

Agrisymbiooseilla kohti kestävämpää sianlihantuotantoa

Teija Paavola, Suvi Lehtoranta, Sari Luostarinen, Anu Akujärvi,
Juha Grönroos



Agrisymbiooseilla kohti kestävämpää sianlihantuotantoa

**Paavola Teija, Lehtoranta Suvi, Luostarinen Sari, Akujärvi Anu,
Grönroos Juha**



SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 50 | 2019

Suomen ympäristökeskus

Luonnonvarojen kestävä käyttö/Kulutuksen ja tuotannon keskus

Kirjoittajat: Teija Paavola¹⁾, Suvi Lehtoranta²⁾, Sari Luostarinen³⁾, Anu Akujärvi²⁾, Juha Grönroos²⁾

¹⁾ Ukipolis Oy

²⁾ Suomen ympäristökeskus ³⁾ Luonnonvarakeskus

Vastaava erikoistoimittaja: Ari Nissinen

Rahoittaja/toimeksiantaja: Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma: vesien suojelun ja ravinteiden kierrätyksen edistämisen erillisrahoitus, Alituvan tila, A-Tuottajat Oy, Doranova Oy, Heikkilän tila, MTK, Pirteä Porsas Oy, Vainion tila, Vehmaan Haikara Oy

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (SYKE)

Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Teija Paavola

Kannen kuva: Tuukka Kiviranta/Atrian arkisto

Julkaisu on saatavana veloitusetta internetistä: www.syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke sekä ostettavissa painettuna SYKEN verkkokaupasta: syke.juvenesprint.fi

ISBN 978-952-11-5108-8 (nid.)

ISBN 978-952-11-5109-5 (PDF)

ISSN 1796-1718 (pain.)

ISSN 1796-1726 (verkkoj.)

Julkaisuvuosi: 2019

TIIVISTELMÄ

Agrisymbiooseilla kohti kestävämpää sianlihantuotantoa

Sikatalouden kannattavuushaasteet ovat monin tavoin kehittäneet sianlihantuotantoa tehokkaammaksi, mikä osaltaan on sekä vähentänyt ympäristövaikutuksia että aiheuttanut uusia haasteita. Toisaalta yleiset ihmistoiminnan ympäristövaikutusten vähentämistavoitteet luovat tarpeen kehittää myös sianlihantuotantoa edelleen nykyistä kestävämmäksi. Yksikkökoon ja tuotannon tehokkuuden kasvu sekä tuotannon keskittyminen on aiheuttanut mm. myös lannan alueellista keskittymistä, jolloin sen kestävä hyödyntäminen tuotantokeskittymissä alkaa olla paikoin haasteellista, ja riski ympäristöhaittoihin kasvaa. Toisaalta ympäristöhaasteet myös jarruttavat sikatalouden kehittämistä ja kasvua. Tilanne on erityisen haastava Varsinais-Suomessa, jossa on yli 25 % Suomen sioista ja peltomaan fosforipitoisuudet ovat jo varsin korkeita.

Hankkeen tavoitteena oli selvittää sianlihantuotannon mahdollisuuksia toimia nykyistä kestävämmällä tavalla huomioiden energiaomavaraisuus, ravinteiden kierrätys, ympäristövaikutusten minimointi sekä maan rakenteen parantaminen esim. viljelykiertoja ja kehittynyttä lannankäsittelyä hyödyntäen. Erilaisten tehostamistoimenpiteiden vaikutuksia ravinne- ja energiataseisiin, taloudelliseen kannattavuuteen sekä elinkaariin ympäristövaikutuksiin arvioitiin agri- ja nurmisymbiooseiksi määriteltyjen toimintamallien avulla.

Tulosten perusteella symbioosimuotoiseen toimintaan siirtyminen vähentää sianlihantuotannon ilmaston lämpenemistä aiheuttavia päästöjä noin 35 – 50 % nykytilaan verrattuna riippuen biokaasun hyödyntämistavoista. Symbiooseilla voidaan vähentää myös rehevöittäviä päästöjä ja toimintatapa on tilan kannalta mielekäs sekä ravinne- että energiataseen kannalta. Toimintamalli ei myöskään aiheuta tilalle lisäkustannuksia nykytilaan verrattuna. Symbiooseissa kuitenkin tarvitaan nykytilaa enemmän typpiravinteita ja myös käytetään enemmän orgaanisia lannoitteita, jonka vuoksi ammoniakkipäästöt kasvavat nykytilaan verrattuna. Toimintamallilla saavutettavien hyötyjen täysimääräinen toteutuminen edellyttääkin koko toimintaketjun eri vaiheiden optimointia ja hyvää hallintaa.

Nurmen lisääminen viljelykiertoon, lannan prosessointi biokaasulaitoksessa yhdessä kasvipörräisten massojen kanssa sekä mädätteen erottaminen neste- ja kuivajakeeseen mahdollistavat tilan omassa kiertossa olevien ravinteiden tehokkaamman hyödyntämisen ja vähentävät fosforihuuhtoumaa nykytilaan verrattuna. Typpihävikkien minimoimiseksi ravinnetuotteet on varastoitava katetuissa varastoissa, nestejakeet levitettävä sijoittamalla ja kuivajakeet mullattava välittömästi levityksen jälkeen. Näillä toimilla hallitaan myös ammoniakkipäästöjä. Metaanipäästöjen vähentämiseksi lanta on käsiteltävä biokaasulaitoksessa tuoreena ilman välivarastointia ja viipymän kaasunkeräyksen piirissä on oltava riittävä. Mikäli biokaasusta jalostetaan liikennepolttoainetta, niin jalostusprosessin tulisi sisältää poistokaasujen polttimen.

Nykytiedon valossa symbioosimuotoinen toiminta tarkastelussa käytetyillä oletuksilla ei vielä kääntänyt maaperän hiilen vähenemistä varastoitumiseksi. Maaperän hiilivaraston muutosnopeuteen vaikuttavista toimista tarvitaan vielä lisää tutkimustietoa. Mallinnuksen perusteella voidaan kuitenkin vahvistaa, että orgaanisella lannoitteella voidaan lisätä pitkään mineraalilannoitteilla viljellyn peltomaan hiilen määrää, ja että symbioosimuotoinen toiminta vähensi hiilipäästöjä kokonaisuutta tarkasteltaessa nykytilaan verrattuna. Maaperän rakennetta parantaa myös kevyempi lannan levityskalusto, mikä voi pitkällä aikavälillä nostaa satotasoa ja vähentää edelleen osaltaan ravinteiden huuhtoutumista.

Asiasanat: energiatase, hiilivarasto, kestävyys, lanta, ravinnetase, rehevöityminen, sianlihantuotanto, ympäristövaikutukset

Mot en mer hållbar svinproduktion med agrisymbioser

Grisindustrin har tvingats förbättra sin produktion på grund av ekonomiska utmaningar. Detta har minskat miljöpåverkan men också infört nya utmaningar. Sociala önskan för mer hållbar produktion och konsumtion driver ytterligare svinindustrin att förbättra hållbarheten. Ökad enhetsstorlek och produktions effektivitet tillsammans med regional centralisering av grisproduktionen har resulterat i regional koncentration av gödsel. Inom områden med intensiv grisodling har effektiv och miljövänlig gödselhantering och gödsling blivit svår. Detta ökar samtidigt risken för skadlig miljöpåverkan och bromsar utvecklingen och tillväxten av svinproduktionen. Situationen är särskilt utmanande i den sydvästra delen av Finland som har över 25 % av alla grisarna i Finland och fältjordarna i området är rika på fosfor. Därför uppfyller inte tillgängligheten och behovet av gödsel fosfor.

I denna rapport presenteras resultaten från att undersöka möjligheterna i grisproduktion att förbättra dess hållbarhet genom bättre energisäkerhet, återvinning av näringsämnen, minimering av miljöpåverkan och förbättring av markjordstrukturen, t.ex. med användning av grödrotation och förbättrad gödselhantering. Effekten av olika förbättringsåtgärder på närings- och energibalanser, ekonomisk lönsamhet och livscykelens miljöpåverkan bedömdes med två alternativa produktionsscenarier: agri- och grässymbios.

Resultaten visar att symbios förbättrar näringsåtervinning och att inkludering av grässproduktion i grödrotation, kan minska gårdens klimatpåverkan med 35-50% beroende på användningen av producerad biogas. Symbiosen kan också minska näringsavrinningen och därmed övergödning. Den kan också förbättra gårdens närings- och energibalans. Symbiosen orsakar inte ytterliga kostnader för gården jämfört med den nuvarande praxisen. Emellertid kräver symbiosen ytterligare kvävegödsling och på grund av den ökade användningen av organiska gödselmedel ökar ammoniakutsläppen. För att säkerställa de fulla fördelarna med symbiosen måste hela produktionskedjan på grisbruket optimeras och hanteras väl.

Introduktionen av gräs i grödrotationen, bearbetning av gödsel i en biogasanläggning tillsammans med sidoströmmar av gräsproduktion och en effektiv uppdelning av den resulterande rötresten gör det möjligt för gården att utnyttja sina näringsämnen bättre och minska fosforutlakning. För att minimera kväveförluster måste båda fraktioner av rötresten lagras täckt, vätskefraktionen måste injiceras i fältet och den fasta fraktionen snabbt brukat ned i jorden efter spridning. För att minska metanutsläppen måste gödsel smälts direkt efter avlägsnande från bostaden och behållningstiden under uppsamling av biogas måste maximeras. Om biogasen raffinerats till transportbränsle bör raffineringprocessen innehålla en avgasbrännare.

Mot bakgrund av den nuvarande kunskapen om kolbindning ökade symbios inte storleken på fältets kolbestånd. Ämnet kräver emellertid intensiv ytterligare forskning för att möjliggöra en mer exakt bedömning av fenomenet under olika produktionsåtgärder. Resultaten visade att användningen av organiska gödselmedel kan öka kolinnehållet i en fältjord som tidigare befruktats med mineralgödsel. Symbiosen minskade koldioxidutsläppen som helhet. Användningen av lättare gödselspridningsutrustning kan ytterligare förbättra jordstrukturen, vilket på lång sikt kan öka skörden och minska näringsutlakningen.

Nyckelord: energibalans, kollagring, hållbarhet, gödsel, näringsämnesbalans, övergödning, svinproduktion, miljöpåverkan

ABSTRACT

Towards more sustainable pig production with agrisymbiosis

The pig industry has had to enhance its production due to economic challenges. This has reduced its environmental impact in certain perspectives, but also introduced new impacts. Overall societal aims at more sustainable production and consumption further push the pig industry to improve its sustainability. Increased unit size and production efficiency along with regional centralization of the pig production has resulted in regional centralization of also manure. In areas of intense pig farming, effective and environmentally sound manure management and fertilization has become difficult. This simultaneously increases the risk of harmful environmental impacts and slows down the development and growth of pig production. The situation is especially challenging in the southwestern Finland, which has more than 25% of all pigs in Finland and the field soils are rich in phosphorus. Thus, the availability and need for manure phosphorus do not meet.

This report presents the results from investigating the possibilities of pig production to improve its sustainability via better energy self-sufficiency, nutrient recycling, minimization of environmental impacts and improvement of field soil structure e.g. with the use of crop rotation and enhanced manure management. The effect of different enhancement measures on nutrient and energy balances, economic profitability and life cycle environmental impacts were assessed and compared to current sow production with two alternative production scenarios of agri and grass symbiosis.

The results show that the symbiosis improved nutrient recycling and the inclusion of grass production in crop rotation can reduce the farm's climate impact by 35-50% depending on the use of biogas produced. The symbiosis can also reduce nutrient runoff and thus eutrophication and the production method benefits the farm's nutrient and energy balance. The symbiosis do not cause additional costs to the farm compared to the current practices. However, the symbiosis require additional nitrogen fertilization and due to the increased use of organic fertilizers increases ammonia emissions. To ensure the full benefits of the symbiosis, the entire production chain on the pig farm needs to be optimized and well managed.

The introduction of grass into the crop rotation, manure processing in a farm-scale biogas plant together with sidestreams of grass production, and an efficient separation of the resulting digestate into liquid and solid fractions enable the farm to make better use of its own nutrients and to reduce the phosphorus runoff. To minimize nitrogen losses, the liquid and solid fractions need to be stored covered, the liquid fraction has to be injected to field and the solid fraction has to be incorporated immediately after the spread. To reduce methane emissions, manure has to be digested right after removal from the housing unit and the retention time under biogas collection has to be maximized. In case the biogas is used as transport fuel, the off-gases must be combusted during biogas purification.

Given the current knowledge of carbon sequestration, symbiosis did not increase the size of the field's carbon storage. However, the issue requires additional research to enable more precise assessment of the phenomenon under different production measures. The results did show that the use of organic fertilizers can increase the carbon content of a field soil previously fertilized with mineral fertilizers and that the symbiosis reduced carbon emissions as a whole. The use of lighter spreading equipment can further improve the soil structure and subsequently the yields, resulting also in reduced nutrient leaching.

Keywords: energy balance, carbon storage, sustainability, manure, nutrient balance, eutrophication, pig production, environmental impacts

ESIPUHE

Kotieläintuotannon kestävyuden parantaminen on tarpeen sekä kannattavuuden parantamiseksi että ympäristövaikutusten vähentämiseksi, ja näillä molemmilla varmistetaan ja kehitetään kilpailukykyä kansallisessa ja kansainvälisessä markkinassa. Kestävä sikatuotanto agrisymbioosien kautta (Agris) -hanke käynnistyi erityisesti varsinaissuomalaisten sianlihantuottajien aloitteesta ja tahtotilasta kehittää toimintaansa sekä talouden että ympäristön kannalta kestävämmäksi. Tärkeää oli, että mahdolliset toimintatapojen muutokset huomioivat koko toimintaketjun ympäristövaikutukset, erityisesti Itämeren hyvän tilan kannalta olennaiset ravinnehuutouman ja ilmastovaikutukset. Hanke toteutettiin Varsinais-Suomessa, mutta sen tulokset ovat sovellettavissa sianlihan tuotantoon laajemminkin.

Tässä raportissa esitetään Agris-hankkeessa tehtyjä sianlihan tuotannon uusien, sikojen ruokintaan ja lannan hyödyntämiseen liittyviä ravinne-, energia- ja taloustarkasteluja sekä tarkasteltujen toimintatapojen elinkaaristen ympäristövaikutusten arvioinnin tulokset. Aihealueeseen liittyvää lisämateriaalia löytyy myös hankkeen agrisymbioosi.fi -verkkosivuilta ja myöhemmin ukipolis.fi -verkkosivujen kautta.

Hanke toteutettiin Ukipolis Oy:n, SYKEN ja Luken yhteistyönä. Hankkeen projektipäällikkönä toimi Teija Paavola Ukipolis Oy:stä. Hän työskenteli samaan aikaan osa-aikaisesti myös A-Tuottajat Oy:n palveluksessa. Kiitämme asiantuntija-avusta monien kiperien kysymysten ratkaisemisessa Tuomas Mattilaa (SYKE), Jaakko Heikkistä (Luke), Tapio Saloa (Luke), Erika Winqustiä (Luke), Elina Tampiota (Luke), Kristiina Reginaa (Luke) ja Perttu Virkajärveä (Luke).

Hankkeen päärahoittaja oli Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma. Projekti sai rahoituspäätöksen 28.4.2017 ja päättyi 30.9.2019. Hanketta rahoittivat lisäksi Alituvan tila, A-Tuottajat Oy, Doranova Oy, Heikkilän tila, MTK, Pirteä Porsas Oy, Vainion tila, ja Vehmaan Haikara Oy. Ohjausryhmätyöskentelyyn osallistuivat rahoittajien lisäksi Vehmaan kunnan, BSAG:n, Maa- ja metsätalousministeriön ja Ympäristöministeriön edustajat. Kiitämme rahoittajia ja ohjausryhmää asiantuntija-avusta ja aktiivisesta osallistumisesta hankkeen toteuttamiseen.

SISÄLLYS

1 Johdanto	11
2 Nykytila ja symbioosit - järjestelmien kuvaus ja systeemin rajaus	13
2.1 Kasvintuotanto ja rehut	14
2.2 Lannan ominaisuudet, biokaasuprosessi ja sen syötteet	15
2.3 Ravinteiden hyödyntäminen ja mineraalilannoitteiden tarve	16
2.4 Lietelannan ja biokaasuprosessin lopputuotteiden logistiikka	18
2.5 Energiantuotanto ja -kulutus	19
3 Symbioosien vaikutus tilan ravinne- ja energiataseisiin ja talouteen	21
3.1 Ravinnetaseet	21
3.2 Energiataseet	23
3.3 Taloudellinen kannattavuus	25
4 Elinkaaristen ympäristövaikutusten arviointi	27
4.1 Elinkaariarvioinnin rajaus ja tarkasteltavat skenaariot	27
4.2 Päästöjen laskentaperusteet	30
4.2.1 Lietelannan ja mädätteen käsittelyn päästöt	30
4.2.2 Rehun tuotanto	30
4.2.3 Hiilivaraston muutos kivennäismaan pelloilla	31
4.2.4 Energian tuotanto ja käyttö	32
4.2.5 Biokaasuprosessi ja liikennepolttoaineen tuotanto	32
4.2.6 Kuljetukset ja konetyö	33
4.2.7 Hyvitettävät prosessit	33
4.3 Laskennan epävarmuus ja herkkyystarkastelut	33
4.4 Tulokset ja tulosten tarkastelu	35
4.4.1 Elinkaariset ympäristövaikutukset	35
4.4.2 Herkkyystarkastelut	39
4.4.3 Viljelykierto ja maaperän hiilivaraston muutos	42
4.4.4 Rehevoityminen	45
Yhteenveto ja johtopäätökset	47
LÄHTEET	49

1 Johdanto

Sikatalouden kannattavuushaasteet, osaltaan niiden paineessa tapahtunut tuotannon ja samalla myös lannan alueellinen keskittyminen sekä yksikkökoon ja tuotannon tehokkuuden kasvu, ja toisaalta ympäristövaikutusten vähentämistavoitteet luovat tarpeen muuttaa sianlihantuotantoa nykyistä kestävämpään suuntaan. Lannan kestävä hyödyntäminen tuotantokeskitymissä alkaa olla paikoin haasteellista, ja riski ympäristöhaittoihin kasvaa. Sianlihantuotannon kestävyuden kehittämisessä tarvitaan uusia toimivia, ympäristöhaasteisiin vastaavia ja kannattavia tekniikoita, menetelmiä ja toimintamalleja, joissa jokainen tuotantovaihe on optimoitu kokonaisuuden kannalta parhaaksi mahdolliseksi ratkaisuksi.

Sikatalous on kärsinyt kannattavuuden heikkenemisestä. Silti sen tulisi pystyä vastaamaan kasvavaan tarpeeseen tehostaa hiilen ja ravinteiden kiertoa ja sen myötä vähentämään ympäristövaikutuksia. Kannattavuuden nostamiseksi sikatilojen yksikkökoko on kasvanut ja tuotanto alueellisesti keskittynyt. Paikoin tuotannolla onkin haasteita hyödyntää tuottamansa lantaravinteet omilla tiloilla ja lähialueella. Haastetta lisää sikatilojen sijainti alueilla, joilla on kotieläin- ja kasvintuotannon eriytymisen vuoksi muutakin kotieläintuotantoa (ja siten lantaa) runsaasti. Samoilla alueilla peltomaan helppoliukaisen fosforin pitoisuudet ovat korkeat ja fosforilannoituksen tarve vähäinen. Epäoptimaaliset lannan lannoittekäytön toimet, kuten syyslevitys ja raskas levityskalusto, lisäävät entisestään riskiä ravinnehuuhtoumiin. Lisäksi lannankäsittelystä ja hyödyntämisestä lannoitteena aiheutuu myös kasvihuonekaasu- ja ammoniakkipäästöjä, joita myös tulisi vähentää.

Sikatalous on tehnyt jo paljon tuotannon kannattavuuden korjaamiseksi. Esimerkiksi sikojen jalostuksessa on viime vuosina päästy merkittävästi eteenpäin. Sikojen kasvutulokset ovat selvästi parantuneet ja tuotantomäärät suhteessa panoksiin ovat kasvaneet. Tuotannon ympäristövaikutusten vähentäminen aiheuttaa kuitenkin lisäkustannuksia mm. lannanlevitysalan kasvaessa.

Tilanne on erityisen haastava Varsinais-Suomessa, jossa on n. 25 % Suomen sioista (Jaakonmäki 2013). Lisäksi esimerkiksi Vakka-Suomen, Ruskon ja Nousiaisten alueella peltomaasta noin 40 % on viljavuusluokissa korkeasta erittäin korkeaan ja loput luokassa hyvä (Lemola ym. 2018). Tästä syystä lannan levitystä rajoitetaan jo merkittävästi, mikä nostaa lannan levityskustannukset kuljetuksineen monin paikoin jo kestävämmälle tasolle. Nykykehitys voi myös johtaa siihen, että yhä useampi sikatila jättäytyy vapaaehtoisena ympäristökorvausjärjestelmän ulkopuolelle (Yli-Viikari 2019), sillä se rajoittaa lannan levittämistä lainsäädäntöä (1250/2014) voimakkaammin. Ympäristön kannalta on ehdottoman tärkeää, että löydetään keinoja vastata järjestelmän vaateisiin ja saadaan pidettyä sitoumusaste korkeana.

Sianlihantuotannon lantaravinteiden kestävään hyödyntämiseen tarvitaan uusia teknisesti toimivia, ympäristöhaasteisiin vastaavia ja kannattavia tekniikoita, menetelmiä ja toimintamalleja. Ravinteet on saatava hyödynnettyä aiempaa tehokkaammin, jotta niistä aiheutuvia haitallisia ympäristövaikutuksia saadaan vähennettyä. Etenkin lantafosforia täytyy saada siirtymään kasvintuotantoalueille korvaamaan mineraalifosforia, joka on jo kriittisten raaka-aineiden listalla. Samalla on tehostettava typen kiertoa. Lisäksi sianlihantuotannon viljelykiertoja täytyy monipuolistaa yksipuolisen viljanviljelyn jatkamisen sijaan peltomaan kunnon, hiilitaseen ja sadontuottokyvyn ylläpitämiseksi ja parantamiseksi. Myös tilojen mahdollisuudet tuottaa ja käyttää uusiutuvia energianlähteitä on otettava laajemmin käyttöön.

Parhaiden uusien toimintatapojen kartoittamiseksi ja käyttöön ottamiseksi tarvitaan kokonaisvaltaisia esimerkkejä ja vaikutustenselvityksiä, jotta investoinnit kestävämpiin toimintatapoihin onnistuvat. Kannattavuuden rajapinnassa virheinvestointeihin on erityisen vähän varaa.

Sikatalouden keskitymissä tarvitaan uusia tilatasolla tai suuremmassa mittakaavassa käyttöönotettavia lantaravinteiden jalostusteknologioita, jotka mahdollistavat etenkin fosforin kuljettamisen joko suoraan tilalta tai keskitetyn laitoksen kautta kustannustehokkaasti sitä tarvitseville alueille. Erilaisia

teknologioita ravinteiden jalostamiseksi on esitelty kirjallisuudessa aiemmin (mm. Marttinen ym. 2017, Luostarinen ym. 2019, Paavola ym. 2019). Usein jalostusketjuun liitetään biokaasutuotanto, sillä se mahdollistaa erilaisten lantojen ja muiden biomassojen yhteiskäsittelyn, ravinteiden jatkojalostamisen mädätteestä, uusiutuvan energiantuotannon biokaasuna ja kokonaisuuden päästöjen hallinnan. Mädätteen jalostamiseksi siten, että fosfori saadaan omaan kuljetettavaan jakeeseensa, vaaditaan yleensä vähintään separointi. Lingolla saavutetaan tehokkain fosforin erottuminen kuivajakeeseen (Paavola ym. 2016).

Sianlihantuotanto perustuu nykyisin suurelta osin fossiilisiin panoksiin. Fossiilista energiaa käytetään tuotantotilojen energianlähteenä, lantalogistiikassa, viljelyssä ja välillisesti lantaravinteita täydentävien mineraalilannoitteiden käytön kautta. Lannan energiasisällön hyödyntämisellä biokaasutuotannossa, lantalogistiikan kehittämällä, kestävämmällä lantaravinteiden hyödyntämisellä sekä huomioimalla koko sikatilän tuotantoketju ruokinnasta satoon sikatalous voi saavuttaa merkittävät fossiilisten tuotantopöytäjen ja edelleen kasvihuonekaasupäästöjen vähenemät tuotantoketjussa.

Sikataloudessa on kehitettävä myös lietelannan levitysratkaisuja, joilla tehostetaan lantalogistiikkaa, vältetään raskasta levityskalustoa ja lisätään sijoitettavaa/multaavaa levitystä. Tallaustappioiden ja peltomaan tiivistymisen vähentämiseksi on esitetty vetoletkulevitystä siellä missä se on lohkorakenteen puolesta mahdollista. Tällöin pellolla liikkuu vain traktori ja levityslaite vetäen letkua perässään ja näin vältetään säiliövaunun painon aiheuttamat vauriot pellolla. Yleensä tekniikka vaatii rinnalleen lietelannan välivarastokontit, mutta myös siirtoputki suoraan levitysalueelle voisi mahdollistaa tehokkaan vetoletkulevityksen. Näin säästyy työaikaa ja polttoainetta, kun lantaa ei tarvitse kuljettaa levitysalueille säiliöllinen kerrallaan. Toiminta olisi Suomessa uutta.

Viljelykierrossa nurmien vaikutus maaperän kuntoon, ravinteiden ja veden pidätyskykyyn sekä orgaanisen aineen määrään on enenevästi nähty suurena mahdollisuutena (mm. Seppälä ym. 2014). Sikataloudessa nurmia ei yleensä ole tuotettu, mutta nyt heinänurmesta puristetun rehumehun on todettu soveltuvan sikojen ruokintaan osana muuta ruokintaa (Keto ym. 2018). Rehumehun tuotosta jäljelle jäävä puristusjännös voidaan yhdistää osaksi sianlannan prosessointia. Myös nurmen mahdollisuudet lisätä peltomaan hiilen sidontaa ovat kiivaan tutkimuksen kohteena (esim. hankkeet Carbon Action, stnMulta).

Uudenlaisen toimintakokonaisuuden kautta sikatalouteen on löydettävissä uusia kilpailukykyteknologioita. Ne voivat parantaa tuotannon ympäristökestävyyttä mahdollistaen siten oikeat investoinnit tuotannon varmistamiseksi pitkällä tähtäimellä sekä kotimaan että vientimarkkinoiden näkökulmasta. Oikean kokonaisuuden löytämiseksi erilaisten toimien vaikutuksia ympäristöön ja sikatalouden kannattavuuteen täytyy arvioida nykytilaan ja toisiinsa verraten. Kestävien toimintakonseptien laatiminen tuottaa käytännön esimerkkejä, joita suomalaiset sianlihan tuottajat voivat soveltaa omassa tuotannossaan.

