



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2022

Hiilineutraali Suomi 2035

Maatalouden lisätoimenpiteiden ja ruokavaliomuutoksen päästövähennysvaikutukset

Antti Miettinen, Jyrki Aakkula, Kauko Koikkalainen, Heikki Lehtonen,
Sari Luostarinen, Jukka-Pekka Myllykangas, Auvo Sairanen ja Tarja Silfver

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2022

Hiilineutraali Suomi 2035

Maatalouden lisätoimenpiteiden ja ruokavaliomuutoksen
päästövähennysvaikutukset

Antti Miettinen, Jyrki Aakkula, Kauko Koikkalainen, Heikki Lehtonen, Sari Luostarinen,
Jukka-Pekka Myllykangas, Auvo Sairanen ja Tarja Silfver

Viittausohje:

Miettinen, A., Aakkula, J., Koikkalainen, K., Lehtonen, H., Luostarinen, S., Myllykangas, J.-P., Sairanen, A. & Silfver, T. 2022. Hiilineutraali Suomi 2035: Maatalouden lisätoimenpiteiden ja ruokavaliomuutoksen päästövähennysvaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 69 s.

Antti Miettinen ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0001-6283-3823>

Tarja Silfver ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0003-0619-5008>

2. korjattu painos 6.9.2022. Ensimmäisen painoksen termi ´maidontuotantoa varten siemennetyt hiehot´ on korvattu termillä ´siemennetyt hiehot´ sivuilla 4, 21, 22 (Taulukon 4 alaviite), 29, 39 (Taulukon 17 alaviite), 47 ja 59.



ISBN 978-952-380-499-9 (Painettu)

ISBN 978-952-380-500-2 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-500-2>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Antti Miettinen, Jyrki Aakkula, Kauko Koikkalainen, Heikki Lehtonen,

Sari Luostarinen, Jukka-Pekka Myllykangas, Auvo Sairanen ja Tarja Silfver

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2022

Julkaisuvuosi: 2022

Kannen kuva: Tapio Heikkilä

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.omapumu.com/fi/>

Tiivistelmä

Antti Miettinen¹, Jyrki Aakkula², Kauko Koikkalainen², Heikki Lehtonen², Sari Luostarinen³, Jukka-Pekka Myllykangas², Auvo Sairanen⁴ ja Tarja Silfver⁴

¹Luonnonvarakeskus, Yliopistokatu 6 B, 80100 Joensuu

²Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

³Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen

⁴Luonnonvarakeskus, Halolantie 31 A, 71750 Maaninka

Vuonna 2021 päättyneen VN TEAS HIISI -hankkeen yhdessä osakokonaisuudessa mallinnettiin maatalous- ja LULUCF-sektorien kasvihuonekaasupäästöjen kehitys nykytoimin (HIISI-WEM-skenaario) ja uusin politiikkatoimin (HIISI-WAM-skenaario). Kaikki pääministeri Marinin hallituksen politiikkatoimet vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseen eivät kuitenkaan olleet vielä tiedossa kesällä 2021 HIISI-WAM-skenaarion toimia määriteltäessä. Siksi tarvittiin maatalouden kasvihuonekaasupäästöjä koskeva uusi vaikutusarviointi, jossa ovat mukana hallituksen syksyn 2021 budjettiriihen yhteydessä maataloudelle linjaamat keskeiset toimet: rajoitetaan turpeen hajoamista ja maaperäpäästöjä nostamalla pohjaveden pintaa turvepelloilla siirtämällä vähintään 30 000 hehtaarin pinta-ala kosteikkoviljelyyn, lisätään ilmastoystävällisen rehun osuutta kotieläinten ruokinnassa ja edistetään biokaasun käyttöä sekä kierrätyslannoitevalmisteiden kokeilua ja käyttöönottoa. Lisäksi hallitus sopi, että EU:n yhteisen maatalouspolitiikan (CAP) seuraavan rahoituskauden kansallinen toimeenpano linjataan syyskuussa 2021 päättyvän Suomen CAP-suunnitelman lausuntokierroksen jälkeen.

Tässä selvityksessä tarkasteltaviksi maatalouden lisätoimenpiteiksi valittiin turvemaan nurmiviljely korotetulla pohjavedenpinnan tasolla (-30 cm maanpinnan tasosta), ruokohelven yms. kasvien viljely turvemaalla korotetulla pohjavedenpinnan tasolla (-30 cm maanpinnan tasosta), turvepeltojen nurmet (CAP-suunnitelman toimenpide), entiselle turvepellolle kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemiseksi perustettu kosteikko (sisältyy CAP-suunnitelman toimenpiteeseen kosteikkojen hoito), nautojen metaanipäästöjen vähentäminen 3-nitro-oksipropanolia sisältävän rehulisäaineen avulla sekä kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisääminen. Jälkimmäisen oletuksena on, että yhä suurempi osuus lannan ja maatalouden kasvibiomassojen energiasisällöstä otetaan talteen biokaasuna ja jäljelle jäävästä mädätteestä valmistetaan kierrätyslannoitevalmisteita.

Selvityksen perusskenaariota käytettiin VN TEAS HIISI -hankkeessa muodostettua perusskenaariota (HIISI-WEM). Selvityksessä hyödynnettiin VN TEAS HIISI -hankkeessa laadittua politiikkaskenaariota (HIISI-WAM) ja muodostettiin uusi politiikkaskenaario (HIISI-WAM-budjettiriihi), joka huomioi HIISI-WAM-skenaarioon jo sisältyvien toimien lisäksi myös edellä mainitut uudet lisätoimenpiteet. Näiden skenaarioiden tuottamia eroja vertailemalla tarkasteltiin, kuinka suuria päästövähennyksiä lisätoimien avulla voidaan saavuttaa vuosina 2025–2050. Samalla arvioitiin uusien toimenpiteiden toteuttamiskustannuksia ja kustannusvaikuttavuutta.

Nykytoimiskenaarioon (HIISI-WEM) verrattuna HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarioon sisältyvien maatalouden toimenpiteiden päästövähennyspotentialiaali on maataloussektorilla 0,86 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia (Mt CO₂-ekv.) vuoteen 2035 mennessä. Lisäksi toimenpiteistä syntyy päästövähennyksiä 1,19 Mt CO₂-ekv. LULUCF-sektorilla ja 0,26 Mt CO₂-ekv. energiasektorilla, jolloin maataloudesta peräisin olevat päästöt vähenevät HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa kaikkiaan 2,31 Mt CO₂-ekv. vuoteen 2035 mennessä.

Tarkastelluista lisätoimenpiteistä kustannusvaikuttavimpia ovat toimenpiteet, joissa turvepelloilla viljellään kosteikkoviljelyyn soveltuvia kasveja tai nurmea korotetulla pohjavedenpinnan

tasolla. Näillä toimenpiteillä yhden hiilidioksidiekvivalenttitonnin suuruisen päästövähennyksen kustannukseksi tulee arviolta 30–40 euroa.

Rehun lisäaine 3-nitro-oksipropanoli (3-NOP) vähentää eläinkohtaisia nautojen ruuansulatuksen metaanipäästöjä noin neljänneksen, joka lähivuosina tarkoittaisi noin 0,33 Mt CO₂-ekv:n vuotuista päästövähennystä maataloussektorilla. Tämä edellyttää 3-NOP-lisäaineen antamista jatkuvasti rehun joukossa EU-hyväksynnän mukaisille eläinryhmille: lypsy- ja emolehmät sekä siemennetyt hiehot. 3-NOP-valmisteella ei ole vielä markkinahintaa, joten lisäaineen kustannukseksi arvioitiin 1 snt / tuotettu maitolitra perustuen oletettuun päästöoikeuden hintaan 70 € / tn CO₂-ekv. Maitoa tuotetaan Suomessa vuosittain noin 2,25 miljardia litraa, joten kokonaiskustannukset 3-NOP-lisäaineen käytöstä ovat arviolta noin 22,5 miljoonaa euroa vuodessa.

Kierrätyslannoitevalmisteet voivat korvata osan mineraalilannoitteista, mikä vähentää lannoitteiden tuotannosta aiheutuvia kasvihuonekaasujen päästöjä. Kun kierrätyslannoitevalmisteita tuotetaan biokaasulaitosten yhteydessä maatalouden lannoista ja apilanurmesta, voidaan vähentää lannankäsittelyn päästöjä ja tarjota mielekäs hyödyntämiskohde sellaisille nurmimaisoille, joita ei tarvita rehuna mutta joiden tuotanto voi tukea mm. maaperän kunnon ylläpitoa. Biokaasulaitoksissa tuotettu energia voidaan hyödyntää maataloudessa tai tarjota kädenjälkenä muille toimijoille. Suurimmat päästövähennykset biokaasun käytöstä saadaan, kun sitä käytetään liikenteen fossiilisten polttoaineiden tai teollisuudessa maakaasun korvaajana. Kokonaispäästövähennysvaikutus kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisäämisestä maatalouden biomassojen hyödyntämisessä vuonna 2035 on 0,41 Mt CO₂-ekv., josta 0,15 Mt CO₂-ekv. maataloussektorilla.

Maatalouden lantojen ja nurmien hyödyntäminen biokaasutuotannossa tehostaa ravinteiden kierrätystä, mutta vaatii merkittäviä investointeja ja investointitukia. Ravinteiden kierrätys onkin pelkkää ilmastovaikutusta suurempi tekijä kestäväen ruokaketjun toteutuksessa, sillä se lisää ravinneomavaraisuutta, parantaa huoltovarmuutta ja vähentää maatalouden haitallisia vesistövaikutuksia.

Selvityksessä tarkasteltiin myös kansallisen kasvispainotteisemman ruokavalion vaikutuksia maatalouden kasvihuonekaasupäästöihin ja muodostettiin ruokavaliomuutoksen politiikkaskenaario (HIISI-WAM-ruokavaliomuutos). HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaario sisältää samat toimenpiteet kuin HIISI-WAM-budjettiriihiskenaario. HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa maataloustuotanto, pellonkäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt muuttuvat HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarioon verrattuna sen vuoksi, että ruokavaliot ja maataloustuotteiden kotimainen kysyntä muuttuvat. Muutokset ruokavalioiden johtuvat kuluttajien mieltymysten ja ruokakäytösten muutoksista.

HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaarion päästövähennysvaikutus maataloussektorilla on yhteensä 1,07 Mt CO₂-ekv. vuonna 2035 HIISI-WEM-skenaarioon verrattuna. Lisäksi päästövähennyksiä syntyy 0,99 Mt CO₂-ekv. LULUCF-sektorilla ja 0,26 Mt CO₂-ekv. energiasektorilla, jolloin maataloudesta peräisin olevat päästöt vähenevät HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa kaikkiaan 2,32 Mt CO₂-ekv. vuoteen 2035 mennessä. Ruokavaliomuutos vaikuttaa maataloustuotantoon viiveellä, joten HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaarion isommat päästövähennysvaikutukset näkyvät vasta vuoden 2035 jälkeen. Vuoteen 2040 mennessä maataloussektorin päästövähennystä kertyy vielä 0,3 Mt CO₂-ekv. lisää.

Asiasanat: 3-nitro-oksipropanoli, biokaasu, ilmastonmuutos, kasvihuonekaasut, kierrätyslannoitevalmisteet, kosteikkoviljely, lanta, maatalous, ohjaukset, päästövähennykset

Alkusanat ja kiitokset

Tämä on HIISI-maatalousjatkohankkeen loppuraportti. Hankkeen toteuttivat Luonnonvarakeskuksen tutkijat ja sen rahoitti maa- ja metsätalousministeriö.

Hanke on jatkoa valtioneuvoston kanslian tilaamalle VN TEAS HIISI -hankkeelle, jonka tulokset julkaistiin joulukuussa 2021.

HIISI-maatalousjatkohankkeen yhteyshenkilö maa- ja metsätalousministeriössä oli Birgitta Vainio-Mattila. Hankkeelle ei nimetty ohjausryhmää, mutta hankkeen aikana alustavia tuloksia esiteltiin muun muassa maa- ja metsätalousministeriön ilmasto- ja energiatiimille.

Kiitämme Birgitta Vainio-Mattilaa, Eeva Saarisaloa, Tiina Hartmania ja Eero Pehkosta saamis-
tamme hyödyllisistä kirjallisista kommentteista.

Tutkijaryhmän puolesta Joensuussa elokuussa 2022

Antti Miettinen

HIISI-maatalousjatkohankkeen vastuullinen johtaja

Sisällys

1. Johdanto ja selvityshankkeen tavoitteet	8
1.1. Hankkeen tausta.....	8
1.2. Hankkeen liittyminen politiikkaohjelmiin ja muihin tutkimuksiin	8
1.3. Hankkeen tavoitteet ja rajaus.....	11
2. Skenaariolaskelmiin liittyvät politiikkatoimet sekä ruokavaliomuutos	12
2.1. Tarkennukset CAP-kauden (2023–2027) kansalliseen toimeenpanoon sekä kosteikkoviljelyn alan nosto 30 000 hehtaariin vuoteen 2030 mennessä.....	12
2.2. Ilmastoystävällisten rehujen osuuden lisääminen.....	13
2.2.1. 3-nitro-oksipropanoli.....	13
2.2.2. Skenaariotarkastelun ulkopuoliset päästövähennysmahdollisuudet nautojen ruokinnassa.....	15
2.3. Kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisääminen	15
2.4. Ruokavaliomuutosskenaario.....	16
3. Skenaarioiden määrittelyt ja laskentamenetelmät.....	18
3.1. HIISI-WEM.....	18
3.2. HIISI-WAM.....	19
3.3. HIISI-WAM-budjettiriihi.....	20
3.3.1. Tarkennukset CAP-kauden (2023–2027) kansalliseen toimeenpanoon sekä kosteikkoviljelyn alan nosto 30 000 hehtaariin vuoteen 2030 mennessä.....	20
3.3.2. 3-NOP-lisäaineen käyttö nautojen ruokinnassa.....	21
3.3.3. Biokaasun ja kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisääminen	22
3.3.4. Kasviuonekaasupäästöjen ja poistumien laskenta HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa	28
3.4. HIISI-WAM-ruokavaliomuutos.....	30
3.4.1. Maataloustuotannon ja pellonkäytön muutokset HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa.....	30
3.4.2. 3-NOP-lisäaineen käyttö nautojen ruokinnassa.....	38
3.4.3. Biokaasun ja kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisääminen	39
3.4.4. Kasviuonekaasupäästöjen ja poistumien laskenta HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa.....	44
4. Skenaarioiden kasviuonekaasuvaikutukset.....	45
4.1. HIISI-WAM-budjettiriihi.....	45
4.2. HIISI-WAM-ruokavaliomuutos.....	49
5. Kustannusarviot ja kustannusvaikutusarviot HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarion lisätoimista.....	52

5.1. Tarkennukset CAP-kauden (2023–2027) kansalliseen toimeenpanoon sekä kosteikkoviljelyn alan nosto 30 000 hehtaariin vuoteen 2030 mennessä.....	52
5.2. 3-NOP-lisäaineen käyttö nautojen ruokinnassa	53
5.3. Biokaasun ja kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisääminen	54
5.4. Maatalouden lisätoimenpiteiden kustannusvaikuttavuus.....	56
6. Tulosten tarkastelu ja loppupäätelmät	58
Viitteet.....	64

1. Johdanto ja selvityshankkeen tavoitteet

1.1. Hankkeen tausta

Pääministeri Sanna Marinin hallitusohjelman (2019) yhtenä tavoitteena on, että Suomi on hiilineutraali vuonna 2035 ja hiilinegatiivinen nopeasti sen jälkeen. Ilmastotavoitteet sitovat myös tulevia hallituksia, sillä eduskunta hyväksyi toukokuussa 2022 uuden ilmastolain (423/2022), jonka keskeisenä tavoitteena on varmistaa, että kasvihuonekaasujen päästöt ovat enintään yhtä suuret kuin poistumat viimeistään vuonna 2035 ja että poistumat kasvavat ja päästöt vähenevät edelleen myös sen jälkeen. Maatalouden osalta tavoitteen saavuttaminen edellyttää ilmasto- ja ympäristöystävällistä ruokajärjestelmää, maatalouden ilmastopäästöjen nopeutettuja vähennyksiä ja maatalouden hiilensidonnan lisäämistä.

Ilmastopoliittisten toimien vaikuttavuutta arvioidaan ja seurataan niin kutsuttujen WEM- ja WAM-skenaarioiden¹ sekä niiden erotuksen avulla. Skenaariot eivät ole ennusteita, vaan vaihtoehtoisia oletuksiin perustuvia kehityskulkujen kuvauksia mahdollisista tulevaisuuksista. WEM-skenaario (ns. perusskenaario tai nykytoimiskenaario) kuvaa kasvihuonekaasujen nettopäästöjen kehityksen jatkumoa, kun sovelletaan pelkästään jo käytössä olevia politiikkatoimia. WAM-skenaario (ns. politiikkaskenaario tai lisätoimiskenaario) puolestaan kuvaa kasvihuonekaasujen nettopäästöjen kehitystä tilanteessa, jossa käyttöön otetaan uusia ohjauskeinoja jo käytössä olevien politiikkatoimien lisäksi.

Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset (HIISI) -hankkeessa (Koljonen ym. 2021) arvioitiin, kuinka Suomi voisi saavuttaa kestävästi kansalliset ja Euroopan unionin (EU) asettamat ilmasto- ja energiataavoitteet. VN TEAS -rahoitteisen HIISI-hankkeen yhdessä osakokonaisuudessa (Maanvilja ym. 2021) mallinnettiin maataloussektorin ja maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous (LULUCF) -sektorin kasvihuonekaasupäästöjen kehitys nykytoimin (HIISI-WEM-skenaario) ja uusien politiikkatoimin (HIISI-WAM-skenaario). HIISI-WAM-skenaariota määriteltäessä kaikki Marinin hallituksen politiikkatoimet vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseen eivät kuitenkaan olleet vielä tiedossa.

Syksyn 2021 budjettiriihessä hallitus linjasi maataloudelle uusia politiikkatoimia ja sopi niiden päästövähennysvaikutusten selvittämisestä ennen mahdollisia uusia linjauksia. Tästä syystä oli tarve tehdä maatalouden kasvihuonekaasupäästöjä koskeva uusi vaikutusarviointi, jossa ovat mukana hallituksen budjettiriihessä maataloudelle linjaamat keskeiset toimet.

1.2. Hankkeen liittyminen politiikkaohjelmiin ja muihin tutkimuksiin

Syyskuun 2021 budjettiriihessä hallitus asetti tavoitteeksi, että maatalouden päästöjä taakanjakosektorilla vähennetään 0,4 Mt CO₂-ekv. nykytoimiskenaarioon (HIISI-WEM-skenaarioon) verrattuna vuoteen 2030 mennessä. Maataloutta koskevat budjettiriihen muut ilmastokirjaukset pitävät sisällään muun muassa ilmastoystävällisempien rehujen osuuden lisäämistä

¹ WEM = With Existing Measures ja WAM = With Additional Measures

markkinoilla sekä panostuksen kotieläinten ruokinnan päästöjä vähentävien rehun lisäaineiden kehitys- ja selvitystyöhön. Kosteikkoviljelyä² edistämällä hallitus haluaa rajoittaa turpeen hajoamista ja turvepeltojen maaperäpäästöjä. Tavoitteena on saada vähintään 30 000 hehtaarin pinta-ala turvepeltoja kosteikkoviljelyyn. Kierrätyslannoitteiden kokeilua ja käyttöönottoa edistetään kannusteiden ja neuvonnan avulla³. Päästövähennykset toteutetaan keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelman puitteissa. Päästövähennyksiä tullaan toteuttamaan ja nieluja vahvistamaan lisäksi myös maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteillä sekä kansallisen CAP-suunnitelman⁴ toimenpiteillä.

Luonnos Suomen CAP-suunnitelmaksi vuosille 2023–2027 oli lausunnolla kesällä 2021. Suunnitelmaan tehtiin lausuntojen perusteella muutoksia, ja joulukuussa 2021 hallitus hyväksyi istunnossaan maa- ja metsätalousministeriön valmisteleman esityksen Suomen CAP-suunnitelmaksi (MMM 2021). Suunnitelma lähetettiin Euroopan komissiolle ennen vuodenvaihdetta. Komissio analysoi Suomen ja muiden jäsenvaltioiden sille lähettämiä CAP-suunnitelmia ja lähetti maaliskuussa 2022 jäsenmaille ns. havaintokirjeet, joissa arvioitiin suunnitelmia. Komission havaintokirje käynnisti Suomen CAP-suunnitelman hyväksymisneuvottelujen viimeisen vaiheen. Suomi ja Euroopan komissio kävivät neuvotteluja huhtikuusta heinäkuun puoliväliin saakka, jolloin päästiin neuvotteluratkaisuun siitä, miten EU:n yhteistä maatalouspolitiikkaa sovelletaan Suomessa vuoden 2023 alusta lähtien. Suomen viimeistelty CAP-suunnitelma (MMM 2022) ja Suomen vastaukset komission CAP-suunnitelmasta antamiin havaintoihin toimitettiin Euroopan komissiolle 20. heinäkuuta 2022. Komission muodollista hyväksyntää Suomen CAP-suunnitelmalle odotetaan syyskuussa 2022.

Valtioneuvosto asetti 16.12.2021 osana Suomen CAP-suunnitelmaa tavoitteen vähentää maatalouden kasviuonekaasupäästöjä 29 prosentilla vuoden 2019 tasosta vuoteen 2035 mennessä. Ruoantuotannon hiili-euro-ohjelman (HERO) -selvityksessä (Lehtonen 2022) laadittiin suunnitelma siitä, miten maatalouden noin 16 Mt CO₂-ekv. kasviuonekaasupäästöjä (taakanjakosektori + maatalouden LULUCF-sektori + maatalouden energiankäyttö) vähennetään 29 % vuoteen 2035 mennessä niin, että ruokaturva ja maatilojen talous vahvistuvat. HERO-selvityksen tehtävänanto poikkesi merkittävästi HIISI-maatalousjatkohankkeen tehtävänannosta. Tästä syystä HEROssa käytetty keinovalikoima on osin erilainen ja laajempi (satotasojen ja tuottavuuden kasvattaminen maataloudessa) kuin tässä selvityksessä. HERO-selvitys pohjautui kesällä 2020 julkistettuun maatalouden ilmastotiekarttaan (Lehtonen ym. 2020). Maatalouden

² Kosteikkoviljely on viljelyä märillä tai uudelleen vetetyillä turvemailla. Kosteikkoviljelyyn soveltuvat kasvit menestyvät märissä oloissa ja tuottavat hyödynnettävää biomassaa, vaarantamatta kuitenkaan turpeen säilymistä. Kosteikkoviljelykasveja voidaan käyttää muun muassa energiakasveina, teollisuuden raaka-aineena, eläinten rehuna, ihmisravintona ja lääkekasveina (Naukkarinen 2021).

³ Varautumisen ministerityöryhmä linjasi maaliskuussa 2022 vuosina 2022–2026 toteutettavaksi toimia, joilla vauhditetaan nopealla aikataululla siirtymistä fossiilisista polttoaineista uusiutuviin energiamuotoihin. Ravinteiden kierrätyksen kokeiluohjelma sai lisärahoitusta 9 miljoonaa euroa. Ravinteiden talteenoton kehittäneisiin teknologioihin ja niihin liittyviin kone-, laite-, rakennus- ja laiteinvestointeihin myönnettiin investointitukea 25 miljoonaa euroa. Kosteikkoviljelyyn osoitettiin 30 miljoonan euron määräraha.

⁴ CAP-suunnitelma on Euroopan unionin yhteisen maatalouspolitiikan (CAP) rahoituskauden 2021–2027 kansallinen strateginen suunnitelma. CAP-suunnitelmassa kuvataan maatalous- ja maaseutupolitiikan tavoitteet ja toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi. CAP-suunnitelman sisällöstä päättää Suomessa valtioneuvosto ja EU:ssa Suomen suunnitelman hyväksyy Euroopan komissio.

ilmastotiekartassa ja HERO-selvityksessä on kuitenkin paljon myös samoja toimenpiteitä kuin tässä selvityksessä.

Valtioneuvosto hyväksyi keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelman (YM 2022) kesäkuussa 2022. Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelman tarkoituksena on linjata päästökaupan ulkopuolisten sektoreiden (ns. taakanjakosektorin⁵) toimenpiteet, joilla saavutetaan EU:n Suomelle asettama taakanjakosektorin päästövähennystavoite vuoteen 2030 mennessä ja Marinin hallitusohjelman (2019) mukainen hiilineutraaliustavoite vuoteen 2035 mennessä. Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmaluonnos oli lausuntokierroksella vuodenvaihteessa 2021–2022. Tutkimuslaitokset tekivät luonnosversiosta riittävyysarviointit helmikuussa 2022. Ilmasto- ja energiapoliittinen ministerityöryhmä linjasi maaliskuussa 2022 taakanjakosektoria koskevista lisätoimista tutkimuslaitosten arvioiden pohjalta ja nosti maatalouden päästövähennystavoitteen 0,4 miljoonasta hiilidioksidiekvivalenttitonnista 0,6 miljoonaan hiilidioksidiekvivalenttitonniin vuoteen 2030 mennessä. Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmassa maatalouden toimiin kuuluvat turvemaiden päästöjen hillitseminen, kivennäismaiden hiilensidonnan lisääminen, täsmäviljely, ilmastoystävälliset ruokavalinnat ja lypsylehmien metaanituotannon vähentäminen (YM 2022).

Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmaa valmisteltiin rinnakkain ilmasto- ja energiastrategian ja maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman kanssa. Valtioneuvosto lähetti kansallisen ilmasto- ja energiastrategian selontekona (VNS 2022a) eduskuntaan kesäkuussa 2022.

Valtioneuvosto hyväksyi maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman heinäkuussa 2022 ja antoi suunnitelmasta selonteon eduskunnalle (VNS 2022b). Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma (VNS 2022b) kattaa maatalousmaiden hiilidioksidipäästöihin, metsiin, maankäytön muutoksiin ja ilmastokosteikkoihin kohdentuvat toimenpiteet. Toimenpiteillä tavoitellaan nykytoimiin verrattuna vähintään kolmen miljoonan hiilidioksidiekvivalenttitonnin suuruista ilmastovaikutusta vuoteen 2035 mennessä. Tavoite on määritelty hallituksen Vuosaaren ilmastokokouksessa 3.2.2020 julkistamassa tiekartassa Hiilineutraali Suomi 2035 -tavoitteen saavuttamiseksi (Valtioneuvosto 2020). Maa- ja metsätalousministeriö pyysi Luonnonvarakeskukselta skenaariotarkastelun tavoitteen saavuttamisen varmistamiseksi. Skenaariotarkastelun (Ollila ym. 2022) mukaan maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman toimilla saavutettava nettovaikutus on 4,7 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia vuonna 2035 perusskenaarioon verrattuna. Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmaluonnokseen sisältyvien toimenpiteiden kustannuksia ja kustannusvaikuttavuutta on arvioitu PTT:n tekemässä selvityksessä (Laturi ym. 2022). Useat turvemaa- pelloille suunnitellut toimenpiteet ovat samoja kuin HIISSI-maatalousjatkohankkeessa tarkasteltavat toimenpiteet.

