

Luke

Maatalouden ilmastotiekartta

Tiekartta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomen maataloudessa

Heikki Lehtonen, Sanna Saarnio, Jukka Rantala (MTK), Sari Luostarinen, Liisa Maanavilja, Jaakko Heikkinen, Katriina Soini, Jyrki Aakkula, Marja Jallinoja, Saija Rasi, Jyrki Niemi

Organisaatio: Jukka Rantala MTK, muut tekijät Luonnonvarakeskus

6.7.2020

Sisällysluettelo

1. Johdanto ja tavoitteet.....	4
2. Keskeiset lähtökohdat ja rajaukset.....	5
3. Nykyiset ohjauskeinot maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä	7
4. Maatalouden kehitys ilman lisätoimia (WEM-skenaario).....	9
4.1 Maatalouspolitiikan tulevat kehityskulut WEM-skenaariossa	9
4.2 Ruokamarkkinoiden ja kotieläintalouden kehityskulkuja	11
4.2.1 Globaalit kehityssuunnat.....	12
4.2.2 Tulevat muutokset kotieläintuotteiden markkinoilla ja tuotannossa Suomessa.....	13
4.2.3 Maidontuotannossa merkittävä rakennemuutos	16
4.2.4 Sikatalouden tuotantomuutokset	18
4.2.5 Siipikarjanlihan tuotannonkehitys	19
4.2.6 Naudanlihan tuotantomuutokset.....	19
5 Lisätoimiskenaariot toimenpiteineen ja ohjauskeinoineen	20
5.1 Skenaariot pääpiirteittäin	20
5.2 Muutokset pellon käytössä ja viljelyssä WAM1- ja WAM2-skenaarioissa	21
5.2.1 Viljanviljelystä vapautuu alaa monimuotoiselle viljelylle.....	21
5.2.3 Valkuais- ja öljykasvien viljely	22
5.2.4 Nurmiviljely jakaantuu kahtia.....	23
5.2.5 Yhteenveto pellonkäytön muutoksesta eri skenaarioissa	23
5.2.6 Peltojen luokittelu lohkoittain avain muutokseen.....	24
5.3 Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistoimet turvemaidella	25
5.3.1 Yksivuotisten kasvien viljely	26
5.3.2 Tuotantonurmet.....	27
5.3.3 Kesannot	27
5.3.4 Säätosalaajitus	28
5.3.5 Viljelykäytöstä poistaminen	28
5.3.6 Turvemaiden metsitys	29
5.3.7 Ennallistaminen ja kosteikkoviljely	30
5.3.8 Turvemaiden raivaus pelloksi	31
5.4 Hiilensidonta ja sen edistäminen kivennäismailla	32
5.5 Kivennäismaiden metsitys	35
5.6 Energia ja biokaasu	36

5.7 Eri ohjauskeinojen yhteenveto ja ajoittuminen.....	39
6 Päästökehitys ja sen epävarmuudet.....	43
6.1 Maataloussektorin päästöt.....	44
6.2 Eloperäisten maiden päästöt (LULUCF).....	49
6.3 Hiilensidonta kivennäismailla (LULUCF)	50
6.3.1 Maaperähiilimallin tulokset	50
6.3.2 Mallin rajoitteet	52
6.4 Maatalouden energiasektori: Biokaasutuotanto maataloudessa	53
6.4.1 Teoreettinen potentiaali	54
6.4.2 Arvio toteutettavissa olevasta maatalouden biokaasutuotannosta.....	56
6.4.3 Päästövähennykset ja/tai kädenjälki biokaasun yhteydessä.....	64
6.4.4 Johtopäätökset biokaasutuotannosta	66
6.5 Aurinkoenergia maataloudessa	68
6.5.1 Skenaariot.....	69
6.5.2 Tulokset.....	70
6.6 Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys yhteensä eri skenaarioissa	71
6.7 Suurimmat epävarmuudet päästökehityksessä eri skenaarioissa	73
7 Taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristölliset vaikutukset ja riskit pääpiirteittäin	74
7.1 Taloudelliset vaikutukset ja riskit	74
7.2 Sosiaalisten ja kulttuuristen vaikutusten arviointi	78
7.3 Vesistö- ja monimuotoisuusvaikutukset.....	86
8 Yhteenvetoa tutkimus- ja kehitystarpeista	90
9 Tiekartan yhteenveto	91
Sammanfattning på svenska.....	95
Summary in English	99
Lähteet	104
Liite 1. Nykyiset viljelykierrot ja niiden monipuolistamisen mahdollisuudet.....	110
Liite 2. Lyhyt kirjallisuuskatsaus ja selvitys hiilensidonnasta kivennäismailla.....	113
Liite 3. Biokaasutuotannon ja ravinnekierron laskentamenetelmät	121
Liite 4. Biokaasuinvestoinnit tarkastelluissa skenaarioissa	123

Saatesanat

Maatalouden ilmastotiekartta on valmistunut. Raportti vie meidät matkalle kohti ilmastoneutraalia ja kokonaiskestävää maataloutta. Lähtökohtana on elinkeinon oma visio ilmastokestävästä kotimaisesta ruuantuotannosta: tuottavuutta, teknologiaa ja tietopohjaa vahvistamalla sekä sosiaaliset näkökulmat huomioiden.

Raportti on keskustelun avaus maatalouden toimialalta työ- ja elinkeinoministeriön *vähähiiliset toimialat 2035* -hankkeelle. Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry ja Svenska lantbruksproducenternas centralförbund SLC r.f. tilasivat analyysin helmikuussa 2020 Luonnonvarakeskuksesta (Luke), sillä järjestöt näkivät tärkeänä luoda realistisen kokonaiskuvan ja mallinnuksen päästövähennyspoluista, jotka on laskettu elinkeinon lähtökohdista ja mahdollisuuksista.

Maataloustuottajat ovat ilmastomuutoksen etulinjassa. Luken analyysit osoittavat liikkumatiilan, jossa ruuantuotantomme voi kehittyä ja olla osa ratkaisua Suomen tavoitellessa hiilineutraaliutta 2035. Raportin päätekijöinä osoittamassa, millaisia muutoksia maatalouden kasvihuonekaasupäästövähennykset vaativat, ovat erityisesti pellonkäyttö, hiilensidonta ja energiaratkaisut.

Haluamme kiittää monia asiantuntijoita, jotka ovat mahdollistaneet tämän ilmastotiekartan laatimisen. Erityiskiitokset tutkimusprofessori Heikki Lehtoselle, jonka mittava työ mahdollisti raportin laatimisen lyhyessä ajassa haastavasta ja monimutkaisesta kokonaisuudesta. Kiitoksemme ohjausryhmän jäsenille ja projektitiimille (www.mtk.fi/ilmastotiekartta), erityisesti ohjausryhmän sihteerille ja projektitiimin koordinaattorille Kalle Arolle.

30.6.2020

Liisa Pietola

Ympäristöjohtaja, ohjausryhmän puheenjohtaja

Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry

Jonas Laxåback

Toiminnanjohtaja

Svenska lantbruksproducenternas centralförbund SLC r.f.

1. Johdanto ja tavoitteet

Suomen hallitus (pääministeri Sanna Marinin hallitus) aikoo toimia tavalla, jonka seurauksena Suomi on hiilineutraali vuonna 2035 ja hiilinegatiivinen nopeasti sen jälkeen. Hallitusohjelman mukaan toimialakohtaiset tiekartat vähähiilisyyteen laaditaan yhteistyössä alan toimijoiden kanssa.

Tämän mukaisesti Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) on antanut eri sektoreiden toimijoille, myös maatalouden tuottajajärjestöille, tehtäväksi laatia Suomen ilmastotavoitteita tukevia vähäpäästöistä kehitystä kuvaavia vähähiilitiekarttoja vuoteen 2050. TEM:n toimialojen vähähiiliset tiekartat –hankkeen tavoitteena on luoda tilannekuva sektorien päästökehityksestä seuraavien vuosikymmenten aikana:

- Miten sektori itse arvioi päästökehityksensä?
- Millaisin keinoin päästöjä voidaan vähentää?
- Millaisia vaikutuksia toimenpiteillä on toimialalle?
- Mikä on toimenpiteiden hintalappu?

Tiekartoissa tulee lähtökohtaisesti esittää tietoja viideltä keskeiseltä alueelta:

- i. Kuvaukset ja mahdollisuuksien mukaan määrälliset tiedot alan toiminnasta nykyisin ja myöhemmin: tuotantoprosessit ja teknologiat, arvio teknologian kypsyysasteesta ja saatavuudesta, energian käyttö sekä kasvihuonekaasupäästöjen kehitys;
- ii. Toimet ja muutokset, joita tarvitaan toimialalta itseltään, muilta toimialoilta ja valtiolta. Näihin kuuluvat esimerkiksi investointitarve sekä tutkimus- ja koulutuspanokset;
- iii. Arviot eri skenaarioiden ja/tai toimien työllisyysvaikutuksista; nämä ovat erityisen hyödyllisiä valtiolta toivottavien panostusten osalta;
- iv. Arvio kansainvälisestä bisnespotentiaalista sekä tarpeet ja mahdollisuudet kansainvälisen kaupan edistämiseksi;
- v. Riskit ja epävarmuudet

Tiekartat valmistellaan toimialalähtöisesti ja erityisesti tuoden esille uutta näkökulmaa täydentämään aiempia selvityksiä, joita valtionhallinto on teettänyt (esim. Koljonen ym. 2020). Koska Suomella on kunnianhimoiset ilmastotavoitteet, kaikilta toimialoilta tarvitaan jatkossa *kunnianhimoa* eli entistä voimakkaampia toimia kasvihuonekaasupäästöjen (khk-päästöjen) vähentämiseksi. Tiekarttojen on kuitenkin oltava realistisia, jotta niihin voidaan sitoutua ja ne voidaan hyödyntää ilmasto- ja energiapolitiikan skenaarioissa sekä politiikkaympäristön valmistelussa. Lisäksi on tuotava esille arvioiden keskeiset epävarmuudet. Tiekartoissa tulee esittää khk-päästöt 2030, 2035 ja 2040 alan itse määrittämän hiilineutraalisuuden saavutusvuoden / päästötavoitteen ja siihen johtavien polkujen perusteella. Vuoden 2035 arvio on erityisen tärkeä.

Tarvitaan perusura, joka kuvaa nykyisten toimien ja meneillään olevan kehityksen etenemistä. Lisäksi tarvitaan vähintään yksi, mieluiten useampia lisätoimia sisältäviä vähähiiliskenaarioita kunnianhimoista ja teknologian kehityksestä riippuen. Erikseen todetaan, että vain yhden vähähiiliskenaarion esittäminen voi vähentää tiekartan hyödynnettävyyttä jatkotyössä.

Mahdollisuuksien mukaan tiekarttoihin voi sisällyttää myös toimialan hiilikädenjäljen, eli ilmastovaikutukset, jotka saadaan aikaan alan valmistamalla tuotteilla.

Tilaaaja eli MTK ry ja SLC rf tilasivat TEM:n toimeksiannon mukaiset maatalouden ilmastotiekartan Luonnonvarakeskukselta (Luke). Tavoitteiksi maatalouden ilmastotiekartalle asetettiin seuraavaa:

- 1) Uskottava, reilu ja toteuttamiskelpoinen ilmastosuunnitelma maataloussektorille,
- 2) Konkreettinen jatko MTK:n ilmasto-ohjelmassa (2018) esitetyille toimenpiteille, joka luo vahvan pohjan edunvalvonnan suunnittelulle myös jatkossa,
- 3) Vaikuttava puheenvuoro ilmastokeskusteluun maataloussektorin näkökulmasta, joka huomioi maatalouden toimintaedellytykset ympäristöllisestä, taloudellisesta ja sosiaalisesta näkökulmasta

Tässä työssä laaditaan tämän TEM:n toimeksiannon ja Tilaaajan tavoitteiden mukainen ”Maatalouden ilmastotiekartta”. Luke laatii tiekartan tiiviissä yhteistyössä Tilaaajan kanssa.

Raportissa esitellään ensin Tilaaajan näkemyksen mukainen perusskenaario (WEM; nykyinen politiikkaohjaus ilman lisätoimia), eli näkemys maataloustuotteiden markkinoiden (kysynnän ja tarjonnan) kehityksestä sekä maatalouden rakennekehityksestä (maatilojen lukumäärän ja niiden koon ja toimintatavan) kehityksestä vuoteen 2035 ja 2050. Tämän mukaisesti tässä tiekartassa ei esitetä sellaisia keinoja ja tavoitteita, joiden mukaan maataloustuotantoa vähennetään ja ruuan tuontia ulkomailta lisätään. Tämä on myös vahvasti työtä määrittelevä, rajaava ja Tilaaajan tahtotilaa ilmaiseva näkemys. Lisäksi Tilaaajan pyrkimys on tuottaa yksi nykytiedon mukaan kunnianhimoinen, mutta realistinen skenaario (WAM1) lisätoimineen ja yksi vieläkin kunnianhimoisempi skenaario (WAM2), jossa huomattavia päästövähennyksiä haetaan soveltamalla tunnettuja keinoja laajamittaisesti ja kehittämällä uusia entistä vaikuttavampia keinoja.

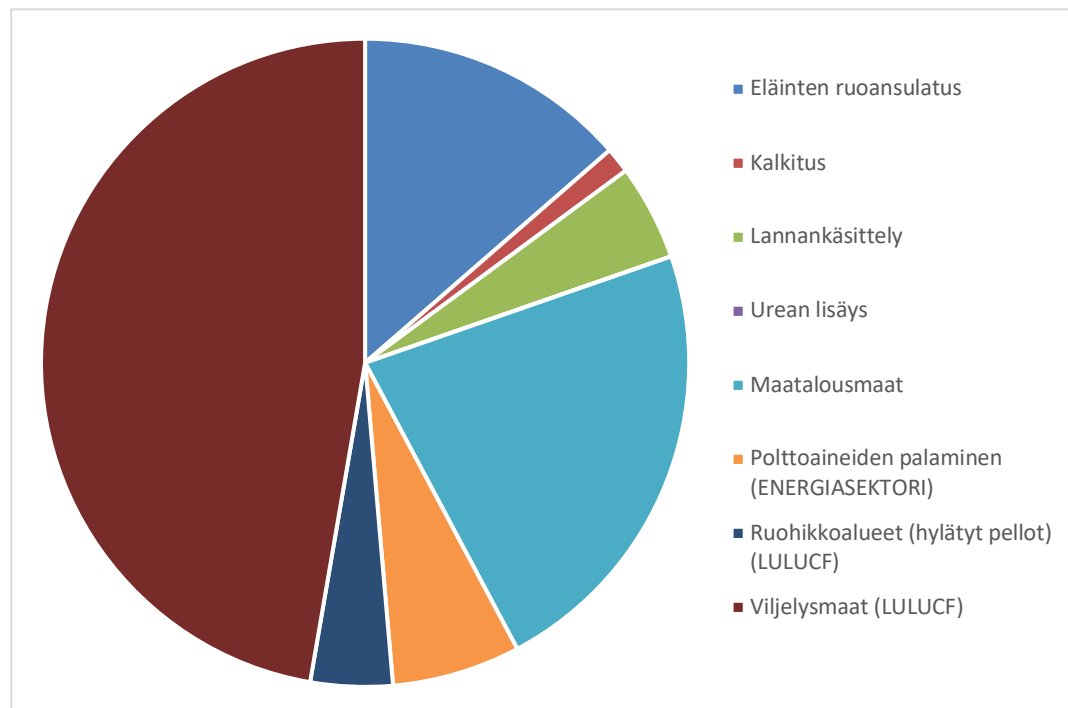
Tiekarttatyön mahdollisuutena ja etuna on sen integrointi muuhun organisaation strategiseen suunnitteluun, mikä voi lisätä ymmärrystä strategisista valinnoista ja seurauksista. Näin saadaan uusia näkökulmia muihin SWOT- tai skenaarioanalyysiin. Tiekarttojen etuna on usein myös joustavuus: tiekarttoja voidaan päivittää ja täsmentää myöhemmin, kun saataville tulee uutta tietoa tai jos organisaation näkemykset muuttuvat. Tiekarttoja voidaan myös erilaistaa: esimerkiksi maataloustuottajat eri alueilla Suomessa voivat hyödyntää tässä esitettyä tiekarttaa oman alueensa ilmastotiekartan laatimisessa.

Korostettakoon, että kyseessä on Tilaaajan tiekartta, jossa Luken osuus on toimia tiekartan laskelmien ja esitettyjen arvioiden tieteellisestä luotettavuudesta vastaavana asiantuntijana ja raportin yhteen saattajana. Paikoin Luke tuo esille tiekartassa keskeisiä epävarmuuksia ja riskejä. Eri skenaarioissa tuodaan esille, missä määrin asetetut kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteet ovat käytettävissä olevan tieteellisen tiedon valossa saavutettavia ja realistia, ja missä määrin taas joidenkin osatavoitteiden saavuttaminen on epävarmaa esitetyillä keinoilla, tai jos esitetyt keinot vaativat lisää tutkimus- ja kehitystyötä ollakseen riittävän vaikuttavia tai laajasti toteutettavia. Työssä esitetään myös keskeisiä tietouukkoja ja tutkimustarpeita.

2. Keskeiset lähtökohdat ja rajaukset

Hallitusohjelmassa on määritelty Suomelle tavoite hiilineutraaliudesta vuodesta 2035 lähtien. Tavoite on erittäin kunnianhimoinen, ja EU-tasollakin ilmastoneutraalius on asetettu tavoitteeksi vuodesta 2050 lähtien. Suomen maatalous on tuottanut viime vuosina kasvihuonekaasupäästöjä runsaat 15 miljoonaa tonnia (Mt CO₂ ekv.) vuosittain virallisen kasvihuonekaasuinventaarion mukaan (Kuva 2.1; Tilastokeskus 2020). Tämä on noin neljännes Suomen

kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. Maatalouden osuus ihmisen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä on samaa tasoa maailmanlaajuisesti (FAO 2016). Suomen maataloudelle kasvihuonekaasuneutraalius on lähes mahdoton tavoite nykyisillä päästökertoimilla ja hiilen sidonnan laskennalla. Tästä huolimatta maatalouden on pyrittävä päästöjen vähentämiseen siinä mitassa, joka on mahdollista ruokaturvaa heikentämättä, maataloustuottajille kohtuullista ja kestävän kehityksen mukaista.



Kuva 2.1. Maatalouden khk-päästöjen kokonaisuus 2017. Maataloussektori (6,5) + LULUCF (7,9)+ Energiankulutus (0,9) = 15,4 Mt CO₂ ekv. (27,8 % Suomen khk-päästöistä 55,4 Mt CO₂ ekv.). Lähde: Tilastokeskus (2020).

Ilmastoneutraalisuuden kehityspolkua seurataan kasvihuonekaasuinventaarilla (KHK-inventaario; Tilastokeskus 2020), jossa maatalous on pääosin kahdessa eri kategoriassa eli maataloussektorissa (osana ns. taakanjakosektoria) ja maankäyttösektorissa (maankäyttö, maankäytön muutos ja metsät eli LULUCF). Lisäksi maatalouden energiankäytön (polttoaineet, sähkö) huomioidaan energiasektorin päästölaskennassa. Maataloussektorissa lasketaan metaani ja dityppioksidi, ja maankäyttösektorissa hiilidioksidi.

Maatalouden kokonaispäästöistä on maaperäpäästöjä noin 75 %, johon sisältyvät maatalouden dityppioksidi- ja maankäytön hiilidioksidipäästöt KHK-inventaarion mukaisesti. Eloperäisten maiden päästöt ovat yli puolet (noin 8 Mt CO₂-ekv.) maatalouden kokonaispäästöistä (runsas 15 Mt CO₂-ekv.). KHK-inventaariossa maaperäpäästöjä tai -sidontaa pelto- kasvien yhteyttämistuotteina ja mikrobitoiminnassa tarkastellaan toistaiseksi vaillinaisella tiedolla.

Yasso07-malli on perusta maaperäpäästöjen tarkastelulle ja inventaariolle. Malli ei toistaiseksi huomioi viljelymenetelmien, kuten maanmuokkauksen tai kasvipeitteisyyden merkitystä. Mallia kehitetään parhaillaan, minkä tuloksena maatalouden ilmastotoimia voidaan tarkentaa ja kohdentaa nykyistä paremmin. Maatalouden tiekartta tulisi päivittää maaperätiedon karttuessa. Lisää tutkimusresursseja tarvitaan erityisesti mitatun aineiston lisäämiseksi.

Tulevissa päästövähennystoimenpiteissä on tärkeää huomioida oikeudenmukainen maatalouden taakanjako-osuus. Maatalouden heikko kannattavuus ja se, että kannattavuuden merkittävä vahvistuminen tulevina vuosina näyttää perin epätodennäköiseltä, rajoittaa

toimialan kykyä muutoksiin. Tämän vuoksi kaikissa skenaarioissa on huomioitava toimenpiteiden kustannusvaikutus ja varattava riittävät resurssit ja siirtymäaika muutokseen sopeutumiselle.

Haasteista huolimatta yhteiskunnan sopeutuminen ilmastonmuutokseen on maataloudelle myös merkittävä mahdollisuus. Suomessa on huomattavaa kykyä sopeutua ja muuttaa tuotantoa markkinoiden tarpeen mukaan: sopeutuminen luo uusia tuotantomahdollisuuksia, tuottavuuden ja tuotosten parantaminen vahvistavat kilpailukykyä. Uudet energiaratkaisut ja fossiiliriippuvuuden vähentyminen tuovat maataloussektorille uusia toimintatapoja.

Tämän tiekarttatyön lähtökohdat on määritelty seuraavien rajausten mukaisesti:

- Perustuotteissa tuotanto vuonna 2035 on vähintään nykyisellä tasolla.
- Maatalouden päästöistä 75 % on peräisin maaperästä (Tilastokeskus 2020), joten päästövähennystoimenpiteet kohdistetaan pääasiassa pellonkäyttöön, viljelymenetelmiin ja maankäytön muutoksiin.
- Maaperän hiilensidonnasta vahvistaminen ja bioenergian hyödyntäminen ovat keskeinen osa ratkaisua, vaikka niiden lisäisyys verrattuna nykytilanteeseen on rajallinen.

Näistä määrittelyistä merkittävin on se, että skenaariot luodaan vähintään nykyisen suuruiselle tuotannolle. Suomalaisella maataloudella kokonaisuutena on nykytilanteessa IPCC-menetelmin merkittävä hiilijalanjälki kansallisella tasolla. Kuitenkin suomalainen ruokaketju on useilla kestävyysmittareilla yksi maailman parhaista – esimerkiksi antibioottien käyttö eläinten hoidossa on vähäistä (Luonnonvarakeskus 2020a), tarttuvien eläintautien harvinaisuus (Ruokavirasto 2020), ruokaturvallisuus hyvällä tasolla (mm. salmonella-tilanne hyvällä tasolla) (Ruokatieto 2020) ja pohjavesien käyttö kasteluun on vähäistä, etenkin suhteessa muuhun pohjaveden käyttöön (Luonnonvarakeskus 2018a). Myös esim. maidon hiilijalanjälki on Suomessa kansainvälisessä vertailussa varsin alhainen, noin 1 kg CO₂ ekv./1 kg maitoa (Luonnonvarakeskus 2018b). Näistä syistä maataloudella tulee olemaan Suomessa vähintään nykyisen suuruinen rooli ruuantuottajana myös 20–30 vuoden kuluttua. Suomen maataloudessa on mahdollista vähentää päästöjä merkittävästikin kohdentamalla toimenpiteet oikeisiin kohteisiin ilman, että tuotantomahdollisuudet vähenevät.

3. Nykyiset ohjauskeinot maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä

Keväällä 2020 päättyneessä Maatalouden ympäristötoimenpiteiden ympäristö- ja kustannustehokkuus (MYTTEHO)-hankkeessa arvioitiin maaseudun kehittämissuunnitelman (2014–2020) ympäristökorvauksen toimenpiteiden ja EU:n viherryttämistuen vaikutuksia vesienpuojelun, maaperän kasvukunnon, ilmastonsuojelun ja luonnon monimuotoisuuden edistämisen näkökulmista (Hyvönen ym. 2020). Ympäristötavoitteiden edistymisen lisäksi arvioitiin toimenpiteiden kustannusvaikuttavuutta ja houkuttavuutta eri tuotantosuuntia edustavilla maataloilla.

Kaiken kaikkiaan on tärkeää huomata, ettei nykyisen maaseutuohjelman suunnittelun aikaan vuosina 2012–2013 maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ollut maatalouden ympäristöpolitiikan keskiössä, eikä useimpia toimenpiteitä suunniteltu ensi sijassa kasvihuonekaasupäästöjen alentamiseksi, vaan vesistökuormituksen vähentämiseksi ja luonnon monimuotoisuuden, biodiversiteetin, turvaamiseksi. Nykyisiä, hyvin haastavia ilmastotavoitteita, ei ollut tiedossa 2012–2013. Tällöin ei ole helppoa, eikä välttämättä myöskään tarkoituksenmukaista arvioida nykyisen ympäristökorvausjärjestelmän toimenpiteiden

kustannusvaikuttavuutta tai kustannustehokkuutta ilmaston kannalta. Toisaalta vaikuttavuutta myös ilmastoon on ollut.

Suomen maataloudessa käytössä on ollut lähes 30 erilaista ympäristötoimenpidettä, joista ilmaston kannalta kaikkein hyödyllisimpinä voidaan tutkimusten valossa pitää monivuotisia ympäristönurmia (Hyvönen ym. 2020). Samassa arvioinnissa toiseksi vaikuttavimpien toimenpiteiden luokkaan ylsivät suojavyöhyke- ja luonnonhoitopeltonurmet sekä suojakaistat. Positiiviset ilmastovaikutukset perustuvat siihen, että 1) lannoittamattomuuden ja/tai ympärivuotisen kasvipeitteisyyden ansiosta vapaata tyypeä on vähemmän saatavilla, jolloin dityppioksidipäästöt (N_2O) vähenevät, ja että 2) harvempi muokkaus hidastaa eloperäisen aineen hajoamista ja ympärivuotinen kasvipeitteisyys lisää hiilisyötettä peltomaahan, jolloin hiilidioksidin (CO_2) nettopäästöt vähenevät. Toimenpiteet vaikuttivat tehokkaammin N_2O - kuin CO_2 -päästöihin.

Yhteiskunnan näkökulmasta kustannusvaikuttavimpia ilmastotoimenpiteitä ovat tähän mennessä olleet monivuotiset ympäristönurmet, luonnonhoitopellot ja ravinteiden tasapainoinen käyttö (Hyvönen ym. 2020). Toisaalta maatalousyrittäjien kannalta ympäristökorvauksen taloudellinen merkitys on pienentynyt tilojen tulonmuodostuksessa ollen nykyisin keskimäärin 5 % kokonaistuotosta. Kasvinviljelytiloilla korvauksen merkitys on keskimäärin suurempi kuin kotieläintiloilla, vaikka ympäristökorvauksen taloudellinen merkitys onkin suurin lammas- ja vuohitiloilla (13 % kokonaistuotosta). Ympäristökorvauksen vähäinen osuus tilan kokonaistuotosta on johtanut myös siihen, että osa tiloista (siipikarjatiloihin jopa kolmannes) on jättänyt ympäristökorvauksen ja siten tehokkaan ympäristöohjauksen ulkopuolelle.

Aiempiin tukikausiin verrattuna viimeisimmän maaseutuohjelman 2014–2020 toimet ovat kehittyneet jossain määrin paremmin ilmastonsuojelua tukeviksi. Turvepeltojen monivuotisten kasvien viljelyn osuutta on lisätty (2017: 2700 ha monivuotisia ympäristönurmia, suojavyöhykenurmia 55 000 ha ja luonnonhoitopeltonurmia 60 000 ha), säätösalaoituksen tuki (40 % investoinnin hyväksytyistä kokonaiskustannuksista, 2017: 42 000 ha) on kasvattanut potentiaalia hillitä turvepeltojen päästöjä nostamalla pohjaveden pintaa, ja kivennäismailla suurin onnistuminen on kerääjäkasvien alan kasvu (2015: 250 000 ha; 2017–2019: 215–220 000 ha), mikä on tuonut kaivattua lisähiilisyötettä peltoihin (Hyvönen ym. 2020). Koska Ruokavirasto ei tilastoi maalajeja, turvemaiden kohdistuvien toimenpiteiden osuus suojavyöhyke- ja luonnonhoitopeltonurmista sekä säätösalaoituksista ei ole tiedossa. Sen sijaan monivuotisten ympäristönurmien tuet kohdentuvat vain turvemaiden.

Kasvihuonekaasujen vähentämisen kannalta ympäristökorvauksiin käytetty rahoitus jakautuu kuitenkin liian laajalle alalle, liian moniin toimenpiteisiin ja liian vähäisenä ollakseen laajasti vaikuttava. Nykykäytännön sijaan MYTTEHOn loppuraportissa (Hyvönen ym. 2020) suositellaankin vahvasti keskittämään ilmastomuutosta hillitsevät toimenpiteet jatkossa turvepeltoille: erityisesti eteläisessä Suomessa turvepelto tulisi saada kokonaan monivuotisten kasvien viljelyyn, mitä nykyisistä toimenpiteistä tukisivat sekä monivuotiset ympäristönurmet että luonnonhoitopellot. Toisaalta esimerkiksi turvemaiden raivauksen vähentäminen tai kokonaan lopettaminen (jopa kieltäminen, kuten MYTTEHO-raportissa mainitaan), tuotantokynsä menettäneiden turvepeltojen pohjaveden pinnan nostaminen ja yksivuotisten kasvien viljelyn lopettaminen turvepeltoilla olisivat todennäköisesti erittäin tehokkaita ilmastopäästöjen vähennystoimenpiteitä, mutta ne edellyttäisivät ympäristöohjauskeinovalikoiman laajentamista tulevilla ohjelmakausilla.

Näistä vaikuttavimpia toimenpiteitä (monivuotiset nurmet, kerääjäkasvit, turvepeltojen vesitason nosto) käytetään myös tässä tiekartassa, kun pyritään kuvaamaan maataloudelle realistisia keinoja vähentää ilmastovaikutuksiaan tuotantoa supistamalla.

Energiaan liittyvät nykyiset ohjauskeinot ohjaavat nekin kasvihuonekaasujen vähentämiseen: Polttoöljyn 10% jakeluveto, maa- ja puutarhatalouden energiatehokkuussopimus,

neuvonta, investointituet maatalojen energiainvestointeihin (uusiutuvaan energiaan) ja sähkön oman tuotannon verottomuuden rajat.

4. Maatalouden kehitys ilman lisätoimia (WEM-skenaario)

Maataloudessa voidaan perustellusti odottaa seuraavanlaisia toimintaympäristön muutoksia, jotka vaikuttavat Suomen maatalouden kehitykseen. EU:n maatalouspolitiikan resurssit alenevat varojen ohjautuessa muihin tarpeisiin. Silloin Maaseutuohjelma supistuu ja kansallista rahoitusosuutta pitää lisätä tuntuvasti. Laajasti omaksutujen toimenpiteiden laatiminen ympäristö- ja hyvinvointikorvauksiin monimutkaistuu edelleen. Tukea ohjataan jatkossa yhä enemmän ruuantuottamisen sijasta julkishyödykkeiden kuten maatalouden ekosysteemipalvelujen tuottamiseen. Koska etenkin kasvinviljelyn kannattavuus on heikentynyt, peltoa voi ohjautua pois ruoantuotannosta.

Markkinoiden ja kysynnän kehityksellä lähivuosina ja vuosikymmeninä on kuitenkin ratkaiseva merkitys maataloudelle. Lähivuosina julkaistava uusi ravitsemussuositus tulee todennäköisesti suosittamaan punaisen lihan kulutuksen vähentämistä edelleen nykysuosituksesta. Tässä tiekartassa oletetaan, että punaisen lihan (sianliha, naudanliha) kulutuksen lasku seuraavan 15 vuoden aikana on 20 %, mutta toisaalta siipikarjanlihan kulutus kasvaa vastaavasti 20 %. Nestemaitojen kulutus väheni vuonna 2019 noin viisi prosenttia edellisvuodesta, samoin kävi vuonna 2018. Sen sijaan muutokset juuston kulutuksessa ovat olleet vähäisiä, mutta suunta on neljänä viime vuonna ollut lievästi alaspäin ja vuodesta 2000 jatkunut kasvutrendi on selvästi katkennut. Tässä tiekartassa oletetaan, että maitotuotteiden kulutuksen lasku vuoteen 2035 saakka on noin 1 % vuodessa. Tämä merkitsisi kulutuksen laskevan 1,934 mrd litraan (-15 %).

Vaikka sianlihan ja maitotuotteiden kulutuksen odotetaan edelleen maltillisesti laskevan, niiden tuotannon voidaan odottaa vähenevän hitaammin tai säilyvän lähes nykyisellä tasolla. Siipikarjanliha poikkeaa tästä vahvan kotimaisen markkinakehityksen vuoksi. Sen tuotannon ennakoitaan kasvavan kotimaisen kulutuksen kasvun tahdissa, eli 175 milj. kiloon vuoteen 2035 mennessä. Myös siipikarjanlihassa tuonnin osuus säilyy likimain nykyisellä tasollaan (11 %). Siipikarjanlihan tuotannossa on tällä hetkellä noin 250 tilaa ja tiekartassa oletetaan tilamäärän pysyvän tällä tasolla vuoteen 2035. Sikatiloja on nyt noin 900 kpl ja niiden määrän arvioidaan enemmän kuin puolittuvan 350–400 tilaan vuoteen 2035 mennessä. Maatalouden rakennekehitys etenee siis vähintään entiseen viime vuosien tapaan eli varsin nopeasti. Maitotilojen lukumäärän (noin 5700 tilaa vuonna 2019), arvioidaan alenevan 1400–1800 tilaan vuoteen 2035. Vaikka palkokasvien tuotanto todennäköisesti vähän kasvaa, niin pellonkäytössä ja satotasoissa ei odoteta tapahtuvan merkittäviä muutoksia WEM-skenaariossa nykyisen maatalouspolitiikan vallitessa.

4.1 Maatalouspolitiikan tulevat kehityskulut WEM-skenaariossa

Tarkastelujakson suurimmat, maatalouspolitiikkaan kohdistuvat muutospaineet johtuvat suoraan niistä Suomen maatalouden lähtökohtaisista ongelmista, joita syntyi jo liittyttäessä EU:hun. Kolme vuotta ennen liittymistä EU:ssa päätetty MacSharry 1992 -politiikkauudistus

perustui tuotteiden hintojen laskemiseen maailmanmarkkinatasolle ja siitä aiheutuvien tulojen menetykselle. Tämän myötä pinta-alaperusteisten tukien asema muodostui EU:n yhteisessä maatalouspolitiikan erittäin keskeiseksi. EU:n nykyisen tilatuen taso on edelleen korkein niissä vanhoissa jäsenmaissa, joissa saatiin kovimmat viljan hehtaarisadot ennen MacSharry-uudistuksen aloittamista. Tukea maksetaan vähemmän heikon satotason maissa ja alueilla. Suomessa tilannetta on tasattu ns. kakkospilarin kautta maaseutuohjelman LFA-tuella. Tämä ei riittänyt kompensoimaan tulomenetyksiä Suomen olosuhteissa, vaan Suomessa tukeuduttiin alusta lähtien vahvasti myös maaseutuohjelman ympäristötukeen ja myöhemmin 2000 -luvulla eläinten hyvinvointikorvaukseen. Tämä asetelma on säilynyt tähän asti (Niemi & Väre 2019, Latvala ym. 2020). Muualla EU:ssa maaseutuohjelmaa on vierastettu sen kustannuskompensaatioluonteeseen ja byrokraattisuuden vuoksi. MacSharry 1992- uudistus on taannut parhaiden tuotanto-olojen maille riittävän tukikompensaation suorien tukien kautta.

Neuvottelut EU:n monivuotisesta rahoituskehiksestä 2021–2027 ovat käynnissä ja tuoreimman esityksen (COM 2020) mukaan Suomen maatalouden ohjelmakaudelle 2021–2027 myönnettävä kokonaisrahasumma pienentyisi 3,5 prosenttia 6,02 miljardista 5,82 miljardiin. Leikkaus kohdistuisi lähes yksinomaan kakkospilarin tukiin, eli maaseutuohjelman toimiin. Suomelle tilanne on haastava, koska kakkospilarin suhteellinen osuus koko tukipotista on Suomessa moniin muihin EU-maihin verrattuna selvästi suurempi. Lisäksi ykköspilarin ympäristö- ja ilmastoulottuvuutta halutaan vahvistaa. Suomen kannalta tässä on ongelmallista se, että se tehtäisiin samoilla toimenpiteillä, joita on jo käytössä ympäristökorvausohjelmassa. Niiden soveltaminen ykköspilarissa on kuitenkin ensisijaista ja estäisi niiden käytön ympäristöohjelmassa. Uusien, laajasti soveltamis- ja sitoutumiskelpoisten toimenpiteiden laatiminen on tarpeellista mm. siksi, että maatalouden tukijärjestelmä ei rappeutuisi maaseutuohjelman osalta.

Koska poliittista yhteisymmärrystä vuosien 2021–2027 budjetista ei ole EU:ssa vielä onnistuttu saavuttamaan, myös CAP-uudistuksen sisällöstä päättäminen on viivästynyt. Uusi maatalouspolitiikka ei tule siten voimaan EU:ssa alkuperäisen suunnitelman mukaisesti vuoden 2021 alusta, vaan maatalouspolitiikalle on tulossa näillä näkymin jopa kaksivuotinen siirtymäaika. Tämä tarkoittaa, että maatalouspolitiikan uudistusta ryhdytään toteuttamaan EU:ssa aikaisintaan vuonna 2023. Vuosina 2021–2022 toimitaan siten uuden rahoituskauden 2021–2027 budjetilla, mutta harjoitetaan edelleen kuluvan rahoituskauden maatalouspolitiikkaa (Latvala ym. 2020).

Suomelle maatalousrahoituksen turvaaminen käynnissä olevissa EU:n budjettineuvotteluissa on yksi poliittisista prioriteeteista. Erityisesti Suomen peltokasvituotannon kannattavuus on pääosin heikkoa ja lisäksi vahvasti tukiriippuvaista (Luonnonvarakeskus 2020a). Muutokset tukien painopisteissä voivat aiheuttaa nopeastikin merkittäviä muutoksia pellon käytössä ja tuotannossa. Tämä on huomioitava, kun suunnitellaan uusia ympäristötoimenpiteitä. Tuen lisääminen esimerkiksi laajaperäisessä viljelyssä oleville nurmille, voi johtaa peltoalan ja tukien ohjautumiseen pois varsinaisesta ruuantuotannosta ja siten vaikeuttaa perusmaatalouden toimintaa.

Tukipolitiikan kehityskulkuja vuoteen 2035 saakka:

- EU maatalouspolitiikan resurssit alenevat varojen ohjautuessa muihin tarpeisiin.

- Maaseutuohjelma supistuu, kansallista rahoitusosuutta pitää lisätä tuntuvasti.
- Laajasti omaksuttujen toimenpiteiden laatiminen ympäristö- ja hyvinvointikorvauksiin monimutkaistuu edelleen.
- Tukea ohjataan jatkossa yhä enemmän ruuantuottamisen sijasta julkishyödykkeiden kuten maatalouden ekosysteemipalvelujen tuottamiseen.
- Poliitiikan painopisteiden muutokset ovat riski tasapainon kannalta, esim. kannustinvaiikutukset voivat ohjata peltoa merkittävästikin pois ruuantuotannosta.

4.2 Ruokamarkkinoiden ja kotieläintalouden kehityskulkuja

Ruokamarkkinan muutos on keskeinen ajuri arvioitaessa maataloustuotannon kehitysnäkymiä. Lihan kulutus on kasvanut kymmenessä vuodessa lähes 10 %:lla, ja vastaavana aikana broilerin lihan kulutuksen kasvu on ollut 52 % (Luonnonvarakeskus 2020b). Kasvu on merkinnyt suurta tuotantomahdollisuuksien lisääntymistä siipikarja-alalla oleville noin 200 maatilalle. Siipikarjanlihan osuus lihan kokonaiskulutuksesta oli vuonna 2010 25 %, kun se vuonna 2019 oli jo 35 %. Samalla siipikarjan osuus lihantuotannossa on kasvanut vastaavasti ja sianlihan puolestaan vähentynyt. Lihantuotannon keskimääräinen hiilijalanjälki, elinkaarilaskelmien perusteella, on tämän vuoksi pienentynyt, koska siipikarjanlihan hiilijalanjälki on sianlihaa ja naudanlihaa pienempi (Luonnonvarakeskus 2018b). Tuottavuus ja rakennekehityksen seurauksena (tuotanto keskittyy usein tuottavimmille ja tehokkaimmille tiloille) tuotekohtaiset panokset vähenevät ja samalla myös kasvihuonekaasupäästöt. Varsinkin sianlihantuotannossa tuotos on noussut huomattavasti ja tämän vuoksi lihantuotos/emakko on noussut merkittävästi. Tällöin khk-päästöt tuotettua yksikköä kohti vähenevät.

Vastaavana aikana maidontuotannossa lypsylehmien määrä on alentunut 9 %:lla ja tuotos lehmää kohti on noussut 13,7 %:lla (Luonnonvarakeskus 2020c). Tällä on merkittävä vaikutus maidontuotannon hiilijalanjälkeen. Faban mukaan maidon hiilijalanjälki on pienentynyt 50 vuodessa 35 % (Maito ja Me 2019). Tämä merkitsee 10 vuotta kohti keskimäärin noin 7 %.

Edellä esitettyjen kaltaisten muutosten arviointi vuoteen 2035 tai 2050 on haastavaa, mutta skenaariotarkastelun onnistumisen kannalta oleellisen tärkeää. EU-jäsenyyden aikana kotieläintalouden tehostuminen ja rakennemuutos on ollut jatkuvaa. Sikataloudessa voimakas rakennemuutos alkoi jo 1990-luvun lopulla jatkuen kiihtyvänä 2000- ja 2010-luvuilla (Lehtonen & Pyykkönen 2005, Pyykkönen ym. 2010, Lehtonen ym. 2017). Maidontuotannossa voimakas rakennemuutos EU-jäsenyyden jälkeen alkoi toden teolla muutamia vuosia myöhemmin kuin sikataloudessa. Myös maidontuotannon rakennemuutos on ollut voimakasta, joskin sikataloutta hitaampaa, mutta kiihtynyt viimeisten vuosien aikana (Luonnonvarakeskus 2020d). Siipikarjataloudessa muutos on johtunut lähinnä tilakoon ja tuotannon kokonaismäärän kasvusta, joka on jakautunut investoinneille tiloille melko tasaisesti ja vain pieni osa tiloista on kokonaan luopunut tuotannosta.