Tässä raportissa esitetään kaksi vaihtoehtoista toimintamallia esimerkkitalana toimivalle emakosikalalle. Nykytilassaan se viljelee ohraa sikojen rehuksi ja vehnää myyntiin, käyttää osana rehustusta soijaa ja täyttää energiantarpeensa fossiilisilla energianlähteillä. Tilalla myös muodostuu liikaa lantafosforia omiin tarpeisiin nähden ja lietelantaa luovutetaan tilan ulkopuolelle oman fosforilannoitustarpeen täytyttyä. Lannan levitys toteutetaan lietevaunun ja letkulevittimen avulla. Vaihtoehtoisissa toimintamalleissa tila vähentää tai lopettaa vehnän tuotannon kokonaan ja viljelee sen sijaan nurmea. Nurmesta puristettu reumehu korvaa osan ohra- ja soijarehusta ja puristusjännös prosessoidaan yhdessä lietelannan kanssa tilan omassa biokaasulaitoksessa. Säilörehua voidaan myös tuottaa suoraan biokaasutuotannon raaka-aineeksi. Mädäte separoidaan ja typpipitoinen nestejäte hyödynnetään tilan viljoille ja nurmelle. Fosforipitoisesta kuivajakeesta tila käyttää itse vain osan ja lietelantaa väkevämpänä se voidaan luovuttaa aiempaa laajemmalle alueelle fosforia tarvitsevien tilojen käyttöön. Tuotetulla biokaasulla tila voi tuottaa sähköä, lämpöä ja/tai liikennepolttoainetta (tarkastelussa erilaisia vaihtoehtoja). Raportissa esitetään laskelmat em. toimintamallien ravinne- ja energiataseille, kannattavuudelle tilan kannalta sekä ympäristövaikutusten arvioinnit ilmasto- ja happamoitumisvaikutusten ja ravinnehuuhtoumien kannalta.

2 Nykytila ja symbioosit - järjestelmien kuvaus ja systeemin raja

Tässä osiossa kuvataan tavanomaisen emakkosikalan nykytoiminta (nykytila), johon verrataan agri- ja nurmisymbiooseiksi nimitettyjä tehostettuja toimintatapoja. Symbiooseissa tilan lannankäsittely ja -logistiikka levitysmenetelmineen, viljeltävät kasvit ja rehustus sekä energi-
anlähteet muuttuvat nykyisestä. Muutosten tavoitteena on luoda tulevaisuuden toimintamalli, joka mahdollistaa paitsi kannattavan sianlihantuotannon, myös sen haitallisten ympäristövaikutusten vähentämisen.

Tarkasteltavan sikatilan toiminnot edustavat tavanomaista emakkosikalan toimintaa Varsinais-Suomessa ja yleisemminkin Suomessa. Tarkastelussa nykytilan toimia lannankäsittelyineen tehostettiin agrisympiooseiksi ja nurmisymbiooseiksi nimitetyillä toimintatavoilla (Kuva 2.1).

Tarkasteltavalla tilalla on 1 050 emakon sikala ja 627 ha peltoa. Nykytilassa sikalassa muodostuu vuosittain 10 000 t lantaa ja lanta varastoidaan kattamattomassa lietesäiliössä. Lannasta hieman yli puolet hyödynnetään lannoitteena tilan omilla pelloilla letkulevityksenä ja loput lannasta luovutetaan muille tiloille, joiden etäisyys sikalasta on keskimäärin 30 kilometriä. Lannasta 70 % levitetään keväisin ja 30 % syksyisin ja lanta mullataan äestämällä heti levityksen jälkeen. Pellot myös kultivoidaan kylvön yhteydessä.

Tilan peltoala määräytyi emakkosikalan rehuksi tarvittavan ohrantuotantoalan mukaan sekä ympäristökorvausjärjestelmä huomioiden. Nykytilassa pelloilla viljellään ohraa omaan tarpeeseen ja vehnää myyntiin, minkä lisäksi pieni osa pelloista (5 %) on kesannolla. Vilja korjataan ja kuivataan tilalla. Ohrarehua täydennetään soijarehulla. Muut ruokinnassa käytettävät lisäkomponentit on rajattu tarkastelun ulkopuolelle, koska tarkasteltujen toimintatapojen muutos ei vaikuta niiden käyttöön ja niiden määrä on varsin vähäinen päärehuraaka-aineisiin verrattuna.

Tila käyttää nykytilassa lämmitykseen polttoöljyä sekä ostaa tarvitsemansa sähkön verkosta. Lisäksi polttoöljyä kuluu viljan kuivauksessa ja polttoainetta peltotöissä ja lantalogistiikassa.

Tehokkaampaan toimintaan pyrkivissä agri- ja nurmisymbiooseissa tilan koko pysyy samana, mutta sen sisällä toiminnot muuttuvat. Agrisympioosissa pelloilla viljellään ohran ja vehnän lisäksi nurmea (77 ha), jonka puristeneesteellä korvataan ruokinnassa nykytilassa käytettävää ohra- ja soijarehua. Jäljelle jäänyt puristusjännös hyödynnetään lannan kanssa tilan omassa biokaasulaitoksessa. Kokonaisviljelyala pysyy samana kuin nykytilassa, mutta agrisympioosissa viljeltävä nurmi vähentää ohran ja vehnän viljelyalaa. Vähentynyt ohra-ala kattaa edelleen tilan ohran tarpeen. Nurmisymbioosissa loputkin vehnän viljelyalasta korvataan nurmella, joka hyödynnetään säilörehuna biokaasulaitoksessa.

Molemmissa symbiooseissa muodostuva lanta varastoidaan lyhytaikaisesti (muutamia päiviä) katetussa varastossa ja ohjataan sen jälkeen biokaasuprosessiin. Prosessissa muodostuva biokaasu voidaan hyödyntää tilalla vaihtoehtoisin tavoin, joista tässä tarkastellaan hyödyntämistä tilan sähkön ja lämmön tuotannossa, liikennepolttoaineena tai näiden yhdistelmänä.

Biokaasuprosessissa muodostuva mädäte separoidaan lingolla neste- ja kuivajakeeseen. Typpipitoinen nestejake varastoidaan tiiviisti katetussa säiliössä typen haihtumisen estämiseksi. Se hyödynnetään tilan omilla pelloilla syöttöputkiverkoston ja vetoletkulevityksen avulla osalle viljaa ja nurmelle. Fosforipitoinen kuivajake varastoidaan katetussa varastossa ja pieni osa siitä levitetään omille pelloille. Loput kuivajakeesta luovutetaan muille tiloille, jotka sijaitsevat keskimäärin 70 km etäisyydellä. Kuivajakeella korvataan vastaanottavilla tiloilla mineraalifosforia. Se levitetään hajalevityksenä ja mullataan välittömästi levityksen jälkeen.

Nykytila	Agrisympioosi	Nurmisympioosi
<ul style="list-style-type: none"> •Ohraa rehuksi •Vehnää myyntiin •Lietelanta lannoitteeksi letkulevityksenä •Sähkö verkosta, lämpö polttoöljyllä 	<ul style="list-style-type: none"> •Ohraa rehuksi •Vehnää myyntiin •Nurmea rehumehuksi ja puristusjäännös biokaasulaitokseen •Lietelanta biokaasulaitokseen •Mädätteen jakeistus ja nestejakeen levitys syöttöputkijärjestelmän kautta •Biokaasun hyödyntäminen tilan sähkön ja lämmöntuotannossa •Elinkaariarvioinnissa tarkasteltu myös biokaasun hyödyntämistä liikennepolttoaineena tai yhdistelmänä 	<ul style="list-style-type: none"> •Ohraa rehuksi •Nurmea rehumehuksi ja puristusjäännös biokaasulaitokseen •Lietelanta biokaasulaitokseen •Mädätteen jakeistus ja nestejakeen levitys syöttöputkijärjestelmän kautta •Biokaasun hyödyntäminen tilan sähkön ja lämmöntuotannossa •Elinkaariarvioinnissa biokaasun hyödyntäminen liikennepolttoaineena

Kuva 2.1. Tarkasteltujen järjestelmien yleiskuvaus ja merkittävimmät erot.

2.1 Kasvintuotanto ja rehut

Tarkastellun tilan peltoala on yhteensä 627 ha, jolla viljellään nykytilassa ja symbiooseissa ohraa, vehnää ja nurmea taulukon 2.1 mukaisesti. Keskimääräiseksi satotasoksi on oletettu sekä ohralle että vehnälle 4 t/ha. Agrisympioosissa nurmen satotaso on 8 t kuiva-ainetta (TS)/ha ja nurmisympioosissa säilörehuksi menevältä osalta 7,5 tTS/ha. Nurmisympioosissa nurmen satotaso on oletettu alhaisemmaksi, koska nurmen tuotanto-osuuden kasvaessa heikompi tuottoisten lohkojen osuus lisääntyy.

Nykytilassa tila käyttää rehuna oman tuotannon ohran (1 880 t/a) lisäksi soijarehua (290 t/a; tiedot perustuvat olemassa olevan varsinaissuomalaisen tilan ruokintatietoihin). Tila tuottaa myös vehnää myyntiin (502 t/a). Molemmissa symbiooseissa viljelyala pysyy samana, mutta nurmi on mukana viljelykierrossa. Nurmesta puristettu rehumehu voi korvata 7,4 % ohran ja 3,8 % soijan tarpeesta (Kytölä, K. 2018). Symbiooseissa ohran tarve rehuna laskee siten tasolle 1 740 t/a vapauttaen 35 ha ohrapinta-alaa nurmen tuotantoon. Ruokinnassa kuluvan rehumehun puristukseen tarvitaan nurmea 2 468 t/a, mikä tarkoittaa yhteensä 77 ha:n nurmipinta-alaa. Tarvittava pinta-ala otetaan vehnän viljelystä, jolloin myytävän vehnän tuotantomäärä vähenee (334 t/a). Nurmisympioosissa vehnän koko tuotantoala siirretään nurmelle. Soijan kulutus molemmissa symbiooseissa on 279 t/a.

Nurmi perustetaan joka neljäs vuosi kesällä, jolloin pellot kantavat ja orgaanisten lannoitteiden käyttö on mahdollista. Nurmi lopetetaan glyfosaatilla ja kynnetään maahan. Nurmea perustettaessa hyödynnetään kuivajaetta ympäristökorvausjärjestelmän fosforintasauksen sallima määrä (kertalevityksellä voidaan levittää 5 vuoden fosforin tarve; tarkat määrät liitteessä 1). Nurmesta korjataan kaksi satoa. Rehumehun tuotantoon menevän nurmen kuiva-aine on 25 % ja suoraan biokaasulaitokseen menevän säilörehun 30 %. Säilörehu varastoidaan aumassa ennen hyödyntämistä joko rehumehun puristuksessa tai suoraan biokaasun tuotannossa. Rehumehu puristetaan säilörehusta Haarslevin kaksoisruuvipuristimella, jonka kapasiteetti on 1000 kg/h (Winqvist ja Tampio, 2018). Rehumehun puristusjäännös syötetään biokaasulaitokseen ilman välivarastointia.

Taulukko 2.1. Tarkasteltavan sikatilan peltopinta-alan käyttö eri skenaarioissa.

	Nykytila	Symbioosi	Nurmisympioosi
Ohra	470 ha	435 ha	435 ha
Vehnä	125,5 ha	83,5 ha	-
Kesanto	31,5 ha	31,5 ha	31,5 ha
Nurmi	-	77 ha	160,5 ha
Yhteensä	627 ha	627 ha	627 ha

2.2 Lannan ominaisuudet, biokaasuprosessi ja sen syötteen

Tilalla muodostuva sianlietelanta (Taulukko 2.2) varastoidaan nykytilassa avoimessa lietesäiliössä ennen levitystä peltoon. Agrisympioosissa se hyödynnetään biokaasuprosessissa tuoreltaan eläinsuojasta poistamisen jälkeen yhdessä rehumehun puristusjäännöksen kanssa. Nurmisympioosissa biokaasuprosessiin ohjataan edellisten lisäksi myös nurmea säilörehuna (Taulukko 2.2).

Molemmassa symbiooseissa biokaasulaitokseen syötetään säännöllisesti sekä lietelantaa välivarastosta että puristusjäännöstä ja/tai säilörehua erillisellä syöttöjärjestelmällä. Viipymä varsinaisessa biokaasuprosessissa (n. 38 °C) on 30 vuorokautta. Muodostuva jälkikaasu otetaan talteen reaktoria seuraavasta, lämmittämättömästä 1 500 m³:n kaasutiivistä altaasta. Yhteensä käsiteltävä massa on kaasunkeräyksen piirissä noin 83 vrk. Jälkikaasualtaan jälkeen mädäte separoidaan lingolla ja nestejäte johdetaan katettuun varastoaltaan. Kuivajäte varastoidaan aumassa peitettynä joko tilalla tai pellolla.

Lietelannan kuiva-aineesta (TS) 30 % oletetaan hajoavan biokaasuprosessissa ja orgaanisesta aineesta (VS) 60 %. Liukoisen typen (Nliuk) oletetaan lisääntyvän 30 %. Vastaavasti rehumehun puristusjäännöksen ja säilörehun kuiva-aineesta oletetaan hajoavan 50 %, orgaanisesta aineesta 60 % ja liukoisen typen osuuden nousevan puristusjäännöksellä 50 %:iin kokonaistypestä (Nkok) ja säilörehulla 60 %:iin (Luostarinen ym. 2011; Paavola ym. 2016; Seppälä 2013; Seppälä ym. 2014).

Mädätteen separoinnissa kuivajätettä muodostuu 15 % mädätteen alkuperäisestä määrästä kuiva-ainepitoisuuden noustessa 30 %:iin. Nestejakeeseen päätyy 65 % Nkok:stä, 80 % Nliuk:stä ja 10 % Pkok:sta (perustuen mm. Paavola ym. 2016).

Nykytilassa lietelannan varastoinnin aikana lannan liukoisesta tyypeä haihtuu lähes 8 %, symbiooseissa mädätteestä separoidun kuivajakeen varastoinnin aikana liukoista tyypeä haihtuu 25 % ja nestejakeesta n. 3 % (EMEP/EEA 2016, Grönroos ym. 2017, Paavola 2019). Varastoinnin aikana kaikkien massojen kuiva-aineesta häviää 10 % (Luostarinen ym. 2017). Tuoreen ja varastoidun lietelannan, mädätteen ja siitä separoidun neste- ja kuivajakeen ominaisuudet varastoinnin jälkeen on esitetty taulukossa 2.2. Sian lietelannan metaanintuottopotentialina käytettiin 350 m³CH₄/t-VS (Paavola ym. 2016), rehumehun puristusjäännöksen ja säilörehun 300 m³CH₄/t-VS (Seppälä 2013; Seppälä ym. 2014; Vainio ym. 2019).

Taulukko 2.2. Nykytilan varastoidun lietalannan, biokaasuprosessin raaka-aineina käytettyjen tuoreen lietalannan, rehumehun puristusjäännöksen ja säilörehun ominaisuudet sekä agri- ja nurmisymbioosin mädätteen ja siitä separoitujen jakeiden ominaisuudet varastoinnin jälkeen peltokäytössä.

	Nykytila	Biokaasuprosessin raaka-aineet			Agrisymbioosi			Nurmisymbioosi		
		Lietelanta varastosta ¹	Lietelanta tuore ¹	Rehumehun puristusjäännös ²	Säilörehu	Mädäte	Nestejake	Kuivajake	Mädäte	Nestejake
Massa (t/a)	10 000	9 100	1 171	2 088	10 271	8 730	1 541	12 358	9 887	2 472
TS (%)	4,8	5,9	43	30	6,1	1,8	28,5	7,6	1,9	28,5
VS (%)	3,8	4,8	41	27	3,6	1,0	15,9	4,8	1,2	17,3
Nkok (kg/t)	3,2	3,7	7,4	7,7	4,1	3,0	8,6	4,7	3,7	7,4
Nliuk (kg/t)	2,01	2,4	0,11	0,3	3,2	2,9	3,2	3,4	3,3	2,6
Pkok (kg/t)	0,91	1,0	0,73	0,87	0,97	0,1	5,9	0,95	0,1	4,4

¹ Paavola ym. 2016; arvioitiin vastaavan nykytilaa myös Suomen normilanta -järjestelmän (Luostarinen ym. 2017), lannan taulukkoarvojen (1250/2014) ja käytettävissä olleiden esimerkkitalan lanta-analyysien perusteella.

² Rinne 2018.

2.3 Ravinteiden hyödyntäminen ja mineraalilannoitteiden tarve

Tarkastellun esimerkkitalan peltoalasta 40 % on viljavuusluokassa korkea tai arveluttavan korkea, mikä tarkoittaa, että laskennassa käytetyillä satotasoilla lannan tai biokaasuprosessin lopputuotteiden hyödyntäminen ei ole näillä lohkoilla mahdollista. Lannan levityskelpoinen pinta-ala on siten 357,3 ha (60 % tilan pinta-alasta kesanto pois lukien), jolle voidaan levittää lantapoikkeusta hyödyntäen enintään 15 kgP/ha (Kuva 2.2).



Kuva 2.2. Pääperiaatteet lantaperäisten ravinteiden hyödyntämiselle omilla pelloilla ja vastaanottavilla pelloilla tarkastellulla emakkotilalla.

Nykytilassa lanta varastoidaan kattamattomassa lietesäiliössä keskimäärin 4 kk:n ajan, jolloin vuodessa levittävä lantamäärä on 10 000 t/a. Tästä omilla pelloilla hyödynnetään 5 888 t/a (16,5 t/ha) ja muilla tiloilla käytettäväksi luovutetaan 4 112 t/a. Omilla pelloilla lantaa hyödynnetään 100 ha:lle vehnää ja loput lannanlevityskelpoisesta alasta on ohraa eli 257,3 ha. Ohran liukoisen typen tarve on 100 kg/ha ja vehnän 120 kg/ha, joten lannan sisältämän liukoisen typen lisäksi ohra tarvitsee mineraalityyppeä 66,8 kg/ha ja vehnä 86,9 kg/ha (Taulukko 2.3). Muille tiloille kuljetettu lietelanta hyödynnetään myös viljakasvien lannoituksessa. Sen levitystä rajoittaa edelleen fosfori (15 kgP/ha), jolloin lanta tarvitsee levityspinta-alaa 250 ha. Tästä pinta-alasta ohraa on 56 % ja vehnää 44 % (sama kuin toteutunut ohran ja vehnän viljelyn suhde Varsinais-Suomessa vuonna 2018). Nykytilassa lannasta 70 % levitetään keväisin ja 30 % syksyisin.

Agri- ja nurmisymbioosissa tila hyödyntää omilla pelloillaan kaiken mädätteestä separoidun nestejakeen. Nestejakeita käytetään osalle ohra- ja vehnäpelloista, joilla nestejakeella katetaan 70 % liukoisen typen maksimitarpeesta ja loppu typpitarve annetaan kylvölannoituksena mineraalityypinä (Taulukko 2.3; tarkat määrät ja lantaperäisten ravinteiden jakautumistiedot liitteessä 1). Jäljelle jääneet viljahehtaarit lannoitetaan pelkällä mineraalilannoitteella. Nurmi lannoitetaan kaksi kertaa, eli molemmille sadoille annetaan 100 kgN/ha, yhteensä siis 200 kgN/ha/vuosi. Agrisymbioosissa nurmen ensimmäinen lannoitus tehdään mineraalityypellä ja toinen lannoitus nestejakeella. Nurmisymbioosissa pieni osa nurmesta (29 ha) lannoitetaan pelkästään nestejakeella, koska nurmisymbioosissa muodostuu nestejakeita agrisymbioosia enemmän eikä lannanlevityskelpoinen pinta-ala muuten riitä. Nestejake toimitetaan pellolle siirtoputkella ja levitetään vetoletkulevityksellä peltoon. Viljoille levitetty nestejake mullataan alle 4 tunnin kuluttua levityksestä. Syyslevitystä ei tarvita.

Mädätteestä separoitua kuivajakeita hyödynnetään omalla tilalla nurmia perustettaessa, eli joka neljäs vuosi. Tällöin symbiooseissa kuivajakeita hyödynnetään 25 %:lla nurmialasta, eli vuosittain agrisymbioosissa 19,3 ha:lla ja nurmisymbioosissa 40,1 ha:lla. Levitystä rajoittaa fosfori, mutta fosforin tasausta hyödyntäen voidaan levittää kerralla 75 kgP/ha joka viides vuosi. Tällöin agrisymbioosissa kuivajakeita hyödynnetään omilla pelloilla 245 t/vuosi ja vastaanottaville tiloille kuljetetaan 1 296 t/a. Nurmisymbioosissa omilla pelloilla hyödynnetään 690 t/a ja vastaanottavilla tiloilla 1 782 t/a (Taulukko 2.3; tarkat määrät ja lantaperäisten ravinteiden jakautumistiedot liitteessä 1). Muille tiloille luovutettu kuivajake hyödynnetään edelleen viljan viljelyssä fosforin tasausta hyödyntäen (15 kgP/ha/a, 5 vuoden tasaus, kertalevitys 75 kgP/ha). Kuivajakeita hyödynnetään tällöin vastaanottavilla tiloilla agrisymbioosissa vuosittain 102 ha:lla ja nurmisymbioosissa 104 ha:lla, joista ohraa on 56 % ja vehnää 44 %. Kuivajakeesta 70 % hyödynnetään keväällä ja 30 % syksyllä.

Lantapoikkeusta hyödyntäen fosforia voidaan käyttää 15 kg/ha viljavuusluokassa hyvä, vaikka kasvien fosforin tarve on luokkaa 5 kg/ha (enimmäisfosforilannoitus ilman lantapoikkeusta). Tällöin lantaperäisen fosforin korvaushyödyn lyhyellä tarkastelujaksolla voidaan laskea olevan 33 %. Vastaavasti viljavuusluokassa tyydyttävä, kasvien fosforin tarve on luokkaa 10 kg/ha, jolloin korvaushyöty on 67 %, ja viljavuusluokassa välttävä tarve on 16 kgP/ha ja korvaushyöty 15 kg/ha lisäyksestä tällöin 100 % (Taulukko 2.4).

Lisäksi pelloille levitetään kalkkia keskimäärin 400 kg/ha/a. Nurmelle kalkkia levitetään vain perustamisen yhteydessä, eli joka 4. vuosi, jolloin levitysmäärä on 2 t/ha/levityskerta.

Taulukko 2.3. Liukoisen typen lähteet (kg/a) omilla pelloilla nykytilassa, agri- ja nurmisymbioosissa (lantaperäisten sisältämä kokonaistypimäärä suluissa).

	Nykytila		Agrisymbioosi		Nurmisymbioosi	
N liuk. tarve (kg/a)	62 060		68 920		75 600	
Lantaperäiset tyypilähteet (kg/a)	Lanta	Nestejake	Kuivajae	Nestejake	Kuivajae	
	11 837	25 318	791	32 776	1 797	
	(18 842)	(26 500)	(2 096)	(36 900)	(5 109)	
Mineraalityypen lisäys (kg/a)	50 223		42 812		41 027	

Taulukko 2.4. Lietelannan ja fosforin käyttömäärät ja sen korvaushyödyt omilla pelloilla ja muille tiloille luovutettuna.

	Nykytila			Agrisybioosi			Nurmisybioosi		
	Omat pellot	Luovutettu		Omat pellot	Luovutettu		Omat pellot	Luovutettu	
Levitettävä määrä (t/a)	5 888	4 112		9 521	1 296		10 558	1 782	
Fosfori (t/a)	5,36	3,74		2,32	7,64		4,0	7,77	
Viljavuusluokka, % levityskelpoisesta pinta-alasta	Hyvä	Hyvä	Tyydyttävä	Hyvä	Tyydyttävä	Välttävä	Hyvä	Tyydyttävä	Välttävä
	100	50	50	100	50	50	100	50	50
Fosforin tarve (kgP/ha)	5	5	10	5	10	16	5	10	16
Fosforin levitysmäärä (kgP/ha)	15	15	15	Kuivajae 15 Nestejae <3,5	15	15	Kuivajae 15 Nestejae <3,5	15	15
Fosforin korvaavuus (korvaushyöty %)	33	33	67	Kuivajae 33 Nestejae 100	67	100	Kuivajae 33 Nestejae 100	67	100

2.4 Lietelannan ja biokaasuprosessin lopputuotteiden logistiikka

Nykytilassa liotelannan kuljetusmatka omille pelloille on keskimäärin 3 km ja luovutettavan lannan keskimäärin 30 km (Taulukko 2.5.). Sybiooseissa nestejae pumpataan syöttöputkijärjestelmän kautta multaavalle vetoletkulevittimelle (esim. veitsimultain). Syöttöputkijärjestelmässä nestejae pumpataan maahan upotettuun siirtoputkistoon yhdellä traktorilla ja putkiston toisessa päässä on toinen traktori, joka syöttää nesteen vetoletkulevittimelle. Syöttöputkiston paineenkesto on vähintään 6 bar ja pumpausmäärä 150 m³/h. Syöttöputkiston pituus on 4 km ja se palvelee yli 300 ha:n pinta-alaa. Kuivajae kuljetetaan alueelle, missä fosforille on tarvetta. Kuljetusetäisyys on keskimäärin 70 km.

Taulukko 2.5. Lietelannan, neste- ja kuivajakeiden kuljetusetäisyydet ja kalusto.

	Omat pellot		Muut pellot		
	Etäisyys	Kuljetuskalusto	Etäisyys	Kuljetuskalusto	
Nykytila	Lietelanta	3 km	lietevaunu 20 m ³	30 km	puoliperävaunu
Agrisybioosi ja Nurmisybioosi	Nestejae	-	putkisto/pumppaus 150 m ³ /h	-	-
	Kuivajae	3 km	kuivalannanlevitysvaunu 15 t/kuorma	70 km	puoliperävaunu

2.5 Energiantuotanto ja -kulutus

Nykytilassa tilan sähkönkulutus on 533 MWh/a ja lämmitys kuluttaa kevyttä polttoöljyä 696 MWh/a (vuosien 2013-2016 esimerkkitalan toteutuneiden kulutusten keskiarvo). Lisäksi viljan kuivaus kuluttaa polttoöljyä 91 kWh/t viljaa (9,1 l/t viljaa) (Palva 2019). Yhteensä tila tarvitsee energiaa siten 1 445 MWh/a. Energiaa kuluu lisäksi lantalogistiikkaan ja viljelytoimenpiteisiin taulukon 2.6 mukaisesti.