Ennen Ollilan ym. (2022) skenaariotarkastelua, Lehtonen ym. (2021) tekivät etukäteisarvioita hallitusohjelmassa mainittujen maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteiden vaikutuksista hiilinielujen vahvistamiseen ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Tutkimus sisältää myös arvioita ilmastotoimenpiteiden vaikutuksista muihin ekosysteemipalveluihin ja luonnon monimuotoisuuteen.

Luonnonvarakeskus on myös tuottanut yleistajuisen tiivistelmäraportin maataloudesta lähtöisin olevien kasvihuonekaasupäästöjen merkittävimmistä vähentämistoimenpiteistä ja niiden

⁵ Taakanjakosektorille lasketaan liikenteen, maatalouden, rakennusten erillislämmityksen, työkoneiden, jätteiden käsittelyn ja F-kaasujen päästöt.

kustannuksista (Ahvenjärvi ym. 2022). Raportti on suunnattu erityisesti poliittisen valmistelun tueksi sekä asiantuntijoiden ja viljelijöiden käyttöön.

Kierrätyslannoitteiden osuuden lisäämisellä on yhteyksiä Luonnonvarakeskuksessa käynnissä olevaan Ravinteiden kierrätyksen tilastointi ja seuranta (RAKITI) -hankkeeseen. RAKITI-hankkeessa luodaan tilastointimenettely, jonka avulla voidaan seurata ravinteiden kierrätyksen kehittymistä Suomessa. Tieto mahdollistaa kansallisen ravinteiden kierrätyksen toimenpideohjelman etenemisen seurannan ja erityisesti kierrätysravinteiden maatalouskäytön kehittymisen seurannan.

1.3. Hankkeen tavoitteet ja rajaus

HIISI-maatalousjatkohankkeen tavoitteeksi asetettiin uusi maatalouden päästövähennystoimien arviointi, jossa ovat mukana hallituksen syksyn 2021 budjettiriihessä maataloudelle linjaamat keskeiset toimet:

- Turvemaan nurmiviljely korotetulla pohjavedenpinnan tasolla (vedenpinta -30 cm maanpinnasta)
- Ruokohelven yms. kasvien viljely turvemaalla korotetulla pohjavedenpinnan tasolla (vedenpinta -30 cm maanpinnasta)
- Turvepeltojen nurmet (CAP-suunnitelman toimenpide)
- Kosteikkojen hoito (CAP-suunnitelman toimenpide), joka pitää sisällään suon kaltaisiksi alueiksi entisille turvepelloille perustetut kosteikot
- 3-NOP-lisäaineen käyttö nautojen ruokinnassa
- Kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisääminen

Päästövähennysvaikutusten lisäksi tavoitteena oli arvioida myös yllä mainittujen toimenpiteiden käyttöönottomahdollisuuksia ja kustannuksia.

Vaikutusarviointi toteutettiin muodostamalla mallintaen uusi politiikkaskenaario (HIISI-WAM-budjettiriihi). Lisäksi selvitettiin kansallisen ruokavaliomuutoksen (siirtyminen aiempaa kasvispainotteisempaan ruokavalioon) vaikutuksia maatalouteen liittyviin kasvihuonekaasupäästöihin laatimalla erillinen ruokavaliomuutoksen politiikkaskenaario (HIISI-WAM-ruokavaliomuutos). Tarkastelu on pääasiassa rajattu taakanjakosektorille ja maatalouden LULUCF-sektorille, mutta kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisäämisessä käsitellään myös energiasektoria.

2. Skenaariolaskelmiin liittyvät politiikkatoimet sekä ruokavaliomuutos

2.1. Tarkennukset CAP-kauden (2023–2027) kansalliseen toimeenpanoon sekä kosteikkoviljelyn alan nosto 30 000 hehtaariin vuoteen 2030 mennessä

HIISI-WAM-skenaario (Maanvilja ym. 2021) laadittiin kesän 2021 CAP-suunnitelman lausuntoversiossa olleiden toimien mukaisesti. Joulukuussa 2021 komissioon lähetettyyn Suomen esitykseen Suomen CAP-suunnitelmaksi 2023–2027 (MMM 2021) tehtiin muutoksia lausunnoista saatujen palautteiden perusteella. Nämä tarkennukset otettiin mukaan HIISI-maatalousjatkohankkeen skenaariolaskelmiin⁶. Lisäksi tässä selvityksessä tarkastellaan kosteikkoviljelyn alan nostoa 30 000 hehtaariin vuoteen 2030 mennessä syksyn 2021 budjettiriihessä tehtyjen linjausten mukaisesti.

Euroopan komissiolle joulukuussa 2021 toimitettuun esitykseen Suomen CAP-suunnitelmaksi (MMM 2021) lisättiin ympäristökorvauksen lohkoittainen toimenpide Turvepeltojen nurmet. Toimenpide on samansisältöisenä mukana myös komission havaintojen ja CAP-suunnitelman hyväksymisneuvottelujen pohjalta viimeistellyssä Suomen CAP-suunnitelmassa (MMM 2022). Toimenpiteessä viljelijä perustaa turvemaalle nurmikasvuston, jota saa lannoittaa normaalisti ja sato on korjattava vuosittain. Nurmikasvusto on säilytettävä koko sitoumuskauden ajan, eikä sitä saa uusia muokkaamalla. Myös kasvinsuojeluaineiden käyttö on kielletty. Viljelijälle maksetaan toimenpiteen toteuttamisesta ympäristökorvausta 100 €/ha/vuosi. Toimenpiteen tavoiteala CAP-suunnitelmassa (MMM 2022) on 20 000 hehtaaria kasvukaudella 2023 ja sen jälkeen 40 000 ha/vuosi. Tavoiteala vuosina 2023–2029 on yhteensä 180 000 hehtaaria. Toimenpide ei edellytä pohjaveden pinnankorkeuden nostamista, mutta nurmiviljely mahdollistaa pohjaveden pinnan pitämisen korkeammalla kuin yksivuotisten tuotantokasvien viljelyssä.

CAP-suunnitelman lausuntoversiossa ollut nurmitoimenpide, joka olisi korvannut yksivuotisten kasvien viljelyä turvemaalla jäi pois jo komissiolle joulukuussa 2021 toimitetusta suunnitelmasta. Sen korvasi edellä mainittu Turvepeltojen nurmet -toimenpide. Pois jääneen toimenpiteen olisi voinut perustaa ainoastaan yksivuotisen kasvin viljelyssä olleelle turvepellolle ja sen tavoiteala oli 20 000 ha. Tämän toimenpiteen mukaiset päästövähennykset olivat mukana HIISI-WAM-skenaariolaskelmissa (Maanvilja ym. 2021). HIISI-maatalousjatkohankkeen WAM-skenaarioissa mukana oleva Turvepeltojen nurmet -toimenpide poikkeaa pois jääneestä toimenpiteestä siten, että se korvaa vuosittain yksivuotisen kasvin (viljan) viljelyä vain 10 000 hehtaarin alalla, vaikka toimenpidettä toteutetaan 40 000 hehtaarin alalla. Tämä johtuu siitä, että Suomessa nurmea viljellään normaalisti neljän vuoden viljelykierrossa siten, että nurmikasvusto uusitaan suojaviljaa käyttäen kolmen nurmivuoden jälkeen kyntämällä. Tällöin toimenpiteen

⁶ Komission kanssa huhti-heinäkuussa 2022 käytyjen neuvottelujen myötä joulukuussa 2021 komissioon lähetettyyn esitykseen Suomen CAP-suunnitelmaksi (MMM 2021) tehtiin muutoksia. Kooste merkittävimmistä muutoksista on julkaistu maa- ja metsätalousministeriön verkkosivuilla osoitteessa <https://mmm.fi/documents/1410837/12210688/Kooste+tehdyist%C3%A4+merkitt%C3%A4vimmist%C3%A4+muutoksista+Suomen+CAP-suunnitelmaan.pdf/bcb28f0a-f28f-4d8d-14ce-5e8d1ab1eb9a/Kooste+tehdyist%C3%A4+merkitt%C3%A4vimmist%C3%A4+muutoksista+Suomen+CAP-suunnitelmaan.pdf?t=1658397605198>

40 000 ha tavoitealasta ainoastaan 10 000 ha korvaa yksivuotista kasvia ympäristökorvauksen viiden vuoden sitomusaikana.

Toinen ilmastotoimenpiteeksi katsottava toimenpide sisältyy Suomen CAP-suunnitelman (MMM 2022) Kosteikkojen hoito -toimenpiteeseen, jossa lohko-kohtaisen ympäristösopimuksen voi tehdä myös ilmastokosteikoksi muutetusta turvepellostä. Kosteikkojen perustamista tuetaan ei-tuotannollisiin investointeihin kuuluvalla Kosteikkoinvestoinnit-toimenpiteellä (MMM 2022). Kosteikoksi muutettu turvepelto ei ole enää maatalousmaata eikä näin ollen maataloustukikelpoinen vaan suon kaltaiseksi alueeksi entiselle turvepellolle kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemiseksi perustettu ns. ilmastokosteikko. Korvausta kosteikon hoidosta maksetaan 500 €/ha/vuosi. Tavoiteala kaikille kosteikoille yhteensä vuosina 2023–2029 on 10 800 hehtaaria (MMM 2022), josta entisille turvepelloille perustettujen kosteikoiden osuudeksi on tässä selvityksessä arvioitu hieman yli kolmasosa. Entisille turvepelloille perustetut ilmastokosteikot olivat mukana myös HIISI-WAM-skenaariossa (Maanvilja ym. 2021), mutta niiden toteutus-pinta-ala oli oletettu pienemmäksi kuin HIISI-maatalousjatkohankkeessa.

Syksyn 2021 budjettiriihessä linjattiin, että hallitus edistää valkuaisomavaraisuutta sekä kosteikko- ja märkäviljelyä, jossa pohjavedenpinnan korkeutta nostamalla rajoitetaan turpeen hajoamista ja siten maaperäpäästöjä. Tavoitteena on saada vähintään 30 000 hehtaarin pinta-ala kosteikkoviljelyyn. Päästövähennyksiä tuottavien toimien ohessa turvataan kannattava ruuan-tuotanto ja maatalouden kokonaiskestävyys.

Tässä raportissa kosteikkoviljely suunnitellaan toteutettavaksi korottamalla pohjaveden pintaa turvepelloilla noin 30 senttimetrin päähän maanpinnasta joko sarkaojiin asetettavilla säätöpa-doilla tai säätösalojituksella. Kosteikkoviljeltävät kasvit olisivat tuotantonurmea, tai ruokohel-peä joko kuivikkeeksi tai kasvualustamateriaaliksi.

2.2. Ilmastostävällisten rehujen osuuden lisääminen

Kotieläinten ruuansulatuksen metaanipäästöjen määrä Suomessa vuonna 2019 oli 2,1 Mt CO₂-ekv., joka oli 13 % maataloudesta peräisin olevista kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärästä. Suurin osa näistä päästöistä (91 %) oli nautojen ruuansulatuksen metaanipäästöjä, joiden määrä vuonna 2019 oli 1,9 Mt CO₂-ekv. (Tilastokeskus 2021).

Kasvihuonekaasupäästöjä vähentävä nautojen ruokinta pitää sisällään pötsin metaani-inhibiitorina toimivan lisäaineistuksen, ionoforit, biohiilen, karkearehun osuuden lisäämisen sekä kasviöljyn käytön (Honan ym. 2021). Monensiini on ionoforinen antibiootti, joka vaikuttaa pötsin mikrobikantaan. Toisin kuin esimerkiksi Yhdysvalloissa, EU:ssa monensiiniä ei ole hyväksytty käytettäväksi märehäijöiden rehuissa. Halogenoitujen yhdisteiden ryhmään kuuluvista metaania inhihoivista lisäaineista trooppinen punalevä (*Asparagopsis taxiformis*) ja sen sisältämä bro-moformi on tehokas ja potentiaalinen vaihtoehto. Tässä selvityksessä vain nitraattiryhmään kuuluva rehulisäaine 3-nitro-oksipropanolin käyttö otettiin mukaan skenaariolaskentaan. Muut vaihtoehdot ovat mukana kirjallisuuskatsauksena.

2.2.1. 3-nitro-oksipropanoli

Pötsin metaanintuotantoa inhihoivista aineista 3-nitro-oksipropanoli (3-NOP) rajoittaa mikro-bien (arkeonit) metaanibiosynteesiä (*methyl-coenzyme M reductase*). 3-NOP on hyvin spesifisti metanogeneesia inhihoiva aine eikä se vaikuta pötsin muuhun mikrobikantaan. 3-NOP-val-miste on ensimmäinen Euroopan unionissa pötsimetaanin vähentämiseen hyväksytty rehun li-säaine (Euroopan komissio 2022). Huhtikuussa 2022 voimaan tullut hyväksyntä perustuu

Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen myönteiseen lausuntoon (EFSA FEEDAP Panel 2021) lisäaineen turvallisuudesta eläimille, kuluttajille ja ympäristölle. 3-NOP-valmistetta voidaan käyttää lypsylehmien, emolehmien ja siemennettyjen hiehojen rehun lisäaineena. Luomutuotantoon 3-NOP-lisäainetta ei ole hyväksytty. Odotettavissa on, että lisäaineen hyväksynnän haltija tulee hakemaan hyväksynnän laajentamista muillekin märehijöille, mutta tähän mennee vielä muutama vuosi.

Fysikaalisten ominaisuuksiensa vuoksi 3-NOP-lisäaine voidaan tällä hetkellä jakaa ainoastaan rakeistamattomien rehujen mukana, esimerkkinä jauheiset kivennäiset. Lisäaineen teho riippuu käytettävästä rehustuksesta ja lisäaineen annostustasosta, joka on hyväksynnän ehtojen mukaan 60–91 mg/kg ka kokonaiskuiva-ainesyönnissä.

Seosrehutilat käyttävät jauheisia kivennäistäydennysrehuja seoksen valmistuksessa, joten näillä tiloilla 3-NOP-lisäaineen annostelu ei ole ongelma. Kivennäisten lisäksi lisäaineesta voitaisiin tehdä oma jauheinen esiseos, joka pystytään annostelemaan erillisenä komponenttina. Ongelmana on sopivien annostuslaitteiden puute. Rehutehtailla on myös käynnissä tuotekehitystä lisäaineen jakamiseksi rakeistettujen rehujen kanssa. Tämä rehutyyppi on Suomessa yleisesti käytössä toisin kuin muissa maidontuotantomaissa. Lisäaineen vaikutus alkaa heti annostuksen alkaessa ja päättyy muutama tunti annostuksen loputtua, eikä sillä ole jälkivaikutusta (Romero-Perez ym. 2015). Tämän vuoksi ruokintajärjestelmän tulee sisältää päivittäinen jakomahdollisuus (useita annostuskertoja päivässä).

3-NOP-lisäaineen teho riippuu käytettävästä ruokinnasta. Energiakorjattua maitokiloa kohti laskettu metaanipäästöjen vähennyspotentiaali vaihtelee nurmisäilörehujen 25 prosentista maissisäilörehuruokintojen 38 prosenttiin (van Gastelen ym. 2022). Vähennyspotentiaali on suurempi korkeilla väkirehutasoilla tai maissisäilörehuruokinnalla, joissa tärkkelyspitoisuudet ovat korkeita. Vähennyspotentiaalın ja dieetin komponenttien yhdysvaikutuksesta ei kuitenkaan ole riittävästi tutkimustietoa nurmisäilörehuruokinnalla, joten skenaariolaskelmissa pitäydään vaihteluvälin alarajan 25 prosentin päästövähennykseen.

Muut potentiaaliset metaani-inhibiittorit

Kasviöljyä sisältävä ruokinta vähentää pötsin metaanituotantoa (Bayat ym. 2017). Kasviöljy itsessään on kallista ja puhtaan kasviöljyn käyttö märehijöiden metaanipäästöjen hillitsemisessä ei ole taloudellisesti järkevää. Kasviöljyä voidaan lisätä ruokintaan vaihtamalla ohra kauraan ja rypsirouhe rypsiuristeeksi. Tällöin lisäys tulisi perusrehustuksen mukana, mutta öljypitoisuuden nousu jää vähäiseksi. Odotettavissa oleva metaanituotannon päästövähennys on noin 5 % (Ramin & Huhtanen 2013).

Rehuaineista lupaavin on bromoformia sisältävä punalevä (*Asparagopsis spp*). Bromoformin vaikutusmekanismi on sama kuin 3-NOP:illa. Merilevän annostustaso vaihtelee levälajin mukaan 0,5–5 % kuiva-aineen syönnistä (Abbott ym. 2020, Min ym. 2021). Bromoformia voidaan tuottaa synteettisesti, mutta levän mukana annosteltuna mukana on myös muita vaikuttavia yhdisteitä. Bromoformi itsessään on suurempina annoksina myrkyllinen ja sen mahdollinen elintarviketurvallisuuden todentaminen vie vielä aikaa.

In vitro -kokeissa merilevän on todettu pysäyttävän metaanintuotannon jopa kokonaan ilman haitallista vaikutusta rehun sulavuuteen. Luonnollisesti kasvatettavan merilevän ongelmana on sen korkea jodipitoisuus, mikä rajoittaa levän käyttöä lypsylehmillä maitojäämien vuoksi. Lihantuotannossa jodi ei ole ongelma, koska annostelu voidaan lopettaa loppukasvatuksessa ja lihaan ei jää ylijäämäjodia. Merilevää on käytetty *in vitro* -kokeiden lisäksi lihanautojen kasvatuskokeissa. Lihanautojen kasvatuskokeessa (Roque ym. 2021) merileväkäsittely (*A. taxiformis*)

alensi pötsin metaanintuotantoa annostustasosta riippuen 45–68 % ilman haitallista vaikutusta eläinten kasvuun tai lihan laatuun. Vastaavasti lypsylehmillä tehdyssä kokeessa merilevä (*Asparagopsis armata*) vähensi syöntiä, maitotuotosta ja metaanintuotantoa levän annostustasosta riippuen (Roque ym. 2019). Maitokiloa kohti laskettuna metaanintuotanto väheni 27–60 %.

2.2.2. Skenaariotarkastelun ulkopuoliset päästövähennysmahdollisuudet nautojen ruokinnassa

Maatalouden tuottamista laskennallisista kasvihuonekaasupäästöistä maankäyttösektori on yli 50 prosentin osuudellaan merkittävin päästölähde (Tilastokeskus 2021). Rehuntuotannon vaatima peltoala vapauttaa kasvihuonekaasuja maan orgaanisen aineen hajoamisprosessin kautta. Vähämullainen maaperä voi jopa sitoa hiiltä nurmentuotannossa, mutta muokattu maa on aina laskennallinen päästölähde. Päästön suuruus riippuu maan orgaanisesta aineesta ja se on suurimmillaan eloperäisillä turvemilla.

Karkearehuosuuden lisäys nautojen ruokinnassa vähentää maidontuotannon vaatimaa peltoalaa, koska nurmen hehtaarisato on Suomessa kaksinkertainen rehuviljojen hehtaarisatoihin verrattuna. Ympäristöhyöty tulee siten sekä päästöjen hehtaarikohtaisen vähenemisen että nautojen ruokintaan tarvittavan kokonaispinta-alan pienenemisen kautta. Vaikutuksen suuruus riippuu täysin vähennyskohteena olevan pellon turvemaaosuudesta.

Viljankäytön vähentäminen ruokinnassa pienentää lypsylehmien maitotuotosta ja nautatilan tuloja. Nurmen pinta-alatuen nostaminen viljahehtaarin tukea suuremmaksi olisi suoraviivainen tapa ohjata tuotantoa ja kompensoida karkearehuosuuden lisäämisestä aiheutuvia tulonmenetyksiä lypsykarjatiloiille. Karkearehuvaltaista ruokintaa voitaisiin tukea myös luopumalla C-tukialueella litra-kohtaisesta maidon tuotantotuesta ja siirtymällä koko maassa AB-tukialueiden lypsylehmäkohtaiseen tukeen. Maatilojen kokonaistukitaso pysyisi ennallaan, mutta keskituotosta nostavan viljan optimikäyttö jäisi nykyistä alemmalle tasolle, koska taloudellinen kannustin lypsylehmäkohtaisen maitotuotoksen lisäämiseen C-tukialueella pienenesi tuen tuotannosta irrottamisen myötä.

Maaperäpäästöistä maataloussektorille tulevat N₂O-päästöt ovat peräisin typpilannoituksesta ja turvemaiden typpifraktion hajoamisesta. Lannoitteiden hinnan kolminkertaistuminen viimeisen vuoden sisällä on vähentänyt peltojen lannoitustasoja ja samalla N₂O-päästöjä. Palkokasvien biologisen typensidonnan hyödyntäminen on yksi keino alentaa typen hajoamisesta peräisin olevia maaperäpäästöjä (Lüscher ym. 2014). Näin ollen maataloussektorin päästöjä voitaisiin alentaa tukemalla palkokasvien viljelyä ja niiden käyttöä nautojen ruokinnassa. Esimerkkinä tuesta voisi olla viljelyhehtaareiden mukainen tuki apilapitoisille nurmille kivennäismailla, sillä puna-apila on Suomessa eniten tutkittu ja viljelyvarmin palkokasvi.

2.3. Kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisääminen

Mahdollisuus korvata mineraalilannoitteita kierrätetyillä lannoitevalmisteilla vähentää mineraalilannoitteiden tuotannosta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Lisäksi kierrätyslannoitevalmisteiden valmistuksessa voidaan käytetystä biomassasta ja prosessista riippuen vähentää biomassasta, esimerkiksi lannasta, muutoin aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Jos prosessoinnin yhteydessä voidaan tuottaa uusiutuvaa energiaa ja korvata fossiilisia polttoaineita, positiivinen ilmastovaikutus on vielä suurempi. Ravinteiden kierrätyksen ja ravinteiden käytön tarkentamisen seurauksena merkittäviä ympäristöhyötyjä voidaan saavuttaa myös vesistöjen tilan parantamisessa (Huttunen ym. 2021).

Suomessa on keskusteltu ravinteiden kierrätyksen lisäämistä jo kauan. Ensimmäiset tavoitteet ravinteiden kierrätyksen mallimaaksi asetettiin pääministeri Matti Vanhasen asettaman työryhmän toimesta vuonna 2010 (MMM 2011). Tavoitteet ovat kantaneet yli hallituskausien (Juha Sipilän hallitusohjelma 2015, Sanna Marinin hallitusohjelma 2019). Kierrätyslannoitteiden tuotannon ja käytön lisääminen on Marinin hallitusohjelmassa kirjattu yhdeksi keinoista vähentää maatalouden kasvihuonekaasupäästöjä. Lisäksi vuoden 2021 aikana tapahtuneen maatalouden tuotantopanosten (ml. lannoitevalmisteiden) suuren hinnannousun ja helmikuussa 2022 alkaneen Venäjän hyökkäyksen Ukrainaun myötä tarve aiempaa paremmalle ravinneomavaraisuudelle on noussut ilmeiseksi.

Suomessa käytetään vuosittain noin 11 000 tonnia mineraalifosforia ja 140 000 tonnia mineraalityyppiä (Luke 2022). Lisäksi maatalouteen kiertää kotieläinten lanta, jossa vuonna 2017 arvioitiin olevan 18 500 tonnia fosforia ja 74 600 tonnia kokonaistyyppiä (Luostarinen ym. 2019a). Lantaravinteiden määrien arviot vaihtelevat hieman vuosittain eläinmäärien muutosten mukaan. Myös muita orgaanista alkuperää olevia biomassoja kiertää kierrätyslannoitevalmisteina maatalouden käyttöön. Vuonna 2016 niistä arvioitiin päätyvän maatalouteen 1 700 tonnia fosforia ja 4 000 tonnia tyyppiä (Marttinen ym. 2017). Hyödyntämätöntä kierrätyspotentiaalia on tätäkin enemmän.

Luonnonvarakeskus on arvioinut, että vuonna 2017 Suomen kasvintuotannossa olisi tarvittu fosforilannoitetta vain 18 000 tonnia, mikäli fosforilannoitus olisi annosteltu kasvien tutkitun tarpeen mukaan (Luostarinen ym. 2021). Tästä huolimatta käytössä on ollut noin 30 000 tonnia lannoitefosforia niin mineraali- kuin kierrätyslannoitevalmisteissa (ml. lanta). Typen käytön ja kierrätysasteen arviointi on vaikeampaa, sillä vain osa kierrätyslannoitevalmisteiden tyypeistä on kasville suoraan käyttökelpoisessa, liukoisessa muodossa ja tyyppiä vapautuu ajan myötä maaperäprosesseissa. Lisäksi tyyppiä sidotaan biologisesti esimerkiksi apilakasvustojen avulla (Keskitalo ym. 2022). Typen tase on kuitenkin arvioitu käytön ja sadossa korjattavan typen välillä positiiviseksi, ts. typpilannoitusta käytetään enemmän kuin satoon saadaan sidottua (Luostarinen ym. 2021, Järvenranta ym. 2022). Potentiaali lisätä sekä fosforin että typen kierrätystä on ilmeinen ja tarpeettoman korkean fosforilannoituksen vähentämisen ja typen käytön tarkentamisen kannalta välttämätön.

2.4. Ruokavaliomuutoskenaario

HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa, jonka lähtökohtana on HIISI-WAM-skenaario (Maanavilja ym. 2021), oletetaan taulukon 1 mukainen muutos ruokavalioidissa. Muutos syntyy kuluttajien mieltymysten ja ruokatottumusten muutoksen tuloksena. Tällaista muutosta voisivat olla tukemassa ja ohjaamassa informaatio-ohjauksen lisäksi taloudelliset ohjaukset, joilla vaikutetaan elintarvikkeiden hintoihin, mutta sellaisia ei ole tässä selvityksessä oletettu tai mallinnettu. Ei ole kuitenkaan realistista, että taulukon 1 mukainen – ja osin melko suuri – muutos eri maataloustuotteiden kulutuksessa voitaisiin saavuttaa pelkästään taloudellisten ohjauksetojen avulla. Näin siksi, että Suomen kaltaisissa korkean tulotason maissa suurimmalla osalla kuluttajista varsin pieni osuus tuloista (2010-luvulla keskimääri 10–12 %) kuluu elintarvikkeisiin. Tällöin ison kulutusmuutoksen aikaansaaminen, esimerkiksi lihankulutuksen merkittävä väheneminen, vaatisi suhteellisen suuren, kymmenien prosenttien suuruisen, hinnankorotuksen lihatuotteille suhteessa muihin elintarvikkeisiin (Powell & Chaloupka 2009, Smed ym. 2016, Tiffin & Arnoult 2011). Niin suuri lisävero olisi ongelmallinen etenkin sellaisille pienituloisille kotitalouksille, joiden tulosta suuri osuus käytetään ruokaan. Ruokavaliomuutoskenaariossa on siis oletettu, että maataloustuotteiden kulutus muuttuu keskimäärin taulukossa 1 esitetyllä tavalla. Kulutusmuutos voi kuitenkin olla erilainen eri väestö- ja ikäryhmissä.

HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaario sisältää muutoin kuin ruokavalion osalta samat oletukset maataloustuotteiden ja tuotantopanosten hintatasosta sekä maatalouspolitiikasta ja väkiluvun kehityksestä kuin HIISI-WAM-budjettiriihiskenaario. Maataloustuotanto ja pellonkäyttö muuttuvat siis HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarioon nähden pelkästään sen vuoksi, että suomalaisten ruokavaliot muuttuvat, mikä muuttaa maataloustuotteiden kysyntää.

