannuslajiin D, ulkopuoliset palvelut

Muuten kustannusarvio vastasi pääpiirteissään reaaliominoja. DTS Finland Oy toteutti hankkeen aikana uuden, hyötytilavuudeltaan noin 5,5 - 6 m³ biomikserin. Pienelle yritykselle tämä oli haastava urakka, varsinkin kun metallin markkinahinta nousi juuri kun biomikserin rungon valmistus alkoi. Takaisinmaksatus tehtiin hankkeen aikana kuusi kerta ennen loppukirjanpitoa ja viimeistä maksatusta. Tämä helpotti taloudellista painetta, mikä biomikserin valmistuksesta yritykselle aiheutui. Tavoite oli, että viimeisessä raportoinnissa olisi laitekuluihin tullut vielä 29 000 € vaihteisto, mutta yrityksen haastavan taloudellisen tilanteen vuoksi DTS Finland Oy:n

omistaja maksoi kyseisen vaihteiston ja osa jäi näin ollen pois hankekuluista jääden osaksi hankkeen omarahoitusosuutta.

Viimeisen toteutusjakson aikana hankkeeseen kohdistui kuluja 54 875,28 €, josta DTS Finland Oy maksoi 30% omaosuuden eli 16 462,58 € ja ministeriölle kohdistui 38 412,7 €. Kulujen jakaantuminen eri kustannuslajeihin on esitelty tarkemmin taulukossa 5. Palkkojen ja ulkopuolisten palveluiden osalta budjetti ylittyi, mutta ylitys oli kululajin kokonaiskuluihin nähden pieni.

Taulukko 5. Hankkeessa toteutuneet kulut 1.9. – 31.12.2024. Taulukosta ilmenee myös koko hankeajan kulut kululajeittain, kokonaismenot yhteensä sekä jäljelle jäänyt, käyttämätön tukimäärä.

	Budjetti	Toteutuneet kustannukset 1.5. – 31.8.2024	Toteutuneet kustannukset, yhteensä	Jäljellä
A. Henkilöstökustannukset Yhteensä	144 200	24 357,58	145 768,85	-1568,85
C. Välineet ja laitteet, Yhteensä	127 000	0	89 717,17	37 283
D. Ulkopuoliset palvelut, yhteensä	85 000	19 002,77	85 961,03	-961
E. Muut kustannukset, yhteensä	92 800	12 514,93	66 346,85	26 453
KAIKKI YHTEENSÄ	449 000	54 875,28	386 793,9	61 206

7.2. Virhe kirjanpidossa

Vaikka hankekirjanpitoa on ylläpidetty sekä projektipäällikön että kirjanpitoimiston avulla, tehtiin kirjanpidossa hankkeen aikana virheitä. Virheiden vuoksi hankekirjanpidossa on kustannuslajiin C, välineet ja laitteet, merkitty enemmän menoja ja näin ollen myös poistoja, mitä DTS Finland Oy:n pääkirjasta hankkeen osalta löytyy.

	Poistot
Hankekirjanpidossa	89 717,17
Yrityskirjanpidossa	76 455,94
Erotus	13 261,23

Käytännössä virhe kumpuaa siitä, että kirjanpitoimiston henkilö on tulkinut laskun ja siihen liittyvän viestinnän väärin ja merkinnyt 16 500 € maksavan Oilonin lämpöpumpun (tosite 246) vuosikuluksi (hankkeessa kustannuslaji E). Tämän siirtoa oikeaan kustannuslajiin C on pyydetty projektipäällikön toimesta, mutta kirjanpitäjän vaihtuessa työ jäi tekemättä. Projektipäällikkö teki takaisinmaksatuksen pääkirjalla, johon oli merkitty virhe ja ilmoitus, että asia korjataan, jolloin maksatus hyväksyttiin. Asiaan ei enää palattu ja virhe löydettiin uudelleen, kun loppuraporttia kirjanpitoineen aloitettiin. Tämä virhe tapahtui takaisinmaksatuksessa 01.01.2023 - 30.04.2023.

