

Biokaasuntuotannosta
syntyvän
mädätysjäännöksen
hyödyntämisen
vaihtoehdot

Feasib Oy, 2023

Jenna Finnilä ja Markus Latvala

feasib



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Johdanto

Kierth₂on 2.0 -hankkeen tavoitteena on edistää Kaustisen seutukunnan toimijoiden edellytyksiä resurssitehokkuudesta sekä luoda seudulle edellytyksiä omavaraisesta ja huoltovarmasta ravinnekierrosta.

Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen jalostusmahdollisuuksien tarkastelu lisäarvon näkökulmasta luo pohjaa liiketaloudellisille mahdollisuuksille. Tuotteistamalla biokaasutuotantoprosessissa syntyvä mädätysjäännös parannetaan usein tuotantoprosessin kannattavuutta, tehostetaan ravinteiden kiertoa sekä turvataan lannoitteiden saatavuutta.

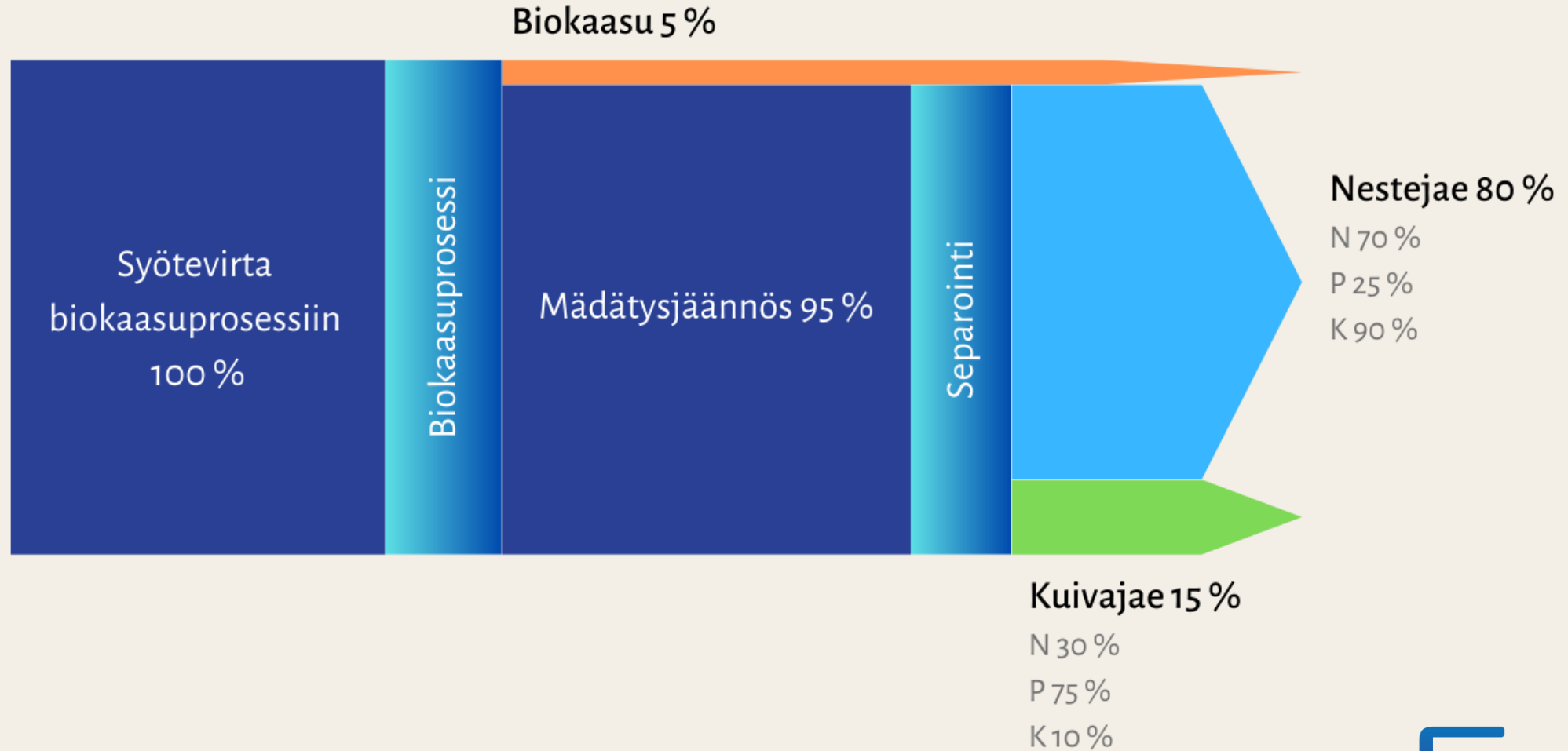
Feasib Oy toteutti ”Biokaasuntuotannosta syntyvän mädätysjäännöksen hyödyntämisvaihtoehdot” -selvityksen Kaustisen seudun toimeksiannosta. Selvityksessä tarkasteltiin biokaasutuotannon mädätysjäännöksen seudullisia hyödyntämismahdollisuuksia ja niiden kannattavuutta sekä mädätysjäännöksen markkinoita ja kysyntää Kaustisen seutukunnan alueella. Lisäksi toteutettiin kasvatuskoe, jossa tutkittiin mädätysjäännöksen, rikastushiekan ja biohiilen erilaisten seossuhteiden toimivuutta kasvualueena.

Selvitys on tehty osana Kierth₂on 2.0 - hanketta ja se kuuluu työpaketin 3 tuloksiin. Hanke on saanut rahoituksen Keski-Pohjanmaan liiton Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 – Suomen rakennerahasto-ohjelmasta (EAKR 80 %). Hankkeen omarahoituksesta vastaavat Kaustisen seutukunnan kunnat sekä Korpelan Voima.

Sisällys

- 1 Mädätysjäännöksen hyödyntäminen
- 2 Kannattavuus
- 3 Mädätysjäännöksen markkinat & kysyntä
- 4 Kasvatuskoe
- 5 Lähteet
- 6 Liitteet

Biokaasuprosessin lopputuotteet



1



Mädätysjännöksen
hyödyntäminen

Mädätysjäännös lannoitteena

1. Mädätysjäännös voidaan sellaisenaan hyödyntää lannoitteena.
2. Mädätysjäännös voidaan separoida neste- ja kuivajakeeseen. Nämä voidaan hyödyntää sellaisenaan lannoitteena ja tuotteistaa lannoitevalmisteiksi.
3. Neste- ja kuivajakeita voidaan jatkokäsitellä ja tuotteistaa lannoitevalmisteiksi.
 1. Kuivajakeen jatkojalostus
 - Kompostointi, terminen kuivaus, rakeistus, pyrolyysi, hydroterminen hiiltäminen ja poltto
 2. Nestejakeen jatkojalostus
 - Ammoniumtyypen strippaus ja talteenotto, struviitin kiteytys, membraanimenetelmät ja haihdutus
 - Jakeiden sisältämiä ravinnesuhteita voidaan parannella lisäämällä mineraaleja, jolloin saadaan tehtyä eri kasveille optimaalisilla ravinnesuhteilla olevia lannoitevalmisteita.



Hygienisointi

Hygienisointiprosessissa materiaali kuumennetaan lainsäädännön vaatimalla tavalla. Hygienisointiprosessi riippuu biokaasulaitokseen syötettävien jakeiden sivutuoteasetuksen mukaisesta luokasta.

Luokka	Käsittelyvaatimus	Tyypillisiä syötteitä
Luokka 3	Hygienisointi 70 °C, 60 min, partikkelikoko alle 12 mm	Sivutuotteet jotka on saatu ihmisravinnoksi hyväksytyistä eläimistä, mutta joita ei kuitenkaan käytetä elintarvikkeena tai sen raaka-aineena, biojätteet ja puhdistamolietteet
Luokka 2	Sterilointi 133 °C, 3 bar, 20 min, partikkelikoko alle 50 mm	Itsestään kuolleet ja lopetetut eläimet sekä sivutuotteet, joissa eläinlääkejäämien riski, lanta*

*Kansallinen käsittelyvaatimus: voidaan käyttää lannoitevalmisteena Suomessa, kun biokaasuprosessin yhteydessä tehdään hygienisointi (70°C, 1h)

* Mädätysjäännöstä ei tarvitse hygienisoida kun:

1. Tilalla käytetään biokaasun syötteinä vain tilan omia jakeita, kuten lantaa ja ylijäämärehua ja mädätysjäännös levitetään tilan omille pelloille.
2. Koskee myös useamman maatilan yhteiskäytössä olevaa biokaasulaitosta ja mädätysjäännöksen hyödyntämistä näiden tilojen pelloilla.

Mädätysjäännös tulee hygienisoida:

1. Jos mädätysjäännös luovutetaan tai markkinoidaan lannoitevalmisteena ja biokaasuprosessi on ollut mesofiilinen
2. Jos biokaasulaitos ottaa vastaan ulkopuolisia syötteitä (erityisesti eläin- ja jätevesiperäiset jakeet)

Mädätysjäännöksen kuiva- ja nestejakeen erotus

1. Ruuvipuristin

- Ruuvi puristaa mädätysjäännöstä sylinterimäistä seulaa vasten, jolloin nestefraktio erottuu seulan läpi. Yksinkertainen toimintamekanismi ja erotustehoa voidaan säätää seulan silmäkokoa ja puristusvoimaa muuttamalla. Matala investointikustannus sekä matala energiankulutus (0,4-0,5 kWh/m³). Pienet partikkelit (halk. 0,5–1 mm) päätyvät nestejakeeseen, mikä heikentää fosforin erottumista.

2. Dekanterisentrifugi (linkous)

- Perustuu nesteen ja kiintoaineen tiheyseroon ja partikkelien sedimentoitumiseen pyörivän roottorin ulkoreunalle. Flokkausaineen (polymeerit) käyttö lisää erotustehoa. Erottaa pienetkin partikkelit ja kolloidit. Suuri erotuskyky fosforille, joka jää kiinteään fraktioon. Polymeerien käyttö lisää kustannusta ja niiden vaikutuksista maatalousmaassa on vähän tutkimustietoa. Nestemäisen polymeerin käyttö lisää nestejakeen määrää. Melko suuri energiankulutus (3–5 kWh/m³).

3. Hihnasuodattimet (suotonauha ja imusuodatus)

- Neste puristetaan viirojen läpi tai neste erotetaan imulla viiran läpi. Flokkausaineen (polymeerit) käyttö lisää erotustehoa. Parempi fosforin erotuskyky kuin ruuvipuristimella. Pienempi energiantarve (1,5-2 kWh/m³) kuin dekanterisentrifugilla. Saostus- tai flokkausaineen lisääminen tarpeellista erotuskyvyn parantamiseksi, mikä lisää kustannuksia. Kemikaalitarve 2-3 kertaa suurempi kuin dekanterisentrifugilla. Erotuskykyä säädetään myös suotimen silmäkoolla.



Kuivajakeen jatkojalostus

1. Kompostointi

- Aerobinen mikrobiologinen prosessi, jossa orgaaninen aines hajoaa ja stabiloituu. Yksinkertainen prosessi, jolla oikein toteutettuna on myös hygienisoiva vaikutus. Toteutettavissa aumakompostointina tai erilaisissa laitoksissa. Valmis komposti on käytettävissä lannoitteena ja maanparannusaineena tai mullan valmistuksessa. Vaatii yleensä seosainetta aerobisten olosuhteiden säilyttämiseksi. Kompostointi lisää typpihävikkiä, jollei prosessin osana ole typen talteenottoa (toteutettavissa vain laitoskompostoinnissa).

2. Terminen kuivaus

- Hihna- tai rumpukuivaus, jossa on lämmön syöttö. Leijukerroskattilatekniikkaa käyttävä kuivaus. Kuivaaminen stabiloi mädätteen kiinteää jaetta/kuivaa mädätysjäännöstä, pienentää kokonaismassaa ja väkevöi ravinteita. Mahdollisen CHP-yksikön hukkalämpöä voidaan hyödyntää kuivauksessa. Haihtuville yhdisteille on talteenotto, jolla voidaan vähentää myös typen hävikkiä.

3. Rakeistus (pelletöinti)

- Rakeistus lisää materiaalin käsiteltävyyttä helpottamalla sen levitystä ja annostelua. Rakeistus sopii esimerkiksi mädätetyille lietteille ja tuhkalta. Materiaali voidaan rakeistaa kuivauksen yhteydessä. Menetelmiä ovat erilaiset rumpu-, puristus- ja sekoitustekniikat, joissa materiaaliin voidaan lisätä erilaisia seosaineita parantamaan rakeen rakennetta, lisäämään ravinteita (N, K) tai muuttamaan niiden liukoisuutta. Rakeistus voi parantaa mädätteen arvoa lannoitteena, koska ravinnepitoisuus kasvaa ja käsiteltävyys paranee. Menetelmä vaatii pölyhaittojen ehkäisyä, kuumenemisen sekä typen hävikkien hallintaa.



Kuivajakeen jatkojalostus

4. Pyrolyysi

- Perustuu orgaanisen aineen kuumentamiseen hapettomissa olosuhteissa. Voidaan toteuttaa hitaana tai nopeana pyrolyysinä. Prosessissa muodostuu hiili- ja ravinnepitoista jaetta (biohiiltä) sekä kaasuja. Kaasujen kondensoituessa tuotteena syntyy myös nestemäistä jaetta. Menetelmän etuina kokonaisuutena väheneminen, hiilen stabiloituminen ja fosforin väkevöityminen. Pyrolyysi hygienisoi ja hajottaa orgaanisia haitta-aineita. Rajoitteina typen hävikki ja menetelmä vaatii esikäsittelynä syötteen kuivauksen (kuiva-ainepitoisuus yli 70 %). Hidaspyrolyysiä ei vielä käytetä teollisessa mittakaavassa.

5. Hydroterminen hiiltäminen (nestepyrolyysi)

- Lietteiden orgaaniset aineet hajotetaan paineessa (<50 bar) ja korkeassa lämpötilassa (180-250 °C) biohiileksi. Prosessissa muodostuu lisäksi rejektivettä ja -kaasua. Biohiiltä on mahdollista kuivattaa 70 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Syötteenä voidaan käyttää suoraan matalan kuiva-ainepitoisuuden sisältävää materiaalia (alle 15 %). Hiilen saanto on jopa 80 %, nestejätettä muodostuu 5-20 %. Teknologian rajoitteena on sen kalleus. Laitosmittakaavan laitoksia on maailmalla toiminnassa muutamia.

6. Poltto

- Poltossa biomassan orgaaninen aines muunnetaan energiaksi. Termisessä hapetusprosessissa lämpötila on yli 900 °C, jolloin tuotteena syntyy tuhkaa. Poltto vaatii kuivan syötemateriaalin (kuiva-ainepitoisuus yli 50 %). Menetelmän etuna on suuri massan vähenemä, vain tuhka-aines jää jäljelle, johon fosfori on sitoutuneena. Menetelmän rajoituksena on typen menettäminen sekä tuhkan fosfori on heikosti käyttökelpoisessa muodossa kasveille.