Taulukon 1 mukainen keskimääräinen kulutusmuutos voi toteutua tavalla, joka ei heikennä eikä uhkaa hyvää ravitsemusta, vaan voi päinvastoin vahvistaa sitä kasvispainotteisuuden lisääntyessä. Proteiinin saanti, joka Suomessa keskimäärin ylittää suositellun vähimmäismäärän yli kolmanneksella, vähenee kokonaisuudessaan hieman, mutta tuskin enempää kuin 10 % taulukon 1 mukaisessa ruokavaliomuutoksessa. Vähentyminen riippuu siitä, millaisia tuotteita valmistetaan ja kulutetaan erityisesti kotieläintuotteita korvaavista palkoviljoista (esim. herne ja härkäpapu) ja (täysjyvä)viljoista, joiden kulutus kasvaa. Proteiinin kokonaissaanti riippuu myös kalan ja maahantuodun kasviproteiinin määrästä, joita ei taulukossa ole arvioitu, koska tässä selvityksessä keskitytään vain kotimaassa tuotettaviin kasveihin ja maataloustuotteisiin.

Taulukko 1 tarkoittaa palkoviljojen elintarvikekäytön moninkertaistamista vuoden 2020 tasosta, joka tosin oli Suomessa melko alhainen. Osalla ihmisistä maha ei siedä isoja annoksia palkoviljoja, joten taulukossa 1 esitetty muutos ei tarkoita, että kulutusmuutokset toteutuisivat kaikkien kohdalla samalla tavalla.

Taulukko 1. Maataloustuotteiden arvioitu kulutuksen suhteellinen keskimääräinen muutos henkilöä kohden HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa.

Tuote	2020–2030	2020–2035	2020–2040	2020–2050
Liha	-25 %	-33 %	-33 %	-33 %
Maitotuotteet	-15 %	-20 %	-25 %	-30 %
Vehnä, ohra	+3 %	+5 %	+10 %	+10 %
Ruis	+20 %	+35 %	+45 %	+50 %
Kaura	+40 %	+65 %	+90 %	+100 %
Herne ym.	+100 %	+200 %	+350 %	+500 %

3. Skenaarioiden määritykset ja laskentamenetelmät

HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariolaskelmaa ja HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariolaskelmaa varten ei tuotettu vuosittaisia, maankäyttöluokittaisia⁷ pinta-ala-aikasarjoja, vaan hyödynnettiin soveltuvin osin VN TEAS HIISI -hankkeessa laadittuja perus- ja politiikka-skenaarioiden tuloksia (Maanvilja ym. 2021), DREMFIA-sektorimallin (Lehtonen 2001, myöhemmistä soveluksista mainittakoon Lehtonen & Niemi 2018, Lehtonen ym. 2022 ja Maanvilja ym. 2021) tuloksia maataloustuotannon, eläinmäärien ja pellonkäytön muutoksista sekä Suomen CAP-suunnitelmaan (MMM 2022) sisältyviä tavoitealoja ja myös tutkijoiden omia arvioita turvepelloilla tehtävien toimenpiteiden toteutusaloista. Tästä syystä luvuissa 3.1 ja 3.2 käydään lyhyesti myös HIISI-WEM- ja HIISI-WAM-skenaarioiden kuvaukset.

3.1. HIISI-WEM

HIISI-maatalousjatkohankkeessa käytettiin samaa perusskenaariota kuin VN TEAS HIISI -hankkeessa (Maanvilja ym. 2021). Perusskenaariosta käytetään tässä selvityksessä nimitystä HIISI-WEM-skenaario tai HIISI-WEM.

HIISI-skenaariotyössä väestökehityksen vuoteen 2050 oletettiin noudattavan Tilastokeskuksen vuoden 2019 ennustetta (Suomen virallinen tilasto 2019). Ennustettu väkiluvun muutos on vähäinen, joten elintarvikkeiden kotimaisen kysynnän arvioitiin muuttuvan hyvin vähän. HIISI-WEM-skenaariossa elintarvikkeiden kulutuksen henkilöä kohden oletettiin pääsääntöisesti pysyvän vuoden 2019 tasolla ajanjaksolla 2019–2050. Poikkeuksena oli siipikarjanlihan kulutus, jonka oletettiin yltävän 150 miljoonan kilogramman tasolle vuodesta 2020 alkaen ja pysyvän tällä tasolla vuoteen 2050 saakka.

Energian hintojen oletettiin noudattavan annettuja hintoja eri energiatuotteille (EC 2020), joista Suomen maatalouden kannalta tärkeimpiä ovat polttonesteet ja sähkö. Energian hintojen nopea nousu 2020-luvulla on oletuksena mukana myös OECD-FAO:n Agricultural Outlook 2020 -raportin (OECD/FAO 2020) arvioissa. HIISI-WEM-urassa huomioitiin myös lannoitteiden ja muiden maatalouden panosten hintojen ennustetut kehitykset.

HIISI-WEM-skenaariossa lannoitteiden kallistuminen vähentää 2020-luvulla viljelykasvien lannoitusta ja tästä seuraa satotasojen lievä aleneminen useimmilla kasveilla. Nousevat energiakustannukset johtavat yhdessä satotason alenemisen kanssa viljan viljelyalan vähenemiseen kymmenellä prosentilla. Tuotantonurmien ala vähenee konekustannusten noustessa. Nurmiviljely keskittyy korkean lannoitus- ja satotason timoteivaltaisiiin nurmiin ja kasvavassa määrin apilanurmiin, kun taas laajaperäinen säilörehunurmiala vähenee. Vastaavasti kesantoala lisääntyy. Maataloudesta vapautuu peltoalaa viljan ja nurmen viljelystä yhteensä noin 300 000 ha vuoteen 2040 mennessä. Suurin osa tästä alasta menee kesannoksi ja pysyy siten HIISI-WEM-skenaariossa tukien piirissä ja maatalousmaana.

⁷ Maankäyttösektorilla kansallisessa kasvihuonekaasujen inventaariojärjestelmässä käytettävän maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorin mukaisia maankäyttöluokkia ovat: a) metsämaa; b) viljelysmaa; c) ruohikkoalueet; d) kosteikot; e) rakennettu maa ja f) muu maa.

Voimakkaan rakennekehityksen ja lypsylehmien keskituotoksen nousun ansiosta maidontuotanto vähenee HIISI-WEM-skenaariossa vuosina 2019–2050 hyvin hitaasti. Naudanlihantuotanto vähenee selvästi nopeammin. Sianlihantuotanto vähenee HIISI-WEM-skenaariossa hitaasti alle kotimaisen kulutuksen. Siipikarjanlihan tuotanto lisääntyy hieman ja pysyttelee kotimaisen kulutuksen tasolla.

Maataloustuotteiden hintojen oletettiin vuosina 2020–2029 kehittyvän maailmanmarkkinoilla ja Euroopassa kuten julkaisussa OECD-FAO Agricultural Outlook 2020–2029. HIISI-WEM-skenaariossa tuotehintojen oletettiin pysyvän entisellään vuoden 2029 jälkeen.

HIISI-WEM-skenaariossa maatalouspolitiikka oletettiin samanlaiseksi kuin kauden 2014–2020 maatalouspolitiikka.

3.2. HIISI-WAM

HIISI-maatalousjatkohankkeessa hyödynnettiin VN TEAS HIISI -hankkeen WAM-skenaariota (Maanavilja ym. 2021), josta käytetään tässä selvityksessä nimitystä HIISI-WAM-skenaario tai HIISI-WAM.

HIISI-WAM-skenaario sisälsi lisätoimia maatalousperäisten kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Lisätoimet painottuivat maankäyttösektorille ja perustuivat suurelta osin Suomen CAP-suunnitelmaluonnoksen kesän 2021 lausuntoversiossa ja maatalouden ilmastotiekartassa (Lehtonen ym. 2020) esitettyihin toimenpiteisiin. Pellonkäyttöä muuttavat toimet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. HIISI-WAM-skenaarion lisätoimien tuloksena syntyvä pellonkäyttö (ha) vuosina 2019, 2023, 2030 ja 2040. Lähde: Maanavilja ym. (2021) Taulukko 3.

Toimi	2019	2023	2030	2040
Turvemaan nurmiviljely korotetulla -30 cm vedenpinnalla	0	0	17 500	42 500
Turvemaan kosteikkoviljely (ruokohelvi, järviruoko)	0	0	5 833	13 333
Kerääjäkasvit	122 775	300 000	620 000	620 000
Maanparannus- ja saneerauskasvit	3 098	100 000	100 000	100 000
Turvepellon nurmi, joka korvaa yksivuotisten kasvien viljelyä	0	20 000	20 000	20 000
Viherlannoitusnurmi kivennäismailla	12 294	20 000	24 545	70 000
Biokaasunurmi kivennäismailla	0	4 138	33 103	74 483

HIISI-WAM-skenaariossa uuden pellon raivauksesta luovutaan käytännössä kokonaan. Turvetuotannosta vapautuvia alueita ei oteta peltoviljelyyn. Tämän lisäksi huonotuottoisia turvemaita jätetään viljelemättä ja muutetaan kosteikoiksi tai metsitetään. Metaanipäästövähennyksiä saadaan käyttämällä lypsylehmien ruokinnassa valkuaisrehuna kotimaista rypsipuristetta. Lisäksi täsmäviljelyn avulla vähennetään tyyppilannoituksen dityppioksidipäästöjä. Lannan

ravinteiden sijoittamista sadontuoton ja ympäristön kannalta optimaalisesti edistetään kierto-taloustratkaisujen avulla, jotka myös vähentävät lannoituksen päästöjä. (Maanavilja ym. 2021)

HIISI-WAM-skenaariossa väestönkehitys sekä maataloustuotteiden kysyntä ja hinnat olivat yhtenäiset HIISI-WEM-skenaariota kanssa. Myös energian ja muiden tuotantopanosten hintojen oletettiin kehittyvän samalla tavalla kuin perusskenaariossa.

3.3. HIISI-WAM-budjettiriihi

3.3.1. Tarkennukset CAP-kauden (2023–2027) kansalliseen toimeenpanoon sekä kosteikkoviljelyn alan nosto 30 000 hehtaariin vuoteen 2030 mennessä

Kosteikkoviljelyssä ja viljeltäessä korotetulla pohjavedenpinnan tasolla vedenpinnan korkeutta nostamalla rajoitetaan turpeen hajoamista ja siten maaperäpäästöjä. Syyskuun 2021 budjettiriihessä linjattiin kosteikkoviljelyn edistämisestä tavoitteena saada vähintään 30 000 hehtaarin pinta-ala kosteikkoviljelyyn vuoteen 2030 mennessä. Tässä raportissa kosteikkoviljelyllä tarkoitetaan pohjaveden pinnan pitämistä noin kolmekymmentä senttimetriä pellonpinnan alapuolella silloin, kun pellolla ei tehdä viljelytoimia ja liikuta työkoneilla. Koska kosteikkoviljelyä ei vielä ole Suomessa kovin paljon kokemusta eikä sitä toteuteta laajassa peltomittakaavassa, vuodelle 2030 asetettu 30 000 hehtaarin kosteikkoviljelytavoite on oletettu saavutettavan viljelemällä tuttuja viljelykasveja: nurmea ja ruokohelpeä.

Säilörehunurmi on tällä hetkellä yleisin turvemaiden viljelykasvi ja sen viljelyä korotetulla pohjavedenpinnan tasolla (-30 cm) joko säätöpadoilla tai säätösalojituksella toteutettuna oletetaan saavutettavan kaksi kolmasosaa kosteikkoviljely tavoitteesta (20 000 ha). Loppuosa tavoitteesta (10 000 ha) saavutetaan ruokohelven kosteikkoviljelyllä. Ruokohelpeä on Suomessa viljelty enimmillään 2000-luvun alkupuolella energiakäyttöön noin 17 000 hehtaarilla normaalisti kuivatetuilla pelloilla, joten se on tuttu kasvi osalle turvemaan viljelijöistä.

Kosteikkoviljelyn lisäksi vuonna 2030 olisi 5 000 hehtaarin alalla turvepelloille perustettuja kosteikoita, joilla ei viljeltäisi tuotantokasveja, vaan ne tuottaisivat kasvihuonekaasupäästövähenyksiä. Tällaisten suon kaltaisten alueiden vedenpinta nostettaisiin lähelle maanpintaa (noin 5–10 cm maanpinnan alapuolelle). Turvepelloille kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemiseksi perustettavista kosteikoista on mahdollista tehdä ympäristösopimus vuonna 2023 alkavalla uudella CAP-kaudella.

Kosteikkoviljelyn ja turvemaakosteikoiden ohella turvemaille on lisäksi mahdollista valita CAP-suunnitelmaan lisätty ympäristökorvauksen toimenpide Turvepeltojen nurmet, jonka tavoittealaksi on Suomen CAP-suunnitelmassa (MMM 2022) asetettu 40 000 hehtaaria vuodesta 2025 alkaen. Turvepeltojen nurmet -toimenpiteessä nurmi perustetaan turvepellolle ohjelmakauden alussa vuonna 2023 tai 2024 ja se säilytetään muokkaamatta ja kasvinsuojelua-aineilla käsittelemättä sitoumuskauden loppuun. Muuten nurmea viljellään normaalin viljelykäytännön mukaisesti ja pellon nurmisato on korjattava. Normaalisissa nurmenviljelyssä nurmi uusittaisiin joka neljäs vuosi kyntämällä ja suojaviljaa käyttäen. Tässä toimenpiteessä nurmen uusiminen jää pois, jolloin ns. "uutta nurmea" tulee vuosittain 10 000 hehtaaria, joka on neljäsosa 40 000 hehtaarin tavoitepinta-alasta.

Taulukossa 3 on esitetty eri toimenpiteiden oletetut toteutuspinna-alat vuodesta 2020 vuoteen 2050 saakka.

Taulukko 3. Turvepeltotoimenpiteiden toteutuspinna-alat (ha) vuosina 2020–2050 HIISI-WAM-budjettiriihi- ja HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaarioissa.

Toimenpide	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Turvemaan nurmiviljely korotetulla pohjaveden tasolla (-30 cm)	0	7 500	20 000	32 500	40 000	57 500	70 000
Ruokohelven yms. kasvien viljely turvemaalla korotetulla pohjaveden tasolla (-30 cm)	0	3 750	10 000	13 333	16 667	20 000	23 335
Turvepeltojen nurmet*	0	40 000	40 000	40 000	40 000	40 000	40 000
Turvepellon ilmastokosteikko osana Kosteikkojen hoito -toimenpidettä	0	1 875	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000

* Lisäistä nurmea vuosina 2025–2050 vain 10 000 ha

3.3.2. 3-NOP-lisäaineen käyttö nautojen ruokinnassa

Lypsylehmien ja siemennettyjen hiehojen metaanintuotanto vuonna 2022 on 1,2 Mt CO₂-ekv./v. 3-NOP-lisäaineella vähennyspotentiaali on lypsylehmillä 0,28 Mt CO₂-ekv./v ja lisäainehyväksynnän saaneilla siemennettävillä hiehoilla (64 000 eläintä) 0,025 Mt CO₂-ekv./v. Luomutilat (4 % lypsylehmistä) on rajattu potentiaalın ulkopuolelle, sillä 3-NOP-valmistetta ei ole hyväksytty käytettäväksi luomutuotannossa. Lisäksi kaikki tilat tuskin suostuvat lisäainetta käyttämään, joten osa taulukossa 4 raportoidusta potentiaalista jäänee hyödyntämättä. Lisäaineen käyttö voi tulevaisuudessa laajentua koskemaan myös muita eläinryhmiä, mutta tässä vaiheessa mahdollista laajennusta ei voida huomioida.

Lypsylehmien lisäksi 3-NOP-lisäainetta voidaan käyttää emolehmillä (Taulukko 4). Emolehmiä on Suomessa Luken kevään 2022 tilaston mukaan 63 698 kpl ja 3-NOP-lisäainetta käytettäessä saavutettava metaaninvähennyspotentiaali olisi 0,043 Mt CO₂-ekv./v.

3-NOP ei vaikuta maidontuotantoon. Joissain kokeissa lisäaineistuksen on havaittu vähentävän syöntiä ja tätä kautta parantavan rehuhyötysuhdetta, mutta vaikutus ei ole yhdenmukainen. Syönnin vähennykseksi voidaan olettaa 0,5 kg ka/pv, joka samalla pienentää rehukustannusta noin 3 %.

Taulukko 4. Nautojen lukumäärät ja 3-NOP-lisäaineen päästövähennyspotentiaali (Mt CO₂-ekv.) märehitijöiden ruokinnassa HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Naudat yhteensä	846 500	804 254	767 552	743 699	718 970	695 941	684 030
Lypsylehmät	259 600	237 891	230 504	219 003	207 447	196 932	195 941
Hiehot*	65 520	62 250	59 409	57 563	55 649	53 867	52 945
Emolehmät	62 000	67 659	61 102	63 541	65 702	67 468	63 933
3-NOP-päästövähennelmä Mt CO ₂ -ekv.	-	0,33	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31
Nautojen ruuansulatuksen päästöt Mt CO ₂ -ekv.	2,1	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5

* Siemennetyt yli 17 kk ikäiset hiehot

3.3.3. Biokaasun ja kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisääminen

Lantojen vuotuinen määrä sekä orgaanisen aineksen ja ravinteiden vuotuiset määrät laskettiin Suomen normilantajärjestelmän tuottaman lantatiedon avulla (Luostarinen ym. 2017a, b). Lantatietona käytettiin eläinsuojasta poistetun lannan (*ex housing*) määrää ja ravinnemääriä eri lantatyypin muodostumisen arvioiduissa suhteissa eri eläinluokille. Laitumelle sekä ulkotarhoihin jäävän lannan arvioidut osuudet vähennettiin lannan ja ravinteiden määristä. Eläinten typenerityksen arvioitiin tulevina vuosina nousevan päästöinventaariorissa käytetyn aikasarjan osoittaman trendin mukaisesti. Myös eläinsuojan aikaiset typhenävikit on huomioitu laskennassa (Grönroos ym. 2017). Lisäksi arvioitiin lannankäsittelyssä tulevaisuudessa tapahtuvan joi-tain vähäisiä muutoksia, jotka lähinnä vaikuttavat jossain määrin erilaisten lantatyypin osuuk-siin kokonaislantamäärästä.

Lantatieto kerrottiin DREMFA-mallin ennustamalla eläinmäärillä naudoille, sioille ja siipikarjalle vuosille 2020, 2025, 2030, 2040, 2045 ja 2050. Sen sijaan lampaille (140 200), vuohille (6 100), hevosille ja poneille (82 000) ja turkiseläimille (ketut ja supit 100 000, minkit ja hillerit 200 000) oletettiin vuodesta 2025 eteenpäin aina samat eläinmäärät, koska ennusteita niiden määrien muutoksille ei ole saatavilla. Porojen lantaa ei huomioitu, sillä sitä ei laiduntavalta eläimeltä kerätä kierrätyksen mahdollistavalla tavalla talteen.

Lantojen energiapotentiaali biokaasutuotannossa laskettiin samalla tavoin kuin maatalouden ilmastotiekartassa (Lehtonen ym. 2020). Eri lantojen osuudet biokaasutuotantoon toteutettiin asiantuntija-arviona tarkasteluvuosille (Taulukko 5), ja ne vastaavat vuosille 2035 ja 2050 maa-talouden ilmastotiekartassa WAM1-skenaariolle arvioituja osuuksia. Vuoden 2020 tieto vastaa Luonnonvarakeskuksen biokaasulaitoksille tekemää kyselyä.

Taulukko 5. Lantojen osuudet (%) biokaasutuotantoon tarkasteluvuosittain HIISI-WAM-budjettiriihi- ja HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa.

Prosenttia tuotetusta lannasta	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Naudat	2,2	10	20	30	33	36	40
Siat	3,5	12	28	40	43	46	50
Siipikarja	0,8	6,5	14	20	23	26	30
Lampaat ja vuohet	0	0	0	0	0	0	0
Hevoset ja ponit	0,1	5	10	15	17	19	20
Turkiseläimet	0	13	27	40	43	46	50

Biokaasutuotantoon päätyvän nurmen tuotantoala nostettiin karkeasti arvioidusta lähtötilanteesta vuoden 2050 tavoitteeseen 50 000 ha. Nurmen oletettiin olevan heinäapilaseosta, jotta sen tuotannossa tarvittava typpilannoitus on maltillinen (78 kg N/ha). Vuotuiseksi satotasoksi arvioitiin 5 550 kg kuiva-ainetta (ka 26 %) ja sadon typen pitoisuudeksi 11,02 g/kg ja fosforin pitoisuudeksi 0,693 g/kg. Metaanintuottopotentiaalina käytettiin arvoa 290 m³ CH₄/t orgaanista ainetta (VS). Laskenta vastaa maatalouden ilmastotiekartan menetelmää (Lehtonen ym. 2020).

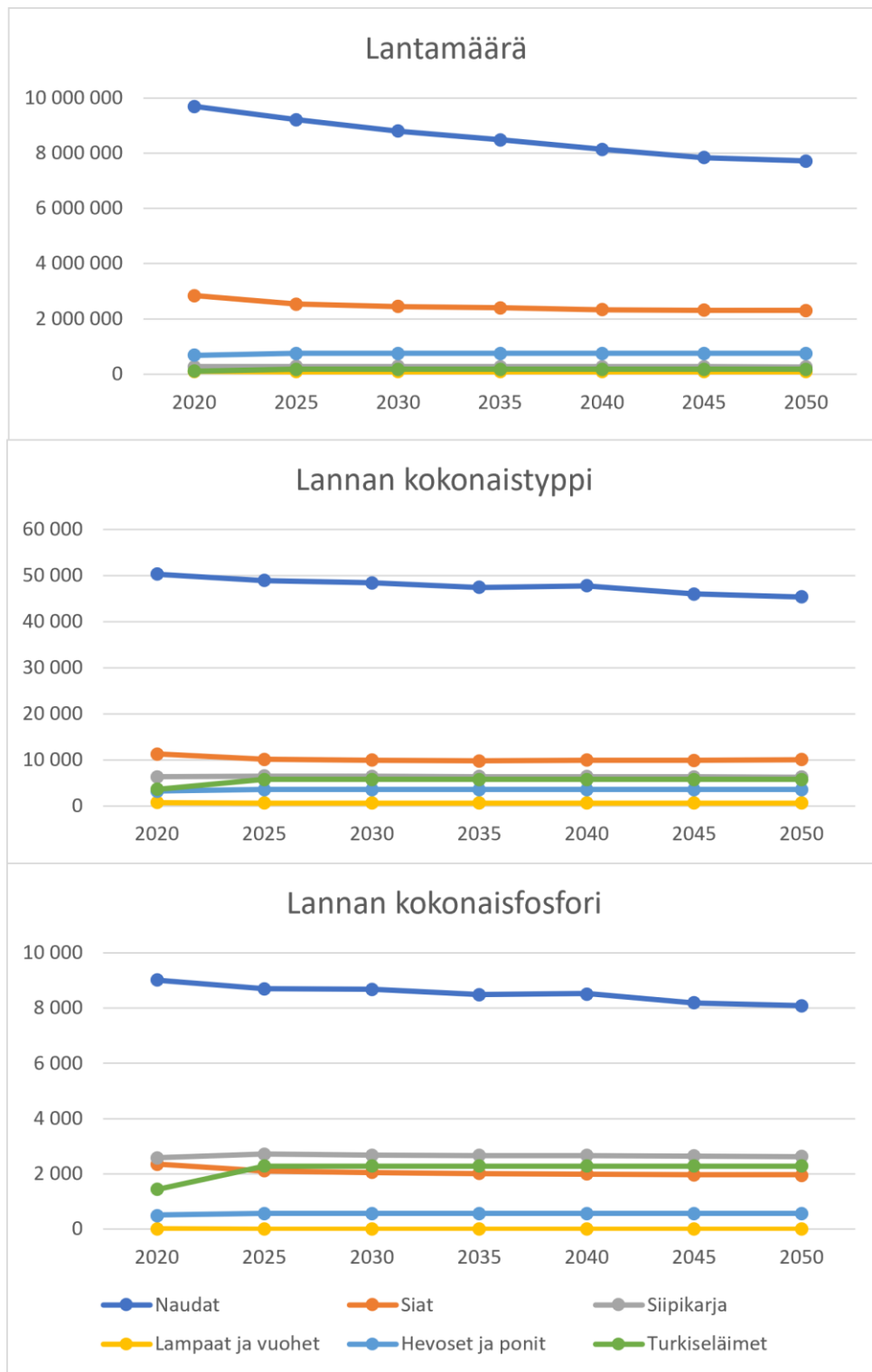
Muiden yhdyskunnista ja teollisuudesta kierrätettävien ravinteiden määrä otettiin Luonnonvarakeskuksen aiemmin alueellisen ravinteiden kierrätyksen suunnittelutyökaluun, Ravinnelaskuriin, tekemästä arviosta. Mukaan sisällytetyt biomassat ovat jätevedenpuhdistamoiden liete, yhdyskuntien biojäte ja erilaiset teollisuuden ravinnepitoiset sivuvirrat, kuten eläinperäiset sivutuotteet sekä leipomo-, meijeri- ja kasvijätteet. Biomassojen ravinteiden määrät on arvioitu joko kertoimella asukasta kohden (puhdistamoliete ja biojäte) tai YLVA-järjestelmästä kootun jätetiedon avulla (muut biomassat). Maatalouteen päätyvien ravinteiden osuudet on arvioitu tiedossa olleiden prosessointimenetelmien käytön mukaan.

Kasvihuonekaasujen päästövähennyksen huomioimiseksi fossiilisia polttoaineita korvattaessa ja maatalouden kädenjälkenä, uusiutuvan sähkön ja lämmön tuotannossa tuotetun biokaasun oletettiin kohdentuvan tiettyihin energiantuotantomuotoihin. Sähkön ja lämmön yhteistuotantoon oletettiin päätyvän 60 % kaikesta tuotetusta biokaasusta, ja lopun 40 % liikenteen tai teollisuuden biometaanin tuotantoon, jotka vastaavat maatalouden ilmastotiekartan oletuksia (Lehtonen ym. 2020). Sähköntuotannolle arvioitiin 35 prosentin ja lämmölle 50 prosentin hyötysuhde sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Liikenteen tai teollisuuden biometaanintuotannossa hyötysuhteeksi arvioitiin 98 %.

HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa kokonaismäärät lannalle ja ravinteille on esitetty taulukossa 6 ja niiden muutos ajan myötä eläinluokittain kuvassa 1. Lannan ja sen ravinteiden määrät laskevat vuosien myötä DREMFA-mallin ennustamien eläinmäärämuutosten myötä.

Taulukko 6. Vuotuiset kotieläintuotannon lannan ja sen ravinteiden määrät Suomen normilantajärjestelmän tuottaman lantatiedon ja DREMFA-mallin tuottamien eläinmäärien tuloksena tarkasteluvuosittain HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Lantamäärä (1 000 tonnia)	13 682	13 044	12 539	12 175	11 757	11 435	11 297
Kokonaistyyppi (tonnia)	75 319	75 495	74 764	73 548	74 019	72 084	71 579
Kokonaisfosfori (tonnia)	15 902	16 388	16 273	16 042	16 053	15 674	15 548



Kuva 1. Lantojen sekä niiden sisältämien ravinteiden määrät (tonnia/vuosi) eläinluokittain vuosina 2020–2050 HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa.