Agrisymbioosissa biokaasulaitos tuottaa lannasta ja rehumehun puristusjäännöksestä metaania yhteensä 288 811 m³/a, joka vastaa 2 888 MWh/a. Laitos tarvitsee sähköä 147 MWh/a ja massan lämmitykseen lämpöä 520 MWh/a (arvioitu biokaasulaitostoimittaja Demecan kulutustietoihin perustuen). Agrisymbioosissa tilan sähkön tarve on siis yhteensä 688 MWh/a ja lämmön tarve 1 235 MWh/a (Taulukko 2.7: tilan toiminnot, biokaasulaitos, mädätteen separointi ja rehumehun puristus).

Nurmisymbioosissa biokaasulaitos tuottaa metaania yhteensä 457 899 m³/a, joka vastaa 4 579 MWh/a. Säilörehun lisääminen biokaasuprosessiin lisää jonkin verran myös biokaasulaitoksen sähkönkulutusta (säilörehun syöttölaite, suurempi reaktorin sekoitustarve). Tässä laskennassa on oletettu biokaasulaitoksen sähkönkulutuksen nousevan 15 % ja lämmönkulutuksen 10 % verrattuna agrisymbioosiin (Taulukko 2.7). Agri- ja nurmisymbioosissa energiaa kuluu myös rehumehun puristukseen (sähköteho 4,6 kW, kapasiteetti 1000 kg/h; Winquist 2018), mädätteen separointiin (0,518 kWh/m³; Kässi ym. 2013) ja nestejakeen siirtoon pelloille syöttöputkijärjestelmän kautta traktorikäyttöisillä pumpuilla (2 traktoria, keskimääräinen traktorin pumpputeho 150 kW/traktori). Nurmen viljelytoimenpiteiden energiankulutukset on esitetty taulukossa 2.6.

Agri- ja nurmisymbioosien perustapauksessa kaikki tarvittava sähkö- ja lämpöenergia tuotetaan itse biokaasusta yhdistetyllä sähkön ja lämmön tuotantoyksiköllä (CHP) ja lämpökattilalla. CHP-yksikön sähköntuotannon hyötysuhde on 35 % ja lämmön tuotannon 50 %. Erillisen lämpökattilan lämmöntuotannon hyötysuhde on 90 %. Ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä on tarkasteltu laajemmin symbioosien vaihtoehtoisia biokaasun hyödyntämistapoja (luku 4.4.), jossa liikennepolttoaineen tuotannon hyötysuhteena on käytetty 98 % sisältäen myös poistokaasupolttimen, jolloin suoria metaanipäästöjä ei synny.

Taulukko 2.6. Polttoaineiden ja energian kulutus eri työvaiheissa.

Toiminto	Kulutus	Yksikkö
Viljelytoimenpiteet: vilja (äestys, kylvö+lannoitus, kasvinsuojelu*2, puinti, kyntö/kultivointi, äestys)	39	kg/ha/a
Viljelytoimenpiteet: nurmi (äestys, kylvö, kasvinsuojelu, niitto, nurmen keruu, nurmen lopetus kyntämällä; kaksi korjuuta/vuosi)	36	kg/ha/a
Kuljetukset: mineraalilannoitteet, siemenet, kalkki, sato, lietalanta, kuivajae omille pelloille	0,04	kg/tkm
Lietelannan levitys	0,2	kg/m ³
Nestejakeen pumppaus (siirtoputki)	300	kW/h
Nestejakeen vetoletkulevitys	0,04	kg/m ³
Kuljetus: kuivajae (vastaanottaville tiloille)	0,028	kg/tkm
Kuivajakeen levitys	0,0002	kg/kg
Viljan kuivaus	9,1	l/t

Taulukko 2.7. Tilan energiantarpeet ja -lähteet vuositason vertailuissa biokaasun hyödyntämisen perustapauksissa (biokaasu sähköksi ja lämmöksi).

Energia- muoto	Toiminto	Nykytila (MWh/a)	Agrisymbioosi (MWh/a)	Nurmisympäristö (MWh/a)
Sähkö	Tilan toiminnot	533 (verkosta)	533 (biokaasu)	533 (biokaasu)
	Biokaasulaitos	-	147 (biokaasu)	169 (biokaasu)
	Mädätteen separointi	-	5,3 (biokaasu)	6,4 (biokaasu)
	Rehumehun puristus	-	11,4 (biokaasu)	11,4 (biokaasu)
Lämpö	Tuotantotilojen lämmitys	696 (kevyt polttoöljy)	696 (biokaasu)	696 (biokaasu)
	Biokaasulaitos	-	520 (biokaasu)	572 (biokaasu)
	Viljan kuivaus	217 (kevyt polttoöljy)	189 (biokaasu)	158 (biokaasu)
Polttoaine	Nestejakeen pumppaus	-	17,5 (kevyt polttoöljy)	19,8 (kevyt polttoöljy)
	Viljelytoimenpiteet ja logistiikka	405 (kevyt polttoöljy/diesel)	379 (kevyt polttoöljy/diesel)	410 (kevyt polttoöljy/diesel)
Yhteensä		1 851	2 498	2 576

3 Symbioosien vaikutus tilan ravinne- ja energiataseisiin ja talouteen

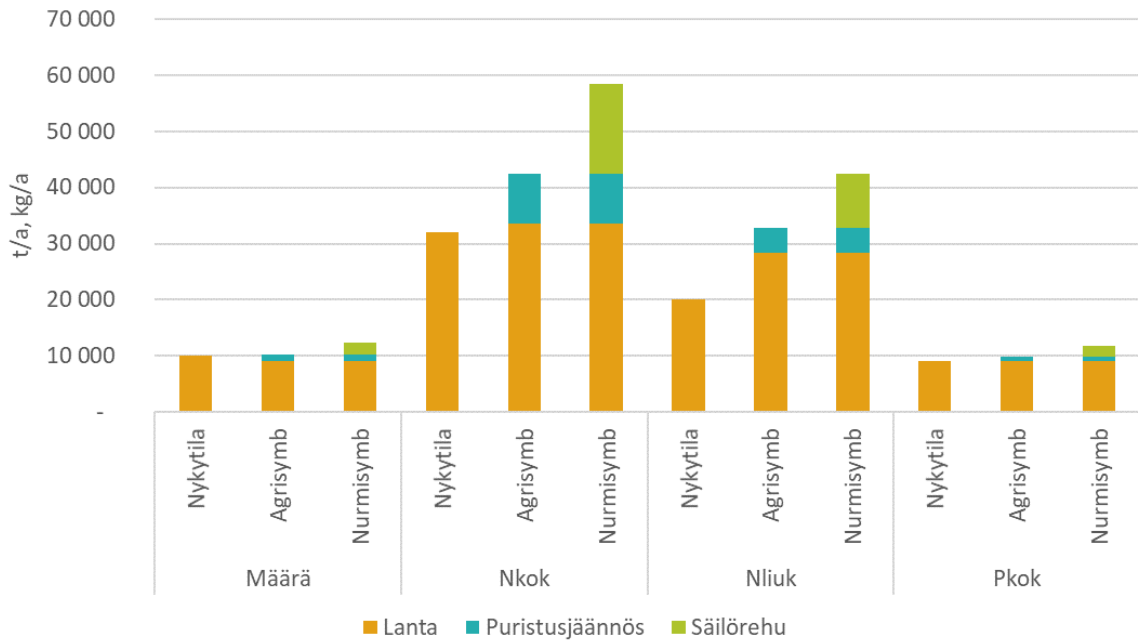
Tarkastellut symbioosit pyrkivät tilan kannalta taloudellisesti mielekkääseen ja ympäristön kannalta kestävämpään toimintamalliin, jossa mm. ravinteet kiertävät tehokkaammin, kehittyneet levitysteknologiat vähentävät peltomaan tiivistymistä ja uusiutuvan energian tuotanto ja hyödyntäminen korvaa fossiilisia polttoaineita. Tilan lantaravinteiden nykyistä tehokkaampi hyödyntäminen ja mineraalilannoitteiden käytön vähentäminen saavutetaan optimoimalla koko lannankäsittelyketju varastoinneista prosessointiin ja levityksen ratkaisuihin. Samalla varmistetaan toimintamallin energiatehokkuus ja hävikkien minimointi.

Lanta on yksi kotieläintilan merkittävämmistä resursseista. Toisaalta se on myös yksi merkittävimmistä ympäristövaikutusten aiheuttajista varsin moninaisella tavalla. Lannankäsittelyketjun optimoinnilla on mahdollista yhtäaikaaisesti vähentää haitallisia ympäristövaikutuksia ja saavuttaa taloudellisia hyötyjä, kuten vähäisempi ostolannoitteiden tarve, tehokkaampi ravinteiden hyödyntäminen, parantunut maaperän kunto ja uusiutuvan energian tuotanto.

Tasetarkasteluissa keskityttiin toimenpiteiden vaikutuksiin yksikkötasolla, ts. tilan kannalta. Tilatason tarkastelun tavoitteena oli nostaa esiin tekijöitä, jotka vaikuttavat yksittäisen tilan päätöksiin muuttaa toimintaa nykytilanteesta kohti symbioosimallia. Tilatason ravinne- ja energiataseiden laskentaan ei siten otettu mukaan tilan ulkopuolisia toimintoja, kuten vaikutuksia vastaanottavien peltojen mineraalilannoitteiden käyttömääriin tai näiden viljelytoimenpiteiden energiankulutukseen. Ravinne- ja energiataseet laskettiin nykytilalle ja molemmille symbiooseille. Taloudellista kannattavuutta tarkasteltiin agrisympioosin aiheuttamien lisäkustannusten ja säästöjen avulla.

3.1 Ravinnetaseet

Nykytilassa ja symbiooseissa tila tuottaa ja käsittelee eri määrät massoja ja ravinteita kasvintuotannon ja lannankäsittelyn muutosten myötä. Nykytilassa käytetään lannoitteena prosessoimatonta, kattamattomassa lietesäiliössä varastoitua lietelantaa, agrisympioosissa kierto on mukana biokaasulaitos tuoreen lietelannan ja säilörehumehun puristusjäännöksen prosessointiin ja nurmisymbioosissa on edellisten lisäksi prosessoitavana vielä säilörehua. Puristusjäännös ja säilörehu nostavat etenkin symbioosien typen määrää, kun agrisympioosin mädätteessä on 24 % enemmän kokonaistyppeä kuin nykytilan lietelannassa ja nurmisymbioosin mädätteessä lisäys on jopa 83 %. Kun osa orgaanisesta tyypestä mineralisoituu biokaasuprosessissa, on liukoista tyypeä biokaasuprosessin jälkeen agrisympioosin mädätteessä 49 % ja nurmisymbioosissa jopa 111 % nykytilaa enemmän (Kuva 3.1.). Lisäksi molemmissa symbiooseissa lanta johdetaan biokaasulaitokseen tuoreena (juuri eläinsuojasta kerättynä) ja siksi väkevämpänä, kun vältetään kattamattoman varastoinnin sadevesilisä ja typpihävikit (Taulukko 2.1.). Toisaalta tyyppelle on symbiooseissa myös enemmän käyttöä: nurmi tarvitsee viljoja enemmän tyypeä (Taulukko 2.3.).

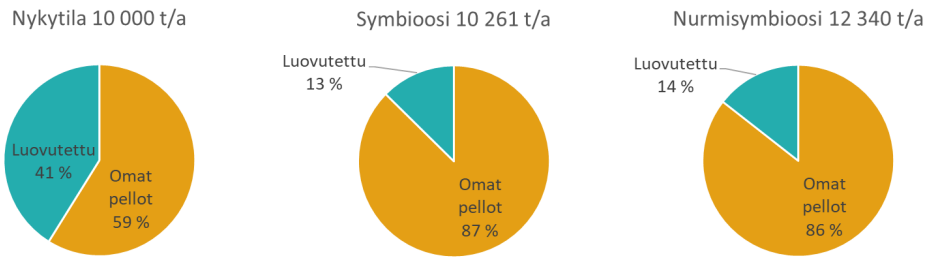


Kuva 3.1. Tarkastellun emakkotilan kasvintuotannossa hyödynnettävissä olevat orgaanisten massojen ja ravinteiden kokonaismäärät nykytilassa sekä agri- ja nurmisymbiooseissa biokaasuprosessin jälkeen (määrä t/a, ravinteet kg/a).

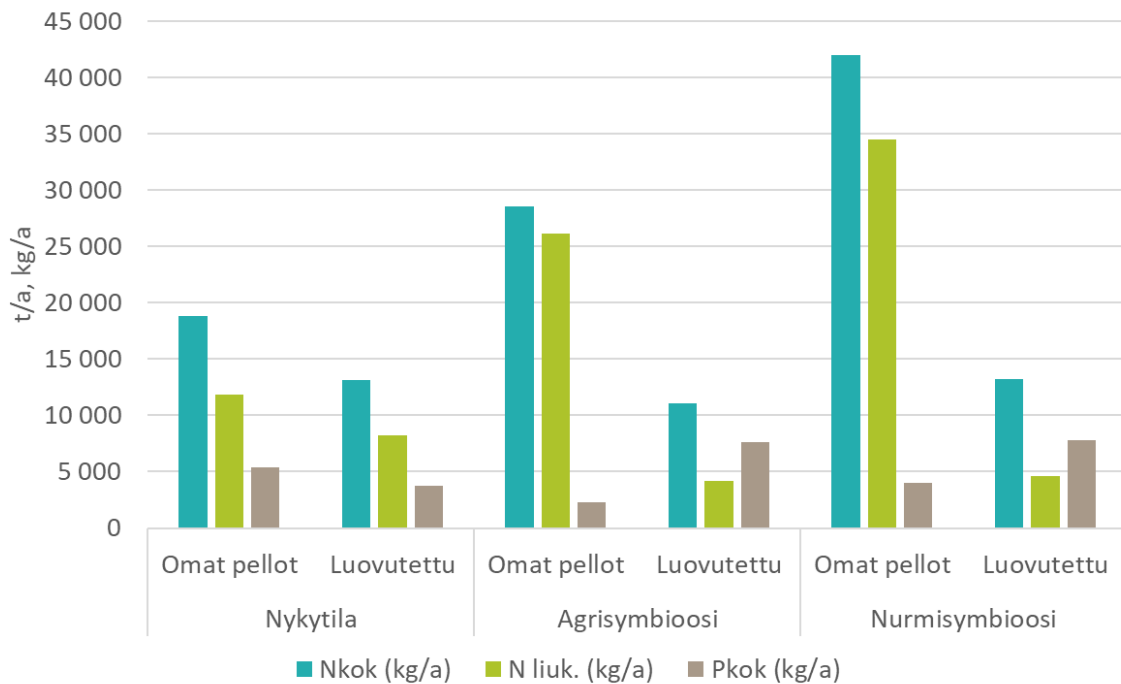
Nykytilassa vain 59 % lietelannasta ja sen sisältämistä ravinteista pystytään hyödyntämään tarkasteltavan tilan omilla pelloilla fosforin levitysrajoitusten vuoksi. Loput 41 % lietelannasta ravinteineen joudutaan kuljettamaan muille tiloille hyödynnettäväksi (Kuva 3.2.). Tällöin vain 19 % tilan oman kasvintuotannon liukoisen typen tarpeesta saadaan katettua lietelannalla ja loput joudutaan antamaan mineraalityppinä (Taulukko 2.5.).

Symbiooseissa tilanne muuttuu merkittävästi. Agrisymbioosissa prosessoitavasta massasta 87 % pystytään hyödyntämään tilan omilla pelloilla mädätteestä separoituna nestejakeena ja nurmen perustamisvaiheessa myös kuivajakeena (Kuva 3.3., tarkemmin liitteessä 1). Tämä tarkoittaa, että tila saa hyödynnettyä mädätteestä erotettujen jakeiden liukoisesta tyypestä peräti 86 % (14 261 kg enemmän kuin nykytilassa). Vastaavasti nurmisymbioosissa omilla pelloilla hyödynnetään 86 % massasta ja 88 % mädätteen jakeiden sisältämästä liukoisesta tyypestä (22 677 kg enemmän kuin nykytilassa). Agrisymbioosissa omien peltujen kasvintuotannon tarvitsemasta liukoisesta tyypestä 38 % ja nurmisymbioosissa 46 % saadaan mädätteen neste- ja kuivajakeesta, mikä on selvästi enemmän kuin nykytilassa typen tarpeen kasvusta huolimatta. Muutos on vielä merkittävämpi, jos tarkastellaan vain sitä alaa, jolle hiukankaan fosforia sisältäviä lannoitteita voidaan hyödyntää (60 % tilan viljelyssä olevasta peltopinta-alasta, 357 ha). Jos keskimääräinen typen tarve tällä alalla olisi 100 kg/ha (35 700 kg/a), mädätteen jakeilla tästä voidaan kattaa agrisymbioosissa 73 % ja nurmisymbioosissa jopa 97 %. Toisaalta nestejaetta hyödynnettäessä fosforia saadaan vain 2-3 kg/ha, mikä voi joissain tilanteissa olla liian vähän. Tällöin fosforin erottelutehokkuutta kuivajakeeseen voidaan säätää siten, että fosforia päätyy hieman enemmän nestejakeeseen.

Symbiooseissa tilan omille pelloille levitettävän fosforin määrä vähenee agrisymbioosissa lähes 57 % ja nurmisymbioosissa 25 % (Kuva 3.3.), vaikka symbioosien kierroissa on enemmän fosforia kuin nykytilassa (nykytila 9,1 t, agrisymbioosi 10,0 t ja nurmisymbioosi 11,8 t). Agrisymbioosin fosforista 77 % (7 639 kg) ja nurmisymbioosin fosforista 66 % (7 774 kg) hyödynnetään kuivajaetta vastaanottavilla tiloilla ja selvästi nykytilaa laajemmalla alueella.



Kuva 3.2. Massojen jakautuminen omien pellojen ja vastaanottaville tiloille luovutettujen välillä nykytilassa, agrisympioosissa ja nurmisympioosissa.



Kuva 3.3. Typen ja fosforin jakautuminen omille pelloille ja luovutettuna vastaanottavilla tiloilla hyödynnettäviin eri tarkasteluvaihtoehtoissa.

3.2 Energiataseet

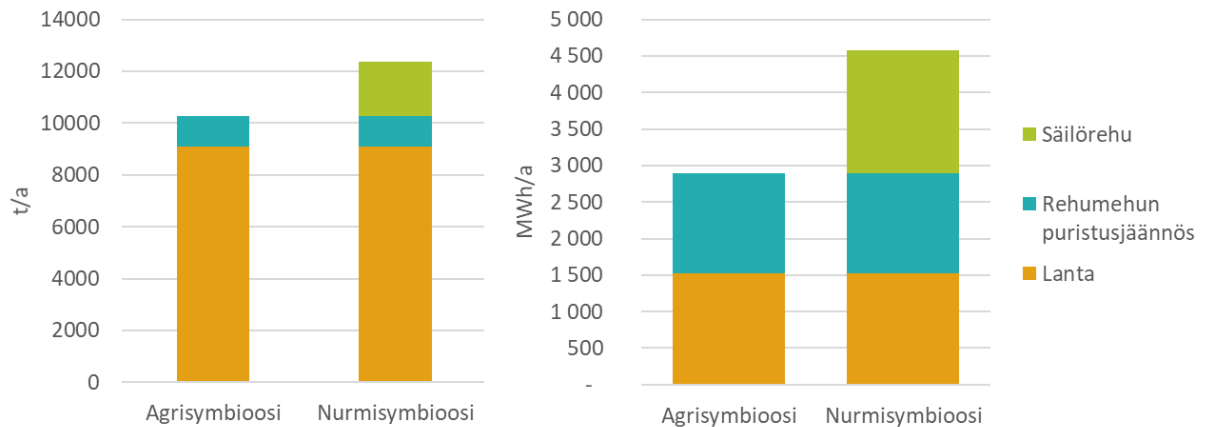
Nykytilassa tilan toimintoihin kuluu sähköä 533 MWh/a ja lämpöä 696 MWh/a. Lisäksi polttoainetta kuluu viljan kuivauksessa ja työkoneissa 621 MWh/a (Taulukko 2.9). Symbiooseissa viljan kuivaus tehdään polttoöljyn sijasta biokaasusta tuotetulla lämmöllä ja kuivattavaa viljaa on nykytilaa vähemmän. Lisäksi polttoaineen kulutus muuttuu vilja- ja nurmialojen viljelytoimenpiteiden ja lantalogistiikan muuttuessa. Uutta energiantarvetta on biokaasulaitoksessa, mädätteen separoinnissa ja rehumehun puristuksessa. Perustarkastelussa biokaasu hyödynnetään ensisijaisesti tilan tarpeisiin sähköinä ja lämpönä.

Agrisympioosissa lietalannan ja rehumehun puristusjäätännöksen energiapotentiaalia on hyödynnettävissä biokaasuna yhteensä 2 888 MWh/a. Tästä puristusjäätännöksen osuus on 47 %, vaikka syötemassasta sen osuus on vain 11 % (Kuva 3.4). Perustapauksessa tila tuottaa biokaasusta sähköä ja lämmön yhteistuotannolla (CHP) tilan kaikkien toimintojen ja biokaasulaitoksen tarvitseman sähköä (697 MWh/a). Samalla muodostuu lämpöä (995 MWh/a), jota tuotetaan lisää lämpökattilalla (410 MWh/a) tilan lämmöntarpeen täyttämiseksi. Biokaasun energiasisällöstä jää jäljelle vielä 442 MWh/a, kun huomioidaan energiantuotantolaitteistojen hyötysuhteet (Kuva 3.5). Laskennallisesti tämä riittäisi juuri lii-

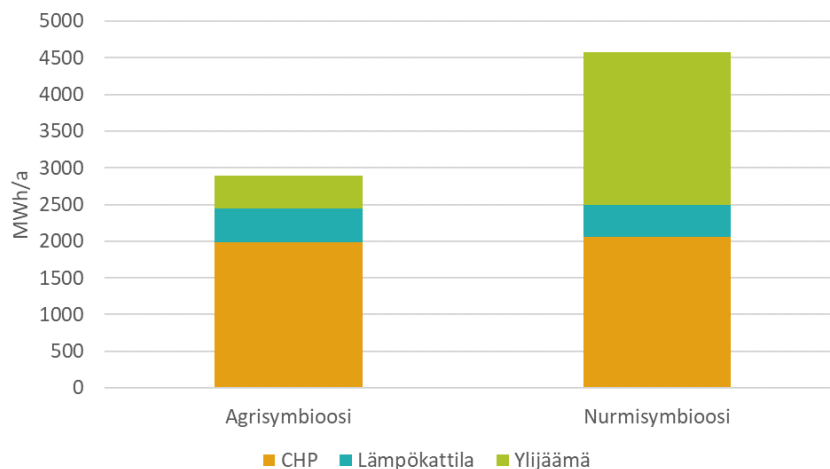
kennepolttoaineeksi jalostettuna tilan viljelytoimenpiteiden ja biokaasulaitoksen ravinnetuotteiden logistiikan työkonepolttoaineisiin (397 MWh/a), mikä tarkoittaa, että tila voisi periaatteessa olla energiaomavarainen (Taulukko 3.1).

Nurmisympioosissa energiapotentiaalia on hyödynnettävissä biokaasuna 4 579 MWh, josta 37 % muodostuu prosessiin lisätystä säilörehusta ja 67 % puristusjäännöksestä ja säilörehusta yhteensä (Kuva 3.4). Nurmisympioosissa tilan, biokaasulaitoksen ja logistiikan energiantarpeen tuottamiseen tarvitaan biokaasun energiasisällöstä 2 976 MWh/a. Jäljelle jäävä 1 603 MWh/a huomioiden tila on kaiken käyttämänsä energian suhteen laskennallisesti 154 % omavarainen (Taulukko 3.1).

Tila voisi päätyä myös ratkaisuun, jossa kaikki tuotettu biokaasu jalostettaisiin liikennepolttoaineeksi. Tällöin kaikki tilan ja biokaasulaitoksen tarvitsema sähkö ostettaisiin sähköverkosta joko uusiutuvana sähköinä tai keskiarvosähköinä ja lämpö tuotettaisiin esimerkiksi hakkeella. Nurmisympioosissa tarkastellun yksikön tuottama liikennepolttoaineen määrä olisi noin 4 500 MWh/a, joka vastaa noin 415 henkilöauton vuotuista polttoaineen kulutusta (keskikulutus 5,7 m³/100 km, ajosuorite 19 000 km/a). Huomioitavaa on myös, että mikäli tilalla ei ole nurmen tuotantoa, eikä siten rehumehun puristusjäännöstäkään, tilan sianlietelannan energiasisältö (1 529 MWh/a) riittää yksinäänkin emakkosikalan tarvitseman sähkön ja lämmön tuottamiseen. Tämä edellyttää, että lietelanta käsitellään biokaasulaitoksessa tuoreena, koska lannan metaanintuottopotentiaali alenee varastoinnin aikana.



Kuva 3.4. Biokaasulaitoksessa hyödynnettävien biomassojen määrät (vasemmalla) ja niiden energiasisältö (oikealla) agri- ja nurmisympiooseissa.



Kuva 3.5. Biokaasun energiasisällön hyödyntäminen tilan omiin tarpeisiin CHP:llä ja lämpökattilalla sekä ylijäämä.

Taulukko 3.1. Sähkön, lämmön ja logistiikan energiantarve nykytilassa, agri- ja nurmisymbiooseissa sekä ko. tarpeiden tuottamiseen tarvittava biokaasun energiasisältö ja tuotetun biokaasun energiasisältö.

	Nykytila	Agrisymbioosi	Nurmisymbioosi
Sähkö (MWh/a)	533	697	720
Lämpö (MWh/a)	913	1 405	1 426
Logistiikka (MWh/a)	405	397	430
Tilan toimintoihin tarvittava biokaasun energiasisältö (MWh/a)	-	2 886	2 976
Tuotetun biokaasun energiasisältö (MWh/a)	-	2 888	4 579

Tilan työkonepolttoaineiden ja viljan kuivauksen energiantarve vähenee agri- ja nurmisymbiooseissa 8,5 % nykytilaan verrattuna, koska nurmi korvaa vilja-alaa ja lantalogistiikka muuttuu (Taulukko 3.2; kaikki kuivajakeen kuljetukset on huomioitu, mutta kuivajakeen levitystä vastaanottavilla tiloilla ei, koska tarkasteltava tila ei hoida levitystä). Agrisymbioosin energiankulutusta laskee erityisesti selvästi alhaisempi luovutettavan ja siksi kuljetettavan massan määrä ja nurmisymbioosin energiankulutusta vähäisempi viljan kuivauksen energiantarve verrattuna nykytilaan. Pelkästään lantalogistiikkaa tarkasteltaessa agrisymbioosin energiantarve on 23 % alhaisempi kuin nykytilassa. Nurmisymbioosin ja nykytilan energiankulutus on lähes sama, koska nurmisymbioosissa kuljetetaan nykytilaa isompia massamääriä säilörehun hyödyntämisen vuoksi (nurmisymbioosin neste- ja kuivajakeen määrä on 24 % isompi kuin nykytilan lantamäärä).