Lisäksi yrityksen kirjanpidossa oli merkitty biomikserin lisäosa ulkopuolisiin palveluihin, ja myös tämä on projektikirjanpidossa laitekuluihin C. Tämä virhe löytyy 01.09.2023 - 31.12.2023 tehdystä takaisinmaksatuksesta. Kyseessä on biomikserin alle asetettavista vaaka-antureista ja siihen liittyvästä kosketuspanelin indikaattorista (tosite 349). Summa on 1686,6€ (alv 0%). Tästäkin on hankekirjanpidossa tehty kahden vuoden poisto (summa) ja kirjanpitoimiston merkinnän mukaan, tästä olisi pitänyt saada suora 70% takaisinmaksatus.

Molemmassa virheissä tilanne on DTS Finland Oy:lle tappiollinen eli olemme hakeneet hankinnoista vähemmän takaisinmaksatusta, mitä pääkirjamerkittynä hakuna olisi saatu. Alla esitetty tilanne ja sen vaikutus.

- A) Oilonin poistot kahdelta vuodelta 12 031,25 € ja tästä takaisin 70 % = 8 421,86 €. Jos Oilon pumppu olisi hankekirjanpidossa käsitelty ostona, olisi saatu suoraan 70 % takaisin = 11 550 €.
- B) Vaakajalkojen ja sensorien poisto kahdelta vuodelta 1229,81 € ja tästä takaisin 70 % = 860,87 €. Jos tämä olisi hankekirjanpidossa käsitelty ulkopuolisena palveluna, olisi saatu suoraan 70 % takaisin = 1 180,62 €.

Samasta laskelmasta nähdään, että poistojen yhteenlaskettu määrä on 13 261,06, ± sama summa mikä yrityksen kirjanpidosta puuttuu poistoja verrattaessa hankekirjanpitoon.

8. Johtopäätökset / Yhteenveto hankkeesta ja päätuloksista

Ravinnehiili-hanke toteutettiin 1.5.2022 – 31.12.2024 välisenä aikana. Hankkeen päävastuullinen vetäjä oli DTS Finland Oy, hankkeen toteutukseen osallistui myös Carbon Finland (pajun kasvatuskoe, laskennat) Oy sekä Tmi Salo (pajukenttä, istutus, ylläpito, kokemukset). Hanke toteutettiin pääpiirteissään hankesuunnitelman mukaisesti, vaikka hankkeen rakenne jouduttiinkin muuttamaan heti ensimmäisen toteutuskuukauden aikana. Investointihanke muutettiin tutkimus- ja kehityshankkeeksi, mikä vastasi paremmin hankesuunnitelman sisältöön. Hankkeen aikana myös budjettia jouduttiin muuttamaan, koska alkuperäisessä budjetissa ulkopuolisille ostoille (asiantuntemus, suunnittelu, laskenta, kokeet, analyysit jne) ei ollut korvamerkitty käytännössä yhtään varoja.

Suurin sisällöllinen muutos hankkeessa oli Urjalan kunnan vetäytyminen pois hankeyhteistyöstä. Alun pitäen hankkeessa toteutettu uusi, iso biomikseri oli tarkoitus viedä Urjalan jätevedenpuhdistamolle, jossa se olisi liitetty osaksi puhdistamon toimintaa. Myös esimerkiksi pajun koekasvatus oli tarkoitus toteuttaa Urjalan alueella. Urjalan kunta vetosi hankalaan taloudelliseen tilanteeseen ja lopulta ilmoitti, että ei aio osallistua hankkeeseen millään muotoa. Lietteen toimittajaksi saatiin lopulta Hämeenkyrön kunnan puhdistamo ja käsittelyt tehtiin DTS Finland Oy:n omalla hallilla. Pajukasvatukseen löydettiin Carbons Finland Oy:n kautta yhteistyötaho Parkanosta. Tmi Salolta löytyi sopiva, noin hehtaarin alue pajujen koekasvatusta varten ja toiminnalle saatiin myös lupa paikallisen ELY-keskuksen kautta.