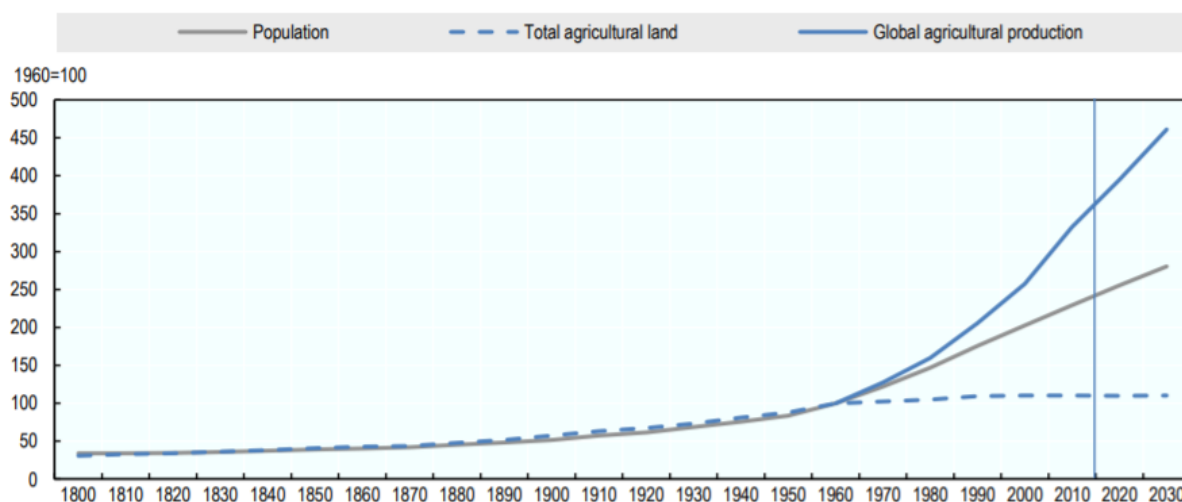
Seuraavassa tarkastellaan maatalouden tuotannon muutoksia tulevaisuudessa lähtien liikkeelle kotieläintuotteiden kysynnän ja -tuotannon muutoksista. Niiden merkitys on keskeisen ratkaiseva maatalouden kokonaistarkastelussa.

4.2.1 Globaalit kehityssuunnat

Maatalous (taakanjakosektorin metaani ja dityppioksidi) ja maatalouden maankäyttö (LU-LUCFn hiilidioksidi) vastaavat 24 % maailmaan kasvihuonekaasupäästöistä. Pelkän maataloustuotannon osuus (metaani ja dityppioksidi) on 11 % (FAO 2016). Ne ovat likimain samoja osuuksia kuin Suomessa (Tilastokeskus 2020).

Vaikka Suomessa ruuan kokonaiskulutus tuskin nousee seuraavien vuosikymmenien aikana, maailmanlaajuisesti tilanne on aivan toinen. Kasvun arvioidaan olevan 50–60 % vuoteen 2050 mennessä (Rabobank 2019). Maataloudella on edessään merkittävä haaste vastata kasvavaan kysyntään. Käytössä olevan maatalousmaan määrä ei ole lisääntynyt 1960-luvun jälkeen, joten tuotantoa on kasvatettu tuottavuutta parantamalla (kuva 4.2.1.1). Maapallon maa-alasta 40 % on maatalouskäytössä ja siitä 70 % on laitumia. FAO ennustaa maatalousmaa-alan kasvun olevan hyvin vähäistä seuraavan vuosikymmenen aikana. Tämä merkitsee edelleen merkittävää tarvetta tehostaa tuotantoa tulevana vuosikymmeninä, jotta ruuan kasvavaan kysyntään pystytään vastaamaan.

Figure 1.15. Population, agricultural production and agricultural land use in the long run



Note: Population data from Maddison's historical statistics for 1820-1940; UN Population Division for 1950-2030; 1800 and 1810 extrapolated from Maddison. Agricultural (crops and pasture) land data for 1800-2010 from the History Database of the Global Environment (HYDE 3.2), Klein Goldewijk et al. (2017); extended to 2030 using *Agricultural Outlook* projections. Global agricultural production data for 1960-2010 from FAOSTAT (Net Agricultural Production Index); extended to 2030 using *Agricultural Outlook* projections.

Source: OECD/FAO (2019), "OECD-FAO Agricultural Outlook", OECD Agriculture statistics (database), <http://dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>.

Kuva 4.2.1.1 Maailman väestön, maataloustuotannon ja maatalousmaan kehitys 2030-luvulle. Lähde: OECD-FAO Agricultural Outlook 2019.

Maitotuotteiden kulutus maailmassa kasvaa seuraavan 10 vuoden aikana 17 %. Tämä merkitsisi 25 % lisäystä vuoteen 2035 mennessä (Rabobank 2019). Eniten kysyntä kasvaa Intiassa. Globaaleilla markkinoilla nestemaitojen arvo on matala, mikä merkitsee sitä, että suomalaisen viennin tulee löytää korkeamman lisäarvon markkinoita, jotta pystytään ylläpitämään haluttua, korkeaa tilitystasoa. Tämä johtaa muutoksiin maidon hinnoittelussa ja myös lypsylehmien jalostuksessa.

OECD-FAO (2019) mukaan lihan kulutuksen kasvu on yhtä suurta kuin maitotuotteilla. Tällä uralla molempien tuoteryhmien kulutus on 50 % nykyistä suurempaa vuonna 2050. Lihan kulutus lisääntyy etenkin Kaakkois-Aasiassa ja Afrikassa.

OECD-FAO (2019) ennustaa peltokasvien tuotannon kasvavan lähes kysynnän tahtiin vuoteen 2028. Tuotanto on vuonna 2028 367 megatonnia (Mtn) ja kulutus 382 Mtn suurempaa kuin vuonna 2018, lisäys noin 13,5 %. Vaikka ruuan kysyntä kasvaa seuraavien vuosikymmenien aikana nopeasti, silti suurin osa ruuasta tuotetaan lähimarkkinoilla. Viime vuosikymmeninä ruokatuotteiden maailmankauppa on kasvanut, tärkeimpinä ajureina kaupan esteiden poistuminen ja Kiinan nopeasti kasvanut tuontikysyntä. OECD-FAO (2019) ennustaa kaupan kasvun hidastuvan tulevina vuosina, koska Kiinan tuontikysynnän kasvu hidastuu. Sen sijaan Afrikan kysyntä tulee vahvistumaan voimakkaan väestönkasvun vuoksi. Etelä-Amerikan osuus maailmankaupassa tulee kasvamaan nopeasti tulevina vuosikymmeninä, etenkin soijassa ja lihassa.

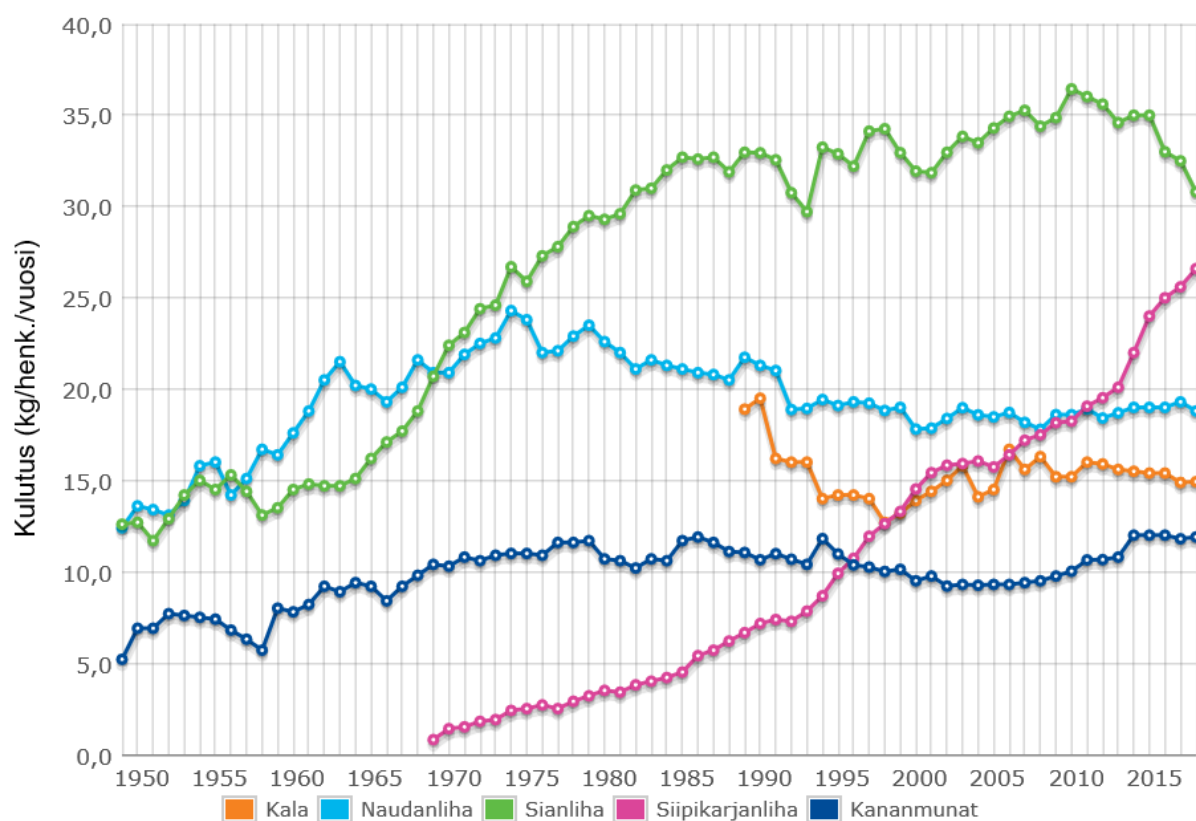
4.2.2 Tulevat muutokset kotieläintuotteiden markkinoilla ja tuotannossa Suomessa

Siipikarjanlihaa syötiin vuonna 2018 melkein kolme prosenttia edellisvuotta enemmän, sianlihan kulutus laski saman verran (Luonnonvarakeskus 2020d). Naudanlihan kulutus pysyi suunnilleen samana. Lihan kokonaiskulutus 2018 oli noin 81 kiloa henkeä kohti, kun mukaan on laskettu myös riista ja syötävät eläimet. Vuonna 2019 siipikarjanlihan kulutus nousi edelleen lähes 4 % vuodesta 2018 siipikarjanlihan kokonaiskulutuksen saavuttaessa tason 146 milj. kg. Sen kulutus oli 2019 26,6 kg henkeä kohti. Sianlihan kulutus laski 2019 noin viisi prosenttia, mutta sitä kulutetaan edelleenkin enemmän kuin siipikarjanlihaa, 30,8 kg per henkilö. Naudanlihaa syötiin 2019 keskimäärin 18,8 kiloa, mikä oli noin puoli kiloa vähemmän kuin edellisenä vuonna (Luonnonvarakeskus 2020d).

Naudanlihan kokonaiskulutus laski 2019 106 milj. kg tasolta vajaaseen 104 milj. kg tasolle. Sianlihan kokonaiskulutus Suomessa laski 2019 vajaasta 180 milj. kg:sta vajaaseen 170 milj. kg:aan. Lihan kokonaiskulutus laski vuonna 2019 1,8 % tasolle 79,8 kg/henkilö (81,1 kg/henkilö 2018) (Luonnonvarakeskus 2020d; Kuva 4.2.2.1). Vaikka parin viime vuoden vuositteiset muutokset ovat melko pieniä ja mahtuvat 2010-2019 vaihteluihin, näyttää selvältä, että etenkin sianlihan kulutus on laskussa ja myös naudanlihan kulutus pienessä laskussa.

Lähivuosina julkaistava uusi ravitsemussuositus tulee todennäköisesti suosittamaan punaisen lihan kulutuksen vähentämistä edelleen nykysuosituksesta (Ruokavirasto 2014). Sillä on vaikutusta etenkin julkiseen syömiseen, mutta myös kotona yhä useampi siirtyy kasvispainotteisempaan ateriointiin. Sen sijaan siipikarjanlihan kulutuksen kasvu jatkuu. Se tulee jatkossa olemaan merkittävä proteiinin lähde suomalaisten ruokailussa.

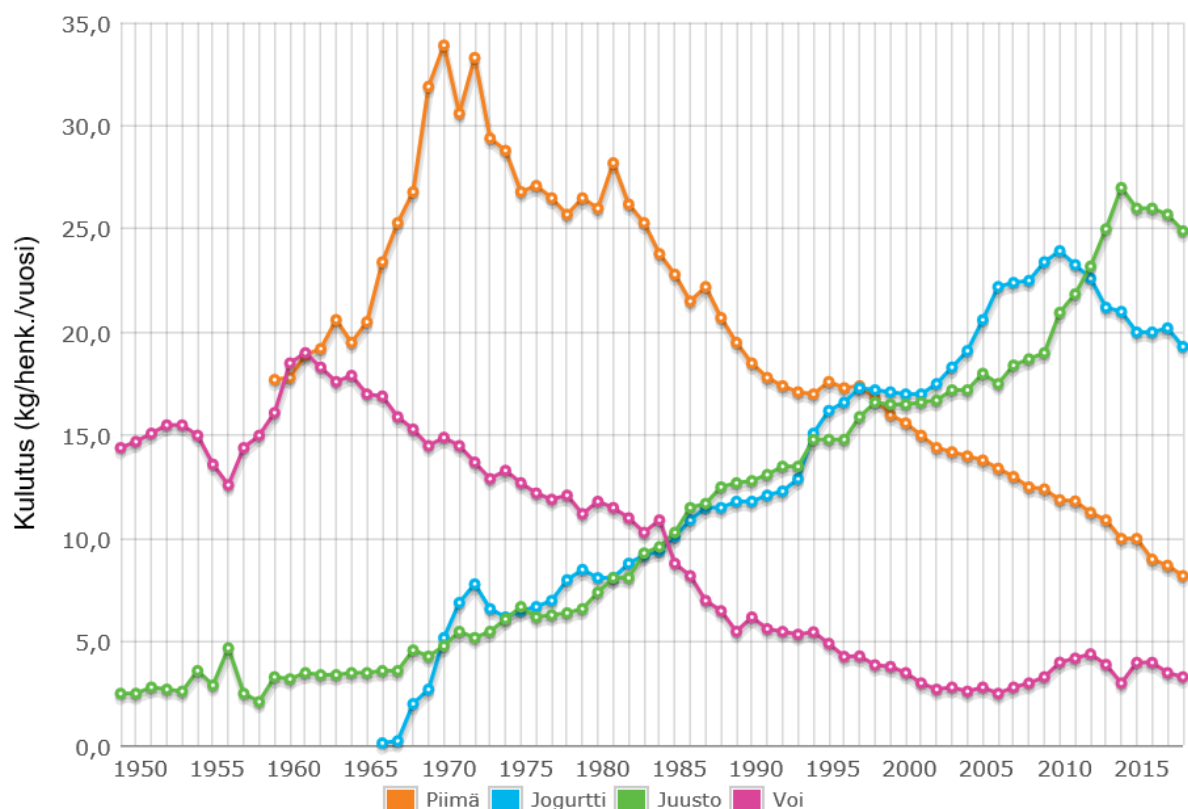
Tässä tiekartassa oletetaan, että punaisen lihan (sianliha, naudanliha) kulutuksen lasku seuraavan 15 vuoden aikana on 20 %, mutta toisaalta siipikarjanlihan kulutus kasvaa vastaavasti 20 %.



Lähde: Luonnonvarakeskus, Ravintotase.

Kuva 4.2.2.1. Lihan, kalan ja kananmunien kulutus henkilöä kohti 1950–2019. Lähde: Luonnonvarakeskus, Ravintotase. <https://stat.luke.fi/ravintotase>

Maidon kulutus väheni 2019 lähes viisi prosenttia edellisvuodesta. Rasvattoman maidon kulutus väheni melkein yhdeksän prosenttia ja kevytmaidon kulutus väheni noin kolme prosenttia. Kuitenkin täysmaitoa kulutettiin melkein yhtä paljon kuin vuonna 2017. Kaikkiaan maitoa juotiin 2018 henkeä kohti noin 107 litraa ja vuonna 2019 102 litraa (Luonnonvarakeskus 2020d).



Lähde: Luonnonvarakeskus, Ravintotase.

Kuva 4.2.2.2. Eräiden meijerituotteiden kulutus 1950–2019. Lähde: Luonnonvarakeskus, Ravintotase.
<https://stat.luke.fi/ravintotase>

Nestemaitojen kulutus väheni vuonna 2019 noin viisi prosenttia edellisvuodesta. Samoin kävi vuonna 2018 (Luonnonvarakeskus 2020d). Sen sijaan muutokset juuston kulutuksessa ovat olleet vähäisiä, mutta suunta on neljänä viime vuonna ollut lievästi alaspäin ja vuodesta 2000 jatkunut kasvutrendi on selvästi katkennut (Kuva 4.2.2.2). Tässä tiekartassa oletetaan, että maitotuotteiden kulutuksen lasku vuoteen 2035 saakka on noin 1 % vuodessa. Tämä merkitsisi kulutuksen laskevan 1,934 mrd litraan.

Taulukko 4.2.2.1. Arvioitu lihan ja maidon kokonaiskulutus vuoteen 2050.

Kulutus	2019	2035	2050
Sianliha, milj. kg	170	140	140
Siipikarjanliha, milj. kg	145	175	175
Maito, mrd. l.	2,275	1,934	1,900
Naudanliha,	106	85	85

milj.
kg

Vaikka sianlihan ja maitotuotteiden kulutuksen odotetaan edelleen maltillisesti laskevan (Taulukko 4.2.2.1), niiden tuotannon voidaan odottaa vähenevän hitaammin tai säilyvän lähes nykyisellä tasolla (Taulukko 4.2.2.2). Tämä tarkoittaa merkittävää viennin kasvua, koska tuonnin voidaan arvioida pysyvän nykyisellä tasolla. Siipikarjanliha poikkeaa tästä vahvan kotimaisen markkinakehityksen vuoksi. Sen tuotannon ennakoitaan kasvavan kotimaisen kulutuksen kasvun tahdissa, eli 175 milj. kiloon vuoteen 2035 mennessä. Myös siipikarjanlihassa tuonnin osuus säilynee likimain nykyisellä tasollaan (11 %).

Siipikarjanlihan tuotannossa on tällä hetkellä noin 250 tilaa ja tiekartassa oletetaan tilamäärän pysyvän tällä tasolla vuoteen 2035. Sikatiloja on nyt noin 900 kpl (Luonnonvarakeskus 2020c) ja niiden määrän arvioidaan enemmän kuin puolittuvan 350–400 tilaan vuoteen 2035.

Taulukko 4.2.2.2. Arvioitu tavoitteellinen lihatase 2035.

	Tuotanto 2035	Kulutus 2035	Tuonti 2035	Kotimaisen lihan kysyntä 2035	Minimivienti 2035
Sianliha	170	140	30	110	60
Siipikarjanliha	175	175	30	145	30

Skenaariotarkastelun kannalta yksi keskeinen kysymys on sianlihan tuotannon kyky ylläpitää nykyisensuuruista tuotantoa vientitarpeen kaksinkertaistuessa nykyisestäään. Sikaketjulla on kirjoitushetkellä vaikeuksia kansainvälisessä kilpailussa normaalissa markkinatilanteessa. Merkittävin kilpailukykykuilu suhteessa eurooppalaisiin kilpailijoihin on teollisuudessa, ei niinkään lihan alkutuotannossa. Teollisuudessa etenkin työkustannus ja eräät lakisääteiset vaatimukset nostavat yksikkökustannuksen kilpailijoita korkeammalle. Todennäköisesti suomalaisten sikatilojen suhteellinen kilpailuasema kuitenkin edelleen vahvistuu vuoteen 2035.

4.2.3 Maidontuotannossa merkittävä rakennemuutos

TNS Kantar (2020) ennustaa erittäin nopeaa rakennemuutosta vuoteen 2025 mennessä. Tilaluku lähes puolittuu 3 300 tilaan ja keskilehmäluku nousee 10,5 % vuosittain nykyisestä 46 vuoteen 2025 76 kpl/tila. Tämä on selkeästi nopeampaa kuin viime vuosina toteutunut muutos (5-6 %/v). Keskituotoksen TNS Kantar (2020) ennustaa taas muuttuvan trendinomaisesti 1,4 %/v.

Jos keskilehmäluku kasvaisi koko 15 vuoden jakson TNS Kantarin ennakoimaa vauhtia, keskilehmäluku nousisi jo kahteensataan vuoteen 2035 mennessä. MTK:n arvioissa odotetaan tilakoon kehittyvän hitaammin. Se seuraisi TNS:n arvioita vuoteen 2025, mutta sen jälkeen kasvua olisi 7 % vuosittain, keskilehmäluvun ollessa 150 vuonna 2035. Keskituotos nousee 10 600 litraan ja lehmien kokonaismäärä laskee 215 000:een.

Luonnonvarakeskuksessa tehdyissä skenaariotarkasteluissa on päädytty vähän hitaampaan rakennekehitykseen, kuin edellä tässä paperissa esitetty. Luonnonvarakeskuksen tietojen mukaan vuonna 2018 lehmistä 46 % oli alle 50 lehmän tiloilla, siis noin 126 000 kpl. Mallinusten mukaan vuonna 2035 yli 100 lehmän tiloilla on lypsylehmistä 60–70 % ja alle 50 lehmän tiloilla 10 %. Tämä vähän edellä arvioitua hitaampi lypsykarjatalouden rakennekehitys johtuu Luonnonvarakeskuksen laskelmien mukaan siitä, että toteutuneet ja vielä toteutuvat kustannusnousut vähentävät katetta investoinneille ja vähentävät investointihalukkuutta myös suurissa kokoluokissa, minkä vuoksi maitotilojen rakennekehitys ei olennaisesti kiihtyisi entisestään. Kun kuitenkin huomioidaan erot keskituotoksissa, nousee suurempien tilojen osuus tuotetusta maitomäärästä edellä esitettyä suuremmaksi.

Maatalouden rakennekehitys etenee siis vähintään entiseen, viime vuosien tapaan, eli varsin nopeasti. Sikatiloja on nyt noin 900 (Luonnonvarakeskus 2020a) ja niiden määrä vähenee aiemman trendin mukaisesti alle puoleen vuoteen 2035 mennessä (350–400 tilaa). Tuotannon keskittyminen jatkuu ennestään sikatiheillä alueilla Lounais-Suomessa ja Pohjanmaalla. Porsastuotanto tehostuu tarkastelujaksolla 20 %. Siipikarjataloudessa tilojen määrä laskee vain vähän nykyisestä 250 tilasta kysynnän kasvaessa. Lypsykarjataloudessa yli 100 lehmän tilojen osuus lehmistä kasvaa nykyisestä 30 %:sta yli 60 %:iin vuoteen 2035 (Taulukko 4.2.3.1). Tilamäärä vähenee kolmannekseen. Emolehmien määrä ei kasva.

Taulukko 4.2.3.1. Lypsylehmien jakautuminen eri tilakokoluokkiin vuonna 2018 ja ennustettu jakauma vuosina 2035 ja 2050. Lähde: Luonnonvarakeskuksen DREMFI-mallin tulokset perusura-skenaariosta; 2018 tilanne: Luonnonvarakeskus 2020c.

Lypsylehmien jakautuminen (osuus) eri tilakokoluokkiin					
	Alle 20	20-49 lehmää	50-99 lehmää	100 ja yli	
2018	5,3 %	34,9 %	29,4 %	30,5 %	
2035	1,5 %	8,8 %	24,0 %	65,7 %	
2050	0,3 %	2,5 %	7,8 %	89,4 %	

Luonnonvarakeskuksen skenaarion mukaan alle 50 lehmän karjojen osuus laskee noin 10 %:iin vuonna 2035 (noin 20 000 lehmää). Maitotiloilta vähenee siis nettona 47 000 lehmää (Taulukko 4.2.3.2), mikä tarkoittaa peltoalana noin 50 000 – 65 000 ha, josta vähintään puolet on ollut nurmella. Tämän alan pitäminen nurmipeitteisenä olisi sekä viljelykierron että hiilensidonnallisuuden kannalta oleellista, koska nurmien kylväminen viljantuotantoon lisää olennaisesti kasvihuonekaasupäästöjä etenkin turvemaiden (Aakkula ym. 2019).

Taulukko 4.2.3.2. Lypsykarjatalouden rakennekehityssennusteita.

	Lehmiä, kpl	Keskilehmäluku per tila	Keskituotos, l	Tuotanto, mrd.l	Tiloja, kpl
2019	262 000	44	8 664	2,262	n. 6 000

TNS sken. 2025	255 000	76	9 500	2,300	n. 3 300
Tiekartta 2035	215 000	120-150	10 600	2,279	n. 1 400

Nykyisistä nautatiloista vain joka neljäs jatkaa tuotantoa 2035. Tämä tulee merkitsemään tuotannon keskittymistä edelleen alueellisesti. Nykyiset tuotantokeskittymät, C2-alueen länsi-osa ja Pohjanmaan alue sekä Pohjois-Savo lisäävät osuuttaan tuotannossa.

Noin 215 000 lypsylehmästä vuonna 2035 (262 000, v. 2019) noin 60 % on todennäköisesti yli 100 lehmän karjoissa. Tämä osuus oli noin 30 % vuonna 2019. Alueellinen jakauma suur-alueittain 2035 on Luonnonvarakeskuksen mallinnustulosten perusteella seuraava: Etelä-Suomi 19 % (24 % v. 2019), Sisä-Suomi 29 % (29 %), Pohjanmaa 47 % (40 %), Pohjois-Suomi 4,2 % (6,5 %). Emolehmien määrä ei kasva (edellyttäisi lisää tukia), mutta emolehmätilojen lukumäärä puolittuu (3000 => 1500).

Lypsykarjatalouden pääalueilla lannanlevityslasta ja myös rehualasta tulee niukkuutta. Tässä tarvitaan tarkempaa kunnittaista tai alueellista analyysiä. Kaikkien tiheimmillä alueilla biokaasutus ja mädätteen jatkojalostus ravinnekierrätyksen mahdollistamiseksi eivät välttämättä ole jatkossa enää vain optio vaan tuotannon laajentamisen ehto, samoin merkittävä osa tarvittavasta väkirehusta tuodaan tiheimpien alueiden ulkopuolelta. Nousee esille kysymys, riittääkö Suomessa halukkaita investoijia toteuttamaan näin mittavaa rakennemuutosta ja riittävätkö muutoksessa tarvittavat julkisen rahoituksen resurssit. Velat biokaasuinvestointiin (esimerkiksi lypsykarjainvestoinnin päälle) kysyvät rohkeutta ja riskinsietokykyä, ainakin nykyisessä asetelmassa (ks. WEM). Vaihtoehtoisesti biokaasuratkaisujen on oltava keskiteympiä, jolloin erillinen laitostoimija ottaa ainakin osan lannoista haltuunsa kierrätettäväksi ja tilat voivat keskittyä eläintuotantoon. Biokaasun ja siihen riittävän ravinnekierron ja lantalogistiikan tulee olla luotettava ja keskeinen osa sujuvaa, kustannustehokasta ja joustavaa toimintatapaa, jolla vähennetään tilan riskejä, ei luoda niitä lisää.

Laajemmassa tarkastelussa pellon kysyntä kasvaa merkittävästi tuotantokeskittymissä, mutta samaan aikaan laajoilla alueilla Keski-Suomessa, Itä-Suomessa ja Pohjois-Suomessa pellolle ei ole tuottavaa käyttöä. Pahimmillaan tuotanto jatkuu tehottomana rehuviljantuotantona samaan aikaan kun pellosta on tuotantokeskittymissä niukkuutta ja osa tilakoon kasvun hyödyistä kuluu kallistuvan pellonhankinnan kustannuksiin (Kässi ym. 2015a. Lehtonen ym. 2017). Tasapuolisempi rakennekehitys maan sisällä, johon maatalouden rakennepolitiikalla voitaisiin ja olisi syytä vaikuttaa, vähentäisi myös pellonraivaustarvetta ja turvemaiden viljelyä. On pohdittava, onko esim. mahdollista tai miltään osin todennäköistä, että laajentavat yrittäjät siirtäisivät koko toimintansa tyhjeneviin maakuntiin ja alueille, joissa on tarjolla runsaasti halpaa peltoalaa. Yksittäisiä tapauksia ilmenee varmasti, mutta voisiko se olla laajempi ilmiö?

4.2.4 Sikatalouden tuotantomuutokset

Sikatilaja on kirjoitushetkellä noin 900 ja niiden määrän ennakoidaan alenevan alle puoleen vuoteen 2035 mennessä (350–400 tilaa). Uusia tiloja ei tule, joten keskittyminen jatkuu jo valmiiksi sikatiheillä alueilla Lounais-Suomessa ja Pohjanmaalla. Kotimaisen kulutuksen

alentuminen haastaa sikasektoria. Jos tuonti pysyy lähellä nykyistä tasoaan (30 milj. kg), vientitarve kaksinkertaistuu 60 milj. kiloon.

Porsastuotanto tehostuu tarkastelujaksolla 20 %. Vapaaporsitukseen siirtyminen aiheuttaa haasteita porsastuotoksen nousulle. Emakoiden määrä laskee edelleen nykyisestä noin 80 000 kpl vuoteen 2035 mennessä 60 000 emakkoon, ja emakoista 80–90 % on 100 suurimmalla tilalla. Lihasikapaikoista 80–90 % on yli 2000 lihasikapaikan yksiköissä, joita on noin 200 kpl.

Vuodesta 2025 lähtien koko tuotanto toteutetaan ilman tuontisoijaa, kotimaisella valkuaisella. Se vähentää merkittävästi tuotekohtaista hiilijalanjälkeä.

4.2.5 Siipikarjanlihan tuotannonkehitys

Siipikarjanlihan kotimainen kulutus kasvaa 20 % ja samaa tahtia kasvaa myös kotimainen tuotanto. Tuotannossa olevien tilojen määrä laskee vain hieman nykyisestä noin 250 tilasta (2020). Lounais-Suomessa ja Pohjanmaalla siipikarja lisää omalta osaltaan lantapainetta, koska lannassa on runsaasti fosforia ja levitysalan tarve on siksi merkittävä suhteessa melko vähäiseen lantamäärään.

Sika- ja siipikarjatuotanto sijaitsee Sahalahden ympäristöä lukuun ottamatta samoilla alueilla Pohjanmaalla ja Lounais-Suomessa. Lisäksi Pohjanmaalla on merkittävää nautakarjaloutta. Tuotantotilojen koko kasvaa usein yksittäisten kuntien alueilla. Monilla runsaan sika- ja siipikarjatuotannon alueilla on myös korkeat peltomaan fosforiluvut. Tämä voi johtaa ongelmiin ympäristöluvituksessa, koska pellostä tulee niukkuutta lannanlevityksessä. Toisaalta tuottajien keskuudessa on laajasti kokemukseen perustuvia näkemyksiä, joiden mukaan tätä tuotannon keskittymiskehitystä (joka on tullut esille mm. rakennekehitystä arvioivassa julkaisussa Lehtonen ym. 2017) on liioiteltu, ja että todellisuudessa peltomaata on vapautunut laajentavien sika- ja siipikarjatilojen käyttöön kotieläintilojen lukumäärän vähentyessä. Sika- ja siipikarjatuotannon kehitykselle ja ravinnekierrolle on kuitenkin eduksi, jos lannankäsittelyä muutetaan suuntaan, jossa ravinteet hyödynnetään tarkemmin ja aiempaa laajemmalla alueella.

4.2.6 Naudanlihan tuotantomuutokset

Naudanlihantuotannosta 80 % on sidoksissa maidontuotantoon. Lypsylehmämäärän 17 %:n lasku tarkastelujaksolla 2018–2035 aiheuttaa 15 %:n lihamäärän alenemisen. Jos emolehmien määrä lisääntyisi samalla 10 % (eli 60 000 eläimestä noin 66 000 eläimeen), nostaisi se lihamäärää vain noin 2 %. Lisäksi ala on strategiassaan määrittänyt tavoitteeksi vasikka-kuolleisuuden vähentämisen ja emokarjojen tiineytyvyyden parantamisen. Tämän perusteella oletetaan naudanlihantuotannon vähenevän vuoteen 2035 mennessä 10 %, eli noin 77 milj. kiloon. Kulutus on arvion mukaan laskemassa 85 milj. kg:aan (noin -20 %) vuoteen 2035. Vientiä on ollut viime vuosina 3–4 milj. kg, joten tämän perusteella tuonti alenisi nykyisestä noin 25 milj. kilosta 10 milj. kiloon.

Myös naudanlihatilojen lukumäärä laskee tarkastelujaksolla. Kirjoitushetkellä sekä emolehmätiloja että välitysvasikkatiloja on noin 1 500, eli 3 000 yhteensä. TNS Kantar (2020) arvioi tilamäärän laskevan vuoteen 2025 mennessä 17 % eli kahteentuhanteen neljäänsataan. Tästä välitysvasikkatiloja olisi 1 000 kpl. Arvioimme tilamäärän laskevan edelleen vuoteen 2035 mennessä 1 500:een.

5 Lisätoimiskenaariot toimenpiteineen ja ohjauskeinoineen

5.1 Skenaariot pääpiirteittäin

WEM-skenaario = Nykypolitiikan jatkumo, ei lisätoimia nykyisiin käytössä olevaan ilmast- ja ympäristöohjaukseen maataloudessa. Punaisen lihan kulutus -20 %, siipikarjanlihan +20 %, maitotuotteiden -10 % vuoteen 2035.

WAM1-skenaario = Tuntuvia, mutta realistisia lisätoimia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen maataloudessa. Kysyntä ja hinnat kuten WEM-skenaariossa (OECD-FAO Agricultural Outlook 2019). Siirrytään voimakkaammin kohti valkuaisomavaraisuutta lisäämällä herneen ja härkävavun viljelyalaa ja monilajisten apilaa sisältävien nurmien alaa, jolloin lisävalkuaisen tarve vähenee. Satotasot nousevat 10 % 2020-2035, +15 % 2020-2045, jonka seurauksena viljantuotannosta ja tuotantonurmilta vapautuu peltoalaa muille kasveille. Tavoitteena on maatalouden kestävä tehostaminen siten, että panoskäyttö tarkentuu, satovasteet lannoitukselle paranevat ja myös maatalouden kannattavuus paranee. Satotavoitteisiin pääsy edellyttää pellon kasvukunnon parantamista ja tuottokyvyltään heikoimpien peltolohkojen jättämistä pois aktiivisesta viljelystä. Vähittäinen siirtyminen tarkkuusviljelyyn edistää myös panosten tarkempaa hyödyntämistä. Uusia kasvilajikkeita, jotka ovat sopivampia 2020-2050 pitenevään kasvukauteen ja ilmaston lämpenemiseen, otetaan tavoitteellisesti käyttöön niitä asianmukaisesti viljellen ja kasvinsuojelu sekä viljelykierto huomioiden. Tämä parantaa olennaisesti mahdollisuuksia satotasojen nostamiseen. Tautipaineen hallinta ja maan hiilensidonnan lisääminen edellyttävät myös viljelyn ja viljelykiertojen monipuolistamista viljan viljelyalaa vähentämällä ja valkuaiskasvien alaa lisäämällä. Valkuais- ja öljykasvituotannon lisäämiseen, maan kasvukunnon parantamiseen ja satotasojen nostamiseen tarvitaan teknologian ja parhaiden käytäntöjen markkinaehtoisien kehittämisen lisäksi myös lisäohjausta julkisin varoin.

WAM1-skenaariossa haetaan tavoitteellisesti khk-päästöjen vähennyksiä turvemailta eri keinoin, mm. vähentämällä yksivuotisten kasvien kuten viljakasvien viljelyä ja lisäämällä nurmialaa, ennallistamalla huonotuottoisia turvemaita kosteikoiksi, jättämällä huonoimpia peltoja viljelemättä sekä metsittämällä. Kivennäismailla hiiltä lisätään maahan viljelyn monipuolistamisen eri keinoin tavoitteellisesti. Haasteena on lisätä viljelijöiden kannustimia päästövähennyksiin ja monia eri päästövähennystoimenpiteitä ajavien ohjauskeinojen suunnittelua maatalouspolitiikkaan liittyen. WAM = "with additional measures"

WAM2-skenaario = Kuten WAM1, mutta sitä vahvempia lisätoimia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen, koska tavoitteena WAM1-skenaariota kunnianhimoisempi päästövähennys. Tällöin WAM1-skenaariota laajennetaan vielä suurempaan, jopa epärealistiseen suureen mittakaavaan erityisesti turvemailloja. Lisäksi kivennäismaiden hiilensidontaa tehostetaan tasolle, jonka toteutumisesta ei voida nykytiedon valossa olla täysin varmoja. Tavoitteena on siten löytää tutkimuksen ja maatilatason soveltamisen keinoin entistä tehokkaampia keinoja päästövähennyksiin suurem-
massa laajuudessa kuin WAM1-skenaariossa.

WAM-skenaarioiden päästökehityksiin johtavat toimet vaativat asetelmaa, jossa viljelijä hyötyy khk-päästöjen vähentämisestä ja niihin liittyvistä toimista. Ellei tällaiseen asetelmaan päästä, vaan viljelijälle koituu tulonmenetyksiä, kuten esimerkiksi

maataloustuotantoa haittaavia vaikutuksia tai maataloustukien menetyksiä ilman vastaavaa hyötyä tai kompensatioita menetyksistä, WAM-skenaarioissa esitettyjen khk-päästövähennysten saavuttaminen ei ole mahdollista.

5.2 Muutokset pellon käytössä ja viljelyssä WAM1- ja WAM2-skenaarioissa

Kotieläintalouden kehitys on likimain sama kaikissa skenaarioissa; WEM, WAM1, WAM2. Sen sijaan pellonkäytön ja osin kasvintuotannon kehitys on erilainen WAM-skenaarioissa kuin WEM-skenaariossa, mutta hyvin samanlainen WAM1- ja WAM2-skenaarioiden kesken.

Satotason kehitys on oleellinen muuttuja maankäytön muutoksia arvioitaessa. Satotaso nousee sekä aktiivisesti että passiivisesti. Passiivinen satotason nousu tarkoittaa keskisadon nousua silloin, kun tehottomasti viljeltyt lohkot siirtyvät pois viljelystä tai ympäristönurmiksi. Aktiivinen satotason nousu tarkoittaa esimerkiksi sitä, että tiloilla tehdään laajemmin peruskunnostusta, tarkennetaan viljelykäytäntöjä, ja peltoalaa siirtyy tehokkaammille viljelijöille.

WAM1-skenaariossa satotaso nousisi eri toimilla kaikkiaan yli 10 % vuoteen 2035 mennessä, 15 % vuoteen 2045 mennessä ja lähes 20 % vuoteen 2050 mennessä (tässä voi olla kasvikohtaisia eroja).

Viljojen kokonaissato on 2000-luvulla vaihdellut 2,5-4 miljardin kg:n välillä (Luonnonvarakeskus 2020 c). Jos yksittäiset selvät katovuodet jätetään pois tarkastelusta, viljojen kokonaissato on vaihdellut 3,5 – 4,0 mrd. kilon välillä (Luonnonvarakeskus 2020c). Käytettävissä on ollut hieman yli 1 milj. hehtaaria peltoa, joten keskisadot ovat olleet 3 400 – 3 900 kg/ha. Jatkossa tavoitellaan samaa kokonaissatoa, mutta selvästi pienemmällä pinta-alalla. Tavoitteena on 750 000 – 800 000 ha, jolloin keskisato nousee noin 4 500 - 4 700 kg hehtaarille. Tämän perusteella vilja-alasta vapautuisi 200 000 ha huonoiten tuottavia peltoja perusparannuksiin, kohdennettuun ympäristön hoitoon (suojakaistat, luonnon monimuotoisuus), nurmisatoa hyödyntävään biokaasun tuotantoon, tavoitteelliseen hiilensidontaan tähtäävään kasvinvuorotteluun, tai kokonaan maatalouden ulkopuolelle.

Suuri keskustelu maankäytön yhteydessä ja koko maatalouden ilmastovaikutusten näkökulmasta on se, kuinka kannustavia eri tuotanto- ja pellonkäyttötavat ovat. Maatalousbudjetit tulevat pieneneään, jolloin hehtaaria kohti maksettavat tuet pienenevät ja niukkenevien resurssien kohdentaminen nousee tärkeäksi.

Peltokasvituotannon kannattavuus on keskimäärin niin heikkoa, että jo pienillä painopisteiden muutoksilla voidaan saada aikaan merkittäviä siirtymiä pellonkäytössä. Voidaan pohtia, onko kestävää ja tuottajien tavoitteiden mukaista, jos vähäisillä panoksilla ja työllä tuotetaan tehottomasti, mutta saadaan hyvien tukien ansioista paras tulos? On löydettävä politiikkatoimenpiteiden yhdistelmä, jossa taataan kannustavuus todelliselle tuottamiselle ja samalla olla mukana turvaamassa ympäristötavoitteiden saavuttamista.

5.2.1 Viljanviljelystä vapautuu alaa monimuotoiselle viljelylle

Satotason noston kautta viljantuotannosta vapautuva ala antaa mahdollisuuksia pellonkäytön ja kasvinvuorottelun monipuolistamiselle muiden kasvien alaa lisäämällä. Kasveja, joiden alaa voitaisiin lisätä, tarkastellaan lyhyesti seuraavassa.

Valkuaiskasvien viljelylle on kasvavaa kysyntää sekä ihmisravinnoksi että valkuaistäydennykseksi eri eläinten rehukäyttöön.

Viljantuotannossa sen valkuaiselementti ei ole täydessä käytössä. Viljojen valkuaispitoisuutta laskee ympäristökorvauksen typpirajoitukset, etenkin korkean sadon tilanteissa. Syysvehnällä on selvästi valkuaispotentiaalia ja sen viljelyn lisääminen lisäisi valkuaisen saantoa. Lisäksi talvilajeilla on kasvipeitteisyyden vuoksi myönteisiä ympäristövaikutuksia. Tarkastelujaksolla ilmaston lämmitessä talvilajikkeiden merkitys todennäköisesti kasvaa.

Kauran potentiaali on merkittävä ja sen viljely todennäköisesti lisääntyy nykyisestä, mutta ilmastönäkökulmasta se ei aiheuta muutoksia, koska se kilpailee samoista pinta-aloista vehnän ja ohran kanssa. Ohra tulee jatkossakin olemaan viljanviljelyn tärkeä peruskasvi. Se antaa Suomen oloissa viljakasveista parhaita satoja ja se soveltuu hyvin rehuntuotantoon.