Taulukko 3.2. Työkoneiden ja viljan kuivauksen energiankulutus (MWh/a) nykytilassa ja symbiooseissa.

	Nykytilanne	Agrisymbioosi	Nurmisymbioosi
Työkoneet (lantalogistiikka)	405 (125)	379 (97)	410 (126)
Viljan kuivaus	217	189	158
Yhteensä:	621	568	568

3.3 Taloudellinen kannattavuus

Symbioosimuotoisen toiminnan taloudellista kannattavuutta tarkasteltiin vertaamalla agrisymbioosin (biokaasun hyödyntäminen tilan toiminnoissa sähkönä ja lämpönä; ylijäämää ei hyödynnetä) aiheuttamia lisäkustannuksia ja mahdollisia säästöjä nykytilaan. Liikennepolttoaineen tuotannon taloudellista kannattavuutta ei huomioitu, koska agrisymbioosissa ylijäävän energian määrä on niin pieni.

Agrisymbioosissa lisäkustannuksia nykytilaan verrattuna muodostuu investointikustannuksista, jotka koostuvat rehumehun puristusjärjestelmästä (ruuvipuristin ja nurmen syöttö- ja poistolaitteet), biokaasulaitoksesta, CHP:stä ja lämpökattilasta, mädätteen separointilaitteistosta (linko) sekä lietevarastojen kattamisesta ja nestejakeen syöttöputkijärjestelmästä. Lisäksi on huomioitava lisäteknologioiden energiankulutus. Toisaalta agrisymbioosissa muodostuu ostoenergian ja ravinteiden korvaushyötyjä sekä lantalogistiikan säästöjä nykytilaan verrattuna. Muutosten vaikutusta ympäristökorvausjärjestelmään ei huomioitu, koska kasvilajien vaihto ei vaikuta perustukeen.

Kannattavuuslaskennassa on käytetty seuraavia oletuksia:

- Biokaasulaitos, CHP, lämpökattila ja linko 780 000 € (arvioitu kahden eri laitostoimittajan tarjouksien perusteella)
- Jälkikaasuallas + muut lietesäiliöiden kattamiset 150 000 € (Heilä 2019)
- Syöttöputkijärjestelmä 120 000 € (Kon-Ins Oy:n tekemä suunnitelma hankkeelle, luku 2.4)
- Rehumehun puristin 75 000 € (Heilä 2019)
- Muut pohjatytöt 100 000 € (Heilä 2019)

- Maatilan investointituki 40 %
- Investoinnin poisto 15 vuoden tasapoistona
- Korko 3 %
- Ostosähkön hinta 0,1 €/kWh
- Lämmön (polttoöljyn) hinta 0,6 €/litra
- Mineraalitypen vertailuhinta 1 €/kg
- Traktorin keskikustannus ilman polttoainekustannusta 70 €/h
- Vehnän myyntihinta 150 €/t (VYR 2019)
- Soijan hinta 368 €/t (Rauhala 2019)

Nykytilan lantalogistiikan kustannukset muodostuvat lietelannan kuljetuksesta ja levityksestä omille pelloille ja vastaanottavien tilojen pelloille. Logistiikka on optimoitu ajan suhteen siten, että kuljetukseen ja levitykseen käytetään kolmea traktoria, joista kaksi siirtää lietettä levitysalueille ja yksi levittää. Omille pelloille saadaan tällöin siirrettyä ja levitettyä keskimäärin 60 m³/h ja vastaanottaville pelloille 30 m³/h, jolloin työaika kuluu yhteensä 235 h/a.

Agrisymbioosissa logistiikan kustannukset muodostuvat nestejakeen pumppauksesta ja levityksestä omille pelloille sekä kuivajakeen kuljetuksesta omille ja vastaanottaville pelloille. Nestejakeen logistiikassa syöttöputken kautta on käytössä kolme traktoria, joista kaksi pumppaa ja yksi levittää. Työaika kuluu 58 h. Kuivajakeetta kuljetetaan 40 m³:n kuormina ja kuljetusaika omille pelloille on 3 h/kuorma ja vastaanottaville pelloille 4 h/kuorma eli yhteensä 148 h.

Agrisymbioosissa omilla pelloilla saadaan hyödynnettyä 14 261 kg enemmän lannasta ja nurmista peräisin olevaa liukoista tyypeä kuin nykytilassa, mutta nykytilaan verrattuna tyyden tarve myös kasvaa. Mineraalitypen ostotarve on kuitenkin 7 411 kg/a pienempi kuin nykytilassa tarkoittaen vastaavaa säästöä euroina (nurmisympäristössä mineraalityyppiä korvaavaa liukoista tyypeä olisi omilla pelloilla hyödynnettävissä jopa 22 677 kg enemmän kuin nykytilassa, jolloin mineraalitypen ostotarve on 9 196 kg/a pienempi kuin nykytilassa).

Agrisymbioosissa muodostuu vuosittaisia lisäkustannuksia investoinneista ja huoltokustannuksista 111 050 € nykytilaan verrattuna (Taulukko 3.3). Lisäksi tila menettää vehnän myyntituloja 25 200 €/a pienemmän vehnäalan vuoksi. Agrisympäristöön vuotuiset lisäkustannukset tilalle ovat siten 136 250 €. Suoria säästöjä ja korvaushyötyjä agrisympäristössä muodostuu omasta sähkön ja lämmön tuotannosta, mineraalitypen vähentyneestä tarpeesta, viljelytoimenpiteiden ja lantalogistiikan alemmasta polttoaineen kulutuksesta, soijan ostotarpeen vähenemisestä sekä etenkin lantalogistiikan työ- ja pääomakustannusten alenemisestä yhteensä 136 434 €/a (Taulukko 3.3). Näillä laskentaoletuksilla toimintamallin muutos agrisympäristöksi ei heikennä tilan taloudellista kannattavuutta.

Taulukko 3.3. Agrisympäristössä muodostuvat lisäkustannukset ja säästöt vuositasolla.

		€/a
Kustannukset	Investointikustannukset	1 225 000
	Huoltokustannukset	40 000
	Poistot	49 000
	Korot	22 050
	Vehnän myyntitulojen väheneminen	25 200
	Yhteensä	136 250
Säästöt	Sähkö	53 265
	Lämpö	41 741
	Mineraalitypen ostosäästö	7 411
	Polttoaine: lantalogistiikka	1 716
	Polttoaine: viljelyn muutos	1 426
	Työ- ja pääomakustannukset: lantalogistiikka	26 828
	Soijan korvaaminen	4 048
Yhteensä	136 434	
Erotus		184

4 Elinkaaristen ympäristövaikutusten arviointi

Elinkaariarviointi on menetelmä, jonka avulla pyritään arvioimaan toiminnan elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. Tässä osiossa esitetään elinkaaristen ympäristövaikutusten arviointi tarkastellulle emakkotilalle nykytilassa ja kahdessa ympäristövaikutusten vähentämistä tavoittelevassa symbioosissa.

Tarkasteltavan emakkotilan elinkaarisia ympäristövaikutuksia tarkasteltiin elinkaariarviointiin (Life Cycle Assessment, LCA) perustuvalla standardoidulla menetelmällä (ISO 14040). Sen avulla on mahdollista eritellä toiminnan eri vaiheiden ympäristövaikutuksia sekä tunnistaa toimintoja ja tekijöitä, joiden ympäristövaikutukset ovat toiminnan elinkaaren aikana merkittävimpiä. Toiminnan muutosten ympäristövaikutusten arvioinnissa menetelmä on erityisen hyödyllinen, ja sitä voidaan siten hyödyntää ohjaamaan päätöksentekoa vähiten ympäristöä kuormittaviin menetelmiin ja toimintoihin. Arvioinnin tavoitteena oli selvittää, miten elinkaariset ympäristövaikutukset muuttuvat, kun tilalla siirrytään esitettyyn symbioosimuotoiseen tuotantoon (ks. luku 2). Järjestelmän elinkaari sisältää toiminnot lannankäsittelyketjusta, rehun tuotannosta sekä energian tuotannosta ja kulutuksesta.

Varsinainen laskennallinen ympäristövaikutusten arviointi rajattiin ilmaston lämpenemiseen ja happamoitumiseen. Lisäksi arvioitiin toiminnan rehevöittäviä vaikutuksia.

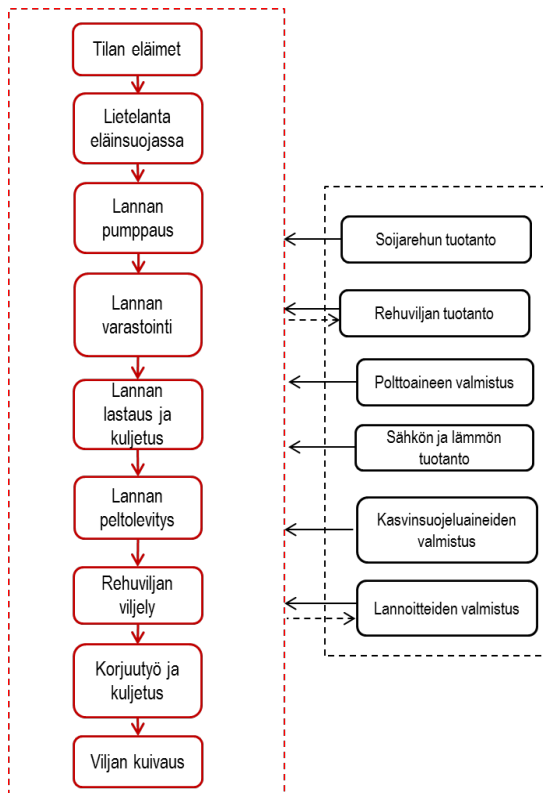
Elinkaaristen ympäristövaikutusten laskennassa päästöt suhteutettiin yhtä tilan toimintavuotta kohden. Mallinnus toteutettiin SimaPro-ohjelmistolla, johon on kytketty laaja Ecoinvent-tietokanta (Ecoinvent v3.5). Lähtötiedon kokoamisessa hyödynnettiin kirjallisuutta sekä asiantuntija-arvioita.

Päästöjen karakterisoinnissa käytettiin ReCiPe-keskipistemallinnusta (ReCiPe Midpoint H 2016), joka täydennettiin ilmastonmuutosvaikutusten osalta IPCC:n kertoimilla metaanille ja dityppioksidille (IPCC 2014).

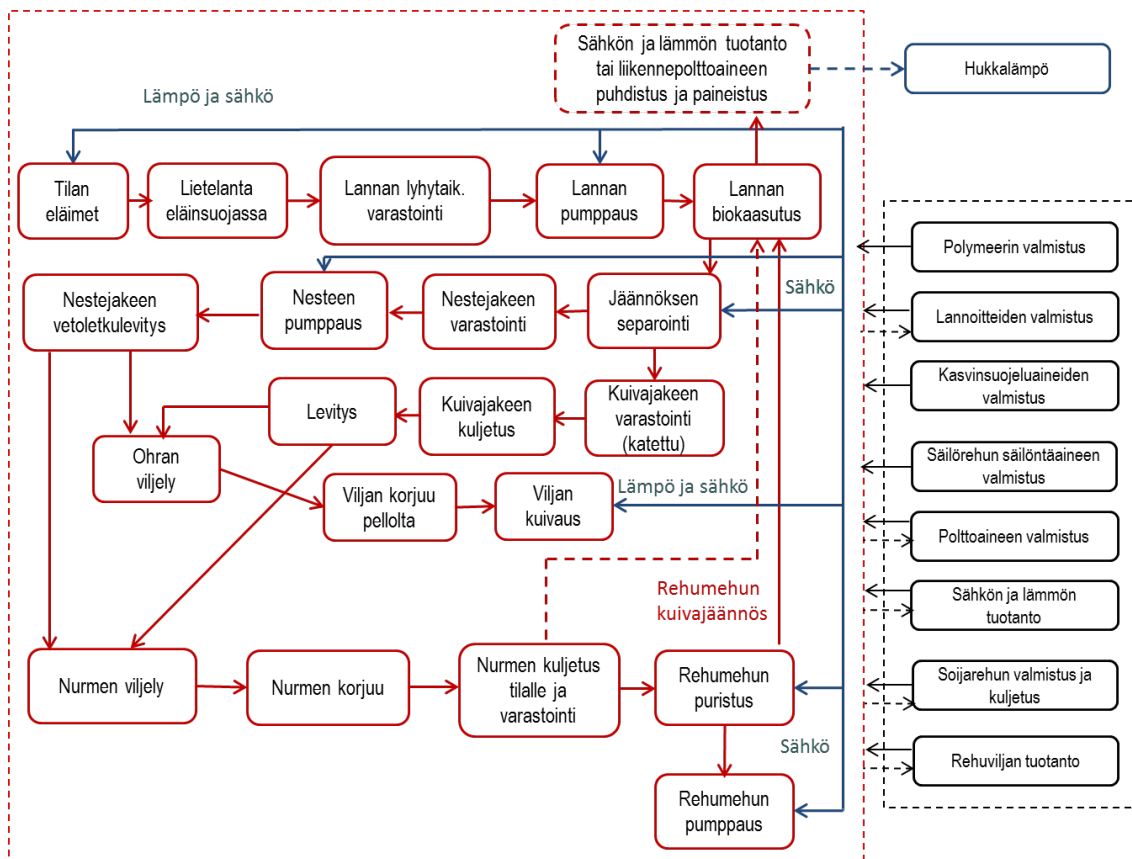
4.1 Elinkaariarvioinnin rajaus ja tarkasteltavat skenaariot

Elinkaariarvioinnissa tarkastellaan kaikkia tilan toimintoja sisältäen lannankäsittelyketjun, rehun tuotannon sekä energian tuotannon ja kulutuksen (Kuvat 4.1 ja 4.2). Myös vaikutukset lantaa tai kuivajaetta vastaanottavilla pelloilla sisältyvät lannankäsittelyn tarkasteluun. Arvioitavien järjestelmien tarkat taustatiedot mm. peltoaloista, ravinteiden käytön jakautumisesta ja energiankulutuksesta on esitetty luvussa 2.

Biokaasua voidaan hyödyntää symbiooseissa eri tavoin, joten vaihtoehtoisia ympäristövaikutusten tarkasteluja muodostettiin yhteensä neljä (Taulukko 4.1). Skenaariossa 1 kaikesta biokaasusta tuotetaan sähköä ja lämpöä CHP:llä tilan tarpeisiin, jotta tila voi luopua ostosähkön ja polttoöljyn käytöstä. Ylimääräinen sähkö myydään verkkoon. Koska muodostuvalle ylimääräiselle lämmölle ei ole erikseen hyödyntäjää, se vapautuu hukkalämpönä. Skenaariossa 2 kaikesta tuotetusta biokaasusta valmistetaan liikennepolttoainetta, joka myydään tilalta ulos. Biokaasulaitoksen toiminnan edellyttämä sähkö ostetaan verkosta ja lämpö tuotetaan sekä biokaasulaitoksen että tilan tarpeisiin hakkeella. Skenaario 3 kuvaa omavaraista symbioosia, jossa biokaasusta tuotetaan sähköä ja lämpöä sekä liikennepolttoainetta tilan tarpeisiin. CHP-yksiköllä täytetään tilan sähkön tarve ja sen tuottaman lämmön lisäksi loput tilan tarvitsemasta lämmöstä tuotetaan erillisellä lämpökattilalla. Liikennepolttoaineen tuotantoon jäljelle jäävä osuus biokaasusta hyödynnetään tilan tarpeisiin ja ylijäävä osuus tuotannosta myydään. Skenaariossa 4 tarkastellaan nurmisymbioosia, jossa kaikesta tuotetusta biokaasusta valmistetaan liikennepolttoainetta myyntiin.



Kuva 4.1. Tarkasteltavan järjestelmän toimet ja rajaus nykytilassa.

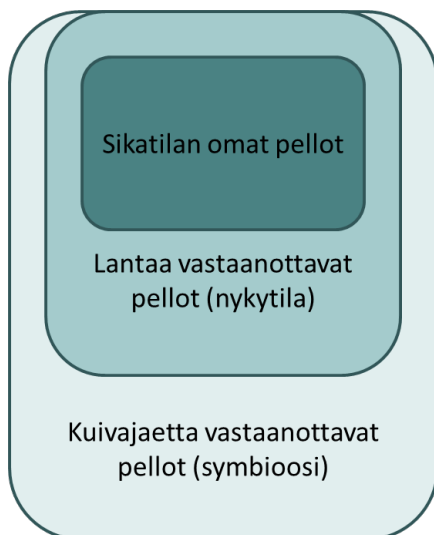


Kuva 4.2. Järjestelmän rajaus agrisymbioosissa ja nurmisymbioosissa. Nurmisymbioosissa nurmea hyödynnetään eläinten ruokinnan lisäksi suoraan säilörehuna biokaasulaitoksen syötteenä ja tuotetusta biokaasusta jalostetaan liikennepolttoainetta.

Taulukko 4.1. Biokaasun hyödyntämismuuttokorkeina tarkastellut skenaariot.

Skenaariot	1. CHP	2. Liikennepolttoaine	3. CHP + Liikennepolttoaine	4. Nurmisympioosi + Liikennepolttoaine
Biokaasu	Sähköä ja lämpöä tilan tarpeisiin, jotta tila voi luopua os-tosähköstä ja polttoöl-jyn käytöstä. Ylijää-mäsähkö verkkoon. Ylijäämälämpöä ei hyödynnetä.	Biokaasusta tuotetaan liikennepolttoainetta, joka myydään. Laitok-sen vaatima sähkö ostetaan verkosta ja lämpö tuotetaan hak-keella. Myös tilan tarvit-sema lämpö tuotetaan hakkeella, sähkö oste-taan verkosta.	Biokaasusta tuotetaan sähköä ja lämpöä (CHP) ja lämpöä läm-pökattilalla tilan tarpei-siin ja liikennepoltto-ainetta ylijäävästä osuudesta. Liikenne-polttoaine hyödynne-tään tilan omissa kulje-tuksissa ja ylijäävä pieni osuus myydään.	Koko vehnän tuotanto-ala vaihdetaan nurmel-le. Nurmi hyödynnetään biokaasulaitoksessa lannan ja puristejään-nöksen lisäksi. Biokaa-susta tuotetaan liiken-nepolttoainetta, joka myydään.

Tarkasteltava järjestelmä määräytyy tilan lannan levityksen vaikutuspiirissä olevien peltojen mukaan (Kuva 4.3). Nykytilan ja symbioosien laskennassa on huomioitu lannan/mädätteen jakeiden päästöt levityksineen omien peltojen lisäksi myös vastaanottavilla pelloilla. Myös kuljetusten päästöt huomioi-daan. Vastaanottavien peltojen viljan tuotantoa ja mineraalilannoitteiden tarvetta ei ole sisällytetty las-kentaan, mutta mineraalilannoitteiden käytön väheneminen huomioidaan hyvityksenä myös vastaanot-tavilla pelloilla. Lannan liukoisen tyypin oletetaan siis laskennallisesti vähentävän vastaavan määrän mineraalityypin käyttöä. Symbiooseissa mädätteestä erotettua kuivajaetta kuljetetaan pidemmälle kuin lietelantaa nykytilassa. Molemmista tarkasteluissa vastaanottavilla pelloilla oletetaan olevan niiden sisältämälle fosforille tarvetta. Maaperän hiilitaseen arvioinnissa otettiin huomioon myös lietelantaa tai kuivajaetta vastaanottavien peltojen hiilivaraston muutos.



Kuva 4.3. Järjestelmän vaikutusalue nykytilassa ja symbiooseissa.

4.2 Päästöjen laskentaperusteet

4.2.1 Lietelannan ja mädätteen käsittelyn päästöt

Lietelannan varastoinnissa ja levityksessä muodostuvat ammoniakkipäästöt (NH₃), typpikaasu (N₂) ja typpioksidipäästöt (NO) perustuvat kansainvälisiin laskentaohjeisiin sekä kansalliseen laskentamalliin (EMEP/EEA 2016, Grönroos ym. 2017). Lannan varastointitapa- ja aika sekä levitystapa- ja ajankohta vaikuttavat muodostuviin päästöihin. Lietelannan, mädätteen ja siitä separoitujen jakeiden ominaisuustiedot on esitetty kappaleessa 2.2.

Kasvihuonekaasuista dityppioksidipäästöt (N₂O) ja metaanipäästöt (CH₄) laskettiin IPCC:n ohjeen mukaisesti (IPCC 2006). Nykytilan lietalannan käsittelyketjun metaanipäästöjen laskennassa käytettiin Tier 2 laskentatapaa. Metaani- ja dityppioksidipäästöjen laskentaohjeessa päästöt kuvaavat eläinsuojan ja varastoinnin päästöjä yhteensä, mutta tässä hankkeessa eläinsuojan päästöt oli rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Koska nykytilassa lietalanta pumpataan viikoittain eläinsuojasta varastoon, arvioitiin sen varastoinnin muodostavan 95 % lannankäsittelyn metaanipäästöistä.

Mädätteen sekä siitä separoidun neste- ja kuivajakeen varastoinnin metaanipäästöjen arviointiin sovellettiin IPCC:n laskentaohjeen Formula 1 -laskentakaavaa (IPCC 2006). Mädätteen jälkikaasupotentiaalin arvioinnissa hyödynnettiin Luonnonvarakeskuksen toteuttamien metaanintuottopotentiaalien (BMP) määritysten tuloksia erilaisten suomalaisten biokaasulaitosten mädätteen BMP:sta. Luken käyttämä BMP-määrittäminen on kuvattu esimerkiksi Tampion ym. (2014) toimesta. Menetelmässä määritetään aina mikrobiympäristönä käytetyn biokaasureaktorin mädätteen BMP, joka vähennetään tutkittavien biomassojen tuottamasta metaanista. Ympörien tulokset kuvaavat näin ollen niiden teoreettista jälkikaasupotentiaalia optimaalisissa olosuhteissa (35 °C). Koska aineistossa (83 määrittystä, dataa ei koontina julkaistu) suurin osa on aktiivista mädätettä ilman jälkikaasutusta (viipymä prosessissa ollut luokkaa 25-35 vrk), tässä tarkastellun sikalan biokaasulaitoksen mädätteen jälkikaasupotentiaalin oletettiin olevan määritysten keskiarvoa alhaisempi (tarkastellun laitoksen viipymä jälkikaasualtainen 83 vrk). Luken Kuopion toimipisteen maatilakohtaisen biokaasulaitoksen (syötteenä lypsykarjan lietalanta ja nurmi) määritysten mukaan jälkikaasupotentiaali oli reaktorin jälkeen (viipymä noin 28 vrk) noin puolet suurempi kuin jälkikaasualtaan jälkeen (viipymä noin 28 vrk, koko laitoksen viipymä siis yhteensä noin 56 vrk). Näin ollen suomalaisten märkäprosessina toimivien biokaasulaitosten mädätteen keskimääräiseksi jälkikaasupotentiaali arvioitiin 30,4 m³/tVS (B0 IPCC:n laskentakaavassa). Koska tarkastellussakaan laitoksessa mädätteen varastointi ei näin optimaalisissa olosuhteissa tapahdu, vaan mädätteen lämpötila ja täten myös mikrobitoiminta on alhainen, mädätteen varastoinnin aikana metaanipäästöjä arvioitiin muodostuvan 66 % jälkikaasupotentiaalista (johdettu varastointikokeiden tuloksista; Paavola ja Rintala 2008, Paavola ja Rintala, käsikirjoitus).

Kuivajakeen varastoinnin ammoniakkipäästöt arvioitiin perustuen asiantuntija-arvioon siten, että liukoisen typen hävikin oletettiin olevan yhteensä 25 % (Paavola 2019). EMEP/EEA:n (2016) erilaisten lantojen varastoinnin ammoniakkipäästökertoimissa ei ole lannasta prosessoiduille valmistelle omia kertoimia. Mädätetty kuivajake ja kuivalanta eivät vastaa toisiaan ominaisuuksiltaan, joten kuivalannan kertoimet eivät todennäköisesti sovellu sellaisenaan kuivajakeen varastoinnille. Mikäli päästöt mädätteen kuivajakeelle laskettaisiin vastaavasti kuin kuivalannalle, liukoisen typen hävikki olisi 53 % varastoitessa kuivajake katetussa varastossa.

4.2.2 Rehun tuotanto

Vehnän, ohran ja nurmen tuotantoketjujen päästöt laskettiin perustuen Ecoinvent-tietokantaan (Ecoinvent v3.5). Laskennassa huomioitiin kylvösiementen tuotanto, kylvö ja maanmuokkaus, kalkitus sekä kasvisuojelutoimenpiteet, sadon korjuu ja viljan kuivaus. Kalkitukselle laskennassa huomioitiin kalsiumkarbonaatin ilmakehään vapauttama hiilidioksidi, joka on 440 kg CO₂/ t CaCO₃ (Pipatti ym. 2000).

Tarvittavien mineraalityypilannoitteiden käyttö on esitetty tuloksissa omana prosessinaan, jotta sen tarpeen muutosta voidaan skenaarioiden välillä tarkastella.

Myös tilan käyttämän soijarehun tuotannon päästöt laskettiin käyttämällä Ecoinvent-tietokannassa olevia tietoja. Soijapavun tuotantomaiden oletettiin jakaantuvan A-Rehun laskentahetken (kesäkuu 2019) tuotantomaiden mukaan (Kytölä 2019). Soijarehun tuotanto sisältää soijapavun viljelyn, prosessoinnin sian rehuksi sekä kuljetukset.

4.2.3 Hiilivaraston muutos kivennäismaan pelloilla

Tutkimuksessa selvitettiin viljelykierron ja biokaasun tuotannon vaikutuksia maatalousmaan hiilitaseeseen ja CO₂-päästöihin. Tutkimuksessa käytettiin samaa hiilitaseen laskentamenetelmää kuin Suomen kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa (Tilastokeskus 2017). Tarkasteltavien peltöjen maaperän hiilivaraston muutokset laskettiin peltolohkokohtaisten sato- ja lannoitustietojen perusteella. Tiedot yhdistettiin kansallisiin muutokertoimiin, joiden avulla arvioitiin maaperään vuosittain tulevan orgaanisen aineen määrä (Taulukko 4.2).