Myös lannan teoreettinen energiapotentiaali biokaasutuotannossa laskee vuodelle 2020 arvioidusta 3,65 terawattitunnista vuodelle 2050 arvioituun 3,20 terawattituntiin lannan määrän vähentyessä. Koska biokaasutuotantoa ei voida olettaa teknistaloudellisesti toteutettavan kaikelle lannalle ja laitosten käyttöönotto vie aikaa, toteutuvan lantabiokaasun tuotannon on oletettu kasvavan tarkasteluvuosien myötä siten, että vuonna 2050 38 % lannoista olisi biokaasutuotannon piirissä ja energiantuotto lannoista olisi tällöin 1,23 TWh (Taulukko 7).

Taulukko 7. Biokaasutuotantoon ohjautuvien lantojen energiantuotto biokaasuna tarkastelu- vuosittain (metaanipotentiali ilman energian hyödyntämisen hyötysuhteiden huomiointia) HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa.

Energiantuotanto lannoista (TWh/vuosi)	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Naudat	0,055	0,236	0,457	0,659	0,718	0,753	0,826
Siat	0,017	0,054	0,119	0,169	0,180	0,189	0,205
Siipikarja	0,002	0,017	0,035	0,052	0,060	0,066	0,076
Lampaat ja vuohet	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hevoset ja ponit	0,000	0,018	0,036	0,054	0,060	0,068	0,072
Turkiseläimet	0,000	0,013	0,027	0,040	0,044	0,046	0,050
Yhteensä	0,075	0,339	0,675	0,974	1,062	1,124	1,229

Biokaasulaitosten käyttöönoton myötä laitoksiin päätyvien lantojen ravinteiden määrät kasvavat (Taulukko 8). Näistä lannoista suuriin, mädätettä jalostaviin biokaasulaitoksiin ja siten pitemmälle viedyn ravinteiden kierrätyksen toimien piiriin oletettiin päätyvän kasvava osuus lannoista ja niiden ravinteista (2020: 0,2 %; 2025: 5,0 %; 2030: 15 %; 2035: 25 %; 2040: 26 %; 2045: 28 %; 2050: 30 %). Ravinnemäärinä (ilman hävikkejä) tämä tarkoittaa vuonna 2050 typelle 8 585 tonnia ja fosforille 1 879 tonnia (Taulukko 9). Näiden osuuksien arvioitiin varsinaisesti korvaavan mineraalifosforia ja -typpeä. Loppujen biokaasulaitosten lantojen ravinteiden oletettiin päätyvän takaisin ne tuottaneiden tilojen käyttöön.

Taulukko 8. Biokaasulaitoksiin ohjautuvien lantojen ravinnemäärät tarkasteluvuosittain HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa.

t/vuosi	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Typpi	1 554	7 374	15 331	22 253	24 798	26 043	28 616
Fosfori	302	1 614	3 357	4 887	5 414	5 704	6 264

Taulukko 9. Kasvintuotantotiloille suurten biokaasulaitosten kautta kiertävien, mineraalilannoitteita korvaavien lantaravinteiden määrät (ilman hävikkejä) tarkasteluvuosittain HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa.

t/vuosi	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Typpi	3,11	369	2 300	5 563	6 447	7 292	8 585
Fosfori	0,60	81	504	1 222	1 408	1 597	1 879

Biokaasutuotantoon ohjautuvien apilanurmien määrän arvioitiin nousevan vuosittain siten, että vuonna 2050 käytössä on koko 50 000 ha:n ala, jolta energiantuotanto biokaasuna on 0,74 TWh ja joka tuo mädätteissä ravinteiden kierrätykseen mukaan reilut 11 500 tonnia kokonaistyppeä ja 734 tonnia fosforia (Taulukko 10). Apilanurmien tuotannossa tarvitaan kuitenkin myös hie-man typpilannoitusta kohtuullisen satotason saavuttamiseksi. Osa tai kaikki tästä lannoitustarpeesta voidaan kattaa biokaasulaitosten mädätettä hyödyntämällä (Taulukko 10).

Taulukko 10. Biokaasutuotantoon ohjautuvan nurmen energiantuotto ja ravinteet tarkastelu-vuosittain HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa.

Vuosi	Pinta-ala (ha)	Liukoisen typen tarve (t/vuosi)	Sato (t/TS)	Energia (TWh)	Ntot (t/vuosi)	Ptot (t/vuosi)
2020	5 000	390	27 750	0,07	1 167	73
2025	10 000	780	55 500	0,15	2 334	147
2030	20 000	1 560	111 000	0,30	4 669	294
2035	30 000	2 340	166 500	0,44	7 003	440
2040	40 000	3 120	222 000	0,59	9 338	587
2045	45 000	3 510	249 750	0,67	10 505	661
2050	50 000	3 900	277 500	0,74	11 672	734

Maatalouden lannoista ja nurmesta tuotetun biokaasun energiasta eri osuuksien arvioitiin pää-tyvän lämmön, sähkön ja liikenteen biometaanin tuotantoon. Tuotantomuotojen hyötysuhteet huomioiden eri määrät energiaa lopulta päätyy loppukäyttäjien kulutukseen (Taulukko 11).

Taulukko 11. Lannasta ja nurmesta tuotetun energian jakautuminen eri energiamuotoihin tarkasteluvuosittain HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa.

TWh	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Yhteensä	0,252	0,593	1,056	1,492	1,684	1,805	1,969
Sähkö*	0,053	0,124	0,222	0,313	0,354	0,379	0,414
Lämpö**	0,076	0,178	0,317	0,448	0,505	0,541	0,591
Biometaani***	0,099	0,232	0,414	0,585	0,660	0,708	0,772

* 60 % energiasisällöstä CHP-tuotantoon, hyötysuhde sähkölle 35 %

** 60 % energiasisällöstä CHP-tuotantoon, hyötysuhde lämmölle 50 %

*** 40 % energiasisällöstä liikenne- tai teolliseksi kaasuksi, hyötysuhde 98 %

Lantojen ja nurmien ravinteiden osuuksista vuosien myötä kasvavan osuuden arvioitiin siirtyvän kotieläintiloilta kasvintuotantotilojen käyttöön suurempien biokaasulaitosten ohjaamina. Ty-pelle arvioitiin täksi osuudeksi 30 %, jonka lisäksi huomioitiin maatalouden ilmastotiekartan (Lehtonen ym. 2020) tapaan kolmasosan hävikki varastoinnin ja levityksen toimenpiteissä.

Fosforille vastaavat arvot olivat 40 % kiertoon ja 10 prosentin hävikki. Kiertävien ravinteiden määrä voisi olla suurempikin, mutta niiden osuutta laskettiin hieman nurmen tuotannon vaatiman typpilannoituksen huomioimiseksi. Lisäksi huomioitiin kaikille tarkasteluvuosille samat määrät kierrätettyä fosforia (1 600 t) ja typpeä (2 250 t) yhdyskuntien ja teollisuuden biomassoista (Taulukko 12).

Taulukko 12. Maatalouden lannoista ja nurmesta sekä muista yhdyskuntien ja teollisuuden biomassoista mineraalilannoitteita korvaavien kierrätysravinteiden määrät tarkasteluvuosittain HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa.

t/vuosi	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Väkilannoitteita korvaava kierrätystyyppi maatalouden biokaasulaitoksista ja muista biomassoista (t)							
Yhteensä	2 795	4 143	6 301	8 104	9 081	9 563	10 312
Väkilannoitteita korvaava kierrätysfosfori maatalouden biokaasulaitoksista ja muista biomassoista (t)							
Yhteensä	1 735	2 218	2 930	3 518	3 761	3 891	4 119

3.3.4. Kasvihuonekaasupäästöjen ja poistumien laskenta HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa

Maataloudesta syntyvien kasvihuonekaasujen päästöarvioiden laskenta tehtiin mahdollisimman yhdenmukaisesti Suomen kasvihuonekaasuinventaarion menetelmien kanssa (Tilastokeskus 2022). Inventaariomenetelmät perustuvat hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin IPCC:n 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories –ohjeisiin (IPCC 2006). Turvepeltojen päästöjen laskennassa käytettiin ohjeen kosteikkoliitettä (IPCC 2014), biokaasutuotannon huomioimiseen puolestaan uudistettua IPCC:n ohjeistusta (IPCC 2019). Laskelmien pohjana käytettiin HIISI-WAM-skenaariolaskelmaa, johon uudet HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarion mukaiset toimet (turvepeltojen nurmi- ja kosteikkoviljelypinta-alojen lisääminen, 3-NOP-lisäaineen käyttö sekä kierrätysravinteiden käytön ja biokaasutuotannon kasvattaminen) lisättiin. Skenaariolaskelmia ei ole päivitetty vuoden 2020 kasvihuonekaasuinventaarion mukaiseksi niiden keskinäisen vertailukelpoisuuden säilyttämisen vuoksi, minkä vuoksi taulukkojen vuoden 2020 päästöluvut eivät vastaa UNFCCC:lle lähetettyä raporttia Suomen vuoden 2020 kasvihuonekaasupäästöistä.

Maankäytön muutosten LULUCF-sektorille kohdistuvat kasvihuonekaasupäästöt laskettiin lisäpäästövähennyspotentiaaleina HIISI-WAM-skenaariossa (Maanavilja ym. 2021) laskettujen päästövähennysten päälle. Päästövähennyspotentiaalit laskettiin edellisen ja korvaajaksi suunnitellun maankäyttömuodon päästökertoimien erotuksena, joka kerrottiin HIISI-WAM- ja HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarioihin sisältyvien toimenpiteiden pinta-alojen erotuksella. Näistä toimenpiteistä turvemaan kosteikkoviljelyn -30 cm korotetulla vedenpinnalla (sekä nurmella että ruokohelvellä) oletettiin korvaavan normaalia nurmen viljelyä. Vastaavasti turvepellon ilmasto-kosteikat -5–10 cm pohjavedenpinnalla kohdistettiin kesantoaloihin. Turvepeltojen nurmet -toimenpiteestä syntyä lisäistä nurmenviljelyä vain 10 000 ha. Kaikkien lisätoimien vaikutukset oletettiin tapahtuviksi maatalousmaaluokan sisällä, vaikka varsinaisessa kasvihuonekaasuinventaariorissa osa muutoksista muuttaisi luokitusta maatalousmaasta ruohikkoalueeksi tai kosteikoiksi. Näin ollen pinta-aloissa on pieniä epätarkkuuksia, mutta epätarkkuuksien vaikutus

lopputuloksiin on kuitenkin hyvin pieni, eivätkä ne merkittävästi lisää uusien skenaariotulosten epävarmuutta.

Taulukko 13. Päästökertoimet turvemaiden eri pellonkäyttömuodoissa ja erilaisilla vedenpin-
nan tasoilla. Lähteet: IPCC 2014, 2013, Maljanen ym. 2010 (käytöstä pois jätetty pelto).

Pellonkäyttömuoto	CO ₂ , t/ha LULUCF	CH ₄ , t CO ₂ - ekv./ha* LULUCF	N ₂ O, t CO ₂ - ekv./ha* Maatalous- sektori	Yhteensä t CO ₂ - ekv./ha
Yksivuotinen kasvi (vilja)	29	-	5	34
Monivuotinen (nurmi)	21	-	4	25
Käytöstä pois jätetty pelto	13	-	2	15
Kosteikkoviljely, pohjave- den pinta -30 cm	13	1	1	15
Ilmastokosteikko, pohja- veden pinta -5 – -10 cm	-2	5	-	3

* Metaanin ja dityppioksidin päästöt on muunnettu hiilidioksidiekvivalenteiksi IPCC:n viidennen arviointiraportin GWP-kerroimilla (AR5): CH₄ 28, N₂O 265. Päästökertoimet perustuvat pitkälti suomalaisiin ja muissa Pohjoismaissa tehtyihin tutkimuksiin.

HIISI-WAM-skenaariossa mukana ollut kasviöljyä sisältävän ruokinnan tuottama noin 5 prosentin vähennys nautojen pötsin metaanintuotossa jätettiin pois ja HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa tarkasteltiin yksinomaan 3-NOP-lisäaineruokinnan vaikutuksia. Päästölaskennassa 3-NOP-lisäainetta oletettiin syötettävän luomutilojen osuutta (4 %) lukuun ottamatta kaikille lypsy- ja emolehmillä sekä 48 prosentille hiehoista (siemennettyjen hiehojen osuus), ja märehtijöiden ruuansulatuksen metaanipäästöjen näillä eläinryhmillä vähentyvän 25 %.

Ravinteiden kierrätyksestä biokaasutuotannon lisääntymisen kautta syntyvät lannankäsittelyn päästövähennykset on laskettu osana inventaarion lannankäsittelyn päästöjen laskentaa, vaikkei biokaasureaktorin kautta kiertävä lanta ole vielä osa virallisia inventaariolaskelmia. Skenaariolaskelmissa lannan biokaasutusta käsiteltiin yhtenä lannankäsittelymuotona, jonka päästökertoimet otettiin IPCC 2019 -ohjeistuksesta (metaanille *high quality digester, open storage* -kerroin 3,55 %, dityppioksidille vakiokerroin 0,06 %, jotka kuvastavat mädätteen varastoinnin aikana syntyviä päästöjä). Eri eläinten lantaa ohjattiin biokaasutuotantoon taulukon 5 osuuksien mukaisesti, ja biokaasutuksen oletettiin korvaavan aiempia lannankäsittelytapoja (esim. lietelanta katteella tai ilman, kestokuivikepohja) samassa suhteessa kuin niitä inventaariossa tällä hetkellä lantakyselyjen mukaisesti esiintyy.

Kierrätyslannoitevalmisteen käyttö ei itsessään vähennä päästöjä maataloussektorilla, sillä nyky-laskennassa maaperän dityppioksidipäästöt johdetaan suoraan maaperään lisätyn typen määrästä riippumatta siitä, mistä tyyppi on peräisin. Energiasektorille kohdistuvat päästövähennykset, joita syntyy väkilannoitteiden valmistuksen vähenemisen sekä biokaasun lämpöenergian ja liikennekäytön ansiosta, laskettiin samalla tavoin kuin maatalouden ilmastotiekartassa (Lehtonen ym. 2020). Päästölaskennassa biokaasulla tuotetusta lämmöstä puolen arvioitiin korvaavan fossiilista lämpöä ja lopun toimivan maatalouden kädenjälkenä energiasektorille. Kaikki tuotettu sähkö laskettiin kädenjäljeksi ja biometaani korvaamaan fossiilisia polttoaineita.

Kasvihuonekaasupäästöt muunnettiin hiilidioksidiekvivalenteiksi käyttäen IPCC:n viidennen arviointiraportin (IPCC AR5 WG1 Ch8 2013) GWP-kertoimia (*Global Warming Potential*), jotka ovat hiilidioksidille (CO₂) 1, metaanille (CH₄) 28 ja dityppioksidille (N₂O) 265.

3.4. HIISI-WAM-ruokavaliomuutos

3.4.1. Maataloustuotannon ja pellonkäytön muutokset HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa

Maataloustuotannon ja pellonkäytön muutokset laskettiin DREMFA-ktorimallilla (Lehtonen 2001), joka kuvaa maataloustuotteiden kotimaista tuotantoa, kotimaista kysyntää ja viennin ja tuonnin sekä pellonkäytön kehitystä vuosittain vuoteen 2050. Mallissa on mukana ns. perusmaatalous, joka ei sisällä puutarha-, hevos-, kala-, lammas- eikä turkistaloutta. HIISI-WAM-skenaariota (Maanvilja ym. 2021) mukainen kehityskulku laskettiin jo aiemmin vuonna 2021 samalla mallilla. HIISI-WAM- ja HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarioiden eläinten ja kotieläintuotannon määrät ovat samat, mutta maankäytössä on pieniä eroja. Sen sijaan ruokavaliomuutos muuttaa sekä kotieläinten lukumäärien että maankäytön kehitystä.

Oletuksena on vuoden 2020 mukainen maatalouspolitiikka ja OECD-FAO Agricultural Outlook 2020–2029-raportin (OECD/FAO 2020) mukaiset EU:n hinnat maataloustuotteille ja keskeisille tuotantopanoksille vuoteen 2030, jonka jälkeen niiden oletetaan pysyvän reaalisesti muuttumattomina. Energian hintojen nopea nousu 2020-luvulla on oletuksena mukana OECD-FAO Agricultural Outlook 2020–2029-raportin arvioissa, ja se nostaa etenkin polttoainekustannuksia. Arvion mukaan polttoaineiden hinta nousee maataloudessa pysyvästi yli 20 % korkeammalle tasolle vuosina 2020–2029. Myös sähköön liittyvät kustannukset kasvavat merkittävästi. Lannoitteiden hinnat nousevat pysyvästi 14 % vuosina 2020–2029. Johdonmukaisuuden vuoksi HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa käytetään samoja hintaoletuksia kuin HIISI-WAM-skenaariota muodostettaessa vuonna 2021 (Maanvilja ym. 2021).

Väkiluku on Tilastokeskuksen ennusteen (Suomen virallinen tilasto 2019) mukainen vuoteen 2050, joten Suomen väkiluvun oletetaan pysyvän lähes ennallaan vuosina 2020–2050.

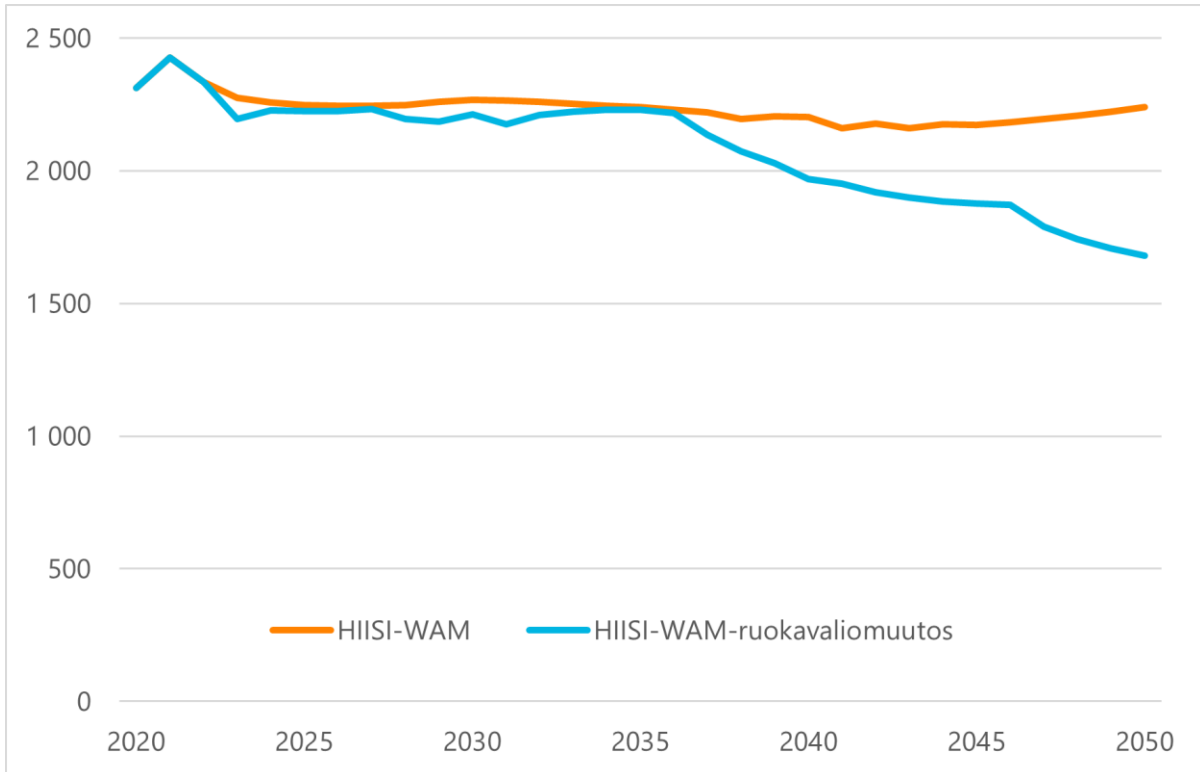
Maidontuotanto

Suomessa tuotetusta maidosta on viety 2010-luvulla ulkomaille erilaisina maitojalosteina, kuten juustoina ja maitojauheina sekä voina, yli kolmannes vuosittain. Samaan aikaan juustonkulutuksesta noin puolet on ollut viime vuosina tuontitavaraa. Maitosektorilla, jossa on jo yli 20 vuotta sopeuduttu eri tavoin maitonesteiden kulutuksen vähenemiseen, on siis mahdollisuuksia kasvattaa joidenkin maitotuotteiden vientiä, jos kotimainen kysyntä vähenee. HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa kaikkien maitotuotteiden kulutus henkilöä kohden vähenee 20 % vuosina 2020–2035 ja 30 % vuosina 2020–2050 (Taulukko 1).

Tulosten mukaan 2020-luvulla vahvana pysyvä globaali maitotuotteiden kysyntä ja hinnat (OECD/FAO 2020) vaikuttavat myös Suomeen niin, että kotimaisen kysynnän lasku johtaa maltilliseen viennin kasvuun. Koska samaan aikaan lypsykarjatalouden investoinnit yli 100 lehmän navettoihin parantavat työn tuottavuutta ja alentavat hieman tuotantokustannuksia pienempiin maitotiloihin nähden, maidontuotannon kokonaismäärä vähenee hyvin hitaasti aina vuoteen 2030 (Kuva 2).

Maidontuotannon hitaaseen vähenemiseen myötävaikuttaa merkittävästi se, että peltomaata vapautuu sian-, siipikarjan- ja naudanlihan tuotannosta ja näitä tukevasta rehuntuotannosta merkittävän nopeasti jo 2020-luvulla. Tämä johtuu siitä, että etenkin sian- ja siipikarjanlihan tuotannot vastaavat nopeasti kotimaisen kysynnän vähenemiseen, eli vähenevät lähes samaa tahtia kuin kotimainen kulutus (-33 % 2020–2035). Pieni viennin kasvu voi tosin olla mahdollinen. Joka tapauksessa lypsykarjatalouden käyttöön vapautuu peltoalaa Pohjanmaalla ja osassa Etelä-Suomea aiempaa alemmilla pellon hinnoilla. Tämä otetaan huomioon DREMFA-sektori-mallissa niin, että investointimalli ottaa syötteenä huomioon edellisen vuoden alueellisen peltoalarajoitteen varjohinnan laskiessaan lypsykarjatalouden investointien kannattavuutta eri kokuokissa. HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa käy tulosten mukaan vääjäämättä niin, että kotimaisen maidon kysynnän lasku heijastuu kotimaista tuotantoa alentavasti vasta 2030-luvulla. Tuotanto kuitenkin vähenee kiihtyvällä vauhdilla 2040-luvun alussa, ja vuonna 2050 maidontuotanto on lopulta vähentynyt 25 % vuoden 2020 tasosta. Kysyntä alenee 2020–2050 30 %, joten pieni viennin kasvu osin tehokkaamman tilarakenteen ja kustannuskilpailukyyn kasvun ansiosta jää tulosten mukaan pysyväksi.

Osin maidontuotantoa edistää se, että maidontuotannon kilpailukykyisimmillä alueilla, erityisesti Pohjanmaalla, sian- ja siipikarjanlihantuotannon nopea väheneminen (-33 %) jo vuoteen 2035 mennessä vapauttaa edullisempaa peltoalaa käyttöön ja antaa mahdollisuuksia lypsykarjataloudelle. Näin siis lehmien lukumäärä ja maidontuotannon kokonaismäärä ovat likimain samalla tasolla HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa kuin HIISI-WAM-skenaariossa. Tämä tulos on kuitenkin riippuvainen EU:n hintatasosta, jonka oletetaan pysyvän OECD/FAO (2020) hintaennusteiden mukaisesti reaalisesti vakaana 2020-luvulla vuoteen 2030. Tämän jälkeen maataloustuotteiden reaalihintojen oletetaan pysyvän ennallaan.



Kuva 2. Maidon kokonaistuotanto (meijeriin, milj. litraa/vuosi) vuosina 2020–2050. HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa tuotanto ja kulutus ovat samat kuin HIISI-WAM-skenaariossa. Lähde: DREMFIA-sektorimalli, Luke, toukokuu 2022.

HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaario vähentää siis investointeja lypsykarjatiloihin merkittävästi vasta vuoden 2030 jälkeen. Vähentyminen osuu isoihin tiloihin, koska pienempiin ei juuri tehdä kuin pieniä ylläpitoinvestointeja. Eli HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa on 2040-luvulla kokoluokassa 50–99 lypsylehmää enemmän lehmä ja maatiloja (10 % enemmän 2050), mutta kokoluokassa 100– on puolestaan vähemmän lehmä ja maatiloja (25 % vähemmän) kuin HIISI-WAM-skenaariossa (Taulukot 14–16). Tämä selittyy sillä, että yli sadan lehmän kokoluokkaan siirrytään juuri 50–99 lehmän kokoluokasta, harvemmin alle 50 lehmän kokoluokasta.

Taulukko 14. Lehmien jakautuminen eri tilakokoluokkiin HIISI-WAM- ja HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarioissa vuosina 2030–2050. Lähde: DREMFIA-sektorimalli, Luke, toukokuu 2022.

Vuosi	1–19 lehmää	20–49 lehmää	50–99 lehmää	100– lehmää	Yhteensä
2030	5 396	31 009	46 388	135 636	218 428
2035	3 032	19 448	31 287	156 576	210 342
2040	1 703	12 195	20 253	167 800	201 953
2045	957	7 646	12 978	167 493	189 074
2050	537	4 793	8 436	177 423	191 190

Taulukko 15. Lehmien jakautuminen eri tilakokoluokkiin HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa vuosina 2030–2050. Lähde: DREMFIAn sektorimalli, Luke, toukokuu 2022.

Vuosi	1–19 lehmää	20–49 lehmää	50–99 lehmää	100– lehmää	Yhteensä
2030	5 396	31 221	52 749	136 248	225 613
2035	3 032	19 579	36 414	159 809	218 834
2040	1 704	12 282	23 004	144 649	181 639
2045	957	7 701	14 763	146 851	170 273
2050	538	4 827	9 309	132 258	146 932

Taulukko 16. Lehmämäärän suhteellinen muutos HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaario/HIISI-WAM-skenaario vuosina 2030–2050. HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa eläinmäärät ovat samat kuin HIISI-WAM-skenaariossa Lähde: DREMFIAn sektorimalli, Luke, toukokuu 2022.