Nestejakeen jatkojalostus

1. Ammoniumtyypen strippaus ja talteenotto

- Strippaus on kemiallinen typen talteenottotekniikka, jossa ammoniumtyyppi ($\text{NH}_4\text{-N}$) erotetaan nestefaasista. Lämpötilan ja pH:n säädön (60–80 °C, pH n. 10) sekä ilmapuhalluksen avulla saadaan kaasumaista ammoniakkia (NH_3). Ammoniakki voidaan ottaa talteen pesemällä se ilmapuhalluksesta esimerkiksi rikkihappoon, jolloin muodostuu typpituotteena ammoniumsulfaattia ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Prosessi tuottaa puhdasta, epäorgaanista typpilannoitetta. Lisäämällä tuotetta muihin mädätysjäännöksen jakeisiin voidaan typpipitoisuutta säätää haluttuun suuntaan ja lisätä markkinoitavuutta. Teknologian toimivuuden edellytyksenä on hyvä kiintoaineen erotus, sillä kolonnit tukkeutuvat helposti. Menetelmän muita rajoitteita ovat kemikaalien kulutus ja laimealle sivuvirralle on oltava omat käsittelyratkaisut.

2. Struviittituotanto

- Struviittia eli magnesiumammoniumfosfaattia (MAP, $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \times 6 \text{H}_2\text{O}$) voidaan kiteyttää erilaisista fosforia, tyyppiä ja magnesiumia sisältävistä nestejakeista ja biomassoista. Struviitin lisäksi prosessissa syntyy reagoimatonta tyyppiä sisältävää rejektiä. Kiteytysprosessi vaatii materiaalin alhaisen kuiva-ainepitoisuuden ja pH:n säädön (>9) sekä usein myös magnesiumin lisäyksen. Menetelmän etuna on korkea ravinnepitoisuus (N, P, Mg) painoyksikköä kohden, joka mahdollistaa tuotteen edullisen kuljettamisen. Tuotteena struviitti soveltuu hidasliukoiseksi lannoitteeksi, mutta ravinteiden kierrätyksessä struviittikiteytys ei ole Suomessa vielä tällä hetkellä käytössä. Teknologian rajoitteena ovat kalliit reagenssit, jotka nostavat lopputuotteen hintaa sekä sivuvirtojen hallinta.



Nestejakeen jatkojalostus

3. Membraanimenetelmät (mikro-, ultra- ja nanosuodatus, käänteisosmoosi)

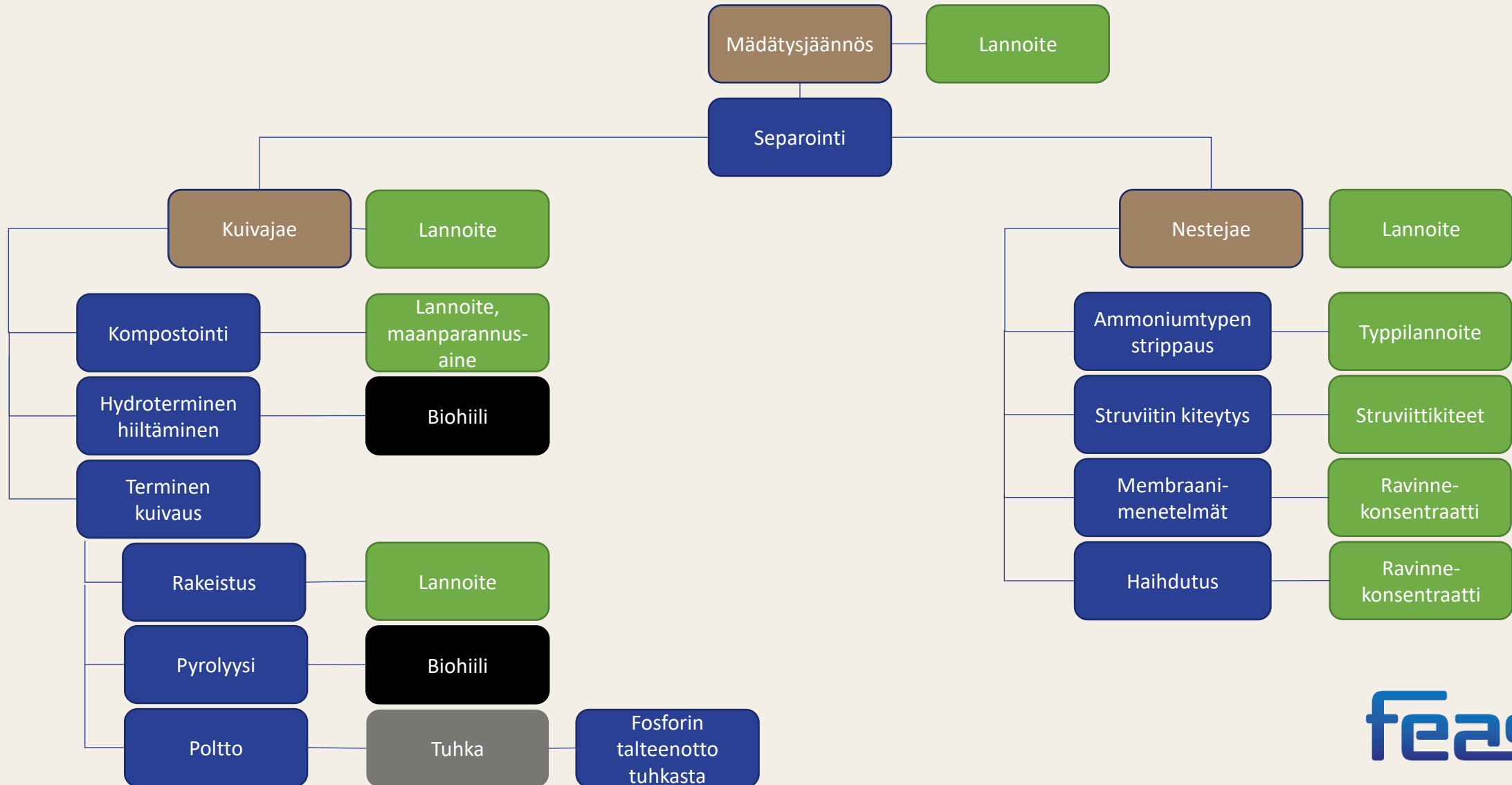
- Kalvotekniikat perustuvat huokoiseen puoliläpäisevään kalvoon. Erotus perustuu paine-, lämpötila-, konsentraatio- tai sähköpotentiaalieroihin. Käsiteltävä neste jakautuu kahteen osaan: kalvon tulopuolelle jäävään retentaattiin ja sen läpäisevään permeaattiin eli puhdistettuun/käsiteltyyn jakeeseen. Vaatii esikäsittelynä tehostetun kiintoaineen poiston esim. dekantterisentrifugilla. Suuri erotuskyky aina liukoisiin molekyyleihin asti. Hyvänä tai huonona puolena voidaan pitää useiden eri fraktioiden erottumisen, joilla on korkea ravinnepitoisuus. Puhdistettu neste voidaan mahdollisesti purkaa ympäristöön tai hyödyntää esim. laitoksen laimennus- tai pesuvetenä. Menetelmän rajoitteina ovat hinta, membraanien tukkeutuminen ja sen hallinta sekä suhteellisen korkea energiantarve. Lisäksi korkea konsentraatin ravinnepitoisuus voi asettaa haasteita suoralle lannoitekäytölle. Vaatii levityslaitteiston, joka soveltuu levittämään pieniä määriä tasaisesti.

4. Haihdutus

- Haihdutuksessa eli väkevöinnissä haihdutetaan nestejakeetta lämpötilaa nostamalla, jolloin jäljelle jää väkevöitynyt konsentraatti. Mahdollinen prosessi, jos lämmönlähde on saatavilla esim. CHP-yksiköstä. Prosessin avulla 80–98 % nestejakeen typestä ja lähes 100 % fosforista ja kaliumista saadaan talteen. Lämpötilan noususta johtuva typpihävikki haihtuvana ammoniakkina estetään säätämällä pH 4,5:een ja CO₂:n poistolla. Menetelmällä voidaan päästä 50 % vähenemään tilavuudessa. Käsittely konsentroi ravinteita tehokkaasti, mutta vaatii esikäsittelyn. Prosessia voidaan tehostaa alipaineen avulla. Menetelmän rajoitteina ovat suuri energiankulutus ja pH:n säätökemikaalien tarve. Lisäksi lopputuotteen happamuus voi rajoittaa sen käyttöä.

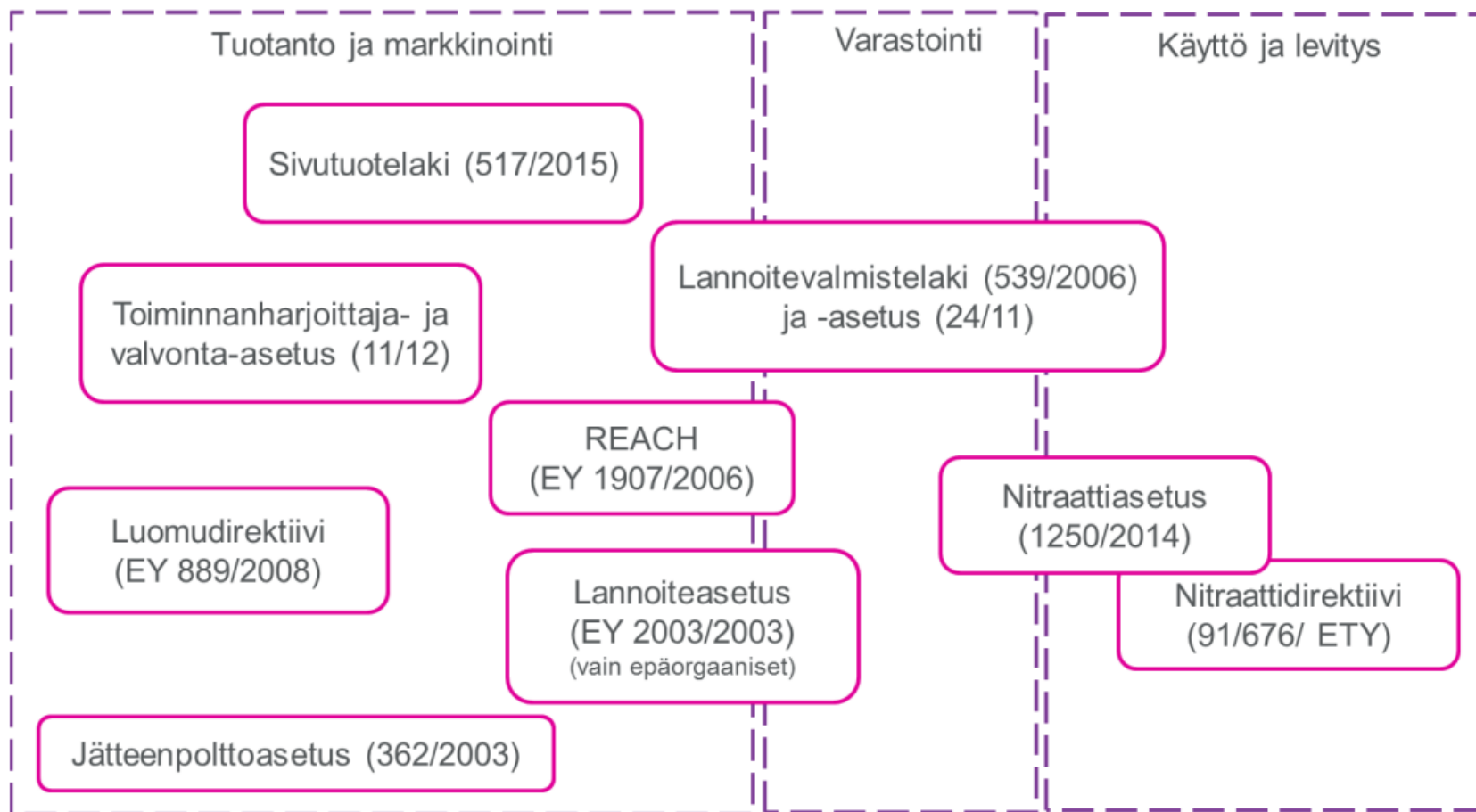


Mädätysjäännöksen hyödyntäminen



Lainsäädäntö

Lannoitevalmisteiden tuotantoa, markkinointia, varastointia, käyttöä ja levitystä ohjaava lainsäädäntö.



Lainsäädännön mukaiset lannoitevalmisteet

Lannoitteet	Aine tai valmiste, joka on tarkoitettu edistämään kasvien kasvua tai parantamaan sadon laatua ja jonka vaikutus perustuu ensisijaisesti kasviravinteisiin.
Kalkitusaineet	Aine tai valmiste, joka sisältää kalsiumin tai magnesiumin oksideja, hydroksideja, karbonaatteja tai silikaatteja ja on tarkoitettu korjaamaan maaperän happamuutta.
Maanparannusaineet	Aine tai valmiste, joka on tarkoitettu parantamaan maan tai kasvualustan fysikaalista tai kemiallista ominaisuutta, rakennetta tai biologista aktiivisuutta ja jonka vaikutus perustuu pääasiassa muihin vaikutuksiin kuin kasvinravinteisiin. Maanparannusaineet voivat sisältää ravinteita.
Kasvualustat	Kasvien ja sienten kasvatukseen tarkoitettua kiinteää tai nestemäistä ainetta tai valmistetta, joihin on tai voi olla lisätty muita lannoitevalmisteita, kuten lannoitteita ja kalkitusaineita, ja joka on muuta kuin paikan päällä olevaa maa-ainesta.
Biostimulantit	Valmiste, joka kiihdyttää kasvin ravinteidenottoa riippumatta tuotteen ravinnesisällöstä ja jonka ainoana tarkoituksena on parantaa yhtä tai useampaa seuraavista kasvin tai kasvin ritsosfäärin ominaisuuksista: ravinteiden hyväksikäytön tehokkuus, abioottisen stressin kestävyys, laatuominaisuudet tai maaperään tai ritsosfääriin sitoutuneiden ravinteiden saatavuus.
Lannoitevalmisteiden seokset	Valmiste, joka koostuu kahdesta tai useammasta lannoitevalmisteesta ja jonka jokainen seoksen osana oleva lannoitevalmiste täyttää kyseiselle tuoteluokalle asetetut vaatimukset.

Rajoitteet

Lannoitevalmisteiden haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet (mg/kg ka):

Haitta-aine	Kemiallinen merkki	mg/kg ka
Arseeni	As	25
Elohopea	Hg	1
Kadmium	Cd	1,5*
Kromi	Cr	300
Kupari	Cu	600**
Lyijy	Pb	100
Nikkeli	Ni	100
Sinkki	Zn	1500**

*Maa- ja puutarhataloudessa käytettävässä tuhkalannoitteessa kadmiumin enimmäispitoisuus on 2,5 mg/kg ka.

**Kuparin ja sinkin enimmäispitoisuuden ylitys peltokäytössä voidaan sallia, kun maaperäanalyysin perusteella on todettu niiden puutetta.

Kadmiumin enimmäispitoisuus fosforilannoitteissa:

Suomessa markkinoitavissa lannoitteissa, joiden fosforipitoisuus on vähintään 2,2 prosenttia (5 % P₂O₅) saa olla enintään 50 mg kadmiumia (Cd) fosforikiloa (P) kohden. Lannoitteen kadmiumpitoisuus fosforipentoksidikiloa (P₂O₅) kohden saa olla enintään 22 mg.