5.2.3 Valkuais- ja öljykasvien viljely

Ölji- ja valkuaiskasvien viljelyn lisääminen on yksi keskeisistä keinoista viljelyn monipuolistamiseen ja peltomaan parempaan hoitoon tässä tiekartassa. 2010-luvulla tilanne on ollut se, että yli 80 % rehuvalkuaisesta tuotetaan kotimaassa ja saadaan 95-prosenttisesti viljasta ja nurmesta (Niemi 2016). Kotieläintuotannossa käytettävästä rehun *valkuaisäydennyksestä* kuitenkin yli 80 % tuodaan ja alle 20 % tuotetaan Suomessa. Pääosa täydennysvalkuaisen tuonnista on rypsi- tai rapsirouheen tuontia. Sika- ja siipikarjanrehuihin tuotava, etenkin eteläamerikkalainen soija nostaa voimakkaasti lihantuotannon hiilijälkeä, vaikka soijan tuonti onkin vähentynyt viime vuosina. Näissä tuotantosuunnissa on tavoitteena päästä soijariippuvuudesta eroon vuoteen 2025 mennessä. Soijaa on kuitenkin vaikeaa korvata kokonaan sen edullisen aminohappokoostumuksen vuoksi etenkin broilerinkasvatuksen alkuvaiheessa.

Valkuaiskasvien tuotannon lisääminen myös ihmisravinnoksi on asetettu tavoitteeksi Vilja-alan yhteistyöryhmässä (Nordlund & Vilppula 2019). Kasviproteiinituotteiden elintarvikekulu on ollut kasvussa. Vähittäiskaupat ovat raportoineet merkittävää kasvua erityisesti kasviproteiinipohjaisten tuotteiden osalta. Erityisesti kaura- sekä palkokasvituotteet ovat olleet nosteessa ja niiden elintarvikekäyttö on nousussa. Olennaista on ruokatuotteiden kehitys ja kotimaisten raaka-aineiden jalostus kuluttajatuotteiden tarpeita vastaavasti.

Tuottajien linjauksen mukaan härkäpapu- ja hernealaa voisi nostaa yhteensä 100 000 hehtaariin vuoteen 2035. Se mahdollistaisi tuontisoijasta luopumisen rehuteollisuudessa. Tosin muun muassa broilereiden kasvatuksen ensimmäisen viikon rehustuksessa tarvitaan soijaa kirjoitushetken tietämyksen mukaan. Muu broilerin rehustus ja koko sikasektori on mahdollista vaihtaa kotimaiselle valkuaiselle.

Kotimaisessa valkuaisuotannossa, härkäpavun lisäksi, herneellä ja öljykasveilla on tärkeä roolinsa. Herneen alaa pitäisi laajentaa nykyisestä 14 000 hehtaarista (Taulukko 5.2.3.1) yli 50 000 hehtaariin. Viime vuosina ala onkin lisääntynyt lupaavasti. Yli 50 000 ha herneala vuoteen 2035 vaatii kuitenkin todennäköisesti lisää kehitystoimia ja/tai lisäohjausta.

Taulukko 5.2.3.1 Eräiden viljelykasvien pinta-alat (ha) Suomessa vuosina 2013 ja 2018-2020. Vuoden 2020 pinta-alat ovat ennakkollisia. Lähde: Luonnonvarakeskus 2020c

	2013	2018	2019	2020
Peruna yht.	22 100	22 600	21 700	21 300
Sokerijuurikas	12 000	10 200	10 600	11 400

Rypsi/rapsi	53 000	58 300	36 700	29 900
Kumina	15 100	27 700	24 100	20 400
Härkäpapu	7 200	19 700	17 700	18 100
Herne	4 200	9 600	13 900	25 200

Lypsykarjalla ei Suomessa sallita soijan käyttöä, mutta maitotiloilla käytetään runsaasti ulkomailta tuotua rypsi/rapsirouhetta. Rypsi/rapsinviljely on viime vuosina ollut tasolla 50 000 – 60 000 ha, vuosien 2019 ja 2020 poikkeuksellisia pinta-aloja (37 000 ha vuonna 2019 ja 30 000 ha vuonna 2020) lukuun ottamatta. Muun muassa haasteet kasvinsuojelussa ja rajallinen ruokateollisuuden kysyntä kasviöljylle elintarvikekäyttöön ovat alentaneet öljykasvien viljelyalaa. Jotta viljely voi laajentua, tulee viljelytekniikoille haasteille, kuten tuholaisongelmalle, löytää toimivat ratkaisut. Kasvukausien piteneminen ja lämpeneminen ilmaston muuttuessa todennäköisesti lisää kasvitautipainetta ja tarvetta myös viljelykiertojen monipuolistamiselle kasvitautien torjunnan näkökulmasta (Hakala ym. 2011). Onnistuessaan tuotannollisten haasteiden ratkaisu ja kotimaisten öljykasvituotteiden markkinoiden kehittäminen voisi vähitellen palauttaa öljykasvituotannon kannattavuuden, jolloin öljykasvien viljelyala voisi seuravina vuosikymmeninä nousta noin 80 000 hehtaariin.

Öljy- ja valkuaiskasvialan lisääminen edellyttää nykyistä parempaa kasvinsuojelua, viljelyteknologiaa, kasvinjalostusta ja tukipolitiikan ohjauskeinoja. Ratkaisevaa on kuitenkin eri toimijoiden tahtotila ja yhteistyö, joka on viime vuosina tullut esille pyrkimyksenä korvata tuontisoijaa kotimaisella valkuaisella. Tuotantoteknologian ja tuotantokäytäntöjen kehittämisen ohella laatuun perustuvilla hinnoittelumalleilla voisi olla nykyistä enemmän sijaa siinä, että teollisuus saisi entistä paremmin käyttöönsä oikean määrän laadukasta raaka-ainetta, ja viljelijöillä olisi kannustimet sellaista tuottaa (esim. hyvälaatuista valkuaisäydydennystä tai entistä valkuaispitoisempaa viljaa). Edellytyksenä tälle on puolestaan se, että loppukäyttäjälle tuotetaan lisäarvoa, josta osa voi siirtyä kohtuullisin osuuksin ketjun eri osapuolille. Tällaiseen asetelmaan pääseminen voi olla työlästä. Tukipolitiikan mahdollisuudet viljelyn monipuolistamisessa ovat yksinään rajalliset, koska tukien turvin ei ole järkevää tuottaa sellaisia tuotteita ja sellaista laatua, jolle ei ole kysyntää ja joka ei tuota käyttäjälle lisäarvoa.

5.2.4 Nurmiviljely jakaantuu kahtia

Tällä hetkellä nurmialaa on tuotantonurmiseen ja erilaisine kesantoineen yhteensä noin 1 milj. ha, josta tehokkaassa rehuntuotannossa märehitijöiden käyttöön on vain noin 500 000 ha. Toinen 500 000 ha on rehuntuotantoreserviä. Nurmiviljelyä voidaan tehostaa eri tavoin, esim. keskittämällä rehunurmen viljely paremmille maille maan kasvukunnosta huolehtien, tarkentamalla lannoitusta pellon kasvukunnon ja kasvukauden mukaiseksi, löytämällä erilaisille maille sopivat monilajiset nurmiseokset, jolloin nurmirehun sato ja valkuaispitoisuus nousevat.

5.2.5 Yhteenveto pellonkäytön muutoksesta eri skenaarioissa

Pellonkäytössä ei tapahdu muutosta WEM-skenaariossa verrattuna 2019 tilanteeseen. WAM1- ja WAM2-skenaarioissa vilja-ala vähenee 200 000 ha ja tuotantonurmien ala vähenee 200 000 ha vuoteen 2035 (Taulukko 5.2.5). Vapautuvasta 400 000 ha alasta noin 100 000 ha käytetään herneen ja härkäpavun sekä öljykasvien viljelyalan kasvattamiseen.

Viherlannoitusnurmien alaa kasvatetaan noin 25 000 ha tasolta 100 000 ha tasolle. Viherlannoitusnurmista tulee osa tuottavuutta parantavien maatilojen viljelykiertoa ja tavoitteellista hiilensidontaa. Lisäksi käytetään 50 000 ha biokaasunurmen (lannoitus 78 kg N/ha, sato noin 5500 kg kuiva-ainetta /ha) tuotantoon WAM1-skenaariossa ja 150 000 ha WAM2-skenaariossa, pääosin Etelä-Suomen alueella. Kasvukunnoltaan tai sijainniltaan huonojen turvepeltojen viljelemättä jättäminen (hylätty turvemaalajia oleva viljelysmaa) lisääntyy 55 000 ha WAM1- ja WAM2-skenaarioissa. Kesantoala (muu kuin em. viherlannoitusnurmi) kasvaa kivennäismailla 25 000 ha verran tasolle 270 000 ha WAM1-skenaariossa ja vähenee 90 000 ha verran WAM1-skenaariossa tasolle 130 000 ha. Näistä kesantoaloista osa on erilaisia maanparannuskasveja mahdollisten pellon perusparannusinvestointien yhteydessä ja loput erilaisia ympäristöhoitonurmia. Metsitysalasta on vain 10 000 ha turvepeltojen metsitystä WAM1-skenaariossa ja 20 000 ha WAM2-skenaariossa. Loput metsitetystä alasta on kivennäismaiden metsitystä, joka on usein olennaisesti turvepeltojen metsitystä helpompaa. Metsitys tuottaa merkittäviä khk-päästöjen vähennyksiä vasta 20 vuoden jälkeen, jos taimikon perustaminen onnistuu.

Taulukko 5.2.5. Pellonkäyttö (1000 ha) ja sen muutokset eri skenaarioissa. Perusura eli 2018 tilanne.

	2018	Ilmastoskenaario 1 vuonna 2050	Ilmastoskenaario 2 vuonna 2050
VILJAT	1 040	870	870
NURMET	783	583	583
MUUT VILJELYKAS- VIT	200	300	300
KESANTOALA	225	238	76
Hylätyt pellot turve- mailla	69	125	125
Nurmet biokaasuksi		50	150
Viherlannoitusnurmet	24	100	100
Turvemaita kosteikoiksi		35	57
Peltojen metsitys		40	80
YHTEENSÄ	2 341	2 341	2 341

5.2.6 Peltojen luokittelu lohkoittain avain muutokseen

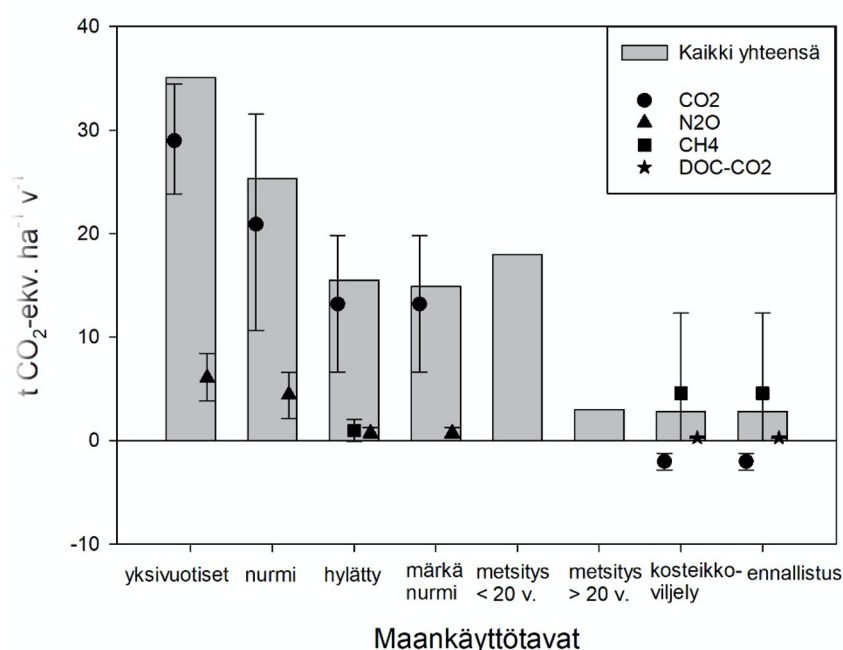
Vaihtelu viljelysmaiden ja etenkin turvemaiden tuottoarvossa on suurta. Etelä-Suomessa viljanviljelyssä olevien syväturpeisten, vajaatuottoisten maiden tuottoarvo voi olla erittäin alhainen. Niiden saaminen viljelyn ulkopuolelle voi olla edullinen tapa vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, koska päästöt per hehtaari ovat suuret ja niiden alentaminen voi olla mahdollista alhaisin kustannuksin ja tulonmenetyksin, jos päästövähennyksestä palkitaan viljelijää (Koljonen ym. 2020, Aakkula ym. 2019). Toisaalta kotieläintiloilla olevat hyvätuottoiset, matalaturpeiset lohkot ovat välttämättömiä kotieläintuotannossa ja siksi erittäin korkean kynnyksen takana isojen päästövähennysten tuottamiseen. Koko turvemaakeskustelulle ja pyrkimyksille vähentää kasvihuonekaasupäästöjä turvemaiden on erittäin haitallista puhua turvemaista yhtenäisenä alueena, koska niiden tuottoarvoissa ja tarpeessa tuotantokäyttöön on erittäin suuria vaihteluja.

Tarvitaan työkaluja, joilla pystytään määrittelemään lohko kohtaisesti näitä satoisuuseroja. Ensimmäiset toimenpiteet isojen päästövähennysten saavuttamiseksi turvemaiden tulee kohdentaa heikoimman arvon lohkoihin. Toisaalta korkean tuottoarvon lohko tulee pitää viljelyn piirissä. Niiden osalta tulee tehdä arvio siitä, voidaanko niitä liiketaloudellisesti järkevästi siirtää nurmituotantoon.

5.3 Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistoimet turvemaiden

Turvelajia olevia viljelysmaita (turvelajia) on Suomessa yhteensä noin 260 000 ha. Niistä 2/3 on Etelä-, Keski- ja Pohjois-Pohjanmaa, Pohjanmaan sekä Kainuun ja Lapin alueilla, ja loput 1/3 muualla maassa. Turvelajia, joita on laadullisesti ja tuottokyvyltään hyvin erilaisia, on mahdollisuus suuriin hehtaari kohtaisiin päästövähennyksiin (Kuva 5.1). Merkittävä päästövähennys voidaan saavuttaa jo sillä, että yksivuotisten kasvien alaa vähennetään turvelajia ja siirrytään monivuotisten kasvien viljelyyn, jotka eivät vaadi joka vuosi kasvihuonekaasupäästöjä lisäävää muokkausta. Yksivuotisten kasvien viljelyä voidaan mahdollisuuksien mukaan siirtää kivennäismaille tai jopa lopettaa yksittäisten pelto lohkojen osalta kokonaan, ellei sadolle ole vahvaa kysyntää. Huomionarvoista on myös se, että nurmet, olivatpa sitten tuotantonurmia tai nurmipeitteisiä kesantoja, tuottavat yhtä lailla hiilidioksidipäästöjä yli 20 t CO₂ ekv./ha turvelajilta. Suurempiin päästövähennyksiin päästään, jos nurmea voidaan viljellä osin märkänä siten, että vedenpinnan taso pidetään keskimäärin 30 cm tasolla sääätösalajituksen keinoin. Tällä keinolla, samoin kuin huonojen turvelajien viljelemättä jättämisellä tai soveltuvin osin ohutturpeisia turvelajia metsittämällä, voidaan päästä noin 15 t CO₂ ekv./ha khk-päästöihin. Likimain samalle päästöjen tasolle päästään, jos huonotuottoinen turvelajia on viljelemättä noin 20 vuotta, tai jos se metsitetään. Suurimpiin khk-päästöjen vähennyksiin turvelajia päästään, jos veden pinta saadaan nostettua lähelle maan pintaa (Kuva 5.3.1). Tämä vaatii erilaisten patojen rakentamista pellon alapuolisella vesistöalueella ja/tai ojien tukkimista tapauskohtaisesti.

Turvelajien päästökertoimet



Kuva 5.3.1. Maatalouden turvemaiden kasvihuonekaasupäästöt ja niiden epävarmuus turvemaiden eri käyttömuodoissa. Metsitetyn turvemaan khk-päästöjen epävarmuusarvio puuttuu toistaiseksi. Lähde: IPCC Wetlands Supplement 2013 sekä hylättyjen peltojen osalta Maljanen ym. 2010.

Erityisesti veden pinnan korkeana pitämiseen ei ole nykyasetelmassa viljelijälle riittäviä kannustimia. Viljelijän näkökulmasta merkittävänä riskinä veden pinnan nostamisella muuten kuin sääätosalaoituksella, esim. ojat tukkimalla, voi olla pellon maataloustukikelpoisuuden menetys. Toki myös pellon tarve hyvän sato- ja laatutason kasvintuotantoon on jo sinällään merkittävä este vedenpinnan nostolle, koska vedenpinnan pitäminen tavallista korkeammalla esim. sääätosalaoituksen avulla sisältää riskin siitä, että etenkin märkinä vuosina peltoa ei saada tärkeinä kasvinviljelyn ajankohtina riittävän kuivaksi ja sadon laatu ja määrä jäävät heikoiksi. Jos maatila on riippuvainen turvemailta korjattavasta sadosta, tämä on merkittävä riski, vaikka sääätosalaoituksen avulla säädeltävissä oleva vedenpinta voi toimia kuivina kasvukausina altakasteluna ja antaa mahdollisuuksia myös sadon parantamiseen. Märkä pelto myöhään syksyllä sisältää myös riskin siitä, että pelto jäätyy syvältä seuraavana talvena eikä sula ajoissa seuraavana kasvukautena.

Näiden riskien, mahdollisten tulonmenetysten ja investointikustannusten korvaaminen viljelijälle ja maanomistajalle eivät toteudu nykyisin. Vaikka sääätosalaoitukseen maksetaan investointitukea jopa 40 %, kannustimet veden pinnan ylhäällä pitämiseen ovat vähäiset em. tulonmenetyksiin ja riskeihin nähden erityisesti kotieläintiloilla tai muilla tiloilla, jotka ovat usein riippuvaisia turvemailta korjattavasta sadosta ja sen hyvästä laadusta. Vaikka sadolle ei välttämättä olisikaan käyttöä, turvepeltojen perustaminen kosteikoksi on sekin viljelijälle ongelmallista, koska uhkana on maataloustuen menettäminen ja tulojen väheneminen. Tämä tulon vähenemisen uhka viljelijälle on ristiriidassa sen kanssa, että turvemailta kannustettaisiin löytämään kustannusvaikuttavia khk-päästöjen vähennyksiä. Seuraavassa luonnostellaan toimenpiteitä ja tarvittavia kannustimia turvemaiden päästövähennyksiin. Kannustimet alustavine ohjauskeinopohdintoineen ja kustannusvaikutuksineen kootaan lopuksi yhteen aikajänteelle.

5.3.1 Yksivuotisten kasvien viljely

WAM1: Yksivuotisten kasvien viljelyalaa turvemaillo (joita viljelykäytössä yhteensä noin 260 000 ha) on vähennettävä olennaisesti lähtötasolta 94 500 ha, noin 82 000 ha verran tasolle 12 000 ha vuoteen 2050 mennessä. Merkittävä osa tästä tai jopa koko vähennys voi olla toteutettavissa jo vuoteen 2035 mennessä. Suuri vähennys yksivuotisten kasvien alassa turvemaillo on olennaista, jos tavoitteena ovat isot päästövähennykset. Näin voi tapahtua etenkin Etelä-Suomen alueella, jossa monin paikoin jopa 60-70 % turvemaista on yksivuotisilla kasveilla. Osalla maatiloista, joilla suurin osa pelloista on kivennäismaita, tämän muutoksen voi sopivilla kannustimilla toteuttaa nopeamminkin, esim. yhden ohjelmakauden aikana ja hyvissä ajoin ennen vuotta 2035.

WAM2: Yksivuotisten kasvien viljely (94 500 ha v. 2018) turvemaillo loppuu kokonaan muuten, kuin välittömästi nurmien uusimisen yhteydessä jo seuraavan ohjelmakauden aikana eli vuoteen 2028.

Tarvittavat kannustimet ja ohjauskeinot: Maksetaan vähemmän tukia yksivuotisille kasveille turvemaillo. Tukitaso voisi olla turvemaiden yksivuotisille kasveille WAM1-skenaariossa vähän (esim. noin 30-80 eur/ha) alempi yksivuotisille kasveille turvemaillo ja monivuotisille kasveille (esim. 20-30 eur/ha) korkeampi 5 vuoden määräajaksi. WAM2-skenaariossa

ympäristökorvauksen vähennys yksivuotisille kasveille turvemailla olisi suurempi, eikä tätä korvattaisi nurmien tukia korottamalla turvemailla. Tällöin yksivuotisten kasvien viljely turvemailla olisi selvästi huonommin kannattavaa verrattuna tuotantonurmiin, tai viljelyyn kivennäismailla. Viljelijä voi paikata tästä aiheutuvia mahdollista tulonmenetystä hyödyntämällä muita ohjauksia ja palkkioita turvemaiden osalta (ks. muut toimenpiteet turvemailla, alla).

5.3.2 Tuotantonurmet

WAM1: Turvemaiden tuotantonurmien pinta-ala vähenee 20 000 ha vuoteen 2035 mennessä lähtötasolta 124 000 ha tasolle 104 000 ha. Tämä ei välttämättä vähennä korjatun nurmirehun määrää turvemailla. Osa kotieläintiloista voi korjata soveltuvin osin ja tietyillä ehdoilla nurmirehua myös märiltä säätösalaajitetuilta pelloilta, joiden ala kasvaa 20 000 ha (alla).

Tämä muutos tuotantonurmien pinta-alassa voi olla myös hidas ja vaihteellinen koska paikoin turvemaita tarvitaan nurmirehun tuotannossa, eikä tuotantoa voida läheskään aina siirtää kivennäismaille.

WAM2: Tuotantonurmien ala vähenee 30 000 ha (tasolle 94 000 ha) vuoteen 2035, eli enemmän kuin WAM1-skenaariossa. Tämä on haaste nurmiviljelyn tuottavuudelle, ellei samaan aikaan tuotantonurmia siirretä kivennäismaille (ai mahdollista kaikille viljelijöille) tai märille säätösalaajitetuille pelloille, joiden ala kasvaa 30 000 ha vuoteen 2050 (alla). Tällöin täytyy löytää keinoja viljellä nurmirehua kannattavasti ajoittain märillä pelloilla.

Tarvittavat kannustimet ja ohjauskeinot: WAM1: Edellä yksivuotisten kasvien viljelyn vähentämisen tapauksessa tuotantonurmien tukitaso nousee muutama kymmenen euroa vuodessa, kun turvemaita ohjataan pois yksivuotisten kasvien viljelystä. Tämä ei ensi näkemältä olisi johdonmukaista sen kanssa, että tuotantonurmien alaa vähennetään turvemailla. Tuotantonurmien tukea kuitenkin korotetaan vain määräajaksi. Asetelma voikin aluksi johtaa tuotantonurmien alan kasvuun turvemailla, joka jäänee väliaikaiseksi

Tuotantonurmien tavoitteellinen tehostaminen parhaille lohkoille myös turvemailla voi vähentää asteittain nurmialaa myös turvemailla. Tämä voi toteutua osin jopa ilman lisäohjausta kustannus- ja kannattavuussyistä, jolloin viljely keskittyy pienemmälle alalle turvemaita. Lisäohjausta kuitenkin tarvitaan varmistamaan kehitys. Tällaisina lisäohjauksina voidaan pitää muiden toimenpiteiden kannustimia (alla).

5.3.3 Kesannot

WAM1: Kesantoala turvemailla. Koska kesannon hiilidioksidipäästöt turvemailla ovat samat kuin tuotantonurmen, on tärkeää vähentää kesantoalaa huonotuottoisilla ja heikosti viljelyyn sopivilla turvemailla olennaisesti – joitain monimuotoisuuskesantoja ym. vielä jätetään turvemaillakin WAM1-skenaariossa. Kesanto turvemailla vähenee tasolta 38 000 ha (2018) noin 18 000 hehtaariin vuoteen 2050. Tämän voi sopivilla kannustimilla (esim. vähennetty tuki turvemaiden kesannoille) toteuttaa jo esim. yhden ohjelmakauden aikana, ja hyvissä ajoin ennen vuotta 2035.

WAM2: Kesantoalat turvemailla (38 000 ha v. 2018) lopetetaan kokonaan jo vuoteen 2028 tai viimeistään vuoteen 2035.

Tarvittavat kannustimet ja ohjauskeinot: Maataloustukia turvemaiden kesannoille vähennetään (WAM1) tai lopetetaan asteittain kokonaan (WAM2). Vastaavasti korotetaan kannustimia muihin päästövähennystoimiin turvemailla (alla). WAM2-skenaariossa turvemaiden kesantojen kelpoisuus CAP-tukiin (pilarit 1 ja 2) lopetetaan kokonaan viimeistään 2030-luvulla.

5.3.4 Säättösaloajitus

WAM1: Säättösaloajitus nurmen viljelyyn, ”märän nurmen” viljelyyn. Säättösaloajitetun alan, jolla kasvatetaan nurmea, on oletettu kasvavan hitaasti noin 3000 ha tasolta tasolle 20 000 ha vuoteen 2050. Oletetaan, että säättösaloajitetulla turvemaalla vedenpinta on keskimäärin 30 cm vuositasolla, mutta se voi sadonkorjuun ja lannoituksen aikana olla alempana. Vedenpinnan pitäminen keskimäärin 30 cm tasolla ei sovi läheskään kaikille tiloille ja vaatii siksi erilliset kannustimet vedenpinnan säätelyyn, että sopisi edes joillekin. Eri tutkimusprojektien työpajoista on saatu vahvaa palautetta, että märkä pelto on kotieläintilalla hankala ja riskialtis, vaikka säättösaloajitus sinällään on hyvä koska mahdollistaa tehokkaan kuivatuksen. Edellytyksenä onnistuneelle säättösaloajitukselle on mm. riittävän vähäinen pellon kaltevuus, alle 2 % (Oksala, s. 40). Säättösaloajitetun alan kasvu on hidasta, ellei heti aseteta tuntuvia kannustimia, jotka sisältävät myös velvoitteen ylläpitää todennetusti vedenpinnan riittävää tasoa. Kysymykseen voi tulla myös automaattisäätöinen järjestelmä. Perustamiskustannukset 4000-5000 eur/ha. Tässä WAM1-skenaariossa oletetaan, että säättösaloajitus lisääntyy hitaasti ja lineaarisesti vuoteen 2050, koska säättösaloajitukseen sopivia maita on rajallinen määrä. Lisäksi suurien alojen säättösaloajitus heti ei ole välttämättä järkevää, koska säättösaloajituksen toteutustavat mm. automaattisäätö mukaan lukien kehittyvät.

WAM2: Säättösaloajitus nurmen viljelyyn. Kuten WAM1, mutta säättösaloajitettu turvemaiden ala, jota voidaan käyttää nurmien viljelyyn niillä tiloilla, joille se sopii, kasvaa 30 000 ha tasolle vuoteen 2050. Muutos on hidas, koska vaatii investointeja ja investointiavustusta, sekä palkkiota vedenpinnan todennetusti ylhäällä pitämiseksi (30 cm vuoden aikana keskimäärin). Säättösaloajitetulla pellolla voidaan viljellä myös erilaisia kosteikkokasveja ruoka- tai muuhun käyttöön sitä mukaa kuin maataloustukilepoisten kosteikkokasvien markkinat (esim. järvi-ruoko kasvualustaksi, ruokohelpi kuivikkeeksi, tai pensaskarpalo elintarvikkeeksi) kehittyvät.

Tarvittavat kannustimet ja ohjauskeinot: Jo nyt säättösaloajitukselle maksetaan 40 % investointiavustusta. Lisäksi tarvitaan riittävä, esim. noin 200 eur/ha (WAM1) tai 300 eur/ha (WAM2) vuotuinen palkkio huolto- ja säätökustannusten ja mahdollisten tulonmenetysten korvaamiseen. Tämän vastapainoksi viljelijän todennettava se, että vedenpinta vuoden aikana keskimäärin noin 30 cm.

5.3.5 Viljelykäytöstä poistaminen

Tuotantokäytöstä poistuneita, entisiä turvepeltoja (jotka eivät luokituta metsämaaksi, vaan ns. ruohikkoalueiksi kasvihuonekaasuinventaariossa; Tilastokeskus 2020) on Suomessa noin 67 000 ha (2018: 66 900 ha). Nämä eivät sisälly viljelyksessä oleviin turvemaihin, joita on noin 260 000 ha (2018).

WAM1: Viljelykäytöstä kokonaan poistettu, hylätty heikkotuottoinen turvepelto lienee varmin ja edullisin tapa laajassa mittakaavassa vähentää paljon khk-päästöjä verrattuna vaihtoehtoihin kuten säättösaloajitukseen, metsitykseen ja ennallistamiseen, joiden onnistuminen

kohtuullisen kustannuksien ei ole aina varmaa. Siksi oletetaan, että hylätyn turvepellon ala kasvaa runsaan 69 000 ha tasolta vähitellen 56 000 ha vuosina 2020-2050 aina tasolle 125 000 ha vuoteen 2050. Tämä muutos tapahtuu hitaasti ja lineaarisesti koska turvemaita monin paikoin tarvitaan tuotantokäytössä vielä pitkään ja lähinnä hylätään keskimääräistä huonompia peltoja.

WAM2: Samat oletuksen tältä osin kuin WAM1-skenaariossa.

Tarvittavat kannustimet ja ohjauskeinot: Huonojen turvemaiden viljelykäytöstä poistamiseen voidaan kannustaa maksamalla määräaikaista alenevaa kompensatiota vastineeksi sille, että pelto jätetään maatalouskäytön ulkopuolelle koskemattomaksi ja sille ei makseta maataloustukia. Tuen suuruus olisi aluksi vain vähän matalampi kuin nykyisten peltoalatuokien, mutta ainakin vuotuisen kesannonhoitokustannuksen (40-80 eur/ha) verran alempi kuin maataloustukien (CAP-tuen, LFA-tuen ja ympäristökorvauksen perusosan) yhteenlaskettu arvo. Muutaman vuoden jälkeen maksu vähenisi nollaan runsaassa 10 vuodessa. Jos viljelijän saama tuki loppuu liian aikaisin kokonaan, se ei nouse edes heikkotuottoisilla mailla paremmaksi vaihtoehdoksi kuin pellon pitäminen ojitettuna tuotantokäytössä tai kesannolla.

Hylätyille pelloille maksettava kompensatio aluksi on tarpeen siksikin, että WAM1-skenaariossa vain pienelle osalle nykyisestä kesantoalasta maksetaan tukea, lähinnä monimuotoisuus-kesannoille. WAM2-skenaariossa turvemaiden kesantojen tukikelpoisuus päättyy kokonaan 2030-luvulla. Liian korkea ja pitkäkestoinen tuki pellon hylkäämisestä sen maatalousta luopumisen vastapainona voi kuitenkin johtaa ei-toivottuihin ilmiöihin, kuten nopeaan hylätyn peltoalan kasvuun ja kompensatiobudjetin ylittymiseen. Siksi kompensatian tulisi olla määräaikainen ja tähän varatun julkisen vallan varaaman vuosibudjetin rajallinen. Tarkempi ohjauskeinon suunnittelu vaatisi useampia tarkempia laskutoimituksia erilaisissa tilanteissa.

5.3.6 Turvemaiden metsitys

WAM1: Turvemaiden metsitys. Metsitykseen menisi huonotuottoisia ohutturpeisia turvemaita vain 10 000 ha vuoteen 2050, eli vain 333 ha/vuodessa keskimäärin. Tällainen ala huonoja turvemaita jakautuen eri osiin maata ei muuttaisi olennaisesti maisemaa eikä luonnon monimuotoisuutta, eikä aiheuttaisi ilmaston lämpenemistä kiihdyttävää albedo-vaikutusta. Turvemaiden metsittäminen hyväkasvuiseksi ja hyvälaatuiseksi metsäksi on usein vaikeaa ja kallista. Luken Pelto-Optimi-työkalu löysi 9000 ha metsitettävää alaa – ehkä viljelijät löytävät tietyn metsityspalkkion saadakseen 10 000 ha metsitettävää alaa huonoimmille ohutturpeisille pelloille. Tämä ei ole vielä laajamittaista metsittämistä vaan ainoastaan 333 ha/ vuosi, joka ei tulisi valtiolle kalliiksi, mutta voisi olla maanomistajalle perusteltu ja mielekäs ratkaisu joissain tapauksissa. Tämän pienimuotoisen metsityksen merkitys kasvihuonekaasupäästöille on vähäinen aina 20 vuoteen asti metsityksestä, mutta tuottaa merkittävän päästövähennyksen sen jälkeen. Tämä metsitetyn alan kasvu on hidasta ja etenee lineaarisesti.

WAM2: Turvemaiden metsitys. Metsitykseen huonotuottoisia ohutturpeisia turvemaita 20 000 ha vuoteen 2050, eli 666 ha/vuodessa keskimäärin.

Tarvittavat kannustimet ja ohjauskeinot: Heikkotuottoisten ja pitemmän päälle tarpeettomien turvemaiden metsitys ei ole viljelijälle taloudellisesti mahdollinen tai johdonmukainen päätös, ellei maataloustukien menetystä osittain korvata, ja lisäksi merkittävää osaa metsityskustannuksista. Viimeksi mainitut voivat nostaa jopa yli 2000 eur/ha tasolle, koska

turvemaiden metsitys on ohutturpeisillakin mailla usein vaikeaa ja työlästä (merkittävä täydennysistutusten ja heinäntorjunnan tarve). Maa- ja metsätalousministeriössä valmisteltiin metsitysohjelmaa kesällä 2020.

5.3.7 Ennallistaminen ja kosteikkoviljely

Turvepellon onnistunut ennallistaminen ei ole helppoa eikä se ole läheskään aina mahdollista. Se edellyttää sopivia topografisia ja hydrologisia olosuhteita. Jotta vedenpinta pysyisi koko ajan korkealla ja suurin khk-päästöjen väheneminen toteutuisi, vettä oltava saatavilla tasaisesti ympäri vuoden, myös kasvukaudella, ettei vedenpinta laske ja turpeen hajoaminen hiilidioksidiksi käynnisty. Vettäminen ei saa haitata naapuripeltoja tai toisen maanomistajan metsämaita, ellei päätetä yhdessä ennallistaa isompaa alaa.

On hyvin vaikea arvioida, kuinka paljon Suomessa on sopivaa ennallistettavaa turvepeltoa hydrologisesti ja topografisesti ennallistamiseen soveltuvassa paikassa. Syksyllä 2019 valmistuneessa opinnäytetyössä (Oksala 2019) tarkasteltiin mahdollisuuksia turvepeltojen vettämiseen kahdella Pohjois-Pohjanmaan tapausalueella. Työssä otettiin huomioon peltoja ympäröivä topografia (maan pinnan muodot ja korkeuden vaihtelu) ja hydrologiset olosuhteet eri vuosina. Vaikka vettämiseen muuten soveltuvia syväturpeisia (turvekerros yli 60 cm) peltoja tapausalueilla olikin merkittävä osuus alueen peltoalasta, syväturpeisista peltolohkoista vain runsas 9 % todettiin vettämiseen sopiviksi (Oksala, s. 54). Tämä johtui paitsi lähiympäristön vedenvirtaamien riittämättömyydestä ja ympäristön topografiasta, myös siitä, että vettävien peltolohkojen sisäinen korkeusvaihtelu ja kaltevuus tulee olla hyvin vähäistä, jotta vedenpinta voitaisiin pitää jatkuvasti lähellä maanpinnan tasoa, mikä on edellytys turpeen hajoamisen siten hiilidioksidipäästöjen synnyn estämiselle. Jos peltolohkon tai laajemman vetettävän alueen sisällä on kaltevuuksia ja korkeuseroja, merkittävä osuus ennallistettavasta pellostaa jää osittain kuivaksi ja silloin turvemaan hajoamisen jatkuu. Tällöin ennallistamisen uhratut panokset ja kustannukset eivät tuota aiottua päästövähennystä, ja seurauksena voi olla myös muita kielteisiä ilmiöitä erityisesti silloin kun vesimäärä ja mahdollinen läpivirtaus alueen läpi on suurta (kuten keväällä tai sateisina syksyinä ja märkinä talvina).

Vaikka parin esimerkkialueen tulosten yleistäminen on ongelmallista, tämä työ (Oksala 2019), jossa käytettiin parasta saatavilla olevaa topografista ja hydrologista mallinnusta kasvukauden aikainen haihdunta huomioon ottaen, antaa aihetta varovaisuuteen arvioitaessa ennallistamiseen sopivaa peltoalaa. On mahdollista, että ennallistaminen tulee vaikeaksi ja kalliiksi onnistuneesti toteuttaa, jos olosuhteet eivät ole sopivat. Siksi varovaisuus on tarpeen arvioitaessa ennallistamisen mahdollisuuksia laajassa mittakaavassa kaikilla alueilla. Tämä ei tarkoita sitä, etteikö paikoin ennallistamiseen sopivia turvepeltoja voisi olla merkittävä osa alueen pelloista. Tässä tarvitaan kuitenkin lisätutkimuksia, jotka eivät ole lyhyellä aikavälillä helppoja toteuttaa.

WAM1: Ennallistetaan vettämällä eli nostetaan vedenpinta lähes maan pinnan tasolle (0-5 cm) pysyvästi noin 35 000 ha alalla vuoteen 2050. Osan tästä alasta voidaan käyttää kosteikkoviljelyyn (esim. 10 000 ha) soveltuvien osien ja markkinoiden kehityksen mukaan. WAM1-skenaariossa oletetaan, että ennallistettava ala kasvaa hitaasti ja lineaarisesti tasolle 35 000 ha vuosina 2021-2050 eli noin 11 300 ha/ vuodessa keskimäärin. Jos tähän varataan riittävästi varoja, ennallistetun alan kasvu voi olla nopeampikin ja tavoitteesta osa, esim. helpoimmat tapaukset, toteutua jo aiemmin.

WAM2: Oletetaan, että turvemaita voidaan onnistuneesti ennallistaa 57 000 ha vuoteen 2050 mennessä (yli 1000 ha / vuodessa) niin, että saadaan aiottu suuri päästövähennys hehtaaria kohti. Ennallistaminen tulisi kuitenkin todennäköisesti kalliimmaksi hehtaaria kohti 35 000 ha ylittävältä osalta kuin WAM1-skenaariossa.

Tarvittavat kannustimet ja ohjauskeinot: Koska päästövähennykset ennallistetulta alalta ovat suuria (20-30 t CO₂ ekv./ha), tuntuvat kannustimet ovat perusteltuja. Ensinnäkin maataloustuen menetys ennallistetun pellon osalta tulee osittain korvata viljelijälle, mutta ei kuitenkaan kokonaan, koska tukikelpoisuuteen kuten ojitukseen ja viljelykunnan ylläpitämiseen liittyy myös kustannuksia. Esimerkiksi 400 eur/ha tasolta vuosittain 40 eur/ha aleneva maksu 10 vuoden ajan voisi olla yksi vaihtoehto korvaustasoksi ja mahdollisesti viljelijää tyydyttävä, jos ennallistetulle pellolle maksetaan lisäksi esim. 200-300 eur/ha vuotuisia hoitokustannuksia. Lisäksi tarvitaan täysimääräinen korvaus ennallistamisen kustannuksista, jotka voivat vaihdella noin 700 eur/ha muutamiin tuhansiin euroihin hehtaaria kohti (RATU-hanke). Tämänkaltaisessa asetelmassa päästään ainakin hyvin lähelle sitä tavoitteen mukaista asetelmaa, että viljelijälle ei koidu tulonmenetyksiä ennallistamisesta. Samalla yhteiskunta säästää rahaa maksetun maataloustuen ja vuotuisen hoitopalkkion muutokset huomioiden, ja saavuttaa päästövähennyksiä. Tuntuva kannustin ennallistamiseen voidaan myöntää myös yhteishankkeisiin – jopa korotettuna.

Jotta ennallistaminen olisi mielekäs vaihtoehto viljelijälle ja maanomistajalle, ennallistaminen edellyttää tuntuva korvausta perustamiskustannuksista ja hoitokustannuksiin riittävän vuotuisen palkkion. Päätuote olisi kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen.

Ennallistamiskohteita voitaisiin tukea julkisin tai yksityisin varoin myös tarjouskilpailujen kautta tietyt laatu- ja todentamiskriteerit asettamalla.

5.3.8 Turvemaiden raivaus pelloksi

Uusien peltöjen raivaaminen turvemaista viljelykäyttöön johtaa vuosikymmeniksi suuriin khk-päästöihin. Muiden khk-päästöjä vähentävien toimien vaikutukset voivat varsin pitkälle kumoutua sillä, jos turvemaiden ojitus ja raivaus jatkuu yli 1000 ha vuositason (Luken arvio raivatusta turvemaiden alasta on 932 ha vuonna 2018). Siksi turvemaiden raivauksen ja ojitamisen vähentäminen on keskeinen osa pitkän aikavälin ilmastotiekarttaa.

Nykyinen maatalouspolitiikan asetelma ja nopea maatalouden rakennekehitys (jota on osin vauhditettu julkisin varoin maksetuilla investointituilla) on johtanut 2000-luvulla monin paikoin kasvaneisiin pellonhankinnan kustannuksiin (Kässi ym. 2015). Kasvavien maatilojen kannattaa usein hankkia lisämaata kohtuullisen etäisyyden päästä isoina lohkoina. Turvemaat ovat hyvin mahdollisia raivattavia, joskaan eivät aivan edullisia (kustannus noin 5000 eur/ha). Vaikka uusille raivioille ei makseta maataloustukia, kasvavilla kotieläintiloilla pellonraivaus on joissain tapauksissa edullisin tai käytännössä ainut mielekäs tapa hankkia lisämaata viljelykseen. Näin ollen asetelma, jossa turvemaita edelleen, ainakin vähäisessä määrin, raivataan pelloksi, ei ole ilman merkittäviä toimia pysyvästi vähenemässä eikä etenkään kokonaan loppumassa ilman merkittäviä politiikkatoimia.

WAM1: Turvepeltöjen raivaus pidetään melko vähäisenä. Uusia raivioita vuosittain 800 ha (arvio vuonna 2018: 932 ha, aiemmin 1000-3000 ha/ vuosi), ohutturpeisten poistuma 500 ha/vuosi. Tämä tarkoittaisi sitä, että turvepeltöjen ala kasvaisi 300 ha / vuosi ja noin 9000 ha vuoteen 2050 lineaarisesti.

WAM2: Turvepeltojen raivaus loppuu pian. Turvepeltojen raivaus 800 ha/ vuodessa vielä 2021 ja 600 ha 2022, mutta loppuu kokonaan 2023.

Tarvittavat kannustimet ja ohjaukset: WAM1-skenaariossa joudutaan eri keinoin hillitsemään turvemaiden raivausta pelloksi, mikä pitää raivatun alan tasolla alle 1000 ha/ vuodessa, noin 800 ha/vuosi. Pieni raivausmaksu, esim. 500-1000 eur/ha voisi jo hillitä raivausta etenkin tapauksissa, jossa raivaus ei ole tilan elinkelpoisuudelle välttämätön. On myös mahdollista, että biokaasun ja lannan prosessoinnin ja ravinnekierrätyksen edistäminen, samoin kuin tilusjärjestelyjen lisääminen pitäisi pellonraivauksen vähäisenä, enintään 800 ha/ vuosi suuruisena. Toinen mahdollisuus turvemaiden raivausta ainakin osittain hillitseväksi ohjaukseksi olisi CAP:n mahdollisuudet asettaa turvemaille rajoituksia suorien tukien saannille riippuen siitä, milloin ovat olleet viljelykelpoisia. Uusilta raivioilta voitaisiin esim. vaatia nurmipeitteisyyttä suorien tukien saamiseksi. Tämä todennäköisesti estäisi turvepeltojen raivaamiseksi yksivuotisille kasveille, mutta ei edelleenkään turvemaiden raivausta nurmirehun tuottamiseen, joka on pienimuotoisena jatkunut tuotantoon laajentavilla lypsykarjatiloihin ilman raivioille maksettavia tukiakin. Tämän vuoksi erillisen raivausmaksun, ts. kaikelle metsänhävitykselle määrättävän maksun, määrääminen näyttäisi tarpeelliselta, jos turvemaiden raivaus pelloksi halutaan pitää hyvin vähäisenä (esim. enintään 800 ha/vuodessa tai vähemmän).