Nurmen lisääminen viljelykiertoon voi kasvattaa maanalaista hiilisyötettä merkittävästi, koska nurmella on syvempi juuristo kuin viljakasveilla (Bolinder ym. 2007). Nurmen juuriston vaikutusta maaperän hiilivaraston muutokseen tutkittiin herkkyysanalyysin avulla, koska suomalaisilta nurmilta on saatavana niukasti mittaustuloksia. Aikaisempien tutkimusten mukaan nurmen verso-juuri -suhde vaihtelee 1 ja 2 välillä ollen merkittävästi pienempi kuin viljoilla (Bolinder ym. 2007). Herkkyysanalyysissä kokeiltiin kolmea arvoa: 1,30, 1,75 ja 2,20. Arvoista ensimmäinen (1,30) vastaa kasvihuonekaasuinventaariossa käytettyä kesannon verso-juuri -suhdetta. Viimeinen arvoista (2,2) vastaa kasvihuonekaasuinventaariossa käytettyä kiinteää, noin 4000 kg/ha nurmen juuriston biomassaa. Keskimääräinen arvo (1,75) on näiden puolivälissä.

Taulukko 4.2. Yasso15-mallin syöttötietona käytetty viljelykasvien ja lietalannan/mädätteen vuosittainen hiilisyöte tilan omilla ja lantaa vastaanottavilla pelloilla nykytilassa, agrisymbioosissa ja nurmisymbioosissa. Keskimääräinen syöte laskettiin kunkin tarkastellun vaihtoehdon viljelykasvien pinta-alalla painottaen.

Kasvi / lannoite	Hiilisyöte (kg/ha/a)					
	Tilan pellot			Lietelantaa/mädätettä vastaanottavat pellot		
	Nykytila	Agrisymbioosi	Nurmi-symbioosi	Nykytila	Agrisymbioosi	Nurmi-symbioosi
ohra	1 610	1 490	1 490	1 200	1 200	1 200
vehnä	630	420	0	1 380	1 380	1 380
kesanto	180	180	180	0	0	0
nurmi	0	270	270	0	0	0
säilörehu	0	0	200	0	0	0
sian lietalanta	180	0	0	320	0	0
mädätetty sian lietalanta	0	49	52	0	480	390
mädätetty nurmi	0	54	130	0	530	970
Yhteensä	2 600	2 460	2 320	2 900	3 590	3 940

Peltöjen hiilivaraston koko ja sen vuosittainen muutos simuloitiin aikavälille 2001–2100 maaperän hiilen kiertoa kuvaavalla Yasso15-mallilla (Liski ym. käsikirjoitus). Laskennassa oletettiin, että ennen peltöjen perustamista maaperän hiilivarasto vastasi keskimääräistä metsämaan hiilivarastoa. Peltöjen perustamisen jälkeen maaperän hiilen kiertoa simuloitiin sata vuotta aikavälillä 1900–2000 tarkasteltavan tilan nykyisellä keskimääräisellä kasvillisuuden ja lannan hiilisyötteellä (Taulukko 4.2) varsinaisten skenaarioajojen alustamiseksi. Tilan ulkopuolisten lietalantaa tai mädätteen kuivajaetta vastaanottavien peltöjen oletettiin olleen mineraalilannoituksella ennen varsinaisen simulointijakson alkua vuonna 2001.

Kaikissa malliajoissa käytettiin vuosien 1975–2004 keskimääräistä vuosittaista lämpötilaa ja sademäärää Ruskon säähavaintoasemalta. Malliajoissa tarvittava orgaanisen aineen kemiallinen koostumus

(Taulukko 4.3) perustui kasvihuonekaasuinventaariossa käytössä oleviin lukuarvoihin (Tilastokeskus 2017) ja viimeaikaisiin mittaustuloksiin (Heikkinen ym. käsikirjoitus).

Viljelykierron ja biokaasun tuotannon ilmastovaikutus arvioitiin laskemalla yhteen tilan omien peltojen ja lantaa vastaanottavien peltojen keskimääräiset vuosittaiset maaperän CO₂-päästöt simulointijakson alku- ja päätepisteiden välillä. Päästöt laskettiin liukuvana keskiarvona, jonka arvioitiin kuvastavan riittävän tarkasti ilmakehän hiilitaseen ja kumulatiivisen säteilypakotteen muutosta.

Taulukko 4.3. Yasso15 -mallin syöttötietona käytetty viljelykasvien ja lannan kemiallinen koostumus. A viittaa hap-poon liukeneviin hiiliyhdisteisiin, W vesiliukoisiin, E etanoliliukoisiin ja N näissä uutoissa liukenemattomaan osaan.

Kasvi / lannoite	Yhdiste (%)			
	A	W	E	N
ohra ja vehnä	71	8	3	18
nurmi ja kesanto	46	32	4	18
sian lietelanta	52	17	14	17
mädätetty sian lietelanta	31	4	6	58
¹⁾ mädätetty nurmi	47	14	5	35

¹⁾ Mädätetylle nurmelle sovellettiin mädätetyn naudan lietelannan arvoja tarkempien tietojen puuttuessa.

4.2.4 Energian tuotanto ja käyttö

Tarkastellun sikatilan lämmöntarve sekä viljankuivauksessa tarvittu lämpö tuotetaan nykytilassa polttoöljyllä. Symbiooseissa lämpöä sekä tilan että biokaasulaitoksen tarpeisiin tuotetaan biokaasulla (skenaariot 1 ja 3) tai hakkeella (skenaariot 2 ja 4). Laskennassa käytetyt polttoaineiden polton päästökertoimet on esitetty taulukossa 4.4 (Karvosenoja 2018, Soimakallio 2018). Polttoaineiden (hake ja kevyt polttoöljy) hankintaketjujen lähtötietoina on käytetty Ecoinvent-tietokantaa.

Biokaasun energiahyödyntämisestä syntyy vähäinen määrä metaanipäästöjä. IPCC:n (2006) ohjeen mukaan poltosta aiheutuu 0,1 g CO₂ekv/MJ.

Metsähakkeen poltossa vapautuva hiilidioksidi nostaa ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta, koska poltossa hiilidioksidi vapautuu nopeammin kuin vastaavan puumäärän kasvu sitoo hiilidioksidia ilmakehästä. Hakkeen polton ilmastovaikutus riippuu myös siitä, millaista puuta hakkeeseen on käytetty. Pysty-puun harvennuksen vaikutus metsän hiilivarastoon on merkittävästi suurempi kuin hakkuutähteiden korjuun vaikutus. Hakkeen polton hiilidioksidipäästöille käytettiin laskennassa arviota suomalaisen keskimääräisen hakkeen polton päästöistä, 55 g CO₂/MJ (Soimakallio 2018).

Tila käyttämä verkkosähkö vastaa päästöiltään Suomen keskimääräistä sähköntuotantoa (SYKE 2017).

Taulukko 4.4. Polttoaineiden polton päästökertoimet (Karvosenoja 2018, Soimakallio 2018).

Päästö	Hake	Polttoöljy	Biokaasu
CO ₂ , fossiilinen (g/MJ)	55	74,5	0,1
NO _x (mg/MJ)	100	70	70
SO ₂ (mg/MJ)		40	
Hiukkaset <2,5um (mg/MJ)	90	1,99	0,2
TSP (mg/MJ)	100	2,86	0,2

4.2.5 Biokaasuprosessi ja liikennepolttoaineen tuotanto

Biokaasuprosessin aikana syntyy pieniä määriä metaanipäästöjä tuotannon eri vaiheissa. Varsinaisen prosessin aikana metaanivuotoja voi tapahtua mm. venttiileistä sekä rakenteista. Mikäli reaktori joudutaan avaamaan kesken prosessin huoltotoimenpiteiden vuoksi, suurempia määriä metaania voi karata

ilmakehään. Kirjallisuudessa prosessin metaanivuodot on esitetty olevan n. 0,6-4 % tuotetusta metaanista (Groth ym 2015, Liebetrau ym 2013, Poeschl ym 2012, Reinelt ym 2017, Jacobs ym 2017). Tässä laskennassa käytettiin prosessissa aiheutuville metaanivuodoille 2 %:ia metaanintuotosta sisältäen huoltotoimenpiteiden aikaiset vuodot.

Skenaarioissa 2, 3 ja 4 biokaasua jalostetaan liikennepolttoaineeksi. Jalostusprosessissa metaanisaantona käytettiin 98 %. Koska liikennepolttoainejalostuksen oletettiin olevan parhaan käyttökelpoisen tekniikan mukaista ja jalostusprosessissa on siten käytössä poistokaasupoltin, metaanipäästöjä oletettiin muodostuvan poistokaasun poltosta vastaava määrä kuin biokaasun poltosta, eli 0,1 g CO₂ekv/MJ. Jalostusprosessin aikaisille metaanipäästöille tehtiin myös herkkyystarkastelua.

4.2.6 Kuljetukset ja konetyö

Lietelannan sekä mädätteen kuivajakeen kuljetusten ja tilalla tapahtuvan konetyön (mm. levitysajo) päästöt perustuvat VTT:n LIPASTO-tietokantaan (www.lipasto.vtt.fi) sekä Ecoinvent-tietokantaan (Ecoinvent v3.5). Nämä kuljetukset on esitetty tuloksissa kuljetukset-prosessissa. Sen sijaan aliprosesseihin sisältyvät kuljetukset on sisällytetty varsinaiseen tuotantoprosessiin. Esimerkiksi nurmen tuotantoon liittyvät kuljetukset sisältyvät nurmen tuotantoprosessiin.

4.2.7 Hyvitettävät prosessit

Lannan peltokäyttö korvaa pelloille lisättävää mineraalilannoitetta tietyin reunaehdoin. Tässä laskennassa lietelannan liukoisen typen laskettiin korvaavan täysimääräisenä mineraalityypilannoitteita. Lannan typpipitoisuudessa otettiin huomioon sen käsittelyn aikana muodostuvat typpihävikit, jotka alentavat lannan liukoisen typen määrää. Viljapelloille levitettävien neste- ja kuivajakeiden sisältämä liukoinen typpi korvaa sijoituslevitettyä mineraalityppeä. Koska nykytiedon mukaan sijoituslevityksessä ei muodostu ammoniakkipäästöjä, ei hyvitettäviä ammoniakkipäästöjä viljapelloille levitettäessä tapahdu. Nestejakeita levitetään symbiooseissa lisäksi nurmen kasvustoon, jolloin se korvaa mineraalityypilannoitteen käyttöä ja muodostuu myös hyvitettäviä ammoniakkipäästöjä. Ravinteiden käytön jakautuminen nykytilassa ja symbiooseissa on esitetty kappaleessa 2.3 (kuva 2.2, taulukko 2.3, liite 1).

Tarkastellun sikatilan pelloista 40 % on viljavuusluokissa korkea ja arveluttavan korkea eikä niille näin ollen fosforilannoitusta anneta. Alhaisemman viljavuusluokan pelloilla lantafosforin oletetaan korvaavan mineraalifosforia sen verran kuin kussakin viljavuusluokassa fosforilannoitusta voidaan ympäristökorvauksen sitoumusehtojen mukaan ja ilman lantapoikkeusta antaa (Taulukko 2.4).

Laskennassa on oletettu, että biokaasu korvaa täysimääräisesti energiasuhteeltaan bensiinin valmistusta ja käyttöä. Käytännössä näin ei välttämättä ole, sillä kulutuksen ja päästöjen sääntely vaikuttaa energiakorvaushyötyyn. Mikäli korvaushyöty on tässä oletettua alhaisempi, ilmastovaikutus on esitettyä tulosta suurempi (lisätietoa esimerkiksi IPCC 2014, s.631).

4.3 Laskennan epävarmuus ja herkkyystarkastelut

Mädätteestä separoidun kuiva- ja nestejakeen varastoinnin ammoniakkipäästöarvioihin kohdistuu epävarmuuksia. EMEP/EEA (2016) laskentaohje perustuu prosessoimattomien lantojen arvioihin, eikä mistään raaka-aineesta prosessoitujen mädätteen kuivajakeen ja nestejakeen varastoinnille ole erikseen määritetty päästökertoimia. Mädätteen pH on prosessoimattomia lantoja korkeampi ja siinä on enemmän liukoista typpeä, mistä syystä mädätteen varastoinnin ammoniakkipäästöt voivat olla suuremmat kuin lannalla. Jos mädäte separoidaan tuoreeltaan neste- ja kuivajakeeseen, typpi jakautuu eri tavoin jakeisiin. Kuivajakeessa on pääasiassa orgaanista typpeä, kun taas nestejakeessa on pääosa liukoisesta tyypestä. Tämän vuoksi etenkin nestejakeen varastointi on syytä toteuttaa katetussa säiliössä.

Biokaasuprosessin aikana nopeasti hajoava orgaaninen aines saadaan biokaasuna talteen, joten mädätteessä ei ole jäljellä yhtä paljon nopeasti hajoavaa hiiltä kuin prosessoimattomassa lannassa. Muodostuneen kuivajakeen varastoinnin metaanipäästöjen arviointiin ei kuitenkaan ole tällä hetkellä yleisesti hyväksyttyä ja käytössä olevaa menetelmää, ja kirjallisuudessa esitetyt mädätteen varastoinnin päästömittaukset ovat lietemäiselle mädätteelle eikä siitä separoiduille jakeille. Tässä laskennassa käytetty kuivajakeen varastoinnin metaanipäästö perustuu mädätteiden hajoamiseen optimaalisissa olosuhteissa laboratorioskokeissa, minkä katsottiin olevan paras saatavilla oleva tieto yhdistettäväksi IPCC:n laskentakaavaan (ks. 4.2.1). Päästöarvioon kohdistuu silti epävarmuutta ja mitattua tietoa mädätteiden ja niistä separoitujen jakeiden päästöistä tarvitaan.

Orgaanisen aineen lisääminen maaperään kasvattaa maaperän hiilivarastoa, mikäli hiilen poistuma ei ylitä syötettä. Lanta sisältää erilaisia hiiliyhdisteitä, mistä osa on nopeasti hajoavassa ja osa pysyvämmässä muodossa. Biokaasuprosessissa lannan nopeasti hajoava hiili otetaan talteen energiana, kun taas prosessoimattomassa lannassa se on vielä tallessa. Maaperän mikrobit, kuten bakteerit ja mykorrhizasienet, hajottavat orgaanista ainetta, muuttavat hiiltä pysyvämpään muotoon ja muodostavat itse osan pysyvästä hiilivarastosta (Liang ym. 2017). Nopeasti hajoavalla hiilellä saattaa olla positiivinen vaikutus maaperän hiilivaraston kasvuun, koska mikrobit voivat käyttää sitä ravinnokseen helposti (Chenu ym. 2019). Siten on mahdollista, että prosessoimattoman lannan nopeasti hajoava hiili ruokkii maaperän mikrobitoimintaa enemmän kuin mädätteeseen jäänyt stabiilimpi hiili, edesauttaen näin hiilivaraston kertymistä pitkällä aikavälillä. Toisaalta nopeasti hajoavan hiilen lisääminen maaperään saattaa kiihdyttää lisääntyneen mikrobitoiminnan kautta maaperän pysyvemmän hiilen hajoamista (Fontaine ym. 2007). Mikrobien kokonaisvaikutus maaperän hiilivaraston muutokseen riippuu hiiltä kerryttävien ja hajottavien prosessien keskinäisistä suhteista. Koska mikrobien vaikutukset maaperän hiilen kiertoon tunnetaan huonosti, niitä ei voitu arvioida tässä tutkimuksessa. Lietelannan sekä neste- ja kuivajakeiden levittämisen vaikutuksia maaperän hiilivaraston muutokseen arvioitiin kuitenkin Yasso-mallilla. Tällä mallilla voidaan arvioida riittävän luotettavasti ilman lämpötilan, sademäärän ja levitettävien jakeiden kemiallisen koostumuksen vaikutukset maaperän hiilivaraston muutokseen (Karhu ym. 2012).

Sekä agri- että nurmisymbioosissa osa tilan viljapelloista muutettiin viljelykierron myötä nurmelle. Nurmisymbioosissa oletettiin, että tilan koko vehnän tuotantoala korvataan nurmella. Laskennassa ei otettu huomioon seurannaisvaikutusta vehnäntuotantoalan vähenemisestä, vaikka tilan vehnäntuotannon väheneminen saattaisi äärimmäisessä tapauksessa johtaa peltoalan raivaamiseen jossain muualla. Toisaalta rehuvehnästä on ollut myös ylitarjontaa viime vuosina, jolloin tuotantoalan väheneminen voisi laskennallisesti vähentää hävikkililjan määrää. Nykytilassa tuotettu vehnä menee myyntiin.

Nurmea sisältävän viljelykierron myötä tilan viljelymaan rakenne voi parantua, joka voi johtaa pitkällä aikavälillä satotasojen kasvuun. Toisaalta nurmiviljely saattaa kuluttaa paljon ravinteita maaperästä, mikäli seassa ei viljellä nurmipalkokasveja, tai ravinnetaseesta ei pidetä muutoin huolta. Satohyötyjen arvioiminen on siten vaikeaa, koska riittävää tutkimustietoa ei ollut käytettävissä tätä laskentaa tehdessä. Viljelykierron vaikutuksia satotason kasvuun ei otettu huomioon laskennassa.

Biokaasun tuotantoketjun tulee olla hallittu ja hyvin suunniteltu, jotta tuotannonaikaiset metaanivuodot voidaan minimoida. Olennaista päästöjen hallinnan kannalta on riittävän pitkä viipymä prosessissa sekä mädätteen jälkikaasutus biokaasun talteenotolla. Herkkyystarkastelussa tarkasteltiin tilannetta, jossa biokaasuprosessin viipymä on merkittävästi peruslaskennassa oletettua lyhyempi. Tällöin myös biokaasun tuoton arvioitiin olevan 5 % alhaisempi. Samassa herkkyystarkastelussa oletettiin mädäte varastoitavan avoimessa säiliössä noin kuukauden ajan ilman jälkikaasuallasta. Tällöin säiliössä muodostuva biokaasu vapautuu ilmakehään. Separointi oletettiin toteutettavaksi vasta em. varastoinnin jälkeen. Biokaasu ohjattiin CHP:n tuotantoon, kuten skenaariossa 2. Samassa yhteydessä tarkasteltiin myös mädätteen avoimen varastoinnin vaikutuksia ammoniakkipäästöihin, jakeiden levityksestä aiheutuviin päästöihin sekä saavutettaviin mineraalilannoitteiden korvaushyötyihin. Levitykselle tarkasteltiin tilannetta, jossa kuivajakeen levityksen jälkeen multaus tapahtuisi vasta yli 12 tunnin kuluttua.

Biokaasun polton metaanipäästöihin liittyy epävarmuutta, sillä tarkastelussa käytetyn IPCC:n (2006) arvioon verrattuna päästökertoimen arvellaan olevan huomattavasti korkeampi REDII-laskentaohjeessa (12,5 g CO₂ekv/MJ). Ero päästökertoimessa perustuu siihen, että biokaasun poltossa (sähkön ja lämmön tuotannossa) osa biokaasusta voi jäädä palamatta ja siten aiheuttaa metaanipäästöjä. On kuitenkin epäselvää, soveltuuko olettaus myös biokaasulle, kun siitä tuotetaan pelkästään lämpöä lämpökattilalla. Aikaisemmissa tutkimuksissa päästökertoimen valinnalla ei ole todettu olevan merkittävää vaikutusta kokonaisuuden kannalta (Palva ym. 2019), joten päästökertoimen herkkyystarkastelua ei toteutettu tässä tutkimuksessa.

Biokaasun jalostusta liikennepolttoaineeksi tarkasteltiin herkkyystarkastelun avulla. Tilamittakaavaan soveltuvassa vesipesussa metaanipäästöt saattavat olla suurempia kuin perustilanteessa on oletettu, mikäli käytössä ei ole poistokaasupoltinta. Vesipesun metaanipäästönä käytettiin herkkyystarkastelussa siten 5,13 % ja myös heikompi liikennepolttoaineen saanto otettiin laskennassa huomioon (Khan ym. 2017).

Soijarehun tuotannon ilmastovaikutuksista suurin osa aiheutuu soijapavun viljelyn maankäytön muutoksista. Rehun tuotannon lähtötietoina on käytetty nykytilassa ja symbiooseissa Ecoinvent-tietokantaa (Ecoinvent v3.5) ja rehun alkuperämaina ja niiden osuuksina on hyödynnetty A-rehun ilmoittamia tietoja (Kytölä 2019). Soijapavun tuotantomaisissa viljelyn myötä raivataan uutta peltoa karjan laidunmaaksi. Laskennassa on arvioitu, että maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöt tapahtuvat 20 vuoden aikana. Koska soijarehun käyttömäärä on A-rehun rehuseoksissa suhteellisen vähäinen, mutta vaikutukset ovat suhteellisesti merkittäviä, selvitettiin herkkyystarkasteluissa, miten soijapavun tuotantomaa vaikuttaa soijarehun tuotannon ilmastovaikutukseen. Tarkasteluun valittiin seuraavat tuotantomat: Brasilia, Argentiina, USA ja Kanada.

Taulukossa 4.5 on koottu yhteen herkkyystarkasteluihin valitut osakokonaisuudet ja niille tehdyt tarkastelut.

Taulukko 4.5. Herkkyystarkasteluihin valitut osakokonaisuudet.

	Perusoleetus	Herkkyystarkastelu
Biokaasulaitoksen toiminta + varastointi ja levityskäytännöt	Pitkä viipymä biokaasuprosessissa sekä jälkikaasun talteenotto (viipymä yhteensä 83 vrk) Mädätteen separointi heti reaktorista poiston jälkeen ja kuivajakeen multaus 4-12 tunnin kuluttua levityksestä	Biokaasulaitoksen lyhyempi viipymä, biokaasun tuotto 5 % alhaisempi, ei jälkikaasun talteenottoa Mädätteen avoin välivarastointi (1 kk) ennen separointia ja kuivajakeen multaus yli 12 tunnin kuluttua levityksestä
Biokaasun jalostus liikennepolttoaineeksi	Poistokaasupoltin käytössä	Ei poistokaasupoltinta
Soijarehu	A-rehun ilmoittamat alkuperämaat ja osuudet	Soijapavun alkuperämaan vaikutus päästöihin

4.4 Tulokset ja tulosten tarkastelu

4.4.1 Elinkaariset ympäristövaikutukset

Agri- ja nurmisymbioosien ilmastovaikutus on 35 – 50 % nykytilaa pienempi niissä skenaarioissa (2, 3 ja 4), joissa biokaasusta tuotetaan fossiilisia polttoaineita korvaavaa liikennepolttoainetta (LP) (Kuva 4.4). Biokaasulaitoksen ja tilan tarvitsema lämpö tuotetaan tällöin hakkeella ja sähkö ostetaan verkosta. Koska laskennallinen korvaushyöty liikennepolttoaineen tuotannolle on oletettu energiasuhteeltaan täysimääräisenä, kokonaispäästöt ovat noin puolet nykytilan päästöistä liikennepolttoaineskenaarioissa. Mikäli biometaanin korvaushyöty olisi alhaisempi, päästösäästö olisi vähäisempi kuin nyt esitetyt.

Sähkön ja lämmön (CHP) tuotanto biokaasusta vähentää päästöjä nykytilaan verrattuna noin 30 % (skenaario 1). CHP-tuotanto tilan omiin tarpeisiin ei tuota vastaavia päästösäästöjä kuin liikennepoltto-

aineen tuotanto, vaikka biokaasu korvaa tilan polttoöljyn sekä keskimääräisen verkkosähkön käytön. CHP-tuotannossa lämpöä myös muodostuu yli tilan tarpeen eikä ylijäämälle ole hyödyntäjää. Tila voisi myös olla energiaomavarainen (skenaario 3) ja hyvin pieni määrä liikennepolttoainetta jäisi vielä myyntiin.

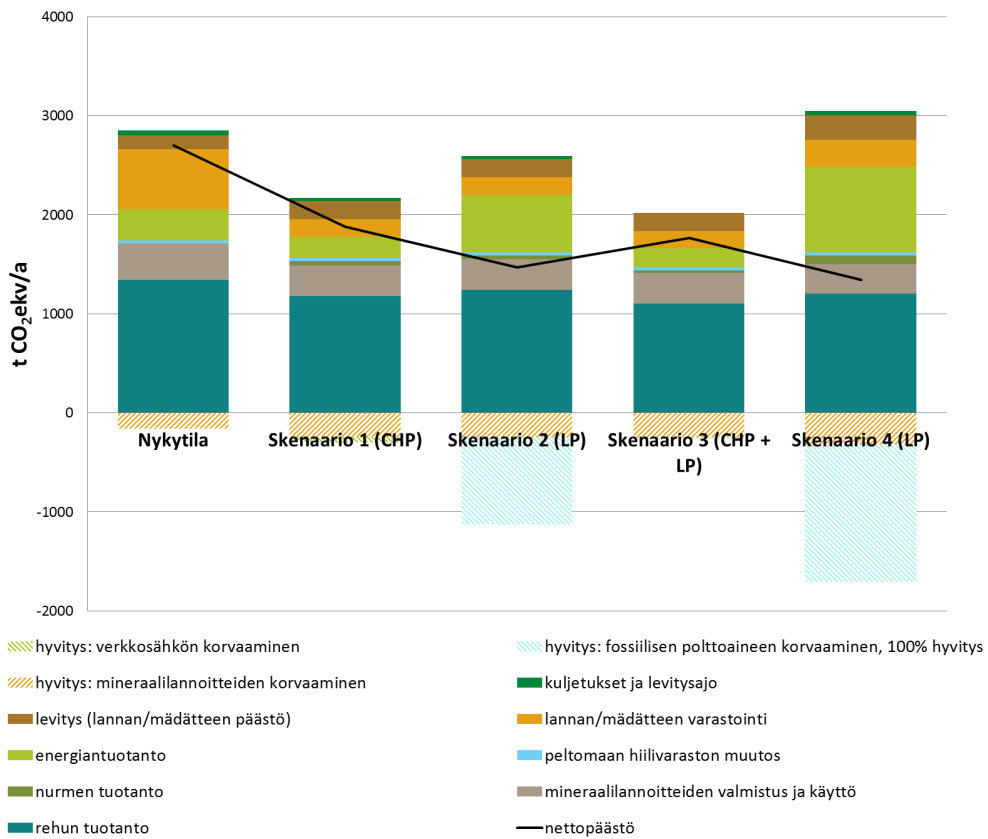
Elinkaarista ilmastovaikutuksista jopa reilusti yli puolet aiheutuu rehuntuotannosta (Kuvat 4.4 ja 4.5). Etenkin soijarehun tuotannolla sekä mineraalityypilannoitteen tuotannolla on päästöihin huomattava vaikutus. Agri- ja nurmisymbiooseissa vuotuinen mineraalityypen tarve oli noin 8000 – 9000 kg alhaisempi ja soijarehun tarve 3,8 % alhaisempi kuin nykytilassa. Suurin ero symbioosien ja nykytilan välille muodostuukin korvaushyötyjen kautta; symbiooseissa mädätteen suurempi liukoisen typen osuus korvaa enemmän mineraalityypen valmistusta kuin nykytilan lietalanta. Vastaava korvaushyöty on laskettu myös fosforille, joka korvaa mineraalifosforin käyttöä vastaanottavilla tiloilla. Symbioosien vaikutukset maaperän hiilivarastoon ovat kokonaisuutta tarkasteltaessa vähäiset.