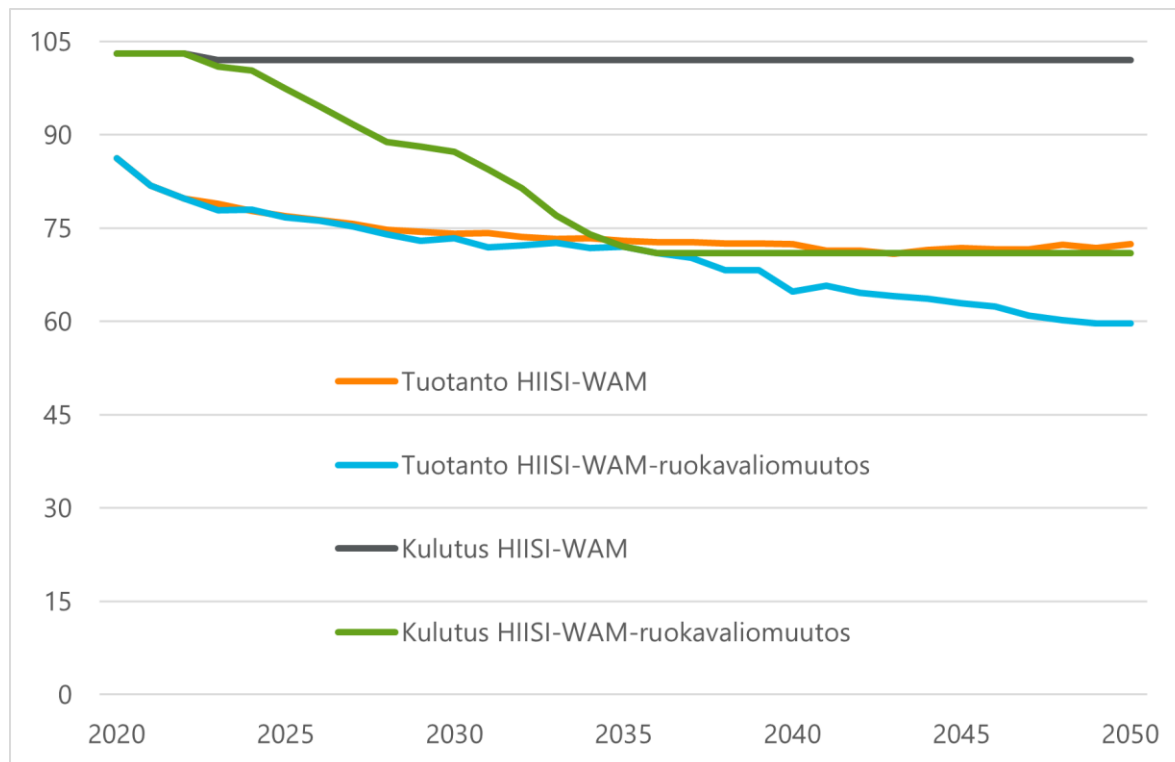
Vuosi	1–19 lehmää	20–49 lehmää	50–99 lehmää	100– lehmää	Yhteensä
2030	1,000	1,007	1,137	1,005	1,033
2035	1,000	1,007	1,164	1,021	1,040
2040	1,000	1,007	1,136	0,862	0,899
2045	1,000	1,007	1,138	0,877	0,901
2050	1,000	1,007	1,103	0,745	0,769

Todellisuudesta voi tuki löytyä tapauksia, joissa pieni tila moninkertaistaa lyhyessä ajassa eläinmäärän lypsykarjatuotannossa, mutta enemmistö lypsykarjataloista on kasvanut vaiheittain. DREMFIAn teknologiseen diffuusion perustuvan investoinnin parametrisoinnilla (rakennekehityksen kokoluokittain 1995–2020 toistava parametrisointi) saadaan tulos, että mitä suurempi osuus lehmistä on 50–99 kokoluokassa, lähes kaikki uudet tulijat 100 ja yli kokoluokkaan tulevat 50–99 kokoluokasta. Näiden tulijoiden määrä vähenee merkittävästi 2030- ja 2040-luvuilla HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa.

Lihantuotanto

Kuten edellä jo todettiin, sian- ja siipikarjanlihan tuotanto vastaavat tulosten mukaan nopeasti kotimaisen kysynnän muutoksiin ja vähentävät tuotantoa likimain kotimaista kulutusta vastaavasti vuoteen 2035 ja pysyen sen jälkeen noin kolmanneksen vuotta 2020 alemmalla tasolla. Sen sijaan naudanlihan tuotanto vastaa pitemmällä viiveellä kysynnän muutoksiin ja on vahvasti sidoksissa lypsykarjatalouteen. Naudanlihan tuotanto vähenee HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa 2020–2035 noin 17 %, vaikka kulutus vähenee 33 %, koska maidontuotanto ei vähene samana aikana. Vuoteen 2050 mennessä naudanlihan tuotanto vähenee noin 31 % vuoden 2020 tasosta (Kuva 3). On kuitenkin huomattava, että naudanlihan tuotanto vuonna 2020

oli noin 15 % alle kotimaisen kulutuksen, ja että HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa tuotanto vastaa kulutusta 2035 ja alittaa kulutuksen noin 16 prosentilla vuonna 2050. Tämä johtuu siitä, että emolehmätuotanto ei ole riittävän kannattavaa, että se kasvaisi, jos naudanlihan tuotanto alittaa kotimaisen kulutuksen maidontuotannon vähentyessä.



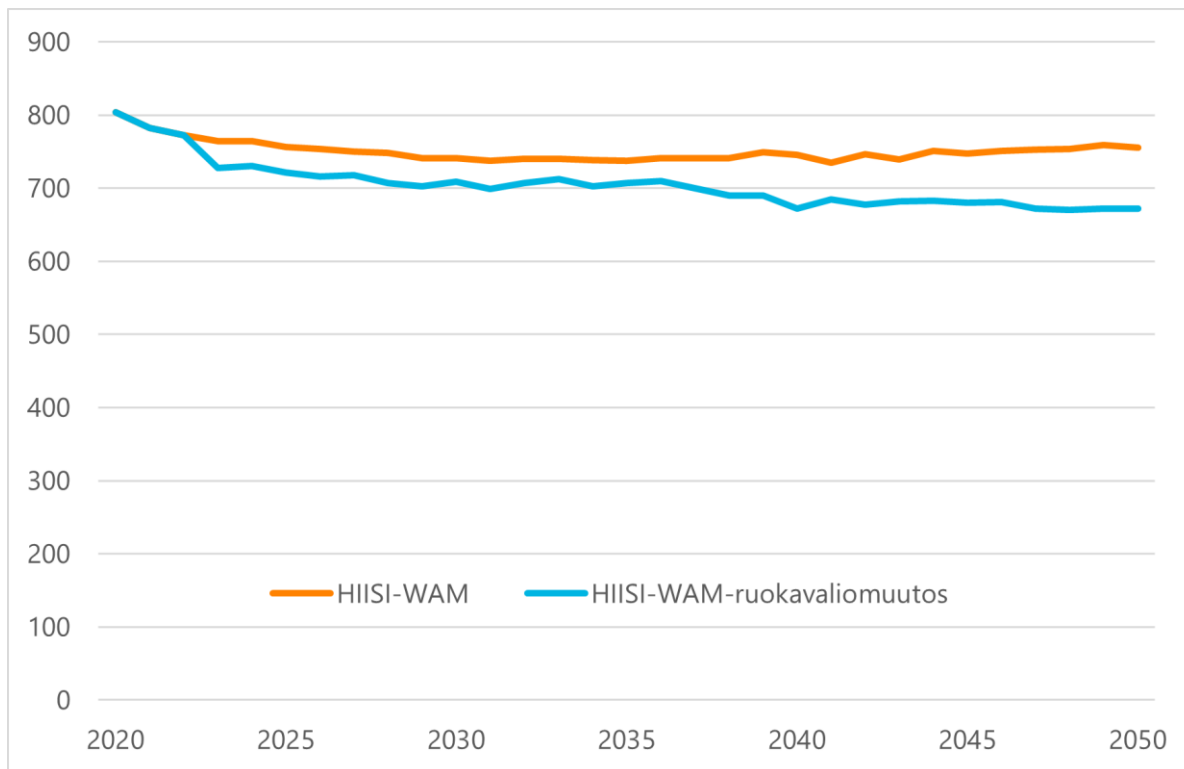
Kuva 3. Naudanlihan kokonaistuotanto ja kulutus (milj. kg) vuosina 2020–2050. HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa tuotanto ja kulutus ovat samat kuin HIISI-WAM-skenaariossa. Lähde: DREMFA-sektorimalli, Luke, toukokuu 2022.

Pellonkäyttö

Pellonkäyttö on koko maan tasolla likimain sama HIISI-WAM- ja HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarioissa. Rehunurmea on HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa vuonna 2050 noin 80 000 ha (ero 11 %) vähemmän kuin HIISI-WAM- ja HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarioissa, mutta vuonna 2035 kuitenkin vain noin 30 000 ha vähemmän (Kuva 4).

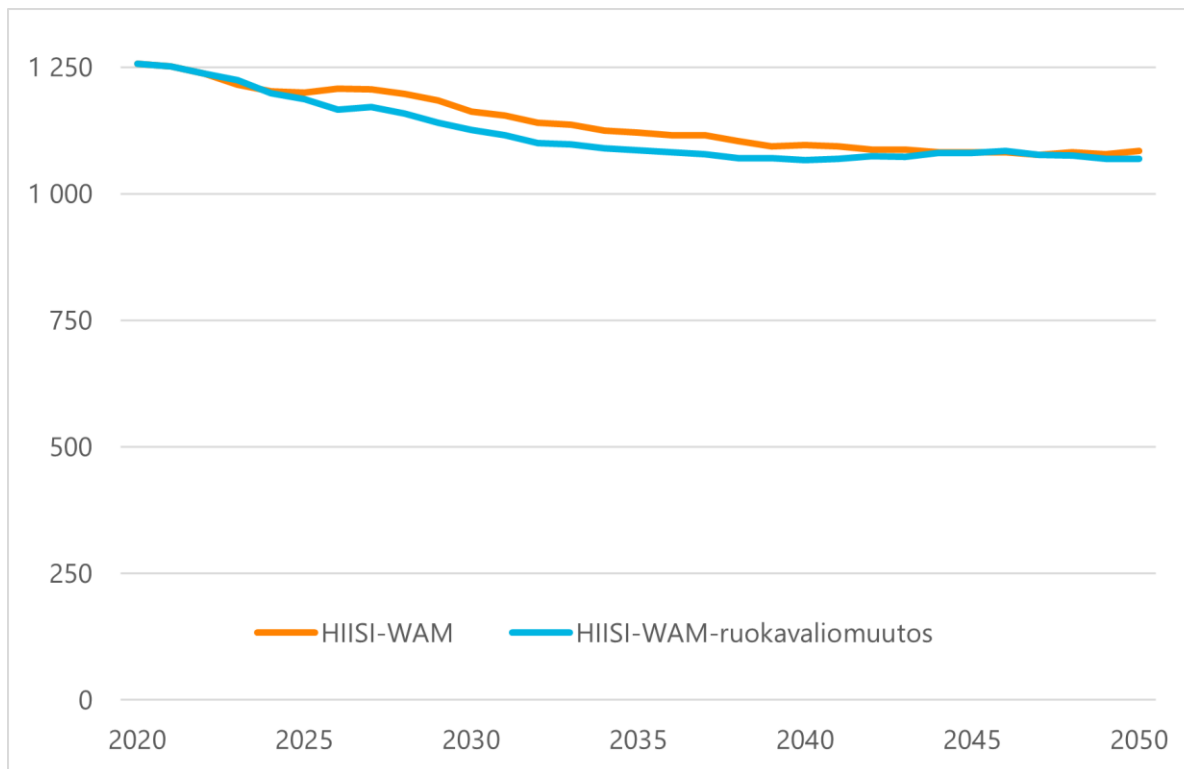
Ainakin tämän erotuksen verran enemmän vapautuisi nurmialaa biokaasun syötteenä HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa kuin HIISI-WAM-skenaariossa. Tosin biokaasunurmialan kasvu vähentäisi vastaavalla määrällä kesantoalaa.

Rehunurmen viljely laajaperäistyy (maidontuotantoa 25 % vähemmän ruokavaliomuutosskenaariossa, mutta nurmea vain 11 % vähemmän 2050). Tämä tarkoittaa pienempää lannoitteiden käyttöä ja rehusatoa hehtaaria kohden, mikä on taloudellisesti järkevää, koska maataloustukea saa melko pienillä kustannuksilla rehunurmista. Kesantojen tuki on pienempi, mutta niiden ala on silti isompi HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa kuin HIISI-WAM-skenaariossa. Pellon tarpeen vähentyessä osa pelloista siirtyy kesannoiksi.



Kuva 4. Rehunurmien pinta-ala (1 000 ha) vuosina 2020–2050. HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarissa rehunurmien pinta-ala on sama kuin HIISI-WAM-skenaariossa. Lähde: DREMFA-sektorimalli, Luke, toukokuu 2022.

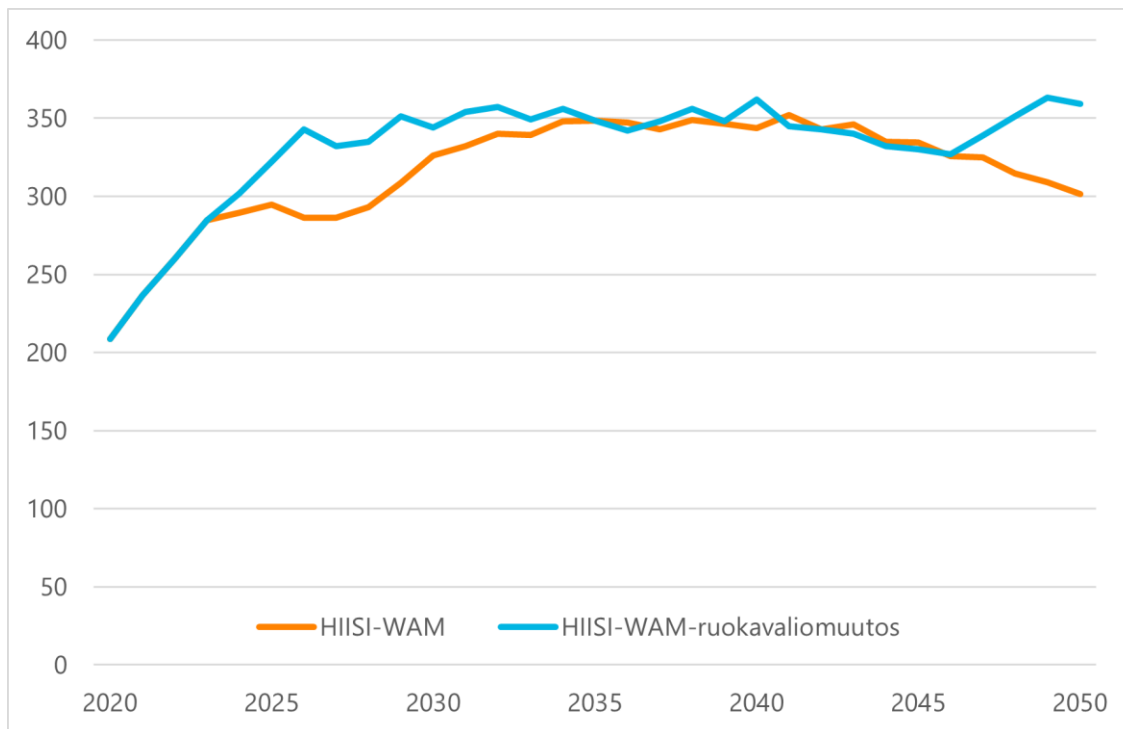
Yksivuotisten kasvien kysyntä ei kokonaisuutena kasva vaan lievästi vähenee HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaarissa. Rehuviljan kysynnän yli 20 prosentin lasku 2020–2035 korvautuu osin leipäviljan, kauran ja palkoviljojen alan kasvulla. Viljan vienti kannattaa heikosti ja kasvaa hyvin vähän. Yksivuotisten kasvien ala vähenee kokonaisuutena hyvin vähän eli pysyy lähes samalla tasolla HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaarissa kuten HIISI-WAM-skenaariossa (Kuva 5).



Kuva 5. Vilja- ja öljykasvien ja eräiden yksivuotisten kasvien pinta-ala (1 000 ha) vuosina 2020–2050. HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa näiden kasvien pinta-alat ovat samat kuin HIISI-WAM-skenaariossa. Lähde: DREMFI-sektorimalli, Luke, toukokuu 2022.

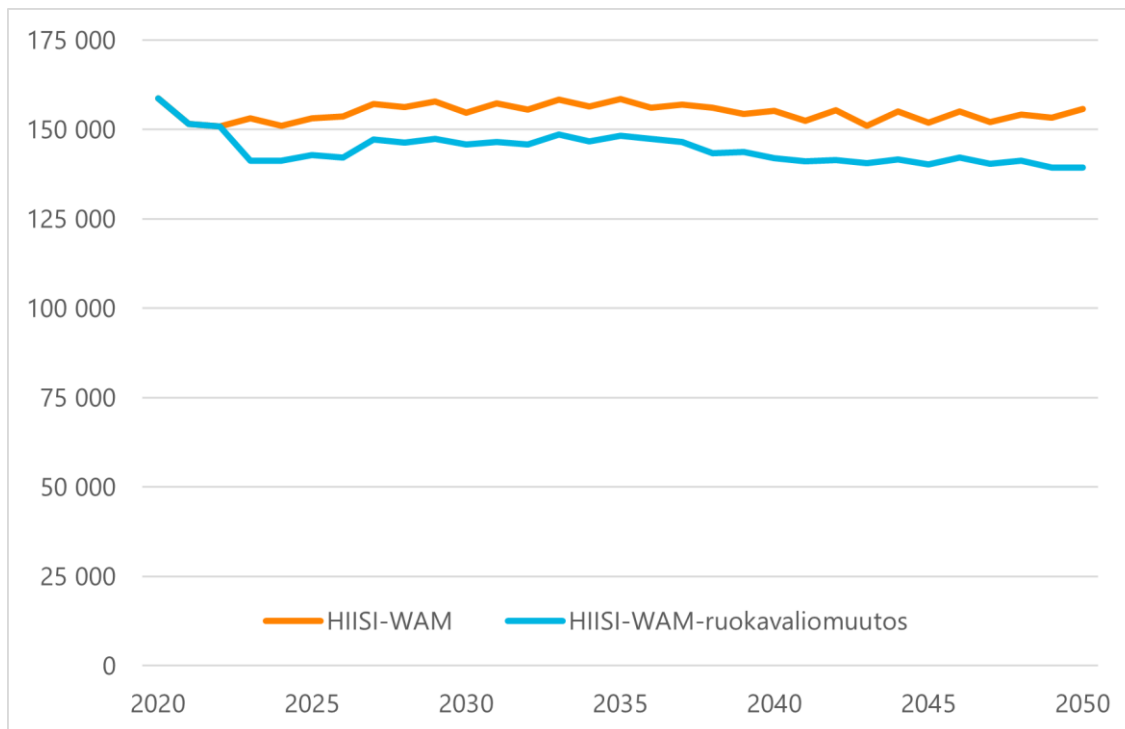
Kesantoala kasvaa HIISI-WAM-skenaariossa noin 100 000 ha jo 2020-luvulla energian ja lannoitteiden kallistumisen vuoksi, mikä vähentää viljan ja eräiden yksivuotisten kasvien viljelyalaa. Kesantoala pysyy lähes samalla tasolla HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa kuin HIISI-WAM-skenaariossa, mutta on 2040-luvun lopulla tätä vähän korkeammalla tasolla (Kuva 6). Kaikkiaan viljelyksessä oleva peltoala vähenee hyvin vähän HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa, koska maataloustuen turvin peltoala pidetään tukikelpoisena, joko laajaperäisenä rehunurmuna tai kesantona, vaikka rehunkysyntä vähenee.

Perusmaatalouden kokonaisala vähenee muutaman prosentin, mutta tästä alasta muutama kymmenen tuhatta hehtaaria voi mennä esim. hevos- ja lammastalouteen, joita ei DREMFIAssa ole mukana. Siksi kokonaisalan väheneminen on varsin ”heikko” tulos. Todennäköisesti, kuten mallin tulokset myös osoittavat, nykyisillä tuilla pellot kannattaa pitää viljelyssä.



Kuva 6. Kesantoala (1 000 ha) vuosina 2020–2050. HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa kesantoala on sama kuin HIISI-WAM-skenaariossa. Lähde: DREMFI-sektorimalli, Luke, toukokuu 2022. Huom. kesantoala nousee DREMFI-mallin tuloksissa todennäköisesti enemmän kuin todellisuudessa, koska mallista puuttuu hevos-, lammas- ja porotalous.

Suomessa on käytetty viime vuosina karjanlannan lisäksi kemiallisina typpilannoitteina runsaat 150 milj. kg typpeä. DREMFI-mallissa kokonaislannoitus ja samalla lantaa täydentävä typpilannoitus määräytyy typen satovasteen sekä typen ja kasvituotteiden hintojen perusteella. Näin laskettu lantaa täydentävä typpilannoitustarve (pääasiassa kemiallisten typpilannoitteiden käyttö), joka voi osin olla kierrätyslannoitteista saatavaa typpeä, jää HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa vuonna 2035 noin 7 % vuoden 2020 tasoa alhaisemmaksi ja vuonna 2050 noin 12 % vuoden 2020 tasoa alhaisemmaksi (Kuva 7). Tämä johtuu edellä mainituista tuotanto- ja pellonkäyttömuutoksista.



Kuva 7. Lantaa täydentävien typpilannoitteiden kokonaiskäyttö perusmaataloudessa (tonnia) vuosina 2020–2050. Lantaa täydentävien typpilannoitteiden kokonaiskäyttö perusmaataloudessa on HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa sama kuin HIISI-WAM-skenaariossa. Lähde: DREMFA-sektorimalli, Luke, toukokuu 2022.

3.4.2. 3-NOP-lisäaineen käyttö nautojen ruokinnassa

HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa lypsylehmien ja uudistukseen käytettävien hiehojen lukumäärä vähenee lineaarisesti läpi tarkastelujakson 2020–2050 (Taulukko 17). Vastavasti metaanintuotanto ja samalla myös metaaninvähennyspotentiaali pienenevät. Lehmien keskituotos nousee jalostuksen ansiosta, joten maitokiloa kohti laskettu metaanintuotanto pienenee ajan myötä. Summavaikutuksena maidontuotannon kokonaisilmastokuormitus pienenee.

Lypsylehmien määrän vähentyessä naudanlihantuotannon eläinmäärä pienenee myös. HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa naudanlihan kulutuksen ei oleteta vähentyvän samaa tahtia ja erotus tuotetaan emolehmätuotantoa lisäämällä. Tämän vuoksi emolehmätuotannon metaanipäästö hieman lisääntyy vuoden 2030 jälkeen ja samalla myös mahdollisen metaaninhibiittorin päästövähennyspotentiaali lisääntyy (Taulukko 17).

Taulukko 17. Nautojen lukumäärät ja 3-NOP-lisäaineen päästövähennyspotentiaali (Mt CO₂-ekv.) märehitijöiden ruokinnassa HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Naudat yhteensä	846 500	761 734	724 867	706 485	631 255	610 005	570 557
Lypsylehmät	259 600	235 422	225 613	218 834	181 639	170 273	146 932
Hiehot*	62 520	58 959	56 106	54 683	48 860	47 215	44 162
Emolehmät	62 000	53 973	49 777	49 572	58 186	61 479	69 833
3-NOP-päästövähennelmä Mt CO ₂ -ekv.	-	0,32	0,32	0,31	0,28	0,27	0,25
Nautojen ruuansulatuksen päästöt Mt CO ₂ -ekv.	2,1	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2

* Siemennetyt yli 17 kk ikäiset hiehot

3.4.3. Biokaasun ja kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisääminen

Lannat laskettiin HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaarioon vastaavalla tavalla kuin luvussa 3.3.3 HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarioon. Ainoastaan DREMFIAMallin antamat nautojen, sikojen ja siipikarjan lukumäärät muuttuivat. Lantojen osuuksia biokaasutuotantoon ei muutettu, vaan ne olivat HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarion mukaiset (Taulukko 5).

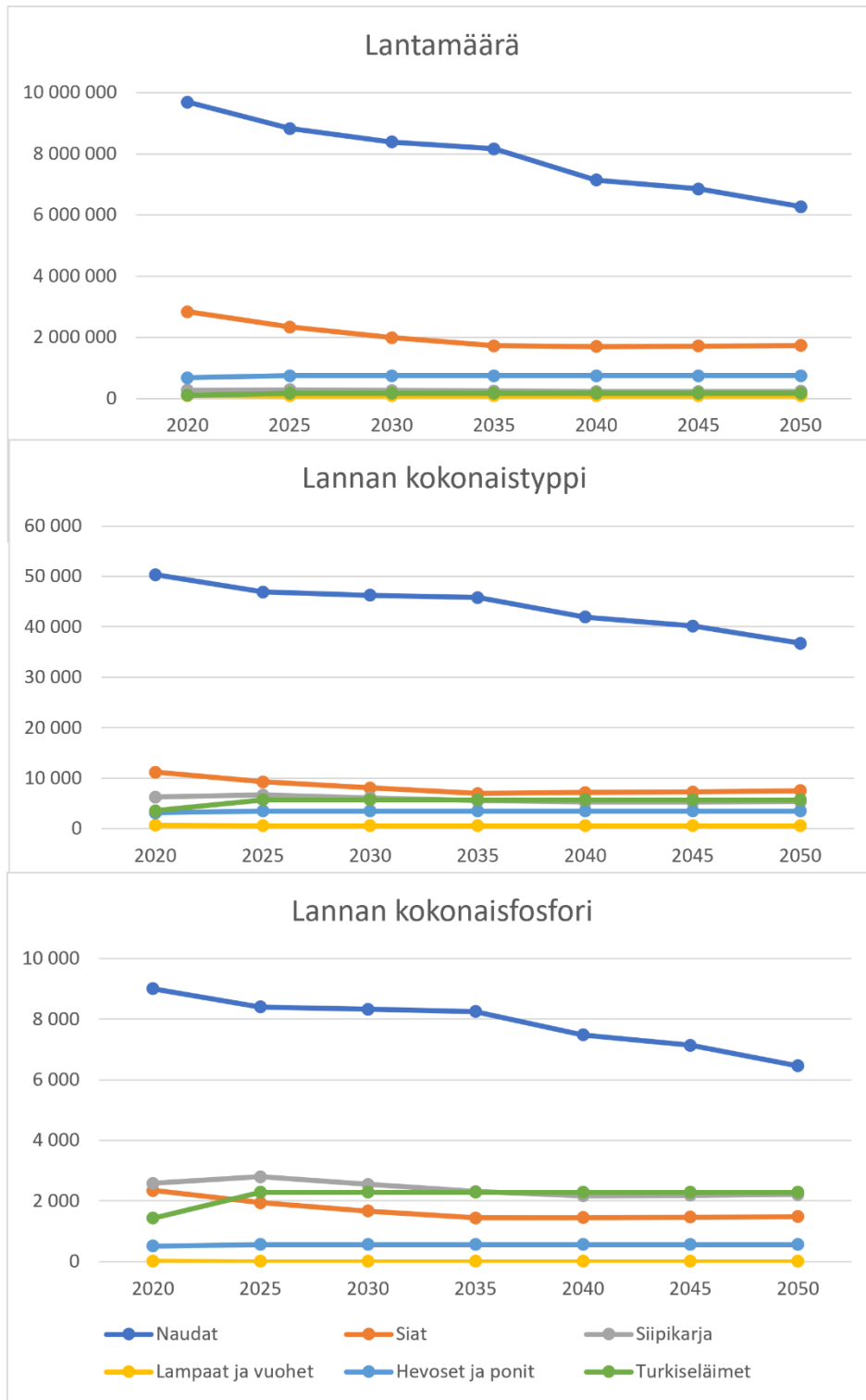
Myös biokaasutuotantoon päätyvien apilanurmien laskenta toteutettiin samoin kuin HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa. Niiden tuotantopinta-alan arvioitiin DREMFIAMallin avulla nousevan 30 000 hehtaarilla siten, että vuonna 2050 pinta-ala olisi 80 000 ha.