WAM2-skenaariossa raivauksen loppumiseen päästään 2021-2022 käyttöön otettavalla tuntuva raivausmaksulla, joka on vuosien yli kiristynyt. Joitakin soita raivataan vielä pelloiksi "tosin tarpeeseen" 2021 ja 2022, mutta kiristynyt maksu tekee pellonraivauksen pian tappiolliseksi. Raivausmaksun, esim. "suomaiden metsänhävitysmaksun" tai yleisen "metsänhävitysmaksun" kaikelle metsänhävittämiseen joutuisivat maksamaan kaikki toimijat, jotka luonnontilaisia tai jo ojitettuja turvemaita tai muita maita raivaavat. Tuntuva raivausmaksu on perustellumpi kuin ehdoton raivauksen kieltäminen (jonka laillisuus voidaan myös haastaa tuomioistuimissa), koska eri toimijoilla voi olla tarpeita vahvasti perusteltuja syitä pienialaiseen raivaukseen.

5.4 Hiilensidonta ja sen edistäminen kivennäismailla

WEM: Kivennäismaiden hiilipitoisuudessa ja hiilensidonnassa ei odoteta merkittäviä muutoksia laajassa mittakaavassa, koska pellonkäyttö pysynee pääosin entisellään eivätkä satot nousse.

WAM1: Nurmisatojen ja nurmibiomassa kasvu tuotantonurmilla, viherlannoitusnurmien ja biokaasunurmien alan kasvu sekä palkokasvien ja öljykasvien alojen kasvu, samoin kuin ympäristökesantojen alan kasvu johtaa viljanviljelyalan vähentyessä kivennäismaiden hiilensidonnassa lisääntymiseen. Tähän myötävaikuttaa myös kerääjäkasvien alan kasvu 250 000 ha WAM1-skenaariossa. Kivennäismaiden hiilitase muuttuu siten, että siitä aiheutuu kivennäismaiden hiilidioksidipäästöissä merkittävä muutos päästöstä nieluksi. Kivennäismaat olivat päästölähde 0,5 Mt CO₂ ekv. vuonna 2017 ja 1,37 Mt CO₂ ekv. suuruinen päästölähde vuonna 2018. WAM1-skenaariossa saavutetaan em. pellonkäytön muutosten seurauksena yhteensä 2 Mt CO₂ ekv. suuruinen muutos jo vuoteen 2035. Koska pellonkäytön muutos viljalta ja tuotantonurmilta kesannoiksi tapahtuu 2020-2035 ja pellonkäyttö pysyy sen jälkeen likimain ennallaan vuoteen 2050, kivennäismaat pysyvät nettohieluina noin 1,5 Mt CO₂ ev. verran vuosittain vuoteen 2050. Tästä on tehty erilliset laskelmat Yasso07-mallilla Lukessa.

Kerääjäkasvit: Kerääjäkasviala nousee WEM-skenaarion tasolta 120 000 ha => 370 000 ha tasolle eli lisäystä yhteensä 250 000 ha asteittain. Lisäksi tuotanto- ja kesantonurmien sato ja biomassa kasvaa WEM-skenaarion tasolta 10 % (20-25 % 2010-2018 keskiarvosta) 2020-2050. Tätä voidaan hyödyntää soveltuvien osin biokaasutuotannossa tai rehuksi. Koska WAM1-skenaariossa maatalouden kokonaistuotanto on kotieläintuotteissa kuitenkin likimain sama kuin WEM-skenaariossa, eli odotettavissa olevilla melko heikoilla hintasuhteilla (OECD-FAO 2019) tuotanto ja myöskään pellonkäyttö eivät muutu.

Nurmisadon nousu 10 % 2020-2035 ja 15 % 2020-2050 parantaa nurmiperustaisen maataloustuotannon ilmastokestävyyttä, koska säiden ja satovuosien välinen vaihtelevuus kasvavat ja silloin on eduksi, jos kuivien vuosien varalle on suuremmalla todennäköisyydellä nurmirehua varastossa ylijäämärehuna. Lypsykarja- ja muilla nautakarjatilastoilla on yleensä enemmän rehualaa käytössä kuin keskimääräisenä satovuonna tarvitaan, ja tämä on melko toimiva, vaikka joissain määrin kallis tapa suojautua huonojen satovuosien riskeiltä (nämä riskit eivät näyttäisi olevan kasvussa, jos nurmen satotaso kasvaa; Kassi ym. 2015b). Ylijäämärehua voidaan hyödyntää ainakin vuosina, jolloin sadot ovat lähellä keskisatoja, biokaasutuotannossa. Nurmibiomassa kasvu antaa melko suuren mahdollisuuden biokaasutuotannon laajentamiselle jo WAM1-skenaariossa. Tämän voidaan olettaa pätevän myös WAM2-skenaariossa.

WAM1-skenaarion pellonkäyttö- ja viljelymuutosten seurauksena typpilannoituksen tehokkuus kasvaa ja epäorgaaninen typpilannoitus laskee 2019 tasolta (runsas 150 milj. kg) tasolle 120 milj. kg. Lisäksi biokaasun yhteydessä tehostuva ravinnekierto biokaasunurmiseen voi vähentää epäorgaanisen typpilannoituksen tarvetta 8 milj. kg vuosittain.

WAM2: Kerääjäkasvit: Kerääjäkasviala nousee 120 000 ha => 620 000 ha tasolle eli lisäystä yhteensä 500 000 ha asteittain.

Biokaasulaitosten syötteenä kasvatettavan nurmen ala kasvaa, pääosin savimailla Etelä-Suomessa, 150 000 ha tasolle 2020-2050.

Näiden toimien seurauksena kivennäismaiden hiilinielu kasvaa tasolle 1,66 Mt CO₂ ekv./vuosi. (WAM1: 1,5 Mt CO₂ ekv./vuosi). Lisäksi erilaisin tehostetun hiilensidonnan keinoin tavoitellaan tasoa 5 Mt CO₂ ekv./vuosi.

Nurmisato, tai ainakin sen potentiaali, on WAM2-skenaariossa WAM1-skenaarion tasolla. Nurmen sato on WAM1-skenaariossa noussut jo niin paljon (10 % v. 2020 tilanteesta vuoteen 2035 ja 15 % vuoteen 2045), että enempi sadon kasvattaminen koko maan tasolla keskimäärin ei välttämättä ole realistista tai taloudellisesti järkevää entisessä maatalouspolitiikan ja markkinoiden asetelmassa. Molemmissa WAM-skenaarioissa hyödynnetään lisääntyneen biokaasun tuotannon seurauksena syntynyttä mädätettä maanparannusaineena ja saavutetaan merkittäviä ravinnekiertohyötyjä. Biokaasun yhteydessä tehostuva ravinnekierto biokaasunurmiseen voi vähentää epäorgaanisen typpilannoituksen tarvetta edelleen noin 9 milj. kg.

WAM2-skenaariossa herneen ja muiden palkoviljojen satoisuuden kasvu nousee vielä 10 % WAM1-skenaariota korkeammaksi 2020-2050. Tämä saattaa olla mahdollista, koska palkokasvien on arvioitu hyötyvän erityisesti lämpimistä keväistä heinäkasveja enemmän, etenkin kun suuressa osassa Suomea kasvukauden lyhyys ja lämpösumman vähäisyys ovat keskeiset satotasoa rajoittavat tekijät.

Edellä mainittujen lisäksi löydetään uusia toimia tehokkaaseen hiilensidontaan kivennäismailla. Näiden löytäminen on suuri tutkimuksellinen ja käytännön viljelyä koskeva haaste. Keinot täsmentyvät tutkimuksen ja kokeilujen kautta. Eri tutkimus- ja kehityshankkeiden kautta hiilensidontaan ja maan kasvukuntoon kivennäismailla tähtäävä toiminta ja sen piirissä kokemuksiin jakava viljelijäyhteisö on tärkeässä osassa haettaessa ratkaisuja ja hyviä käytäntöjä (Carbon Action 2020). Keväällä 2020 loppuraportoitu OSMO-hanke (2020) kokoaa tietoa ja viljelijäkokemuksia maan kasvukunnon parantamiseksi. Melko helposti käyttöön otettavia maata kuohkeuttavia ja hiiltä sitovia syväjuurisia kasveja ovat mm. puna-apilla, ruokonata, raiheinä (suuri juurimassa), sinimailanen, härkäpapu, koiranheinä, syysrypsi, kumin ja kuituhamppu. Monien em. kasvien markkinat ovat kuitenkin rajalliset. Mahdollisuudet hyödyntää satoa maatilalla ovat rajalliset. Kysymykseen voivat tulla myös erilaiset viherlannoitusnurmet ja peltomaan saneerauskasveina käytetyt öljyretikka, apilat, ruokonata ym. joiden satoa ei välttämättä korjata vaan jätetään maan hiilisyötettä lisäämään. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää myös hyvinkin monilajisia siemenseoksia. Koska maatilojen tarpeet ja mahdollisuudet ovat erilaisia, tarvitaan entistä enemmän maataloilla sovelluskelpoisia esimerkkejä viljelykiertovaihtoehdoista ja menetelmistä hiilensidontaan ja maan kasvukunnon parantamiseen.

Kesannot ovat usein laajaperäisesti hoidettuja nurmialoja, joiden biomassan tuotto on alhainen. Kesantoja voitaisiin hiilensidontatarkoituksessa hoitaa selvästi tavoitteellisemmin ja intensiivisemmin jo pelkästään monipuolistamalla lajiseoksia ja lisäämällä niittokertoja. Näin kesantomaiden kasvukuntoon voitaisiin kiinnittää huomiota kasvien kasvun tehostamiseksi (Joona & Mattila 2020).

Viljelyn monipuolistamisen vaihtoehtoja viljelijöille esikasviarvot huomioon ottaen erilaisine tilakohtaisine viljelykiertoehdotuksineen ja katelaskelmineen tarjoaa Luken Taloustohtori -portaalin Viljelykierto-työkalu (Peltonen-Sainio & Nurmi 2020). Kerääjäkasveista on julkaistu oppaita, esim. *Kerääjäkasvit*¹. Maataloilla suoraan sovellettavia työkaluja ja apuneuvoja viljelyn monipuolistamiseksi on siis tullut ja edelleen tulossa tarjolle ja käyttöön.

Tärkeää hiilensidontan edistämisessä on löytää sellaiset kivennäismaalajia olevat pellot, joiden hiilipitoisuus on alhainen. Tällaiset pellot voivat olla esimerkiksi jo vuosisatoja sitten viljeltyyn otettuja peltoja, tai muita peltoja, joilla on viljelty viime vuosikymmeninä pääosin yksivuotisia kasveja. Näillä pelloilla hiilipitoisuuden kasvattamiseksi tulisi toteuttaa edellä mainittuja toimia. Hiilen kertymistä maaperään tulee mitata ja seurata useita vuosia sekä pinta-että pohjamaasta ennen kuin voidaan todeta hiilipitoisuuden muuttuneen.

Kansainvälisesti paljon huomiota ja keskustelua synnyttänyt 4 per mille (4 per 1000) aloite pyrkii kunnianhimoiseen hiilensidontaan maatalousmailla (Minasny et al. 2017, FAO 2017). Koko maatalouden tasolla on kuitenkin Luken näkemyksen mukaan vielä ennen aikaista sanna, missä määrin kivennäismaiden hiilipitoisuuden kasvattaminen edesauttaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä (Liite 2). Tämä selviää vasta useiden vuosien ja vuosikymmenten kuluessa, jos hiiltä lisääviä toimia tehdään laajamittaisesti ja maan hiilipitoisuutta asianmukaisesti seurataan. Hiilensidonnalle kivennäismailla voidaan asettaa tavoitteita, mutta on vaikea arvioida, millaiset tavoitteet olisivat koko maan mittakaavassa realistisia saavuttaa. Ilmaston lämpeneminen voi etenkin pohjoisissa olosuhteissa lisätä maan hiilipäästöjä.

Tämän vuoksi ei ole järkevää luottaa yksinomaan siihen, että kivennäismaiden hiilensidonta olisi pääasiallinen ratkaisu vähentää merkittävästi maatalouden kasvihuonekaasupäästöjä.

Hiilensidonta kivennäismailla voi silti olla yksi tärkeä keino muiden mukana vähentää maatalouden ilmastovaikutuksia, etenkin jos hiilensidontaa tavoitteellisesti kehitetään. Tulevina vuosina uusi tutkimusnäyttö voi antaa lisää keinoja ja mahdollisuuksia hiilen kerryttämiseen maaperään. Tähän kohdistuvat suuret toiveet ja odotukset.

Tarvittavat kannustimet ja ohjaukset: Tarvitaan tukea kerääjäkasvialan, viherlannoitusnurmien ja erilaisten saneerauskasvien viljelyyn. Nämä tuet voivat olla hehtaarikohtaiselta tasoltaan etenkin WAM2-skenaariossa korkeampia kuin viime vuosina. Laajassa useiden satojen hehtaarien mitakaavassa näihin tukeen kuluva resurssi olisi kymmeniä miljoonia euroja vuosittain. Biokaasulaitosten rakentaminen ja ravinnekierrätyksen järjestäminen edellyttää sekin runsasta tukea investointiavustuksiin, jota on erikseen tarkasteltu seuraavissa osioissa.

5.5 Kivennäismaiden metsitys

Tällä toimella saataisiin huonoimpia kivennäismaita metsitettyä. Metsitykseen tarvitaan metsityspalkkioita, koska viljelijä menettää maataloustuet metsitetyltä alalta ja maksaa metsityskustannukset. Tässä ei ole otettu huomioon kasvun ja hiilensidonnän merkittävää kasvua 20 vuotta metsityksestä. Kuuselle metsitys aiheuttaa merkittävämmän albedo-vaikutuksen kuin lehtipuut tai neulasensa pudottavat havupuut. Albedo-vaikutus syntyy, kun kasvusto ei heijasta auringon säteilyä kuten etenkin lumipeitteinen maa ja tämä lämmittää ilmakehää ja edistää ilmaston lämpenemistä. Albedo-vaikutuksen suuruus ja merkittävyys suhteessa muihin metsittämisen ilmastovaikutuksiin on kuitenkin epävarma ja tuleva tutkimus saattaa tuottaa uusia tuloksia².

WAM1: Metsitysalaksi oletetaan 15 000 ha yhteensä vuosina 2020-2035 ja toiset 15 000 ha 2035-2050 jakautuen pääosin Etelä- ja Itä-Suomeen soveltuvien osien vapaaehtoisesti viljelijöiden harkinnan mukaan. Hiilen sitoutuminen maahan olisi ensimmäisen 20 vuoden aikana noin 0,33 t C/ha/vuosi (0,2-0,46 t/ha; 0,7 – 1,7 t CO₂ ekv./ha) eli noin 1,2 t CO₂ ekv/ha/v. Tällöin 100 000 ha metsitettyä kivennäismaata tuottaisi kuitenkin vain 0,12 Mt CO₂ ekv/vuosi ja 30 000 ha vain noin 0,04 Mt CO₂ ekv. vuodessa. Yli 20 vuotta metsityksestä metsän kasvu ja hiilen sidonta maahan lisääntyvät merkittävästi. Nämä vaikutukset eivät vielä ehdi toteutua täysimääräisesti vuoteen 2050.

Metsittäminen voisi sopia niille kivennäismailla, jotka sopivat huonosti viljelyyn ja joilla kessannointi tehostetullakin hiilensidonnalla on epävarmaa. Esimerkiksi alle 100 vuotta sitten raivatuista pelloista vapautuu edelleen merkittäviä määriä hiiltä ilmakehään, jonka vuoksi osa kivennäismaiden nurmistakin on Suomessa päästölähteitä (Akujärvi ym. 2014). Näiden palauttaminen metsäksi voi olla sopiva ratkaisu, joka vaatii kuitenkin kannustimia.

WAM2: Kivennäismaiden metsitys laajamittaisena

Metsitys on tuplasti laajamittaisempaa WAM2-skenaariossa kuin WAM1-skenaariossa. Metsitykseen vapaaehtoisesti pääasiassa huonompia maita. Tällöin huonotuottoisia kivennäismaita metsitettäisiin 30 000 ha jo 2020-2035 ja 60 000 ha vuoteen 2050. Tällöin päädyttäisiin noin 0,04 Mt CO₂ ekv. päästövähennykseen vuositasona vuoteen 2035 ja yli

kaksinkertaiseen päästövähennykseen 0,08 Mt CO₂ ekv. vuoteen 2050. Tässä ei ole otettu huomioon kasvun ja hiilensidonnan merkittävää kasvua 20 vuotta metsityksestä.

Tarvittavat kannustimet ja ohjauskeinot: Viljelijälle on perusteltua korvata tuottokyvyltään huonojenkin kivennäismaalajia olevien peltojen metsityksestä aiheutuva maataloustuen menetys suurelta osin, etenkin alkuvuosina metsityksestä. Tämä tulonmenetyskorvaus voi kuitenkin laskea vuosien kuluessa ja loppua runsaan 10 vuoden jälkeen. Liian suuri ja pitkäkestoinen tuki ei ole perusteltua etenkään, jos se johtaa sellaisten kivennäismaiden metsitykseen, joille olisi kysyntää peltomaamarkkinoilla.

Koska kivennäismaan metsitys ei johda yhtä suuriin khk-päästöjen vähenemiseen kuin turvemaiden metsitys, metsityspalkkio kivennäismailla olisi perustellusti alhaisempi kuin turveilla. Kivennäismaiden metsitys voi olla sekin työlästä ja se voi siksi maksaa enemmän kuin metsätaloudessa hakkuualojen istutus. Kustannukset voivat nousta 1500-2000 eur/ha tasolle. Kivennäismaiden onnistuneesta metsityksestä voidaan odottaa suurempaa tuottoa kuin turvemaiden metsityksestä, tosin tuotot ovat vähintään 30 vuoden päässä.

WAM2:ssa tarvitaan tuntuvammat metsityspalkkiot hehtaaria kohden ja kokonaisuutena kuin WAM1-skenaariossa, jotta päästään 60 000 ha tasolle kivennäismaiden pelloilla 2020-2050.

5.6 Energia ja biokaasu

Maa- ja puutarhatalous kulutti vuonna 2016 energiaa 11,38 TWh (Luonnonvarakeskus 2020h), mikä oli 3 % Suomen kokonaiskulutuksesta. Energiaa kului muun muassa maatalan tuotantotilojen lämmitykseen, viljan kuivaamiseen, traktorien ja muiden koneiden polttoaineisiin, lämmitykseen puutarhataloudessa (Luonnonvarakeskus 2020g) sekä muuhun toiminnan harjoittamiseen. Sähköä kului 1,727 TWh, puuhaketta 3,017 TWh ja moottoripolttoöljyä 2,451 TWh. Näiden lisäksi käytettiin polttoöljyä viljankuivaukseen 723 GWh, lämmityspolttoöljyä 203 GWh, palaturvetta lämmitykseen 475 GWh, peltoenergiaa lämmitykseen 350 GWh sekä ostettua lämpöenergiaa 550 GWh ja raskasta polttoöljyä 201 GWh (Luonnonvarakeskus 2020h). Kuluttamastaan sähköstä maataloudessa tuotettiin 0,014 TWh ja lämmityspolttoöljyn käyttö oli laskussa lähinnä puuenergian sitä korvattaessa. Puu- ja peltopohjaisen energian osuus oli 44 %.

WEM: hitaasti eteenpäin

Puubioenergian osuus maatilojen lämmityksessä säilyy vähintään ennallaan. Uudet uusiutuvat, kuten biokaasu, suora sähkölämmitys ja lämpöpumput, korvaavat pääasiassa fossiilista polttoöljyä, osin myös puuta energiaratkaisujen kehittyessä. WEM-skenaariossa niiden käyttöönotto on kuitenkin tehostuvia kannustimia sisältäviä WAM-skenaarioita hitaampaa.

Biokaasutuotanto tai ylipäätään lannan prosessointi nähdään pääsääntöisesti mahdolliseksi kotieläintuotannon rakennekehitykselle, jossa tilakoko kasvaa ja tuotannon alueellinen keskittyminen jatkuu. Erityisesti suurten lypsykarja- ja myös sikatilojen kestävä toiminnan edellytyksenä on nykyisestä kehittyvät ratkaisut hiilen ja ravinteiden kierrossa sekä päästövähennyksissä.

WEM-skenaarioissa ei kuitenkaan oleteta uusia ohjauskeinoja maatalouden biokaasutuotannon lisäämiseksi, jolloin lannan prosessointi ja biokaasutuotanto maatiloilla ja maatilojen materiaaleista edistyy vain hitaasti.

Olemassa olevista ohjauskeinoista MAKERA-investointituet ovat tärkein maatalouden biokaasutuotannon edistäjä. Maatilakokoluokassa ongelmana tosin on, että maatilojen investointitukea (40 %) ei saa laitokselle, joka myisi tilan oman tarpeen ylijäävää energiaa tilalta ulos. Tällöin olisi valittava maatalouden yritystuki, joka on tukitasoltaan alhaisempi (30 %). Tilanne ohjaa investoivia maatiloja esimerkiksi mitoittamaan CHP-tuotantoa oman sähkön-tarpeen mukaan, jolloin lämpöä muodostuu enemmän kuin tila tarvitsee ja sitä lauhdutetaan hukkaan. Mikäli tila voisi maksimoida energiantuotannon ja myydä ylijäävän sähkön ja lämmön, energiaa saataisiin enemmän paitsi maatalouden, myös muun yhteiskunnan käyttöön. Biokaasutuotannon lisääntymistä maatioilla hidastaa myös se, että tilamittakaavassa liikennebiokaasun tuotanto on nykytekniikoilla harvoin kannattavaa.

Tilakokoa suuremmissa maatalouden ulkopuolisissa laitoksissa investointitukea on saatavissa TEM:n energiatukena (maksimi 30 %; TEM 2020a) ja siihen on alettu sisällyttää myös ravinnekierron osuus biokaasulaitoksista. Ravinteiden kestävä käyttö on selvitettävä tukihakemuksessa, mutta mitään ehtoja sille ei ole selkeästi asetettu. Myös biokaasun polttoainekäytön jakeluinfrale on TEM:stä haettavissa investointitukea (TEM 2020b).

Ravannekiertojen edistämiseksi ei ole varsinaisesti erillisiä kannustimia, mutta lannoitus- ja säännellään ympäristökorvauksen tai lainsäädännön mukaan. Lisäksi ympäristökorvausjärjestelmässä on ollut tuki ravinteiden ja orgaanisten aineiden kierrättämiselle. Tuen käyttö on kuitenkin jäänyt vähäiseksi (Luostarinen & Laakso 2019) ja sitä muokattaneen uudelle ohjelmakaudelle. Lisäksi tarjolla on tutkimus- ja kehittämistoimiin hanketukia maa- ja metsätalousministeriön ja ympäristöministeriön hallinnoimana. Maatilat ovat voineet osallistua hankkeisiin, jotka voivat sisältää myös erilaisia vähäisiä investointeja.

Myös maataloudelle olennaisen käyttövoiman muutos kohti uusiutuvia energiamuotoja ja/tai energiatehokkaampaa tekniikkaa etenee WEM-skenaariossa hitaasti lähinnä suurimpien tilojen kuljetuskaluston uusimisen yhteydessä. Mahdollinen hankintatuki (kirjoitushetkellä tarkasteltavana) kaasukäyttöiselle raskaalle kalustolle saattaisi lisätä biokaasun hyödyntämistä tarvittavissa maatalouden kuljetuksissa.

Maatalouden energiatehokkuutta ei selkeästi tueta eikä tilojen energiankulutusta tunneta riittävän hyvin. Energiatehokkuutta lisäävien ratkaisujen neuvontaa on tarjolla, mutta sitä ei välttämättä käytetä riittävän laajalti tai sitä ei saa kohdennettuna juuri tarvitsemaansa osioon.

Maatilojen aurinkosähkön tuotanto kasvaa maltillisesti pääasiassa siipikarjatilojen, sikaloiden, kasvihuoneiden ja myös lypsykarjatilojen investoidessa aurinkopaneeleihin. Muussa kasvintuotannossa investointeja aurinkoenergiaan ei juuri tehdä, sillä tilojen oma energiantarve ei sitä tue ja sähkön tuotanto myyntiin ei ole kovin kannattavaa.

Aurinkosähkön tuet ja verotuskäytännöt pysyvät ennallaan. Aurinkosähkön käytön edistämiseksi ei ryhdytä lisätoimenpiteisiin, mutta aurinkovoimaloiden hintojen laskun myötä tiloilla on kuitenkin kiinnostusta investoida aurinkovoimaan. Vuoteen 2035 mennessä arvioidaan, että merkittävä osa muna-, liha ja maitotiloista sekä kasvihuoneista on hankkinut aurinkovoimalan. Voimaloiden kokoa kuitenkin rajoittaa se, että sähkö tulee käyttää lähes kokonaan omassa toiminnassa. Tämän seurauksena aurinkovoimalat kattavat vain 5-10 % tilan sähkönkulutuksesta. Viljatililla voimalat ovat harvinaisia, sillä sähköntarve ei sovellu aurinkosähkölle yhtä hyvin, kuin eläintiloilla ja kasvihuoneissa, joissa sähköntarve on kesäpäivienkin suurta. Silti noin viidennes viljatiloihin investoi aurinkovoimalaan. Vuoteen 2050

mennessä voimaloiden kokoa kasvatetaan. Tuotettu sähkö täytyy kuitenkin yhä käyttää lähinnä omassa kulutuksessa, mikä rajoittaa voimaloiden kokoa, eikä aurinkosähköllä kateta kuin noin 10 % kulutuksesta. Viljatilatkin investoivat aurinkovoimaan, mutta suhteellisen vähän.

WAM1: lisäkannustimet vauhdittamaan maatilojen energiantuotantoa

Biokaasutuotanto yleistyy erityisesti karjatiheillä alueilla uusien, mutta myös nurmiin pohjaten kasvintuotantoalueilla, nykytilasta kehittyvien kannustinten tukemana. Laitosinvestointeja tuetaan siten, että sekä maatilamittakaavan että keskisuuren ja suuren mittakaavan laitosten toteuttaminen mahdollistuvat. Investointituet mahdollistavat tilan oman tarpeen yli jäävän energian ulosmyynnin myös niillä maatilakokoluokan laitoksilla, jotka pääasiassa tuottavat energiaa tilan omaan käyttöön. Tämä vaatisi muutosta EU:n valtiontuen suuntaviivoissa.

Koska biokaasutuotannossa on olennaista huomioida myös mädätteen sisältämät ravinteet, ravinnekiertoa edistävien toimenpiteiden kannustimia kehitetään. Kannustimia toteutetaan sekä maatalouden syötteiden (etenkin lanta) ohjaamiseksi suurempiin biokaasulaitoksiin, jotka voivat jalostaa mädätteestä alueellisen ravinnekierrätyksen mahdollistavia kierrätyslannoitevalmisteita, että maatilojen biokaasulaitoksiin, joissa toteutetaan kestäviä ratkaisuja ravinteiden hyödyntämiseksi tilakohtaisesti ja/tai paikallisesti.

Biokaasun liikennekäytön lisäämiseen kannustetaan sisällyttämällä biokaasu jakeluvelvoitteeseen ja veroratkaisut tukevat biokaasun liikennekäyttöä. Jakeluvelvoitteeseen lisäämisellä ei kuitenkaan heikennetä biokaasun kilpailukykyä muussa käytössä (esim. lämmityksessä). Tämä lisää biokaasun kysyntää ja tukee myös maatalouden biokaasutuotannon kasvua. Lisäksi tarjolle tuodaan hankintatukea kaasukäyttöisten ajoneuvojen hankintaan etenkin julkisessa ja raskaassa liikenteessä. Valtio kehittää myös kannustimia ottaa biokaasua maakaasun tilalle teollisissa prosesseissa.

Suurimmat päästövähennykset saadaan biokaasun liikennekäytössä, ja se mahdollistaa maatalouden oman päästövähennyksen maatalouskäytössä sekä päästövähennyksen energiasektorilla muiden toimijoiden käytössä. Päästövähennykset voivat olla merkittävät myös teollisessa käytössä.

Maatalouden koneiden ja kuljetusten polttoaineiden käyttöä tehostetaan tukemalla mm. uusien, vähemmän kuluttavien traktoreiden hankintaa. Traktoreiden siirtymää uusiutuviin polttoaineisiin haetaan lähinnä polttoöljyn uusiutuvien komponenttien kautta, mikäli niitä on tarjolla kustannuskilpailukykyisesti. Myös koneiden ja muun kaluston leasing-ratkaisut yleistyvät ja niissä suositaan energiatehokkuutta ja uusiutuvan energian käyttöä. Logistiikkayritykset velvoitetaan käyttämään uusiutuvia polttoaineita (ml. biokaasu). Erityisesti suurten tilojen ja tilojen yhteenliittymien koneet ja kalustot siirtyvät kohti energiatehokkaampia ja uusiutuvia polttoaineita käyttäviä ratkaisuja kannustinten myötä.

Energiatehokkuuden parantamista tuetaan muutoinkin mm. investointituilla. Myös informaatio-ohjausta tehostetaan ja kohdennetaan parhaiden ratkaisujen käyttöönottamisen tueksi.

Aurinkosähkön odotetaan kasvavan perusuraa voimakkaammin maltillisten ohjauskeinojen tukemana. Aurinkovoimaloiden ylijäämäsähkön pääsyä markkinoille helpotetaan ja energia-yhteisöjen luominen tehdään mahdolliseksi lainsäädännöllisin keinoin, mikä parantaa suurempien voimaloiden taloudellista kannattavuutta ja mahdollistaa yhteishankinnat.

Hankintatuen määrää ei enää rajoiteta kattamaan vain se osa investointia, jonka tuottama sähkö pystytään käyttämään suoraan tilalla.

Koska koko sähköntuotantojärjestelmä muuttuu seuraavien vuosikymmenien aikana vähähiiliseksi, ei aurinkosähkön tuotannon lisääntymisen vaikutusta sähköntuotannon hiilijalanjälkeen voi laskea. Sen sijaan ylijäämänsähkön myynti verkkoon tuottaa uutta uusiutuvaa sähköä kansalliseen sähköpooliin ja näkyy näin maatalouden kädenjälkenä energiasektorilla ja on osaltaan tukemassa sähköntuotannon muutosta vähähiiliseksi. Huomionarvoista kuitenkin on, että kaikki maatalouden yhteydessä tuotettava energia luokitellaan päästöttömäksi ja siten on puhtaampaa kuin keskimääräinen verkkosähkö niin kauan kuin sähköpoolissa on myös fossiililla polttoaineilla tuotettua sähköä. Tämä pätee kaikkiin skenaarioihin.

WAM2: voimakkaat kannustimet uusiutuvan energian tuotantoon maataloilla ja niiden biomassoista

Biokaasutuotanto yleistyy sekä etenkin kotieläintuotannon keskittymien alueilla että WAM1-skenaariota voimakkaammin myös kasvintuotantoalueilla nurmeen perustuen, sillä biokaasutuotantoon kannustetaan merkittävästi. WAM1-skenaariota kannustinten lisäksi EU:ssa toteutetaan sitova uusiutuvan kaasun käyttötavoite. Maatilojen biokaasulaitosten markkinoille pääsyä edistetään takaamalla biokaasun offgrid-tuotannolle yhdenvertainen asema suhteessa maakaasuverkkoon syötettävän biokaasuun, kun Suomi liittyy osaksi yleiseurooppalaista kaasumarkkinaa ja kansallista alkuperätakuu-järjestelmää laajennetaan (Klimscheffskij ym. 2019). Nostovaraa Suomen biokaasutuotannossa on merkittävästi, sillä esimerkiksi vuonna 2019 biokaasua tuotettiin noin 1 TWh, kun sen potentiaaliksi pelkästään mikrobiologisesti mädättämällä on arvioitu noin 10 TWh ja maakaasua käytetään 24 TWh.

Biokaasua hyödynnetään monipuolisesti eri energiamuotoina, mutta lisänä WAM1-skenaariossa esitetyille toimille maataloudessa sitä otetaan käyttöön myös traktoreiden polttoaineena. Tämä edellyttää traktoritekniikan ja käyttöönoton sääntelyn merkittävää kehittämistä. Traktoreissa otetaan käyttövoimaksi myös sähkö, mikä myös edellyttää tekniikan kehittämistä. Tuet kaluston uusimiselle jatkuvat ja kohdentuvat myös traktoreihin, joiden siirtymä uusiutuviin käyttövoimiin vähentää maatalouden päästöjä WAM1-skenaariosta lisää.

Energiatehokkuutta lisätään entisestään tukemalla siihen liittyviä investointeja laajalla keinovalikoimalla osana maatalouspolitiikkaa.

Aurinkoenergiaa tuotetaan yhä enemmän, sillä sen kannustimia tehostetaan verrattuna WAM1-skenaarioon. Maatilat pääsevät osaksi energiamarkkinoita tuotannollaan. Maatilat pystyvät muodostamaan virtuaalivoimalaitoksia ja osallistumaan niihin. Akkuteknologia ja energiajärjestelmien älykäs ohjaaminen kehittyvät voimakkaasti ja hinnat laskevat, mikä mahdollistaa aurinkovoimaloiden koon kasvattamisen edelleen suuremmaksi. Akkuinvestointeja ja älykästä ohjaamista tuetaan samoin kuin muutakin voimalaa vähintään nykytasoisin kannustimin.

5.7 Eri ohjauskeinojen yhteenveto ja ajoittuminen

Pellonkäytön muutosta turvemaidella ja osin koko maataloudessa voidaan pitää toteutettavana jopa laajassa mitassa eri ohjauksin jo 2020-luvulla. Myös esimerkiksi kerääjäkasvialan kasvattaminen merkittävästikin on suurella todennäköisyydellä toteutettavissa, koska 2015 kerääjäkasveja viljeltiin 250 000 ha alalla, mutta pinta-ala väheni kerääjäkasveille varatun budjettikatton takia seuraavina vuosina noin 120 000 ha tasolle. Sen sijaan turvemaita koskevia

toimia ennallistamisen ja säätösalaajittamisen osalta ei voida laajassa mitassa toteuttaa nopealla aikataululla (Taulukot 5.7.1a ja 5.7.1b). Samoin sellaisten maatalouden käytössä olevien turvemaiden ja kivennäismaiden, joiden tuottoarvo on heikko, metsitys on hidasta koska metsitykseen soveltuvaa maata vapautuu tuotannosta vähitellen osin maatalouden rakenne muutoksen seurauksena. Biokaasuinvestointien merkittävä lisääminen vaatii sekä aikaa, jotta biokaasu ja siihen liittyvä ravinnekierto voisi onnistua laajassa mitassa. Sen sijaan aurinkoenergiainvestoinnit voivat edistyä osin varsin nopeastikin.

Taulukko 5.7.1a Eri toimenpiteitä ajavat ohjauskeinot eri ajanjaksoina WAM1-skenaariossa. T=Turvemaiden toimet; K=Maan kasvukuntoa ja tuotannon kestävyyttä edistävät toimet

Maankäyttötapa	Pinta-ala 2018	Muu- tos, ha, kpl	Ohjaus 2021- 2028	Ohjaus 2029-2035	Ohjaus 2035-2050
Yksivuotinen, turvemaat (T)	92		Alennettu tuki, asteittain	Alennettu tuki, toteutunut	Alhainen tuki, jatkuu
Tuotantonurmet, T	713	-81500	Korotettu tuki, asteittain	Normaali tuki, toteutunut	Normaali tuki, jatkuu
Kesantonurmet, T	123	-20000	Alennettu tuki, asteittain	Alennettu tuki, toteutunut	Alhainen tuki, jatkuu
Märkä nurmi (vt - 30cm), T	37	-20000	Tuntuva hoitopalkkio, heti	Tuntuva hoitopalkkio, toteutunut	Tuntuva hoitopalkkio, jatkuu
Märkä nurmi (vt - 30cm), T	763	20000	Investointituki säätösalaajittamiseen	Investointituki	Investointituki
Hylätty, T	3 000	20000	Aleneva tukikompen-saatio	Aleneva tuki, toteutunut	Ei lainkaan tukea
Metsitys, uusi <20v, T	66	56500	Suora tuki, aleneva kompen-saatio	Suora tuki, aleneva kompen-saatio	Suora tuki, aleneva kompen-saatio
Metsitys, vanhempi, >20v, T	906	10000			Ensiharvennustuki
Kosteikkoviljely, T		3333	Suora tuki ja aleneva kompen-saatio	Suora tuki ja aleneva kompen-saatio	Suora tuki ja aleneva kompen-saatio
Kosteikkoviljely, T		10000	Tuntuva hoitopalkkio, heti	Tuntuva hoitopalkkio, toteutunut	Tuntuva hoitopalkkio, jatkuu
Ennallistus, T		10000	Suora tuki ja aleneva kompen-saatio	Suora tuki ja aleneva kompen-saatio	Suora tuki ja aleneva kompen-saatio
Ennallistus, T		25000	Tuntuva hoitopalkkio, heti	Tuntuva hoitopalkkio, toteutunut	Tuntuva hoitopalkkio, jatkuu
Kivennäismaiden metsitys		25000	Suora tuki ja aleneva kompen-saatio	Suora tuki ja aleneva kompen-saatio	Suora tuki ja aleneva kompen-saatio
Kerääjäkasvit, K	120	30000	Pieni tukikorotus heti	Pieni tukikorotus jatkuu	Pieni tukikorotus jatkuu
Viherlannoitusnurmi, K	000	250	Pieni tukikorotus heti	Pieni tukikorotus jatkuu	Pieni tukikorotus jatkuu
Saneerauskasvit, K		100	Pieni tukikorotus heti	Pieni tukikorotus jatkuu	Pieni tukikorotus jatkuu
Tarkkuusviljely, K		000	Pieni tukikorotus heti	Pieni tukikorotus jatkuu	Pieni tukikorotus jatkuu
Satotason nosto, K		50 000	Uusia lajikkeita + viljelyoppaita	Uusia lajikkeita + viljelyoppaita	Uusia lajikkeita + viljelyoppaita
Peltojen perusparannukset, K		200	Maltillinen tukilisäys	Maltillinen tukilisäys	Maltillinen tukilisäys
		000			
		800000			
		30000			

Biokaasun tuet, erilaisia	170	Lisätukea ravinne- kierrätykselle	Lisätukea ravinne- kierrätykselle	Lisätukea ravinne- kierrätykselle
Aurinkoenergia	3500	Lisätukea sovel- tuvien pienin osin	Lisätukea soveltu- vien pienin osin	Lisätukea soveltuvien pienin osin
Metsänhävitys- maksu	24000	Alhainen sakko	Alhainen sakko	Alhainen sakko

Eri toimenpiteitä (jotka esitetty tiivistetysti taulukossa 5.7.1a) voidaan kannustaa erilaisin ohjauksin, kuten pinta-alatukien muutoksilla (yksivuotiset kasvit, tuotantonurmet ja kesannot turvemilla, tai kerääjäkasvit, viherlannoitusnurmet ja saneerauskasvit kivennäismailla) tai suorien investointien avustuksilla ja tulonmenetyskorvauksilla (metsitys tai ennallistaminen maksaa perustamisvaiheessa ja johtaa lisäksi maataloustuen menetykseen ko. alalta). On kuitenkin epäselvää, missä määrin erilaiset ohjaukset lopulta vaikuttavat itse toimenpiteen soveltamisen laajuuteen maataloudessa.

Tähän tarvittaisiin tarkempia erilaisten maatilojen tapauksiin muotoiltuja laskelmia kuin tässä raportissa on mahdollisuus tehdä. Arvioita WAM1- ja WAM2-toimenpidekokonaisuuksien vaatimista resursseista voidaan siksi laskea ainoastaan hyvin karkealla tasolla. Jossain tapauksissa, kuten turvepeltojen ennallistamisessa, voidaan arvioida tarvittavan investoinnin suuruutta. Esim. Luken RATU-hankkeessa oli laskettu pellon säätösalaojituksen kustannusta olettamalla turvemaalla sarkaojien padotuksen kustannukseksi noin 700 €/ha. Muusta kustannuslaskentamateriaalista (esim. Kassi ym 2015) säätösalaojituksen kustannuksen olevan 4000-5000 €/ha josta voidaan maksaa avustuksena enintään 40 % eli 1 600 – 2 000 €/ha. Noin 1500 €/ha kustannusta voidaan siksi pitää yhdenlaisena arviona yhteiskunnalle säätösalaojituksesta koituvasta kustannuksesta. Kustannukseksi voidaan olettaa viljelijän näkökulmasta myös 60 % säätösalaojituksen kustannuksesta. Seuraavissa esimerkkilaskelmissa lasketaan kuitenkin yhteiskunnalle aiheutuvia suoria kustannuksia eri toimenpiteisiin kannustavista ohjauksista. Tämä on huomattavasti suoraviivaisempaa kuin yksittäisille viljelijöille koituvien kustannusten ja hyötyjen arviointi, jotka ovat varsin tapauskohtaisia.

Tulonmenetysten arviointi eri toimenpiteissä on em. esimerkkejä vaikeampaa. Esimerkiksi jos oletuksena on 500 €/ha suuruisen maataloustuen menetys, sen kompensatioksi voidaan laskea esim. hylätyn huonotuottoisen turvepellon tapauksessa osittainen korvaus menetetyistä maataloustuesta. Tässä on otettava huomioon kustannukset, jotka aiheutuvat pellon pitämisestä viljelykunnossa maataloustukien saamiseksi. Nämä kustannukset puolestaan ovat varsin tilakohtaisia, joskin yksinkertaistavia oletuksia voidaan tehdä. Joka tapauksessa täyttää kompensatiota maataloustuen menetyksestä ei ole johdonmukaista tehdä, jos kyseessä heikkotuottoinen pelto, jonka viljely on heikosti kannattavaa tai tappiollista. Ohjauskeinoja on järkevää ajatella juuri tällaisten peltojen viljelijöiden näkökulmasta, koska hyvä-tuottoisia peltoja on myös yhteiskunnalle kalliimpaa kannustaa pois aktiivisesta maataloustuotannosta kuin heikkotuottoisten.