Suurin vaihtelu skenaarioiden välillä muodostuu energiantuotannon sekä lannankäsittelyketjun päästöistä (Kuva 4.6). Energiantuotannosta aiheutuu merkittävä osa päästöistä (Kuva 4.4). Nykytilassa päästöt aiheutuvat polttoöljyn ja ostosähkön käytöstä. Agrisymbioosin skenaarioissa 1 (CHP) ja 3 (CHP+LP) energiantuotannosta muodostuu vähän päästöjä, sillä biokaasusta tuotetaan sähköä ja lämpöä myös biokaasulaitoksen tarpeisiin. Kun biokaasusta jalostetaan liikennepolttoainetta ja biokaasulaitoksen sekä tilan tarvitsema lämpö tuotetaan hakkeella ja sähkö ostetaan verkosta, kokonaisuudessaan energiantuotannon päästöt ovat suuremmat (skenaario 2 ja skenaario 4). Mikäli biokaasulaitoksen vaatima sähkö tuotettaisiin uusiutuvalla sähköllä, kuten aurinko- tai tuulienergialla, voitaisiin sähköntuotannon päästöjä vähentää. Liikennepolttoaineskenaarioissa (2 ja 4) tuotannon päästöjä vähentää liikennepolttoaineista saatava korvaushyöty. Fossiilisten polttoaineiden korvaamisesta saavutettava hyöty on suurempi kuin liikennepolttoaineen tuotannosta biokaasulaitoksella aiheutuvat päästöt.

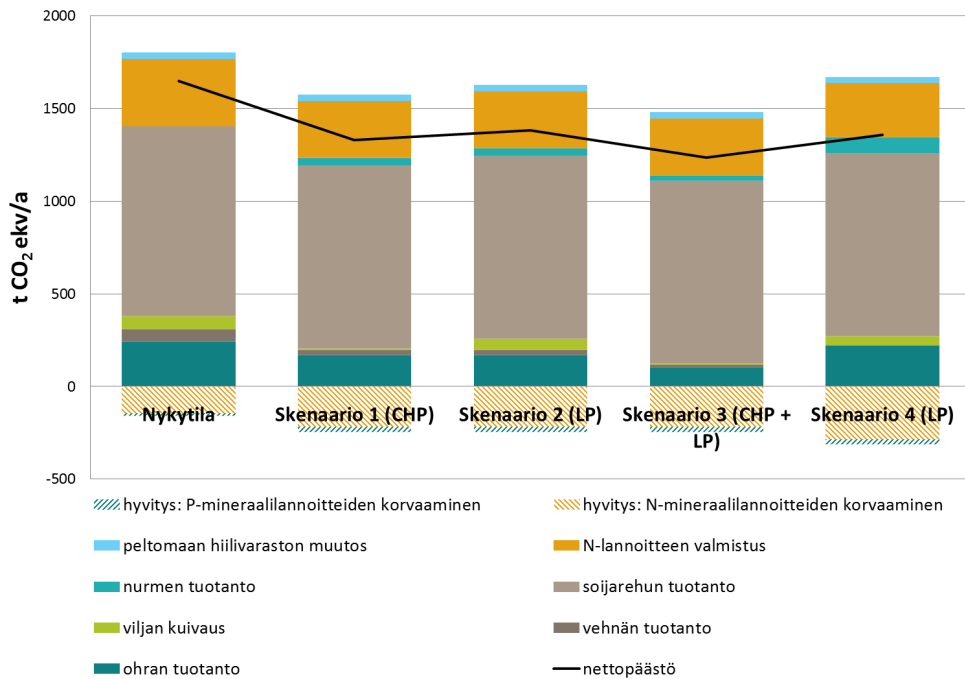
Lannankäsittelyketjun osuus tarkasteltujen vaihtoehtojen päästöistä on 19-39 %. Kasvihuonekaasupäästöistä merkittävin osa muodostuu nykytilassa lietalannan varastoinnin metaanipäästöistä (Kuva 4.7). Symbiooseissa lietalanta ohjataan suoraan biokaasuprosessiin. Skenaarioissa 1-3 lannankäsittelyketjun päästöt ovat noin puolet ja skenaariossa 4 noin 75 % nykytilan päästöistä. Nurmisymbioosissa (skenaario 4) lannankäsittelyn päästöt ovat agrisymbioosia (skenaariot 1-3) suuremmat, sillä suuremmasta määrästä kierrätysravinteita muodostuu varastoinnissa ja käytössä suuremmat päästöt. Samanaikaisesti ne kuitenkin korvaavat suuremman osan mineraalilannoitteiden käytöstä.

Molemmassa symbiooseissa kierrätysravinteita on käytössä nykytilaa enemmän, minkä vuoksi myös ammoniakkipäästöt saattavat kasvaa (Kuva 4.8). Lietalannan lisäksi mädätteessä on nurmen puristusjännöksen ravinteita sekä nurmisymbioosissa lisäksi säilörehunurmen ravinteita. Kuivajakeen levityksestä aiheutuu enemmän ammoniakkipäästöjä kuin nykytilan lietalannan letkulevityksestä ja välittömästä multauksesta. Kuivajake levitetään hajalevityksenä, ja 70 % siitä mullataan äestämällä alle 12 tunnin sisällä levityksestä ja loput 30 % yli 12 tunnin sisällä. Lisäksi kuivajakeen ammoniakkin haihtumiskerroin on suurempi kuin lietalannan letkulevityksen, mutta toisaalta liukoista typpeä on kuivajakeessa vähemmän kuin lietalannassa. Kaiken kaikkiaan ammoniakkipäästöt kasvavat agrisymbioosissa noin 32 % ja nurmisymbioosissa 87 % nykytilaan verrattuna.

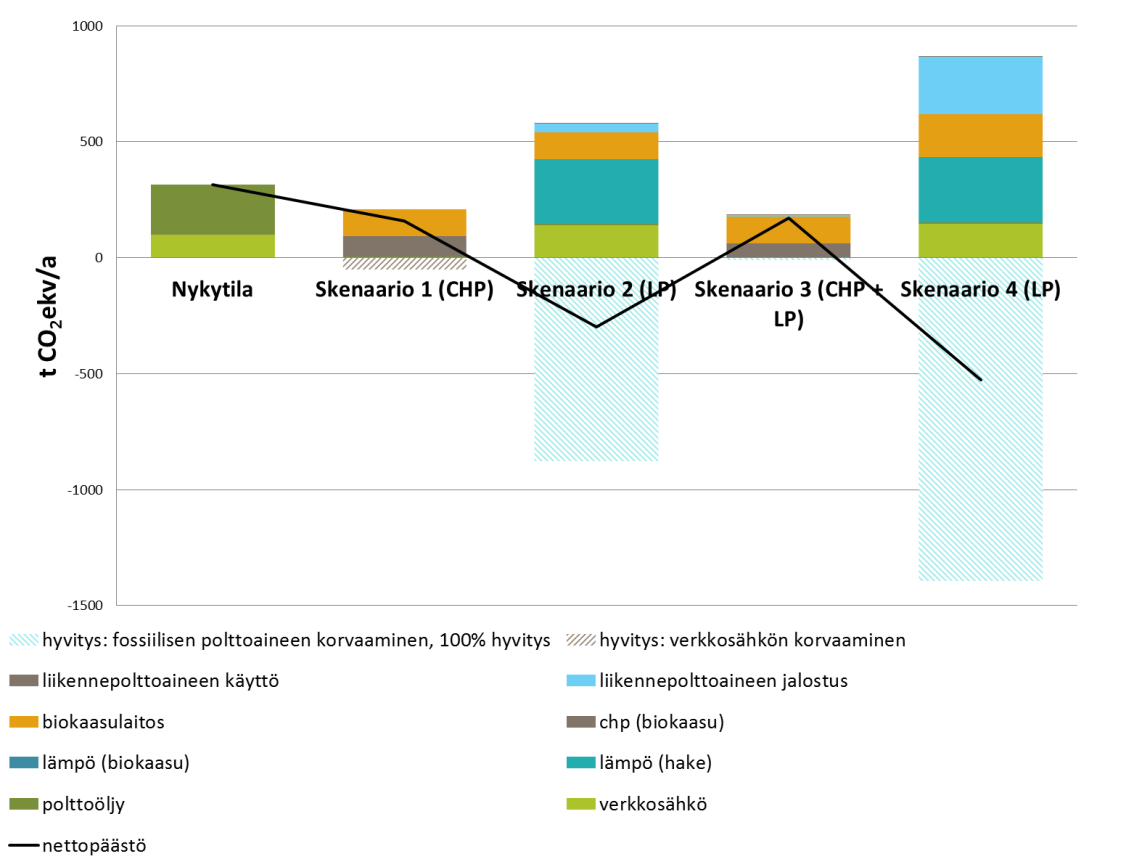
Lietelannan ja mädätteen liukoisen typen on oletettu korvaavan mineraalityypen käyttöä, sillä liukoinen typpi on kasveille välittömästi käyttökelpoisessa muodossa. Koska orgaanisessa muodossa olevasta tyyppistä osa vapautuu kasvien käyttöön pidemmällä aikavälillä, korvaavuuden voisi olettaa olevan nyt arvioitua suurempi. Orgaanisen typen vapautuminen riippuu pellon olosuhteista; kosteissa ja lämpimissä olosuhteissa sekä hyvärakenteisessa maassa hajotustoiminta etenee nopeammin ja ravinteita vapautuu enemmän (Mattila & Rajala 2019). Vastaavasti, jos pellon tyyppitalanne ennen lannoitusta on alhainen, lannan tai mädätteen liukoista typpeä voi sitoutua hajotustoimintaan, jolloin korvaavuus voi jäädä alhaisemmaksi kuin nyt on tuloksissa esitetty. Orgaanisen typen vapautumista ja/tai sitoutumista ei stabiileista mädätteistä (prosessi pitkällä viipymällä) tosin juurikaan tapahdu, koska mädäte ei enää sisällä helposti hajoavaa orgaanista ainetta (Marttinen ym. 2013; Seppälä ym. 2014).



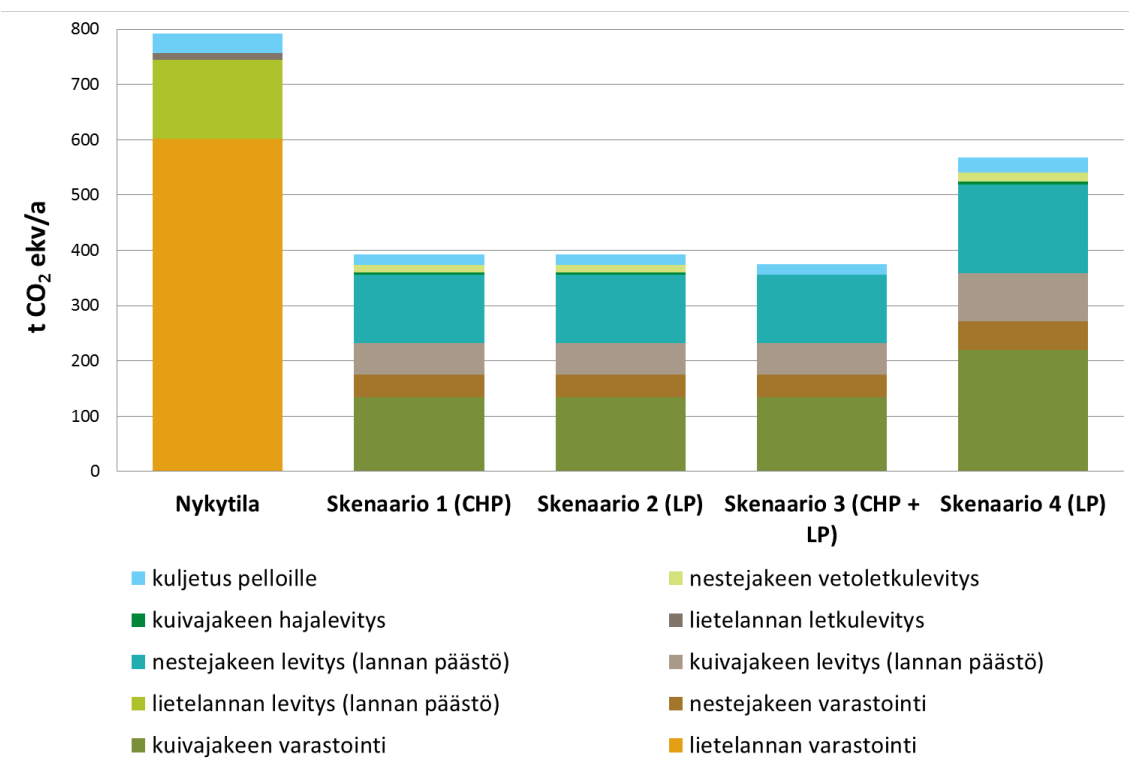
Kuva 4.4. Ilmaston lämpeneminen, elinkaariset päästöt prosesseittain eriteltynä. Tasaväriset palkit kuvaavat laskennallisia päästöjä ja raidalliset palkit laskennallisia päästöhyvityksiä. Nettopäästöt kuvaavat näiden palkkien välistä erotusta. Mineraalilannoitteiden valmistus ja käyttö on esitetty omalla prosessinaan, se ei sisälly rehun tai nurmen tuotantoon.



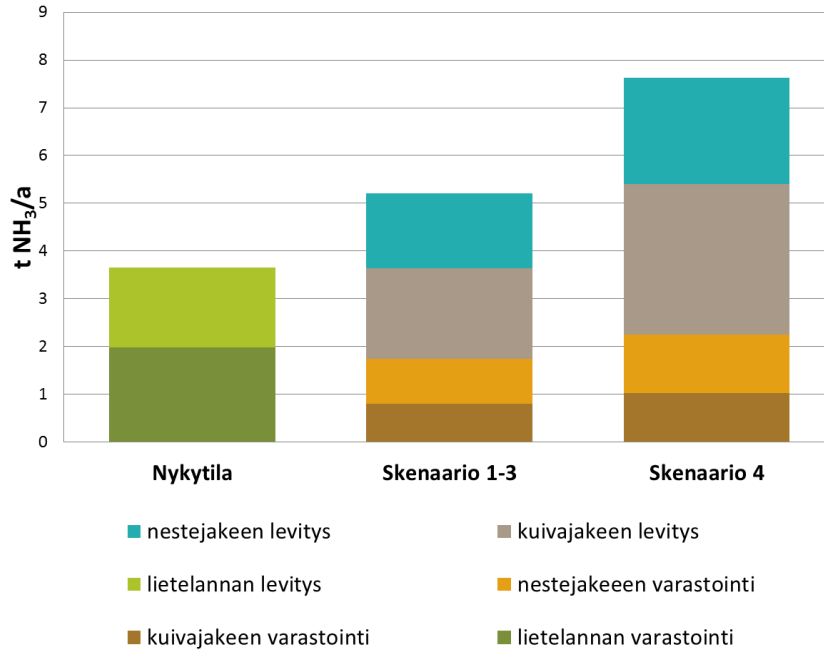
Kuva 4.5. Ilmaston lämpeneminen, rehun tuotantoon liittyvät prosessit. Tasaväriset palkit kuvaavat laskennallisia päästöjä ja raidalliset palkit laskennallisia päästöhyvityksiä. Nettopäästöt kuvaavat näiden palkkien välistä erotusta.



Kuva 4.6. Ilmaston lämpeneminen, energian tuotantoon liittyvät prosessit. Tasaväriset palkit kuvaavat laskennallisia päästöjä ja raidalliset palkit laskennallisia päästöhyvityksiä. Nettopäästöt kuvaavat näiden palkkien välistä erotusta.



Kuva 4.7. Ilmaston lämpeneminen, lannankäsittelyketjuun liittyvät prosessit ja niissä muodostuvat päästöt.

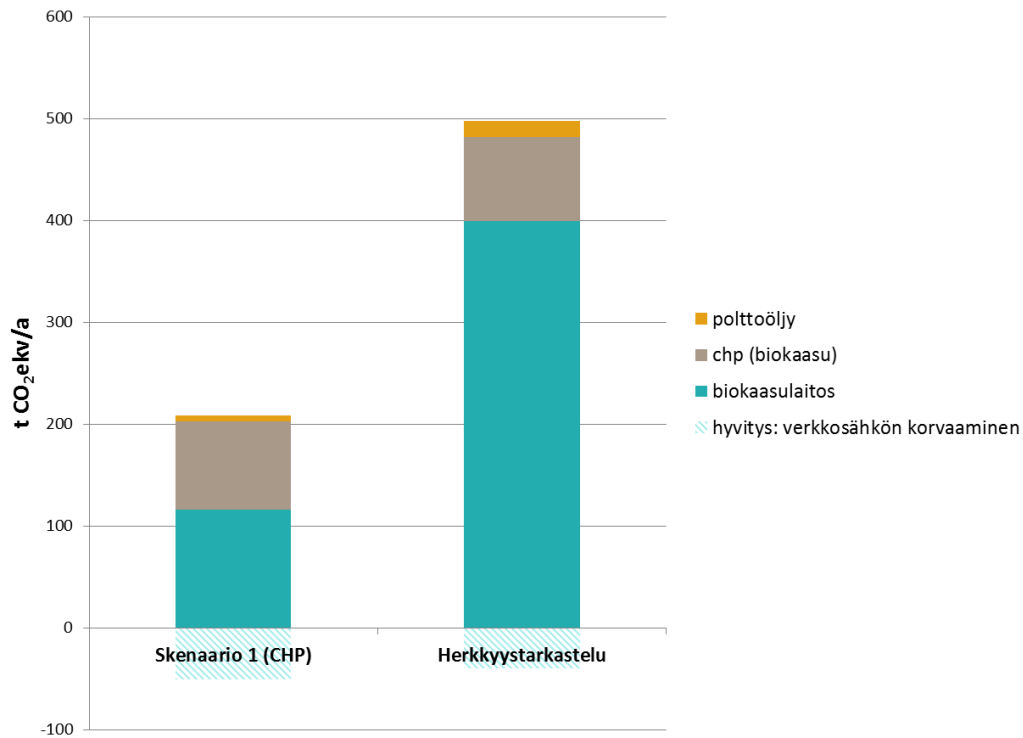


Kuva. 4.8. Ammoniakkipäästöt t/a, lannankäsittelyketjuun liittyvät prosessit.

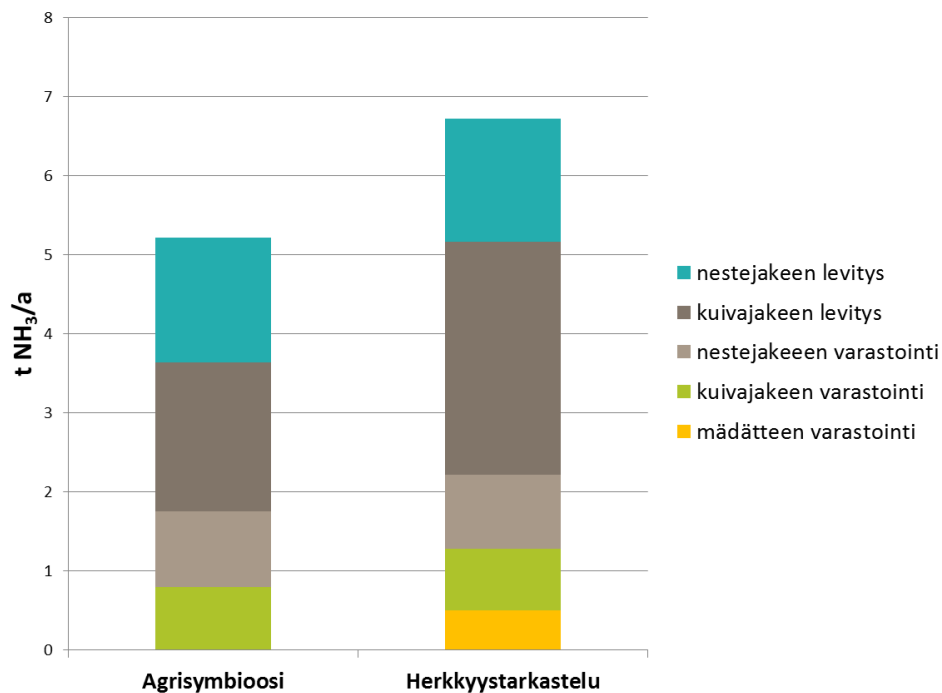
4.4.2 Herkkyystarkastelut

Biokaasuprosessin herkkyystarkastelussa selvitettiin syötteen viipymääjan sekä jälkikaasun talteenoton vaikutusta päästöihin. Mikäli 5 % metaanintuottopotentialista jää ottamatta talteen, voi se nostaa tarkastellun biokaasulaitoksen kokonaispäästöjä jopa 15 %. Energiantuotantoprosessien päästö kasvaa lähes kolminkertaiseksi (Kuva 4.9). Lyhyemmän viipymän seurauksena biokaasua saadaan talteen vähemmän, jolloin myöskään CHP-tuotanto ei riitä kattamaan tilan lämmön tarvetta, vaan lisälämpö on oletettu tuotettavan polttoöljyllä. Riittävä viipymäaika kaasunkeräyksen piirissä on siten keskeistä biokaasutuotannon kokonaiskestävyyttä ajatellen.

Myös mädätteen varastointiin ja levitykseen on kiinnitettävä huomiota. Mädätteen avoimesta varastoinnista muodostuu myös ammoniakkipäästöjä ja prosessoinnissa liukoistuneen typen hyödyt saattavat huonoilla varastointi- ja levityskäytännöillä haihtua hukkaan (Kuva 4.10).

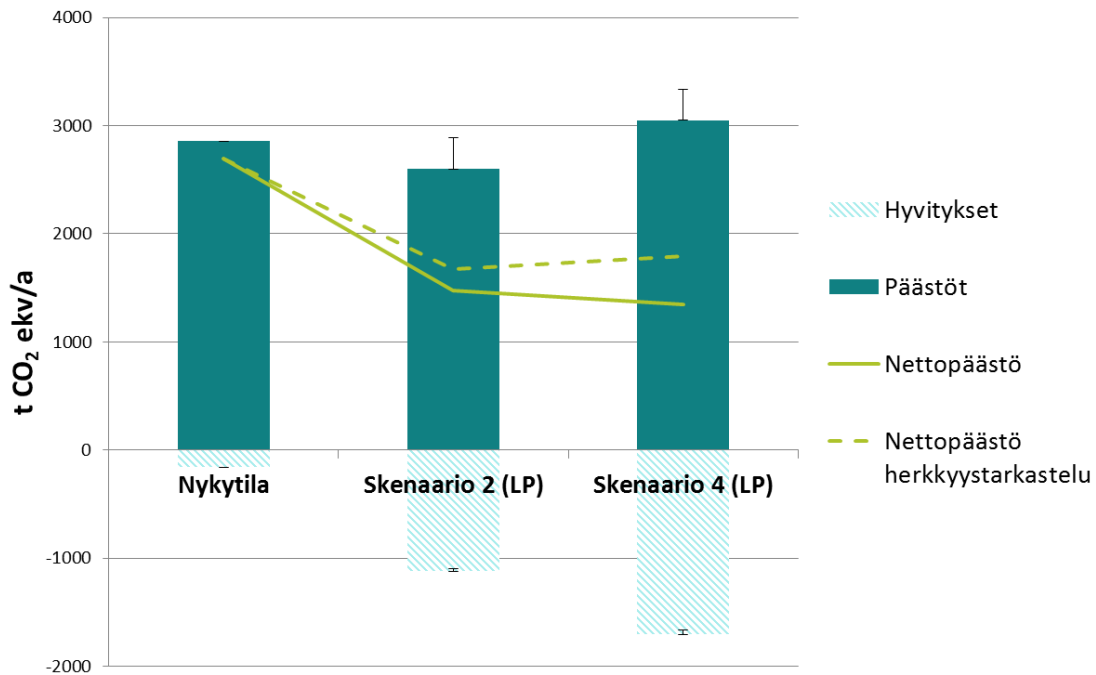


Kuva 4.9. Herkkystarkastelu, ilmaston lämpeneminen ja energian tuotannon prosessit. Tasaväriset palkit kuvaavat laskennallisia päästöjä ja raidalliset palkit laskennallisia päästöhyvityksiä.



Kuva 4.10. Herkkystarkastelu, ammoniakkipäästöt lannankäsittelyketjun prosesseista.

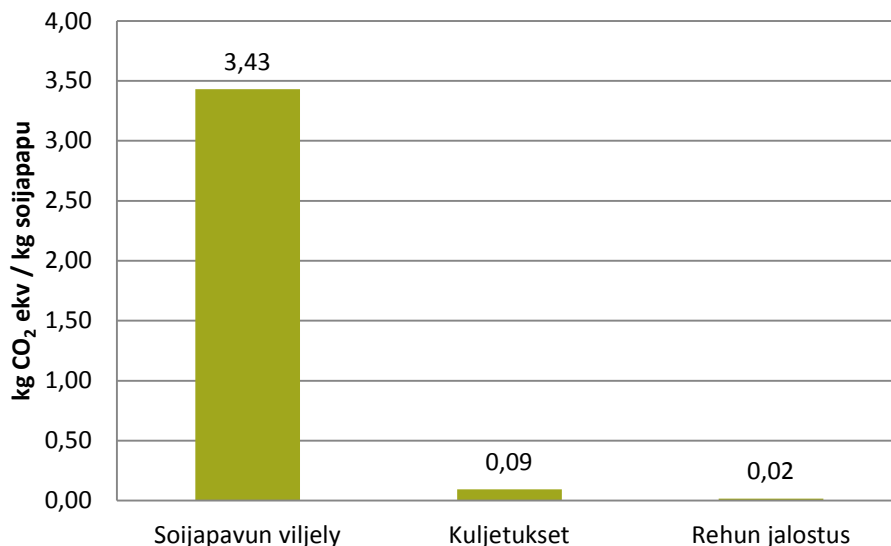
Herkkystarkastelussa tarkasteltiin myös biokaasun jalostustekniikan vaikutusta liikennepolttoaineentuotannon päästöihin (Kuva 4.11). Tilamittakaavaan soveltuvan vesipesun metaanipäästöt ovat suuremmat, mikäli käytössä ei ole poistokaasupoltinta. Kun samalla polttoaineen saanto laskee, myös hyvityksiä muodostuu vähemmän. Biokaasun jalostuksen nettopäästöt nousisivat ilman poistokaasupoltinta agrisymbioosissa noin 13 % ja nurmisymbioosissa jopa 31 % (Kuva 4.11).