Riskienhallintajärjestelmä on osa jokaista projektiohjausta. Riskien arviointi tehtiin kunkin työpaketin osalta erikseen ja hankkeen aikana ilmenneiden ongelmien myötä riskiarviointia myös päivitettiin tarvittaessa. Osana riskien arviointia kirjattiin ylös myös ne hallintakeinot, joilla riskit minimoitiin. Eteenkin energiapajujen koekasvatukseen liittyvät riskit arvioitiin etukäteen tarkasti ja niiden seurantaan rakennettiin muun muassa kattava veden laadun vaikutustarkkailuohjelma, joka osittain toteutettiin DTS Finlandin toimesta ja osittain ostettiin Seinäjoen Eurofins Ahma toimipisteeltä. Tämän hankkeen osalta suurimmat riskit kohdistuivat biomikseriin niin aikataullisesti kuin taloudellisestikin. Menetelmänä mikroterminen käsittelyprosessi oli tässäkin hankkeessa tehtyjen koekäsittelyiden perusteella kohtuullisen riskitön. Kun prosessi saadaan käyntiin, sen toimintavarmuus on erinomainen. Suurin riski oli herätteen ja mikrobien toimimattomuus, jonka vuoksi DTS Finland Oy:n hallilla säilytettiin koko hankkeen ajan varaherätettä, jolla prosessin ylösajo olisi tarpeen mukaan voitu tehdä uudelleen.

Hankkeessa toteutettiin uusi, hyötytilavuudeltaan 5,5m³ biomikseri. Biomikserillä tehtiin hankkeen aikana riittävä määrä koeajoja ja koeajojen aikana biomikserin toimintaa saatiin edelleen kehitettyä. Kehitystyön tuloksena biomikserillä saatiin noin 1,5 vuorokaudessa tuotettua jätevedenpuhdistamon lietteestä ravinteikas ja turvallinen (ei salmonellaa tai E.Colia) lopputuote. Biomikserin suunnittelussa huomioitiin energiatehokkuus ja verrattaessa DTS Finland Oy:n aikaisempiin biomiksereihin, uusi versio vei noin 15-30% vähemmän sähköä (kWh/vrk/käsiteltävä jätemäärä), mitä aikaisemmat laitteet. Energiankulutus oli lietteen käsittelyn aikana siis varsin maltillinen. Uuden biomikserin konseptoinnissa

kulutukseksi arvioitiin laskelmien ja mallinnuksen perusteella noin 300kwh/vuorokausi/maksimi täyttö. Käytännössä käsittelyaikainen kulutus vaihteli 280-640kwh välillä. Kulutuksen erot johtuivat useammastakin tekijästä, kuten kammion täyttöasteesta, ilman kosteudesta, käytetyn lietteen lähtöarvoista ja massan sekoituksen taajuudesta. Kun käsittelyparametrit saatiin optimaalisiksi, kulutus oli noin 340 kWh/4m³/24h. Hankkeen yhteydessä vietiin menestyksekkäästi myös menetelmän ja laitteiston patentointia eteenpäin.

Kun mikroterminen prosessi lähti käyntiin, oli käsittelyn ohjaus ja hallinta helppoa. Käytännössä käsittelyä voitiin seurata ja ohjata etänä ja vain täytön ja tyhjennyksen osalta jouduttiin olemaan läsnä. Jos biomikseri otetaan osaksi jätevedenpuhdistuslaitoksen toimintaa, myös laitteen täyttö ja tyhjennys on automatisoitu. Käytännössä yhden biomikserin ylläpitoon ei tarvitse palkata lisätyövoimaa, vaan käsittely saadaan ylläpidettyä olemassa olevalla henkilökunnalla.