Maataloustuen menetystä korvaavan kompensaaion nykyarvo voidaan laskea esimerkiksi seuraavasti, olettaen, että viljelijän diskonttaus tehdään 3 % korkokannalla ja olettaen, että kompensatio alkaa tasolta 500 €/ha ensimmäisen vuoden lopussa ja alenee 50 €:n portain tasolle nolla 10. vuoden lopussa. Tällöin kompensatio nykyarvoksi saadaan noin 2500 €/ha joka on vuotta kohden noin 250 €/ha. Jos oletetaan, että tämän suuruisen kompensatio saa viljelijän luopumaan heikkotuottoisesta maasta ja jättämään sen hylätyksi pelloksi (turvemaalla), saadaan vuosina 2021-2050 hylättävän pellon (pinta-alaltaan 57 000 ha) tavoitteen

hinnaksi yhteiskunnalle pinta-alan tapauksessa noin 141 milj. € WAM1-skenaariossa. Jos viljelijä tyytyy luopumaan pellosta ja maataloustuista tätä halvemmalla, esim. 2000 € korvauksella, saadaan tavoitteen hinnaksi 113 €/ha. Jos taas viljelijä vaatii 3000 €/ha suuruisen kompensaaion, 57 000 ha hylätyn pellon hinnaksi saadaan 170 milj. €. Jos tämän tavoitteen saavuttamisessa edetään hitaasti ja tasaisesti, ja tavoite saavutetaan vuonna 2050, myös tavoitteen hinta jakautuu 3 eri vuosikymmenelle. Jos maataloustuista luopumisen lisäksi korvataan metsityskustannuksia, esim. 1500 €/ha, täysimääräinen metsityskustannuksen (taimikon perustaminen) korvaaminen johtaisi 2500 € + 1500 € = 4 000 € hehtaarikohtaiseen kustannukseen.

WAM-skenaarioiden toimenpiteisiin kuuluu yksivuotisten kasvien ja kesantojen vähentämistä turvemailla. Näin siksi, että näissä tapauksissa tuotannon arvo on varsin pieni aiheutuneisiin kasvihuonekaasupäästöihin nähden. Yksivuotisten kasvien ja kesantoalan vähentäminen turvemailla voisi olla toteutettavissa maataloustukea alentamalla yksivuotisten kasvien ja kesantojen tukia ja pitämällä samalla ennallaan tai nostamalla tuotantonurmien tukia, joiden khk-päästöt ovat 10 t CO₂ ekv /ha matalammat kuin yksivuotisten kasvien. Vaikka eri suuruiset tuet yksivuotisille kasveille, tuotantonurmille ja kesannoille eivät välttämättä ole helposti mahdollista nykyisessä maataloustukijärjestelmässä. Ne olisivat kuitenkin suositeltava keino yksivuotisten kasvien ja kesantojen vähentämiseksi turvemailla. Näin siksi, että pelkkä tuotantonurmien tuen nostaminen on heikko peruste viljelijälle vähentää yksivuotisten kasvien ja kesantojen alaa, jos viljelijällä ei ole käyttöä nurmirehulle, jos alueella ei ole sille muutenkaan kysyntää. Ellei ilmaston kannalta ei-toivottujen pellonkäyttöjen tukea voidaan alentaa, seurauksena on todennäköisesti se, että tuotantonurmien tukien korotuksella on hyvin vähäinen vaikutus yksivuotisten kasvien ja kesantojen alaan, etenkin kun tuotantonurmille on usein varsin rajallinen kysyntä.

Taulukko 5.7.1b Eri toimenpiteitä ajavat ohjauskeinot eri ajanjaksoina WAM2-skenaariossa.
T=Turvemaiden toimet; K=Maan kasvukuntoa ja tuotannon kestävyyttä edistävät toimet

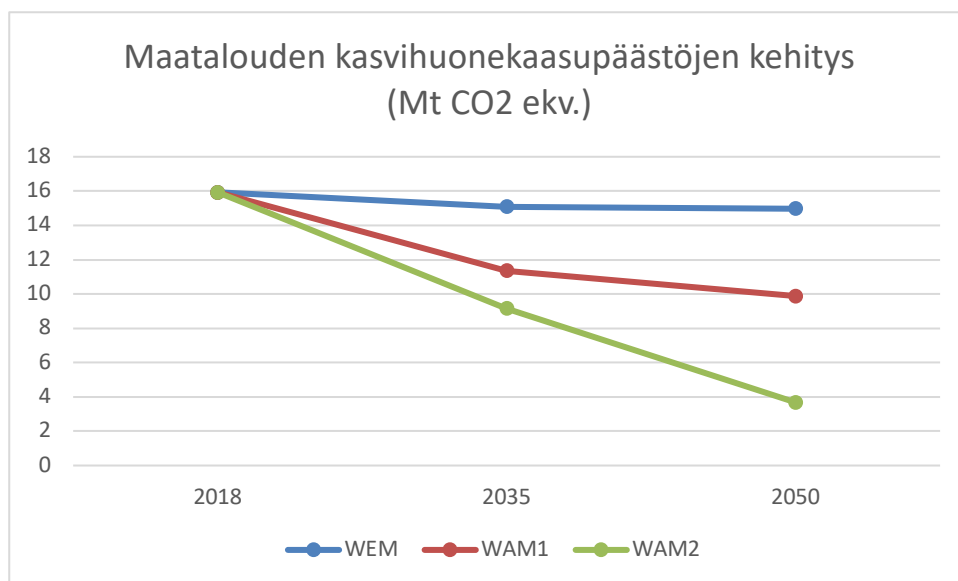
Maankäyttötapa	Pinta-ala 2018	Muu- tos, ha, kpl	Ohjaus 2021-2028	Ohjaus 2029-2035	Ohjaus 2035-2050
Yksivuotinen, turvemaat (T)	92		Alennettu tuki, as- teittain	Alennettu tuki, to- teutunut	Alhainen tuki, jatkuu
Tuotantonurmet, T	123	-92713	Korotettu tuki, as- teittain	Normaali tuki, to- teutunut	Normaali tuki, jatkuu
Kesantonurmet, T	37	-30000	Alennettu tuki, as- teittain	Alennettu tuki, to- teutunut	Alhainen tuki, jatkuu
Märkä nurmi (vt - 30cm), T	3 000	-37763	Tuntuva hoitopalk- kio, heti	Tuntuva hoitopalk- kio, toteutunut	Tuntuva hoitopalk- kio, jatkuu
Märkä nurmi (vt - 30cm), T	3 000	30000	Investointituki sää- tösalaojitukseen	Investointituki	Investointituki
Hylätty, T	66		Aleneva tukikom- pensaatio	Aleneva tuki, toteu- tunut	Ei lainkaan tukea
Metsitys, uusi <20v, T	906	55000	Suora tuki, aleneva kompensaatio	Suora tuki, aleneva kompensaatio	Suora tuki, aleneva kompensaatio
Metsitys, van- hempi, >20v, T		6667			Ensiharvennustuki
Kosteikkoviljely, T		20000	Suora tuki ja ale- neva kompensaaio	Suora tuki ja ale- neva kompensaaio	Suora tuki ja ale- neva kompensaaio
Kosteikkoviljely, T		20000	Tuntuva hoitopalk- kio, heti	Tuntuva hoitopalk- kio, toteutunut	Tuntuva hoitopalk- kio, jatkuu
Ennallistus, T		20000	Suora tuki ja ale- neva kompensaaio	Suora tuki ja ale- neva kompensaaio	Suora tuki ja ale- neva kompensaaio

Ennallistus, T	35500	Tuntuva hoitopalk- kio, heti	Tuntuva hoitopalk- kio, toteutunut	Tuntuva hoitopalk- kio, jatkuu
Kivennäismaiden metsitys	30000	Suora tuki ja ale- neva kompensatio	Suora tuki ja ale- neva kompensatio	Suora tuki ja ale- neva kompensatio
120	500	Pieni tukikorotus	Pieni tukikorotus	Pieni tukikorotus jat- kuu
Kerääjäkasvit, K	000	heti	jatkuu	kuu
Viherlannoitus- nurmi, K	100	Pieni tukikorotus	Pieni tukikorotus	Pieni tukikorotus jat- kuu
000	000	heti	jatkuu	kuu
Saneerauskasvit, K	100	Pieni tukikorotus	Pieni tukikorotus	Pieni tukikorotus jat- kuu
000	000	heti	jatkuu	kuu
400	000	Pieni tukikorotus	Pieni tukikorotus	Pieni tukikorotus jat- kuu
heti	000	Uusia lajikkeita + viljelyoppaita	Uusia lajikkeita + viljelyoppaita	Uusia lajikkeita + vil- jelyoppaita
Tarkkuusviljely, K	800000			
Satotason nosto, K				
Peltojen perusparannuk- set, K	30000	Maltillinen tukilisäys	Maltillinen tukilisäys	Maltillinen tukilisäys
Biokaasun tuet, erilaisia	260	Lisätukea ravinne- kierrätykselle	Lisätukea ravinne- kierrätykselle	Lisätukea ravinne- kierrätykselle
		Lisätukea soveltu- vin pienin osin	Lisätukea soveltu- vin pienin osin	Lisätukea soveltuvin pienin osin
Aurinkoenergia	3700			
Metsänhävitys- maksu	2000	Alhainen sakko	Alhainen sakko	Alhainen sakko

Tämänkaltainen turvemaiden käytön ohjaaminen johtaa luonnollisesti tulonmenetyksiin tiiloilla, joilla ei ole mahdollisuuksia siirtyä yksivuotisilta kasveilta ja kesannoinnista tuotantonurmien viljelyyn. Koska kuitenkin turvemaiden järkevän ilmastopoliittisen ohjauksen peruseriaate tulisi olla se, että ilmaston kannalta myönteiset muutokset eivät saisi aiheuttaa viljelijöille tulonmenetyksiä vaan jopa tulojen kasvua. Johdonmukainen tapa välttää ainakin merkittävät tulonmenetykset olisi maksaa ensin tietyn turvemaasuuden ylittävillä tiloilla kiinteä tilan kokonaisalaan perustuva ja tulevasta pellonkäytöstä riippumaton korvaus. Tällöin entisenlainen pellonkäyttö, jos viljelijä on siihen pakotettu esim. nykyisen tuotantos suunnan vuoksi, (esim. sikatila, jonka on käytännössä pakko viljellä yksivuotisista rehuviljaa myös turvemailla), ei vielä alentaisi viljelijän tuloja, mutta alempi tuki ei-toivotulle pellonkäytölle kuitenkin kannustaisi edelleen viljelijää luopumaan yksivuotisista kasveista ja kesannoista turvemailla. Näin tehdessään viljelijä saisi suuremmat tulot kuin aiemmin. Tämän vuoksi olisi erittäin suositeltavaa vähentää ainakin osittain maataloustukia runsaita khk-päästöjä aiheuttaville toiminnoille. Vaikka siis tulonmenetyksiä nykyisen pellonkäytön tilanteessa likimain täysimääräisesti korvattaisiin, jatkossa viljelijä etsisi vaihtoehtoja, joihin tukimuutoksilla kannustetaan.

6 Päästökehitys ja sen epävarmuudet

Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt WEM-, WAM1- ja WAM2-skenaarioissa on kokonaiskehityksen osalta kuvassa 6.6.1. WEM-skenaariossa khk-päästöt alenevat 5 % vuoteen 2035 (6 % vuoteen 2050), laskevat WAM1-skenaariossa 29 % vuoteen 2035 (38 % vuoteen 2050) ja WAM2-skenaariossa 42 % vuoteen 2035 (77 % vuoteen 2050) vuodesta 2018.



Kuva 6.6.1 Maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen kehitys (Mt CO2 ekv.) eri skenaarioissa

Näitä khk-päästöjen vähennyksiä voidaan pitää jo WAM1-skenaarion osalta varsin merkittävänä koska monet toimenpiteet, vaikka ovatkin laajamittaisia ja vaativat paljon työtä monilla tasoilla toteutuakseen, ovat melko kohtuullisin toimenpitein ja lisäresurssein saavutettavissa. Saavutettavat päästövähennykset ovat myös varsin epävarmoja. Epävarmuus liittyy etenkin turvemaiden osalta siihen, missä laajuudessa päästövähennystoimia voidaan tehdä ja millä kustannuksilla. Tämän arviointi on vaikeaa, koska turvemaita on erilaisia ja niiden käyttö riippuu maatilojen tarpeita ja muun pelonkäytön mahdollisuuksista. Hiilensidontaan kivennäismailla liittyy epävarmuuksia suhteessa siihen, missä määrin maahan viljelytoimin lisätty orgaaninen aines ja hiili säilyy maassa ilmaston lämmetessä. Maan hiilisyötteen lisääminen riippuu paljon myös siitä, päästääkö molempien WAM-skenaarioiden taustalla oleva maatalouden kestävässä tehostamisessa eteenpäin. Tämä tarkoittaa ennen muuta satotason nostoa ja lannoitteiden ja muiden tuotantopanosten aiempaa tarkempaa hyödyntämistä. Tähän liittyy myös peltojen kasvukunnon parantaminen, nykyistä olennaisesti enemmän huomiota viljelykiertojen monipuolistamiseen ja siten kivennäismaiden hiilensidonnallisuuden edellytysten parantamiseen.

WAM2-skenaariossa on kyse WAM1-skenaarion turvemaita koskevien toimien soveltamisesta olennaisesti laajemmassa mittakaavassa etenkin turvemaidella sekä tehostuksessa kivennäismaiden hiilensidonnassa. WAM-skenaarioiden päästökehityksiin johtavat toimet vaativat asetelmaa, jossa viljelijä hyötyy khk-päästöjen vähentämisestä ja niihin liittyvistä toimista

6.1 Maataloussektorin päästöt

WEM-skenaario

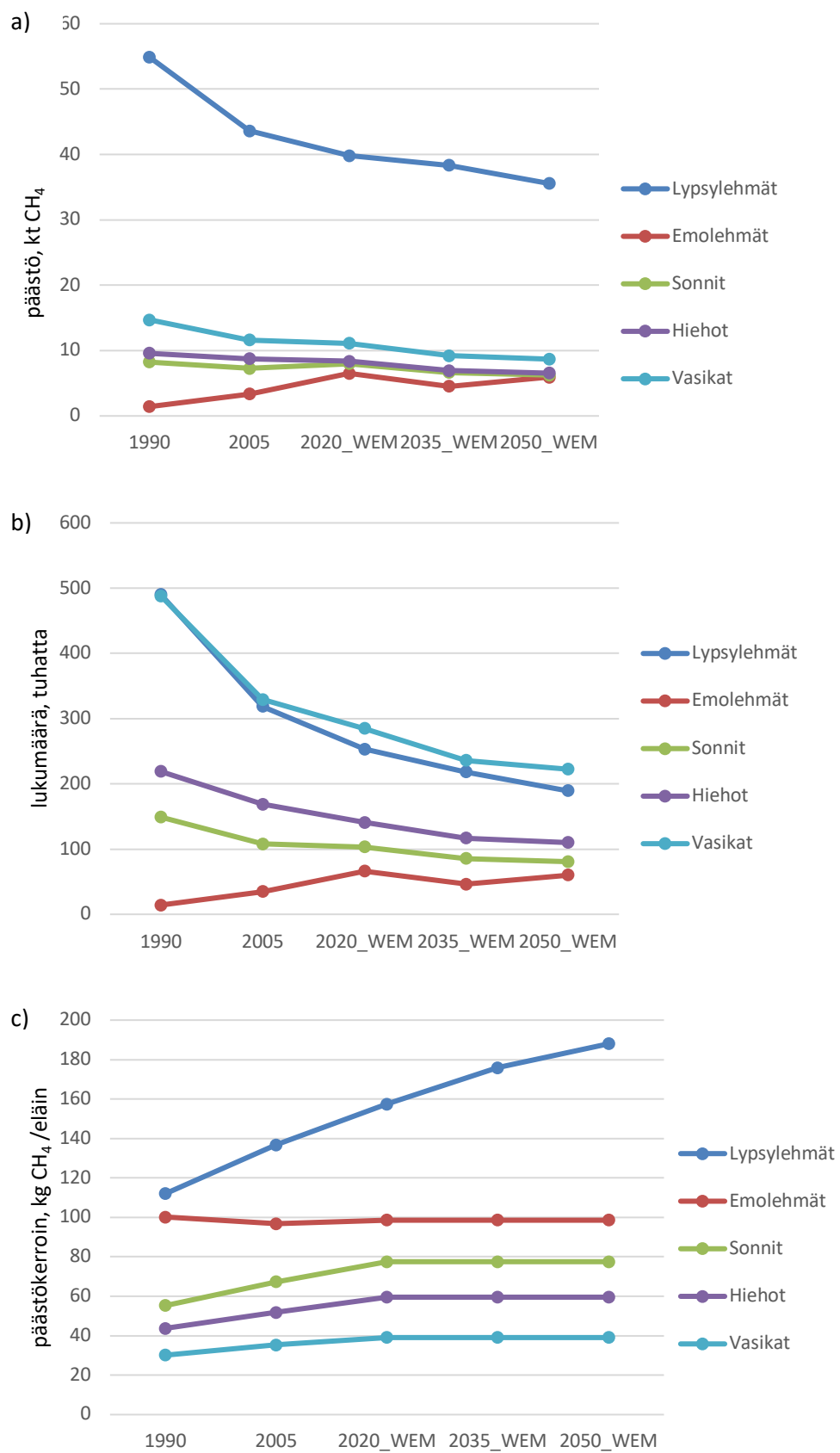
Maataloussektorin päästöt vähenevät WEM-skenaariossa 0,49 milj. tonnia CO₂-ekv., 7 %, vuodesta 2018 vuoteen 2050 (Taulukko 6.1.1). Päästöjä vähentää eläinmäärien

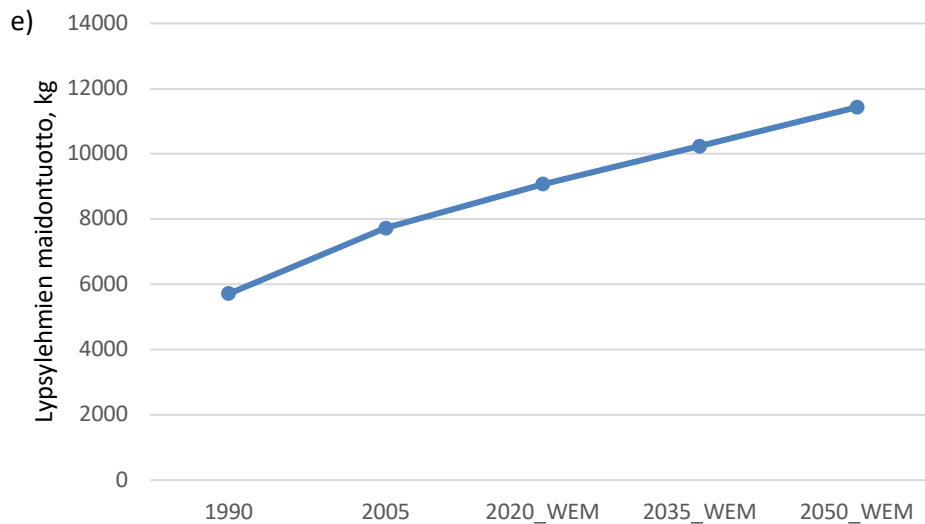
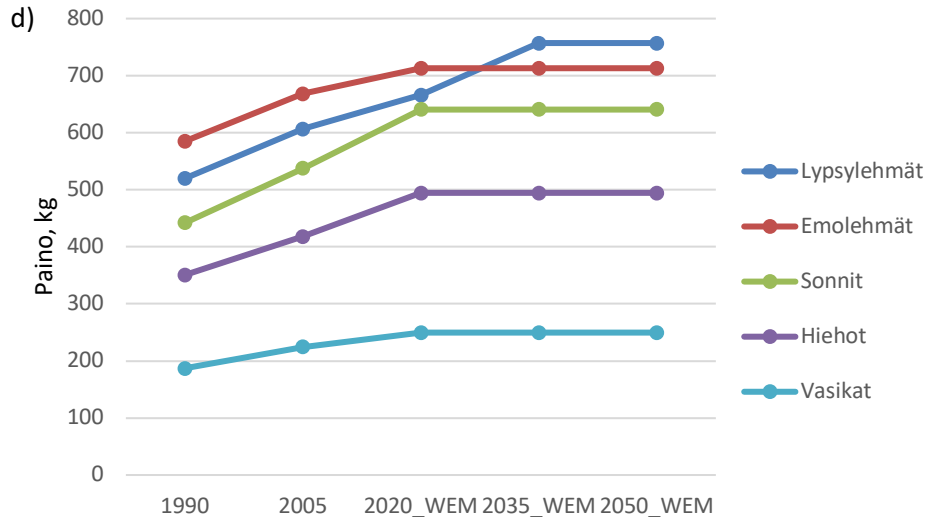
vähentäminen. Päästöt on laskettu kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion menetelmillä (Tilastokeskus 2020). Käytettyjen päästökertoimien epävarmuutta on arvioitu Suomen kansallisessa inventaarioraportissa, joka on alakategoriassa erillisessä alaluvussa (Tilastokeskus 2020).

Ruoansulatuksen metaanipäästöt vähenevät WEM-skenaariossa 0,32 milj. tonnia CO₂-ekv. vuodesta 2018 vuoteen 2050 (Taulukko 6.1.1). Ruoansulatuksen metaanipäästöistä 91 % oli vuonna 2018 peräisin nautojen ruoansulatukselta. WEM-skenaariossa ruoansulatuksen päästöjen vähentäminen johtuu nautojen määrän vähentämisestä (Kuva 6.1.1 a, b). Nautojen määrän vähentäminen mahdollistaa lypsylehmien suurempi maidontuottokyky. Lisääntyneen tuotokyvyn vuoksi päästöt eivät kuitenkaan vähene samassa suhteessa kuin nautojen määrä: enemmän maitoa tuottavien, kookkaampien nautojen metaanipäästö on suurempi (Kuva 6.1.1 c, d, e). WEM-skenaariossa emolehmien, sonniin, hiehojen ja vasikoiden koko ei enää kasva vuoden 2020 jälkeen. Lypsylehmien koko kasvaa vielä vuoteen 2030 asti, minkä jälkeen koko pysyy samana.

Taulukko 6.1.1 Maataloussektorin päästöt, josta eriteltynä N₂O -päästöt maaperästä, WEM-skenaariossa.

milj. tonnia CO₂-ekv.	2018	2035	2050
CH ₄ ruoansulatus	2,08	1,83	1,76
CH ₄ lanta	0,45	0,42	0,40
N ₂ O lanta	0,28	0,24	0,23
N ₂ O maaperä	3,47	3,42	3,40
CO ₂ kalkitus ja urea	0,21	0,21	0,21
Yhteensä	6,49	6,12	6,00
N₂O-päästöt maaperä, milj. tonnia CO₂-ekv.	2018	2035	2050
keinolannoitteet	0,80	0,80	0,80
orgaaniset lannoitteet ja laidunlanta	0,59	0,48	0,46
kasvintähteet	0,48	0,56	0,56
eloperäiset maat	1,50	1,50	1,50
tyypin mineralisaatio kivennäismailla	0,10	0,09	0,09





Kuva 6.1.1 Nautojen a) ruoansulatuksen metaanipäästöjen b) lukumäärän c) päästökertoimen ja d) painon kehitys nautaryhmittäin sekä e) lypsylehmien maidontuotto kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa (1990, 2005) ja WEM-skenaariossa (2020, 2035, 2050). Kehitys on sama WAM-skenaarioissa.

Lannankäsittelyn päästöt vähenevät WEM-skenaariossa 0,10 milj. tonnia CO₂-ekv. vuodesta 2018 vuoteen 2050. Päästöt vähenevät nautojen ja sikojen määrän vähenemisen vuoksi. WEM-skenaariossa oletetaan, että eläinten ruokinta saadaan optimoitua niin, että typen yli-ruokintaa ei esiinny, joten eläinkohtainen typeneritys ei kasva nykyisestä. Lietelannan osuus lannankäsittelyssä kasvaa yksikkökoon kasvun myötä lievästi vuoteen 2030 asti, minkä jälkeen se vakiintuu uudelle korkealle tasolle. Lietelanta kasvattaa lannankäsittelyn päästöjä verrattuna kuiviin lantoihin. Biokaasutuotannon osuutta lannankäsittelyssä ei ole huomioitu päästölaskennassa. Sen tuotanto on WEM-skenaariossa varsin vähäinen ja päästövähennyksen saavuttaminen ylipäättään riippuu laitosten toteutuksesta ja operoinnista sekä koko tuotantoketjun ratkaisuista varastoinnit ja levitykset mukaan lukien.

Maatalousmaiden dityppioksidipäästöt vähenevät WEM-skenaariossa 0,07 milj. tonnia CO₂-ekv. vuodesta 2018 vuoteen 2050. Lannan väheneminen tuotantoeläinten määrän vähenemisen myötä tuottaa 0,13 milj. tonnin CO₂-ekv. päästövähennyksen (Taulukko 6.1.1).

Kasvintähteiden päästö kasvaa verrattuna vuoteen 2018, joka oli huono satovuosi. Kerääjäkasvien käyttöönotto vähentää dityppioksidipäästöjä kaikista tyypillisäyksistä, koska kerääjäkasvit vähentävät huuhtoutuvan typen määrää (-50 %, Valkama ym. 2015). Kerääjäkasvien ala on kuitenkin WEM-skenaariossa vain 6 % viljelyalasta vuosina 2015-2050, joten päästövähennys on alle 0,01 milj. tonnia CO₂-ekvivalenttia.

WAM1- ja WAM2-skenaariot

Maataloussektorin päästöt vähenevät WAM1-skenaariossa 1,37 milj. tonnia CO₂-ekv., 21 %, ja WAM2-skenaariossa 1,62 milj. tonnia CO₂-ekv., 25 % vuodesta 2018 vuoteen 2050 (Taulukko 6.1.2). Maataloussektorin päästöt vähenevät WAM-skenaarioissa WEM-skenaariota enemmän ennen kaikkea turvemaiden viljelykäytön muutoksen vuoksi: turvemaiden viljely vähenee ja siirtyy yksivuotista viljelykasveista nurmeen ja muihin monivuotisiin. Vähennys turvemaiden N₂O-päästöissä vuodesta 2018 vuoteen 2050 on WAM1-skenaariossa 0,55 milj. tonnia CO₂-ekv. ja WAM2-skenaariossa 0,73 milj. tonnia CO₂-ekv. Tuotantoeläinten määrän ja tuottavuuden kehitys on sama kuin WEM-skenaariossa.

Taulukko 6.1.2. Maataloussektorin päästöt WAM-skenaarioissa. Maaperän N₂O -päästöt eriteltyinä; WAM-skenaarioissa muut alakategoriat seuraavat WEM-skenaariota (ks. Taulukko 6.1.1).

WAM1	2018	2035	2050
N₂O maaperä, milj. tonnia CO₂-ekv.	3,47	2,69	2,52
keinolannoitteet	0,80	0,63	0,67
orgaaniset lannoitteet ja laidunlanta	0,59	0,47	0,45
kasvintähteet	0,48	0,38	0,45
eloperäiset maat	1,50	1,21	0,96
typen mineralisaatio ki-vennäismailla	0,10	0,00	0,00
Muut maataloussektorin päästöt (ks, taulukko 6.1)	3,02	2,71	2,60
WAM1 yhteensä	6,49	5,40	5,12

WAM2 muut kuin N₂O maaperä kuten WEM	2018	2035	2050
N₂O maaperä, milj. tonnia CO₂-ekv.	3,47	2,54	2,27
keinolannoitteet	0,80	0,57	0,61
orgaaniset lannoitteet ja laidunlanta	0,59	0,47	0,45
kasvintähteet	0,48	0,38	0,45
eloperäiset maat	1,50	1,12	0,77
typen mineralisaatio ki-vennäismailla	0,10	0,00	0,00
Muut maataloussektorin päästöt (ks. taulukko 6.1)	3,02	2,70	2,60
WAM2 yhteensä	6,49	5,24	4,87

Lannan ja nurmen ravinteiden jalostaminen helposti kuljetettavaksi kierrätyslannoitevalmis- teiksi korvaa synteettisten lannoitteiden käyttöä siten, että lannoitustarve kokonaisuudes- saan vähenee. Biokaasun tuotanto vähentää synteettisten lannoitteiden N₂O-päästöä WAM1-skenaariossa 0,04 milj. tonnia CO₂-ekv ja WAM2-skenaariossa 0,09 milj. tonnia CO₂- ekv vuodesta 2018 vuoteen 2050. Lannankäsittelyssä biokaasutuotannon myötä tapahtuvaa muutosta ei ole päästöarviossa huomioitu. Kerääjäkasvit vähentävät sillä alalla, jossa ne ovat käytössä, huuhtoutuvan typen määrän puoleen (Valkama ym. 2015), mikä vähentää N₂O-päästöä molemmissa WAM-skenaarioissa 0,04 milj. tonnia CO₂-ekv vuodesta 2018 vuoteen 2050.

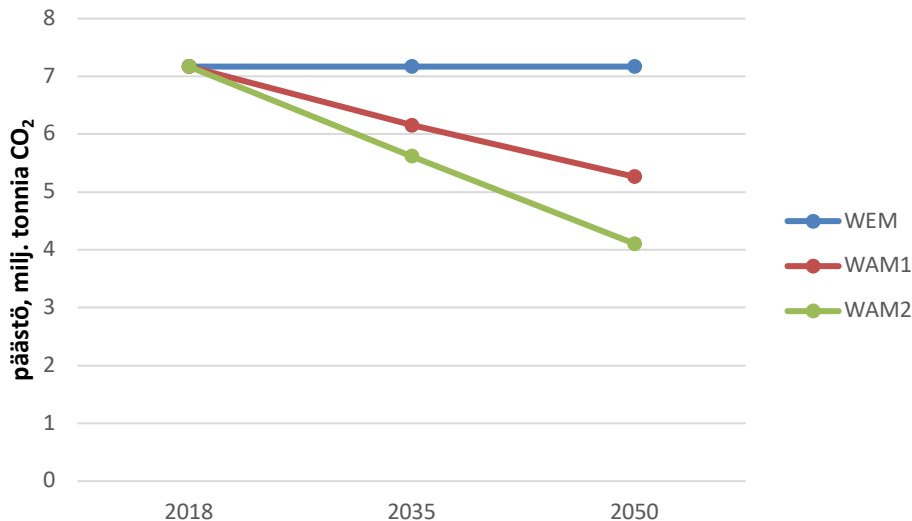
6.2 Eloperäisten maiden päästöt (LULUCF)

Eloperäisten maiden hiilidioksidipäästöt raportoidaan LULUCF-sektorilla, dityppioksidipääs- töt maataloussektorilla. WEM-skenaarion päästölaskenta seuraa kansallisen kasvihuone- kaasuinventaarion menetelmiä (Tilastokeskus 2020). Laskennassa on käytössä eri kertoimet yksivuotisten ja monivuotisten kasvien alalle sekä ruohikkoalueille, jotka ovat pääasiassa hy- lättyjä peltoja. Yksivuotisille ja monivuotisille kasveille käytetään IPCC:n päästökertoimia (2006 IPCC guidelines), joiden perustana on myös suomalaisia tutkimuksia. Hylättyjen pelto- jen kerroin perustuu Maljasen ym. (2010) tutkimukseen. Luokkien päästöerot syntyvät siitä, kuinka usein maata muokataan: maanmuokkaus kiihdyttää turpeen hajoamista. Tuotantonur- mille ja kesannoille käytetään samoja päästökertoimia. Kesantojen vähäisempi lannoitus tu- lee kuitenkin näkyviin lannoituksen päästöissä maataloussektorilla.

Käytettyjen päästökertoimien epävarmuutta on arvioitu Suomen kansallisessa inventaariora- portissa (Tilastokeskus 2020, luvut 5.4.3 ja 6.4.3.2). Vaikka epävarmuus on suurta sekä ra- jallisen tiedon että maaperän prosessien suuren luonnollisen vaihtelun vuoksi, runsasravin- teisten ojitettujen turvemaiden (joita maatalousturvemaat ovat) päästöjen suuruusluokan kat- sotaan olevan oikea. Suuriin päästöihin ja päästövähennyksiin johtavat mekanismit ymmär- retään tiedeyhteisössä hyvin (Ojanen & Minkkinen 2020).

WAM-skenaarioissa viljelyksessä olevien turvemaiden päästöjä vähennetään pitämällä ve- denpinta korkealla. Turvemaita myös ennallistetaan aktiivisin toimin. Märän nurmen (veden- pinta n. -30 cm), kosteikkoviljelyn ja ennallistamisen päästökertoimet perustuvat IPCC:n Wetlands Supplement -julkaisuun (IPCC 2014, 2013).

WEM-skenaariossa turvemaiden pinta-alat eivät muutu, ja siksi päästötkin pysyvät samana. WAM-skenaarioiden toimilla saavutetaan merkittäviä päästövähennyksiä. LULUCF-sektorilla eloperäisten maiden päästöt vähenevät WAM1-skenaariossa 1,9 milj. tonnia CO₂-ekv. ja WAM2-skenaariossa 3,1 milj. tonnia CO₂-ekv (Kuva 6.2.1). Yhteensä LULUCF-sektorin ja maataloussektorin eloperäisten maiden päästöt vähenevät WAM1-skenaariossa 2,5 milj. tonnia CO₂-ekv. ja WAM2-skenaariossa 3,8 milj. tonnia CO₂-ekv.



Kuva 6.2.1 Eloperäisten maiden CO₂-päästö WEM- ja WAM-skenaarioissa. Tämän LULUCF-sektorilla raportoitavan päästön lisäksi maataloussektorilla raportoidaan eloperäisten maiden viljelyn N₂O-päästö (ks. Taulukko 6.1.1)

6.3 Hiilensidonta kivennäismailla (LULUCF)

6.3.1 Maaperähiilimallin tulokset

Kivennäismaiden hiilivarastomuutos arvioitiin Yasso07 maaperähiilimallin avulla. Laskennat pyrittiin tekemään mahdollisimman yhdenmukaisesti kasvihuonekaasuinventaariossa (Tilastokeskus 2020) käytettyjen menetelmien ja kertoimien osalta.

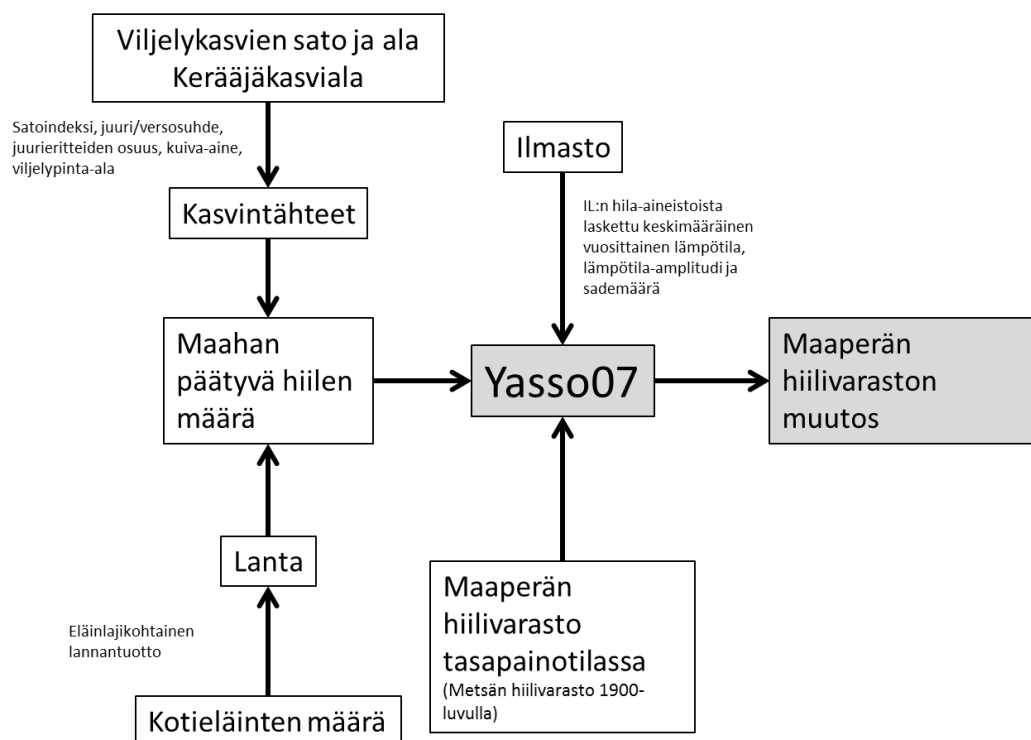
Yasso07 mallintaa orgaanisen aineen hajoamista sen kemiallisen laadun ja ilmasto-olojen perusteella. Mallissa orgaaninen aines on jaettu viiteen eri ositteeseen kemiallisen koostumuksen perusteella (vesi-, etanoli-, happoliukoinen, ei-liukoinen sekä humus). Lämpötila ja sademäärä säätelevät ositteiden hajoamisnopeutta.

Yasso07 ennustaa ainoastaan orgaanisen aineen hajoamista, ja maahan päätyvän hiilen määrä täytyy arvioida erikseen (Kuva 6.3.1.1). Mallinnuksessa hiilisyöte arvioitiin viljelykasvien osalta satotasojen perusteella käyttäen viljelykasvikohtaista kuiva-aineosuutta, satoindeksiä, juuri/versosuhdetta ja juurieritteiden osuutta. Muuntamisessa käytettiin kasvihuonekaasuinventaarion mukaisia kertoimia. Kerääjäkasvien osalta käytettiin vakio hiilisyötettä, mikä perustui Känkäsen (2019) tekemään arvioon kerääjäkasvien biomassoista. Kotieläinten lannasta peräisin oleva hiili arvioitiin kotieläinten lukumäärien ja eläinlajikohtaisen päivittäisen lannantuoton perusteella.

WEM-skenaariossa viljelykasvien satotasot, viljelypinta-alat sekä kotieläinten määrät poimittiin Dremfia-mallin WEM-skenaariolle tuottamista arvioista. WEM-skenaariossa oletettiin lisäksi, että kerääjäkasviala pysyy vakiona 120 000 hehtaarissa vuosina 2015-2050. WAM1-skenaariossa oletettiin lisäksi, että:

1. Kerääjäkasviala lisääntyy 250 000 hehtaarilla vuoteen 2035 mennessä.
2. Nurmien (tuotantonurmet ja kesantojen) biomassa lisääntyy 10 %.
3. Palkokasvien (=herne) viljelyala lisääntyy 50 000 ha.

Nämä muutokset oletettiin tapahtuvan lineaarisesti vuosien 2020-2035 aikana. Skenaarioissa ei huomioitu mahdollista ilmaston muuttumista, vaan oletettiin että ilmasto pysyy nykyisenkaltaisena. KHK-inventaarion mukaisesti laskennoissa on huomioitu metsän muuttuminen pelloiksi.



Kuva 6.3.1.1 Maaperän CO₂-päästöjen laskenta.

Kasvihuonekaasuinventaarion mukaan kivennäismaiden hiilivarasto väheni koko Suomen tasolla 374 ktC/vuosi (187 kg C/ha) vuonna 2018 (Tilastokeskus 2020). WAM1--skenaariossa hiilivaraston vähentyminen pienenee ja kivennäismaat muuttuvat hiilinieluksi noin 2025. Tämä johtuu pellonkäytön muutoksesta eli voimakkaasta vilja-alan vähenemisestä ja sen korvautumisesta herneen, härkäpavun ja nurmipeitteisellä alalla, kuten biokaasunurmen ja viherlannoitusnurmen alalla. Vuonna 2035 toteutunut WAM1-skenaarion mukainen pinta-alamuutos kääntäisi kivennäismaat hiilen lähteestä hiilensitojaksi ja hiilen sidonnan suuruus olisi noin 78 ktC/vuosi. Pelkästään pinta-alamuutoksesta johtuva päästövähennys vuoteen 2035 olisi $(374 \text{ ktC} + 78 \text{ ktC}) \cdot 44/12 = 1,66 \text{ Mt CO}_2 \text{ ekv.}$ WAM1-skenaariossa.

WAM1-skenaariossa hiilensidonnan lisääntyminen on tätä voimakkaampaa, kun otetaan huomioon kerääjäkasvialan ja nurmibiomassan kasvu tuotantonurmilla. Tämä huomioon ottaen WAM1:ssä hiilensidonta tulee olemaan vuonna 2035 noin 216 ktC/vuosi ja 229 ktC/vuosi vuonna 2050. Valtaosa vaikutuksesta tulee siis nurmibiomassan ja kerääjäkasvipinta-alan lisääntymisestä. Sen sijaan palkokasvien viljelypinta-alan kasvun vaikutus on pieni maaperän hiilen lisääntymiseen koko Suomen tasolla. Hehtaaria kohti laskettuna WAM1:ssä vuosittainen hiilensidonta tulee olemaan keskimäärin 110 kgC/ha (2035) ja 116 kgC/ha (2050). Hiilidioksidina WAM1-toimenpiteiden kokonaisvaikutus ilmastoon on kutakuinkin $(374 \text{ ktC} + 220 \text{ ktC}) \cdot 44/12 = 2,18 \text{ MtCO}_2/\text{vuosi}$ verrattuna KHK-inventaariossa raportoituihin vuoden 2018 päästöihin. WAM1-skenaarion toimilla kerääjäkasvialan ja nurmien biomassan

lisäämiseksi saadaan siis aikaan noin 0,5 Mt CO₂ ekv. parannus päästövähennyksiin kivennäismaiden hiilensidonnan kautta.

WEM- ja WAM1-skenaarioiden biokaasutuotannolla ei oletettu olevan suurta vaikutusta maaperän hiilivarastoihin perustuen Mahtava-hankkeen tuloksiin (Heikkinen ym. submitted). Mädätyksen seurauksena osa orgaanisesta aineesta muuntuu biokaasuksi, mutta samaan aikaan jäljelle jääneen mädätteen hiili muuttuu hitaammin hajoavaksi.

WAM2-skenaarion suurta tavoitteellista hiilensidontaa kivennäismaihin ei voida laskea kasvi-huonekaasuinventaarion aineistoilla ja menetelmillä. WAM2-skenaariossa on Suomen maatalouden tuottajajärjestöjen tavoitteena lisätä kivennäismaiden hiilensidontaa aina tasolle 5 Mt CO₂-ekv. vuodessa. Tämän saavuttaminen on haasteellinen ja uusia ratkaisuja vaativa pitkän aikavälin työ, jossa erityisenä kysymyksenä on paitsi hiilisyötteen lisääminen maahan, myös sen maassa pysyvyys (ks. luku 5.43 Hiilensidonta ja sen edistäminen).