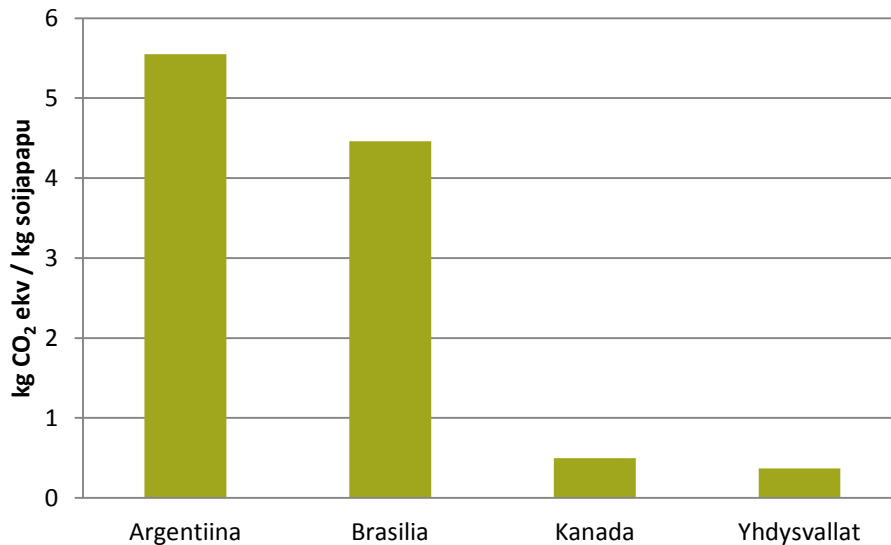
Kuva

4.11. Liikennepolttoaineen jalostuksen metaanipäästöjen vaikutus ilmaston lämpenemiseen. Tasaväriset palkit kuvaavat laskennallisia päästöjä ja raidalliset palkit laskennallisia päästöhyvityksiä. Nettopäästöt kuvaavat näiden palkkien välistä erotusta.

Soijarehun käytön vaikutus kokonaispäästöihin on merkittävä (Kuvat 4.4 ja 4.5). Tuotantomaat sekä niiden väliset suhteet vaihtelevat, joten valittujen tuotantomaiden (Argentiina, Brasilia, Kanada ja Yhdysvallat) vaikutusta soijarehun tuotannon päästöihin tarkasteltiin herkkyytarkastelussa. Soijarehun valmistuksen päästöistä suurin osa aiheutuu soijapavun viljelystä (Kuva 4.12). Argentiinalaisen ja brasilialaisen soijapavun tuotannon päästöistä 91-94 % aiheutuu maankäytön muutoksista (Kuva 4.13). Kanadalaisen ja yhdysvaltalaisen soijapavun tuotannosta vastaava luku on vain 1-3 %.



Kuva 4.12. Nykytilassa käytetyn soijarehun tuotantoketjun päästöjen jakautuminen vaiheittain. Päästöt on ilmoitettu kg CO₂ ekv/ kg soijapapua.



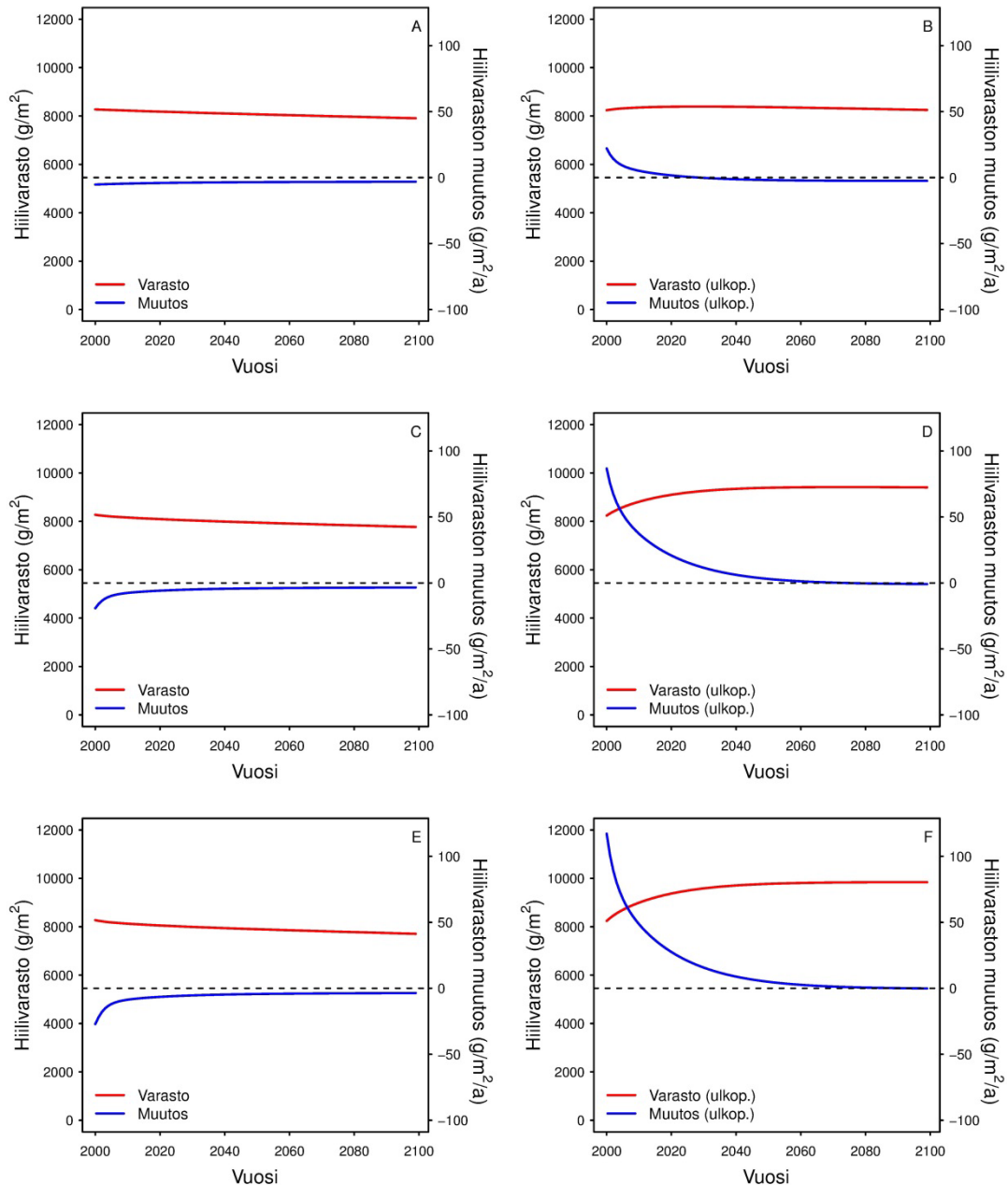
Kuva 4.13. Soijapavun tuotannon ilmastovaikutukset tuotantomaittain.

4.4.3 Viljelykierto ja maaperän hiilivaraston muutos

Tilan omien peltojen hiilivarasto pieneni nykytilassa keskimäärin $3,7 \text{ g/m}^2$ vuodessa simulointijakson 2001–2100 aikana (Kuva 4.12 A). Tulos on samaa suuruusluokkaa aikaisemman malliarvion kanssa, jonka mukaan suomalaisten peltojen hiilivarasto pienenee keskimäärin $5,0 \text{ g/m}^2$ vuodessa (Palosuo ym. 2016). Hiilivaraston muutos vaihtelee kuitenkin voimakkaasti vuosittaisten satotasojen mukaan (Palosuo ym. 2016). Maaperän hiilivaraston koko oli simulointijakson alussa 8300 g/m^2 , josta yli puolet oli hitaasti hajoavaa peltoa edeltäneen metsämaan hiiltä (Kuva 4.12 A).

Maaperän hiilivarasto pieneni myös agrisymbioosissa, keskimäärin $5,1 \text{ g/m}^2$ vuodessa (Kuva 4.14 B). Vaihteluväli oli $4,4\text{--}5,5 \text{ g/m}^2$ vuodessa riippuen oletetusta nurmen verso-juuri -suhteesta. Nurmisymbioosissa hiilivarasto pieneni keskimäärin $5,7 \text{ g/m}^2$ vuodessa, vaihdellen välillä $4,3\text{--}6,5 \text{ g/m}^2$ vuodessa (Kuva 4.14 C). Symbioosien hiilivarasto pieneni nopeimmin simulointijakson alussa viljelykäytännön muututtua. Syy hiilivaraston suurempaan laskuun agri- ja nurmisymbioosissa oli nurmen suuremman maanpäällisen osan poisto satona verrattuna nykytilan ohralla ja vehnällä peltoon jäävään sänkeen (sadon osuus nurmella 84 % ja ohralla ja vehnällä vastaavasti 53 ja 42 %). Nurmen juuriston biomassa ei riittänyt kompensoimaan eroa maanpäällisessä peltoon jäävässä kasvinosassa. Samalla siirrettiin myös lannan orgaanista ainetta merkittävältä osin omilta pelloilta muiden tilojen vastaanottaville pelloille (nykytilassa omilla pelloilla hyödynnettiin lietelantaa ja symbiooseissa pääosin nestejätettä, joka sisältää hyvin vähän hiiltä). Maaperän hiilipäästö oli kuitenkin sitä pienempi, mitä suuremmaksi nurmen juuriston biomassa oletettiin suhteessa maanpäälliseen biomassaan.

Sian lietelantaa vastaanottavilla, tilan ulkopuolisilla pelloilla maaperän hiilivarasto kasvoi nykytilassa keskimäärin $0,12 \text{ g/m}^2$ vuodessa simulointijakson 2001–2100 aikana (Kuva 4.14 D). Hiilivaraston kasvunopeus oli suurin heti orgaanisen lannoitteen käytön alettua simulointijakson alussa. Agri- ja nurmisymbioosin mädätetyn nurmi-lanta -seoksen kuivajakeen levittäminen vastaanottaville pelloille kiihdytti hiilensidontaa edelleen, koska orgaanisen aineen levitysmäärä nousi nykytilaan verrattuna. Hiilivarasto kasvoi symbioosissa keskimäärin $11,8$ ja $16,2 \text{ g/m}^2$ vuodessa (Kuva 4.14 E, F). Hiilivaraston kasvunopeus oli suurin heti simulointijakson alussa uuden lannoituskäytännön alettua. Hiilensidonta oli sitä tehokkaampaa, mitä enemmän lantaa/kuivajätettä levitettiin. Myös lantaa/kuivajätettä vastaanottavat pellot muuttuivat hiilen nielusta jälleen lähteiksi simulointijakson loppupuolella. Maaperän hiilivaraston muutos tasaantui kaikissa laskentavaihtoehdoissa simulointijakson lopussa, kun hiilivarasto alkoi lähestyä uutta tasapainotilaa.



Kuva 4.14. Simuloitu maaperän hiilivarasto (merkitty punaisella viivalla) ja maaperän hiilivaraston muutos (sininen viiva) eri viljelytavoilla varsinaissuomalaisella sikatilalla aikavälillä 2001-2100. Tutkitut vaihtoehdot olivat nykytila omilla (A) ja muiden tilojen lantaa vastaanottavilla pelloilla (B), agrisymbioosi omilla (C) ja muiden tilojen lantaa vastaanottavilla pelloilla (D) sekä nurmisymbioosi omilla (E) ja muiden tilojen lantaa vastaanottavilla pelloilla (F). Nurmen verso-juuri -suhde oli 1,75. Maaperä on hiilen nielu, kun hiilivaraston muutos on positiivinen (+) ja lähde, kun muutos on negatiivinen (-).

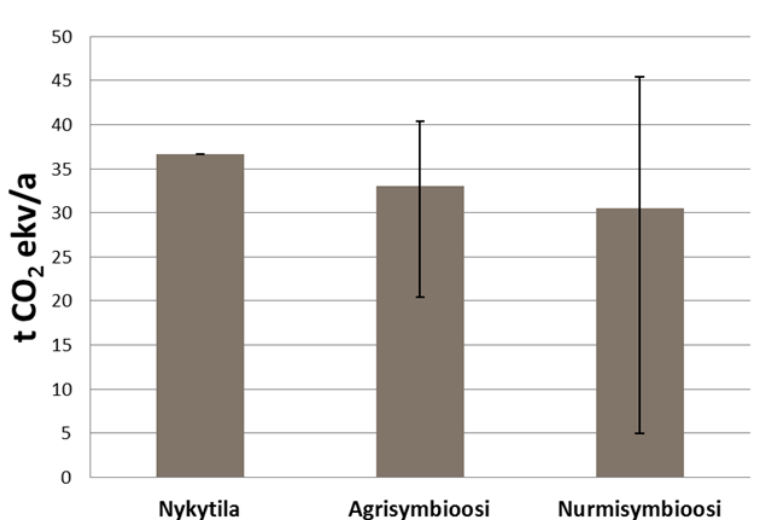
Tilan omien ja lantaa vastaanottavien peltojen yhteenlasketut vuosittaiset hiilipäästöt olivat keskimäärin 37, 33 ja 30 t CO₂ ekv. nykytilassa, agrisymbioosissa ja nurmisymbioosissa (Taulukko 4.6). Nurmen lisääminen viljelykiertoon agrisymbioosissa vähensi päästöjä 10 % ja koko vehnäalan muuttaminen nurmiksi nurmisymbioosissa 17 % verrattuna nykytilaan.

Päästöarvot olivat hyvin herkkiä oletukselle nurmen juuristomassasta (Taulukko 4.6, Kuva 4.15). Kun verson ja juuriston suhde oli 1,3, agrisymbioosi vähensi päästöjä 44 % ja nurmisymbioosi 86 % verrattuna nykytilaan. Toisaalta kun verson ja juuriston suhde oli 2,2, agri- ja nurmisymbioosi kasvattivat päästöjä 10 % ja 24 % verrattuna nykytilaan. Kun nurmiviljelyn osuutta lisättiin, mutta nurmen juur-

ten osuus oli laskennallisesti pieni (verson ja juurten suhde 2,2), tilan omien peltojen hiilivarasto väheni enemmän kuin nykytilassa. Kuivajaetta vastaanottavilla pelloilla hiilivarasto kasvoi, mutta se ei riittänyt kompensoimaan nestejaetta vastaanottavien tilan omien peltojen hiilipäästöjä. Kun juuriston osuus oli suurempi (verson ja juurten suhde 1,3), omien ja muiden tilojen vastaanottavien peltojen yhteenlasketut päästöt vähenivät, mutta omilta pelloilta päästöjä muodostui symbiooseissa silti edelleen enemmän kuin nykytilassa (Taulukko 4.6). Nurmen pinta-alan lisääminen ei kompensoinut vähentyneitä lannan levitystä, koska viljapelloilla on käytettyjen oletusten perusteella suurempi maanpäällinen hiilisyöte kuin nurmella. Kaiken kaikkiaan viljelykierron ja maaperän hiilivaraston muutosten vaikutukset elinkaariin ilmastovaikutuksiin olivat vähäisiä (Kuvat 4.4 ja 4.5).

Taulukko 4.6. Maaperän hiilivarasto päästönä (t CO₂ekv/a) omilla ja vastaanottavilla pelloilla nykytilassa, agrisymbioosissa ja nurmisymbioosissa eri version ja juuren suhteilla laskettuna. Maaperä on hiilen nielu, kun hiilivaraston muutos on positiivinen (+) ja lähde, kun muutos on negatiivinen (-).

Verson ja juuren suhde	2,2			1,75			1,3		
	Nykytila	Agri-symbioosi	Nurmi-symbioosi	Nykytila	Agri-symbioosi	Nurmi-symbioosi	Nykytila	Agri-symbioosi	Nurmi-symbioosi
Omat pellot (t CO₂-ekv./a)	46	78	97	46	71	82	46	58	57
Vastaanottavat pellot (t CO ₂ -ekv./a)	-9	-38	-52	-9	-38	-52	-9	-38	-52
Yhteensä (t CO₂-ekv./a)	37	40	45	37	33	30	37	20	5
Muutos nykytilaan nähden		-10 %	-24 %		10 %	17 %		44 %	86 %



Kuva 4.15. Ilmaston lämpeneminen, nurmen verso-juuri-suhteen (1,3, 1,75 ja 2,2) vaikutus maaperän hiilen päästöihin nykytilassa sekä agri- ja nurmisymbiooseissa. Ruskea palkki kuvaa arvoa 1,75 ja virhepalkki verso-juurisuhteen arvojen 1,3 ja 2,2 välisiä eroja ilmaston lämpenemiseen.

Tässä tutkimuksessa tilan omat pellot olivat lieviä hiilen lähteitä sekä nykytilassa että symbiooseissa. Symbiooseissa nurmipelloille tuotiin neste- ja kuivajae kerran neljässä vuodessa perustamisen yhteydessä. Biokaasulaitoksen kuivajae meni siten pääosin tilan ulkopuolelle vastaanottaville pelloille, joilla hiilivarasto kasvoi. Laskennassa oletettiin, että kuivajae korvaa mineraalilannoitteiden käyttöä vastaanottavalla pellolla eikä muita orgaanisia lannoitteita käytetä. Maaperän hiilivaraston arvioitu muutos riippui voimakkaasti arvioiduista satotasoina ja lietalannan levitysmääristä, jotka voivat vaihdella vuosittain (Palosuo ym. 2016).

Simulointitulosten perusteella symbioosit, jotka sisältävät biokaasun tuotannon sian lietalannasta yhdessä nurmea sisältävän viljelykierron kanssa, vähentävät maatalousmaan kokonaispäästöjä, mikäli nurmien kasvukunto on hyvä. Tulokset osoittavat, että juuriston biomassasta ja sen osuudesta hiilensidontaan tarvitaan lisää kokeellista tutkimusta päästöarvioiden tarkentamiseksi. Simulointimallilla arvioitu peltojen hiilivaraston muutos on myös herkkä laskennassa asetetulle maaperän hiilivaraston alkutilalle. Tässä työssä alkutilana käytetty peltoa edeltäneen metsämaan hiilivaraston keskimääräinen koko vaikuttaa pellon hiilivaraston muutosnopeuteen merkittävästi (Akujärvi ym. 2014). Malliajojen alkutilan määritystä voitaisiin tarkentaa, jos tarkasteltujen peltojen maankäytön historia tunnettaisiin paremmin. Myös mädätyksen vaikutus lannan ja nurmen kuiva- ja nestejakeiden koostumukseen on edelleen epävarmaa, vaikka maanparannusaineiden kemiallista koostumusta onkin selvitetty viime aikoina (Heikkinen ym. käsikirjoitus). Lisäksi ilmaston lämpeneminen ja maanviljelykäytäntöjen muutokset voivat vaikuttaa hiilen kertymiseen ja hajoamiseen maaperässä. Esimerkiksi maaperän mikrobien merkitys hiilen kierrolle vaatii vielä lisää tutkimusta (Liang ym. 2017, Chenu ym. 2019).

4.4.4 Rehevöityminen

Rehevöittävien päästöjen määrään ja huuhtoutumiseen vaikuttaa moni tekijä. Kaikki lisätty ravinne ei ole kasveille käyttökelpoista, vaan osa päätyy kasvin sijasta maaperän ravinnevarastoihin ja osa haihtuu ilmaan ja huuhtoutuu (Mattila 2019). Maalaji, levitysmäärä, -ajankohta ja -menetelmä ovat keskeisiä huuhtoutumiseen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi huuhtoutumiseen vaikuttavat muut pellon olosuhteet. Ravinteiden levityksen ajoittaminen kasvin ravinnetarpeen kannalta on keskeistä huuhtouman vähentämiseksi. Tästä syystä syyslevitystä varsinkin ilman ravinteita hyödyntävää syyskylvöä tulisi välttää.

Lietelanta sisältää sekä liukoista tyyppiä (nitraatti- ja ammoniumtyyppiä) että orgaaniseen aineeseen sitoutunutta orgaanista tyyppiä. Mädätteen ja siitä separoitujen jakeiden liukoinen tyyppi on ammoniumtyypimuodossa orgaanisen typen päätyessä pääasiassa kuivajakeeseen. Liukoinen tyyppi on kasveille käyttökelpoista tyyppiä, mutta osa orgaanisesta tyypestäkin voi vapautua kasvien käyttöön kasvukauden aikana. Yleisesti ottaen nitraatti on herkemmin huuhtoutuvaa kuin ammoniumtyppi, joka kuitenkin hyvissä olosuhteissa nitriifioituu maassa varsin nopeasti nitraatiksi. Ilman tyyppiä hyödyntävää kasvustoa liukoinen tyyppi voi huuhtoutua.

Biokaasuprosessissa orgaanisen typen määrä vähenee, koska osa syötteen orgaanisesta tyypestä mineralisoituu kasveille helposti käytettävään liukoiseen muotoon. Tämä tarkoittaa myös sitä, että kasvukauden ulkopuolella mineralisoituvan typen määrä vähenee verrattuna prosessoimattomaan lantaan. Typen huuhtoutuminen voi vähentyä etenkin, mikäli suurimman osan liukoisesta tyypestä sisältävä nestejae levitetään ravinteiden hyödyntämisen kannalta optimaaliseen aikaan. Toisaalta tyyppiä voi huuhtoutua enemmän, jos levitys toteutetaan aikana, jolloin kasvit eivät pysty liukoisia ravinteita hyödyntämään.

Lantaperäisten ravinteiden multaaminen vähentää ammoniakkipäästöjä, mutta se voi vaikuttaa myös ravinteiden huuhtoutumiseen. Multaaminen voi vähentää välitöntä huuhtoutumisriskiä, koska altistuminen sääolosuhteille (sade) on alhaisempi. Nopea multaaminen ja sijoituslevitys vähentävät myös typen haihtumista ja siten kasvien käyttöön jää enemmän ravinteita.

Symbiooseissa mineraalityypilannoitteen tarve on vähäisempi kuin nykytilassa. Typpipitoinen nestejae levitetään maahan siirtoputken ja vetoletkulevityksen avulla sijoittamalla, vastaavasti kuin mine-

raalityypilannoite. Sekä nestejäte että mineraalityypilannoite sisältävät pääosin vain kasveille välittömästi käytössä olevaa typpeä ja siten tyypilannoitteen oikea-aikainen käyttö minimoi huuhtoutumisen. Kuivajakeessa sen sijaan on liukoisen typen lisäksi orgaanista typpeä, josta osa vapautuu kasvien käyttöön hitaammin myöhemmin kasvukausina, osa sitoutuu hajotustoimintaan ja muuttuu osaksi maaperän orgaanista ainetta (Sullivan ym. 2010).

Liukoisen fosforin huuhtoutumisriski riippuu muokkauskerroksen helppoliukoisen fosforin pitoisuudesta ja sen kerrostuneisuudesta (Puustinen ym. 2005, Uusitalo & Aura 2005, Uusitalo ym. 2018). Pitkän ajan lannoitushistoria vaikuttaa liukoisen fosforin pitoisuuteen peltomaassa ja viljely- ja muokkausmenetelmät vaikuttavat fosforin kerrostuneisuuteen (Puustinen ym. 2019). Fosfori kulkeutuu sekä liukoisessa muodossa että maahiukkasiin sitoutuneena pintavalunnan mukana. Liukoinen fosfori kiihdyttää rehevöitymistä enemmän kuin eroosioon liittyvä partikkelifosfori (Puustinen ym. 2019). Eroosioaineksen fosforista rehevöittävää on arvioiden mukaan noin 20-60 % (Huettl ym. 1979, Andraszki ym. 1985, Ekholm & Krogerus 2003, Ellison & Brett 2006). Kasvien riittävä typensaanti voi parantaa kasvien kykyä sitoa fosforia, minkä seurauksena fosforin huuhtoutuminen voi myös pitkällä aikavälillä vähentyä (Puustinen ym. 2019). Tässä tarkastelussa tyypilannoitustason oletettiin riittävän optimaaliseen kasvuun ja siten fosforin sidontaan satoon. Symbiooseissa tilan typen kierto tehostui. Samalla tilan biomassojen prosessointi ja jakeistaminen mahdollistavat fosforipitoisen jakeen siirtämisen fosforiköyhemmille alueille. Tällöin symbiooseissa tilan omien peltujen fosforitaso alkaa vähitellen alentua ja huuhtouma vähentyä. Lisäksi kuivajakeen sisältämä fosfori korvaa mineraalifosforin käyttöä muualla. Nykytilassa tarkastellun tilan sian lietelannasta 30 % levitetään syksyllä. Symbioositalanteissa syyslevityksestä voidaan luopua, mikä edelleen alentaa rehevöitymisriskiä. Symbioosien toimet ovat oikeita, mutta peltujen fosforiluku muuttuu kuitenkin hitaasti, sillä se kuvaa vain pientä osaa maan kokonaisfosforipoolista (Peltovuori 2006).

Orgaanisen aineksen levitysmäärät muuttuvat nykytilan ja symbioositalanteiden välillä. Symbiooseissa suurempi osa lantaperäisestä orgaanisesta aineksesta päättyy tilan ulkopuolelle. Toisaalta siirtyminen nurmen viljelyyn vaikuttaa orgaanisen aineksen määrään tilan pelloilla, mutta hiilimallinnuksen perusteella vaikutus on epäselvä. Lantaa vastaanottavilla pelloilla orgaanisen aineen määrä kasvaa, mikä lisää maaperän kasvukuntoa parantamalla vedenpidätyskykyä, kationinvaihtokapasiteettia, biologista aktiivisuutta ja maan rakennetta (Revander ym. 2019, Celestina ym. 2019, Chenu ym. 2019). Orgaanisen aineen lisääntyminen voi myös kiihdyttää maan mikrobiaktiivisuutta, jolloin typpeä sitoutuu maahan enemmän (Cavalli ym. 2016).

Nykytilassa lannan levitys pellolla tehdään lietevaunulla, jonka paino on vähintään 15 t. Lietevaunun paino voi aiheuttaa maaperän tiivistymistä etenkin pellon ollessa märkä. Symbiooseissa käytetään siirtoputkea ja vetoletkulevitystä, joiden avulla voidaan välttää lietevaunulla liikkuminen pellolla ja siten vähentää maaperän tiivistymistä nykytilaan verrattuna. Huokoinen ja hyvän mururakenteen omaava maa pidättää ravinteita paremmin ja huuhtoutuminen on vähäisempää (Peltonen 2019).

Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän työn tavoitteena oli löytää keinoja ja toimintamalleja, joiden avulla sianlihantuotanto voisi pitkällä tähtäimellä kehittyä sekä ympäristön että talouden kannalta nykyistä kestävämmäksi. Sianlihantuotannon nykytilaa verrattiin symbioosimalleihin, jotka sisälsivät mm. biokaasun tuotantoa ja viljelykierroksen monipuolistamista.