Muista lähteistä kuin maatalouden lannan ja nurmen biokaasulaitoksista kierrätettäviä ravinteita ei huomioitu. Eläinperäisten biomassojen sekä nyt rehuna käytettävien sivuvirtojen määrät ja käyttökohteet voisivat muuttua ruokavaliomuutoksen seurauksena, samoin kuin jätevesilietteen ja biojätteen koostumukset, mutta tässä työssä niitä ei ole mahdollista huomioida.

HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa lantojen ja niiden sisältämien ravinteiden määrät laskivat noin 17 % verrattuna budjettiriihiskenaarioon lihan- ja maidontuotannon muutosten myötä (Taulukko 18 ja Kuva 8).

Taulukko 18. Vuotuiset kotieläintuotannon lannan ja sen ravinteiden määrät Suomen normilantajärjestelmän tuottaman lantatiedon ja DREMFA-mallin tuottamien eläinmäärien tuloksena tarkasteluvuosittain HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Lantamäärä (1 000 tonnia)	13 682	12 469	11 660	11 149	10 087	9 812	9 262
Kokonaistyyppi (tonnia)	75 319	72 909	70 415	68 327	64 381	62 733	59 642
Kokonaisfosfori (tonnia)	15 902	16 009	15 406	14 872	13 966	13 658	13 030



Kuva 8. Lantojen sekä niiden sisältämien ravinteiden määrät (tonnia/vuosi) eläinluokittain vuosina 2020–2050 HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa.

Myös lannan teoreettinen energiapotentiali biokaasutuotannossa laskee ruokavaliomuutoksen myötä vuodelle 2020 arvioidusta 3,65 terawattitunnista 14 % ollen 2,74 terawattituntia lannan määrän vähentyessä. Koska biokaasutuotantoa ei voida olettaa teknistaloudellisesti toteutettavan kaikelle lannalle ja uusien laitosten käyttöönotto vie aikaa, toteutuvan lantabiokaasun tuotannon on oletettu kasvavan tarkasteluvuosien myötä siten, että vuonna 2050 38 %

lannoista olisi biokaasutuotannon piirissä ja energiantuotto lannoista olisi taulukon 19 mukaisesti tällöin 1,04 TWh (15 % HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariota pienempi; Taulukko 7).

Taulukko 19. Biokaasutuotantoon ohjautuvien lantojen energiantuotto biokaasuna tarkasteluvuosittain (metaanintuottopotentialia ilman energian hyödyntämisen hyötysuhteiden huomiointia) HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa.

Energiantuotanto lannoista (TWh/vuosi)	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Naudat	0,055	0,211	0,440	0,620	0,631	0,662	0,700
Siat	0,017	0,050	0,097	0,121	0,131	0,140	0,154
Siipikarja	0,002	0,017	0,034	0,045	0,049	0,055	0,064
Lampaat ja vuohet	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hevoset ja ponit	0,000	0,018	0,036	0,054	0,060	0,068	0,072
Turkiseläimet	0,000	0,013	0,027	0,040	0,044	0,046	0,050
Yhteensä	0,075	0,309	0,633	0,880	0,914	0,971	1,041

Biokaasulaitosten käyttöönoton myötä laitoksiin päätyvien lantojen ravinteiden määrät ovat HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariota alhaisemmat eläinmäärän laskun myötä (Taulukko 20). Lantatypen määrä vuonna 2050 on HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa 17 % ja lantafosforin määrä 16 % pienempi kuin budjettiriihiskenaariossa. Jos kasvintuotantotiloille ohjautuvien biokaasulaitosten lantaravinteiden osuudet pysyisivät samana kuin HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa, niille ohjautuisi (ilman hävikkejä) 7 104 tonnia typpeä ja 1 575 tonnia fosforia vuonna 2050 (Taulukko 21). Näiden osuuksien arvioitiin varsinaisesti korvaavan mineraalifosforia ja -typpeä. Loppujen biokaasulaitosten lantojen ravinteiden oletettiin päätyvän takaisin lannat tuottaneiden tilojen käyttöön. Todellisuudessa nämä osuudet voisivat hieman muuttua HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariosta kohti pienempiä laitostokokoja, sillä DREMFA-mallin mukaan suurimpia kotieläintiloja on ruokavaliomuutoksen myötä vähemmän kuin HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa.

Taulukko 20. Biokaasulaitoksiin ohjautuvien lantojen ravinnemäärät tarkasteluvuosittain HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa.

t/vuosi	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Typpi	1 554	6 856	14 562	20 486	21 421	22 518	23 680
Fosfori	302	1 527	3 203	4 515	4 714	4 972	5 249

Taulukko 21. Kasvintuotantotiloille suurten biokaasulaitosten kautta kiertävien, mineraalilannoitteita korvaavien lantaravinteiden määrät (ilman hävikkejä) tarkasteluvuosittain HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa.

t/vuosi	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Typpi	3,11	343	2 184	5 122	5 570	6 305	7 104
Fosfori	0,60	76	480	1 129	1 226	1 392	1 575

Biokaasutuotantoon ohjautuvien apilanurmien määrän arvioitiin nousevan HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarion 50 000 hehtaarista ruokavaliomuutoskenaariossa 80 000 hehtaariin. Nurmibiokaasun tuotanto olisi tällöin 1,18 TWh (60 % korkeampi kuin budjettiriihiskenaariossa) ja vuonna 2050 mädätteissä olisi 18 675 t kokonaistyppeä ja 1 774 tonnia fosforia (Taulukko 22). Huomionarvoista kuitenkin on, että mitä suurempi apilanurmien määrä biokaasutuotantoon ohjautuu, sitä enemmän sen tuotanto tarvitsee lannoitusta (Taulukko 22).

Taulukko 22. Biokaasutuotantoon ohjautuvan nurmen energiantuotto ja ravinteet tarkasteluvuosittain HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa.

Vuosi	Pinta-ala (ha)	Liukoisen typen tarve (t/vuosi)	Sato (t/TS)	Energia (TWh)	Ntot (t/vuosi)	Ptot (t/vuosi)
2020	5 000	390	27 750	0,07	1 167	73
2025	15 000	1 170	83 250	0,22	3 502	220
2030	30 000	2 340	166 500	0,44	7 003	440
2035	45 000	3 510	249 750	0,67	10 505	661
2040	60 000	4 680	333 000	0,89	14 006	881
2045	70 000	5 460	388 500	1,04	16 341	1 028
2050	80 000	6 240	444 000	1,18	18 675	1 174

Maatalouden lannoista ja nurmesta tuotetun biokaasun energiasta eri osuudet lämmön, sähkön ja liikenteen tai teollisuuden biometaanin tuotannosta muuttuivat ruokavaliomuutoskenaariossa verrattuna budjettiriihiskenaarioon (Taulukot 23 ja 11). Kokonaisuudessaan tuotetun energian määrä nousi, ja vuonna 2050 tuotetun energian määrä oli HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa 13 % suurempi kuin HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa. Syy tähän oli energiapitoisemman nurmen määrän kasvu ruokavaliomuutoskenaariossa. Se kattoi ja ylittikin sen energiamäärän, jonka lannan määrän ja siten energiantuotannon lasku aiheutti. Energiantuotantomuotojen hyötysuhteet huomioidenkin sähköä, lämpöä ja biometaania tuotettiin ruokavaliomuutoskenaariossa hieman suurempia määriä kuin budjettiriihiskenaariossa.

Taulukko 23. Lannasta ja nurmesta tuotetun energian jakautuminen eri energiamuotoihin tarkasteluvuosittain HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa.

TWh	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Yhteensä	0,252	0,531	1,077	1,546	1,802	2,008	2,225
Sähkö*	0,053	0,112	0,226	0,325	0,378	0,422	0,467
Lämpö**	0,076	0,159	0,323	0,464	0,541	0,602	0,668
Biometaani***	0,099	0,208	0,422	0,606	0,707	0,787	0,872

* 60 % energiasäällöstä CHP-tuotantoon, hyötysuhde sähkölle 35 %

** 60 % energiasäällöstä CHP-tuotantoon, hyötysuhde lämmölle 50 %

*** 40 % energiasäällöstä liikenne- tai teolliseksi kaasuksi, hyötysuhde 98 %

Yhteensä nurmesta ja lannoista biokaasulaitoksissa kiertäisi HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa 42 355 t kokonaistyppeä ja 6 423 t kokonaisfosforia vuonna 2050. Tämä on typelle hieman enemmän kuin budjettiriihiskenaariossa (40 287 t), kun taas fosforia on budjettiriihiskenaariossa kierrossa enemmän (6 998 t). Mikäli biokaasutuotannossa käytetty apilanurmi lannoitetaan mädätteellä, typpilannoitukseen muualla käytettävä osuus lienee skenaarioissa lähellä samaa. Fosforin suurempi määrä budjettiriihiskenaariossa taas johtuu sen suuremmasta lannan osuudesta maatalouden biokaasulaitoksissa.

3.4.4. Kasvihuonekaasupäästöjen ja poistumien laskenta HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa

HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaarion eläinmäärät, satotasot ja kesantopinta-ala perustuvat DREMFA-mallin ennusteisiin ja täten poikkeavat budjettiriihiskenaarion vastaavista, joten ruokavaliomuutos on käsitelty laskennoissa omana kokonaisuutenaan. Eläinmäärien ja satotasojen muutokset vaikuttavat viljelysmaan kivennäismaiden hiilivarastoon, joka estimoitiin ruokavaliomuutosskenaariossa uudelleen Yasso07-maamallilla (Tuomi ym. 2009). Maaperälaskennassa biomassan hiilisisältönä käytettiin 50 prosenttia ja hiili muunnettiin hiilidioksidiksi (CO₂) kertoimella (-44/12). Muutoin laskennat suoritettiin samalla tavalla kuin budjettiriihiskenaariossa kasvihuonekaasuinventaarion perusmenetelmiä käyttäen (luku 3.3.4).

4. Skenaarioiden kasvihuonekaasuvaikutukset

4.1. HIISI-WAM-budjettiriihi

HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa maataloussektorin päästöt vähenevät 5,34 miljoonaan hiilidioksidiekvivalenttitonniin vuoteen 2035 mennessä (Taulukko 24), jolloin maataloussektorin päästöt ovat HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarioon sisältyvien toimien ansiosta 0,86 Mt CO₂-ekv. pienemmät kuin HIISI-WEM-skenaariossa.

Taulukko 24. Maataloussektorin kokonaispäästöt (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
HIISI-WEM*	6,34	6,28	6,26	6,20	6,14	6,04	6,04
HIISI-WAM*	6,34	6,15	5,92	5,77	5,57	5,40	5,33
HIISI-WAM-budjettiriihi	6,32	5,78	5,54	5,34	5,13	4,94	4,80

* Biokaasutuotannon vaikutus lannankäsittelyn päästöihin ei ollut mukana HIISI-WEMissä eikä HIISI-WAMissa

LULUCF-sektorilla maatalousmaiden (viljelysmaat ja ruohikkoalueet) päästöt vähenevät 7,09 miljoonaan hiilidioksidiekvivalenttitonniin vuoteen 2035 mennessä (Taulukko 25). HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarion toimien avulla maatalous- ja LULUCF-sektoreilla voidaan vuonna 2035 saavuttaa yhteensä 2,05 Mt CO₂-ekv. päästövähennykset HIISI-WEM-skenaarioon verrattuna. Kun mukaan lasketaan myös kierrätyslannoitteista ja biokaasutuotannosta syntyvät päästövähennykset energiasektorilla (Taulukko 26), maataloudesta peräisin olevat päästöt ovat vuonna 2035 HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa yhteensä 2,31 Mt CO₂-ekv. alhaisemmat kuin HIISI-WEM-skenaariossa.

Taulukko 25. LULUCF-sektorin viljelysmaan ja ruohikkoalueiden päästöt yhteensä (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
HIISI-WEM*	8,32	8,16	8,26	8,29	8,33	8,32	8,40
HIISI-WAM*	8,36	7,72	7,45	7,24	6,95	6,75	6,72
HIISI-WAM-budjettiriihi	8,36	7,60	7,32	7,09	6,78	6,56	6,50

* Biokaasutuotannon vaikutus lannankäsittelyn päästöihin ei ollut mukana HIISI-WEMissä eikä HIISI-WAMissa

Taulukko 26. Kierrätyslannoitevalmisteiden lisäämisestä syntyvät päästövähennykset energiasektorilla (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050 HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Typpi- ja fosforilannoitteiden valmistus	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Liikennebiokaasu ja lämmöntuotanto	0,04	0,10	0,17	0,24	0,27	0,29	0,32
Yhteensä	0,05	0,11	0,18	0,26	0,29	0,31	0,34

Turvelpitoihin eli eloperäisiin viljelysmaihin kohdistuvien toimien avulla on mahdollista säästää tehokkaita päästövähennyksiä (Taulukko 27). Veden pintaa nostamalla metaanipäästöt kasvavat jonkin verran, mutta vastaavasti hajotustoiminnan hidastuessa maaperän hiilenpidätyskyky paranee, joten nettovaikutus hiilitaseeseen on positiivinen. Päästöt alenevat erityisesti LULUCF-sektorilla, jonne viljelysmaiden metaani- ja hiilidioksidipäästöt kirjautuvat. Vuoteen 2035 mennessä LULUCF-sektorin päästöt alenevat 1,19 Mt CO₂-ekv. Päästövähennyksiä syntyy myös maataloussektorilla, kun eloperäisten maiden dityppioksidipäästöt vähenevät (Taulukko 28). Vuoteen 2035 mennessä maaperän dityppioksidipäästöt alenevat 0,41 Mt CO₂-ekv. HIISI-WEM-skenaarioon verrattuna.

Hehtaaria kohden laskettuna turvelpitoimista eniten päästövähennyksiä tuottaisi ns. ilmastokosteikko, mutta HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa suurimmat päästövähennykset saadaan viljelemällä nurmea korotetulla vedenpinnan tasolla, koska kyseisen toimenpiteen tavoitepinta-alat ovat kaikista suurimmat (Taulukko 27).

Taulukko 27. Arvioidut päästövähennykset (Mt CO₂-ekv.) eri maatalouden toimissa HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa vuosina 2020–2050.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Turvemaan nurmiviljely korotetulla pohjaveden tasolla (-30 cm) ¹⁾	0	0,08	0,21	0,33	0,46	0,59	0,72
Ruokohelven yms. kasvien viljely turvemaalla korotetulla pohjaveden tasolla (-30 cm) ¹⁾	0	0,04	0,10	0,14	0,17	0,21	0,24
Turveltojen nurmet ¹⁾	0	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Turvellon ilmastokosteikko osana Kosteikkojen hoito -toimenpidettä ¹⁾	0	0,02	0,05	0,11	0,16	0,22	0,27
Turveltoihin kohdistuvat toimet yhteensä	0	0,23	0,45	0,67	0,89	1,11	1,33
Kierrätyslannoitevalmisteet ja biokaasu ²⁾	0,06	0,16	0,30	0,41	0,46	0,49	0,56
3-NOP-lisäaineluokinta	0	0,33	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31

¹⁾ LULUCF- ja maataloussektorin päästövähennykset yhteensä

²⁾ Energia- ja maataloussektorin päästövähennykset yhteensä

Taulukko 28. Maaperän dityppioksidipäästöt (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050.

Maaperä N ₂ O	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
HIISI-WEM	3,07	3,14	3,18	3,20	3,20	3,17	3,20
HIISI-WAM	3,07	3,06	2,94	2,85	2,71	2,60	2,52
HIISI-WAM-budjettiriihi	3,07	3,03	2,89	2,79	2,64	2,52	2,43

HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa rehun lisäaineet vähentävät eläinten ruuansulatuksen päästöjä (Taulukko 29). Lypsy- ja emolehmille sekä siemennetyille hiehoille syötettävän 3-NOP-lisäaineen ansiosta päästöt vähenevät 14 % HIISI-WEM-skenaarioon verrattuna vuoteen 2035 mennessä. Tämä kuitenkin edellyttää, että luomumaitoiloja lukuun ottamatta 3-NOP-lisäaine otetaan käyttöön kaikilla maito- ja emolehmätiloilla.

Taulukko 29. Eläinten ruuansulatuksen metaanipäästöt (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050.

Eläinten ruuansulatus CH ₄	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
HIISI-WEM	2,31	2,21	2,16	2,10	2,05	2,00	1,98
HIISI-WAM	2,31	2,16	2,06	2,02	1,97	1,93	1,92
HIISI-WAM-budjettiriihi	2,31	1,88	1,84	1,80	1,76	1,72	1,72

Lannankäsittelyn metaani- ja dityppioksidipäästöjä on mahdollista vähentää hyödyntämällä lantaa biokaasutuotantoon (Taulukko 30). HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa lannankäsittelyn metaanipäästöt alenevat 0,12 Mt CO₂-ekv. ja dityppioksidipäästöt 0,05 Mt CO₂-ekv. HIISI-WEM-skenaarioon verrattuna vuoteen 2035 mennessä biokaasutuotannon ansiosta. Laitosten asianmukaiseen toteutukseen ja operointiin on kuitenkin kiinnitettävä huomiota päästövähennysten saavuttamiseksi, sillä biokaasutuotantoon käytettävän lannan käsittelyn aikaiset päästöt riippuvat voimakkaasti laitosten laadusta ja mädätteen varastointitavoista (Taulukko 31). Pahimmillaan lannankäsittelyn päästöt voivat jopa kasvaa tavanomaisiin lannankäsittelytapoihin verrattuna huonosti toteutettujen biokaasulaitosten ja -prosessien vuoksi.

Taulukko 30. Lannankäsittelyn metaani- ja dityppioksidipäästöt (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050.

Lannankäsittely	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CH₄-päästöt							
HIISI-WEM*	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46
HIISI-WAM*	0,51	0,50	0,50	0,49	0,48	0,47	0,47
HIISI-WAM-budjettiriihi	0,50	0,46	0,41	0,38	0,36	0,34	0,30
N₂O-päästöt							
HIISI-WEM*	0,24	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,20
HIISI-WAM*	0,24	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21
HIISI-WAM-budjettiriihi	0,24	0,22	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15

* Biokaasutuotannon vaikutus lannankäsittelyn päästöihin ei ollut mukana HIISI-WEMissä eikä HIISI-WAMissa

Taulukko 31. Lannankäsittelyn päästöt (metaani ja dityppioksidi) erilaisilla IPCC 2019 -ohjeistuksen mukaisilla päästökertoimilla laskettuna (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
HIISI-WAM-budjetti-riihi ¹⁾	0,74	0,67	0,61	0,55	0,53	0,50	0,45
Huonot käytännöt ²⁾	0,75	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,58
Parhaat käytännöt ³⁾	0,74	0,66	0,58	0,50	0,47	0,45	0,41

IPCC-päästökerroin: ¹⁾ high quality biogas digester, open storage, 3,55 % ²⁾ low quality biogas digester, open storage, 12,14 %
³⁾ high quality biogas digester, high quality gastight storage, 1,00 %

4.2. HIISI-WAM-ruokavaliomuutos

HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa maataloussektorin päästöt vähenevät 5,13 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonniin vuoteen 2035 mennessä (Taulukko 32), jolloin maataloussektorin päästöt ovat 1,07 Mt CO₂-ekv. pienemmät kuin HIISI-WEM skenaariossa.

Taulukko 32. Maataloussektorin kokonaispäästöt (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
HIISI-WEM*	6,34	6,28	6,26	6,20	6,14	6,04	6,04
HIISI-WAM*	6,34	6,15	5,92	5,77	5,57	5,40	5,33
HIISI-WAM-ruokavaliomuutos	6,32	5,59	5,33	5,13	4,73	4,55	4,25

* Biokaasutuotannon vaikutus lannankäsittelyn päästöihin ei ollut mukana HIISI-WEMissä eikä HIISI-WAMissa

LULUCF-sektorilla maatalousmaiden (viljelysmaat ja ruohikkoalueet) päästöt alenevat 7,30 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonniin vuoteen 2035 mennessä (Taulukko 33). HIISI-WEM-skenaarioon verrattuna maatalous- ja LULUCF-sektoreilla voidaan vuonna 2035 saavuttaa yhteensä 2,06 Mt CO₂-ekv. päästövähennykset. Kun mukaan lasketaan myös kierrätyslannoitteista ja biokaasutuotannosta syntyvät päästövähennykset energiasektorilla (Taulukko 34), HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa maataloudesta peräisin olevat päästöt vähenevät kaikkiaan 2,32 Mt CO₂-ekv. HIISI-WEM-skenaarioon verrattuna.

Taulukko 33. LULUCF-sektorin viljelysmaan ja ruohikkoalueiden päästöt yhteensä (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
HIISI-WEM*	8,32	8,16	8,26	8,29	8,33	8,32	8,40
HIISI-WAM*	8,36	7,72	7,45	7,24	6,95	6,75	6,72
HIISI-WAM-ruokavaliomuutos	8,36	7,62	7,43	7,30	7,00	6,72	6,59

* Biokaasutuotannon vaikutus lannankäsittelyn päästöihin ei ollut mukana HIISI-WEMissä eikä HIISI-WAMissa

Taulukko 34. Kierrätyslannoitevalmisteiden lisäämisestä syntyvät päästövähennykset energiasektorilla HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Typpi- ja fosforilannoitteiden valmistus	0,001	0,004	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Liikennebiokaasu ja lämmöntuotanto	0,04	0,09	0,18	0,25	0,29	0,33	0,36
Yhteensä	0,04	0,09	0,18	0,26	0,31	0,34	0,38

Turvepeltoihin eli eloperäisiin maihin kohdistuvat toimenpiteet ja niiden tuottamat päästövaiikutukset ovat HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa samat kuin HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa (Taulukko 27). Ruokavaliion muuttuminen kasvispainotteisemmaksi kuitenkin lisää kesantopeltojen pinta-alaa, mikä entisestään alentaa maaperäpäästöjä (Taulukko 35). Lisäksi ruokavaliomuutos vähentää eläinten määrää ja lannan levitystä peltoon ja sitä kautta maaperän dityppioksidipäästöjä. Näiden tekijöiden johdosta HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaarion maaperän dityppioksidipäästöt alenevat 0,52 Mt CO₂-ekv. HIISI-WEM-skenaarioon verrattuna vuoteen 2035 mennessä.

Eläinten määrän ja lannan levityksen väheneminen pienentää maaperään lisätyn orgaanisen aineksen määrää, mikä puolestaan hidastaa hiilen kertymistä kivennäismaiden hiilivarastoon. Tämän vuoksi HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa LULUCF-sektorin päästöt ovat hieman suuremmat kuin HIISI-WAM-budjettiriihiskenaariossa (Taulukot 33 ja 25) ja LULUCF-sektorin päästöt vähenevät HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa vain 0,99 Mt CO₂-ekv. vuoteen 2035 mennessä.

Taulukko 35. Maaperän dityppioksidipäästöt (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050.

Maaperä N ₂ O	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
HIISI-WEM	3,07	3,14	3,18	3,20	3,20	3,17	3,20
HIISI-WAM	3,07	3,06	2,94	2,85	2,71	2,60	2,52
HIISI-WAM-ruokavaliomuutos	3,07	2,94	2,80	2,68	2,50	2,39	2,25

Ruokavaliion kasvispainotteisuus johtaa eläinten määrän vähenemiseen, mikä yhdessä 3-NOP-lisääneruokinnan kanssa vähentää eläinten ruuansulatuksen metaanipäästöjä noin viidenneksellä vuoteen 2035 mennessä HIISI-WEM-skenaarioon verrattuna (Taulukko 36). Eläinten määrän väheneminen ja biokaasutuotanto alentavat lannankäsittelyn yhteenlaskettuja metaani- ja dityppioksidipäästöjä noin neljänneksellä HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa vuoteen 2035 mennessä (Taulukko 37).

Taulukko 36. Eläinten ruuansulatuksen metaanipäästöt (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050.

Eläinten ruuansulatus CH ₄	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
HIISI-WEM	2,31	2,21	2,16	2,10	2,05	2,00	1,98
HIISI-WAM	2,31	2,16	2,06	2,02	1,97	1,93	1,92
HIISI-WAM-ruokavaliomuutos	2,31	1,81	1,76	1,73	1,57	1,52	1,43

Taulukko 37. Lannankäsittelyn metaani ja dityppioksidipäästöt (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050.

Lannankäsittely	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CH₄-päästöt							
HIISI-WEM*	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46
HIISI-WAM*	0,51	0,50	0,50	0,49	0,48	0,47	0,47
HIISI-WAM-ruokavaliomuutos	0,50	0,44	0,39	0,35	0,31	0,30	0,25
N₂O-päästöt							
HIISI-WEM*	0,24	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,20
HIISI-WAM*	0,24	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21
HIISI-WAM-ruokavaliomuutos	0,24	0,21	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13

* Biokaasutuotannon vaikutus lannankäsittelyn päästöihin ei ollut mukana HIISI-WEMissä eikä HIISI-WAMissa

5. Kustannusarviot ja kustannusvaikuttavuusarviot HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarion lisätoimista

5.1. Tarkennukset CAP-kauden (2023–2027) kansalliseen toimeenpanoon sekä kosteikkoviljelyyn alan nosto 30 000 hehtaariin vuoteen 2030 mennessä

Kosteikkoviljelyyn alan nostosta 30 000 hehtaariin aiheutuvia kustannuksia arvioitiin katetuottolaskelmin. Katetuottolaskelmat laskettiin katetuotto B:hen saakka, jolloin tuotoista (sato-tuotto + tukituotto) vähennettiin muuttuvat kustannukset ja työkustannukset. Ruokohelven kosteikkoviljelylaskelmassa ja ilmastokosteikkolaskelmassa pohjavedenpinnan noston kustannuksena käytettiin säätöpadoista aiheutuvia poisto-, korko- ja säätökustannuksia kymmenelle vuodelle jaettuna. Turvemaan nurmiviljelyssä korotetulla pohjaveden tasolla oletettiin käytettävän säätösalaajitusta ja laskelmassa käytettiin säätösalaajituksesta aiheutuvaa poisto-, korko- ja säätökustannusta. Laskentamenetelmä ja taulukossa 39 esitetyt tulokset ovat samansuuntaisia, joita on raportoitu mm. julkaisuissa Laturi ym. (2022), Lehtonen & Purola (2022) ja Miettinen ym. (2022).

Kosteikkoviljeltyjen kasvien katetuottoja verrattiin samalla peltolohkolla oletetusti ennen kosteikkoviljelyyn siirtymistä viljeltyjen kasvien katetuottoihin (Taulukko 38). Korotetulla pohjaveden tasolla viljeltyä säilörehunurmea verrattiin normaalisti kuivatetulla pellolla viljeltyyn säilörehunurmeen. Kosteikkoviljeltyä ruokohelpeä verrattiin normaalisti kuivatetulla pellolla viljeltyyn ruokohelpeen ja ilmastokosteikot oletettiin perustettavaksi aikaisemmin kesannolla olleille pelloille (luonnonhoitopelto, jolta ei korjata satoa vaan joka pelkästään niitetään joka toinen vuosi).