6.3.2 Mallin rajoitteet

Kivennäismaiden hiilivarasto on arvioitu Yasso07-mallin mukaan. Mallissa maaperän hiilivaraston kehittyminen perustuu yksinomaan maahan päätyvän orgaanisen aineen määrään ja kemialliseen laatuun sekä ilmasto-oloihin. Yasso07-mallin käyttö ei mahdollista sellaisten viljelytoimien vaikutusten huomioimista, mitkä vaikuttavat maaperän hiileen esimerkiksi maan mururakenteen kehittymisen tai maaperän mikrobimuutosten kautta. Tällaisia toimenpiteitä voisivat olla esimerkiksi erilainen maanmuokkaus, talviaikainen kasvipeitteisyys ja monipuolinen viljelykierto. Vaikutukset tulee kuitenkin huomioida jossain määrin, jos/kun toimenpiteet vaikuttavat pellon tuottavuuteen ja sitä kautta maahan päätyvän hiilen määrään. Lisäksi on huomioitava, että tutkimusten perusteella monien viljelytoimien vaikutukset eivät suinkaan ole kaikissa oloissa yksiselitteisiä. Tähän liittyviä asioita on käsitelty tarkemmin Liitteessä 2, joka käsittelee hiilen kertyminen maatalouskäytössä oleviin kivennäismaihin.

Mallinnuksessa ei huomioitu mahdollista ilmaston muuttumista. Ilmasto-opas.fi sivuston mukaan vuoden keskilämpötila voi Suomessa nousta 1-2 asteella vuoteen 2050 mennessä. Samaa aikaan sademäärä lisääntyy. Ilmastonmuutoksena seurauksena maaperän hiilen hajoaminen tulee nopeutumaan. Näin WEM- ja WAM-skenaarioiden hiilensidonta tulee olemaan merkittävästi pienempää kuin tuloksissa esitetyt.

6.4 Maatalouden energiasektori: Biokaasutuotanto maataloudessa

Tilakoon kasvu ja kotieläintuotannon keskittyminen edellyttävät uusia ratkaisuja lannan hyödyntämisessä samalla, kun nurmen tuotanto maaperän hoitotoimenpiteenä mahdollistaa myös nurmimassojen uudenlaisen hyödyntämisen. Lannassa ja nurmessa onkin merkittävin biokaasupotentiaali sekä energiana että kierrätettävänä ravinteina. Biokaasutuotanto maatalouden biomassoista onkin yhtä aikaa merkittävä mahdollisuus lisätä maatalouden uusiutuvan energian tuotantoa, korvata fossiilista energiaa liikenteessä ja teollisuudessa ja omassa käytössä sekä vähentää maatalouden haitallisia vesistövaikutuksia. Biokaasutuotanto maatalouden materiaaleista vaatii kuitenkin merkittävää yhteiskunnallista tukea, sillä kyse on kokonaan uusien markkinoiden rakentamisesta. Se vaatii maataloudelta myös huomattavia muutoksia toimintatavoissa sekä raaka-aineiden (lanta, nurmi) tuotannossa ja käsittelyssä, yhteistyössä energia- ja ravinnealan toimijoiden kanssa, että lopputuotteiden hyödyntämisessä.

WEM-skenaariossa biokaasutuotanto maatalouden biomassoista olisi edelleen vähäistä sen potentiaaliin verrattuna, sillä ohjauskeinoja ei oletusten mukaan kehitettäisi ja biokaasutuotanto maatalouden materiaaleista olisi edelleen kannattavuudeltaan haastavaa. Maatilamittakaavan laitosten toimintaedellytykset sinänsä kasvaisivat maatalouden rakennemuutoksen edetessä ja tilakoon kasvaessa. WAM1-skenaariossa biokaasutuotantoa ja siihen kytkeytyvää ravinnekiertoa tuettaisiin ja edistettäisiin monin tavoin. Kannustinten myötä sekä liikenne- ja teollisen biokaasun että kierrätyslannoitevalmisteiden markkinat saataisiin kehittymään voimakkaasti, mikä nostaisi maatalouden materiaalien ohjautumista biokaasutuotantoon. Tällöin lannasta yli kolmannes ohjautuisi biokaasutuotantoon. Tuotetun lantabiokaasun energiamäärä nousisi vuoteen 2050 mennessä noin 38 %:iin lannan kokonaisenergiapotentiaalista biokaasuna. Lisäksi energiaa saataisiin WAM1-skenaariossa nurmialoilta 50 000 ha pinta-alalta. Lannoista merkittävä osa päätyisi maatilakokoluokkaa suurempiin biokaasulaitoksiin, jotka mahdollistavat alueellisen ravinteiden uusjaon. Maatilakokoluokan laitoksissakin lantatypen hyödyntäminen tehostuisi ja mädätteen tai siitä separoitujen jakeiden houkuttelevuus nousisi paikallisesti kasvintuotantotiloilla. Lantaravinteiden käyttö tehostuisi merkittävästi ja ne korvaisivat osin mineraalilannoitteita.

WAM2-skenaariossa kannustimia ja tukitoimenpiteitä biokaasutuotantoon ja ravinnekiertoihin tulisi vielä lisää. Tällöin biokaasutuotanto maatalouden biomassoista kasvaisi entisestään, etenkin nurmien biokaasukäyttö selvästi kasvaisi ja liikenne- sekä teollisen biokaasun osuus tuotetusta energiasta nousisi merkittävästi. Maatilakokoluokkaa suurempien laitosten osuus biokaasulaitoksista nousisi liikennebiokaasutuotannon tehostamiseksi ja ohjaamiseksi etenkin nesteytetyn biokaasun suuntaan raskaan liikenteen käyttöön. Yhä suurempi osuus lannoista päätyisi maatilakokoluokkaa suurempiin laitoksiin kotieläintuotannon keskittymissä, joissa lannan kuljetusmatka laitoksiin jäisi keskittymisen myötä hyvinkin kohtuulliseksi. Lisäksi lannan ja nurmen yhteismädätys yleistyisi voimakkaasti ja pääasiassa nurmea mädättäviäkin laitoksia toteutettaisiin. Tuotetun biokaasun energiamäärä nousisi WAM2-skenaariossa vuoteen 2050 mennessä noin 48 % lannan kokonaisenergiapotentiaalista biokaasuna. Lisäksi energiaa saataisiin WAM2-skenaariossa ”hiiliviljelyn” nurmialoilta, jonka pinta-ala kasvaisi jo 150 000 ha:iin. Tällöin nurmen osuus tuotettavasta biokaasusta olisi jo

lantaa suurempi. Olennaista on, että maatalouden materiaaleista tuotettu biokaasuenergia ei jää ainoastaan maatalouden käyttöön, vaan sektoreiden välinen yhteistyö raaka-aineiden tuotannossa, prosessoinnissa ja lopputuotteiden hyödyntämisessä on välttämätöntä.

Kotieläintalouden lannoissa on merkittävä energiapotentiaali biokaasutuotannossa. Lisäksi yhä tärkeämmäksi lantabiokaasun tuotannon yhteydessä nousee mahdollisuus kiertotalouden ravinteiden ja jäljelle jäävän orgaanisen aineen tehostetussa hyödyntämisessä. Lannat sisältävät pääosan ruokaketjussa ja ylipäättään yhteiskunnassa kierrätettävissä olevista ravinteista, ja niiden tehokkaan hyödyntämisen merkitys maatalouden resurssitehokkuuden, omavaraisuuden ja ympäristön tilan parantamisessa kasvaa koko ajan.

Maataloudessa muodostuu myös muita biokaasutuotantoon soveltuvia biomassoja, kuten kasvintuotannon sivuvirtoja, hävikkirehua ja erilaisia nurmibiomassoja. Myös kasvihuonetuotannon sivuvirrat voitaisiin toimittaa biokaasulaitoksiin. Tässä tarkastelussa huomioidaan lannan lisäksi erityisesti nurmibiomassat, sillä niiden energiasisältö on suuri ja myös energiapoliittisesti merkittävä. Nurmentuotannon lisäämisellä tavoitellaan maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä, ml. tässäkin tarkastelussa huomioitavat nurmentuotanto eloperäisillä mailla sekä maaperän rakenteen parantaminen ja hiilen lisääminen (ns. hiiliviljely). Myös kasvihuonetuotannon sivuvirrat huomioidaan. Laskentamenetelmät on esitetty tarkemmin liitteessä 3.

6.4.1 Teoreettinen potentiaali

Lantojen ja erilaisten kasvibiomassojen energiapotentiaali biokaasuna on arvioitu merkittävimmäksi kaikista orgaanisista materiaaleista (mm. Tähti & Rintala 2010, Marttinen ym. 2015, TEM 2020a). Ne sisältävät myös ylivoimaisesti eniten kierrätettäviä ravinteita (Marttinen ym. 2017, TEM 2020a).

Lannat

Suomessa lantaa muodostui vuonna 2019 noin 13,6 miljoonaa tonnia (ex housing, pois lueksen laitumille ja jaloittelutarhoihin eritetty lanta, Taulukko 6.4.1.1). Tästä 69 % on nautojen lantaa, 13 % sikojen lantaa, 7,0 % siipikarjan lantaa, 0,64 % lampaiden ja vuohien lantaa, 8,7 % hevosten ja ponien lantaa sekä 2,7 % turkiseläinten lantaa. Lannoissa oli kaikkiaan noin 71 000 tonnia kokonaistyppeä ja 17 600 tonnia fosforia ja kaiken lannan energiantuottopotentiaali biokaasuna oli 3,84 TWh.

Eläinmäärien oletettu muutos vuosille 2035 ja 2050 muuttaa muodostuvan lannan ja sen ravinteiden määrää sekä lannan energiapotentiaalia biokaasuna (Taulukko 6.4.1.1). Lannan määrä laskee 11,3 miljoonaa tonniin vuonna 2035 ja 10,6 miljoonaa tonniin vuonna 2050. Nautojen osuus lannasta laskee myös ollen vuonna 2035 64 % ja vuonna 2050 63 %. Sianlantojen osuus laskee hieman (12 % molempina vuosina) ja siipikarjan lantojen osuus nousee (2035 9,3 % ja 2050 9,5 %). Lampaiden ja vuohien lannan osuus on edelleen vähäinen (0,78 ja 0,81 %), kun taas hevosten ja ponien lannan (10,5 ja 10,86 %) sekä turkiseläinten lannan (3,3 ja 3,4 %) osuudet kasvavat hieman.

Lannoissa on vuonna 2035 typpeä 61 300 tonnia ja vuonna 2050 57 700 tonnia, kun fosforia niissä on vastaavasti 15 700 tonnia ja 14 900 tonnia. Kaikkien lantojen energiapotentiaali on vuonna 2035 3,1 TWh ja vuonna 2050 3,0 TWh.

Mikäli kaikesta teoreettisesti tuotettavissa olevasta lantabiokaasusta tuotettaisiin sähköä ja lämpöä yhdistetyllä sähkön ja lämmön tuotannolla, sähköä saataisiin vuonna 2019 1,31 TWh, vuonna 2035 1,09 TWh ja vuonna 2050 1,05 TWh. Lämmölle vastaavat arvot olisivat samanaikaisesti 1,88 TWh, 1,55 TWh ja 1,50 TWh. Mikäli kaikesta biokaasusta tuotettaisiin liikennepolttoainetta, sitä saataisiin vastaavasti 3,68 TWh, 3,04 TWh ja 2,94 TWh.

Taulukko 6.4.1.1.. Suomen kotieläintuotannon lantojen määrä, ravinteet ja energiapotentiaali biokaasuna vuonna 2019, 2035 ja 2050.

Vuosi	Lanta* (milj.t/vuosi)	Ntot (t/vuosi)	Ptot (t/vuosi)	Lannan energiapo- tentiaali biokaasuna (TWh/vuosi)
2019	13,58	71070	17600	3,75
2035	11,34	61300	15700	3,10
2050	10,63	57700	14900	3,00

*lanta eläinsuojasta (ex housing) pois lukien laitumille ja jaloittelutarhoihin eritetty lanta

Nurmet

Vuonna 2019 erilaisia kesantonurmia oli Suomessa 222 000 ha (Suomen Virallinen Tilasto 2020). Kesantoalan koko on vaihdellut 220 000 – 270 000 ha välillä vuosina 2013–2019 ja sen on oltava nurmeksi perustettua ollakseen maataloustukikelpoista. Nurmipeitteistä alaa on siis jo ennestään runsaasti, mutta kysyntää nurmisadolle on monin paikoin vähän etenkin Etelä-Suomessa.

Tämän tiekartan skenaariossa kesantoala kasvaa viljantuotannon ja rehunurmen tuotannon tehostuessa ja pinta-alojen vähentyessä lähes 600 000 ha tasolle, josta WAM1- ja WAM2-skenaarioissa osa oletetaan otettavaksi biokaasutuotantoon.

Jos koko ala olisi apilanurmituotannossa ja sato ohjattaisiin biokaasulaitoksiin, sen vuosittainen energiapotentiaali olisi satotasosta riippuen 5 – 12 TWh ja se sisältäisi noin 76 700 - 190 000 tonnia kokonaistyppeä ja noin 4800 – 12 000 tonnia kokonaisfosforia. Maksimituotanto tarkoittaisi intensiivistä lannoitteiden käyttöä suurten satotasojen saavuttamiseksi, kun taas minimi saavutettaisiin vähäisin panoksin.

Nurmien teoreettisen energiapotentiaaliksi on esitetty monenlaisia arvioita (esim. Tähti & Rintala 2010, Marttinen ym. 2015, TEM 2020a), joista kaikki riippuvat paitsi käytettävissä olevasta peltoalasta, myös nurmien tuotantotavasta ja satotasosta. Usein arvioissa on oletettu, että nurmea lannoitetaan voimakkaasti korkean satotason ja näin myös esitetään korkean energiapotentiaalin saavuttamiseksi. Talous- ja/tai ympäristösyiden vuoksi tämä ei kuitenkaan ole perusteltua, eikä koko kesantoalan tuottaman nurmen hyödyntäminen biokaasutuotantoon olisi voimaperäisenä tuotantona tavoiteltavaa (esim. Rasi ym. 2019).

Kasvihuonetuotannon sivuvirrat

Kasvihuonetuotannossa muodostuvista sivuvirroista tomaatin, kurkun ja paprikan tuotannossa muodostuu merkittävimmät määrät tähteitä, jotka soveltuisivat biokaasutuotantoon. Vuonna 2019 niiden määrä oli noin 49 000 tonnia (Luonnonvarakeskus 2020d) ja määrän arvioidaan pysyvän samana myös tulevaisuudessa (Jokinen 2020). Tähteiden teoreettinen energiapotentiaali biokaasuna on 0,0125 TWh.

Verrattuna maatalouden muihin biokaasulaitoksiin soveltuviin materiaaleihin energiapotentiaali on vähäinen eikä kasvihuonetuotannon yhteyteen todennäköisesti muodostuisi omia laitoksia. Sen sijaan sivuvirrat voisivat toimia tärkeänä lisäsyötteenä maatalouden muihin materiaaleihin perustuvissa biokaasulaitoksissa tapauskohtaisesti. Lisäksi kasvihuonetuotanto voisi olla biokaasulaitoksissa tuotetun energian hyödyntäjä (kasvihuoneiden sähkön ja lämmön lähteenä tai kuljetusten polttoaineena) ja ravinteiden hyödyntäjä (esimerkiksi mädätteestä jalostetut nestemäiset ravinneliuokset ja kasvualustat). Tämänäyttypisillä symbiooseilla voitaisiin lisätä tuotannon omavaraisuutta ja mahdollisesti myös vähentää siihen liittyviä päästöjä.

Tässä tarkastelussa ei tehty täsmällisempiä arvioita kasvihuonetuotannon sivuvirtojen biokaasukäytöstä eri skenaarioissa. Voidaan kuitenkin sanoa, että mikäli biokaasutuotanto ylipäätään kasvaa, kasvaa myös kasvihuoneiden sivuvirtojen hyödyntäminen biokaasuntuotannossa.

6.4.2 Arvio toteutettavissa olevasta maatalouden biokaasutuotannosta

Nykytila

Vuonna 2019 lannasta päätyi biokaasulaitoksiin Luonnonvarakeskuksen arvion mukaan noin 160 000 tonnia, mikä vastaa noin prosenttia kaikesta lannasta (ks. taulukot b ja c osana WEM-skenaariota). Lannasta vuonna 2019 tuotetun biokaasun energiasisältö oli vajaa prosentti lannan teoreettisesta energiapotentiaalista. Myös lannan tyypestä ja fosforista vain noin prosentti päätyy biokaasulaitoksiin, joissa mädätettä ei juuri jalosteta, vaikka paikoin se voisi tehostaa ravinteiden hyödyntämistä selvästi. Ravinnekiertojen tehostaminen ei toistaiseksi biokaasulaitosten avulla toteudu.

Nurmibiomassoja biokaasulaitoksiin päätyi vuonna 2019 vähäisiä määriä pääasiassa nauttilojen maatilakohtaisten biokaasulaitosten lisäsyötteinä sekä suuremmissakin laitoksissa ylivuotisena tai lievästi pilaantuneena säilörehuna. Tuotantonurmia mädätettiin lähinnä Palopuron biokaasulaitoksella (viherlannoitusnurmet). Täsmällistä arviota biokaasutuotannossa käytetystä nurmibiomassasta ei ole tehty.

WEM-skenaario

WEM-skenaariossa biokaasutuotanto maatalouden biomassoista olisi edelleen vähäistä sen potentiaaliin verrattuna, sillä ohjauskeinoja ei oletusten mukaan kehitettäisi ja biokaasutuotanto maatalouden materiaaleista olisi edelleen kannattavuudeltaan haastavaa. Maatilamittakaavan laitosten toimintaedellytykset sinänsä kasvaisivat maatalouden rakennemuutoksen edetessä ja tilakoon kasvaessa. Myös yhä jatkuva kotieläintuotannon alueellinen keskittyminen voisi lisätä tilojen yhteisten biokaasulaitosten mahdollisuuksia. Sen sijaan suurten, keskitettyjen laitosten toimintaedellytykset pääasiassa maatalouden materiaaleihin perustuvina pysyisivät haastavina, kun biokaasun käyttö liikenteessä ja teollisuudessa olisi rajallista, kierätyslannoitevalmisteiden markkinat eivät olennaisesti kehittyisi eikä maatalouden materiaaleista olisi saatavissa porttimaksuja. Keskikoon laitoksia voisi rakentaa muutamia.

Tässä arvioitu maatalouden biokaasutuotannon lisäys muodostuisi näin ollen lähinnä suurten lypsykarjatilojen tilakohtaisista laitoksista sekä sikatalouden muutamista suurten tilojen ja tilakokoluokkaa suuremmista laitoksista ja perustuisi lähinnä lannan mädätykseen (Taulukko 6.4.2.1). Nautakarjataloudessa kiinnostus lannan biokaasutuotantoon lähtisi lähinnä tilan energia- ja ravinneomavaraisuuden kehittämisestä eikä kannustetta tai painetta lannan suuremman mittakaavan prosessointiin muodostuisi. Sikatuotannossa taas suurilla tiloilla tuotannon keskittymissä kannustin omaan tai tilakokoa suurempaan laitokseen voisi muodostua energiaomavaraisuuden nostamisesta sekä ravinteiden siirtämisestä osin alueen muille tiloille oman tarpeen jo täytyttyä.

Muusta kotieläintuotannon lannasta ohjautuisi biokaasulaitoksiin vain vähäisiä määriä. Siipikarjatilalla tilakohtaisen laitoksen kannattavuutta olisi edelleen haastavaa saavuttaa ja tilakokoluokkaa suurempien laitosten vähäinen määrä vähentäisi mahdollisuuksia ohjata siipikarjan lantaa niihin. Lampaiden ja vuohien lantaa biokaasutuotantoon ei ohjautuisi ollenkaan, sillä sen määrä ja metaanintuottopotentiaali ovat vähäisiä ja tiloilla on pääasiassa oma käyttö lannalle. Hevosten lantaa voisi ohjautua tilakokoluokkaa suurempiin laitoksiin lähinnä hevosurheilukeskusten ja suurten taajamatallien mahdollisena ratkaisuna. Turkistuotannon lannan biokaasukäyttöä jarruttaisi suurten biokaasulaitosten vähäinen määrä.

Lisäksi nurmia ohjautuisi biokaasutuotantoon vähän, lähinnä vastaavina sivuvirtatyyppeinä massoina kuin nykytilassakin (nautatilojen ylivuotiset nurmet, hävikkirehu).

Taulukko 6.4.2.1 WEM-skenaariossa biokaasulaitoksiin ohjautuvien lantojen osuudet eläinluokittain.

WEM	Osuus lannasta biokaasutuotantoon (%)					
Vuosi	Naudat	Siat	Siipikarja	Lampaat ja vuohet	Hevoset ja ponit	Turkiseläimet
2019	0,75	3	0,5	0	0,15	0,5
2035	10	10	2	0	1	5
2050	12,5	12,5	3	0	1,25	5,5

Tuotetun biokaasun määrä jäisi näillä oletuksilla vuoteen 2035 mennessä 8 % ja vuoteen 2050 mennessä noin 10 % lannan kokonaisenergiapotentiaalista biokaasuna. Tuotettu energiamäärä olisi korkeintaan noin 0,3 TWh (Taulukko 6.4.2.2). Mikäli tuotettu energia ohjautuisi kokonaan sähkön ja lämmön yhteistuotantoon, se tarkoittaisi noin 0,1 TWh sähköä ja 0,15 TWh lämpöä. Pelkän liikennebiokaasun tuotannossa energiaa olisi noin 0,3 TWh.

Nurmista tuotetun biokaasun osuus olisi karkeasti noin 0,034 TWh tarkoittaen CHP-tuotannossa noin 0,017 TWh lämpöä ja 0,012 TWh sähköä tai 0,03 TWh liikennebiokaasua.

Maatalouden kokonaisbiokaasutuotanto olisi näin WEM-skenaariossa yhteensä 0,31 TWh vuonna 2035 ja 0,37 TWh vuonna 2050. Siitä 90 % päätyisi sähkön ja lämmön yhteistuotantoon, jolloin sähköä saataisiin vuonna 2035 0,10 TWh ja lämpöä 0,14 TWh. Vastaavat luvut vuodelle 2050 olisivat 0,12 TWh ja 0,17 TWh. Loput biokaasusta ohjautuisi liikennebiokaasuksi, jota tuotettaisiin tällöin 0,03 TWh vuonna 2035 ja 0,04 TWh.

Taulukko 6.4.2.2. Arvio WEM-skenaariossa toteutettavissa olevasta maatalouden energiapotentiaalista lantabiokaasuna. Vertailuksi tilanne vuonna 2019.

WEM	Lantabiokaasuna tuotettu energia (TWh)							Osuus kaikesta lannan energiapotentiaalista (%)
Vuosi	Naudat	Siat	Siipikarja	Lam-paat ja vuohet	Hevoset ja ponit	Turkiseläimet	Yhteensä	
2019	0,022	0,014	0,0013	0,0000	0,0006	0,0005	0,039	0,92
2035	0,23	0,037	0,0058	0,0000	0,0038	0,0050	0,28	8,11
2050	0,27	0,045	0,0086	0,0000	0,0047	0,0056	0,34	10,1

WEM-skenaario ei myöskään vaikuttaisi lannan ravinteiden hyödyntämiseen merkittävästi (Taulukko 6.4.2.3). Tilakohtaisissa laitoksissa lannan typen käyttö voisi biokaasutuotannon yhteydessä hieman tehostua, huomioiden orgaanisen typen osittainen hajoaminen liukoiseen muotoon prosessin aikana. Lantafosforin aiempaa tasaisempi alueellinen jakautuminen kasvintuotannon fosforilannoitustarpeen mukaan jäisi saavuttamatta tai vähäiseksi suurten, ravinteita väkevöidyksi kierrätyslannoitevalmisteiksi jalostavien laitosten vähäisen määrän vuoksi. Nurmien osuus ravinnekierrossa olisi hyvin marginaalinen.

Taulukko 6.4.2.3. Arvio WEM-skenaariossa biokaasulaitoksiin ohjautuvista lantaravinteista. Vertailuksi tilanne vuonna 2019. Nurmen biokaasukäyttö olisi niin vähäistä, että sen merkitys olisi marginaalinen myös ravinnekierrossa.

Vuosi	Lantafosfori (t/vuosi)	Osuus kaikesta lantafosforista (%)	Lantatyyppi (t/vuosi)	Osuus kaikesta lantatyypestä (%)
2019	180	0,92	870	0,95
2035	1270	7,4	6460	8,3
2050	1480	9,1	7570	10

WEM-skenaariossa biokaasulaitokset eivät muuttaisi lannanlevitysalan tarvetta eivätkä juuri toimisi tilojen laajentamisen ja alueellisen keskittymisen ravinne- ja maankäytön kysymysten osaratkaisuna. Paikallisesti ja tilakohtaisesti ne voisivat ravinnekiertoa jossain määrin tehostaa. Liikennekaasun tuotanto maatalouden materiaaleista jäisi vähäiseksi. Kannustinten vaikuttavuuden puuttuessa laajempaa investointiaaltoja ei muodostuisi ja biokaasutoiminta maatalouden materiaaleilla jäisi WEM-skenaariota mukaan edelleen marginaaliseksi.

Tilakokoluokkaa suurempien laitosten alueellinen sijoittuminen ohjautuisi WEM-skenaariossa lähinnä sikatuotannon keskittymiin, jotka ovat tulevaisuudessa samat kuin kirjoitushetkellä (muutamat kunnat Varsinais-Suomessa ja Satakunnassa sekä Etelä-Pohjanmaalla). Lypsykarjatuotannon tilakohtaiset laitokset taas sijoittuisivat Sisä-Suomeen ja Pohjanmaalle. Niiden käyttöönottoa tukee tilakoon kasvu (lypsylehmistä yli 100 lehmän tiloilla 66 % vuonna 2035 ja 89 % vuonna 2050).

WAM1-skenaario

WAM1-skenaariossa oletettiin käyttöönotettavan merkittäviä ohjauskeinoja sekä liikennebiokaasun ja teollisen biokaasun tuotannon ja käytön että ravinteiden kierrättämisen tehostamiseksi (ks. WAM1-skenaarion määrittely tämän raportin luvussa 4). Molempien tavoitteiden saavuttamisessa maatalouden materiaaaliveirtojen aiempaa tehokkaampi hyödyntäminen olisi merkittävässä roolissa. Ohjauskeinot vaikuttaisivat voimakkaammin lannan hyödyntämiseen ja ohjautumiseen biokaasulaitoksiin, kun taas nurmien biokaasukäyttö pysyisi maltillisena, joskin WEM-skenaariota suurempana.

Lannasta reilu kolmannes ohjautuisi WAM1-skenaariossa biokaasutuotantoon siten, että naudoilla laitoksiin ohjautuva osuus olisi vuoteen 2050 mennessä 40 % (Taulukko 6.4.2.4), sioilla 50 % ja siipikarjalla 30 % lannasta. Hevosten lannoista 20 % päätyisi biokaasutuotantoon ja turkiseläinten lannasta 50 %. Lampaiden ja vuohien lantaa ei edelleenkään arvioida päätyvän biokaasutuotantoon.

Naudoilla lypsykarjan lannan osuus olisi suurin ja tilakohtaisten laitosten lisäksi sitä ohjautuisi myös tilakokoa suurempiin biokaasulaitoksiin liikennebiokaasutuotannon lisäämiseksi. Osa näistä suurista laitoksista myös jalostaisi mädätteestä väkevöityjä kierrätyslannoitevalmisteita, mikä mahdollistaisi myös nautakarjataloudessa ravinteiden kohdentamisen aiempaa täsmällisemmin sinne, missä niitä tarvitaan. Tämä voisi osaltaan vähentää tuotannon keskittymisen aiheuttamaa lisäpainetta lannanlevitysalan lisäämiselle ja ylipäätään mahdollistaa nautatilojen laajentamisen tuotannon keskittymissä.

Sikatuotannon keskittyessä alueellisesti entisestään ja sen lantaravinteiden kestävän käytön ratkaisujen muuttuessa entistä välttämättömämmäksi, yhä suurempi osuus sianlannoista päätyisi tilakokoa suurempiin biokaasulaitoksiin, joissa ravinteiden jalostaminen kuljetettaviksi kierrätyslannoitevalmisteiksi on mahdollista. Samalla myös siipikarjan lantaa päätyisi biokaasulaitoksiin aiempaa selvästi enemmän, koska etenkin Lounais-Suomessa lantafosforin ylijäämä kasvaisi sika- ja siipikarjatuotannon keskittymisen myötä siten, että lannan jalostaminen muodostuisi jo edellytykseksi tuotannon ylläpidolle ja kehitymiselle.

Vastaavaa kehitystä keskitettyä biokaasulaitoksia kohti olisi nähtävissä myös Pohjanmaalla, jossa kotieläintuotantoa tulisi olemaan paljon niin nauta-, sika- kuin siipikarjasektoreilla kuin turkistuotannossa. Saatavilla olevan lantafosforin tarjonta ylittäisi alueen kasvintuotannon tarpeen nykyistäkin selkeämmin (Luostarinen ym. 2019a). Turkistuotannossa ei lannalle ole juurikaan omaa käyttöä, joten siitä merkittävän osan olisi päädyttävä käytettäväksi muualla (Tampio ym. 2020; Lehtoranta ym. 2020). Yhteiskunnalliset panostukset ajaisivat prosessoimaan lantaa nimenomaan biokaasulaitoksissa, koska niistä olisi saatavissa liikennebiokaasua tai teollisuuden biokaasua ja niissä voidaan jalostaa erilaisia lantoja ja muita alueellisia syötemateriaaleja samalla kertaa monipuolisesti käytettäväksi kierrätyslannoitevalmisteiksi (Luostarinen ym. 2019b).

Taulukko 6.4.2.4. WAM1-skenaariossa biokaasulaitoksiin ohjautuvien lantojen osuudet eläinluokittain.

WAM1	Osuus lannasta biokaasutuotantoon (%)
-------------	--

	Nau- dat	Siat	Sii- pi- karja	Lam- paat ja vuo- het	He- vo- set ja po- nit	Tur- kis- eläi- met
2035	30	40	20	0	15	40
2050	40	50	30	0	20	50

Tuotetun lantabiokaasun energiamäärä nousisi näillä oletuksilla vuoteen 2050 mennessä noin 38 % lannan kokonaisenergiapotentiaalista biokaasuna ollen noin 1,27 TWh (Taulukko 6.4.2.5). Mikäli lantaenergia ohjautuisi kokonaan sähkön ja lämmön yhteistuotantoon, se tarkoittaisi noin 0,44 TWh sähköä ja 0,64 TWh lämpöä. Pelkkää liikennebiokaasua tuottaessa sitä saataisiin noin 1,24 TWh.

Lisäksi energiaa saataisiin WAM1-skenaariossa ”hiiliviljelyn” nurmialoilta noin 50 000 ha pinta-alalta vuosittain. Toteutuva nurmen energiapotentiaali biokaasuna vastaisi tällöin yhteensä noin 0,74 TWh energiamäärää. CHP-tuotannossa sähköä nurmesta saataisiin 0,26 TWh ja lämpöä 0,37 TWh, tai liikennebiokaasuna 0,73 TWh.

Maatalouden kokonaisbiokaasutuotanto (lannat + nurmi) olisi näin WAM1-skenaariossa vuonna 2035 yhteensä 1,73 TWh ja vuonna 2050 2,01 TWh.

Taulukko 6.4.2.5. Arvio WAM1-skenaariossa toteutettavissa olevasta maatalouden energiapotentiaalista biokaasuna.

WAM1 Lantabiokaasuna tuotettu energia (TWh)								
	Nau- dat	Siat	Sii- pi- karja	Lam- paat ja vuo- het	He- vo- set ja ponit	Tur- kis- eläi- met	Yh- teensä	Osuus kai- kesta lan- nan ener- giapo- ten- ti- aalista (%)
2035	0,6839	0,15	0,058	0,0000	0,056	0,040	0,99	28,6
2050	0,8731	0,18	0,086	0,0000	0,075	0,051	1,27	37,9

WAM1-skenaariossa arvioidaan, että tuotettavissa olevasta biokaasun energiasta 60 % (1,04 TWh 2035 ja 1,21 TWh 2050) ohjautuisi edelleen CHP-tuotantoon (Taulukko 6.4.2.6). Liikennebiokaasun tuotanto kasvaisi sen tuotantoon ja ravinnekiertoihin käyttöönotettavien kannustinten myötä merkittävästi kattaen 40 % tuotetusta energiamäärästä.

Taulukko 6.4.2.6. Maatalouden biokaasutuotannon (lannat + nurmi) energiasisällön jakautuminen sähkön ja lämmön yhteistuotantoon ja liikennebiokaasuksi WAM1-skenaariossa.

Vuosi	Kokonais- energia bio- kaasuna (TWh)	Osuus CHP-tuo- tantoon	Sähkö (TWh)	Lämpö (TWh)	Osuus lii- kentee- seen (TWh)	Lii- kenne-
--------------	---	---------------------------------------	------------------------	------------------------	--	------------------------

						bio- kaasu (TWh)
2035	1,73	60 %	0,36	0,52	40 %	0,68
2050	2,01	60 %	0,42	0,60	40 %	0,79

Lannan ravinteista biokaasulaitoksiin ohjautuisi WAM1-skenaariossa vuonna 2035 30 % ja vuonna 2050 39 % (Taulukko 6.4.2.7). Koska lannoista merkittävämpi osa päätyisi suurempiin biokaasulaitoksiin, jotka mahdollistavat alueellisen ravinteiden uusjaon, ja tilakokoluokan laitoksissakin etenkin lantatypen hyödyntäminen tehostuisi ja mädätteen tai siitä separoitujen jakeiden houkuttelevuus voisi nousta paikallisesti kasvintuotantotiloilla, lantaravinteiden käyttö tehostuisi merkittävästi ja ne korvaisivat mineraalilannoitteita jo selvästi WEM-skenaariota enemmän.

Lannoituksessa on huomioitava myös biokaasutuotantoon ohjautuvan nurmen lannoitustarve ja sen mädätyksen yhteydessä muodostuva mädäte. Mädätteeseen arvioidaan nurmesta päätyvän 11670 tonnia kokonaistyppeä ja 730 tonnia kokonaisfosforia. Liukoista typpeä kokonaistypestä olisi arviolta 40 % eli 4670 tonnia. Tarvitun nurmisadon tuottamiseen tarvittaisiin viljelypanoksena noin 3900 t liukoista typpeä, mikä olisi noin 30 % nurmimädätteen kokonaistypestä ja 84 % sen liukoisesta typpestä. Tällöin muuhun viljelyyn jäisi noin 120 tonnia fosforia ja 1900 tonnia kokonaistyppeä. Pelkällä mädätteellä lannoitettaessa kokonaistypen määrä nousisi niin korkeaksi, että todennäköisesti käytännössä nurmen lannoituksessa käytettäisiin jotain mädätteestä jalostetun tyyppipitoisen kierrätyslannoitevalmisteen, mineraalilannoitteen ja/tai mädätteen yhdistelmää pelkän mädätteen sijaan ja/tai mädätteen sisältämälle orgaaniselle typelle annettaisiin lannoitusarvoa eikä lannoitusta suunniteltaisi pelkän liukoisen typen mukaan. Jälkimmäinen olisi perusteltua myös siltä kannalta, että kesantonurmet kasvavat koko kasvukauden ajan ja orgaanisen typen maaperässä hajotessa vapautuva liukoinen typpi olisi kaiken aikaa nurmen käytettävissä.

Taulukko 6.4.2.7 Arvio WAM1-skenaariossa biokaasulaitoksiin ohjautuvista lannan ja nurmen ravinteista.

Vuosi	Lanta- fosfori (t/vuosi)	Osuus kai- kesta lan- taP:sta (%)	Lanta- typpi (t/vuosi)	Osuus kai- kesta lan- taN:stä (%)	Nurmen fosfori (t/vuosi)	Nurmen typpi (t/vuosi)	Fosfo- ria yh- teensä (t/vuosi)	Typeä yh- teensä (t/vuosi)
2035	5070	29,6	22810	29,4	730	11670	5800	34480
2050	6380	39,1	28540	38,8	730	11670	7110	40210

Kannustinten myötä sekä liikenne- ja teollisen biokaasun että kierrätyslannoitevalmisteiden markkinat saataisiin kehittymään voimakkaasti, mikä nostaisi maatalouden materiaalien ohjautumista biokaasutuotantoon ja lisäisi suhteessa enemmän tilakokoa suurempien laitosten käyttöönottoa verrattuna WEM-skenaarioon. Suuremmassa mittakaavassa laitosten olisi kustannustehokkaampaa tuottaa sekä liikenne- ja teollista biokaasua että kierrätyslannoitevalmisteita, ja laitostoon kasvu korostuisi tavoiteltaessa nesteytetyn liikennebiokaasun tuotantoa raskaalle liikenteelle (Luostarinen ym. 2019a). Silti myös tilakokoluokan laitoksille olisi perusteltu paikkansa etenkin niillä suurilla kotieläintiloilla, joilla on tarve sekä energiaomavaraisuuden kasvattamiselle että mahdollisuus pääosin hyödyntää ravinteet itse.

Tilakokoluokan laitoksistakin osa tuottaisi liikennebiokaasua, vaikka painotus olisi edelleen CHP-tuotannossa.

Kotieläintuotannon alueellinen keskittyminen etenee (likimain samalla tavoin kaikissa skenaarioissa), joten se tukee myös WAM1-skenaariota siten, että keskittymisen jatkuessa ja lannanlevitysalan tarpeen kasvaessa keskittymien alueilla, tulisi välttämättömäksi jalostaa lantaravinteita väkeväytyyn ja kuljetettavaan muotoon, jotta ne saataisiin aiempaa paremmin käyttöön myös kasvintuotannossa ja keskittymien ulkopuolella. Koska raakalantaa ei kannata kauas kuljettaa, olisi biokaasulaitosten sijoitettava kotieläintuotannon yhteyteen. Tilakohtaiset ja myös osa tilojen yhteisistä laitoksista olisivat edelleen mahdollisia missä tahansa, kunhan tilakoko on riittävän suuri ja/tai tapauskohtaiset yhteistyötavoitteet täyttyvät. Sen sijaan suuret laitokset sijoittuisivat kotieläintuotannon keskittymiin, etenkin Varsinais-Suomen, Satakunnan, Pohjanmaan ja myös Pohjois-Savon alueille.

Biokaasuinvestoinnit, ml. laitosten lukumäärät eri kokoluokissa ja investointimeno, on esitetty liitteessä 4.

WAM2-skenaario

WAM2-skenaariossa oletettiin, että kaikki WAM1-skenaariion kannustimet biokaasutuotantoon ja ravinnekiertoihin toteutuisivat ja niiden lisäksi tukitoimenpiteitä tulisi vielä lisää. Tällöin biokaasutuotanto maatalouden biomassoista kasvaisi entisestään, etenkin nurmien biokaasukäyttö selvästi kasvaisi ja liikenne- sekä teollisen biokaasun osuus tuotetusta energiasta merkittävästi nousisi.

Lannan ohjautuminen biokaasulaitoksiin nousisi vielä WAM1-skenaariosta (Taulukko 6.4.2.8) samoilla perusteilla kuin WAM1-skenaariossakin. Naudoilla suurempien laitosten osuus biokaasulaitoksista nousisi liikennebiokaasutuotannon tehostamiseksi ja ohjaamiseksi etenkin nesteytetyn biokaasun suuntaan raskaan liikenteen käyttöä ajatellen. Samasta syystä yhä suurempi osuus myös muista lannoista päätyisi tilakokoluokkaa suurempiin (tai erittäin suurten tilojen) laitoksiin kotieläintuotannon keskittymissä, joissa lannan kuljetusmatka laitoksiin jäisi keskittymisen myötä hyvinkin kohtuulliseksi. Lisäksi lannan ja nurmen yhteismädätys yleistyi voimakkaasti ja pääasiassa nurmea mädättäviäkin laitoksia toteutettiin.

Taulukko 6.4.2.8. WAM2-skenaariossa biokaasulaitoksiin ohjautuvien lantojen osuudet eläinluokittain.

WAM2	Osuus lannasta biokaasutuotantoon (%)					
	Naudat	Siat	Siipikarja	Lam-paat ja vuohet	Hevoset ja ponit	Turkiseläimet
2035	40	50	30	0	25	50
2050	50	60	40	0	30	60

Tuotetun biokaasun energiamäärä nousisi näillä oletuksilla vuoteen 2050 mennessä noin 48 % lannan kokonaisenergiapotentiaalista biokaasuna ollen noin 1,60 TWh (Taulukko 6.4.2.9). Mikäli lantaenergia ohjautuisi kokonaan sähkön ja lämmön yhteistuotantoon, se tarkoittaisi noin 0,56 TWh sähköä ja 0,80 TWh lämpöä. Pelkkää liikennebiokaasua tuotettaessa sitä saataisiin noin 1,56 TWh.

Lisäksi energiaa saataisiin WAM2-skenaariossa biokaasutuotantoon nurmialoilta, jonka pinta-ala kasvaisi jo 150 000 ha:iin. Tällöin nurmen osuus tuotettavasta biokaasusta olisi jo lantaa suurempi vastaten yhteensä noin 2,2 TWh energiamäärää. Pelkässä CHP-tuotannossa sähköä nurmesta saataisiin 0,78 TWh ja lämpöä 1,1 TWh, kun pelkkänä liikenne- tai teollisena biokaasuna energiamäärä olisi 2,18 TWh.

Maatalouden kokonaisbiokaasutuotanto (lannat + nurmi) olisi näin WAM2-skenaariossa vuonna 2035 yhteensä 3,53 TWh ja vuonna 2050 3,80 TWh. Tämä vastaisi jo miltei 40 % kirjoitushetkellä yleisesti arvioidusta, teknistaloudellisesti tuotettavissa olevasta biokaasuenergiasta Suomessa.

Taulukko 6.4.2.9 Arvio WAM2-skenaariossa toteutettavissa olevasta maatalouden energiapotentiaalista lantabiokaasuna.

WAM2	Lantabiokaasuna tuotettu energia (TWh)							
	Naudat	Siat	Siipikarja	Lam-paat ja vuohet	Hevo-set ja ponit	Turkis-eläimet	Yhteensä	Osuus kai-kesta lannan energiapo-ten-tiaalista (%)
2035	0,912	0,187	0,0869	0,0000	0,0948	0,0505	1,33	38,5
2050	1,091	0,217	0,114	0,0000	0,113	0,0606	1,60	47,8

WAM2-skenaariossa arvioitiin, että liikenne- ja teollisen biokaasun tuotanto ja käyttö nousisivat merkittävään asemaan ja laitosmittakaava olisi myös maatalouden biomassoilla niin suurta, että sen tuotanto olisi kustannustehokasta etenkin nesteytystä ja käyttöä raskaassa liikenteessä ajatellen. Kokonaisenergiasta maatalouden biokaasuna puolet voisi ohjautua liikennebiokaasuksi ja teollisuuteen ja puolet sähkön ja lämmön yhteistuotantoon (Taulukko 6.4.2.10).

Taulukko 6.4.2.10 Maatalouden biokaasutuotannon (lannat + nurmi) energiasisällön jakautuminen sähkön ja lämmön yhteistuotantoon ja liikennebiokaasuksi (puhdistettu, paineistettu liikennebiokaasu) WAM2-skenaariossa.