Tautia aiheuttavien tai sitä indikoivien mikro-organismien sallitut enimmäismäärät lannoitevalmisteissa:

Taudinaiheuttaja/indikaattori

Salmonella	Ei todettavissa
Escherichia coli	1000 pmy/g tai < 100 pmy/g, ammattimaiseen kasvihuoneviljelyyn tarkoitetuissa kasvualustoissa, joissa syötävät kasvinosat ovat kosketuksissa kasvualustaan
Juuripolte	Ei todettavissa taimituotannossa käytettävissä kasvualustoissa



Lannoitevalmisteiden kansallinen ainesosaluettelo

- Lannoitevalmisteiden on koostuttava sellaisista ainesosista, jotka täyttävät kansallisen lainsäädännön mukaisen ainesosaluokan tai EU lannoitevalmisteasetuksen liitteen II mukaisen ainesosaluokan (CMC) laatu- ja käsittelyvaatimukset.
- Ensimmäinen luonnos Ruokaviraston ylläpitämästä lannoitevalmisteiden kansallisesta ainesosaluettelosta on julkaistu kesäkuussa 2023.
 - Luonnos: <https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/kasvit/lannoitevalmisteet/ainesosaluettelo-julkaistu-luonnos.pdf>
 - Ruokaviraston ylläpitämässä ainesosaluettelossa ei ole EU lannoitevalmisteasetuksen (2019/1009) liitteen II mukaisia ainesosia, joiden käyttö on myös sallittua Suomessa markkinoitavissa lannoitevalmisteissa.
- Ruokavirasto lisää ainesosaluetteloon vanhan lannoitelain ja tyyppinimiluettelon mukaiset ainesosat, edellyttäen että ne täyttävät uuden lannoitelain ja siihen liittyvien asetusten vaatimukset.
- Uusia ainesosia voidaan lisätä ainesosaluetteloon myös hakemuksesta (maksullinen).
 - Hakemuksessa on oltava tiedot alkuperästä, tuotantoprosessista tai käsittelymenetelmästä sekä selvitys koostumuksesta ja ominaisuuksista. Ruokavirasto arvioi hakemusten ja ainesosaluokkien vaatimusten perusteella voidaanko ainesosa lisätä ainesosaluetteloon ja mihin ainesosaluokkaan se sijoitetaan.
 - Ruokavirasto pyytää talouden toimijoita hakemaan ainesosan lisäämistä luetteloon sellaisen ainesosien osalta, jotka eivät sisälly vanhaan tyyppinimiluetteloon.



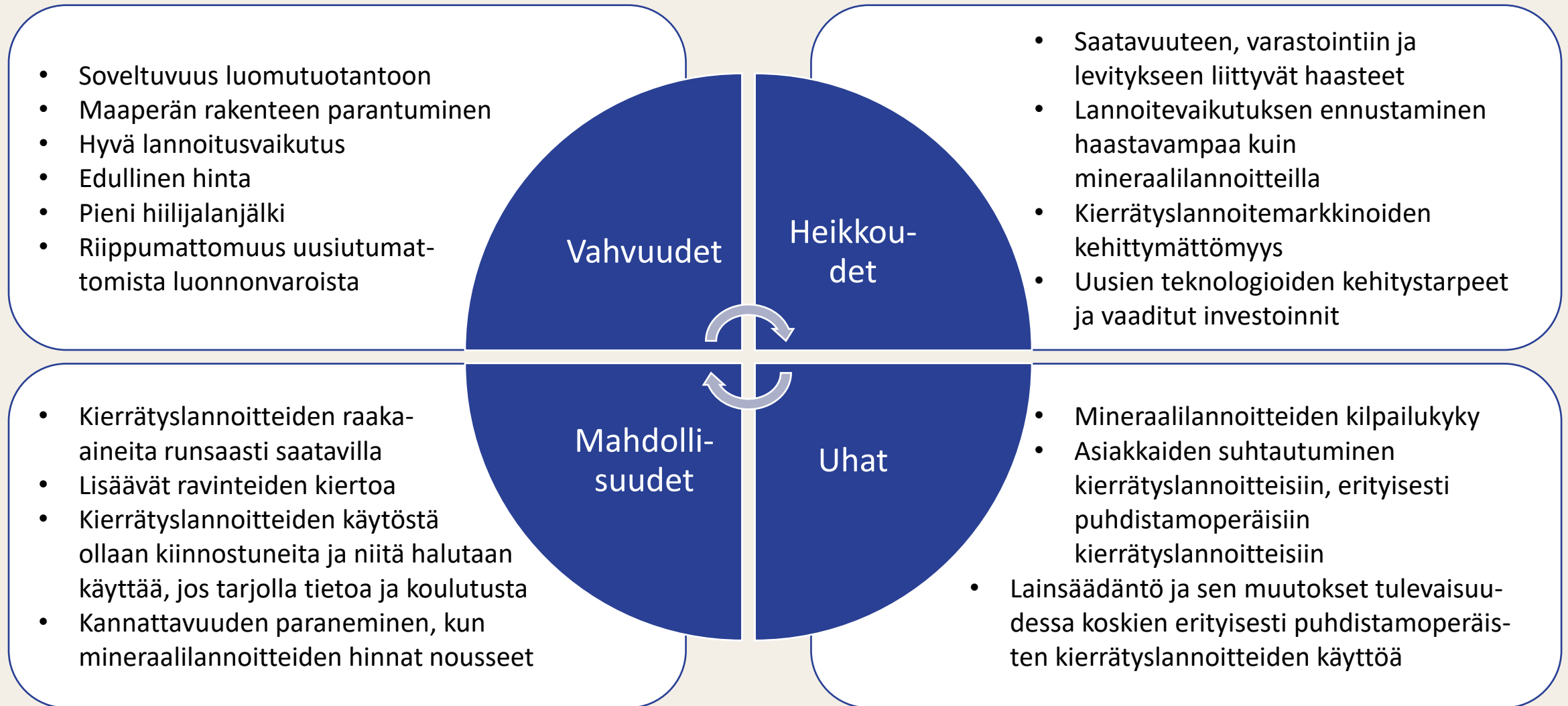
Lannoitealan uutiskirje

Ruokavirasto julkaisee kahdesta neljään kertaan vuodessa ajankohtaista tietoa lannoitevalmisteiden valmistukseen ja markkinoille saattamiseen liittyvistä asioista ja lannoitevalmisteiden valvonnasta.

- Ensimmäinen uutiskirje on julkaistu 16.6.2023: <https://uutiskirje.ruokavirasto.fi/archive/show/5459405>
- Uutiskirje lähetetään automaattisesti kaikille lannoitealan valvontarekisterissä olevien yritysten yhteyshenkilöille
- Muut kiinnostuneet voivat tilata uutiskirjeen täältä: <https://www.ruokavirasto.fi/tietoa-meista/ajankohtaista/tilaa-uutiskirjeita/>



Kierrätyslannoitteiden SWOT-analyysi



Laatulanointe.fi

Kansallinen laatujärjestelmä kierrätyslannoitevalmisteille

- Laatulanointe-laatujärjestelmän mukaisille tuotteille on myönnetty Laatulanointe-sertifikaatti, joka on tae tuotteiden korkeasta laadusta.
- Järjestelmä on avoin kaikille halukkaille kierrätyslannoitteiden valmistajille.
- Laatujärjestelmän avulla parannetaan tuotteiden tunnettuutta, menekkiä ja käyttöturvallisuutta ja tehostetaan ravinteiden kierrätystä.
 - Laatujärjestelmän avulla tuotteiden valmistajat voivat osoittaa tuotteidensa täyttävän lainsäädännön edellyttämää **korkeammat laatuvaatimukset**
- Laatujärjestelmä tuo jäljitettävyyttä ja läpinäkyvyyttä raaka-aineisiin ja tuotteisiin
- Laatujärjestelmän säännöt ja kriteerit perustuvat tutkittuun tietoon, minkä lisäksi järjestelmä mahdollistaa systemaattisen pitkäaikaisen tiedon keräämisen yhteen paikkaan.
- Laatukäsikirja: https://laatulanointe.fi/wp-content/uploads/2021/04/Laatukasikirja_versio-2.1_korjatut-liitenumerot2.pdf
- Ohjeet laatulanointe-sertifikaatin hakijalle: <https://laatulanointe.fi/wp-content/uploads/2022/06/Uudet-yrityksen-ohjeet-ja-yleisesittely-2022.pdf>

2

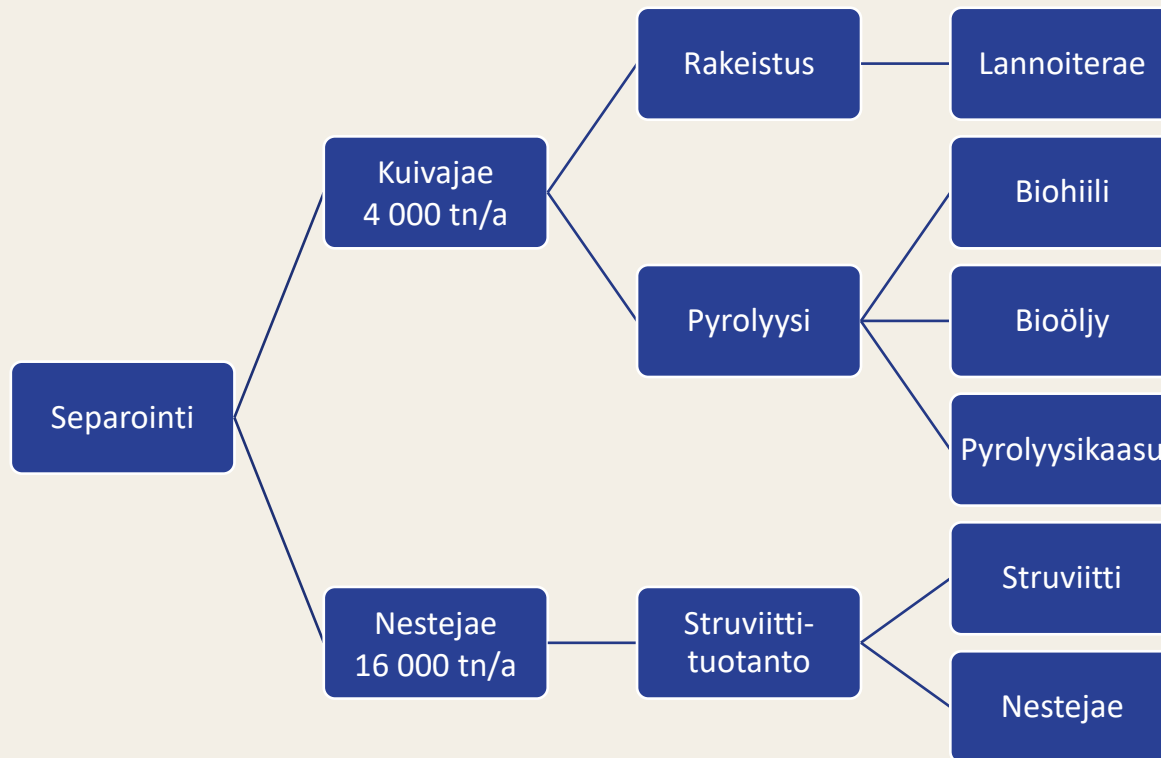


Kannattavuus

feasib

Mädätysjäätännöksen hyödyntämismavaihtoehtojen taloudellinen kannattavuus ja kustannustehokkuus:

Kirjallisuustutkimuksen perusteella valittiin tarkasteluun seuraavat hyödyntämismavaihtoehdot, joille määritettiin taloudellinen kannattavuus ja kustannustehokkuus. Case -esimerkiksi valittiin kokoluokka 20 000 tn/a mädätysjäätännöstä, jonka lähtöaineena on naudan lietelanta.



2



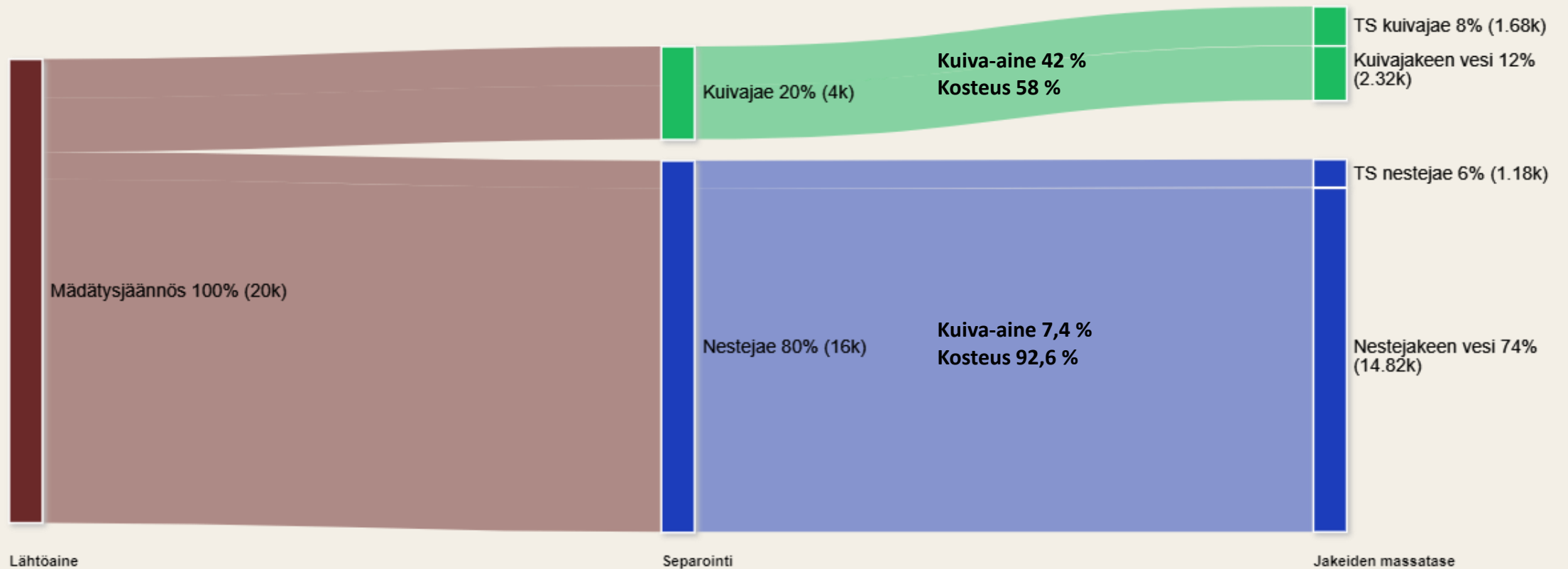
Separointi

Mädätysjäännöksen separointi

- Lähtöaineena 20 000 tn/a mädätysjäännöstä
- Kuivajae (4 000 tn/a)
 - Kuiva-aine 41,9 %
 - Vesi 58,1 %
 - Typpi 8,3 kg/t (33,2 tn/a)
 - Fosfori 2,9 kg/t (11,6 tn/a)
 - Kalium 3,4 kg/t (13,6 tn/a)
- Nestejae (16 000 tn/a)
 - Kuiva-aine 7,4 %
 - Vesi 92,6 %
 - Typpi 4,6 kg/t (73,6 tn/a)
 - Fosfori 0,76 kg/t (12,16 tn/a)
 - Kalium 3,3 kg/t (52,8 tn/a)
- Investointi 31 500 € (ruuviseparaattori)
 - Investointituki 50 %
 - Jaksotettu 5 vuodelle
- Käyttökulut 4 058 €/a
- **Separoinnin kustannus 0,37 €/tn mädätysjäännöstä**