Mikrotermisestä käsittelystä vapautui luonnollisestikin hiilidioksidia. Biomikseriin ei asennettu CO₂ sensoria, vaan mittaukset tehtiin käsimittarilla, yläyhteiden kautta. Suurimmillaan päästöt olivat, kun käsiteltävän lietemassan lämpötila oli noussut lähelle 50°C astetta tai sen yli. Tämä osoitti sen, että kun käsiteltävän massan optimaalinen lämpötila saavutettiin, hajotustoiminta lisääntyi ja myös hiilidioksidipäästöt kasvoivat. Tässä vaiheessa päästöt vaihtelivat välillä 2200ppm-800ppm (minuutin mittausta, 11 kuution käsittelykammioista, kun massaa oli noin 3,5m³ ja ilmanvaihto maksimissa). Koska prosessista ei vapautunut hiilidioksidia tasaisesti ja poistoilmasta mitattiin myös ammoniakki- ja metaanipäästöjä eli hiilidioksidi ei ollut puhdasta, on sen hyödyntäminen muualla kuin kasvihuoneissa haastavaa.

Lietteen mikrotermisestä käsittelystä aiheutuvat hajuhaitat saatiin parhaiten hallintaan poistamalla kosteus poistoilmasta, liittämällä kosteuden poiston jälkeiseen ulkoputken biosuodatin ja kasvattamalla poistoputken korkeutta yli katonharjan. On kuitenkin muistettava, että lietekäsittelyistä ei koskaan saada täysin hajutonta. Tämän vuoksi käsittely tulisi nimenomaan liittää osaksi puhdistamo, jolloin käsittelyn aiheuttamat hajuhaitat eivät poikkeaisi alueen olemassa olevasta hajumaailmasta.

Vaikka prosessoinnista kertyi vuorokaudessa merkittäviä määriä kondenssivettä, se ei tämän selvityksen mukaan ole ongelma. Vedessä oli runsaasti ammoniumtyyppiä ja orgaanista kiintoainetta, mutta molempiin päästöihin voidaan vaikuttaa prosessin ohjausmuutoksilla.

Koekäsittelyiden yhteydessä selvisi, että käsiteltävän massan lämmön seuranta on selkeästi paras muuttuja, jonka avulla voidaan arvioida prosessin toimivuutta ja lopputuotteen laatua. Jos käsiteltävän massan lämpötila nousi nopeasti yli 50, käsittely eteni hyvin, eksotermistä lämpöä syntyi ja noin 1,5 vuorokaudessa saatiin lopputuote, jonka kuiva-aineisuus oli noin 70 %. Prosessin etenemistä pystyttiin seuraamaan myös biomikserin automaattisen painonmittauksen perusteella. Painon muutos kertoi suoraan haihdunnan tehokkuuden. Nämä kaksi helppoa ja yksiselitteistä fysikaalista muuttujaa kuvasivat prosessin etenemistä ja laatua paljon paremmin kuin esimerkiksi kaasumittaukset (NH₃, CO₂, CH₄).

Biomikserin kustannustehokkuus lietteenkäsittelyssä arvioitiin laskelmalla käsittelykustannukset käsiteltyä lietemäärää, sekä tuotettua lopputuotetonna kohden (lietepohjainen lannoite) vuodessa. Käsittelykustannuksiin otettiin mukaan biomikserin kuukausi-leasing, puhdistamolle tehtävien muutosten kustannukset ja käsittelyn sähkönkulutus. Laskelmien mukaan kustannukset olivat lietetonna kohden 156 € ja lopputuotetonna kohden 624€. Kustannukset ovat korkeita, varsinkin kun niitä vertaan vaikkapa biokaasulaitosten porttimaksuihin, jotka ovat tällä hetkellä keskimäärin 50 €/t. Kun biomikserin sijoittamisesta puhdistamolle aiheutuvien rakennustöiden, sekä itse biomikserin kulut on saatu kuoletettua, laskee lietteen käsittelykustannukset merkittävästi. Tällöin kustannukset olivat lietetonna kohden alle 40 € ja lopputuotetonna kohden noin 140 €. Tällöin toiminta olisi kustannustehokasta, kun huomioidaan lopputuotteen myynti ja ennen kaikkea energiapajun tuotto.