Vuosi	Kokonais-energia bio-kaasuna (TWh)	Osuus CHP-tuo-tantoon	Sähkö (TWh)	Lämpö (TWh)	Osuus liiken-teeseen (TWh)	Lii-kenne-bio-kaasu (TWh)
2035	3,53	50 %	0,62	0,88	50 %	1,73
2050	3,80	50 %	0,66	0,95	50 %	1,86

Lannan ravinteista jo lähemmäs puolet päätyisi biokaasulaitoksiin vuoteen 2050 mennessä (Taulukko 6.4.2.11). Koska yhä merkittävämpi osa maatalouden lannoista ja nurmista ohjautuisi nesteytetyn liikennebiokaasuntuotantoon, laitostekniikka olisi suuri ja edellyttäisi mädätteen jalostamista väkevöidyiksi, kuljetettaviksi kierrätyslannoitevalmisteiksi niiden tehokkaan hyödyntämisen varmistamiseksi. Jalostamisaste voisi myös entisestään kasvaa siten, että typpeä ja fosforia eroteltaisiin vielä WAM1-skenaariotakin tehokkaammin omiksi, epäorgaanisia lannoitteita vastaaviksi valmisteiksi, jolloin edellytykset korvata mineraalilannoitteita kasvaisivat lisää.

Lannoituksessa on WAM2-skenaariossakin huomioitava myös biokaasutuotantoon ohjautuvan nurmen lannoitustarve ja sen mädätyksen yhteydessä muodostuva mädäte (Taulukko k). Mädätteeseen arvioidaan nurmesta päätyvän 35010 tonnia kokonaistyyppiä ja 2200 tonnia kokonaisfosforia. Liukoista tyyppiä kokonaistyypestä olisi arviolta 40 % eli 14000 tonnia. Tarvitun nurmisadon tuottamiseen tarvittaisiin viljelypanoksena noin 11700 tonnia liukoista tyyppiä, mikä olisi noin 40 % nurmimädätteen kokonaistyypestä ja 84 % sen liukoisesta tyypestä. Tässäkään tapauksessa pelkällä mädätteellä biokaasutuotantoon toimitettavan nurmen lannoitusta ei todennäköisesti toteutettaisi tai siinä huomioitaisiin liukoisen tyyden lisäksi myös orgaanisen tyyden osuus kokonaistyypestä. Nurmipohjaisia ravinteita jäisi siis käytettäväksi myös muussa kasvintuotannossa.

Taulukko 6.4.2.11. Arvio WAM2-skenaariossa biokaasulaitoksiin ohjautuvista lantaravinteista.

Vuosi	Lanta- fosfori (t/vuosi)	Osuus kai- kesta lan- taP:sta (%)	Lanta- typpi (t/vuosi)	Osuus kai- kesta lan- taN:stä (%)	Nurmen fosfori (t/vuosi)	Nurmen typpi (t/vuosi)	Fosfo- ria yh- teensä (t/vuosi)	Tyyppiä yh- teensä (t/vuosi)
2035	6760	39,4	30450	39,2	2200	35010	8960	65460
2050	7980	49,0	35770	48,6	2200	35010	10180	70780

Kuten WAM1-skenaariossa, lantaa hyödyntävät biokaasulaitokset sijoittuisivat tilamittakaa-
vassa ja tilojen yhteisinä, keskikokoluokan laitoksina periaatteessa minne tahansa, missä on
riittävän suuria kotieläintiloja tai yhteistyöstä hyötyviä tilaryppäitä. Suuret, lantaa mädättävät
laitokset sijoittuisivat edelleen kotieläintuotannon keskittymiin (Varsinais-Suomi, Satakunta,
Pohjanmaan maakunnat, Pohjois-Savo). Sen sijaan pääasiassa nurmea mädättävät laitokset
voisivat sijaita eripuolilla Etelä-Suomea riippumatta lähialueen kotieläintuotannosta. Niihin
voisi ohjautua lantojakin, mutta se ei olisi välttämätöntä. Samoin pääasiassa lantaa mädättä-
viin laitoksiin voisi edelleen ohjautua myös nurmia ja se on todennäköistäkin energiantuotan-
non lisäämisen kannalta sekä nurmien monipuolistuvan käytön myötä.

Biokaasuinvestoinnit, ml. laitosten lukumäärät eri kokoluokissa ja investointimeno, on esitetty
liitteessä 4.

6.4.3 Päästövähennykset ja/tai kädenjälki biokaasun yhteydessä

Biokaasuna tuotettavasta energiasta liikennepolttoaineeksi ohjautuva osuus korvaa fossiili-
sia polttoaineita. Tässä laskennassa sen arvioitiin korvaavan dieseliä, jonka päästönä käy-
tettiin 83 gCO₂ ekv/MJ (dieselin kulutuksen suora päästö, Tilastokeskus; dieselin valmistuk-
sen ja jalostuksen päästö, Ecolnvent-tietokanta). Puhdistetun biokaasun teollisen käytön
päästövähennystä ei arvioitu, maakaasua korvattaessa se olisi dieselin korvaamista hieman
alhaisempi. Samalla dieselin päästökertoimella laskettiin lämmön tuotannossa käytettävän
polttoöljyn päästöt. Biokaasun lämmöntuotannosta puolet oletettiin korvaamaan maatalou-
den kuluttamaa öljyä. Yksi kilowattitunti vastasi 3,6 megajoulea. Laskennassa ei ole huomi-
oitu biokaasulaitosten omaa energiantarvetta.

WAM1-skenaariossa biokaasun tuottama päästövähennys olisi 0,21 Mt CO₂ ekv sekä kä-
denjälki sähköä 0,42 TWh ja lämpöä 0,3 TWh (Taulukko 6.4.3.1). Tästä osa jäisi maata-
louden oman energiankulutuksen käyttöön (lähinnä osa sähköstä ja lämmöstä sekä maata-
louden kuljetuksista), kun taas loput kulutettaisiin sektorin ulkopuolella.

Vastaavasti WAM2-skenaariossa päästövähennys olisi 0,42 Mt CO₂ ekv sekä kädenjälki sähköä 3,8 TWh ja lämpönä 0,48 TWh (Taulukko 6.4.3.2). Myös tässä osa tuotetusta energiasta päätyisi maataloussektorin ulkopuolelle etenkin liikennebiokaasun osuuden noustessa.

Taulukko 6.4.3.1 Biokaasuna tuotetun energian päästövähennys (50 % lämpö, liikennebiokaasu) ja kädenjälki (sähkö, lämpö 50 %) WAM1-skenaariossa.

WAM1	Energia biokaasuna (TWh)	Sähkö (TWh)	Lämpö 50 % (TWh)	Lämpö (50 %) Mt CO ₂ ekv	Liikennebiokaasu (100%) Mt CO ₂ ekv
2035	1,73	0,36	0,26	0,0777	0,102
2050	2,01	0,42	0,3	0,0896	0,118

Taulukko 6.4.3.2 Biokaasuna tuotetun energian päästövähennys (50 % lämpö, liikennebiokaasu) ja kädenjälki (sähkö, lämpö 50 %) WAM2-skenaariossa.

WAM2	Energia biokaasuna (TWh)	Sähkö (TWh)	Lämpö 50 % (TWh)	Lämpö (50 %) Mt CO ₂ ekv	Liikennebiokaasu (100%) Mt CO ₂ ekv
2035	3,53	0,62	0,44	0,131	0,258
2050	3,8	0,66	0,48	0,142	0,278

Tehostuvan ravinnekierron myötä maatalouden biokaasulaitoksista voidaan arvioida muodostuvan orgaanista alkuperää olevia lannoitevalmisteita, joilla voidaan korvata mineraalilannoitteita. Ravinteista kasvintuotantoon menevä osuus olisi 40 % fosforista ja 30 % tyvestä WAM1-skenaariossa ja WAM2-skenaariossa 60 % fosforista ja 40 % tyvestä. Tällöin biokaasulaitoksista kasvitiloille vapautuvat käyttökelpoiset ravinteet olisivat, huomioiden (arvioitu) 33 % hävikki työssä ja 10 % fosforista, karkeasti arvioiden samaa luokkaa kuin taulukossa 6.4.3.3.

Taulukko 6.4.3.3. Biokaasulaitoksien kautta kierrätettävän typen osuus kasvitilojen käyttöön.

	Osuus biokaasulaitoksista kasvitiloille kierrätävästä typestä	Osuus hävikin jälkeen	Ntot biokaasulaitoksissa (t/vuosi)	N kasveille korvaten mineraalityppeä (t/vuosi)
WAM1, 2035	0,3	0,667	34480	6896
WAM1, 2050	0,3	0,667	40210	8042
WAM2, 2035	0,4	0,667	65460	17457
WAM2, 2050	0,4	0,667	70780	18876

Känkäsen ym. (2012) tutkimuksen mukaan 1 kg epäorgaanista typpilannoitetta vaatii valmistusvaiheessa energiaa 38,6 MJ. Jos valmistuksessa käytetään energiana maakaasua, sen polttaminen tuottaa kasvihuonekaasupäästöjä 0,05 kg CO₂ ekv/MJ (50-57 t CO₂/TJ) (Paatero 2019).

Koska WAM1-skenaariossa biokaasulaitoksilta arvioidaan vapautuvan kasvitiloille 8 milj. kg typpilannoitetta (haihtumishävikit 33 %), tämän suuruista mineraalityppilannoitteen vähene- mistä

vastaava päästövähennys = $38,6 \text{ MJ/kg} \cdot (0,05 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv/MJ}) \cdot 8 \text{ Mkg} = 0,015 \text{ Mt CO}_2 \text{ ekv}$.
Tämä on noin 1 promille koko maatalouden khk-päästöistä.

Varsin kunnianhimoisessa WAM2-skenaariossa biokaasulaitoksilta voidaan arvioida vapautuvan kasvitiloille peräti 18,9 Mkg typpilannoitetta. Tästä aiheutuva päästövähennys on noin 0,036 Mt CO₂ ekv. eli 2,2 promillea koko maatalouden khk-päästöistä 2018.

Mineraalisen superfosfaatin valmistuksen ilmastopäästö on 0,6 kg CO₂ ekv yhtä kiloa fosforilannoitetta kohti (Williams ym. 2010). Fosforia vapautuu kasvitilojen käyttöön WAM1- ja WAM2-skenaarioissa kasvavia määriä (Taulukko 6.4.3.4).

Taulukko 6.4.3.4 Biokaasulaitoksista vapautuvan fosforin määrä kasvitilojen käyttöön.

	Osuus bio- kaasulaitok- sista kasviti- loille kierrä- tettävästä fosforista	Osuus hävi- kin jälkeen	Ptot biokaasu- laitoksissa (t/vuosi)	Ptot kasveille korvaten mine- raalifosforia (t/vuosi)
WAM1, 2035	0,4	0,9	5800	2088
WAM1, 2050	0,4	0,9	7110	2560
WAM2, 2035	0,6	0,9	8960	4838
WAM2, 2050	0,6	0,9	10180	5497

WAM1-skenaariossa mineraalifosforin valmistuksessa saavutettava päästövähennys olisi tällöin $2,56 \text{ kt} \cdot 0,6 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv/kg} = 0,0015 \text{ Mt CO}_2 \text{ ekv}$ ja WAM2-skenaariossa 0,0033 Mt CO₂ ekv. Koko maatalouden KHK-päästöissä lukemat ovat vähäiset.

Todellisuudessa WAM1- ja WAM2-skenaarioiden muutoksen lannankäsittelyssä muuttaisivat myös lannankäsittelyn päästöjä. Muutoksia arviointi olisi vaatinut inventaariolaskentaan merkittäviä muokkauksia, joita ei tässä yhteydessä voitu toteuttaa. Päästömuutokset voisivat myös osaltaan kumota toisiaan päästöjen siirtyessä perinteisen lantaketjun eri vaiheista lannan prosessoinnin eri vaiheisiin. Mitattua tietoa päästövaikutuksista on vähän eikä inventaariomenetelmässä ole ohjeita edes tilakohtaisen biokaasutuotannon huomioimiseen, puhumattakaan suuremman mittakaavan pitemmälle jalostavista toimista.

6.4.4 Johtopäätökset biokaasutuotannosta

Maatalouden integroiminen osaksi biokaasutuotantoa on välttämätöntä, mikäli biokaasutuotantoa halutaan Suomessa lisätä. Suurin energiapotentiaali biokaasuna on nimenomaan maatalouden materiaaleissa eikä sitä ole vielä juuri lainkaan otettu käyttöön.

Samalla on kuitenkin huomioitava ravinnekierrot, jotka on biokaasutuotannon yhteydessä toteutettava kestävästi ja päästövähennykset mahdollistaen energian ohella myös lannoituksessa, peltomaan hiilisyötteenä ja lannankäsittelyssä. Ilmastovaikutuksen lisäksi myös muiden ympäristövaikutusten, esimerkiksi ilman laatuun (ammoniakki) ja vesistöjen tilaan (ravinehuuhtoumat) liittyen, ovat olennainen osa biokaasulaitosten mädätteen kestävästä hyödyntämisestä ja toimivia ravinnekiertoja.

Maatalouden biokaasutuotannon toimintaedellytyksiä on parannettava, jotta sen tuottamat päästövähennykset ja/tai hiilikädenjälki ovat toteutettavissa. Kirjoitushetkellä olemassa olevat ohjauskeinot johtavat vain vähäiseen maatalouden biokaasutuotannon kasvuun eikä samalla voida ratkoa myöskään ravinnekiertojen tavoitteita eikä vähentää painetta pellonraivaukseen ja lisätä hiiliviljelyn nurmien käyttökohteita (WEM-skenaario).

Lisäkannustinten myötä maatalouden biokaasutuotantoa on mahdollista lisätä merkittävästi. Erityisesti lantabiokaasuun panostamalla energiaa on tuotettavissa noin 2 TWh tarkoittaen käytännössä kokonaan uutta biokaasutuotantoa nykytilanteeseen verrattuna (WAM1-skenaario). Lisäohjauskeinoilla ja lannan hyödyntämisen lisäksi nurmen biokaasukäytön kasvatamisella maatalouden biokaasutuotanto on tuplattavissa 4 TWh:in (WAM2-skenaario), mikä vastaa jo 40 % yleisesti teknistaloudellisesti tuotettavissa olevaksi esitetystä noin 10 TWh biokaasuenergiasta. Korvattaessa fossiilista energiaa saavutetaan merkittäviä päästövähennyksiä.

Vaikuttavilla ja hyvin kohdennetuilla ohjauskeinoilla mahdollistetaan samalla kestävien ravinkiertojen kehittäminen ja lisää päästövähennyksiä. Biokaasutuotanto luo parhaimmillaan ratkaisuja keskittyvän kotieläintuotannon alueellisiin haasteisiin lantaravinteiden hyödyntämisessä ja maatalouden ravinneomavaraisuuden parantamisessa (mineraalilannoitteiden korvaaminen).

Maatalouden materiaaleista tuotettu biokaasuenergia ei jää ainoastaan maatalouden käyttöön, vaan sektoreiden välinen yhteistyö raaka-aineiden tuotannossa, prosessoinnissa ja lopputuotteiden hyödyntämisessä on välttämätöntä.

Huomioiden tavoitteet liikenteen ja teollisuuden fossiilisten polttoaineiden vähentämiseksi erityisesti raskaalle liikenteelle soveltuvan nesteytetyn biokaasun tuotantoa on kasvatettava. Sen tuotanto on tehokkainta suurissa laitoksissa, joissa myös ravinteet on jalostettava alueellisen ravinteiden uusjaon ja tehokkaan mineraalilannoitteiden korvaamisen saavuttamiseksi. Maatalous käyttää itse vain osan sen materiaaleista tuotetusta liikennebiokaasusta etenkin tarvituissa kuljetuksissa, mahdollisesti tulevaisuudessa myös työkoneissa. Teknologista kehitystä tarvitaan, että tuotantoa saadaan skaalattua teknis-taloudellisesti pienemmäksi ja maatalouden koneiden hyödynnettäväksi.

Sähkön ja lämmön tuotanto biokaasusta on myös tärkeää esimerkiksi säätövoimana suu-remmassa mittakaavassa ja maatalouden energiaomavaraisuuden kasvattamisessa tilamittakaavassa ja soveltuvissa tilojen yhteisissä laitoksissa.

Kansallisessa biokaasuohjelmassa (TEM 2020a) on listattu lukuisia toimenpiteitä, jotka kohdistuvat biokaasutuotannon lisäämiseen, ja niitä on toteutettava monipuolisesti, jotta maatalouden biokaasutuotannon kokonaisuus voi edetä. Maatalouden kannalta niistä olennaisimpia ovat:

- Liikennebiokaasun tuotannon ja käytön edellytysten parantaminen, ml. jakeluvelvoite, verotusratkaisut, infran kehittäminen, riittävät investointituet, hankintatuet (ml. maatalouden käyttämien kuljetusten siirtymä biokaasuun)
- Energian myynnin mahdollistaminen maatalouden investointitukien yhteydessä
- Ravinkiertojen tehostamisen kannustimet, ml. investointitukien sitominen kestäviin ravinkiertoratkaisuihin huomioiden laitospäästökäytäntö ja alueellinen kohdentuminen, kierrätyslannoitevalmisteiden käytön kannustimet
- Yksityisen rahoituksen saannin edellytysten parantaminen
- Päästövähennystavoitteiden integroiminen osaksi käytännön ratkaisuja sekä vaikutusarvioiden ja työkalujen kehittäminen seurannan ja päästövähennysten todentamisen varmistamiseksi
- Tutkimus- ja kehitystoiminnan rahoitus

- Osaamisen kehittämisen tukeminen, ml. laitostoimijat, viranomaiset, viljelijät

On tärkeää huomata, että tarvittu toimenpidekokonaisuus on laaja eikä mikään yksittäinen toimenpide vie kokonaisuutta eteenpäin.

6.5 Aurinkoenergia maataloudessa

Tuotantorakennusten suuret harjakatot ja myös käytettävissä olevat maa-alueet tekevät maataloista aurinkovoimaloiden rakentamiseen hyvin soveltuvia. Tuotannon kasvua rajoittaa erityisesti se, että tuotannosta 90% syntyy maalissyyskuussa ja investointikikelpoista on vain omaan käyttöön tuotettava aurinkovoima. Investointituen laajentaminen kattamaan myös ulosmyyntiin suunnitellut voimalat ja akustot, ulosmyynnin tuntikohtainen netotus, energiayhteisöjen muodostamisen helpottaminen, virtuaaliakkujen toteutuminen sekä ulosmyytävän sähkön kannustava verokohtelu vauhdittaisivat aurinkovoimalainvestointien toteutumista maataloilla. Maatalojen sähkönkulutuksesta olisi mahdollista kattaa tilojen itse tuottamalla aurinkosähköllä n. 8% vuoteen 2035 mennessä ja n. 14% vuoteen 2050 mennessä. Kesäkuukausina aurinkovoima akustoon yhdistettynä voi tehdä osasta tiloja täysin sähköomavaraisia.

Maataloilla on hyvät edellytykset aurinkovoiman tuottamiseen. Tuotantorakennukset tarjoavat aurinkovoimaloille sopivia laajoja kattopinta-aloja ja myös vapaata maa-alaa on usein hyvin käytettävissä maahan asennettavia voimaloita varten. Maataloudessa on jo suurta kiinnostusta aurinkovoimaloiden hankkimiseen ja pienelle osalle maataloja voimaloita on jo rakennettukin (josta ei ole kerätty tarkempia tietoja). On siis perusteltua olettaa, että aurinkosähkön tuotanto tulee maataloilla lisääntymään ja sen määrää voidaan erilaisilla kannustimilla lisätä.

Aurinkosähkö sopii parhaiten kohteisiin, joissa sähkönkulutus on myös kesäaikaan suhteellisen suurta. Tällaisiksi on tässä selvityksessä arvioitu kasvihuoneet sekä eläintilat, joissa erityisesti ilmastointi ja maidon jäähdytys kuluttaa sähköä kesäpäivisin, mutta myös kasvinviljelytiloilla on mahdollisuuksia aurinkosähkön hyödyntämiseen, joskin pienemmässä mittakaavassa.

Aurinkosähkön käyttöä rajoittaa se, että tuotto keskittyy maalissyyskuulle, jolloin tuotetaan 90% voimalan sähköstä. Aurinkosähköllä on siis teoreettisestikin mahdollista kattaa vain kyseisinä kuukausina kulutettu sähkö ja lisäksi hyvin pieni osa talvikuukausina kuluva sähköstä. Tämä asettaa reunaehdot skenaarioissa esitetyille oletuksille potentiaalisesta aurinkosähkön tuotantokapasiteetista. Kasvihuoneiden sähkönkulutus painottuu suuren valaistustarpeen vuoksi erityisen paljon pimeille talvikuukausille, minkä vuoksi kasvihuoneiden aurinkosähköpotentiaali on arvioitu eläintiloja pienemmäksi. Muilla kasvintuotantotiloilla kesäaikainen sähkönkulutus on niin pientä, että vain suurimmilla tiloilla on oletettu olevan kiinnostusta aurinkosähköön, minkä seurauksena aurinkosähköinvestoinnit pysyvät pieninä kaikissa skenaarioissa.

Voimala on tässä selvityksessä oletettu sijaitseväksi Keski-Suomessa 20 asteen kulmassa etelään suunnattuna. Vuosituotanto on tällöin 880kWh/kW asennettua tehoa. Asennuskulmasta, ilmansuunnasta ja sijainnista riippuen tuotanto voi vaihdella n. 10% suuntaansa.

6.5.1 Skenaariot

Seuraavassa on kuvattu lyhyesti skenaarioissa tehdyt oletukset sekä niiden seurauksena arvioitu prosenttiosuus sähkönkulutuksesta, mikä kussakin skenaariossa aurinkosähköllä voidaan kattaa. Nämä osuudet on esitetty taulukossa 6.5.1.1.

WEM

Aurinkosähköinvestoitien edistämiseksi ei tule uusia toimia, mutta nykyiset tuet ja verotusmallit pysyvät ennallaan. Aurinkovoimaloille siis myönnetään normaali investointituki, jos voimala on mitoitettu niin, että kaikki voimalan tuottama sähkö käytetään omassa tuotantotoiminnassa. Tämä rajoittaa voimaloiden kokoa niin, että voimala voi kattaa vain 5-10% tilan sähkönkulutuksesta. Koska aurinkovoimaloiden hinnat laskevat, ovat investoinnit taloudellisesti houkuttelevia ilman erillisiä lisätoimiakin. WEM-skenaariossa oletuksena on, että verotuskäytännöt pysyvät nykylainsäädännön mukaisina.

WAM 1

Poistetaan investointituen rajoitus, jolla sitä voidaan myöntää vain omassa kulutuksessa käytettävää sähköä tuottavaan voimalaitokseen. Energiayhteisöjen luominen tulee mahdolliseksi Uusiutuvan energian direktiivin mukaisesti myös maataloille ja niiden yhteyteen. Tällöin voimalan tuottoa voidaan käyttää yhteisön sisällä ilman siirtomaksuja, mikä tekee voimalan koon kasvattamisesta kannattavaa ja mahdollistaa yhteishankinnat. Verkkoyhtiöt mahdollistavat tunnin sisäisen netoutuksen maataloille. Investointituet ja verojärjestelmän kannustavuus säilyvät vähintään nykytasolla. Edistystoimet tapahtuvat jo 2020-luvulla. Siitä eteenpäin investointeja vauhdittavat uusien toimintamallien, kuten energiayhteisöjen, vakiintuminen sekä aurinkovoimaloiden hintojen aleneminen.

WAM 2

WAM1:n toimenpiteiden lisäksi virtuaalivoimalaitokset yleistyvät ja älykkäästä sähkönkulutuksen ohjauksesta tulee valtavirtaa. Akkujen hinnat laskevat ja myös niihin myönnetään investointitukea. Investointituet ja verojärjestelmän kannustavuus säilyvät vähintään nykytasolla. Verovapaan myynnin osuutta kasvatetaan maltillisesti. Osa maataloista pystyy kattamaan jo lähes kaiken kesäaikaisen sähkönkulutuksen aurinkovoimalla. Akkukapasiteetti riittää kattamaan yöaikaisen sähkönkulutuksen lähes puolet vuodesta. Akkujen hankinnan oletetaan yleistyvän viimeistään vuonna 2035 ja kasvavan tästä tasaisesti. Lisääntynyt akkukapasiteetti mahdollistaa kysynnän ja tarjonnan tasaamisen, sekä luo mahdollisuuksia älykkäaseen ja kustannustehokkaaseen optimointiin tuotannon, omakulutuksen ja ulosmyynnin välillä.

Kaikki nämä em. edistystoimet tapahtuvat vuoteen 2035 mennessä. Sen jälkeen aurinkovoimalainvestointeja lisää niin akkujen kuin aurinkovoimaloidenkin hinnan aleneminen. Voimaloiden varustaminen akuilla yleistyy vuoden 2035 jälkeen ja johtaa voimaloiden yksikkökoon selvään kasvuun.

Taulukko 6.5.1.1 Tilalla tuotetun aurinkosähkön osuus koko sähkönkulutuksesta eri tyyppisillä tiloilla WEM, WAM1 ja WAM2 skenaarioissa

Aurinkosähkön osuus sähkönkulutuksesta			
	WEM	WAM 1	WAM2

	2035	2050	2035	2050	2035	2050
Maito	5 %	10 %	10 %	15 %	15 %	25 %
Sika	5 %	10 %	10 %	15 %	15 %	25 %
Siipikarja	5 %	10 %	10 %	15 %	15 %	25 %
Kasvihuone	2 %	5 %	5 %	10 %	10 %	15 %
muu maatalous	1 %	3 %	2 %	5 %	5 %	10 %

6.5.2 Tulokset

Aurinkosähkön vuotuinen tuotantomäärä, asennettu voimalateho sekä voimaloiden lukumäärä edellä kuvatuilla oletuksilla on esitetty taulukossa 6.5.2.1. Potentiaalinen vuosituotanto perustuu nykyhetken sähkönkulutuksen tasoon maataloilla ja kasvihuoneilla. Maatilojen sähkön kokonaiskulutus on 1727 GWh/a (Luonnonvarakeskus 2020h). Kasvihuonetuotannon vuosittaiseksi sähkönkulutukseksi arvioitiin 600 GWh (Kauppapuutarhaliitto 2019), sika-tilojen 24 GWh (Lähde: s-posti Teija Paavola, Atria 22.6.2020), maitotilojen 170 GWh (Lähde: puhelinkeskustelu Maarit Kari ProAgria 16.6.2020) ja siipikarjatilojen 30 GWh (s-posti Hanna Hamina, Siipikarjaliitto, 12.6.2020).

Aurinkosähkön vuosituotanto on WAM1 skenaariossa vuonna 2035 yli kaksinkertainen ja WAM2 skenaariossa selvästi yli nelinkertainen WEM skenaarioon verrattuna. Vuonna 2050 suhteelliset erot eivät ole aivan yhtä suuria, vaan tuotanto on WAM1 skenaariossa vajaa kaksinkertainen WEM-skenaarioon verrattuna ja WAM2-skenaariossa kolminkertainen. Maatilojen sähkönkulutuksesta voisi näiden laskelmien perusteella parhaimmillaan kattaa aurinkosähköllä vuonna 2035 8% ja 2050 13-14%.

Voimaloiden lukumäärään on päästy arvioimalla, että voimaloiden koko kasvaa vähitellen skenaariosta toiseen siirryttäessä. Voimaloiden keskikoko on WEM skenaariossa vuoteen 2035 mennessä 20kW ja vuoteen 2050 50kW, WAM1 skenaariossa vastaavasti 30kW ja 100kW ja WAM2 skenaariossa 50kW ja 200kW. WEM-skenaariossa aurinkovoimala on vuonna 2035 noin 50%:lla eläintiloista ja vuonna 2050 jo suurimmalla osalla. WAM1- ja WAM2-skenaarioissa suurin osa eläintiloista on investoinut aurinkovoimaan jo 2035 ja vuonna 2050 käytännössä kaikilla eläin- sekä kasvihuonetiloiilla on aurinkovoimala. Lisäksi voimaloita on myös sadoilla kasvitiloilla, jotka ovat pääsääntöisesti kooltaan pienempiä kuin eläintilojen ja kasvihuoneiden voimalat.

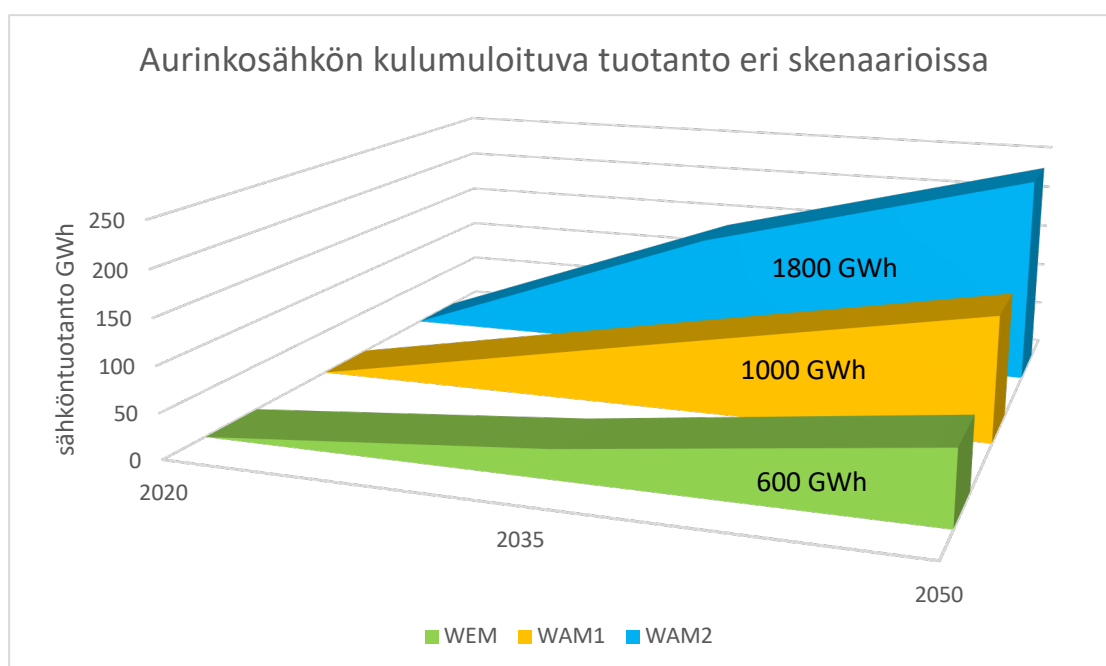
WEM-skenaariossa aurinkovoimala on vuonna 2035 noin 50%:lla eläintiloista ja vuonna 2050 jo suurimmalla osalla. WAM1 ja WAM2 skenaarioissa suurin osa eläintiloista

Taulukko 6.5.2.1. Aurinkosähkön tuotanto, asennettu voimalateho sekä asennettujen voimaloiden lukumäärä WEM, WAM1 ja WAM2 skenaariossa.

	WEM		WAM 1		WAM2	
	2035	2050	2035	2050	2035	2050
Tuotanto yhteensä GWh/a	30	80	70	140	140	235
Asennettu voimalateho MW	35	90	80	160	160	270
Voimaloiden lkm	1800	2900	2700	3500	3100	3700

Kuvassa 6.5.2.1 on esitetty, kuinka tuotetun aurinkosähkön kumulatiivinen määrä kasvaa eri skenaarioissa. Vuoteen 2035 mennessä on WAM1 skenaariossa tuotettu kaksinkertainen

määrä aurinkosähköä WEM skenaarioon verrattuna ja WAM2 skenaariossa peräti nelinkertainen määrä. Vuoteen 2050 mennessä suhteelliset erot hieman pienenevät, mutta WAM1:ssä aurinkosähköä on tuotettu 400GWh enemmän kuin WEM-skenaariossa ja WAM2-skenaariossa peräti 1200 GWh enemmän.



Kuva 6.5.2.1. Tuotetun aurinkosähkön määrä eri skenaarioissa ajan funktiona

WAM1:n toteutuminen edellyttää n. 100 miljoonan euron investointeja vuoteen 2050 mennessä, jos oletetaan aurinkovoimaloiden hinnan laskevan nykytasosta vuoteen 2050 25% ja laskun olevan lineaarista. Aurinkovoimaloiden nykyhintaa on käytetty 0,8 €/W (Auvinen & Rummukainen 2020).

WAM2 toteutuminen vaatii aurinkovoimaloiden osalta n. 180 miljoonan euron investoinnit. Aurinkovoiman lisäkapasiteetin lisäksi investointia kasvattavat akut sekä älykkäät sähkönohjausjärjestelmät, jotka tosin muodostavat varsin pienen osan voimalainvestoinnista. IRENA (2017) ennustaa akkujen hintojen putoavan useimmissa akkutyypeissä vähintään puoleen vuoteen 2030 mennessä, minkä seurauksena akkujen hintahaitari on n. 75-200 USD/kWh (n. 66-179€/kWh) vuonna 2030. WAM2 skenaariossa tarvittavan akkukapasiteetin suuruudeksi arvioidaan noin 600MWh, mikä tarkoittaa akun hinnasta riippuen 40-110 miljoonan euron investointia. WAM2 skenaarion kokonaisinvestointi asettuu siis jonnekin kahden ja kolmen sadan miljoonan välille.

6.6 Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys yhteensä eri skenaarioissa

Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt WEM-, WAM1- ja WAM2-skenaarioissa on esitetty eriteltynä alla olevassa taulukoissa 6.6.1-3. WEM-skenaariossa khk-päästöt alenevat 5 % vuoteen 2035 (6 % vuoteen 2050), WAM1-skenaariossa 29 % vuoteen 2035 (38 % vuoteen 2050) ja WAM2-skenaariossa 42 % vuoteen 2035 (77 % vuoteen 2050) vuodesta 2018.

Näitä khk-päästöjen vähennyksiä voidaan pitää jo WAM1-skenaariossa osalta varsin merkittävänä koska monet toimenpiteet, vaikka ovatkin laajamittaisia ja vaativat paljon työtä monilla tasoilla toteutuakseen, ovat melko kohtuullisin toimenpitein ja lisäresurssein saavutettavissa.

Saavutettavat päästövähennykset ovat myös varsin epävarmoja. Epävarmuus liittyy etenkin turvemaiden osalta siihen, missä laajuudessa päästövähennystoimia voidaan tehdä ja millä kustannuksilla. Tämän arviointi on vaikeaa, koska turvemaita on erilaisia ja niiden käyttö riippuu maatilojen tarpeista ja muun pellonkäytön mahdollisuuksista. Hiilensidontaan kivennäismailla liittyy epävarmuuksia suhteessa siihen, missä määrin maahan viljelytoimin lisätty orgaaninen aine ja hiili säilyy maassa ilmaston lämmetessä. Maan hiilisyötteen lisääminen riippuu paljon myös siitä, päästääkö molempien WAM-skenaarioiden taustalla olevassa maatalouden kestävässä tehostamisessa eteenpäin. Tämä tarkoittaa ennen muuta satotason nostoa ja lannoitteiden ja muiden tuotantopanosten aiempaa tarkempaa hyödyntämistä. Tähän liittyy myös peltojen kasvukunnon parantaminen, lisäksi tarvitaan nykyistä olennaisesti enemmän huomiota viljelykiertojen monipuolistamiseen ja siten kivennäismaiden hiilensidonnan edellytysten parantamiseen.

Taulukko 6.6.1 Maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen kehitys (Mt CO₂ ekv. /vuosi) yhteensä WEM-skenaariossa

	Alkutilanne 2018	Tilanne 2035	Tilanne 2050
WEM			
Maataloussektorin khk-päästöt	6,49	6,12	6
LULUCF-Turvemaat	7,17	7,17	7,17
LULUCF-Kivennäismaaviljelysmaiden päästöt (CO ₂ : 0,5 Mt v. 2017)	1,37	0,9	0,9
Huonojen kivennäismaiden metsitys 0 ha 2020-2050	0	0	0
Energiasektorilta	0,9	0,9	0,9
YHTEENSÄ	15,93	15,09	14,97
2035 ja 2050 khk-päästöt suhteessa alkutilanteeseen (2018)		0,95	0,94

Taulukko 6.6.2 Maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen (Mt CO₂ ekv./vuosi) kehitys yhteensä WAM1-skenaariossa

	Alkutilanne 2018	Tilanne 2035	Tilanne 2050
WAM1			
Maataloussektorin khk-päästöt	6,49	5,40	5,12
LULUCF-Turvemaat	7,17	6,16	5,27
LULUCF-Kivennäismaaviljelysmaiden päästöt (CO ₂ : 0,5 Mt v. 2017)	1,37	-0,81	-0,81
Huonojen kivennäismaiden metsitys 30 000 ha 2020-2050	0	-0,2	-0,4
Energiasektorilta	0,9	0,8	0,7
YHTEENSÄ	15,93	11,35	9,88
2035 ja 2050 khk-päästöt suhteessa alkutilanteeseen (2018)		0,71	0,62

Taulukko 6.6.3 Maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen (Mt CO₂ ekv./vuosi) kehitys yhteensä WAM2-skenaariossa

	Alkutilanne 2018	Tilanne 2035	Tilanne 2050
WAM2			
Maataloussektorin khk-päästöt	6,49	5,24	4,87
LULUCF-Turvemaat	7,17	5,62	4,11

LULCF-Kivennäismaaviljelysmaiden päästöt (CO ₂ : 0,5 Mt v. 2017)	1,37	-2	-5
Huonojen kivennäismaiden metsitys 60 000 ha 2020-2050	0	-0,4	-0,8
Energiasektorilta	0,9	0,7	0,5
YHTEENSÄ	15,93	9,16	3,68
2035 ja 2050 khk-päästöt suhteessa alkutilanteeseen (2018)		0,58	0,23

WAM2-skenaariossa on kyse WAM1-skenaariion turvemaita koskevien toimien soveltamisesta olennaisesti laajemmassa mittakaavassa etenkin turvemaiden sekä tehostetussa kivennäismaiden hiilensidonnassa (Taulukko 6.6.3). Sekä turvemaiden toimien, etenkin vettämisen, laajamittaisen soveltamisen, että kivennäismaiden tehokkaan hiilensidonnassa suhteen on paljon merkittäviä epävarmuuksia ja ratkaisemattomia ongelmia. Niihin on tavoitteellisesti haettava ratkaisuja niin maatilatasolla kuin tutkimus- ja kehitystoiminnassa.

WAM-skenaarioiden päästökehityksiin johtavat toimet vaativat asetelmaa, jossa viljelijä hyötyy khk-päästöjen vähentämisestä ja niihin liittyvistä toimista. Ellei tällaiseen asetelmaan päästä, vaan viljelijälle koituu tulonmenetyksiä, kuten esim. maataloustuotantoa haittaavia vaikutuksia tai maataloustukien menetyksiä ilman vastaavaa hyötyä tai kompensatioita menetyksistä, WAM-skenaarioissa esitettyjen khk-päästövähennysten saavuttaminen ei ole mahdollista.

6.7 Suurimmat epävarmuudet päästökehityksessä eri skenaarioissa

Turvemaiden toimien laajuuteen liittyy merkittäviä epävarmuuksia kautta linjan. Erityisesti tämä koskee vedenpinnan nostoa turvemaiden ennallistamiseen ja säätösalaojittukseen sopivaa pinta-alaa on vaikea arvioida. Oksalan (2019) tutkimus, vaikka onkin tehty muutamille esimerkkialueille, tekee selväksi, että epävarmuutta sopivasta pinta-alasta on jo hydrologia ja topografia huomioiden. Lisäksi maatalouden rakennekehitys ja tuottavuuskehitys muuttavat asetelmaa, jossa viljelijät voivat harkita turvemaiden ennallistamista tai säätösalaojittusta Oletettavasti monin paikoin vähenevän kotieläintilojen määrä voi vapauttaa peltoalaa myös turvemailta, joita ei kaikkia tarvita rehuntuotantoon.

Myös turvemaiden toimenpidekohtaisiin päästökertoiimiin liittyy epävarmuutta jonkin verran, vaikka päästöjen kertaluokka ja taso ovatkin pääosin varmallalla pohjalla. Uusi aineisto ja mitaukset kohdennettuna eri alueille Suomessa voivat tulevina vuosina ja vuosikymmeninä tarkentaa selvästikin eri toimilla saavutettavissa olevia khk-päästöjen vähennyksiä.

Liitteessä 2 on kivennäismaiden osalta käyty läpi ja keskusteltu kirjallisuudessa esiintyviä arvioita kivennäismaiden hiilensidonnasta. Etenkin ilmaston lämpeneminen aiheuttaa merkittävän epävarmuuden lisätyn orgaanisen aineksen ja hiilen säilymiseen maaperässä. Toisaalta ilmaston lämpeneminen voi onnistuneen sopeutumisen ja viljelyn monipuolistumisen kautta antaa uusia mahdollisuuksia kasvien satojen ja biomassan kasvulle ja sitä kautta hiilen sitomiselle maahan. Tähän voi tulla myös uusia hyviksi todennettuna menetelmiä ja vaihtoehtoja kotimaasta ja ulkomailta. Biohiili ja erilaiset maanparannusaineet ovat myös yksi mahdollisuus hiilensidontaan, mutta tuskin kustannuksiltaan edullinen.

Bioenergian tuotanto maataloudessa riippuu vahvasti kysynnän ja erityisesti muun energia-sektorin kehityksestä ja säätelystä. Tämä tulee esille tämän luvun aiemmissa osioissa.

Tarvitaan paljon kehitystyötä, jotta bioenergia ja erityisesti biokaasu ravinnekiertoineen voi nousta suurella osalla maatiloja kannattavaksi ja riskejä vähentäväksi vaihtoehdoksi.

7 Taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristölliset vaikutukset ja riskit pääpiirteittäin

Alustavien luonnosteltujen laskelmien perusteella näyttäisi siltä, että turvemaiden toimiin tarvitaan uutta rahaa noin 300-500 milj.€ aikavälillä 2021-2050. Tämä tarkoittaa resursseja investointeihin, kannustimiin ja tulonmenetyksiin (maataloustulon ja osin myös markkinatuottojen menetyksiin).

Huonojen maiden metsitykseen (40-80 000 ha) kuluisi laskelmien mukaan 140-230 Milj. € v. 2021-2050 ja maatalouden kestävään tehostamiseen peräti 2,1-3,3 Mrd € v. 2021-2050. Tästä kuitenkin osaa rahoitetaan jo eri muodoissaan, joten arviolta noin puolet on lisäistä resurssin käyttöä. Esimerkiksi teknologiakehitys (uudet lajikkeet, tarkkuusviljely), pellon kasvukunto, perusparannukset voivat hyvin toteutettuina tuottaa monenlaisia hyötyjä, myös parempaa kannattavuutta ja pitkän aikavälin jatkuvuutta maatalouteen ja ruuantuotantoon Suomessa.