Mädätysjäännöksen separoinnin massatase



2



Lannoiterra

Kuivajakeen rakeistus

feasib

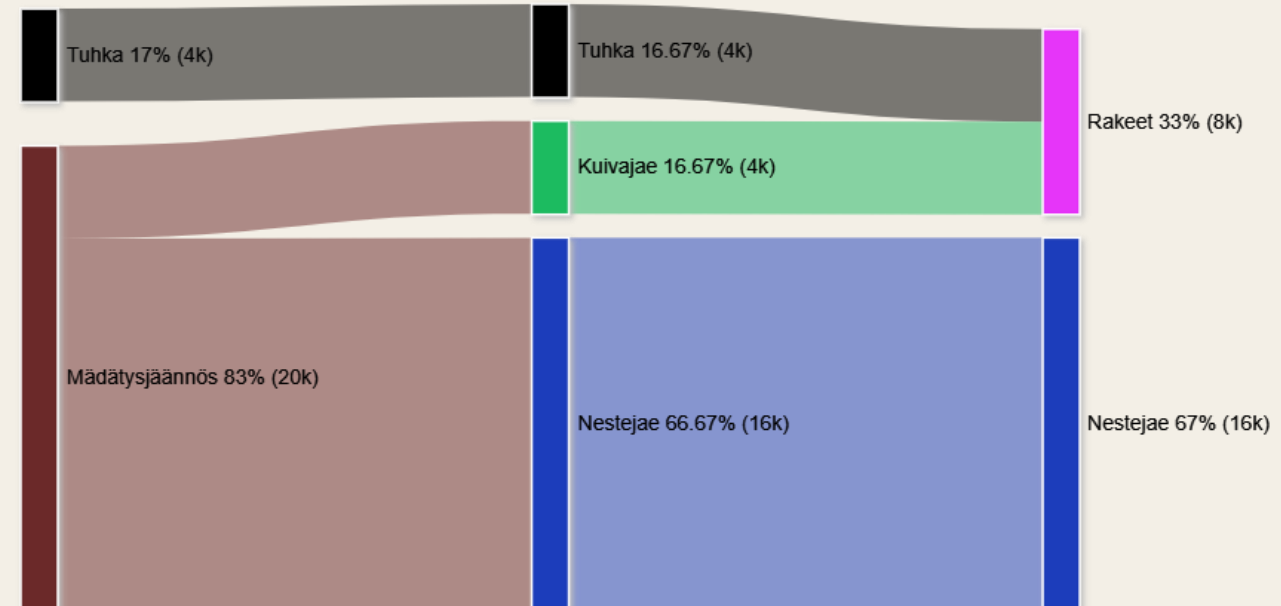
Kuivajakeen rakeistus

- Rakeistamisella voidaan tiivistää mädätysjäännöstä / poistaa nestettä, parantaa sen levitettävyyttä ja pidentää kannattavaa kuljetusmatkaa. Rakeiden käyttötavan määrittävät kuitenkin lopputuotteen sisältämät ravinteet. Esim. mädätysjäännöksestä valmistettavaan rakeeseen tulisi lisätä ainakin typpeä, jotta sitä voisi käyttää lannoitevalmisteena. Pelkän mädätysjäännöksen rakeistus ei välttämättä tuo riittävästi lisäarvoa verrattuna mädätysjäännöksen nykyiseen käyttöön.
- Mädätysjäännöksen nestepitoisuus on separoitunakin liian korkea rakeistukseen. Tämän vuoksi sitä pitäisi kuivata lisää, tai käyttää huomattavasti kuivempaa lisäainetta.
- Kaustisen seudulla mahdollisia seostettavia aineita olisivat esim. tuhka, rikastushiekka, biohiili ja turve.
- Tarkastelun perusteella on suositeltavaa jatkossa tutkia mahdollisuutta suurempaan, keskitettyyn laitokseen, joka saavuttaisi synergiaetuja usean eri toimialan sivutuotteiden rakeistuksesta.
- Mädätysjäännöksen – kuten minkä tahansa lähtöaineen rakeistus ja tuotteistaminen vaatii lähtöaineiden ja ”reseptin” optimointia. Ravinteiden lisäksi tulee huomioida esim. seoksen rakeistuvuus, rakeen kestävyys, paino sekä mahdollisten lisäaineiden tarve.
- Rakeistuskoe kestää noin 1-2 kk ja sen kustannus on n. 10 000 – 15 000 €.

Mädätysjäännöksen ja tuhkan rakeistus

Laskelmassa separoidun mädätysjäännöksen kuivajae (4 000 tn/a) sekoitetaan tuhkaan (4 000 tn/a) ennen rakeistusta. Seoksen laskennallinen kuiva-ainepitoisuus on 66 % ennen rakeistusta ja lopputuotteen määrä 8 000 tn/a. Tyypillinen metsälannoituksen määrä on 3-4 tonnia/ha. Vuotuinen tuotanto riittäisi noin 2 000 – 3 000 hehtaarin metsälannoitukseen vuosittain. Seostuvuutta tai ravinnetasapainoa ei ole testattu, laskelma olettaa että sekoittuvuus on hyvä ja seos on teknisesti toteutuskelpoinen. Myös tuhkan hankintakustannus on kriittinen kannattavuustekijä.

Investointi	1 290 000 € (tuki 25 %)
Käyttökulut	465 000 €/a
• 3 työntekijää	
• Sähkö	
• Huolto, vakuutukset	
• Tuhkan lisäys (50 €/tn)	
• Tuotanto:	8 000 tn/a
• Tuotantokustannus:	58 €/tn
• Vastaava tuote markkinoilla / myyntihinta	162 €/tn
• Kate	104 €/tn
• Myynti	1 296 000 €/a
➤ Takaisinmaksuaika	1,2 vuotta



2

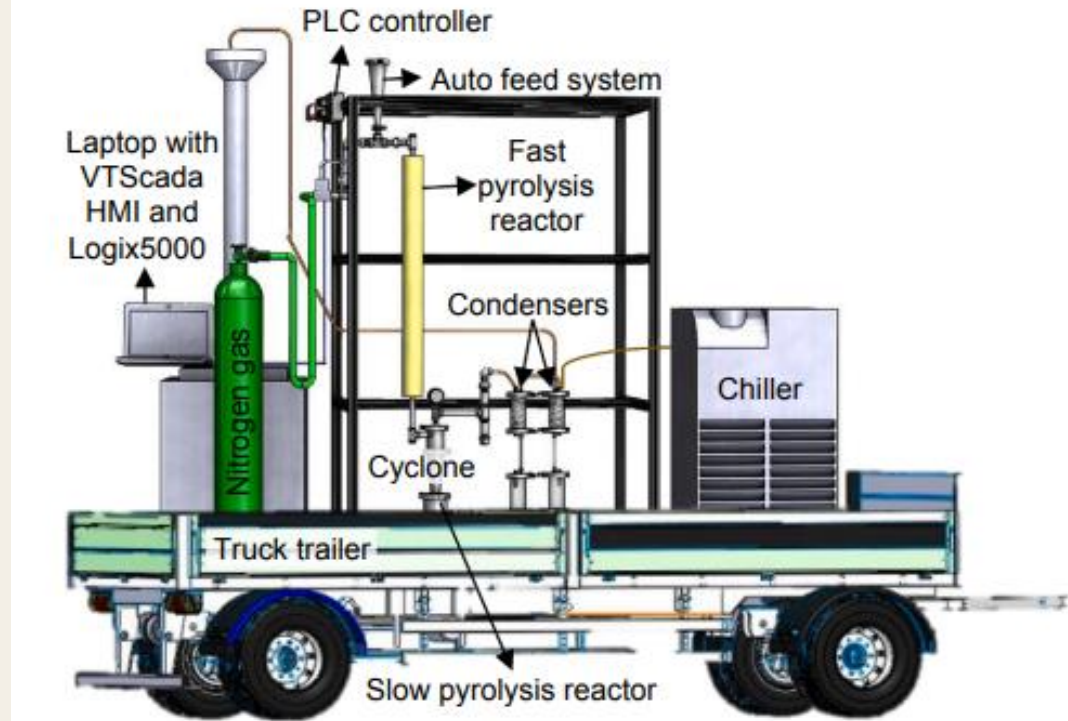


Biohiili

Kuivajakeen pyrolyysi

Kuivajakeen pyrolyysi: suuri kokoluokka

- Syötteenä 32 800 tn/a kuivattua (95%) naudan lietelantaa
- Kaksi siirrettävää pyrolyysilaitos -yksikköä: á 50 tn/d
 - Investointi noin 2,2 MUSD
- 2 x 328 käsittelyerää / vuosi
- Tuotteena 11 480 tn/a biohiiltä
- Sivutuotteena 14 760 tn/a pyrolyysiöljyä



- Tutkimuksen perusteella biohiilen tuotantokustannus 740 €/tn
- Suurin osa kustannuksesta syntyy energiankulutuksesta

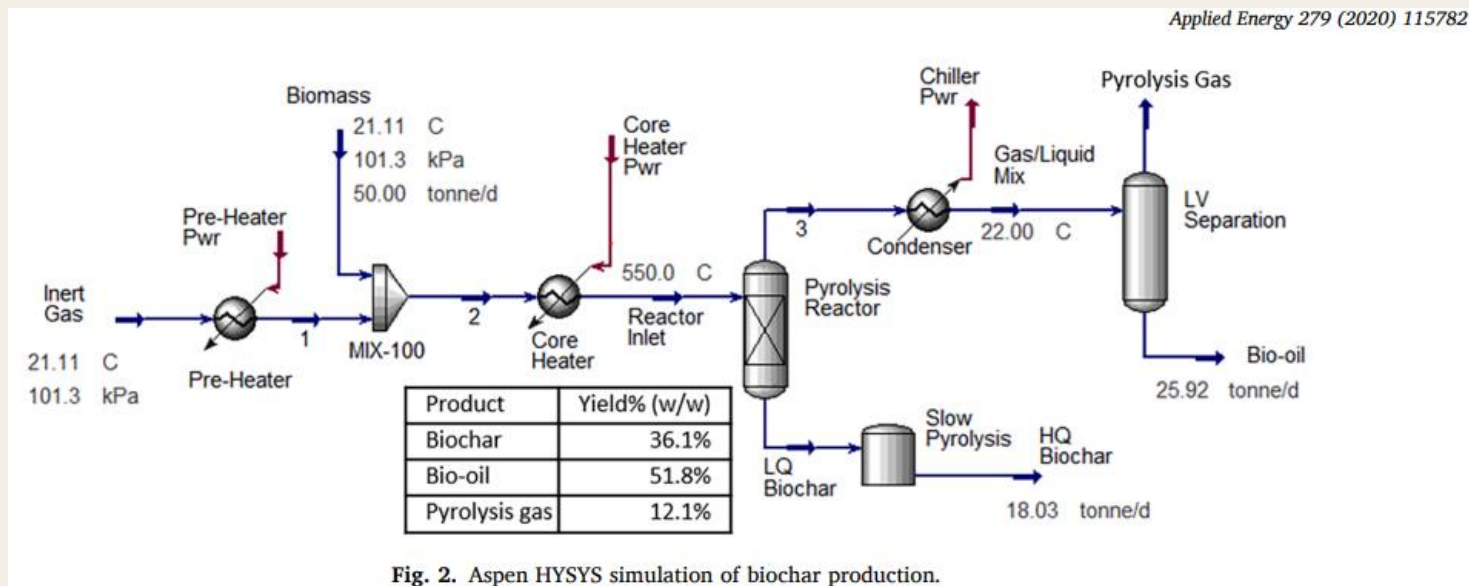


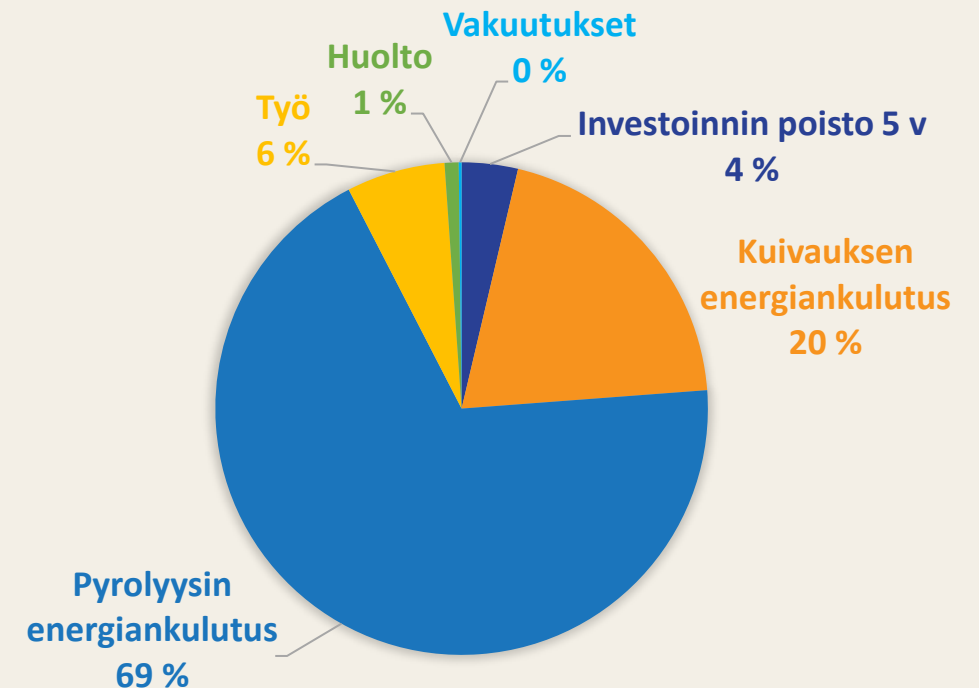
Fig. 2. Aspen HYSYS simulation of biochar production.