Turvepeltojen nurmet -toimenpiteen katetta verrattiin normaalisti kuivatetulla pellolla viljellyn säilörehunurmen katetuottoon. Ympäristökorvaustoimenpiteen pienempi kate johtuu pääasiassa satomenetyksistä, koska nurmen uudistusta on toimenpiteessä rajoitettu niin, että muokkausta ei sallita. Vuosittainen sadan euron hehtaarikohtainen ympäristökorvaus ei käytetyllä sato-oletuksella riitä nostamaan toimenpiteen katetuottoa normaalin säilörehunurmen katteen tasolle.

Katetuotollaskelmissa on otettu huomioon pohjavedenpinnan nostosta aiheutuvat satomenetykset sekä kosteissa oloissa tapahtuvasta viljelystä aiheutuva suurempi työnmenekki sekä työ-koneissa mahdollisesti tarvittavat muutokset märällä pellolla työskentelyn mahdollistamiseksi (esim. leveämpi rengasvarustus). Laskelmat on laadittu vuoden 2020 hinta- ja kustannustasolla. Esimerkiksi normaalisti kuivatetulla pellolla viljellyn säilörehunurmen katetuotto B on C2-tuki-alueella 501 euroa/ha. Kun säilörehunurmea viljellään korotetulla pohjavedenpinnan tasolla, alenee katetuotto B 107 euroon/ha lisääntyneen työnmenekin, satomenetysten ja säätösalaajituksen korko- ja poistokustannuksen takia. Yhteenvedo tarkasteltujen toimenpiteiden kate-tuotoista esitetään taulukossa 39. Toimenpiteiden yhteenlasketut vuosikustannukset vaihtelevat vuoden 2025 9,2 miljoonasta eurosta vuoden 2035 yli 27 miljoonaan euroon.

Taulukko 38. Katetuotot normaaliviljelyssä ja viljelyssä korotetulla pohjaveden tasolla (Kate-tuotto B, katetuotto B - säätöpatojen kustannukset ja katetuotto B - säätösaloajituksen kus-tannukset), €/ha/vuosi C2-tukialueella.

Viljelykasvi	Normaaliviljely	Pohjavedenpinnan säätely	
		säätöpatodoilla	säätösaloajituksella
Säilörehunurmi	501	281	107
Turvepellon nurmi	400	-	-
Ruokohelvi	140	-148	-
Ilmastokosteikko	-	-179	-
Kesanto (LHP)	473	-	-

Taulukko 39. Kustannusarvio (milj. euroa/vuosi) CAP-tarkennuksista, kosteikkoviljelystä ja il-mastokosteikoista vuosina 2025, 2030 ja 2035.

	2025	2030	2035	Verranne
Turvemaan nurmiviljely korotetulla pohjaveden tasolla (- 30 cm)	2,9	7,9	12,8	Normaali säilörehun viljely
Ruokohelven yms. kasvien viljely tur- vemaalla korotetulla pohjaveden ta- solla (-30 cm)	1,1	2,9	3,8	Normaali ruokohel- ven viljely
Turvepeltojen nurmet	4,0	4,0	4,0	Normaali säilörehun viljely
Turvepellon ilmastokosteikko osana Kosteikkojen hoito -toimenpidettä (-10 - -5 cm)	1,2	3,3	6,5	Kesanto (LHP)
Yhteensä	9,2	18,1	27,1	

5.2. 3-NOP-lisäaineen käyttö nautojen ruokinnassa

Raportin kirjoitushetkellä 3-NOP-lisäainetta ei ole vielä kaupallistettu eikä sillä ole siten hintaa. Jos lisäaineen hinta sidotaan päästöoikeuden hintaan 70 €/tn CO₂-ekv. ja lisäaineen käytöllä saavutettava päästövähennys on 0,32 Mt CO₂-ekv., niin kustannusvaikutus olisi 1 snt / tuotettu maitolitra. Maitoa tuotetaan Suomessa vuosittain noin 2,25 miljardia litraa, joten kokonaiskus-tannukset 3-NOP-lisäaineen käytöstä ovat arviolta 22,5 miljoonaa euroa vuodessa.

Maidon tuotantokustannus vuoden 2022 tason mukaisesti on tyypillisesti luokkaa 60–80 snt/l. Maidosta maksetaan raportin kirjoitushetkellä 50 snt/l, joten ympäristötoimien lisäkustannuk-set täytyisi ainakin osittain maksaa muualta kuin tilan katteesta tinkimällä. Vaihtoehtoina ovat maidon markkinahinnan kohoaminen tai lisäaineen käytöstä maksettava tuki. Markkinavaihto-ehdossa todennäköisesti lisäaineen käyttö jää vähäisemmäksi ja 3-NOP tuotteen hinta laskee.

Tukivaihtoehdossa taas tuki todennäköisesti valuu enemmän lisäainevalmistajan voittomarginaaliin. Tämän vuoksi mahdollinen tuki täytyisi pitää maltillisena.

5.3. Biokaasun ja kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisääminen

Kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisäämisestä maataloilla aiheutuvien kustannusten ja tulonmenetysten arvioiminen on hankalaa. Kustannuksissa ja tulonmenetyksissä on tilakohtaista vaihtelua ja ne riippuvat myös käytettävästä kierrätyslannoitevalmisteesta ja siitä mitä mineraalilannoitetta kierrätyslannoitteella korvataan. Näistä syistä johtuen tässä selvityksessä päädyttiin arvioimaan biokaasun tuotannon lisäämisestä aiheutuvia kustannuksia.

Lantaa ja nurmea mädättävien biokaasulaitosten lukumäärää arvioitiin kolmessa eri laitospuolassa. Tarkastelun pienin laitospuoli vastaa tilakohtaista biokaasulaitosta, jonka kapasiteetti (vuosittainen syötemäärä) on 10 000 tonnia. Keskikokoisen laitoksen kapasiteetti on 40 000 tonnia, ja se voisi toteutua esimerkiksi useamman tilan yhteisenä biokaasulaitoksena. Suuren, keskitetyn laitoksen kapasiteetti on 250 000 tonnia.

Laitoksia arvioitiin rakennettavan viisivuotiskausittain eri laitospuolaluokissa taulukossa 40 esitetyn mukaisesti. Vuoden 2020 laitostilanne vastaa olemassa olevaa lantaa mädättävien laitosten lukumäärää. Suomen suurin lantalaite oli tuolloin Jepuan biokaasun laite, jonka kapasiteetti on kaksi prosessitekniikkaa yhdistäen noin 140 000 tonnia (siksi 0,6 verrattuna tarkastelun 250 000 tonniin verrattuna). Kaikkiaan lantaa ja nurmea käsitteleviä biokaasulaitoksia oletettiin rakennettavan 195 kappaletta.

Taulukko 40. Biokaasulaitosten arvioitu lukumäärä viisivuotiskausittain, jotta luvussa 3.3.3 esitetty lantojen ja nurmien määrät päätyvät biokaasulaitoksiin.

	1	2	3	Yhteensä
2020	20	2	0,6	23
2025	40	10	2,6	53
2030	70	20	6,6	97
2035	100	30	8,6	139
2040	115	35	8,6	159
2045	120	40	9,6	170
2050	140	45	9,6	195

Laitospuolot: 1) 10 000 t, 2) 40 000 t, 3) 250 000 t

Laitosten investointihintoja arvioitiin karkeasti (Saalasti 2022). Tilakohtaisen laitoksen keskimääräiseksi investointihinnaksi arvioitiin 1,2 miljoonaa euroa sisältäen biokaasulaitoksen, joka tuottaa sähköä ja lämpöä tilan omaan käyttöön. Keskikokoisen laitoksen investointihinnaksi arvioitiin 3,8 miljoonaa euroa sisältäen paineistetun biometaanin tuotannon ja mädätteen linnoituksen sekä eri jakeille tarvittavat varastot. Suurimman laitoksen investointikustannuksena käytettiin samaa 35 miljoonaa euroa kuin Luostarinen ym. (2019b). Laitoksessa on oletettu olevan hygienisointi, biometaanin tuotanto ja mädätteen jalostusta.

Kun taulukossa 40 esitetyt laitokset rakennetaan tarkasteltavien viisivuotiskausien aikana, investointien kokonaismäärät ovat vuoteen 2050 saakka kaikkiaan 624 miljoonaa euroa painotuen rakentamiseen vuoteen 2035 mennessä (Taulukko 41). Mikäli investointitukien osuudet pysyisivät kirjoitushetkellä tarjolla olevissa (laitoskoko 1: tilakohtaiset energian itse käyttävät 50 %, laitoskoko 2: maatilojen energiaa myyvät biokaasulaitokset 50 %, laitoskoko 3: energiatuki 30 %) muodostuisi investointituen tarpeeksi 249 miljoonaa euroa vuoteen 2050 saakka (Taulukko 42).

Taulukko 41. Arvioidut investointikustannukset (miljoonaa euroa) viisivuosittain eri laitoskoluokissa.

	1	2	3	Yhteensä (m€)
2020				
2025	24	32	70	126
2030	36	38	140	214
2035	36	38	70	144
2040	18	19	0	37
2045	6	19	35	60
2050	24	19	0	43
Yhteensä	144	165	315	624

Laitoskoot: 1) 10 000 t, 2) 40 000 t, 3) 250 000 t

Taulukko 42. Biokaasulaitosten investointituet (miljoonaa euroa) viisivuosittain eri laitoskoluokissa.

	1	2	3	Yhteensä (m€)
2020				
2025	12	16,2	21	49
2030	18	19	42	79
2035	18	19	21	58
2040	9,0	9,5	0	19
2045	3,0	9,5	10,5	23
2050	12	9,5	0	22
Yhteensä	72,0	82,7	94,5	249

Laitoskoot: 1) 10 000 t, 2) 40 000 t, 3) 250 000 t

Kierrätyslannoitevalmisteiden valmistamisen ilmastopäästöjen vähentämisen kustannuksia arvioitiin siten, että investointikustannusten (20 vuoden poisto ja 5 prosentin vuosikorko) lisäksi vuotuisten käyttökustannusten (työkustannus, energia, huolto, varaosat ym.) suuruuden arvioitiin olevan noin 5 % laitoksen investointikustannuksesta. Kierrätyslannoitevalmisteiden ilmastovaikutus tulee pääasiassa typen hyväksikäytön tehokkuuden parantumisen kautta. Typen

käytön tehokkuus taas paranee lähinnä typen liukoisuuden lisääntyessä biokaasuprosessissa sekä ravinteiden kuljetettavuuden parantumisen kautta, mikäli ravinteet jalostetaan biokaasuprosessin jälkeen kuljettavampaan muotoon. Kierrätyslannoitevalmisteiden kustannusosuutta ei pystytty tarkasti erottelemaan muusta biokaasulaitoksen kustannusmassasta. Laskelmissa tarkasteltiin biokaasulaitoksen kokonaiskustannusta. Näin laskien biokaasulaitosten ilmastokomponentin kokonaiskustannus vaihtelisi 16 miljoonasta eurosta 27 miljoonaan euroon vuodessa tarkasteluvuosina 2025, 2030 ja 2035 (Taulukko 43).

Taulukko 43. Kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisäämisen kustannukset tarkasteluvuosina 2025, 2030 ja 2035.

	2025	2030	2035
Kustannukset per vuosi	16 milj.€	27 milj.€	18 milj.€

5.4. Maatalouden lisätoimenpiteiden kustannusvaikuttavuus

Taulukossa 44 on esitetty lisätoimenpiteittäin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä vuonna 2035 aiheutuvat kustannukset (miljoonaa euroa), toimenpiteillä saavutettavat päästövähennykset (Mt CO₂-ekv.) sekä yhden hiilidioksidiekvivalenttitonnin vähentämisestä aiheutuvat kustannukset (€/t CO₂-ekv.). Kaikki tarkastellut toimenpiteet pärjäsivät kohtalaisen hyvin verrattuna päästökauppasektorilla viime aikoina maksettuihin hiilidioksidin päästöoikeuden hintoihin.

Tarkastelluista toimenpiteistä kustannusvaikuttavin on ruokohelven (yms. kosteikkoviljelykasvien) viljely turvemaalla korotetulla pohjaveden tasolla. Ruokohelven kosteikkoviljelyssä yhden hiilidioksidiekvivalenttitonnin vähentämiskustannukseksi tulee 27 euroa. Seuraaviksi kustannusvaikuttavimpia ovat turvemaan nurmiviljely korotetulla pohjaveden tasolla (39 €/t CO₂-ekv.) sekä turvepeltojen nurmet ja biokaasun ja kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisääminen (44 €/t CO₂-ekv.). Turvepeltojen ilmastokosteikoiden avulla hiilidioksidiekvivalenttitonnin vähentämisestä aiheutuu noin 60 euron kustannus. 3-NOP-lisäaine menestyi kustannusvaikuttavuustarkastelussa heikoimmin, koska tuotteella ei vielä ole markkinahintaa ja päästövähennyskustannus oli kiinnitetty 70 €/t CO₂-ekv. tasoon. 3-NOP-valmisteen todellinen kustannus selviää markkinoinnin alkaessa.

Taulukko 44. Maatalouden lisätoimenpiteiden kustannusvaikuttavuus (€/t CO₂-ekv.) kasvi-huonekaasupäästöjen vähentämisessä HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarion perusteella vuonna 2035.

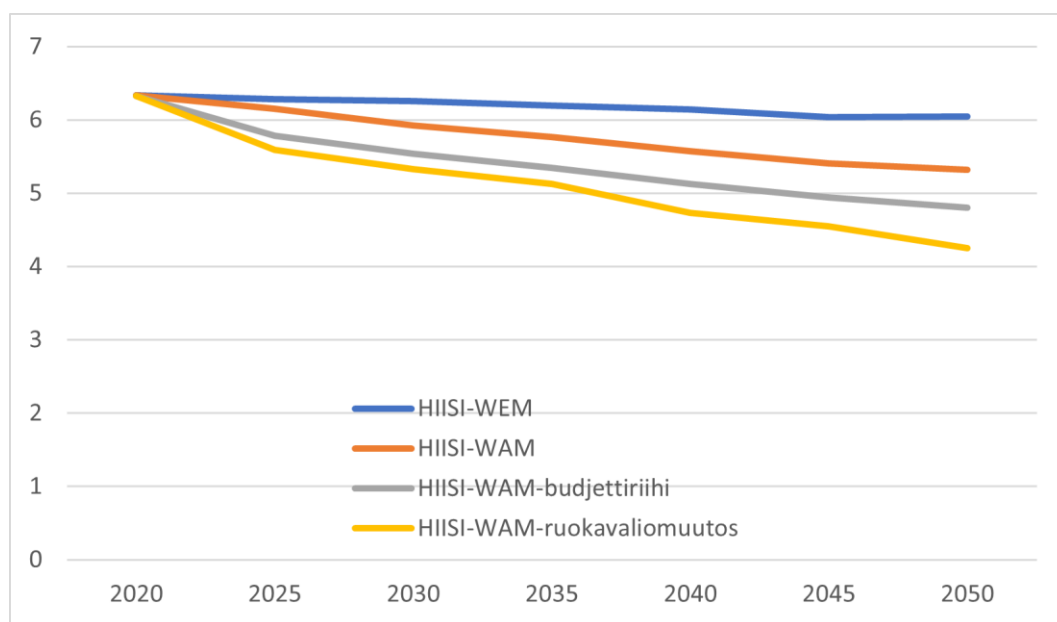
Toimenpide	Kustannukset milj.€	Päästövähennys Mt CO ₂ -ekv.*	Kustannus- vaikuttavuus €/t CO ₂ -ekv.
Ruukohelven yms. kasvien viljely turvemaalla korotetulla pohjaveden tasolla (-30 cm)	3,8	0,14	27
Turvemaan nurmiviljely korotetulla pohjaveden tasolla (- 30 cm)	12,8	0,33	39
Turvepeltojen nurmet	4,0	0,09	44
Biokaasun ja kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisääminen	18,1	0,41	44
Turvepellon ilmastokosteikko osana Kosteikkojen hoito -toimenpidettä (-10 - -5 cm)	6,5	0,11	59
3-NOP-lisäaineruokinta	22,5	0,32	70

* Turvemaatoimet sisältävät maatalous ja LULUCF-sektoreille kohdistuvat yhteenlasketut päästövähennykset, 3-NOP vain maataloussektorille kohdistuvat päästövähennykset, kierrätyslannoitteet maatalous- ja energiasektoreille kohdistuvat yhteenlasketut päästövähennykset.

6. Tulosten tarkastelu ja loppupäätelmät

VN TEAS HIISI -hankkeessa (Maanvilja ym. 2021) muodostettua perusskenaariota (HIISI-WEM) käytettiin myös HIISI-maatalousjatkohankkeessa. Lisäksi jatkohankkeessa hyödynnettiin VN TEAS HIISI -hankkeessa laadittua politiikkaskenaariota (HIISI-WAM) laadittaessa uusia politiikkaskenaarioita: HIISI-WAM-budjettiriihi ja HIISI-WAM-ruokavaliomuutos.

Maataloussektorin kasvihuonekaasupäästöjen kehitys VN TEAS HIISI -hankkeen (Maanvilja ym. 2021) ja HIISI-maatalousjatkohankkeen skenaarioissa on esitetty kuvassa 9. Lisätoimien ja ruokavaliomuutoksen vaikutus näkyy kuvassa selvästi, kun uusia politiikkaskenaarioita verrataan vanhaan politiikkaskenaarioon. HIISI-WAM-skenaarioon verrattuna HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarion päästöt ovat pienemmät erityisesti nautojen pötsin metaanintuottoa vähentävän 3-NOP-lisäaineruokinnan sekä lannankäsittelyn päästöjä vähentävän biokaasutuotannon ansiosta. Turvemaihin kohdistuvilla lisätoimilla (kuten kosteikkoviljely ja ilmastokosteikat) on edellä mainittujen skenaarioiden erotukseen vähäisempi vaikutus, sillä kyseiset toimet olivat mukana jo HIISI-WAM-skenaariossa, mutta enimmäkseen pienempinä tavoitepinta-aloina. HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariorissa tärkein päästöjä vähentävä tekijä on kasvispainotteisemmasta ruokavaliosta johtuva tuotantoeläinten lukumäärän väheneminen, mikä alentaa nautojen ruuansulatuksen, eläinten lannankäsittelyn ja maaperän päästöjä.



Kuva 9. Maataloussektorin kasvihuonekaasupäästöt (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2020–2050 HIISI-WEM-, HIISI-WAM-, HIISI-WAM-budjettiriihi- ja HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaarioissa.

Hallituksen syksyllä 2021 budjettiriihen yhteydessä asettama tavoite, että maatalouden lisätoimenpiteillä vähennetään päästöjä taakanjakosektorilla 0,4 Mt CO₂-ekv. vuoteen 2030 mennessä, on saavutettavissa sisällyttämällä tässä selvityksessä tarkastellut toimenpiteet HIISI-WAM-skenaariion toimenpiteisiin. Taulukossa 45 esitettyjen tulosten perusteella maataloussektorin päästöt ovat vuonna 2030 HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarioon sisältyvien toimien ansiosta noin 0,7 Mt CO₂-ekv. pienemmät kuin HIISI-WEM-skenaariossa. Näin ollen myös ilmasto- ja energiapolitiittisen ministerityöryhmän maaliskuussa 2022 asettama tiukempi maataloussektorin päästövähennystavoite (0,6 Mt CO₂-ekv. vuoteen 2030 mennessä) on saavutettavissa.

Vuoteen 2035 mennessä maatalouden uudet lisätoimenpiteet sisältävän HIISI-WAM-budjetti-riihiskenaarion päästövähennyspotentialiaali on maataloussektorilla 0,86 Mt CO₂-ekv. (Taulukko 45). Lisäksi toimenpiteistä syntyy päästövähennyksiä maankäyttö- eli LULUCF-sektorilla 1,19 Mt CO₂-ekv. ja energiasektorilla 0,26 Mt CO₂-ekv., jolloin maataloudesta peräisin olevat päästöt vähenevät kaikkiaan 2,31 Mt CO₂-ekv. vuoteen 2035 mennessä.

Päästövähennystavoitteiden saavuttamiseen vaaditaan tehokkaita ohjaustoimenpiteitä. Tarkastelluista lisätoimenpiteistä kustannusvaikuttavimpia ovat toimenpiteet, joissa turvepelloilla viljellään kosteikkoviljelyyn soveltuvia kasveja tai nurmea korotetulla pohjavedenpinnan tasolla. Näillä toimenpiteillä yhden hiilidioksidiekvivalenttitonnin suuruisen päästövähennyksen kustannukseksi tulee arviolta 30–40 euroa. 30 000 hehtaarin kosteikkoviljelyalan saavuttaminen vuoteen 2030 mennessä maksaa vuosina 2023–2030 yhteensä arviolta 48 miljoonaa euroa. Kustannuslaskelmissa on epävarmuutta, koska kosteikkoviljelykasvien markkinat ovat toistaiseksi kehittymättömät ja turvepeltojen olosuhteet ja viljelijöiden valmiudet siirtyä kosteikkoviljelyyn vaihtelevat.

Kosteikkoviljelyn tavoitteen, 30 000 ha, saavuttaminen on haasteellista ilman erillisiä tukijärjestelyjä. Viljelijällä ei toistaiseksi ole taloudellisia kannustimia (kosteikkoviljelystä kasvusta saatava parempi hinta tai tuki kosteikkoviljelyyn) investoida pohjavedenpinnan nostamiseen ja siirtyä työaikaan vievään ja ajoittain viljelyä haittaavaan pellon vedenpinnan säätelyyn, vaikka se olisi ilmaston kannalta hyödyllistä. Kosteikkoviljelypiloteilla voitaisiin saada käytännön kokemuksia ja lisää tietoa kosteikkoviljelyn kustannuksista ja hyödyistä. Kosteikkoviljelyä tarvitaan myös lisää tutkimustietoa virheinvestointien välttämiseksi.

Vuonna 2023 alkavalla ohjelmakaudella kosteikkojen hoitosopimuksia on mahdollista tehdä myös turvepelloille perustetuista kosteikoista ja saada niistä 500 euron vuotuinen hehtaarikohmainen hoitopalkkio. Korvaustaso lienee riittävä heikkotuottoisimmille turvepelloille etenkin sellaisilla alueilla, missä kaikelle pellolle ei enää ole kysyntää. On kuitenkin huomattava, että suon kaltaiseksi alueeksi palautettava ilmastokosteikko ei ole maatalousmaata. Tämä saattaa hillitä ilmastokosteikkojen perustamishalukkuutta, vaikka perustamiseen on mahdollista saada eituotannollisten investointien korvausta. Toisaalta ilmastokosteikkojen perustamista voi helpottaa se, että niillä tuotetaan ainoastaan ilmastoehyötyä eikä viljelijän tarvitse huolehtia kosteikkoviljelykasvien sadon onnistumisesta, korjuusta ja markkinoinnista. Ilmastokosteikkojen pinta-ala asettunee noin 4 500 hehtaariin.

Turvepeltojen nurmet -toimenpide on mukana vuonna 2023 alkavalla ohjelmakaudella ympäristösitoumuksen lohkokohtaisena toimenpiteenä. Toimenpiteen vuotuinen korvaustaso on 100 €/ha, mikä riittää useilla tiloilla kompensoimaan toimenpiteestä aiheutuvat tulonmenetykset. Toimenpiteen toteuttaminen ei edellytä pohjavedenpinnan nostamista. Turvepeltojen nurmet -toimenpiteen tavoitealan, 40 000 ha, saavuttaminen on realistista. Toimenpiteen kustannusvaikuttavuus on kohtuullisen hyvä.

3-NOP-lisäaineen (metaani-inhibiittorin) käyttö on vaikuttava keino pienentää märehittijöiden ruuansulatuskanavasta peräisin olevia metaanipäästöjä. Kirjallisuuden perusteella eläinkohtaisena päästövähennysvaikutuksena on skenaariolaskelmissa käytetty 25:tä prosenttia. Lisäaineesta löytyy paljon tutkimustietoa, mutta koetoimintaa on tehty lähinnä maissiruokinnoilla. Lisäaineen käyttö on kevään 2022 tilanteen mukaan rajattu tavanomaisessa maataloustuotannossa oleviin emo- ja lypsylehmiin sekä siemennettyihin hiehoihin. Käyttö sallitaan tulevaisuudessa todennäköisesti myös muille naudoille, mutta tätä ei ole huomioitu päästövähennys-

laskelmissa. Teknisesti 3-NOP lisäaineen jako naudoille on toteutettavissa ja on siten realistinen päästövähennystoimenpide.

Lisäaineen käyttö jäänee tässä selvityksessä laskettua potentiaalia pienemmäksi. Jauheisena tuote soveltuu seosrehutiloille. Erillisruokintatilojen rehunjakoautomaateissa käytetään rakeistettuja väkirehuja sekä rakeisia/mureisia kivennäisiä. 3-NOP-valmisteen lanseeraaminen rakeisessa olomuodossa on raportin kirjoitushetkellä vielä keskeneräistä. Oletettu 25 prosentin päästövähennyspotentiaali edellyttää lisäaineen tasaista sekoittumista rehuannokseen, mikä sekkin saattaa tuottaa käytännössä ongelmia.

3-NOP-lisäaineen käytöstä on suunnitteilla kotimaista tutkimustoimintaa, jolla varmistetaan tuotteen kvantitatiivinen vaikuttavuus Suomessa käytettävällä nurmirehustuksella ja ruokintastrategioilla. Lisäaineen kustannusvaikutusta ei voida laskea, koska tuote ei ole vielä markkinoilla eikä sillä ole hintaa. Tässä selvityksessä lisäaineen kustannukseksi arvioitiin 1 snt / tuotettu maitolitra perustuen oletettuun päästöoikeuden hintaan 70 € / tn CO₂-ekv., jonka perusteella vuosittaiseksi kustannukseksi tulisi 22,5 milj. euroa. Viljelijöille tulisi luoda taloudelliset kannustimet lisäaineen käyttämiseen.

3-NOP-metaani-inhibiittorin lisäksi potentiaalisina ilmastoystävällisinä rehustusvaihtoehtoina tarkasteltiin nautojen karkearehuosuuden lisäämistä ja apilan käyttöä karkearehuna. Karkearehuosuuden lisääminen vähentää rehuntuotannon vaatimaa peltoalaa ja tätä kautta maaperän CO₂- ja N₂O-päästöjä. Päästövähennys on luokkaa 5 % maidon hiilijalanjäljestä. Palkokasvien käyttö pienentää maaperästä tulevaa N₂O-päästöä.

Kierrätyslannoitevalmisteiden tuotanto ja käyttö vähentävät mineraalilannoitteiden käyttötarvetta ja mahdollistavat siten kokonaisuudessaan lannoitteiden käytön vähentämisen. Toiminta on Suomen ravinneomavaraisuuden ja huoltovarmuuden kannalta tärkeää. Erityisesti lannan, mutta myös muiden kierrätettävien biomassojen, kannalta mahdollisuus jakaa ravinteita uudelleen kotieläintiloilta kasvintuotantotiloille vähentää merkittävästi myös maatalouden vesistökuormituksen riskiä. Biokaasutuotantoon yhdistettynä toiminnan energiatasekin on saatavissa positiiviseksi, kun ravinteiden kierrätyksen toimet tuottavat energiaa tarvittujen kuljetusten, prosessoinnin ja levityksen energiatarpeita kattamaan. Samalla tarjotaan tehokas hyödyntämismahdollisuus sellaisille nurmille, joille ei ole rehukäyttöä ja joita kuitenkin muodostuu osana esimerkiksi maaperän kuntoa parantavia toimenpiteitä. Ravinteiden lisäksi kierrätyslannoitevalmisteissa voidaan siirtää orgaanista ainesta sellaisille pelloille, jotka eivät ole sitä lannoitteiden mukana pitkään aikaan saaneet, ja täten tukea maaperän hiilen ylläpitoa. Kokonaisuus tukee voimakkaasti kestävämmän ruokajärjestelmän kehitystä.