Tarkastelun nykytila määriteltiin tavanomaisena emakkotilana hyödyntäen soveltuvien osien olemassa olevan emakkosikalan tietoja. Agri- ja nurmisymbiooseiksi nimetyillä toimintamalleilla muutettiin nykytilan toimia, kuten lannankäsittelyä ja logistiikkaa levitysmenetelmineen, viljeltäviä kasveja, rehususta ja energianlähteitä monipuolisemmiksi ja oletetusti kestävämmiksi.

Symbioosien vaikutuksia sianlihantuotantoon arvioitiin tilan ravinne- ja energiataseiden, taloudellisen kannattavuuden sekä elinkaaristen ilmasto-, happamoitumis- ja rehevöittävien vaikutusten kannalta. Tasetarkasteluissa keskityttiin toimenpiteiden tilatason vaikutuksiin tavoitteena nostaa esiin asioita, jotka vaikuttavat yksittäisen tilan päätöksiin muuttamalla toimintaa nykytilasta kohti symbioosimallia. Elinkaariarvioinnissa herkkyystarkasteluineen huomioitiin myös toiminnan muutosten vaikutuksia tilan ulkopuolisiin toimintoihin.

Vaikutukset ravinteisiin

Tämän tutkimuksen mukaan symbioosit voivat parantaa sikatilan ravinnetasetta ja vähentää rehevöittäviä ravinnepäästöjä, sillä fosforin separointi kuivajakeeseen (linko) mahdollisti sen tehokkaan jakamisen tilan oman käytön lisäksi vastaanottaville tiloille. Fosforin uusjako vähensi tilan omaa fosforin käyttöä ja korvasi vastaanottavilla tiloilla mineraalifosforia enemmän kuin omassa käytössä. Koska fosforipitoista kuivajakeeta muodostui vain noin 15 % mädätteen massasta, sen kuljettaminen fosforia tarvitseville tiloille pitemmänkin matkan päähän oli mielekästä. Kuivajake on myös fosforipitoisuudeltaan prosessoimattomaa lantaa väkevämpää, mikä olettavasti lisää sen käytön kiinnostavuutta vastaanottavilla tiloilla.

Typpi saatiin hyödynnettyä tilan sisällä aiempaa tehokkaammin, koska sitä liukoistui biokaasuprosessissa ja nurmen myötä kierto on tuli myös lisätyyppiä. Lisäksi mädätteen separoinnilla liukoinen typpi saatiin pääasiassa nestejakeeseen, joka voitiin hyödyntää kasvintuotannossa liukoisen typen perusteella. Fosfori ei tällöin enää rajoittanut nestejakeen hyödyntämistä tilan omilla pelloilla, joilla fosforin tarve on muutenkin vähäinen. Tila voi myös luopua syyslevityksestä, koska nurmi tarvitsee ravinteita myös kesäaikaan. Typen hyödynnettävyyden tehostuminen kattoi nurmen tuotannon aiheuttaman typpilannoitustarpeen nousun ja lopulta vähensi mineraalitypen tarvetta. Apilanurmella typen tarve olisi lähtökohtaisestikin heinänurmea alhaisempi, mutta apilanurmen soveltuvuudesta sikojen ruokintaan ei ole tietoa, ja sen vähäisempi typentarve edellyttäisi myös nestejakeen osittaista luovuttamista muille tiloille tai lisäksi painetta sen syyslevitykseen. Suurempi orgaanisten lannoitteiden käyttö lisäsi kuitenkin symbioosien ammoniakkipäästöjä.

Koko toimintaketjun hyvä hallinta on kaikissa tarkastelluissa toimintamalleissa edellytys ympäristötyötyjen toteutumiselle. Muodostuvat lannoitejakeet on varastoitava katettuina ja levitettävä sijoittavien menetelmin tai pikaisesti multaamalla typpihävikkien minimoimiseksi. Näin varmistetaan mahdollisimman suuri kasveille päätyvän liukoisen typen määrä ja mahdollistetaan fosforin jakaminen tilan ulkopuolelle pelloille, jotka fosforista satovastetta saavat.

Ilmastovaikutus

Symbioosien myötä sikatila voi parantaa energiatasettaan ja vähentää ilmastovaikutustaan noin 35 – 50 % nykytilaan verrattuna riippuen biokaasun hyödyntämisratkaisusta. Biokaasun hyödyntäminen liikennepoltoaineena tuotti suurimmat päästövähennykset (korvaa 100 % fossiilisia polttoaineita).

Vähäisimmän ilmastovaikutuksen saavuttamiseksi on tärkeää minimoida biokaasulaitoksen syötteen esivarastointiaika, maksimoida niiden viipymä kaasunkeräyksen piirissä ja hyödyntää kaikki tuotettu biokaasu tehokkain menetelmin energiana. Näin vältettiin lietalan varastoinnin metaanipäästöt, maksimoitiin tuotettu biokaasu uusiutuvana energiana hyödynnettäväksi sekä minimoitiin laitoksen ja energiatuotannon metaanihävikit. Lisäksi liikennekaasutuotannossa huomioitiin puhdistustehokkuus ja poistokaasujen käsittely.

Mädätteen varastoinnin päästöjen arviointiin tarvitaan lisätietoa, sillä kirjallisuudessa ja päästöinventaaroiden ohjeissa siitä on niukalti tietoa. Tässä työssä tehtiin arvio erilaisten suomalaisten biokaasulaitosten reaktorien mädätteen mitattujen metaanituottopotentiaalien avulla, mutta se ei vastaa todellisia varastointiolosuhteita eikä yleensä huomioi laitoksilla tapahtuvaa jälkikaasun tuotantoa. Lisäksi mädätteen päästön jakautuminen siitä separoiduille jakeille jouduttiin arvioimaan. Lannan (ja muiden biomassojen) prosessointiin, prosessoitujen tuotteiden varastointiin ja hyödyntämiseen liittyviä tietotarpeita tulisikin pikaisesti täydentää lisätutkimuksella (mittaukset todellisissa olosuhteissa).

Tässä tarkastellun sikatilan elinkaarisesta ilmastovaikutuksesta yli puolet aiheutuu rehuntuotannosta, ja yli puolet tästä soijan käytöstä rehuna. Symbiooseissa soijarehusta korvattiin rehumehulla vain alle 4 % eikä se vaikuttanut tuloksiin merkittävästi. Soijan käyttöä ja täten sikatuotannon ilmastovaikutusta voitaneen kuitenkin vähentää myös muilla kotimaisilla valkuaislähteillä kuin nurmella, kunhan niiden tuotantomäärät ja viljelyvarmuus kasvavat ja kehittyvät suotuisasti.

Viljelykierron vaikutuksista maaperän hiilivarastoon tarvitaan lisää tutkimustietoa. Tämän alustavan arvion mukaan symbioosien vaikutus maaperän hiilivaraston muutokseen voi olla merkittävä riippuen käytetyistä oletuksista. Kuitenkin maaperän hiilivaraston muutosten vaikutukset sianlihan tuotannon elinkaariin kasvihuonekaasupäästöihin olivat vähäiset. Sikatilalla nurmen pinta-alan lisääminen ei kompensoinut vähentynyttä lietalan orgaanisen aineen levitystä omilla pelloilla, sillä viljalle oletettiin nurmea suurempi maanpäällinen hiilisyöte. Nurmen korjuuindeksi vaikuttaa siten merkittävästi maanpäälliseen hiilisyötteeseen. Toisaalta tilan tuottaman mädätteen kuivajae lisäsi hiilen määrää vastaanottavien tilojen pelloilla. Näin ollen viljelykierto ja lantajakeiden uudelleenjako voi kokonaisuutta tarkastellen parantaa peltojen hiilitasetta.

Kannattavuus

Agrisymbiooseja hyödyntävä sianlihantuotanto ei aiheuttanut tilalle lisäkustannuksia nykytilaan verrattuna laskennassa käytetyillä oletuksilla. Olennaista oli kuitenkin 40 % investointituki toimintamallin edellyttämille lisäinvestoinneille. Taloudellista tukea puoltaa se, että toimintamallilla voidaan muuttaa sianlihan tuotantoa nykyistä selvästi ympäristökestävämmäksi sekä ilmasto- että vesistövaikutusten kannalta. Liikennepolttoaineentuotanto voi olla tulevaisuudessa nykyistä houkuttelevampaa liikennekaasumarkkinan kehittyessä, mutta sitä harkittaessa on mm. mahdolliset investointitukitasot varmistettava erikseen.

Lopuksi

Sianlihantuotannossa voidaan saavuttaa ympäristöhyötyjä uusilla toimintamalleilla, eikä kannattavuus kärsi sen myötä. Tarkempia tutkimuksia esim. lannan ja siitä prosessoitujen jakeiden päästöistä ilmaan ja vaikutuksista hiilivarastoon tarvitaan.

LÄHTEET

- Akujärvi, A., Heikkinen, J., Palosuo, T. & Liski, J. 2014. Carbon budget of Finnish croplands — Effects of land use change from natural forest to cropland. *Geoderma Regional* 2–3(0): 1-8.
- Andraski, B.J., Mueller, D.H. & Daniel, T.C. 1985. Phosphorus losses in runoff as affected by tillage. *Soil Science Society of America Journal* 49: 1523–1527
- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A. & VandenBygaart, A.J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118(1–4): 29-42.
- Cavalli, D., Cabassi, G., Borrelli, L., Geromel, G., Bechini, L., Degano, L. & Marino Gallina, P. 2016. Nitrogen fertilizer replacement value of undigested liquid cattle manure and digestates. *European Journal of Agronomy* 73: 34–41.
- Celestina, C., Hunt, J.R., Sale, P.W.G. & Franks, A.E. 2019. Attribution of crop yield responses to application of organic amendments: A critical review. *Soil and Tillage Research* 186: 135–145.
- Chenu, C., Angers, D.A., Barre, P., Derrien, D., Arrouays, D. & Balesdent, J. 2019. Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research* 188: 41-52.
- Ecoinvent v3.5. Tietokanta. www.ecoinvent.org
- Ekholm, P. & Krogerus, K. 2003. Determining algal-available phosphorus of differing origin: Routine phosphorus analyses versus algal assays. *Hydrobiologia* 492: 29–42.
- Ellison, M.E. & Brett, M.T. 2006. Particulate phosphorus bioavailability as a function of stream flow and land cover. *Water Research* 40: 1258–1268.
- EMEP/EEA 2016. EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016. 3.B Manure management. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>
- Fontaine, S., Barot, S., Barré, P., Bdioui, N., Rumpel, C. & Mary, B., 2007. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. *Nature* 7167 277-U210.
- Groth, A., Maurer, C., Reiser, M. & Kranert, M. 2015. Determination of methane emission rates on a biogas plant using data from laser absorption spectrometry. *Bioresource Technology* 178: 359–361
- Grönroos, J., Munther, J. & Luostarinen, S. 2017. Calculation of gaseous emissions from Finnish agri-culture – description of the revised model. Suomen ympäristökeskus. Helsinki.
- Heikkinen, J., Ketoja, E., Seppänen, L., Luostarinen, S. & Regina, K. Chemical quality and decomposition of typical organic amendments used in agricultural soils. *Julkaisematon käsikirjoitus*.
- Heilä, J. 2019. Sikatalousasiantuntija, Ukipolis Oy. Uusikaupunki. Henkilökohtainen tiedonanto. 13.4.2019. [Jyrki Heilän antamat tiedot kustannuslaskentaan.]
- Helin, T., Salminen, H., Hynynen, J. & Soimakallio, S. 2015. Global warming potentials of stemwood used for energy and materials in Southern Finland: differentiation of impacts based on type of harvest and product lifetime. *GCB Bioenergy*.
- Huettl, P.J., Wendt, R.C. & Corey, R.B. 1979. Prediction of algal-available phosphorus in runoff suspensions. *Journal of Environmental Quality* 8: 130–132.
- Innofeed, julkaisematon: Innofeed -projektin ohjausryhmän kokouksissa esitellyjä tuloksia. Tieto saatu ohjausryhmän jäsen Jyrki Heilältä, Pirteä Porsas Oy, Vehmaa.
- IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- IPCC 2014. Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change. Intergovernmental panel on climate change. WGIII. Working group III contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge university press 2014.
- ISO 14040. 2006. Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework.
- Jaakonmäki, S. (toim.) 2013. Varsinais-Suomen alueellinen maaseudun kehittämissuunnitelma 2014–2020. Tarkistettu 7.1.2015. Varsinais-Suomen ELY-keskus.

- Jacobs, A., Auburger, S., Bahrs, E., Brauer-Siebrecht, W., Christen, O., Götze, P., Koch, J., Rücknagel, H. & Märlander, B. 2017. Greenhouse gas emission of biogas production out of silage maize and sugar beet – An assessment along the entire production chain. *Applied Energy* 190: 114-121.
- Karhu, K., Gårdenäs, A.I., Heikkinen, J., Vanhala, P., Tuomi, M. & Liski, J. 2012. Impacts of organic amendments on carbon stocks of an agricultural soil - Comparison of model-simulations to measurements. *Geoderma* 189-190: 606-616.
- Karvosenoja, N. 2018. SYKE:n FRES-mallin tietokanta.
- Keto, L., Perttilä, S., Särkijärvi, S. & Rinne, M. 2018. Rehumehu sikojen ruokinnassa. Innofeed-hankkeen loppuseminaari 11.9.2018. Helsinki. Saatavilla: <https://www.ibcfinland.fi/projects/innofeed/>
- Kytölä, K. 2018. Rehusepti. Kehityspäällikkö, A-Rehu Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. 7.11.2018. [Kimmo Kytölä'n antama tieto rehun koostumuksesta.]
- Kytölä, K. 2019. Kehityspäällikkö, A-Rehu Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 7.6.2019. [Kimmo Kytölä'n antama tieto soijarehun alkuperästä.]
- Kässi, P., Lehtonen, H., Rintamäki, H., Oostra, H. & Sindhöj, E. 2013. Economics of manure logistics, separation and land application. Knowledge report, WP3 Innovative technologies for manure handling, Baltic Manure. www.balticmanure.eu.
- Liang C., Schimel J.P. & Jastrow J.D. 2017. The importance of anabolism in microbial control over soil carbon storage. *Nature microbiology* 2, 17105.
- Lemola, R., Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Sarvi, M. & Turtola, E. 2018. Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2018. Helsinki.
- Liebetrau, J., Weiland, P. & Clemens, J. 2011. Emissionsanalyse und Quantifizierung von Stoffflüssen durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung und Inventarisierung der deutschen Landwirtschaft. German Biomass Research Centre (FKZ: 22023606).
- Liebetrau, J., Reinelt, T., Clemens, J., Hafermann, C., Friehe J. and Weiland, P. 2013. Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector. *Water Science and Technology* 67 (6): 1370-1379.
- Liski, J., Viskari, T., Järvenpää, M., Repo, A., Kulmala, L., Akujärvi, A. & Kaasalainen, M. Soil Carbon model Yasso15. Julkaisematon käsikirjoitus.
- Luostarinen, S., Paavola, T., Ervasti, E., Sipilä, I. & Rintala, J. 2011. Lannan ja muun eloperäisen materiaalin käsittelyteknologiat. MTT Raportti 27. Jokioinen.
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther, J. 2017. Suomen normilanta – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. Helsinki.
- Luostarinen, S., Tampio, E., Berlin, T., Grönroos, J., Kauppila, J., Koikkalainen, K., Niskanen, O., Rasa, K., Salo, T., Turtola, E., Valve, H. & Ylivainio, K. 2019. Keinoja orgaanisten lannoitevalmisteiden käytön edistämiseen. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 5/2019. Helsinki.
- Marttinen, S., Paavola, T., Ervasti, S., Salo, T., Kapuinen, P., Rintala, J., Vikman, M., Kapanen, A., Tornainen, M., Maunuk-sela, L., Suominen, K., Sahlström, L. & Herranen, M. 2013. Biokaasulaitosten lopputuotteet lannoitevalmisteina. MTT Raportti 82. Jokioinen.
- Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turto-la, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiahho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. & zu Castell-Rüdenhausen, M. 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. Nykytila ja suositukset ohjaukeinojen kehittä-miseksi Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Helsinki.
- Mattila, T. 2019. Lähestymistapoja lannoitesuunnitteluun. Kierrätysravinteiden haasteita. Suomen ympäristökeskuksen raport-teja 28/2019.
- Mattila, T. & Rajala, J. 2019. Hyöty irti kierrätyslannoiteista – hyviä käytäntöjä. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 34/2019.
- Monni, S., Perälä, P. & Regina, K. 2007. Uncertainty in agricultural CH₄ and N₂O emissions from Finland - possibilities to increase accuracy in emission estimates. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12: 545–571. NIR 2017. Greenhouse gas emissions in Finland 1990–2016. Kansallinen inventaari-raportti Kioton pöytäkirjan ja YK:n Il-mastosopimuksen mukaan (englanniksi). https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/fi_nir_un_2016_20180415.pdf
- Paavola, T., Lehtoranta, S., Luostarinen, S. & Grönroos, J. 2019. Sikatalouden lietteenkäsittelyn teknologiavertailu. Saatavilla: agrisymbioosi.fi.

- Paavola, T. 2019. Projektipäällikkö, Ukipolis Oy. Asiantuntija-arvio, 3.5.2019. [Teija Paavolan arvio kuivajakeen typpihävikistä.]
- Paavola, T. & Rintala, J. 2008. Effects of storage on characteristics and hygienic quality of digestates from four co-digestion concepts of manure and biowaste. *Bioresource Technology* 99: 7041-7050.
- Paavola, T. & Rintala, J. Co-digestion of manure and sewage sludge in four laboratory-scale concepts followed by storage of digestates intended for land application. *Julkaisematon käsikirjoitus*.
- Paavola, T., Winquist, E., Pyykkönen, V., Luostarinen, S., Grönroos, J., Manninen, K. & Rankinen, K. 2016. Lantaravinteiden kestävä hyödyntäminen tiloilla ja keskitetyssä biokaasulaitoksessa. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 22/2016. Helsinki. 53 s.
- Palosuo, T., Heikkinen, J., Regina, K. 2016. Method for estimating soil carbon stock changes in Finnish mineral cropland and grassland soils. *Carbon Management* 6(5-6): 1-14.
- Palva, R., Hellstedt, M., Luostarinen, S., Winquist, E., Salo, T., Lehtoranta, S., Grönroos, J., Hamina, H. & Puolakka K. 2019. Siipikarjanlannan käytön tehostaminen. Teholanta-hankkeen loppuraportti. TTS:n julkaisuja 435.
- Palva, R. 2019. Tutkija, Työteho-seura. Henkilökohtainen tiedonanto, 17.01.2019. [Reetta Palvan antama tieto viljan kuivauksen energiankulutuksesta.]
- Peltonen, S. 2019. Ilmastoviisas peltoviljely. Teoksessa: Peltonen, S., Aalto, K., Hennola, I. & Anttila, S. Ilmastoviisas maatalayritys. Tieto tuottamaan 145. ProAgria Keskusten Liitto. ss. 25 – 37.
- Peltovuori, T. 2006. Phosphorus in agricultural soils of Finland – characterization of reserves and retention in mineral soils. Doctoral dissertation, Univ. Helsinki, Finland, 69 s.
- Pingoud, K., Ekholm, T. & Savolainen, I. 2012. Global warming potential factors and warming payback time as climate indicators of forest biomass use. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. Volume 17, Issue 4, 369–386.
- Pipatti R., Tuhkanen, S., Mälkiä, P. & Pietilä, R. 2000. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt sekä päästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus. VTT:n julkaisuja 841.
- Poeschl, M., Ward, S. & Owende, P. 2013. Environmental impacts of biogas deployment - Part I: life cycle inventory for evaluation of production process emissions to air. *Journal of Cleaner Production* 24:168–183.
- Puustinen, M., Tattari, S., Väisänen, S., Virkajärvi, P., Rätty, M., Järvenranta, K., Koskiaho, J., Röman, E., Sammalkorpi, I., Uusitalo, R., Lemola, R., Uusi-Kämpä, J., Lepistö, A., Hjerpe, T., Riihimäki, J. & Ruuhijärvi, J. 2019. Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan. Kiertovesi-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 22/2019.
- Rauhala, A. 2019. Kehittämispäällikkö, Atria. Henkilökohtainen tiedonanto 30.9.2019. [Anne Rauhalan antama tieto soijan hintatasosta.]
- Ravander, J., Mattila, T.J. & Rajala, J., 2019. Murokestävyys maan kasvukunnon mittarina. Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti, Mikkeli.
- ReCiPe. ReCiPe methodology for Life Cycle Impact Assessment (LCIA). <https://sites.google.com/site/lciarecipe/home>
- Reinelt, T., Delre, A., Westerkamp, T., Holmgren, M. & Liebetrau, J. 2017. Comparative use of different emission measurements to determine emissions from a biogas plant. *Waste Management* 68: 173-185.
- Rinne, M. 2018. Säilörehu biojalostamon raaka-aineena. Innofeed-hankkeen loppuseminaari, 11.9.2018. Helsinki. Saatavilla: <https://www.ibcfinland.fi/projects/innofeed/>
- Seppälä, A., Kässi, P., Lehtonen, H., Aro-Heinilä, E., Niemeläinen, O., Lehtonen, E., Höhn, J., Salo, T., Keskitalo, M., Nysand, M., Winquist, E., Luostarinen, S. & Paavola, T. 2014. Nurmesta biokaasua liikennepolttoaineeksi. MTT Raportti 151. Jokioinen.
- Seppälä, M. 2013. Biogas production from high-yielding energy crops in boreal conditions. *Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Sciences* 266. Jyväskylän yliopisto. 89 s. + liitteet.
- Soimakallio, S. 2018. Ryhmäpäällikkö, Suomen ympäristökeskus SYKE. Henkilökohtainen tiedonanto 1.11.2018. [Sampo Soimakallion antama tieto hakkeen polton päästökertoimista.]
- Sullivan, D.M., Andrews, N.A., Luna, J.M. & McQueen, J.P.G., 2010. Estimating N contribution from organic fertilizers and cover crop residues using online Calculators, in: *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science; Soil Solutions for a Changing World*. International Union of Soil Sciences.
- SYKE. 2017. Suomen sähkönhankinnan päästöt elinkaarilaskelmissa. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Resurssitehokkuus/Elinkaariajattelu/Sahkonhankinnan_paastot [vierailtu 1.3.2019]

- Tampio, E., Ervasti, S., Paavola, T., Heaven, S., Banks, C. & Rintala, J. 2014. Anaerobic digestion of untreated and autoclaved food waste. *Waste Management* 34, 370-377.
- Vainio, M., Winqvist, E., Tampio, E., Ervasti, S. & Stefanski, T. 2019. Biorefining grass silage for farm-scale use – Separation efficiency and biomethane potential. Poster presentation, Anaerobic Digestion Conference AD16, Delft University of Technology, 23-27 June 2019, Delft, The Netherlands.
- VYR, 2019. Viljojen hintakehitys kotimaassa 2011-2019. Vilja-alan yhteistyöryhmä.
<https://www.vyr.fi/fin/markkinatieto/maailmanmarkkinahinnat/> [vierailtu 2.9.2019]
- Winqvist, E. & Tampio, E. 2018. Nurmen tilakohtainen hyödyntäminen ja tilan ravinnekierrot. Innofeed-projektin loppuseminaari 11.9.2018. Saatavilla: <https://www.ibcfinland.fi/projects/innofeed/>
- Winqvist, E. 2018. Tutkija, Luonnonvarakeskus. Henkilökohtainen tiedonanto. 20.12.2018. [Erika Winqvistin antama tieto ruuvipuristimen sähkönkulutuksesta.]
- Uusitalo, R. & E. Aura. 2005. A rainfall simulation study on the relationships between soil test P versus dissolved and potentially bioavailable particulate forms in runoff. *Agricultural and Food Science* 14: 335–345.
- Uusitalo, R., Lemola, R. & Turtola, E. 2018. Surface and subsurface phosphorus discharge from a clay soil in nine-year study comparing no-till and plowing. *Journal of Environmental Quality* 47(6): 1478-148.
- Yli-Viikari, A. (toim.). 2019. Maaseutuohjelman (2014 – 2020) ympäristöarviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 63/2019. Helsinki.

Eri kasvien viljelyalat sekä massojen ja ravinteiden jakaantuminen eri kasveille omilla ja muiden pelloilla nykytilassa, agrisymbioosissa ja nurmisymbioosissa.

		Omat pellot			Muualle	
		Ohra	Vehnä	Nurmi	Ohra	Vehnä
Nykytila Lietelanta	Viljelyala, jolla hyödynnetään (ha)	257	100	-	140	110
	Määrä (t/a)	4 240	1 648	-	2 303	1 809
	TS (t/a)	205	80	-	111	87
	VS (t/a)	162	63	-	88	69
	Nkok (kg/a)	13 568	5 274	-	7 370	5 789
	N liuk. (kg/a)	8 522	3 312	-	4 629	3 636
	Pkok (kg/a)	3 858	1 500	-	2 096	1 646
Agrisymbioosi Nestejae	Viljelyala, jolla hyödynnetään (ha)	191,5	50	77	-	-
	Määrä (t/a)	4 619	1 447	2 653	-	-
	TS (t/a)	83	26	48	-	-
	VS (t/a)	48	15	28	-	-
	Nkok (kg/a)	14 022	4 393	8 054	-	-
	N liuk. (kg/a)	13 405	4 200	7 700	-	-
	Pkok (kg/a)	462	145	265	-	-
Kuivajae	Viljelyala, jolla hyödynnetään (ha)	-	-	19,25	57	45
	Määrä (t/a)	-	-	245	726	570
	TS (t/a)	-	-	70	207	162
	VS (t/a)	-	-	39	116	91
	Nkok (kg/a)	-	-	2 096	6 211	4 880
	N liuk. (kg/a)	-	-	791	2 344	1 841
	Pkok (kg/a)	-	-	1 444	4 278	3 361
Nurmisymbioosi Nestejae	Viljelyala, jolla hyödynnetään (ha)	197	-	161	-	-
	Määrä (t/a)	4 155	-	5 713	-	-
	TS (t/a)	80	-	109	-	-
	VS (t/a)	50	-	69	-	-
	Nkok (kg/a)	15 509	-	21 322	-	-
	N liuk. (kg/a)	13 776	-	18 939	-	-
	Pkok (kg/a)	416	-	571	-	-
Kuivajae	Viljelyala, jolla hyödynnetään (ha)	-	-	40	58	46
	Määrä (t/a)	-	-	690	998	784
	TS (t/a)	-	-	197	284	223
	VS (t/a)	-	-	119	172	135
	Nkok (kg/a)	-	-	5 109	7 391	5 808
	N liuk. (kg/a)	-	-	1 797	2 600	2 043
	Pkok (kg/a)	-	-	3 009	4 353	3 421



ISBN 978-952-11-5108-8 (nid.)

ISBN 978-952-11-5109-5 (PDF)

ISSN 1796-1718 (pain.)

ISSN 1796-1726 (verkkoj.)