Biohiilen tuotanto: Kuivajakeen pyrolyysi

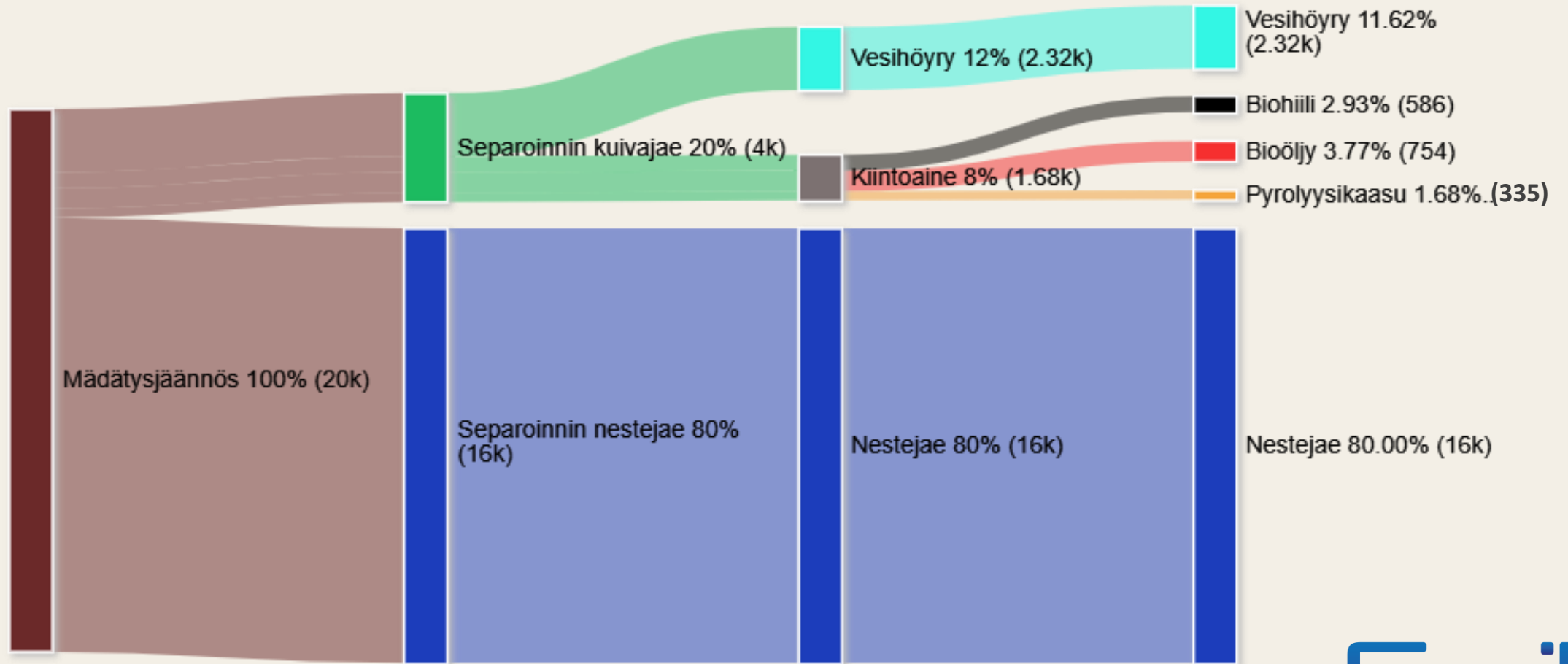
Case-laskelma:

- 20 000 tn/a mädätysjännöstä (TS 7 %)
- Separointi (TS 42 %)
- Separoinnin jälkeen kuivajakeesta haihdutetaan vesi pois (TS 95 %)
- Tämän jälkeen pyrolyysiprosessi (550 °C)
- Pyrolyysin energiankulutus n. 3,2 MWh/tn kuivaa syötettä
- Erittäin energiaintensiivinen prosessi → energian hinta ja jäädytyksen hukkalämmön hyödyntäminen kriittistä kannattavuuden kannalta

Biohiilen tuotantokustannusten jakautuminen



Kuivajakeen pyrolyysin massatase



Kuivajakeen pyrolyysi: Case laskelma

- Mädätysjäännöstä (TS 7 %) 20 000 tn/a
- Syötteenä 1 676 tn/a mädätysjäännöksen separoinnista saatavaa kuiva-ainetta (TS 95 %)
- Pyrolyysilaitoksen kapasiteetti 12,5 tn/d
- 134 käsittelyerää / vuosi
- 1 työntekijä
- Energiankulutus: 7 GWh/a

- Tuotteena: 580 tn biohiiltä vuodessa
- Sivutuotteena:
 - Pyrolyysiöljyä 754 tn/a
 - Pyrolyysikaasua 335 tn/a

- Biohiilen myyntihinta Suomessa n. 1 000 €/tn (2020)

- Investointi 350 000 € (mobiili pyrolyysilaitos)
 - Investointituki 50 %
 - Jaksotettu 5 vuodelle
- Käyttökulut 0,92 M€/a
- **Biohiilen tuotantokustannus n. 1 620 €/tn** kun bioöljylle ja kaasulle ei laskettu arvoa

Jos bioöljy ja pyrolyysikaasu voidaan hyödyntää täysimääräisesti prosessissa, tuotantokustannus olisi teoriassa n. 720 €/tn biohiiltä

- Kuivaamisen energiankulutus TS 41,9 % → TS 95 %: 1,6 GWh/a
- Pyrolyysin energiankulutus: 5,5 GWh/a
- Sivutuotteiden energiasisältö: 4,4 GWh/a

2



Struviitti

Elektrolyysi / sähkökoagulaatio

Separoidun nestejakeen struviittituotanto

- Struviitti on hitaasti liukeava fosfaattimineraali, joka sisältää fosfaattia, ammoniumtyyppiä ja magnesiumia
- Voidaan käyttää lannoitteena tai lannoitevalmisteiden ominaisuuksia parantavana lisäaineena
- Struviitin tuotantokustannus on tutkimusten perusteella n. 3,9 – 20 €/kg
- Kaupallinen struviitti 22 kg säkeissä: 4 €/kg (USA)
- Kolme valmistusmenetelmää: Case -laskelmaan valittu sähkökoagulaatio (elektrolyysi)

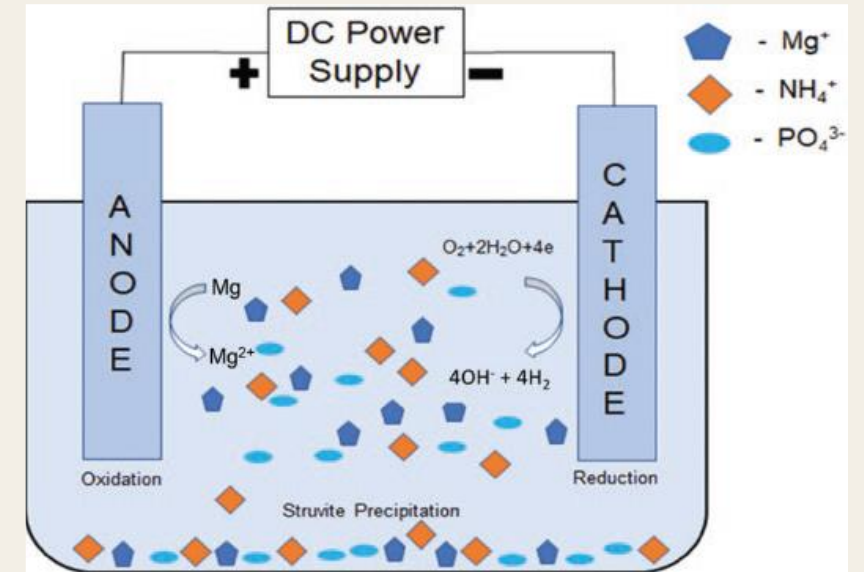
	Sähkökoagulaatio	Kemiallinen saostus	Biologinen saostus
Soveltuvuus hajautettuun tuotantoon	Hyvä	Keskinkertainen	Matala
pH säätö	Itse-säätyvä	NaOH	Ei tarpeen
Saanto	85-90	80-99	70-80
Struviitin puhtaus	Korkea	Riippuu Mg laadusta	Keskinkertainen
Huoltotarve	Pieni	Pieni	Korkea
Kemikaalitarve	Matala	Korkea	Matala



Struviitin elektrolyysi-prosessi biokaasulaitoksen määtysjännöksestä

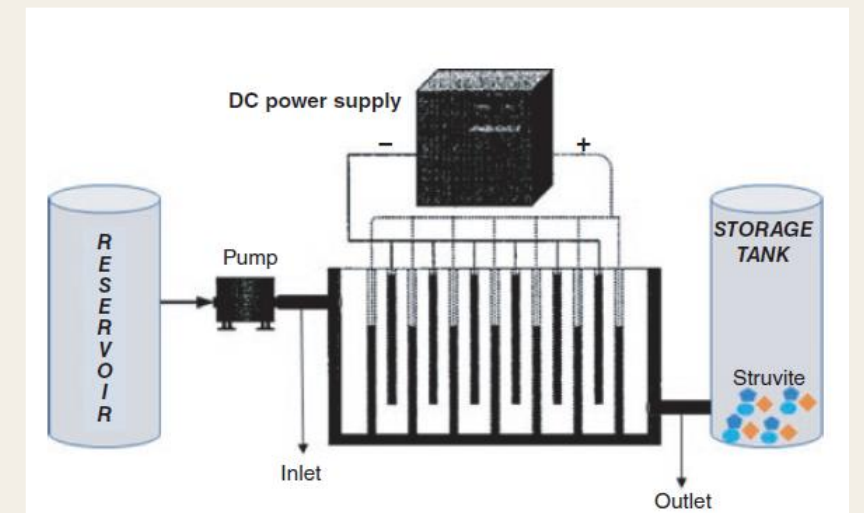
- Struviitti
 - Panostoimisessa prosessissa laskeutuu säiliön pohjalle
 - Jatkuvatoimisessa prosessissa kerätään omaan säiliöönsä
- Vety & ammoniumkaasut haihtuvat prosessissa
- pH säätyy oikealle tasolle ilman kemikaaleja
- Reaktio vaatii magnesiumin lisäämisen tai magnesium anodit
- Lietteen happokäsittely ja prosessin ilmastus voivat parantaa struviitin saantoa
- Korkea kalsiumpitoisuus voi heikentää prosessin tehoa

Panosreaktio



Jatkuvatoiminen reaktio

- Energiatehokas
- Vielä tutkimusvaiheessa



Case -laskelma

- Lähtöaineena case -laitoksen separoinnin nestejäte 16 000 tn/a
- Fosforisisältö 12,16 tn/a
- Erotustehokkuus 88 % → Teoreettinen saanto struviitissa 10,17 tn/a P_{tot}
- Tuotteena n. 38,5 tn/a struviittia (fosforipitoisuus 28 %)

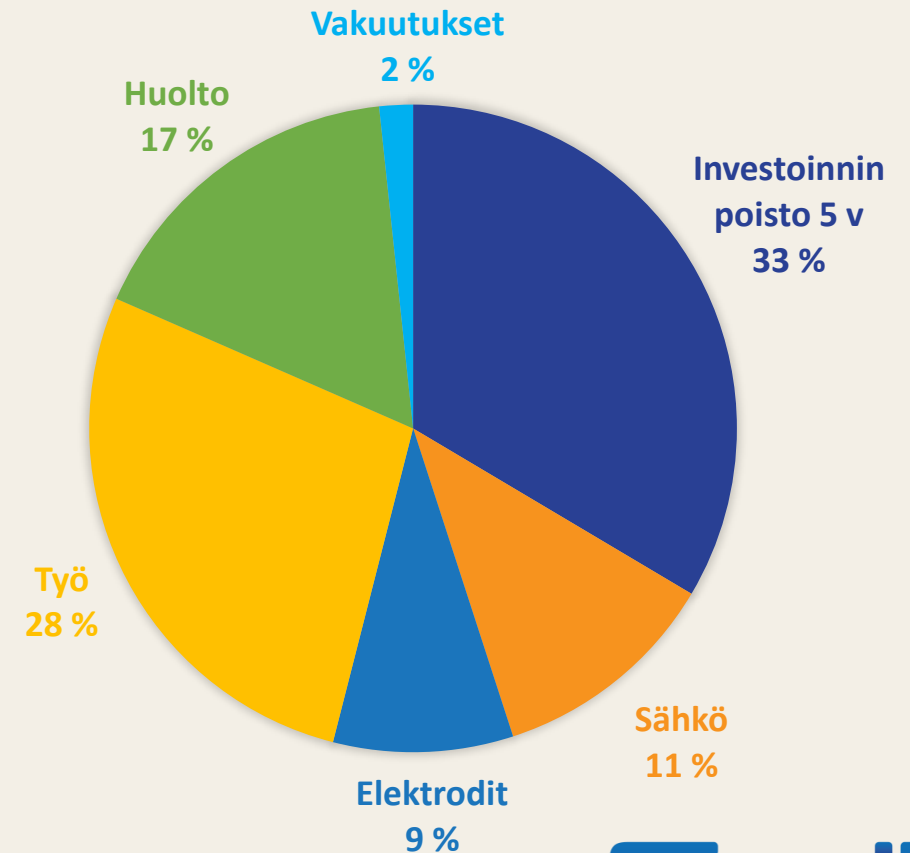
Investointi 747 000 € (elektrolyysi-prosessi sekä struviitin käsittelyjärjestelmä)

Investointituki 50 %, investointi jaksotettu 5 vuodelle

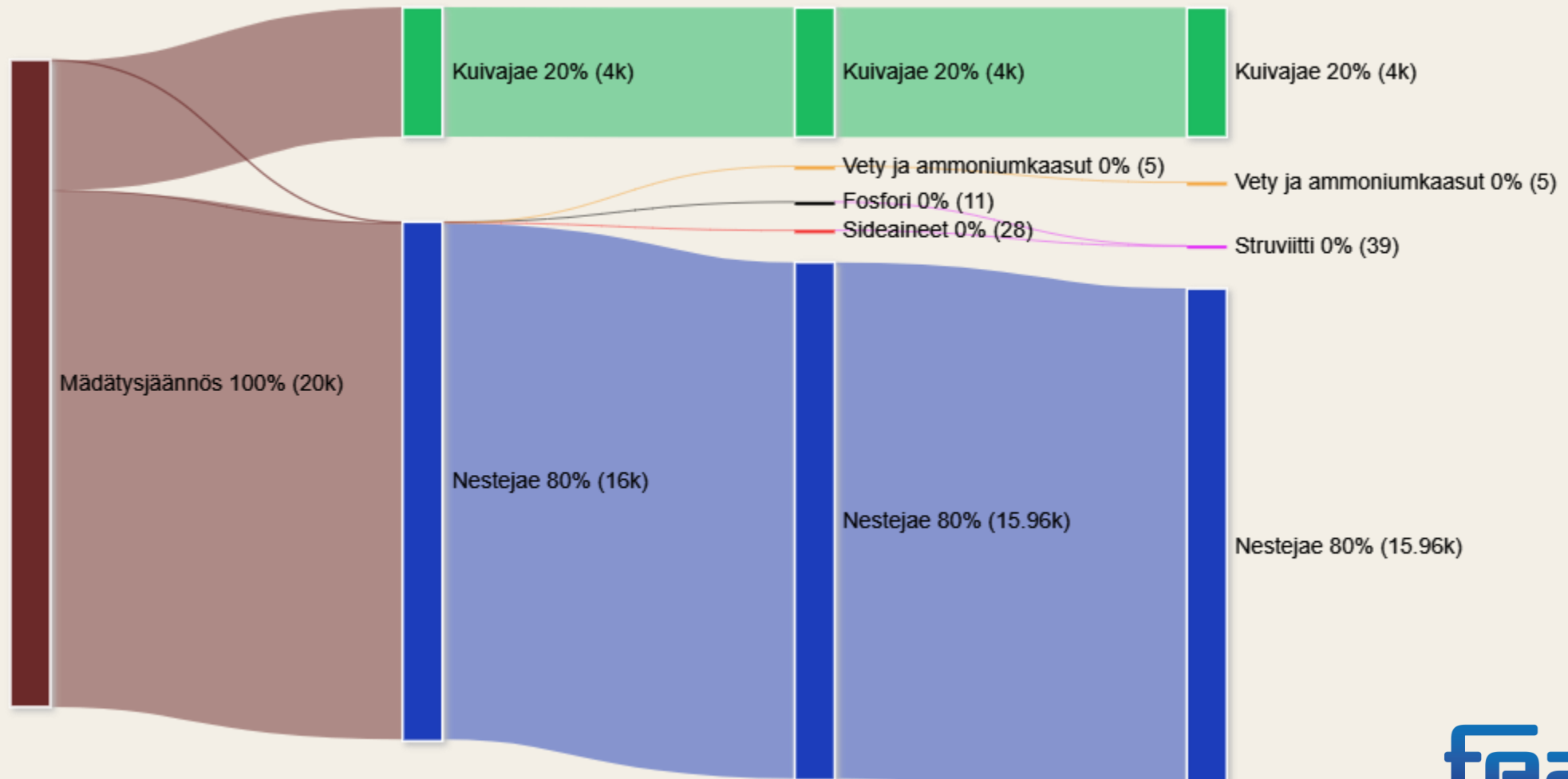
Käyttökulut 150 000 €/a

- **Struviitin tuotantokustannus n. 3,8 €/kg, kun sivutuotteille ei laskettu arvoa (vety ja ammoniumkaasut)**