Parkanon Pohjoisnevalle perustettiin hehtaarin koekasvatusalue pajuille. Pajuja istutettiin noin 10 000 pistokasta/ha. Vaikka kasvatuskoe epäonnistui erittäin haastavien sääolosuhteiden vuoksi ja alkuperäisestä pistokasmäärästä jäi henkiin vain 5 %, saatiin kasvatuskokeen avulla selvitettyä mikrotermisesti käsitellyn lietteen soveltuvuus pajujen kasvatukseen. Lietteellä saatiin kahden

kasvukauden aikana keskimäärin 20 % pienempi pajun kuiva-ainebiomassa kuin mineraalilannoitteella. Ero näkyi nimenomaan juurten biomassassa, ei verson. Johtuiko ero puhtaasti pelkästään lannoitteesta vai vaikuttiko siihen muutkin ympäristömuuttujat? Vaikutusta on ollut ainakin sillä, että mineraalilannoitettu koealue perustettiin mustanmullan (Mm) alueelle, kun taas lietteellä lannoitetut koealueet olivat savipitoista moreenia (Ct). Lisäksi mineraali lannoitus onnistui paremmin ja lannoite saatiin levitettyä tasaisesti koealueelle, toisin kuin lietalannoite.

Pajukentän epäonnistuminen oli monen tekijän summa. Pajupistokkaiden istutus aloitettiin hyvissä ajoin keväällä 2023, mutta koska istutuskonetta ei voitukaan käyttää, jouduttiin istutus tekemään käsin. Tämä aiheutti sen, että istutusta ei saatu tehtyä kerralla vaan viimeiset pistokkaat saatiin maahan vasta lähellä juhannusta. Myöhään istutetut pistokkaat eivät päässeet hyötymään kevään kosteudesta ja suuri osa pistokkaista kuoli heti ensimmäisen kesän aikana kuivuuteen. Eloanjääneistä yksilöistä suuri osa kärsi pakkasvaurioita talven 2023–2024 aikana. Myös hirvet olivat syöneet osan pistokkaista. Keväällä 2024 Pohjoisnevan turvesuolle iski rankkasateet ja koesarkojen väliojat tulvivat yli. Tulvavesi vei osan pistokkaista mukanaan, myös muu koealue kärsi tulvasta, kun vesi vei kuohkean turpeen mukanaan ja hyvin juurtuneiden pajujen ympäriltä katosi turve.

Tämän hankkeen selvitysten perusteella ei pystytty arvioimaan kuinka paljon pajukasvatuksen yhteydessä hiiltä kertyy pitkäaikaiseen hiilivarastoon. Pajunäytteiden perusteella saatiin selville kuinka paljon pajut olivat kasvattaneet juurimassaa kahden kasvukauden aikana ja sen perusteella myös kertynyt hiilimäärä: mineraalilannoituksella 540 kg/C/ha/2 vuodessa ja lietteellä 141 kg/C/ha/ 2 vuodessa. Tulosten mukaan liete ei kenties ollut paras mahdollinen lannoite, jos mietitään pajun kasvua pelkästään juuribiomassan ja hiilen kautta. Lietteellä kuitenkin saatiin hyvä versokasvu ja pajut olivat muutenkin terveitä. Pajut siis tuottivat lietteen avulla lähes yhtä paljon biomassaa kuin mineraalilannoitteellakin, mutta kahden ensimmäisen vuoden aikana biomassaa kertyi pajuihin eri tavalla. Hankkeessa tehtyjen analyysien mukaan mikrotermisesti tuotetussa lietepohjaisessa kierrätyslannoitteessa oli 60,8 % orgaanista ainesta, käytännössä siis tonni kyseistä lannoitetta sisälsi 352 kg hiiltä. Kun hiilikertymässä huomioidaan myös kierrätyslannoitteen vaikutus, kertyi kullekin kasvualueelle lähes yhtä paljon hiiltä, josta sitten olosuhteiden (pH, mikrobit, kosteus, mururakenne, lämpö jne) mukaan osa siirtyi pitkäaikaiseen hiilivarastoon. Tämä on aihe, jota pitäisi tutkia lisää ja nimenomaan kierrätyslannoitteiden, mikrobien ja pajujenkasvatuksen näkökulmasta.