Kierrätyslannoitevalmisteiden osuuden lisääminen ei ole taakanjakosektorille merkittävä päästövähennysten tuottaja, sillä valtaosa mineraalilannoitteiden tuotannon vähenemisessä ja fossiilisen energian korvaamisessa biokaasutuotannon avulla saavutettavista päästövähennyksistä kirjautuu energiasektorille. Biokaasutuotannon lisäämisellä voidaan vähentää lannankäsittelyn kasvihuonekaasupäästöjä, mikäli biokaasulaitosten suunnittelu, toteutus ja operointi tukevat päästöjen minimointia. Hyviä käytäntöjä laitosten toteutuksessa ja käytössä onkin jatkossa syytä painottaa päästövähennysten varmistamiseksi.

Ravinteiden kierrätyksen kannattavuus on ollut sen suurin käyttöönoton pullonkaula. Mineraalilannoitteiden hintojen nousu ja saatavuuden haasteet ovat kuitenkin entisestään lisänneet

tarvetta ravinteiden kierrätykselle, ja kierrätyslannoitevalmisteiden kilpailukyky on parantunut. Olennaista on löytää jokaisessa laitospöytäkokoluokassa sellaiset toimintatavat, joilla voidaan minimoida sekä raaka-aineiden kuljetustarve laitokseen että lopputuotteiden kuljetustarve laitoksesta pois. Maatilojen raaka-aineita käyttävien, keskikoon ja suurten biokaasulaitosten yhteydessä tämä tarkoittaa laitosten hyvää sijoittelua raaka-aineiden solmukohtiin sekä mädätteen jalostamista kuljetettavaan muotoon. Mitä suurempi laitos on, sitä enemmän sen tulee jalostaa mädätteestä väkevöityjä ja tyypeä ja fosforia erottelevia kierrätyslannoitevalmisteita.

Selvityksessä esitetyt kierrätyslannoitteiden käytön lisäämisen kustannuslaskelmat nojaavat vahvasti oletuksiin, joiden toteutuminen on epävarmempaa kuin muissa toimenpiteissä. Tämä tulee ottaa huomioon tuloksia tarkasteltaessa.

HIISI-maatalousjatkohankkeessa tarkasteltiin myös kansallisen kasvispainotteisemman ruokavaliion vaikutuksia maatalouden kasvihuonekaasupäästöihin ja muodostettiin ruokavaliomuutoksen politiikkaskenaario. HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa lihan kulutuksen oletettiin vähenevän kolmanneksella ja maitotuotteiden kulutuksen viidenneksellä vuosina 2020–2035 ja korvautuvan osin proteiinipitoisilla kasviksilla ja kalalla.

Taulukossa 45 esitettyjen tulosten mukaan HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa päästövähennysvaikutus maataloussektorilla on yhteensä 1,07 Mt CO₂-ekv. vuonna 2035. Lisäksi ruokavaliomuutoksesta syntyy päästövähennyksiä LULUCF-sektorilla 0,99 Mt CO₂-ekv. ja energiasektorilla 0,26 Mt CO₂-ekv., jolloin maataloudesta peräisin olevat päästöt vähenevät kaikkiaan 2,32 Mt CO₂-ekv. vuoteen 2035 mennessä.

Ruokavaliomuutos kasvispainotteisempaan suuntaan muuttaa maatalouden tuotantoa ja maankäyttöä vähempipäästöiseen suuntaan, mutta isoimmat päästövähennysvaikutukset näkyvät vasta vuoden 2035 jälkeen. Maataloussektorin päästövähennystä kertyy vielä noin 0,3 Mt CO₂-ekv. lisää vuoteen 2040 mennessä. Tämä johtuu siitä, että suomalaisten siirtyminen kasvispainotteisempaan ruokavaliioon tapahtuu asteittain ja vaikuttaa maataloustuotantoon ja maankäyttöön viiveellä. Etenkin maidontuotannossa ja nautakarjataloudessa viiveet kotimaisen kysynnän, tuotannon ja maankäytön välillä voivat olla usean vuoden mittaisia. Kansallisesta ruokavaliomuutoksesta huolimatta kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen voi olla hidasta, jos vienti vetää, rakennekehitys etenee ja maankäytön muutos jää pieneksi.

Kuluttajilla on tärkeä rooli HIISI-WAM-ruokavaliomuutosskenaariossa. Se, vähentävätkö kuluttajat lihan ja maitotuotteiden kulutusta skenaariossa oletetulla tavalla, riippuu kuluttajien maku- ja ruokailutottumusten kehittymisestä. Toteutuessaan kasvispainotteisempi ruokavaliio vähentää merkittävästi kotieläintuotannon päästöjä ja antaa yhdessä maankäytön ohjauksen kanssa mahdollisuuden vähentää myös viljelysmaiden päästöjä, jotka ovat nykyisin noin 75 % maatalouden kokonaispäästöistä.

Taulukko 45. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen (maataloussektori + LULUCF-sektorin maatalousmaat) kehitys eri skenaarioissa, Mt CO₂-ekv. LULUCF-sektorin maatalousmaan kasvihuonekaasupäästöt koostuvat viljelysmaan (CL) ja ruohikkoalueiden (GL) päästöistä.

Skenaario	2019	2025	2030	2035	2040
HIISI-WEM, yhteensä	15,05	14,44	14,52	14,49	14,47
• Maataloussektori	6,40	6,28	6,26	6,20	6,14
• LULUCF-sektori (CL + GL)	8,65	8,16	8,26	8,29	8,33
HIISI-WAM, yhteensä	15,05	13,87	13,37	13,01	12,52
• Maataloussektori	6,40	6,15	5,92	5,77	5,57
• LULUCF-sektori (CL + GL)	8,65	7,72	7,45	7,24	6,95
HIISI-WAM-budjettiriihi, yhteensä		13,39	12,86	12,43	11,90
• Maataloussektori	-	5,78	5,54	5,34	5,13
• LULUCF-sektori (CL + GL)	-	7,60	7,32	7,09	6,78
HIISI-WAM-ruokavaliomuutos, yhteensä		13,21	12,76	12,42	11,73
• Maataloussektori	-	5,59	5,33	5,13	4,73
• LULUCF-sektori (CL + GL)	-	7,62	7,43	7,30	7,00
MISU-WAM, yhteensä		13,12	12,50	12,06	11,89
• Maataloussektori*	-	5,78	5,50	5,28	5,07
• LULUCF-sektori (CL + GL)	-	7,34	7,00	6,78	6,82
HERO-selvitys, yhteensä	16,00			11,40	

* MISU-WAM pohjautuu HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarioon, josta on lisäksi vähennetty MISU-toimista syntyvät maataloussektorille kirjautuvat lisäpäästövähennykset.

Taulukossa 45 on vertailtu kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä myös MISU-hankkeen (Ollila ym. 2022) ja HERO-selvityksen (Lehtonen 2022) tuloksiin.

MISU-toimista syntyvät lisäpäästövähennykset (maatalousmaiden maaperän N₂O-päästövähennykset) maataloussektorilla saadaan laskettua MISU-WAM-skenaarion ja HIISI-WAM-budjettiriihiskenaarion erotuksena. Lisäpäästövähennys on 0,04 Mt CO₂-ekv. vuonna 2030 ja 0,06 Mt CO₂-ekv. vuosina 2035 ja 2040. Vähäinen ero MISU-hankkeen ja HIISI-maatalousjatkohankkeen tulosten välillä johtuu siitä, että hankkeet toimet ovat osin erisisältöisiä ja oletukset turvempeltoimenpiteitä edeltävästä pellonkäytöstä poikkesivat jokin verran toisistaan hankkeiden välillä. MISU-hankkeessa (Ollila ym. 2022) oletettiin joidenkin kosteikkoviljelyyn siirtyvien pinta-alojen olleen aiemmin osittain yksivuotisten kasvien viljelyssä. HIISI-maatalousjatkohankkeessa oletuksena edeltävälle maakäytölle oli nurmiviljely, jolloin päästökerroin ei pienene yhtä paljon kosteikkoviljelyyn tai korotetulla pohjaveden tasolla tapahtuvaan viljelyyn siirryttäessä kuin se pienenesi yksivuotisten kasvien viljelystä siirryttäessä. Lisäksi HIISI-maatalousjatkohankkeessa oletuksena oli, että kaikki ilmastokosteikat perustetaan luonnonhoitopelloille.

HERO-selvityksessä (Lehtonen 2022) käytetty keinovalikoima oli osin erilainen ja laajempi kuin tässä HIISI-maatalousjatkohankkeessa. HERO-selvityksessä kivennäismaiden hiilensidonnan lisäämisellä ja hiilivarastojen kasvattamisella on merkittävä rooli. Lisäksi päästövähennykset perustuvat osittain satotasojen ja tuottavuuden kasvattamiseen maataloudessa.

Viitteet

- Abbott, D.W., Aasen, I.M., Beauchemin, K.A., Grondahl, F., Gruninger, R., Hayes, M., Huws, S., Kenny, D.A., Krizsan, S.J., Kirwan, S.F., Lind, V., Meyer, U., Ramin, M., Theodoridou, K., von Soosten, D., Walsh, P.J., Waters, S. & Xing, X. 2020. Seaweed and seaweed bioactives for mitigation of enteric methane: Challenges and opportunities. *Animals* 10(12): 1–28. <https://doi.org/10.3390/ani10122432>
- Ahvenjärvi, S., Lehtonen, H., Lång, K., Lidauer, M., Mehtiö, T., Huhtanen, P., Nousiainen, J., Hietala, S., Bloch, V., Suomi, P., Lötjönen, T., Latukka, A., Kaukovirta, A. & Tolvanen, A. 2022. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt ja niiden kustannukset. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 48/2022. Helsinki: Luonnonvarakeskus. 16 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-444-9>
- Bayat, A.R., Ventto, L., Kairenius, P., Stefański, T., Leskinen, H., Tapio, I., Negussie, E., Vilkki, J. & Shingfield, K.J. 2017. Dietary forage to concentrate ratio and sunflower oil supplement alter rumen fermentation, ruminal methane emissions, and nutrient utilization in lactating cows. *Translational Animal Science* 1(3): 277–286. <https://doi.org/10.2527/tas2017.0032>
- EFSA FEEDAP Panel (EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed), Bampidis, V., Azimonti, G., Bastos, M.L., Christensen, H., Dusemund, B., Fašmon Durjava, M., Kouba, M., López-Alonso, M., López Puente, S., Marcon, F., Mayo, B., Pechová, A., Petkova, M., Ramos, F., Sanz, Y., Villa, R.E., Woutersen, R., Aquilina, G., Bories, G., Brantom, P.G., Gropp, J., Svensson, K., Tosti, L., Anguita, M., Galobart, J., Manini, P., Tarrès-Call, J. & Pizzo, F. 2021. Scientific Opinion on the safety and efficacy of a feed additive consisting of 3-nitrooxypropanol (Bovaer® 10) for ruminants for milk production and reproduction (DSM Nutritional Products Ltd). *EFSA Journal* 2021 19(11): 6905. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6905>
- EC (European Commission) 2020. Commission guidance for reporting on GHG projections in 2021 under Art. 18 of the Regulation on the Governance of the Energy Union and Climate Action. Draft for consultation in CCC WG2, 25 June 2020.
- Euroopan komissio 2022. Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2022/565, annettu 7 päivänä huhtikuuta, 3-nitro-oksipropanolivalmisteen hyväksymisestä lypsylehmien ja siitoslehmien rehun lisäaineena (hyväksynnän haltija: DSM Nutritional Products Ltd, jota edustaa unionissa DSM Nutritional Products Sp. z o.o.). http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2022/565/oj
- Grönroos, J., Munther, J. & Luostarinen, S. 2017. Calculation of atmospheric nitrogen and NMVOC emissions from Finnish agriculture – Description of the revised model. Reports of the Finnish Environment Institute 37/2017. Helsinki: Finnish Environment Institute (SYKE). 60 p. <http://hdl.handle.net/10138/229364>
- Honan, M., Feng, X., Tricarico, J.M. & Kebreab, E. 2021. Feed additives as a strategic approach to reduce enteric methane production in cattle: modes of action, effectiveness and safety. *Animal Production Science*. <https://doi.org/10.1071/AN20295>
- Huttunen, I., Hyytiäinen, K., Huttunen, M., Sihvonen, M., Veijalainen, N., Korppoo, M. & Heiskanen, A.-S. 2021. Agricultural nutrient loading under alternative climate, societal and

- manure recycling scenarios. *Science of The Total Environment* 783: 146871. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146871>
- Ilmastolaki (423/2022). Ympäristöministeriö. Voimaantulo 1.7.2022.
- 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. & Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- IPCC 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. & Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland.
- IPCC 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. & Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.
- Järvenranta, K., Kykkänen, S., Mattila, P., Salo, T., Termonen, M. & Virkajärvi, P. 2022. Typpimaa-talouden tuotantopanoksena Suomessa. Julkaisussa: Vainio, E. (toim.). 2022. Maatalouden typpihaaste – vaihtoehtoja ja ratkaisuja: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Helsinki: Luonnonvarakeskus. s. 7–19. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-458-6>
- Kekkonen, H., Ojanen, H., Haakana, M., Latukka, A. & Regina, K. 2019. Mapping of cultivated organic soils for targeting greenhouse gas mitigation. *Carbon Management* 10(2): 115–126. <https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1557990>
- Keskitalo, M., Känkänen, H., Palojärvi, A., Pennanen, T., Schulman, A., Tanhuanpää, P. & Viitala, S. 2022. Biologiset prosessit kasvin typensaannin turvaajana. Julkaisussa: Vainio, E. (toim.). 2022. Maatalouden typpihaaste – vaihtoehtoja ja ratkaisuja: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Helsinki: Luonnonvarakeskus. s. 34–45. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-458-6>
- Koljonen, T., Honkatukia, J., Maanavilja, L., Ruuskanen, O.-P., Similä, L. & Soimakallio, S. 2021. Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset (HIISI). Synteesiraportti – johtopäätökset ja suositukset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:62. Helsinki: Valtioneuvoston kanslia. 83 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-257-2>
- Laturi, J., Aalto, L., Horne, P., Kinnunen, P., Kujala, P. & Sen, T. 2022. Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman kustannusvaikutusten arviointi. PTT raportteja 273. Helsinki: Pellervon taloustutkimus PTT. 101 s. <https://www.ptt.fi/media/julkaisut/ptt-raportteja-273-maankayttosektorin-ilmastosuunnitelman-kustannusvaikutusten-arviointi.pdf>
- Lehtonen, H. 2001. Principles, structure and application of dynamic regional sector model of Finnish agriculture. Academic dissertation. Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology. Agrifood Research. Helsinki.
- Lehtonen, H. & Niemi, J. 2018. Effects of reducing EU agricultural support payments on production and farm income in Finland. *Agricultural and Food Science* 27(2): 124–137. <https://doi.org/10.23986/afsci.67673>

- Lehtonen, H., Saarnio, S., Rantala, J., Luostarinen, S., Maanavilja, L., Heikkinen, J., Soini, K., Aak-kula, J., Jallinoja, M., Rasi, S. & Niemi, J. 2020. Maatalouden ilmastotiekartta – Tiekartta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomen maataloudessa. Helsinki: Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry. 131 s. <https://www.mtk.fi/ilmasto-tiekartta>
- Lehtonen, A., Aro, L., Haakana, M., Haikarainen, S., Heikkinen, J., Huuskonen, S., Härkönen, K., Hökkä, H., Kekkonen, H., Koskela, T., Lehtonen, H., Luoranen, J., Mutanen, A., Nieminen, M., Ollila, P., Palosuo, T., Pohjanmies, T., Repo, A., Rikkinen, P., Rätty, M., Saarnio, S., Smolander, A., Soinne, H., Tolvanen, A., Tuomainen, T., Uotila, K., Viitala, E.-J., Virkajärvi, P., Wall, A. & Mäkipää, R. 2021. Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteet: Arvio päästö-vähennysmahdollisuuksista. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 7/2021. 3. korjattu painos. Helsinki: Luonnonvarakeskus. 121 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-152-3>
- Lehtonen, H. 2022. Ruoantuotannon hiili-euro-ohjelma (HERO). Luonnonvarakeskuksen tekemä työ maa- ja metsätalousministeriölle. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisu. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. https://mmm.fi/documents/1410837/1516-663/HERO_selvitys_A4_2022.pdf/9fbf32ea-2a0b-3a4f-a0e8-b59c1e1b0995/HERO_selvitys_A4_2022.pdf?t=1650617552625
- Lehtonen, H., Huan-Niemi, E. & Niemi, J. 2022. The transition of agriculture to low carbon path-ways with regional distributive impacts. Environmental Innovation and Societal Transi-tions 44: 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.05.002>
- Luke 2022. Tilastotietokanta. [Verkkosivu]. Kasviravinteiden myynti maataloille muuttujina lan-noitusvuosi, kasviravinne ja tieto. Helsinki: Luonnonvarakeskus. [Viitattu 22.6.2022]. Saa-tavana: <http://statdb.luke.fi/PXWeb/sq/ad1c92c2-85d7-4c10-9c1e-ef9ab3bddc07>
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther, J. 2017a. SUOMEN NOR-MILANTA – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja bio-talouden tutkimus 47/2017. Helsinki: Luonnonvarakeskus. 54 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-441-0>
- Luostarinen, S., Perttilä, S., Nousiainen, J., Hellstedt, M., Joki-Tokola, E. & Grönroos, J. 2017b. Turkiseläinten lannan määrä ja ominaisuudet: Tilaseurannan ja lantalaskennan tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 46/2017. Helsinki: Luonnonvarakeskus. 30 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-439-7>
- Luostarinen, S., Tampio, E., Berlin, T., Grönroos, J., Kauppila, J., Koikkalainen, K., Niskanen, O., Rasa, K., Salo, T., Turtola, E., Valve, H. & Ylivainio, K. 2019a. Keinoja orgaanisten lannoite-vaikuttamisten käytön edistämiseen. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisu 2019:5. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-941-8>
- Luostarinen, S., Tampio, E., Niskanen, O., Koikkalainen, K., Kauppila, J., Valve, H., Salo, T. & Yli-vainio, K. 2019b. Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot. Luonnonvara- ja biotalou-den tutkimus 40/2019. Helsinki: Luonnonvarakeskus. 75 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-777-0>
- Luostarinen, S., Lemola, R., Miettinen, A., Rautio, P., Salo, T., Turtola, E., Uusitalo, R., Viitala, E.-J. & Ylivainio, K. 2021. Tavoite 10: Lannoitteiden käyttö ja lannoitteiden aiheuttama ravin-nehävikki. Julkaisussa: Kärkkäinen, L. & Koljonen, S. (toim.). Arvio EU:n biodiversiteetti-strategian vaikutuksista Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 75/2021. Hel-sinki: Luonnonvarakeskus. s. 211–232. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-298-8>

- Lüscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J.F., Rees, R.M. & Peyraud, J.L. 2014. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: A review. *Grass and Forage Science* 69(2): 206–228. <https://doi.org/10.1111/gfs.12124>
- Maanavilja, L., Tuomainen, T., Aakkula, J., Haakana, M., Heikkinen, J., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Koikkalainen, K., Kärkkäinen, L., Lehtonen, H., Miettinen, A., Mutanen, A., Myllykangas, J.-P., Ollila, P., Viitanen, J., Vikfors, S. & Wall, A. 2021. Hiilineutraali Suomi 2035: Maan käyttö- ja maataloussektorin skenaariot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:63. Helsinki: Valtioneuvoston kanslia. 102 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-263-3>
- Maljanen, M., Sigurdsson, B.D., Guðmundsson, J., Óskarsson, H., Huttunen, J.T. & Martikainen P.J. 2010. Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps. *Biogeosciences* 7: 2711–2738. <https://doi.org/10.5194/bg-7-2711-2010>
- Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiahho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. & zu Castell-Rüdenhausen, M. 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 45/2017. Helsinki: Luonnonvarakeskus. 46 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-437-3>
- Miettinen, A., Koikkalainen, K., Laurila, M. & Silvan, N. 2022. Kosteikkoviljely ja viljely korotetulla pohjaveden pinnan tasolla – kustannukset ja hyödyt viljelijöille ja yhteiskunnalle. Julkaisussa: Virkkunen, E. (toim.). Turvepeltojen kosteikkoviljely ja pohjaveden korkeuden säätely: Kannattavuus ja päästövähennysmahdollisuudet. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 12/2022. Helsinki: Luonnonvarakeskus. s. 15–28. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-370-1>
- Min, B.R., Parker, D., Brauer, D., Waldrip, H., Lockard, C., Hales, K., Akbay, A. & Augyte, S. 2021. The role of seaweed as a potential dietary supplementation for enteric methane mitigation in ruminants: Challenges and opportunities. *Animal Nutrition* 7(4): 1371–1387. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.10.003>
- MMM 2011. Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa. Maa- ja metsätalousministeriön työryhmämuistio 2011:5. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 64 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-649-3>
- MMM 2021. YMP:n strategiasuunnitelmaraportti 2021. Suomen CAP-suunnitelma 2023–2027. Versio 1.0. <https://mmm.fi/documents/1410837/10668578/Suomen+CAP-suunnitelma+tuloste+17.1.2022+nettiin.pdf/5c74ae39-8feb-5c45-3afe-822aabae1651/Suomen+CAP-suunnitelma+tuloste+17.1.2022+nettiin.pdf?t=1642665061697>
- MMM 2022. YMP:n strategiasuunnitelmaraportti 2021. Suomen CAP-suunnitelma 2023–2027. Versio. 1.1. 21.7.2022. <https://mmm.fi/documents/1410837/12210688/Suomen+viimeistely+CAP-suunnitelma+2023-2027.pdf/667bf7ab-8af6-0afa-8c8e-ef5022178292/Suomen+viimeistely+CAP-suunnitelma+2023-2027.pdf?t=1658396108940>
- Naukkarinen, V. 2021. Kosteikkoviljelyn kasviopas. Baltic Sea Action Group. https://carbonaction.org/wp-content/uploads/2021/02/Kosteikkoviljelyn_kasviopas_2021.pdf

- OECD/FAO 2020. OECD-FAO Agricultural Outlook 2020–2029. FAO, Rome/OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/1112c23b-en>
- Ollila, P., Vikfors, S., Kilpeläinen, H., Aakkula, J., Hirvelä, H., Härkönen, K., Koikkalainen, K., Mietinen, A., Myllykangas, J.-P., Silfver, T. & Wall, A. 2022. Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman mukainen skenaariotarkastelu vuoteen 2040. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 54/2022. Helsinki: Luonnonvarakeskus. 24 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-460-9>
- Powell, L.M. & Chaloupka, F.J. 2009. Food Prices and Obesity: Evidence and Policy Implications for Taxes and Subsidies. *Milbank Quarterly* 87(1): 229–257. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0009.2009.00554.x>
- Purola, T. & Lehtonen, H. 2022. Farm-Level Effects of Emissions Tax and Adjustable Drainage on Peatlands. *Environmental Management* 69: 154–168. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01543-1>
- Pääministeri Juha Sipilän hallituksen ohjelma 29.5.2015. Ratkaisujen Suomi : Pääministeri Juha Sipilän hallituksen strateginen ohjelma 29.5.2015. Hallituksen julkaisusarja 10/2015. Helsinki: Valtioneuvoston kanslia. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-181-7>
- Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019. Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Valtioneuvoston julkaisuja 2019:31. Helsinki: Valtioneuvosto. 213 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-808-3>
- Ramin, M. & Huhtanen, P. 2013. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *Journal of Dairy Science* 96(4): 2476–2493. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6095>
- Romero-Perez, A, Okine, E.K., McGinn, S.M., Guan, L.L., Oba, M., Duval, S.M., Kindermann, M. & Beauchemin, K.A. 2015. Sustained reduction in methane production from long-term addition of 3-nitrooxypropanol to a beef cattle diet. *Journal of Animal Science* 93(4): 1780–1791. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8726>
- Roque, B.M., Salwen, J.K., Kinley, R. & Kebreab, E. 2019. Inclusion of *Asparagopsis armata* in lactating dairy cows' diet reduces enteric methane emission by over 50 percent. *Journal of Cleaner Production* 234: 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.193>
- Roque, B.M., Venegas, M., Kinley, R.D., de Nys, R., Duarte, T.L., Yang, X. & Kebreab, E. 2021 Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. *PLoS ONE* 16(3): e0247820. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247820>
- Saalasti, M. 2022. Doranova Oy. Sähköposti. 13.5.2022.
- Smed, S., Scarborough, P., Rayner, M. & Jensen, J.D. 2016. The effects of the Danish saturated fat tax on food and nutrient intake and modelled health outcomes: an econometric and comparative risk assessment evaluation. *European Journal of Clinical Nutrition* 70: 681–686. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.6>
- Suomen virallinen tilasto (SVT) 2019. Väestöennuste [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-5137. 2019. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 21.12.2020]. Saantitapa: http://www.stat.fi/til/vaenn/2019/vaenn_2019_09-30_tie_001_fi.html

- Tiffin, R. & Arnoult, M. 2011. The public health impacts of a fat tax. *European Journal of Clinical Nutrition* 65: 427–433. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2010.281>
- Tilastokeskus 2021. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2020. Helsinki: Tilastokeskus. 110 s. https://www.tilastokeskus.fi/static/media/uploads/yymp_kahup_1990-2020_2021-23462_net.pdf
- Tilastokeskus 2022. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2020. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 15 April 2022.
- Tuomi, M., Thum, T., Järvinen, H., Fronzek, S., Berg, B., Harmon, M., Trofymow, J.A., Sevanto, S., & Liski, J. 2009. Leaf litter decomposition – Estimates of global variability based on Yasso07 model. *Ecological Modelling* 220(23): 3362–3371. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.05.016>
- Valtioneuvosto 2020. Reilulla siirtymällä kohti hiilineutraalia Suomea – tiekartta hiilineutraalius-tavoitteen saavuttamiseksi 3.2.2020. <https://valtioneuvosto.fi/documents/10616/-20764082/hiilineutraaliuden+tiekartta+03022020.pdf/1f1dfbea-f623-9197-5352-23a7f1b83703/hiilineutraaliuden+tiekartta+03022020.pdf?t=1580742856000>
- van Gastelen, S., Dijkstra, J., Heck, J.M.L., Kindermann, M., Klop, A., de Mol, R., Rijnders, D., Walker, N. & Bannink, A. 2022. Methane mitigation potential of 3-nitrooxypropanol in lactating cows is influenced by basal diet composition. *Journal of Dairy Science* 105(5): 4064–4082. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20782>
- VNS 2022a. Valtioneuvoston selonteko Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. VNS 6/2022 vp. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/VNS_6+2022.pdf
- VNS 2022b. Valtioneuvoston selonteko maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmasta. VNS 7/2022 vp. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/VNS_7+2022.pdf
- YM 2022. Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma. Kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa 2035. Ympäristöministeriön julkaisuja 2022:12. Helsinki: Ympäristöministeriö. 202 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-262-4>



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000