Struviitin elektrolyysin kustannusten jakautuminen



Struviitin elektrolyysin massatase



Yhteenveto

- Laskelmat on laadittu Case -kokoluokkaan, jossa biokaasulaitos tuottaa 20 000 tn/a mädätysjäännöstä
- Investoinnit ja käyttökulut perustuvat kirjallisuuslähteisiin, budjettitarjoukseen ja asiantuntija-arvioihin, energiakustannus on 0,12 €/kWh
- Laitosinvestoinneille on oletettu 5 vuoden poistoaika, investoinnille ei ole laskettu lainan korkokuluja, vaihteluvälejä tai herkkyytarkasteluja
- Tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia, ja antavat alustavan kuvan prosessien kannattavuudesta tässä kokoluokassa sekä sen keskeisistä muuttujista

Tulokset lyhyesti:

- Takaisinmaksuaika voitiin laskea rakeistukselle ja struviitin elektrolyysille
- Separointi ruuvipuristimella on yksinkertainen ja kustannustehokas prosessi. Kannattavuus riippuu neste- ja kuivajakeen käyttökelpoisuudesta verrattuna pelkän mädätysjäännöksen hyödyntämiseen ko. tapauksessa. Separointi on myös edellytys rakeistukselle, biohiilen ja struviitin tuotannolle.
- Metsälannoiterakeen tuotanto seostamalla mädätysjäännös tuhkan kanssa näyttää kannattavalta, mikäli tuote on teknisesti toteutettavissa ja sille on markkinoita. Myös muita saatavilla olevia seosaineita tulisi tutkia.
- Biohiilen tuotanto pyrolyysillä on erittäin energiaintensiivinen prosessi. Tuotanto voi olla kannattavaa, mikäli sivutuotteet hyödynnetään energiaksi ja biohiili on korkealaatuista. Tällöinkin suuret käyttökustannukset (energia) muodostavat merkittävän riskin kannattavuudelle.
- Struviitin tuotantolaitos on suurehko investointi. Tuotanto voi olla kannattavaa mikäli tuote on riittävän korkealaatuinen ja sille löytyy markkinat.

Kannattavuusosion jatkosuositukset

- Minkä tahansa mädätysjäännöksen hyödyntämistavan tarkempaan jatkoarviointiin suositellaan
 - Prosessin mitoituksen tarkentamista ko. tilanteeseen ja laitokokoon
 - Markkinaselvityksen laadintaa tuotteille, huomioiden niiden määrä ja laatu
 - Useiden tarjouksien pyytämistä sekä neuvottelua laitostoimittajien kanssa
- Mädätysjäännöksen ja tuhkan rakeistus näyttää laskelmien perusteella arvioiduista vaihtoehdoista parhaalta.
- Tuotteen ravinnetasapaino on oleellinen sen markkinoinnin kannalta. Mahdollisissa jatkotutkimuksissa olisi hyvä selvittää myös alueella syntyvien sivutuotteiden ja lisäaineiden saatavuutta, soveltuvuutta ja sekoitettavuutta tähän tarkoitukseen (esim. rikastushiekka, tuhka, turve, biohiili).

	Investointi	Tuki %	Käyttökulut €/a	Tuotanto (tn/a)	Tuotanto-kustannus €/tn	Myyntihinta €/tn	Myynti €/a	TMA (v)
Separointi	31 500 €	50 %	4 280 €	20 000	0,37 €	*	*	*
Rakeistus	1 287 500 €	25 %	464 625 €	8 000	60 €	162 €	1 296 000 €	1,2
Biohiili	350 000 €	50 %	914 656 €	587	1 620 €	1 000 €	586 600 €	Neg.
Struviitti	747 000 €	50 %	148 085 €	39	3 850 €	4 000 €	154 000 €	70

** Separointi on edellytys kaikille em. teknologioille. Separoinnin kannattavuus on tilakohtainen ja riippuu jakeiden käytettävyydestä kussakin tapauksessa.*

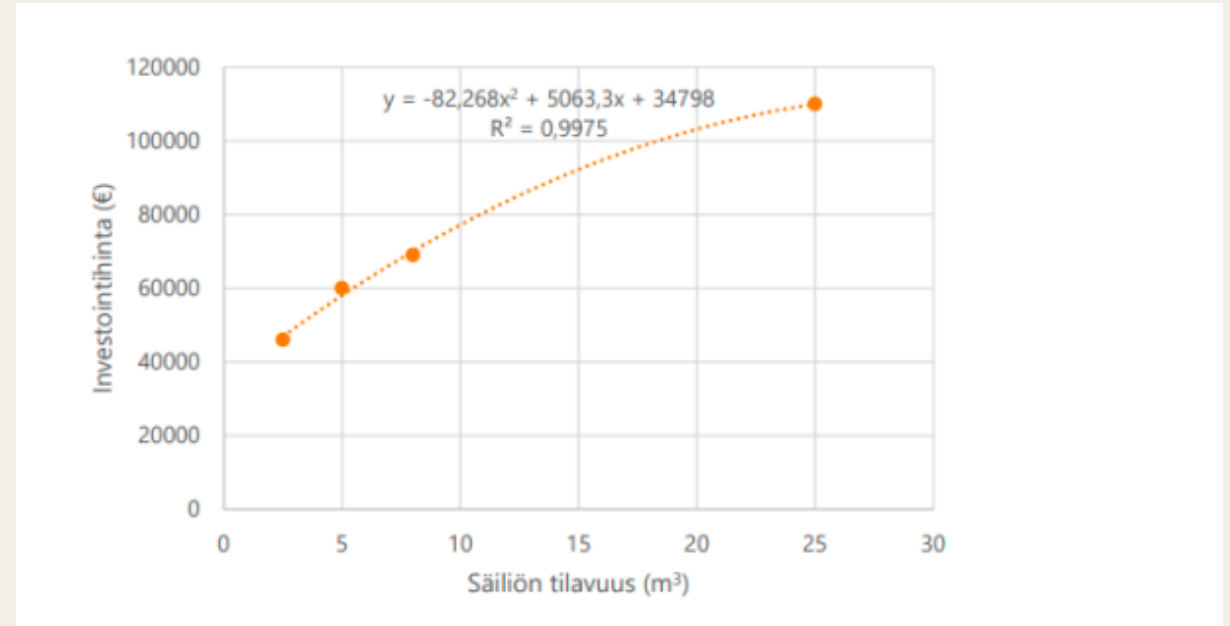
Hygienisointi

Huomioitavia asioita

- Hygienisoitavat lisäyötteet ovat tyypillisesti esim. kasvi- tai eläinperäisiä elintarviketeollisuuden sivutuotteita tai hukka-eriä, rasvoja, teurasjätteitä tms.
- Lisäyötteet voivat olla esim. yksittäispakkauksissa, jolloin tarvitaan pakkausten purkamista/repijää, muovin poistoa, tms. lisäkäsittelyä. Myös palakoko voi olla liian suuri (> 12 mm). Tällöin ennen hygienisointia voidaan tarvita esim. murskausta.
- Hygienisoitavien lisäyötteiden kuljetuksesta voi syntyä kustannuksia. Mikäli niistä saadaan porttimaksua, voidaan usein neuvotella myös rahti toimittajan kustannukseksi.
- Lisäyötteiden koostumus (rasvat, proteiinit, sokerit) voi olla huomattavan erilainen perussyötteisiin verrattuna, mikä voi johtaa prosessioongelmiin. Tämän vuoksi lisäyötteiden määrä tulisi olla maltillinen ja mikäli mahdollista, testata laboratorio-olosuhteissa optimaalinen syöttömäärä.
- Jotkin lisäyötteet voivat myös olla saatavissa epäsäännöllisesti, mikä voi aiheuttaa ongelmia biokaasulaitoksen toiminnassa.

Hygienisointiyksikön taloudellinen kannattavuus: kriittinen piste

- Hygienisointilaitteiden hinnat ovat aina hyvin tapauskohtaisia, koska laitteistot voivat olla jopa mittatilaustyönä tehtyjä. Hinnat ovat laitevalmistajien tarjousten mukaisia eikä niitä ilmoiteta yleiseen tietoon.
- Landian tuotteen voidaan kuitenkin sanoa olevan edullisemmasta päästä. Kyseisen valmistajan säiliötilavuudet ovat 2,5; 5; 8 ja 25 m³.
- Oheisesta kuvasta voidaan laskea myös laitevalmistajan ilmoittamia kokoluokkia pienemmän tai suuremman hygienisointiyksikön hinnat. (Ervasti et al. 2021)
- Hygienisoinnin lämmönkulutus on noin 150 kWh/tonni, jos oletetaan, että lämpötila nostetaan 20 °C:sta 70 °C:seen.



Hygienisoimisyksikön taloudellisen kannattavuuden kriittinen piste

- Lähtökohtana 20 000 tn/a vuodessa lietalantaa käsittelevä biokaasulaitos. Laitokselle otetaan vastaan elintarviketeollisuuden rasvajätettä, joka vaatii hygienisoinnin. Syöte ei vaadi muuta esikäsittelyä (murskaus, repijä, muovinkeräys tms.)
- Hygienisoitavan materiaalin määrä on 500 – 1 400 tn/a, jonka ei arvioida tuottavan ongelmia syötettäessä tasaisesti ympäri vuoden normaalin syötteen seassa. Hygienisointiyksikköä käytetään panostoimisesti 200 päivänä vuoden aikana, jolloin materiaalin lämpötila nostetaan 20 °C asteesta 70 °C asteeseen tunniksi.
- Laskelmassa on käytetty kolmea kokoluokkaa (taulukko)
- Sähkön hinta 0,12 €/kWh
- Huomioiden investoinnin ja energiakulut, hygienisoinnin omakustannushinta on tässä kokoluokassa 26,8 – 38 €/tn, mistä muodostuu myös porttimaksun kriittinen piste. Porttimaksun tulisi olla siis vähintään tässä kokoluokassa.
- Mahdollisia muun esikäsittelyn tai lisäyön kustannuksia ja lisäsyötteiden (positiivista) vaikutusta biokaasuntuotantoon ei ole huomioitu

Hygienisointiyksikön koko (m ³)	Käsittelykerrat/a	m ³ /a	Investointi	Kriittinen piste €/m ³
2,5	200	500	50 000 €	38,0
5	200	1000	60 000 €	30,0
8	200	1600	70 000 €	26,8
25	200	5000	110 000 €	22,4