Hanketulosten perusteella, jätevedenpuhdistamon lietteen ja pajun kasvatuksen ympärille perustettu arvoketju ei tuottaisi ensimmäisen kymmenen vuoden aikana voittoa, vaan noin 200 000 € tappiota. Tästä tappiosta suurin osa kohdistuisi jätevedenpuhdistamoon. Lietteen käsittelyyn tarkoitettun biomikserin, sekä puhdistamon korjaustöiden kuoletus saatiin laskelmissa tehtyä kymmenessä vuodessa. Kun kuoletukset on tehty, pajukasvatuksen pitäisi vuosi vuodelta tuottaa enemmän voittoa. Käytännössä pajupellot ehtisivät tuottaa siis 15 vuotta voitto, ennen kuin pajujen istutus jouduttaisiin tekemään uudelleen. Arvoketjussa jäi huomioimatta ympäristönäkökulmat, koska niille on vaikea antaa sellaista hintaa, joka laskelmissa voitaisiin huomioida.

Ravinnehiili-hanke saatiin kaikista vastoinkäymisistä huolimatta toteutettua niin, että hanketavoitteet saavutettiin kohtuullisesti. Tulosten mukaan lietteen käsittely mikrotermisesti onnistui ja lopputuote oli laadullisesti hyvää, toki osa raskasmetalleista oli koholla ja niitä tulee seurata tarkasti, jos lietteen lannoitekäyttöön päädytään. Pienille puhdistamoille mikroterminen menetelmä laitteineen on kuitenkin raskas sijoitus, ja yhdessä pajukentän perustamiskulujen kanssa menot kasvavat niin suuriksi, että toiminta on kannattamatonta ainakin kymmenen vuoden ajan. Lietepohjaista kierrätyslannoitetta voidaan käyttää pajukenttien lannoitukseen, lannoitus ei aiheuttanut valumavesiin ylimääräistä kuormitusta. Tässä selvityksessä pajujen kasvu oli lietteellä noin 20% pienempää kuin mineraalilannoitteella, mutta tulokseen vaikuttivat myös muut seikat, kuten koealueiden erot maannoksessa, istutuksen epäonnistuminen ja lannoitteiden levityksen epätasaisuus.

9. Viitteet

Biomass and bioenergy crops. Nigel H Taylor, Jeremy P Schnitzler, John F Bourne. 2008.

Pajukko nielee- Hiilen ja pääravinteiden kierrätys biomassapajuilla. Pohjonen Veli, 2016.

Onnistuneen pajunkasvatuksen edellytykset entisellä turvetuotantoalueella MMT. Dosentti Risto Lauhanen, FT Kari Laasasenaho (SeAMK), professori Ari Pappinen, MMT Suvi Kuittinen (UEF) sekä VTM Anu Palomäki ja MMM Iida Viholainen (SeAMK), SeAMK 2023 Suonpohjien hiilineutraali uusiokäyttö: edellytykset ja toimenpiteet (UusiSuo).

Energiapajun viljely ja käyttö vesien puhdistuksessa - teknis-taloudellinen tarkastelu Antti Niemi, Pro Gradu- tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos Ympäristötiede ja -teknologia 1.9.2014.

Turvepeltojen käytön tiekartta vuoteen 2050

Lehtonen, Heikki; Ojanen, Hannu; Kekkonen, Hanna; Niskanen, Olli; Savikko, Riitta; Wejberg, Henrik; Knuuttila, Marja; Stenberg, Leena; Niemi, Jyrki; Salmivaara, Aura; Laurila, Marika (2024)

Pajut biokierrotaloudessa : Materiaaleja, arvoaineita, ympäristöhyötyjä. Viherä-Aarnio, A., Jyske, T. & Beuker, E. (toim.). 2022. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2022. Luonnonvara keskus. Helsinki. 129 s.