3

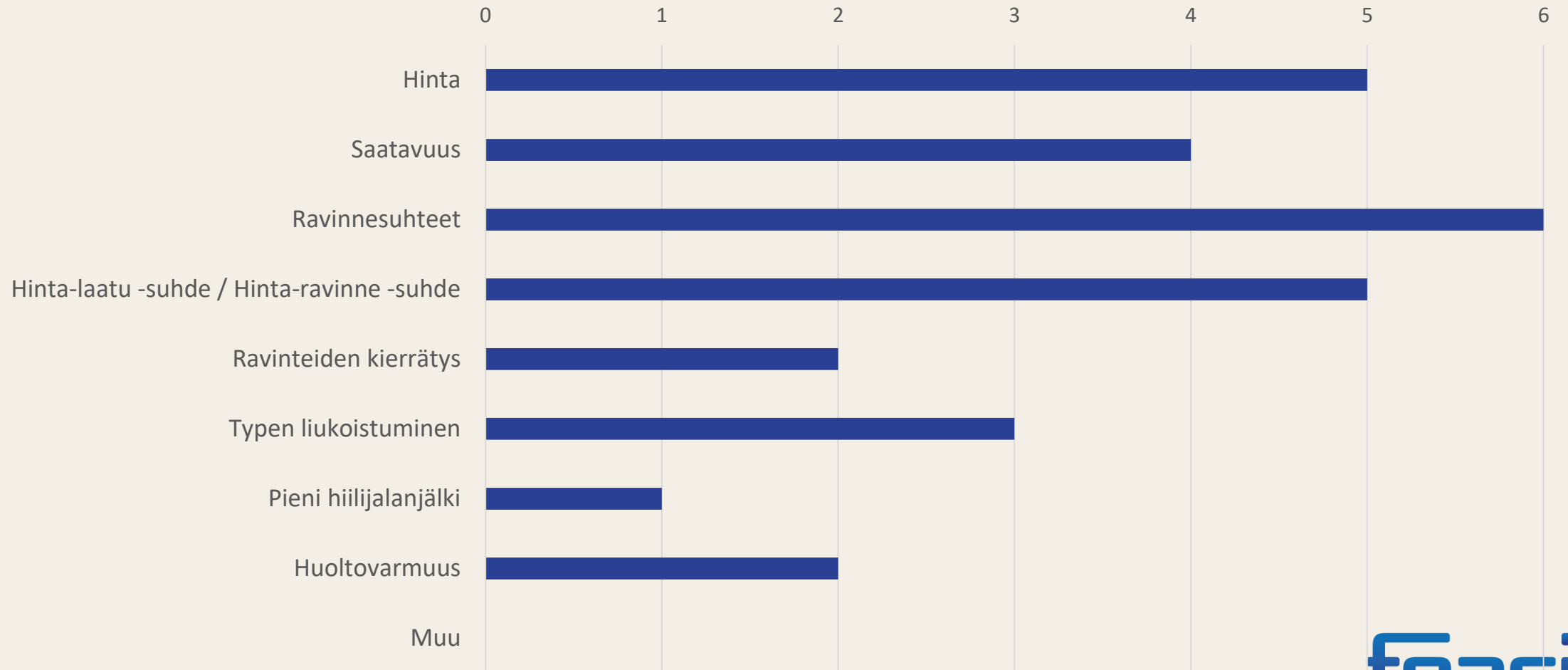
Mädätysjäännöksen markkinat & kysyntä

+ Kuluttajan lisäarvo

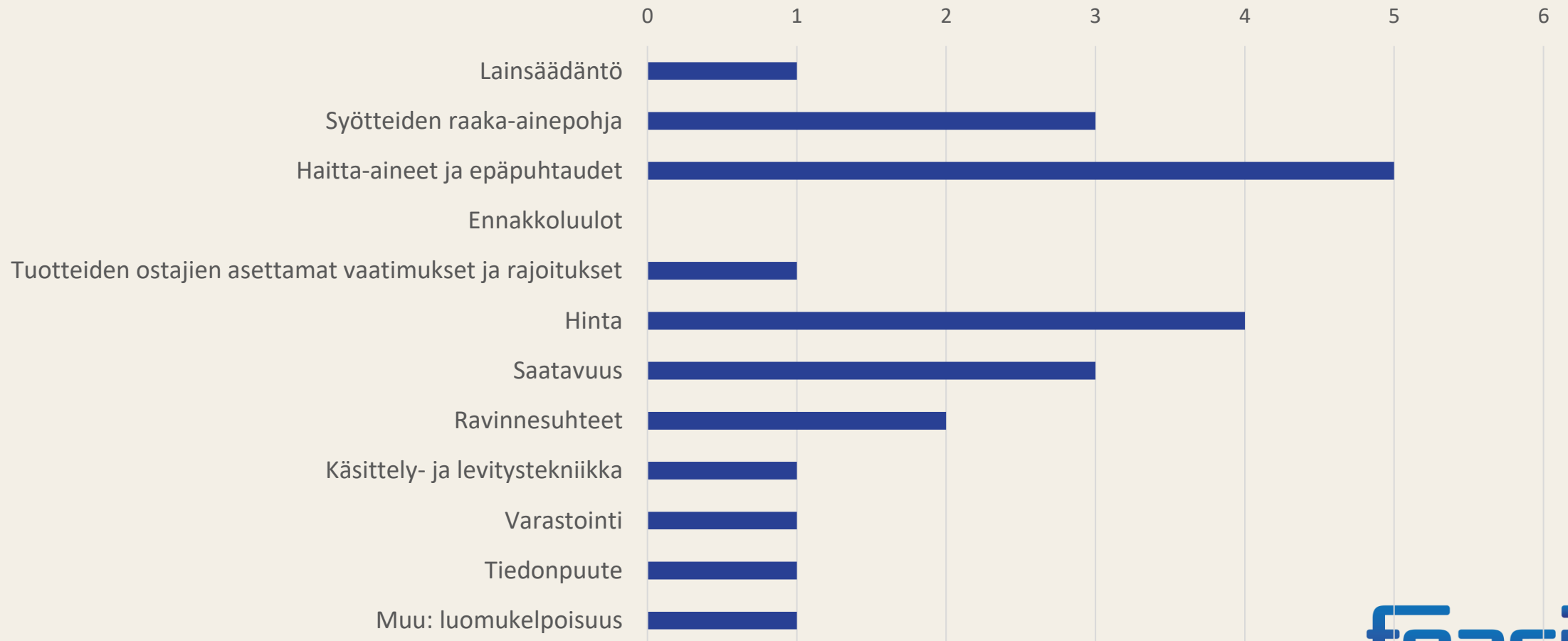
Kysely

- Lähetettiin Feasibin toimesta tekstiviestitse 52 yritykselle sekä muutamalle myös sähköpostitse.
- Kysely lähetetty lisäksi Kasekan kautta kahteen otteeseen heidän yhteystietolistalleen sekä Kaustisen seudun biokaasusta kiinnostuneiden WhatsApp -ryhmään (100 jäsentä).
- Kyselyyn vastasivat linkin kautta kolme tilallista. Lisäksi kolme tilaa haastateltiin puhelimitse.
 - Heikkoon vastausprosenttiin vaikuttanee ajankohta (kesä-heinäkuu), jolloin sekä peltotyöt (erityisesti rehunteko) että lomakausi oli meneillään.
- Kaikkien kyselyyn vastanneiden toimiala oli maatalous.

Mitkä ovat yleisesti mädätysjäänöksen kiinnostavimmat ominaisuudet?



Mitkä ovat yleisesti suurimmat mädätysjäännöksen käyttöä rajoittavat tekijät?

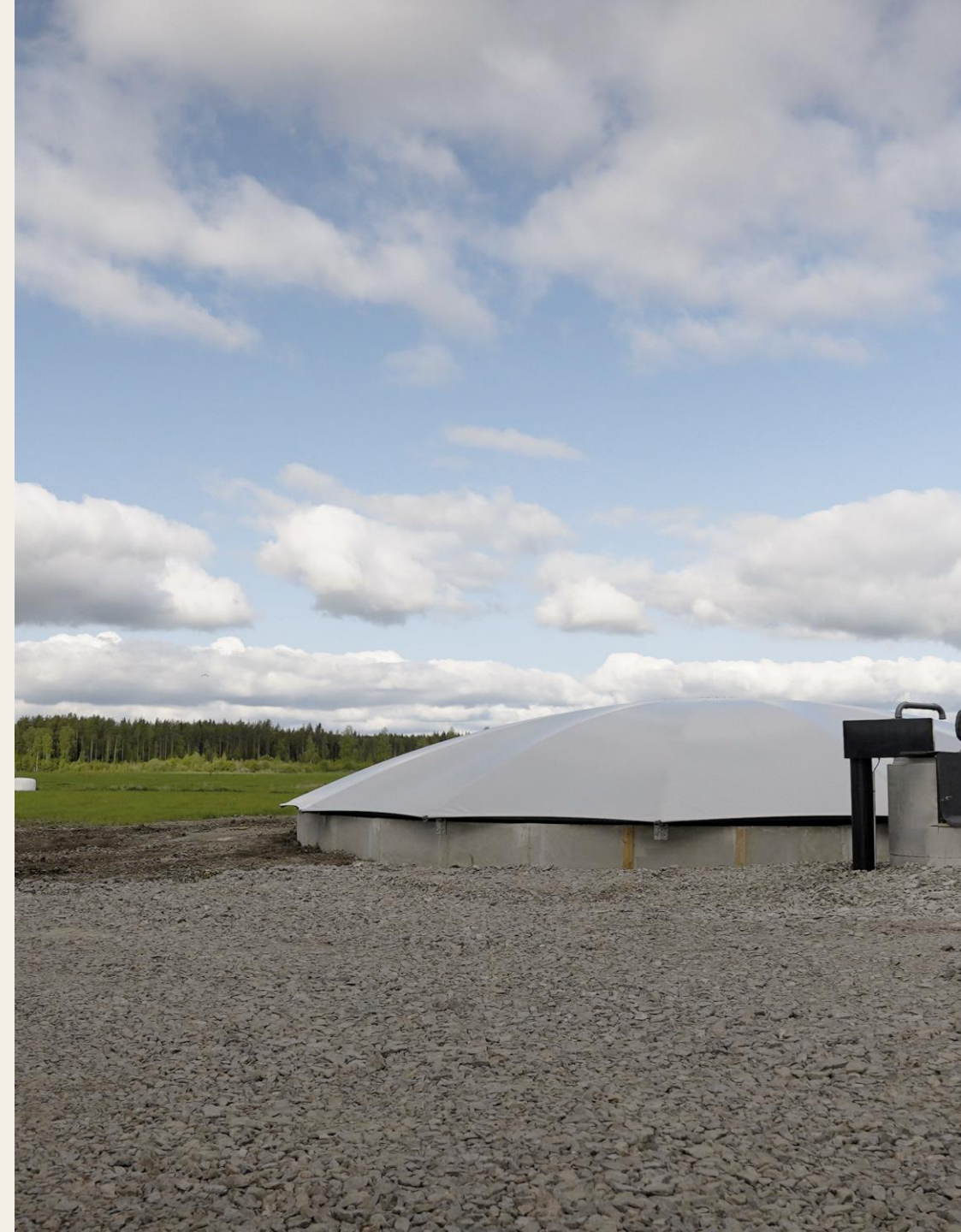


Oletko käyttänyt
mädätysjäänöstä lannoitteena?

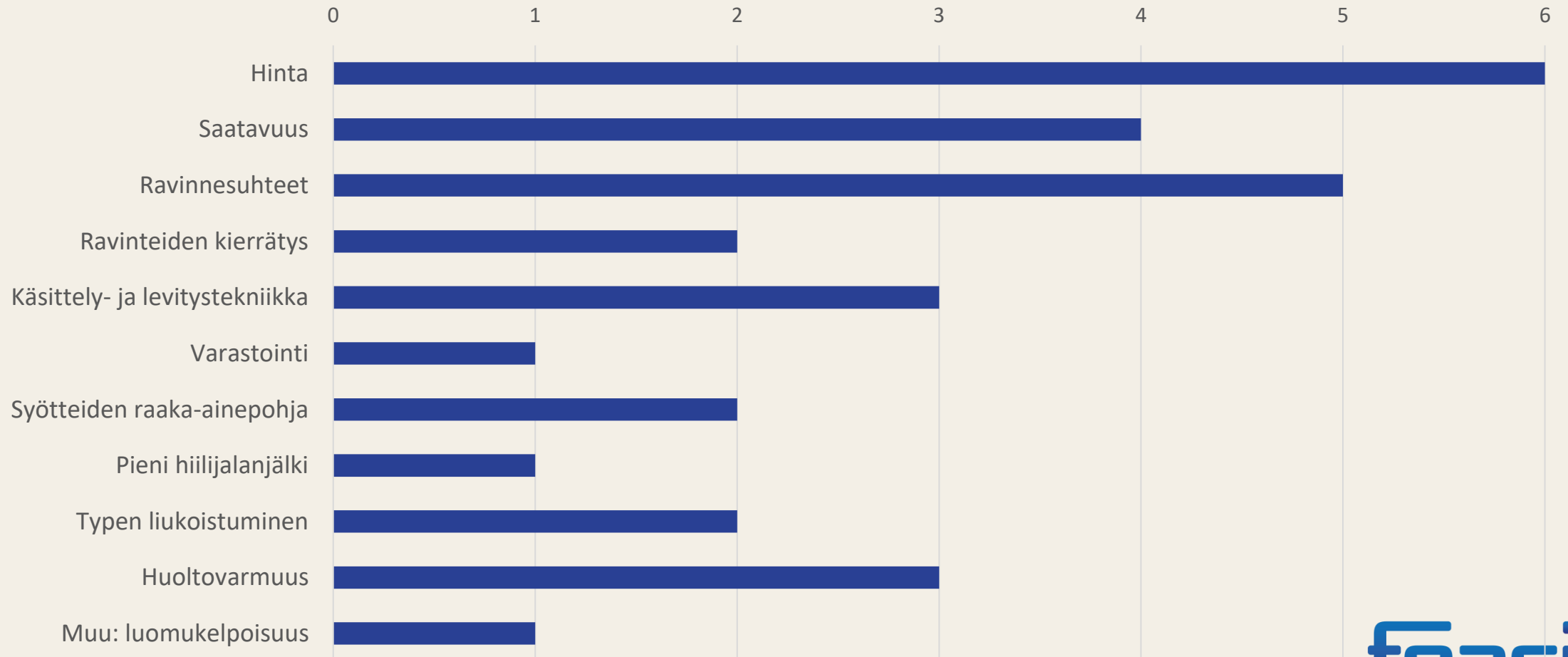
- Kukaan vastaajista ei ollut käyttänyt mädätysjäänöstä lannoitteena

Oletko kiinnostunut käyttämään
mädätysjäänöstä lannoitteena
omassa liiketoiminnassasi?

- Kaikki vastaajat olivat kiinnostuneita käyttämään mädätysjäänöstä lannoitteena
- Lisäksi kaikki vastaajat olivat kiinnostuneita käyttämään paikallista mädätysjäänöstä lannoitteena



Mitkä tekijät ovat saaneet sinut kiinnostumaan mädätysjäännöksen hyödyntämisestä lannoitteena?



Näetkö, että mädätysjäännöksen käyttäminen tuo/voisi tuoda lisäarvoa liiketoiminnallesi? Jos, niin millaista?



4



Kasvatuskokeet

Kasvatuskokeet

M = Mädätysjäännös

B = Biohiili

R = Rikastushiekka

T = Turve

Jokaisen kasvatusastian pohjalle
100 ml tiiviinä kerroksena

Kasvatettava kasvi: Herne

- Kasvatus aloitettiin vk 23
- Kasvatus lopetettiin vk 27
- Kasvun arviointi:
 - Kasvin itäminen
 - Kasvin massa juurineen

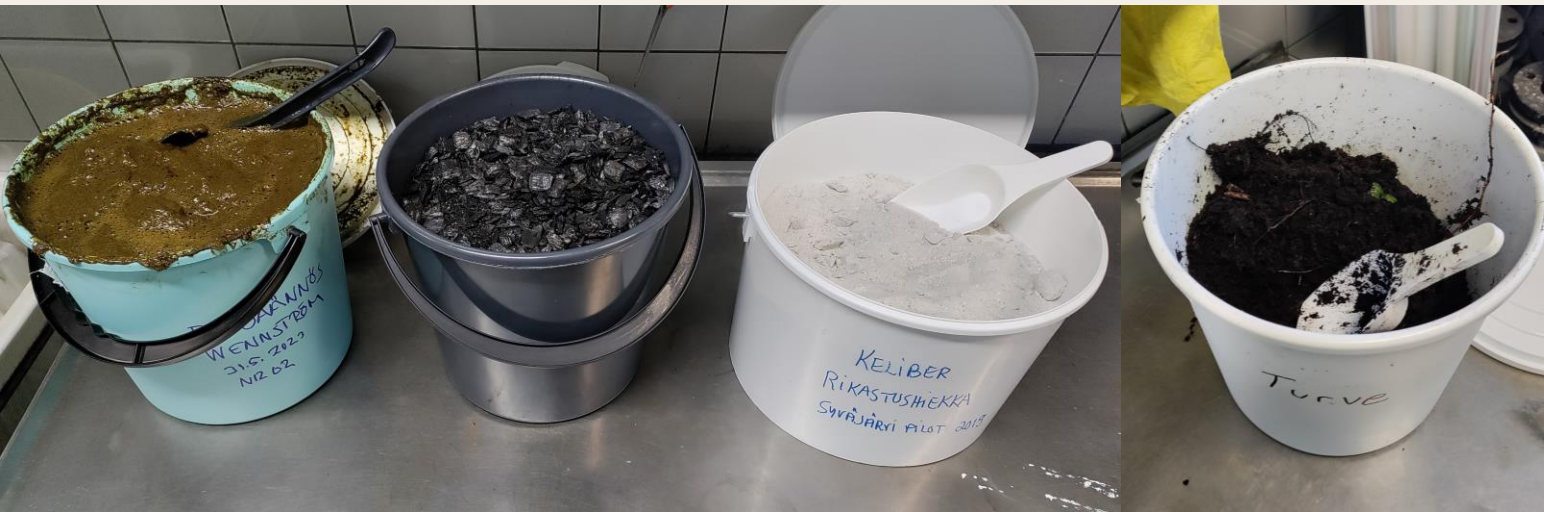
Seossuhteet, tilavuus-%:

- Koko massan tilavuus 400 ml.

1. M 5 B 5 R 90	2. M 10 B 10 R 80	3. M 20 B 20 R 60	4. M 30 B 30 R 40	5. M 40 B 40 R 20		
	6. M 10 B 5 R 85	7. M 20 B 5 R 75	8. M 30 B 5 R 65	9. M 40 B 5 R 55	10. M 50 B 5 R 45	11. M 60 B 5 R 35
		12. M 20 B 10 R 70	13. M 30 B 15 R 55	14. M 40 B 20 R 40		
		15. M 10 B 20 R 70	16. M 10 B 30 R 60	17. M 10 B 40 R 50		

Kasvatuksen aloitus

- Kasvatus aloitettiin 6.6.
- Jokaiseen seokseen istutettiin 3 hernettä
- Seoksille annettiin kerran viikossa 50 ml vettä



Kasvatusseosten kastelu

Heti kastelun jälkeen



Seuraavana päivänä kastelusta



Kasvutilanne kokeen puolivälissä 20.6.

- 1. seoksessa kaksi hyvinvoivaa versoa, toinen 8,5 cm ja toinen 7,5 cm
 - 2. seoksessa yksi hieman nuupahtanut verso, n. 2 cm
 - 6. seoksessa yksi 3 cm verso
 - 15. seoksessa kolme vähän kuihtuneen näköistä versoa, jokainen n. 1 cm.
 - 17. seoksessa yksi 1 cm verso
- 5 seoksessa herneet lähtivät itämään. Yhdistäviä tekijöitä seoksissa:
- Max 10 % mädätysjännöstä
 - Rikastushiekan määrä yli 50 % (4/5 yli 70 %)
 - Biohiilen määrä vaihteli 5-40 %



Kasvutilanne kokeen lopussa 4.7.

- 1. seoksessa kaksi hyvinvoivaa versoa, n. 15 cm pitkiä.
- Muiden seosten versot kuihtuneet ja kuolleet.



Purkuvaiheen huomioita:

- Itäneet seokset melko kuivia.
- Mädätysjäännös pieninä paakkuina seoksissa, joissa sitä max 20 %.
- Jos mädätysjäännöstä oli ≥ 40 %, lähti seos yhtenä tiiviinä paakkuna astiasta. Nämä seokset olivat myös kosteita.
 - Mitä enemmän mädätysjäännöstä, sitä kosteampi seos tyypillisesti oli.
- Astioiden pohjalla ollut turve oli joka astiassa ainakin hieman kosteaa.
- 1. seoksen versojen juurista osa turpeessa tiukasti kiinni ja yksi juurista myös tullut pohjan reiästä läpi.
 - Kasvatusseos ollut ehkä riittävän huokoista ja pehmeää, jolloin juuret päässeet helposti levittäytymään. Turve pysynyt pohjalla kosteana, suojannut kuivumiselta.



Kasvien punnitus

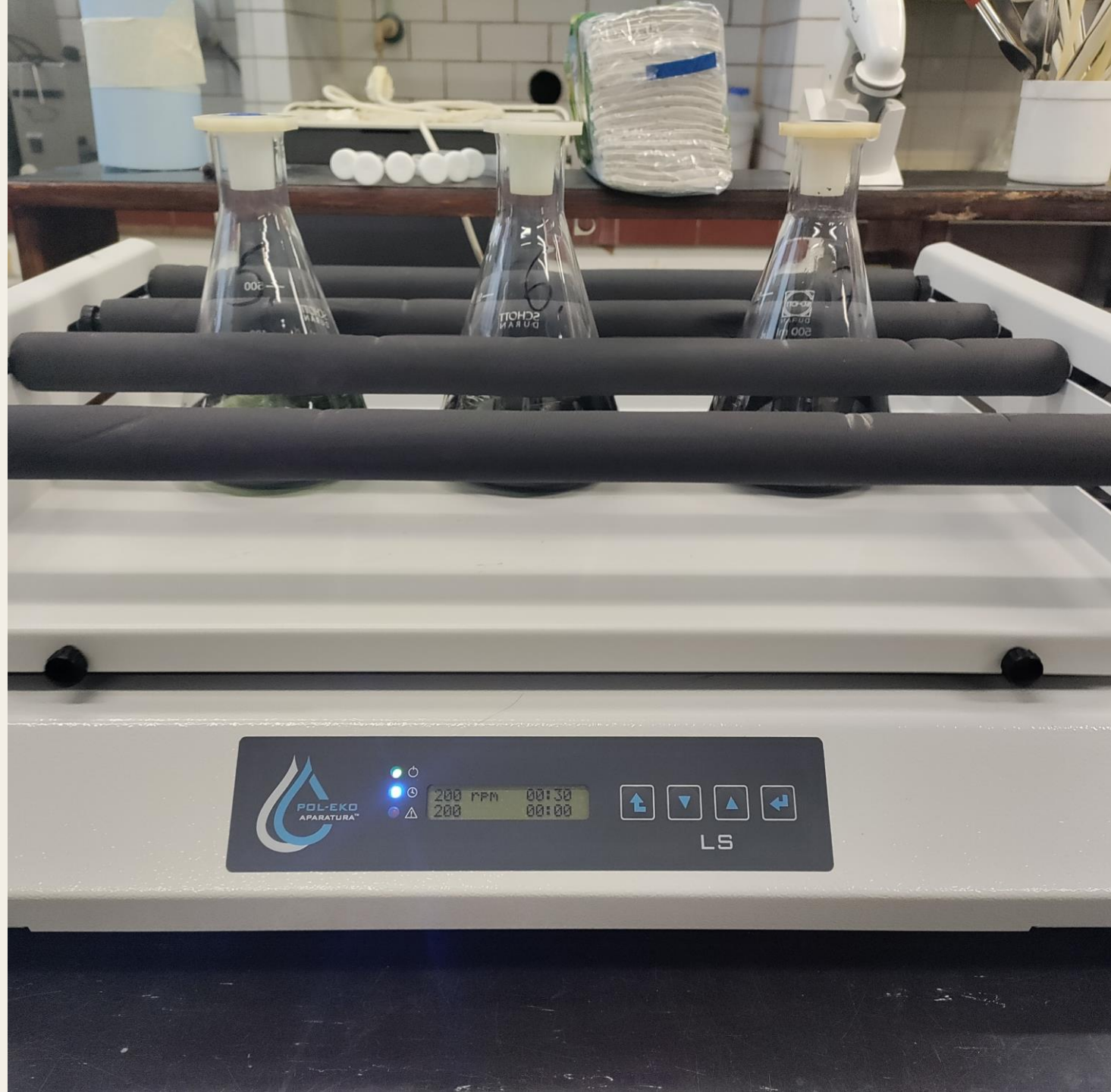
Kasvit eroteltiin kasvatusseoksista, pestiin ja annettiin kuivua ennen punnitusta.

Seos	Kasvin paino mg
1	2 246
2	9,0
6	8,8
15	26,5
17	61,6



Ravistelukoheet

- 10 g jaetta / 100 ml vettä
- Ravistelu-aika 30 min
- Ravistelukoheet tehtiin kullekin jakeelle
 - Määtysjäännös
 - Biohiili
 - Rikastushiekka
 - Turve
- Tuloksena saatiin jakeesta liuenneiden ravinteiden määrä
 - Typpi
 - Fosfori
 - Kalium
- Tuloksia voidaan hyödyntää laskettaessa seossuhteiden liukoisten ravinteiden määriä.



Ravistelukoikeet

Kokeissa jakeiden annostus ollut 100 g/l ja alla olevat tulokset vastaavat tätä annostusta.

Jae	N _{tot} mg/l	P _{tot} mg/l	K mg/l
Mädätysjäännös	197	21,6	162
Biohiili	1,08	0,07	0,78
Rikastushiekka	1,42	0,37	40,7
Turve	4,07	0,34	0,77

Jakeiden märkäpainot

Jae	g/l
Mädätysjäännös	1 000
Biohiili	160
Rikastushiekka	1250
Turve	500

Jakeiden kuiva-aine %

Jae	%
Mädätysjäännös	6
Biohiili	72
Rikastushiekka	100
Turve	24

Johtopäätökset - kasvatuskokeet

- Itäneissä seoksissa oli maksimissaan 10 % mädätysjäännöstä. Kasvatusseoksista, joissa mädätysjäännöstä oli 10 % tai vähemmän, jäi vain yksi seos itämättä (5/6 lähti kasvamaan).
 - Veden imeytyminen kasvatusseoksiin hidasta, jos mädätysjäännöstä oli yli 20 %. Ensimmäisen kastelun jälkeen vesi jäi seisomaan useammaksi päiväksi seosten pintaan, joissa mädätysjäännöstä oli yli 40 %.
 - Biohiilen määrällä ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta. Itäneissä seoksissa biohiilen määrät olivat tilavuusprosentteina 5, 5, 10, 20 ja 40.
 - Rikastushiekan määrä vaihteli itäneissä seoksissa 50–90 % välillä ja 4/5 tapauksessa rikastushiekan määrä oli yli 70 %. Suuri rikastushiekan määrä piti seoksen kuohkeana ja helposti vettä imevänä.
 - Kolmannen viikon alussa (19.6.) kaikki versot olivat hyvinvoivia. Tällöin niille annettiin viikon kasteluannos (50 ml) ja jo seuraavana päivänä osa versoista oli kuihtuneen näköisiä. Luultavasti liika kosteus aiheutti muiden kuin 1. seoksen kasvien kuihtumisen.
- Paras kasvatusseos kokeen perusteella (tilavuus-%):
- Mädätysjäännöstä 5 %
 - Biohiiltä 5 %
 - Rikastushiekkaa 90 %
 - Turve kasvatusseoksen alla
- Turpeella varmasti merkittävä vaikutus 1 seoksen versojen kasvuun. Kasvatusseos ollut ehkä riittävän huokoista ja pehmeää, jolloin juuret päässeet helposti levittytymään turpeeseen asti. Turve pysynyt pohjalla kosteana ja suojannut kuivumiselta.

Lähteet

Marttinen, S., Tampio, E., Sinkko, S., Timonen, K., Luostarinen, S., Grönroos, J. & Manninen, K. 2015. Biokaasulaitokset – syötteistä lopputuotteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 14/2015. Luonnonvarakeskus.

Seppänen, A., Laakso, J. ja Luostarinen, S. 2018. Sivuvirrasta väkilannoitteen korvaajaksi. Mädätysjäännöksen jalostusteknologioiden nykytila, tarpeet ja tulevaisuuden mahdollisuudet Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 31/2018. Luonnonvarakeskus.

Tampio, E., Vainio, M., Virkkunen, E., Rahtola, M. ja Heinonen, S. 2018. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2018. Luonnonvarakeskus.

Myllyviita, T. & Rintamäki, H. 2018. Ruuantuottajien näkemyksiä ja kokemuksia kierrätyslannoitteiden käytöstä ja kehitystarpeista. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 31/2018. Suomen ympäristökeskus.

Ruokavirasto. 2023. <https://www.ruokavirasto.fi/>

Laatulannoite.fi <https://laatulannoite.fi/>

Klemm, M. 2016. Lantakuivikkeen käyttö nautakarjan kuivikkeena.

Horn, S., Seppänen, A-M., Winquist, E., Lehtoranta, S. & Luostarinen S. 2020. Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen hyödyntämismvaihtoehdot – vaihtoehdojen ilmastovaikutukset ja taloudellisuus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 42/2020.

Seilab analyysitulokset Wennströmin tilalta 30.4.2019

L ä h t e e t

Puhelinhaastattelu Ilpo Wennström 4.7.2023.

Rakeistus Oy. 12.7.2023. Indikatiivinen tarjous.

Rakeistus Oy. 8.8.2023. Teams-kokous.

Kuusamon energia- ja vesiosuuskunta. 2023. <https://kuusamonevo.fi/rakeistettu-tuhka/>

Struhs, E., Mirkouei, A, You Y. & Mohajeri A. 2020. Techno-economic and environmental assessments for nutrient-rich biochar production from cattle manure: A case study in Idaho, USA.

Elo, A. 2020. Biohiili valumavesien suodatuksessa. Vesiensuojeluyhdistysten ja osakaskuntien järvitärskyt. Suomen biohiiliyhdistys.

Zaffar A., Krishnamoorthy, N., Sahoo, C., Jayaraman, S. & Paramasivan B. 2023. Process Feasibility and Sustainability of Struvite Crystallization from Wastewater through Electrocoagulation.

Ervasti, S., Tampio, E. & Pyykkönen, V. 2021. Maatilojen biokaasuntuotannon mahdollisuudet Lapissa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 34/2021. Luonnonvarakeskus.

Lääkkölä, E. 2022. Hygienisointi osana maatilan biokaasulaitoksen prosessia. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu.

Liitteet

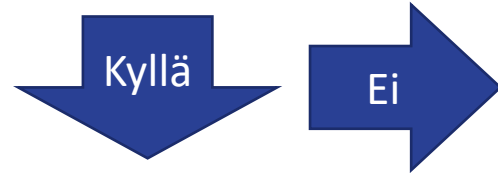
1. Kysely Kaustisen alueen maa- ja metsätilallisille

1. Kysely Kaustisen alueen maa- ja metsätilallisille

1. Yrityksen nimi
2. Yhteishenkilön nimi
3. Sähköpostiosoite
4. Yrityksen toimiala
 1. Maatalous
 2. Metsätalous
 3. Maanrakennus ja maisemointi
 4. Muu:
5. Mitkä ovat yleisesti mädätysjäännöksen kiinnostavimmat ominaisuudet?
 1. Hinta
 2. Saatavuus
 3. Ravinnesuhteet
 4. Hintalaatu -suhde / Hintaravinne -suhde
 5. Ravinteiden kierrätys
 6. Typen liukoistuminen
 7. Pieni hiilijalanjälki
 8. Huoltovarmuus
 9. Muu:
6. Mitkä ovat yleisesti suurimmat mädätysjäännöksen käyttöä rajoittavat tekijät?
 1. Lainsäädäntö
 2. Syötteiden raaka-ainepohja, mm. puhdistamolietteet
 3. Haitta-aineet ja epäpuhtaudet
 4. Ennakkoluulot
 5. Tuotteiden ostajien asettamat vaatimukset ja rajoitukset
 6. Hinta
 7. Saatavuus
 8. Ravinnesuhteet
 9. Käsittely- ja levitystekniikka
 10. Varastointi
 11. Tiedonpuute
 12. Muu:

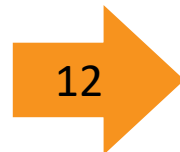
Kysely

7. Oletko käyttänyt mädätysjäännöstä lannoitteena?



8. Mitkä tekijät vaikuttivat päätökseen hyödyntää mädätysjäännöstä lannoitteena?

1. Hinta
2. Saatavuus
3. Ravinnesuhteet
4. Ravinteiden kierrätys
5. Käsittely- ja levitystekniikka
6. Varastointi
7. Syötteiden raaka-ainepohja
8. Pieni hiilijalanjälki
9. Typen liukoistuminen
10. Huoltovarmuus
11. Muu:



9. Oletko kiinnostunut käyttämään mädätysjäännöstä lannoitteena omassa liiketoiminnassasi?



10. Mitkä tekijät ovat saaneet sinut kiinnostumaan mädätysjäännöksen hyödyntämisestä lannoitteena?

1. Hinta
2. Saatavuus
3. Ravinnesuhteet
4. Ravinteiden kierrätys
5. Käsittely- ja levitystekniikka
6. Varastointi
7. Syötteiden raaka-ainepohja
8. Pieni hiilijalanjälki
9. Typen liukoistuminen
10. Huoltovarmuus
11. Muu:



feasib

Kysely

11. Mitkä koet suurimmiksi esteiksi mädätysjäännöksen lannoitekäytölle omassa liiketoiminnassasi?

Ei

1. Ravinnesuhteet
2. Käsittely- ja levitystekniikka
3. Varastointi
4. Haitta-aineet ja epäpuhtaudet
5. Syötteiden raaka-ainepohja
6. Lainsäädäntö
7. Saatavuus
8. Hinta
9. Kuljetusetäisyys/logistiikka
10. Tuotteiden ostajien asettamat vaatimukset ja rajoitukset
11. Tiedonpuute
12. Muu:

12. Näetkö, että mädätysjäännöksen käyttäminen tuo/voisi tuoda lisäarvoa liiketoiminnallesi? Jos, niin millaista?

1. Säästöt lannoitekuluissa
2. Lannoitteiden saatavuuden turvaaminen
3. Sadon paraneminen
4. Ravinnekierron tehostuminen
5. Imagon/maineen kohentuminen
6. En usko mädätejäännöksen hyödyntämisen tuovan lisäarvoa
7. Muu:

Kysely

13. Oletko kiinnostunut käyttämään paikallista mädätysjäännöstä lannoitteena?
1. Kyllä
 2. Ei
14. Saako yhteystietosi välittää Kaustisen seutukunnalle tiedoksi?
1. Kyllä
 2. Ei