Assessing the Carbon Footprint of Biochar from Willow Grown on Marginal Lands in Finland. Lauri Leppäkoski, Miika P. Marttila, Ville Uusitalo, Jarkko Levänen, Vilma Halonen and Mirja H. Mikkilä. 2021. Sustainability 2021, 13, 10097.

KONETYÖN KUSTANNUKSET JA TILASTOLLISET URAKOINTIHINNAT 2022 , TTS Työtehoseuran julkaisu 471 Reetta Palva TTS Työtehoseura.

www.haketukset.fi :urakkahintoja puuhaketuksesta ja kuljetuksesta.

Liite 1. Jätevesilietteen käyttö lannoitteena, uuden lannoiteasetuksen määritelmät lietteen osalta

Jätevesilietteiden käyttö maa- ja puutarhataloudessa Jätevesiliete on käsiteltävä ennen sen käyttöä taudinaiheuttajien tuhoamiseksi tämän asetuksen vaatimusten mukaisesti. Ainesosaluokan 10 mukaisen jätevesilietteen suurin sallittu levitysmäärä on 6 000 kilogrammaa vuodessa tai 30 000 kilogrammaa kuiva-ainetta hehtaarille viiden vuoden ajanjaksona annettuna. Suurin sallittu levitysmäärä lasketaan jätevesilietteen massaosuuden perusteella. Jos lannoitevalmisteen tuoteselosteessa ei ole tietoa jätevesilietteen osuudesta, lannoitevalmisteen katsotaan olevan kokonaisuudessaan jätevesilietettä. Jätevesilietteen massaosuus seoksessa on jätevesilietteen massa jaettuna koko seoksen massalla. Ainesosaluokan 10 mukaista jätevesilietettä sisältävää lannoitevalmistetta saa levittää vain sellaiselle viljelymaalle, jonka haitallisten metallien pitoisuudet eivät ylitä liitteessä 5 esitettyjä suurimpia sallittuja pitoisuuksia. Viljelymaa, jolle ainesosaluokan 10 mukaista jätevesilietettä sisältävää lannoitevalmistetta levitetään, on analysoitava **liitteen 5** mukaisesti. Näytteet tulee ottaa ennen ensimmäistä jätevesilietteen levitystä. Jos haitallisten metallien kuormituksen perusteella on syytä olettaa sallittujen pitoisuuksien ylitystä, on uusi analysointi tehtävä viiden vuoden välein ennen lietteen käyttöä. Edellä 2 momentin vaatimus ei kuitenkaan koske maatilan tai maatilojen yhteiseen käyttöön tarkoitettua saostus- ja umpisäiliölietettä sekä muuta kiinteistökohtaisen tai maatilojen yhteisen jätevedenkäsittelyjärjestelmän lietettä ja kuiva käymäläjätettä, jotka ovat peräisin maatilalla asumisesta tai tilalla tapahtuvasta muusta toiminnasta taikka maatilan läheisyydessä

sijaitsevista muista asuinkiinteistöistä, ja jonka hyödyntäminen ympäristönsuojelulain (527/2014) nojalla ei edellytä ympäristölupaa. 8§ Jätevesilietteiden käytön varoaika Maa- ja puutarhataloudessa viljely- ja laidunmaalla, jolle on levitetty 7 §:n momentin 2 mukaisia lannoitevalmisteita tai momentin 3 mukaista käsiteltyä saostus- ja umpisäiliölietettä sekä muuta kiinteistökohtaisen tai maatilojen yhteisen jätevedenkäsittelyjärjestelmän lietettä ja kuivakäymäläjätettä, on noudatettava rehujen osalta yhden vuoden ja elintarvikkeiden osalta kahden vuoden varoaikaa. Varoaikana ei saa viljellä ihmisravinnoksi tai rehuksi kasveja, jotka voidaan syödä tuoreena ja niiden syötävät osat voivat olla välittömässä kosketuksessa maahan tai kasveja, joiden maanalainen osa on tarkoitettu syötäväksi.