Toimenpiteiden toteuttaminen tietyissä laajuuksissa voi vaikuttaa maatilojen talouteen ja työnmenekkiin, mitä arvioidaan laadullisesti ja karkeasti suuruusluokittain (mukaan lukien millaisiin maataloihin ja alueisiin ensi sijassa vaikuttaa). Kustannusarvot riippuvat valittavista toimenpiteistä ja niiden toteutustavoista sekä niiden sovellettavista laajuuksista. Kustannusarvot sisältävät sekä toimenpidekohtaiset kustannukset, esimerkiksi per hehtaari, ottaen huomioon perustellut oletukset eri kustannuseristä, että eri toimenpidekohtaiset päästövähennyskustannukset per saavutettu päästövähennys (eur / tonnia CO₂-ekv. vuodessa).

Olennaista on arvioida riskejä ja epävarmuuksia koko tiekartan kokonaisuuden toteutettavuuden kannalta, ei vain yksittäisten toimenpiteiden tasolla. Tässä työssä ei päästä monia toimenpiteitä ja ohjauksia sisältävän tiekartan perusteelliseen riskien ja epävarmuuksien arviointiin. On kuitenkin tärkeää tunnistaa keskeiset epävarmuudet pääasiallisten toimenpiteiden toteutumiselle.

7.1 Taloudelliset vaikutukset ja riskit

Toimenpiteiden toteuttaminen tietyissä laajuuksissa voi vaikuttaa maatilojen talouteen ja työnmenekkiin. Arvot näistä ovat varsin tuotantosunta- ja tapauskohtaisia ja niihin ei ole mahdollisuutta mennä tässä tarkemmin. Seuraavassa kuitenkin arvioidaan eri toimenpiteitä edistävien ohjausten edellyttämää resurssia (rahamäärää). Se tehdään varsin karkeasti alustavien laskelmien perusteella tavoitteena arvioida suuruusluokkia ja epävarmuushaarukkaa sen sijaan, että yritettäisiin laskea täsmällisiä kustannuksia. Tämä olisi mahdollista vain, jos keskityttäisiin esimerkkeihin siitä millaisiin maataloihin ja alueisiin ohjaukset ja toimenpiteet ensi sijassa vaikuttavat.

Kustannusarviot WAM-skenaarioiden toimille ja ohjauksille riippuvat toimenpiteiden toteutustavoista sekä niiden sovellettavista laajuuksista. Kustannusarviot sisältävät sekä toimenpidekohtaiset kustannukset, esimerkiksi per hehtaari, ottaen huomioon perustellut oletukset eri kustannuseristä, että eri toimenpidekohtaiset päästövähennyskustannukset per saavutettu päästövähennys (eur / tonnia CO₂-ekv. vuodessa). Seuraava tarkastelu on näin ollen jatkoa luvun 5.7 ohjauskeinojen tarkastelulle, eli nyt arvioidaan sitä, mitä WAM-skenaariot toimineen ja ohjauksineen tulisivat maksamaan. Biokaasun ja aurinkoenergian investointimenoja on jo arvioitu edellä, joten nyt keskitytään turvemaiden toimiin ja ohjauksiin, sekä kivennäismaille suunnattuihin toimiin ja ohjauksiin.

Turvemaiden toimien kustannuksiin perustuvia ohjauksia on laskettu sillä periaatteella, että maataloustuottaja ei häviä rahaa, kun turvemailta haetaan päästövähennystoimia. Kyse on siitä, mitä pitää maksaa viljelijälle veden pinnan korkealla pidosta, säätösalaajittamisesta, ennallistamisesta, kosteikkoviljelystä, yksivuotisten kasvien siirtämisestä pois turvemailta, ja myös pelkästä huonon turvemaan viljelemättä jättämisestä.

Taulukoissa 7.7.1 ja 7.7.2. tulee esille turvemaiden pellonkäyttö- ja tukimuutosten aiheuttamat muutokset maksettuihin kokonaistukeen. Jos maataloustukea yksivuotisille kasveille vähennetään esim. muutamalla kymppillä per hehtaari, ja toisaalta tuotantonurmien tukea nostetaan (ainakin väliaikaisesti), se ei välttämättä johda vielä suureen tulonmenetykseen tai maataloustukirahojen säästymiseen ainakaan lyhyellä aikavälillä. Sen sijaan 30 vuoden yli laskettu heti toteutettu säästö yhteiskunnalle yksivuotisten kasvien tuen alentamisesta turvemilla ja kesannoilla vapauttaisi resursseja mm. ennallistamisen tukemiseen. Vielä enemmän, mutta pienemmältä pinta-alalta, vapautuu yhteiskunnan resursseja per ha, jos viljelijä luopuu kokonaan maataloustuista heikkotuottoisilla mailloja esim. 10 vuoden siirtymäajalla. Tämä voi olla viljelijälle edullinen päätös, jos pelto on heikkotuottoinen ja/tai vaatii uusintaajattusta tai muuta perusparantamista. Jos taas pelto on järkevää viljelijän tilanteessa metsittää, yhteiskunnan on maataloustukiresurssin säästämisen ja khk-päästöjen vähenemisen perusteella maksaa kunnan korvaus myös metsityskustannuksista. Lyhyellä aikavälillä toki yhteiskunnan ja viljelijän rahanmeno toki kasvaa, ja palautuu säästöinä vasta myöhemmin, kun huonotuottoista peltoa ei tarvitse enää tukien saamiseksi kunnostaa ja viljellä.

Taulukoissa 7.7.1 ja 7.7.2 on esitetty arviota lisämenoista yhteiskunnalle myös tapauksissa, joissa peltojen kasvukuntoa ja satoisuutta parannetaan eri keinoin. Tulosten perusteella tämä tulee kalliimmaksi kuin turvemaiden tapauksissa. On kuitenkin huomattava, että turvemaiden tapauksessa yksivuotisten kasvien ja kesantojen alentunut maataloustuki alkuvaiheessa WAM1-skenaariossa.

Näiden sinänsä varsin karkeiden ja alustavien luonnosteltujen laskelmien perusteella näyttäisi siltä, että turvemaiden toimiin tarvitaan uutta rahaa noin 300-500 milj.€ aikavälillä 2021-2050. Tämä tarkoittaa resursseja investointeihin, kannustimiin ja tulonmenetysten (maataloustulon ja osin myös markkinatuottojen menetyksiin). Näiden lisäpanostusten vastapainoksi saataisiin vähennyksiä khk-päästöissä: -1,9 Mt WAM1-skenaariossa (ks. luku 6) ja -3,1 Mt WAM2-skenaariossa vuoteen 2050. Khk-päästöjen vähennysten lisäksi syntyisi hyvin mahdollisia myönteisiä vaikutuksia vesistöihin ja luonnon monimuotoisuuteen. Ne ovat toki tapauskohtaisia, mutta laajassa mitassa todennäköisiä (luku 7.3).

Taulukko 7.7.1. Arvioitu resurssien tarve (milj. €) eri toimenpiteiden edistämiseksi WAM1-skenaariorissa. T=Turvemaiden toimet; K=Maan kasvukuntoa ja tuotannon kestävyyttä edistävät toimet. Negatiivinen kustannus, tapauksissa, joissa yksivuotisten kasvien ja kesantojen tukia turvemaidella alennetaan, tarkoittaa säästöjä julkiselle vallalle ja siten resurssia käytettäväksi muihin ohjauksiin.

Maankäyttötapa	Resurssivai- kut Julkiselle val- lalle	2020-2050 kustannus per vuosi k.a., M€	kustannus yhteensä 2021-2050			kustannus per vuosi		
			min	k.a.	max	min	k.a.	max
Yksivuotinen, turvemaat (T)	Säästöjä	-1-3	-36,7	-61,1	-97,8	-1,2	-2,0	-3,3
Tuotantonurmet, T	Lisämenoja	0,2-0,4	6,0	9,0	12,0	0,2	0,3	0,4
Kesantonurmet, T	Säästöjä	-0,3-1	-9,0	-19,5	-30,0	-0,3	-0,7	-1,0
Märkä nurmi (vt -30cm), T	Lisämenoja	1-3	30,0	60,0	90,0	1,0	2,0	3,0
Märkä nurmi (vt -30cm), T	Lisämenoja	0,3-1	10,0	20,0	30,0	0,3	0,7	1,0
Hylätty, T	Lisämenoja	4-6	113,0	141,3	169,5	3,8	4,7	5,7
Metsitys, uusi <20v, T	Lisämenoja	1,2-1,5	35,0	40,0	45,0	1,2	1,3	1,5
Metsitys, van- hempi, >20v, T	Lisämenoja	0-0,1	1,3	1,7	2,0	0,0	0,1	0,1
Kosteikkoviljely, T	Lisämenoja	0,2-0,3	5,0	7,5	10,0	0,2	0,3	0,3
Kosteikkoviljely, T	Lisämenoja	1-2	30,0	45,0	60,0	1,0	1,5	2,0
Ennallistus, T	Lisämenoja	2.7-3,3	81,3	93,8	100,0	2,7	3,1	3,3
Ennallistus, T	Lisämenoja	2,5-5	75,0	112,5	150,0	2,5	3,8	5,0
Kivennäismai- den metsitys	Lisämenoja	3,5-4	105,0	112,5	120,0	3,5	3,8	4,0
Kerääjäkasvit, K	Lisämenoja	15-26	300,0	405,0	525,0	10,0	13,5	17,5
Viherlannoitus- nurmi, K	Lisämenoja	6-12	180,0	300,0	360,0	6,0	10,0	12,0
Saneerauskas- vit, K	Lisämenoja	2,5-5	75,0	81,0	150,0	2,5	2,7	5,0
Tarkkuusviljely, K	Lisämenoja	2-4	60,0	90,0	120,0	2,0	3,0	4,0
Satotason nosto, K	Lisämenoja	8-24	240,0	360,0	480,0	8,0	12,0	16,0
Peltojen perus- parannukset, K	Lisämenoja	25-75	450,0	900,0	1350, 0	15,0	30,0	45,0
Biokaasun tuet, erilaisia	Lisämenoja	ks Raportti luku 6						
Aurinkoenergia	Lisämenoja	ks Raportti luku 6						
Metsänhävitys- maksu	Lisätuloja	-0,4-1,2	12,0	24,0	36,0	-0,4	-0,8	-1,2
			1762, 9	2722, 5	3681, 7	58,0	89,2	120, 3
		70-165 M€						

Turvemaiden toimet	340,9	450,0	540,7	11,4	15,0	18,0
Metsitys	141,3	154,2	167,0	4,7	5,1	5,6
K-toimet	1305,0	2136,0	2985,0	43,5	71,2	99,5

Taulukko 7.7.2. Arvioitu resurssien tarve eri toimenpiteiden edistämiseksi WAM2-skenaariossa.

T=Turvemaiden toimet; K=Maan kasvukuntoa ja tuotannon kestävyttä edistävät toimet. Negatiivinen kustannus, tapauksissa, joissa yksivuotisten kasvien ja kesantojen tukia turvemaidella alennetaan, tarkoittaa säästöjä julkiselle vallalle ja siten resurssia käytettäväksi muihin ohjauksiin.

	Resurssivai- kut Julkiselle val- lalle	2020-2050 kustannus per vuosi k.a., M€	kustannus yhteensä 2021-2050			kustannus per vuosi		
			min	k.a.	max	min	k.a.	max
Maankäyttötapa								
Yksivuotinen,								
turvemaat (T)	Säästöjä	-2-7	-69,5	-139,1	-208,6	-2,3	-4,6	-7,0
Tuotantonurmet,								
T	Lisämenoja	0,3-0,6	9,0	13,5	18,0	0,3	0,5	0,6
Kesantonurmet,								
T	Säästöjä	-1-3	-28,3	-56,6	-85,0	-0,9	-1,9	-2,8
Märkä nurmi (vt								
-30cm), T	Lisämenoja	2,3-5,3	67,5	112,5	157,5	2,3	3,8	5,3
Märkä nurmi (vt								
-30cm), T	Lisämenoja	0,7-1,7	21,0	36,0	51,0	0,7	1,2	1,7
Hylätty, T	Lisämenoja	4-6	121,0	148,5	176,0	4,0	5,0	5,9
Metsitys, uusi								
<20v, T	Lisämenoja	2,5-3,1	74,0	84,0	94,0	2,5	2,8	3,1
Metsitys, van-								
hempi, >20v, T	Lisämenoja	0-0,1	2,7	3,3	4,0	0,1	0,1	0,1
Kosteikkoviljely,								
T	Lisämenoja	0,4-0,7	12,0	17,0	22,0	0,4	0,6	0,7
Kosteikkoviljely,								
T	Lisämenoja	2,5-4,5	75,0	105,0	135,0	2,5	3,5	4,5
Ennallistus, T	Lisämenoja	4,1-5,3	124,3	142,0	159,8	4,1	4,7	5,3
Ennallistus, T	Lisämenoja	5-9	159,8	213,0	266,3	5,3	7,1	8,9
Kivennäismai-								
den metsitys	Lisämenoja	3,8-4,5	114,0	126,0	135,0	3,8	4,2	4,5
				1050,	1350,			
Kerääjäkasvit, K	Lisämenoja	25-45	750,0	0	0	25,0	35,0	45,0
Viherlannoitus-								
nurmi, K	Lisämenoja	6-12	180,0	300,0	360,0	6,0	10,0	12,0
Saneerauskas-								
vit, K	Lisämenoja	6-12	180,0	300,0	360,0	6,0	10,0	12,0
Tarkkuusviljely,								
K	Lisämenoja	4-12	120,0	180,0	240,0	4,0	6,0	8,0
Satotason nosto,								
K	Lisämenoja	10-30	240,0	360,0	480,0	8,0	12,0	16,0
				1080,	1530,			
Peltojen perus-								
parannukset, K	Lisämenoja	35-85	630,0	0	0	21,0	36,0	51,0

Biokaasun tuet, erilaisia	Lisämenoja	ks Raportti luku 6							
Aurinkoenergia	Lisämenoja	ks Raportti luku 6							
Metsänhävitys-maksu	Lisätuloja		0	1,0	2,0	3,0	0,0	-0,1	-0,1
			2783,	3	4077,	5247,			174,
YHTEENSÄ					1	9	92,7	135,8	7
Turvemaiden toimet			568,3		679,1	789,9	18,9	22,6	26,3
Metsitys			190,7		213,3	233,0	6,4	7,1	7,8
			2100,		3270,	4320,			144,
K-toimet			0		0	0	70,0	109,0	0

Jakamalla keskimääräisiä kustannuksia turvemaiden saavutettavaan khk-päästövähennykseen, voidaan näiden alustavien tulosten perusteella arvioida päästävän noin 6-9 €/t CO₂ ekv. päästövähennyskustannukseen vuonna 2050. Tämä on selvästi vähemmän kuin voidaan laskea vastaavalla tavalla maan kasvukuntoon, satoisuuteen ja viljelyn kestävyyspanostamisen päästövähennyskustannukseksi, joka nousee moninkertaiseksi turvemaiden saavutettavaan khk-päästövähennykseen nähden. Tällä perusteella voisi ajatella kannattavan keskittää päästövähennystoimet turvemaiden. Kaikkien toimien ja resurssien keskittäminen turvemaiden on kuitenkin tuloksiltaan varsin epävarmaa, hyvin kiistanalaista ja riskialtista. Näin siksi, että turvemaiden todennäköisesti vain osa huonoista pelloista soveltuu vetettäväksi, säätösalaojitukseen tai metsitettäväksi, joista saadaan suurimmat khk-päästöjen vähennykset hehtaaria kohden. Toimenpiteiden laajuuden kasvaessa myös niiden kustannukset todennäköisesti kasvavat turvemaiden, kun jäljellä on eri toimenpiteisiin huonommin sopivia kohteita. Lisäksi merkittävää osa turvemaiden tarvitaan maataloustuotannossa ja siinä määrin, että kannustaminen päästövähennyksiin tulisi niillä kalliiksi. Lisäksi on huomattava, että maan kasvukunnon ja viljelyn kestävyysparantaminen tuottaa olennaisesti myös ruokaturvaa ja muita ympäristöhyötyjä, joita ei ole samalla tavalla saatavissa turvemaiden. Kaiken kaikkiaan em. taulukoissa tarkasteltu laaja joukko eri toimenpiteitä ja ohjauksia on todennäköisesti varmempi ja eri seurauksineen kokonaisuutena edullisempi, laajassa mitassa ja laajalle viljelijäjoukolle sopivampi, ja vähemmän riskialtis strategia vähentää khk-päästöjä kuin keskittyminen 1-2 yksittäiseen toimenpiteeseen tai tapaan vähentää khk-päästöjä.

Huonojen maiden metsitykseen (40-80 000 ha) kuluisi laskelmien mukaan 140-230 Milj. € v. 2021-2050 ja maatalouden kestävään tehostamiseen peräti 2,1-3,3 Mrd € v. 2021-2050. Tästä kuitenkin osaa jo rahoitetaan eri muodoissaan, joten arviolta noin puolet on lisäistä resurssin käyttöä. Esimerkiksi teknologiakehitys (uudet lajikkeet, tarkkuusviljely), pellon kasvukunto, perusparannukset voivat hyvin toteutettuina tuottaa monenlaisia hyötyjä, myös parempaa kannattavuutta ja pitkän aikavälin jatkuvuutta maatalouteen ja ruuantuotantoon Suomessa.

7.2 Sosiaalisten ja kulttuuristen vaikutusten arviointi

Sosiaalisia ja kulttuurisia vaikutuksia arvioidaan tässä luvussa laadullisesti niin viljelijä- ja tilatasolla kuin yhteisö- ja aluetasolla. Pääasiallisia arvioinnin kohteita viljelijä- ja tilatasolla ovat osaamisvaatimusten ja ammattikuvan muutos sekä viljelijöiden hyvinvointiin ja maatalouden harjoittamiseen hyväksyttävyyteen liittyvät muutokset. Yhteisö- ja aluetason vaikutusten arvioinnissa esille nostetaan maiseman muutos, tilojen väliset erot, uusi yritystoiminta sekä tilojen välinen yhteistyö.

Toimintaympäristön ja yhteiskunnallisten odotusten muuttuminen vaikuttavat sekä osaamisvaatimuksiin että viljelijöiden ammattikuvaan varsinkin WAM1- ja WAM2-skenaarioissa. WAM1- ja WAM2-skenaarioissa ruoantuotanto integroituu yhä voimakkaammin ilmastotoimiin, mikä tuottaa runsaasti yhteishyötyjä. Tässä kehityksessä on kuitenkin merkittäviä tilakohtaisia ja alueellisia eroja. Suurilla viljanviljely- ja kotieläintiloilla on paremmat taloudelliset mahdollisuudet ilmastotoimien vaatimien uusien teknologioiden ja tuotantotapojen käyttöönottoon. Yhteistyöverkostoihin perustuva toimintatapa valtaa alaa, mikä WAM2-skenaariossa mahdollistaa laajamittaisen biokaasutuotannon, jossa onnistuneesti yhdistetään hajautettuja ja keskitettyjä ratkaisuja. Pienten ja syrjäisten tilojen mukana pitäminen tässä tehokkaaseen työnjakoon ja yhteistyöhön sekä teknologiamurrokseen perustuvassa kehityksessä on haasteellista, mutta ratkaistavissa verkostomaisesti toimien. Ongelmaksi saattaa muodostua se, että kaikki viljelijät eivät välttämättä koe maatalouden muuttuneita tavoitteita tai toimintakulttuuria omakseen, mikä voi johtaa rooliepäselvyyksiin tai -konflikteihin oman ammattikuvan suhteen.

Skenaarioiden haasteena on luonnollisesti myös se, että toimenpiteet ja kehityskulut eivät kohdistu kaikkiin viljelijöihin samalla tavalla. Yksittäiset viljelijät ovat väistämättä eri asemassa riippuen tilan tuotantosuunnasta, koosta ja maantieteellisestä sijainnista sekä turvepeltojen määrästä ja aikaisemmin jo tehdyistä ilmastotoimenpiteistä. Näin ollen yksityiskohtaisempia ilmastotoimia suunniteltaessa myös erilaisten sosiaalisten ja kulttuuristen vaikutusten kohtaantuminen on selvitettävä huolellisesti etukäteen siinä missä taloudellisten vaikutustenkin. WAM2-skenaarion kuvaama kehitys voi toteutua vain, jos ilmastotoimien politiikkaohjaus toteutetaan niin, että kaikki viljelijät kokevat olevansa yhteisellä asialla.

Samoilla tekijöillä, jotka aiheuttavat taloudellisia vaikutuksia ja riskejä, voi myös olla sosiaalisia ja kulttuurisia vaikutuksia, joita arvioidaan ensi sijassa laadullisesti. Arvioinnissa on hyödynnetty yleisiä sosiaalisten ja kulttuuristen vaikutusten arviointikirjallisuutta ja maatalouden sosiaalisen ja kulttuurisen kestävyys tutkimusta (mm. Soini et al. 2000; Silvasti 2001; Vesala 2004; Soini & Aakkula 2007; Jokinen 2012; Burton et al. 2020; Peltonen-Sainio et al. 2020) kirjallisuutta sekä tutkijoiden asiantuntijankäymyksiä näistä teemoista. Vaikutuksia tarkastellaan viljelijä- ja tilatasolla sekä laajemmalla yhteisö- ja aluetasolla. Vaikutusluokat ovat osittain päällekkäisiä ja yhteen kietoutuvia. Viljelijäkunta että tilarakenne ovat moninaiset, alueelliset erot huomattavia ja sen vuoksi myös sosiaaliset ja kulttuuriset vaikutukset kohdistuvat niihin eri tavoin. Kutakin vaikutusta tarkastellaan kolmen eri skenaarion (WEM, WAM1 ja WAM2) suhteen. Tärkeimmät havainnot on kirjattu taulukoihin 7.2.1, 7.2.2 ja 7.2.3.

Viljelijä- ja tilataso: Ilmastotoimet edellyttävät viljelijöiltä uudenlaista osaamista viljelytekniikoissa. WEM-skenaariossa muutoksia maatilojen toiminnassa tapahtuu lähinnä pellonkäytössä, kun viljaa ja tuotantonurmia tuotetaan entistä pienemmillä pinta-aloilla, mutta korkeammilla satotasoilla. Tämä edellyttää panoskäytön tarkentamista ja tehostamista ja peltolohkojen jakamista erilaiseen viljelyyn niiden ominaisuuksien mukaan eli ravinnekiertojen tehostamista. WAM1-skenaariossa toteutetaan laajamittaisesti ilmastoviisaita tuotantoratkaisuja turvemaidella, kivennäismailla ja energiantuotannossa kotieläintiloilla ja niiden yhteydessä. WAM2 tarkoittaa edellä mainittujen toimien vielä laajamittaisempaa soveltamista ja lisäksi laaja-alaista energiamurrosta, mikä edellyttää merkittäviä muutoksia tuotannossa ja maatalouden ravinnekierrossa.

Biomassapohjaiseen uusiutuvan energian tuotantoon liittyy kiinteästi prosessissa syntyvien ravinteiden hyödyntäminen, jolla on sekä taloudellista että huoltovarmuutta lisäävää merkitystä. Voidaankin puhua lisääntyvästä maatalouden resilienssistä eli siitä, että biomassapohjaisen uusiutuvan energian tuotannon ja ravinnekiertojen yhteispeli tuottaa ilmastohyötyjen lisäksi entistä enemmän toimintavarmuutta ja kriisinsietokykyä suomalaiseseen ruokajärjestelmään. WAM2-skenaario edustaakin tulevaisuutta, jossa suomalainen ruokajärjestelmä on nykyistä selvästi muutoskestävämpi (resilientimpi) ja samalla myös resurssiviisaampi.

Liikkeenjohdollisella osaamisella on kasvava, mutta hiukan erityyppinen rooli kaikissa skenaarioissa. WEM-skenaariossa viljelijöiden liikkeenjohdollisen osaamisen tarvitsee kehittyä ennen kaikkea sen takia, että yleiset viljelyn kannattavuuteen liittyvät haasteet lisääntyvät jatkuvasti ja niistä selviäminen edellyttää entistä parempaa liikkeenjohdollista osaamista. WAM1-skenaariossa ilmastonäkökulma korostaa tarvetta ottaa käyttöön uusia tuotantotapoja ja panostaa uusiutuvan energian tuotantoon. Tämä tarkoittaa toisaalta investointeja ja toisaalta uusien toimintamallien omaksumista. Niillä on uudentyyppisiä pitkän aikavälin tuotto- ja kustannusvaikutuksia, joiden haltuunotto vaatii edistyneempää liikkeenjohdollista osaamista. WAM2-skenaariossa, jossa energia-, ravinne- ja hiiliperustainen liiketoiminta integroituu enenevässä määrin osaksi tilan toimintaa, korostuu liikkeenjohdollisen erikoisosaimisen tarve, sillä tällainen uusi liiketoiminta eroaa monin tavoin maatalan tavanomaisesta liiketoiminnasta.

Liikkeenjohdollinen osaaminen liittyy vahvasti myös toiminnan taloudellisten riskien ja niiden viljelijälle tuottaman henkisen kuormituksen hallintaan. Erityisesti muutostilanteessa taloudellisten riskien ja niiden tuottaman kuormituksen hallinnan merkitys korostuu. WEM-skenaariossa muutosvauhti on maatalouden rakennekehityksen osaltaan edelleen rivakka viime vuosikymmenien tapaan, mutta siihen ei periaatteessa sisälly uusia merkittäviä taloudellisia riskejä. WAM1- ja WAM2-skenaarioissa lisääntyvä ilmasto-ohjaus muuttaa kuitenkin totuttua toimintaympäristöä, ja uudet ohjauskeinot aiheuttavat myös taloudellista epävarmuutta. Siksi liikkeenjohdollisen osaamisen rooli korostuu taloudellisen epävarmuuden aiheuttaman henkisen kuormituksen hallitsemisessa WAM1- ja WAM2-skenaarioissa.

Toimintaympäristön ja yhteiskunnallisten odotusten muuttuminen voivat vaikuttaa myös viljelijöiden ammattikuvaan ja ammatillisen identiteetin muotoutumiseen. WEM-skenaariossa resurssien viisas ja ilmastokestävä käyttö tilojen mahdollistamissa puitteissa on tuotannon perusta. Suurempia muutoksia viljelijän ammattikuvassa ja yhteistyöverkostoissa tapahtuu lähinnä yksittäisillä tiloilla. WAM-skenaarioiden myötä ruoantuotanto integroituu yhä voimakkaammin ilmastotoimiin ja molemminpuolisten hyötyjen vahvistuessa. Tässä kehityksessä on kuitenkin merkittäviä tilakohtaisia ja alueellisia eroja. Suurilla viljanviljely- ja kotieläintiloilla on paremmat mahdollisuudet (taloudelliset, ammatilliset) uusien teknologioiden ja tuotantotapojen käyttöönottoon, viljelykiertojen toteuttamiseen ja sopimustuotantoon. Tämä johtaa usein myös verkostoituneempaan toimintatapaan ja yhteistyön lisääntymiseen muiden maatilojen kanssa, ja WAM1:ssä ja WAM2:ssa jopa yli sektorirajojen (esim. energiasektori). Pienet tilat varsinkin syrjäisemmillä alueilla³ voivat jäädä tästä osin tehokkaaseen työnjakoon ja

³ Syrjäisemmillä alueilla tarkoitetaan tässä erityisesti alueita, joihin sopii harvaan asutun maaseudun määritelmä. Ne ovat paikalliselta elinkeinorakenteeltaan yksipuolista ja väestömäärältään harvaan asuttua aluetta, jonka yleisin maankäyttöluokka on metsä tai suo. Lähtökohtaisesti tällaiset alueet sijaitsevat

yhteistyöhön sekä teknologiamurrokseen perustuvasta kehityksestä sivuun (nk. digital di- vide). Kaikki viljelijät eivät koe maatalouden muuttuneita tavoitteita tai toimintakulttuuria omakseen, mikä voi johtaa rooliepäselvyyksiin tai- konflikteihin. Kulttuurisesta näkökulmasta ilmastotoimien edistämiseen liittyvä viestintä lisää viljelijöiden ilmasto- ja ympäristötietoi- suutta ja tukee uusien toimintatapojen ja uudenlaisen toimintakulttuurin omaksumista varsin- kin WAM1:ssä ja WAM2:ssa.

Taulukko 7.2.1. Sosiaaliset ja kulttuuriset vaikutukset viljelijä- ja tilatasolla: osaaminen, ammattikuva ja ammatillinen identiteetti.

	WEM	WAM1	WAM2
VILJELIJÄ-/TILATASO			
Osaaminen			
Uudet osaamistarpeet	Kotieläintalouden no- peana jatkuva rakenne- kehitys vaatii vahvaa lii- ketoimintaosaamista ja yrityksen kasvuproses- sin hallintaa; viljelyn monipuolistaminen liit- tyen valkuaiskasveihin; täsmäviljelytekniikan haltuunotto peltolohko- tasolla osalla tiloista;	Laajamittainen viljelyn monipuolistaminen; hiili- viljelymenetelmien hal- tuunotto; ravinnekierto- osaaminen tilatasolla tai isommassa mittakaa- vassa joillakin tiloilla; täsmäviljelytekniikan hal- linta; turvemaiden ilmas- toälykäs käyttö (ennallis- taminen, säätösalaajitus, kosteikkoviljely, metsitys jne.);	Vaativien hiiliviljelymenetelmien haltuunotto ja seuranta (biohiili); älykkäiden ravinnekiertojen osaaminen joko aktiivisena toi- mijana tai raaka-aineen tuotta- jana ja/tai lopputuotteiden hyö- dyntäjänä; täsmäviljelytekniikan hyödyntäminen läpileikkaavasti ravinnekiertojen ja rehustuksen optimoinnissa ilmastohyötyjen saavuttamiseksi; turvemaiden laajamittainen ilmastoälykäs käyttö (ennallistaminen, sää- tösalaajitus, kosteikkoviljely, metsitys jne.);
	Liikkeenjohdollinen osaaminen, sopimus- tuotannon hallinta;	Liikkeenjohdollisen osaa- misen korostuminen uu- sien tuotantotapojen ja niiden vaatimien inves- tointien ja toimintamalli- muutosten hallinnassa;	Liikkeenjohdollisen erikoisosaa- misen tarve integroitaessa ene- nevässä määrin energia-, ra- vinne- ja hiiliperusteista liiketo- mintaa osaksi tilojen taloutta;
	Biokaasutuotantoon (ml. ravinnekierron) liit- tyvän osaamisen tarve pääasiassa suurem- milla lypsykarja- ja sika- tiloilla; aurinkoenergian hyödyntämiseen liitty- vän osaamisen tarvetta jopa puolelle maati- loista;	Biokaasutuotantoon (ml. ravinnekierron) liittyvä osaamisen tarve suurem- milla kotieläin- ja puutar- hatiloilla myös nurmen biokaasukäytössä; tila- kohtaisten biokaasu- ja aurinkovoimaloiden koon kasvu edellyttää osaa- mista energian markki- noinnista;	Aurinkoenergiaan ja biokaasu- tuotantoon (ml. ravinnekierron) liittyvän vaativan erikoisosaa- misen (sisältäen energian markki- nointiin liittyvän sopimusosaa- misen) tarve suurella osalla tiloista;
Ammattikuva, identiteetti			
<i>Toimenkuvan muutos</i>	Liikkeenjohdollisten ja verkostoitumistaitojen korostuminen;	Yhteistyöhön perustuvan ja verkostoituneen toimin- tamallin omaksuminen;	Tehokas yhteistyö ja verkostoi- tuneen toimintamallin omaksu- minen myös suhteessa maata- loussektorin ulkopuolisiin toimi- joihin;
<i>Työn tavoitteiden muutos</i>	Resurssi- ja energiate- hokas tuotanto vahvis- tuu;	Ilmastokestävä ruoantu- tanto valtavirtaistuu;	Ruuantuotannon, uusiutuvan energian ja ilmastohyötyjen äly- käs ja kestävä yhteistuotanto;
Kulttuurinen muutos			

kaukana isoista keskuksista. Alueen asutusrakenne on hajanaista, taajamia on harvassa ja niiden välillä saattaa olla laajoja asumattomia alueita. Näin ollen myös alueilla sijaitsevat maatilat ovat suhteellisen kaukana toisistaan, mikä heikentää esim. niitten yhteistyömahdollisuuksia.

<i>Tietoisuus, asenteet, arvot kohti ilmaston huomioivaa toimintatapaa</i>	Tietoisuuden lisääntyminen turvemaiden päästöistä ja viljelyn monipuolistamisen hyödyistä;	Uudenlaisten toimintatapojen omaksuminen viljelykiertojen käytössä, turvemaiden viljelyssä, bio-kaasun tuotannossa ja ravinnekiertojen hyödyntämisessä;	Ilmastotoimet ja uusiutuvan energian tuottaminen olennaisena osana vallitsevaa tuotantotapaa, tuloksena ”uusi normaali”;
--	--	---	--

Sen lisäksi, että suunnitellut toimenpiteet ja politiikkaohjaukset eri ilmastotoimien toteuttamiseksi kohdistuvat eri tavoin erilaisiin viljelijöihin ja maatiloihin, viljelijät voivat myös *kokea* muutoksen vaikutuksen hyvinvointiin eri tavoin: toisille ilmastotoimet ja politiikkaohjaukset näyttäytyvät myönteisenä haasteena ja mahdollisuutena parantaa tulotasoa, elinkeinon yhteiskunnallista hyväksyttävyyttä ja ilmastokestävyyttä. Toisille tämä muutos, uuden oppiminen (teknologia, sopimuskäytännöt), taloudelliset investoinnit ja niihin liittyvä epävarmuus, verkostomaisen toimintatavan haltuunotto ja uusi rooli ilmastohyötyjen tuottajana ei välttämättä ole sovelias tai muuten mieluinen, mikä lisää työn kuormittavuutta.

Ilmastotoimien hyväksyttävyyttä voidaan arvioida ensinnäkin sen kautta, miten viljelijät kokevat tuotannon sääntelyn lisääntymisen. On mahdollista, että erilaiseen politiikkaohjaukseen on vuosikymmenten saatossa totuttu niin, että ilmastotoimien toteuttamiseen liittyvä maankäytön ohjaus ei enää aiheuta voimakkaita reaktioita, varsinkin jos toimenpiteiden toteuttaminen on vapaaehtoista ja korvauksiin perustuvaa. Ohjauskeinojen suunnittelussa keskeistä on se, että toimenpiteet ovat tarkoituksenmukaisia ja linkittyvät kustannustehokkaasti tilan toimintaan, ja mahdollistavat tilan toiminnan pitkäjänteisen kehittämisen. On myös tärkeää varata toimenpiteiden valmisteluun ja toteuttamiseen riittävästi aikaa.

Toinen hyväksyttävyyteen liittyvä näkökulma on se, miten toteuttamiskelpoisina ja tarkoituksenmukaisena toimenpiteet koetaan. Yli puolet viljelijöistä uskoo ilmastomuutoksen vaikuttavan viljelyolosuhteisiin (kasvukauden pituus, sään ääri-ilmiöiden kuten sateiden/kuivuuden lisääntyminen). Enemmistö on myös jo havainnut muutoksia olosuhteissa ja suurin osa pitää esim. maan kasvukuntoon liittyviä toimia tärkeinä (vesitalous, maan rakenteen parantaminen) (Peltonen-Sainio ym. 2020). MTK:n kyselyn mukaan erityisesti viljelykiertojen suunnittelu hiilensidonnan edistämiseksi ja uusiutuvan energian tuotanto nähtiin mahdollisimpina ilmastotoimina. Huonotuottoisten turvemaiden metsitykseen ja ennallistamiseen suhtauduttiin sen sijaan varauksellisemmin. Kaiken kaikkiaan jonkinlaisena riskinä on, että ilmastotoimet jakavat enemmän kuin yhdistävät tiloja ja viljelijöitä (esim. ”hiiliviljelijät” vs. ”muut viljelijät”, tai ”turvemaiden viljelijät” vs. ”päästöjen vähentäjät turvemailla”), mitä ei voi pitää myönteisenä kehityksenä.

Toisentyypisen riskin muodostaa puolestaan se, että viljelijät eivät koe saavansa riittävästi tunnustusta ilmaston hyväksi jo tekemistään toimenpiteistä viljelijäyhteisön sisältä tai laajemmin yhteiskunnasta. Tällainen kokemus arvostuksen puutteesta voi pahimmillaan johtaa siihen, että uusiin ilmastotoimiin ei haluta enää jatkossa sitoutua. Onkin tärkeää pohtia, miten maatalouden ilmastotoimet ja politiikkaohjaukset toteutetaan niin, että siitä tulee kaikkien maatalousyrittäjien yhteinen asia. Maatalouden yhteiskunnallisessa arvostuksessa ei tapahtune suurta muutosta WEM-skenaariossa. WAM1-skenaariota myötä tietoisuus maatalouden roolista ilmastotyössä lisääntyy, mutta toisaalta myös vaatimustaso kasvaa. WAM2-skenaariossa ilmastotoimet ovat olennainen osa ruoantuotantoa, ja maataloudella ymmärretään olevan tärkeä rooli uusiutuvan energian tuotannossa.

Kaikilla maatiloilla ei ole yhtäläisiä mahdollisuuksia toteuttaa ilmastotoimia, vaikka niihin politiikkaohjauksilla ja muilla keinoin kannustettaisiin ja autettaisiin. Sitä, että osa tiloista voi niitä toteuttaa ja saada niistä jopa lisätuloa, ei tulisi nähdä vastakkaisena ruuantuottamiselle, joka on edelleen viime kädessä maatalouden tärkein tehtävä yhteiskunnassa. Näin voi kuitenkin käydä, jos päästövähennysten tuottajille maksettavien tukien ja muiden kannusteiden nähdään olevan pois muiden maatilojen tuloista. Siksi on tärkeää, että mahdollisia ilmastotoimia on monia ja että useimmilla maatiloilla on mahdollisuus ainakin joihinkin niistä kohtuullisin ja reiluiksi sekä tasapuolisiksi koetuin kannustimin.

Taulukko 7.2.2. Sosiaaliset ja kulttuuriset vaikutukset: hyvinvointi, hyväksyttävyys ja tietoisuuden lisääntyminen.

	WEM	WAM1	WAM2
VILJELIJÄ/TILATASO			
Hyvinvointi (subjektiivinen, viljelijät kokevat eri tavoin)			
Työn kuormittavuus (osa kokee uudet osaamishaasteet innostavina, osa taas liian vaativina)	Osaamisvaatimukset liikkeenjohdossa ja viljelyn kannattavuushaasteiden ratkaisemisessa ovat jo ennestään merkittäviä ja ne vähitellen kasvavat koska peltoviljelyn tuottavuus heikkoa;	Osaamisvaatimukset lisääntyvät nopeasti, kun kasvava osa viljelijöistä yhdistää ilmastotoimet ja ruuantuotannon; viljelyn monipuolistaminen; uudentyyppisen ohjauksen käyttöönotto lisää taloudellista epävarmuutta;	Osaamisvaatimusten kasvu yhdistyy uusiin kannusteisiin; toimintaympäristön ja verkostojen tuki;
Työn mielekkyys (ilmastohyötyjen tuottamisen motivoivuus)	Muutokset työn tavoitteissa ja sisällössä kohdistuvat vain pienen osaan maatiloja;	Muutokset työn tavoitteissa ja sisällössä kohdistuvat kasvavaan osaan maatiloja;	Muutokset työn tavoitteissa ja sisällössä kohdistuvat suurimpaan osaan maatiloja;
Työn sosiaaliset ulottuvuudet: uudet kontaktit vs. syrjäytyminen, mikäli tilalla ei lähdetä/ ei mahdollisuuksia aktiivisiin toimiin)	Verkostojen laajeneminen sopimustuotannon kautta pienessä määrin (valkuaiskasvien tuotanto, hiiliviljely);	Verkostojen laajeneminen; kaikki eivät välttämättä mukana (alueelliset, tuotannolliset rakenteet);	Uudet sosiaaliset kontaktit, verkostojen laajeneminen; edellytykset tuottajien ja kuluttajien väliselle kohtaamiselle (uudet tuotteet, palvelut) kasvavat;
Hyväksyttävyys			
Toimintatavan hyväksyttävyys (= itsenäinen päätöksenteko)	Mikäli ilmastotoimet toteutetaan lisääntävän ulkopuolisen sääntelyn kautta, päätöksenteon itsenäisyys voi vähentyä;	Keinovalikoima ja siihen liittyvät kannustimet paranevat lisäten valinnanmahdollisuuksia ilmastotoimissa ja vahvistavat hyväksyttävyyttä;	Laaja keinovalikoima kannustimien, jotka parantavat myös ruuantuotannon edellytyksiä, luo hyväksyttävyyttä;
Toimenpiteiden hyväksyttävyys (=nähdäänkö toimenpiteet tarpeellisina, mahdollisina tai koetaan turhina)	Vaikuttavat ilmastotoimet eivät suurimmalla osalla tiloilla mahdollisia (ei kannustimia, tekniset ja maankäytölliset rajoitteet) ja viljely sopeutettava muuttuvaan ilmastoon;	Vaikuttaviin ilmastotoimiin enemmän kannustimia ja teknisiä ratkaisuja, erityisesti isoille tiloille soveltuvia; onnistuneet esimerkit lisäävät hyväksyttävyyttä viljelijöiden keskuudessa;	Hyväksytään, että ruuantuotanto on synergiassa merkittävien ilmasto- ja energiahyötyjen tuotannon kanssa;
Maatalouden yhteiskunnallinen arvostus	Pieni muutos maatalouden arvostuksessa huoltovarmuuskäsitteiden korostuessa;	Toimilla laajempaa yhteiskunnallista hyväksyttävyyttä; maatalouden arvostuksen mutta myös vaatimustason nousu toimenpiteitten osalta	Toimilla yhteiskunnallinen hyväksyttävyys; maatalouden arvostuksen merkittävä nousu; maatalous nähdään osana

		(valkuaiskasvit, viljelyn monipuolistaminen, hiilen sidonta);	energiantuotannon järjestelmää ja päästöjen vähentämistä;
--	--	---	---

Yhteisö- ja aluetaso: Kuten edellä on jo todettu, kaikkien skenaarioiden haasteena on se, että toimenpiteet ja kehityskulut eivät kohdistu kaikkiin viljelijöihin samalla tavalla. Yksittäiset viljelijät ovat väistämättä eri asemassa riippuen tilan tuotantosunnasta, koosta ja maantieteellisestä sijainnista sekä turvepeltojen määrästä ja aikaisemmin jo tehdyistä ilmastotoimenpiteistä. Tässä yhteydessä eroihin ja niiden vaikutuksiin ei ole mahdollista ottaa tyhjentävästi kantaa, mutta on selvää, että yksityiskohtaisempia politiikkatoimia suunniteltaessa erilaisten taloudellisten ja sosiaalisten vaikutusten kohtaantuminen on ratkaisevassa roolissa ja se on selvitettävä huolellisesti etukäteen.

Ilmastotoimien toteuttaminen vaikuttaa maaseutumaisemaan monin eri tavoin. WAM-skenaarioissa kesantotyyppisten nurmien kokonaismäärä lisääntyy, sillä niiden määrä kivennäismailla kasvaa jonkin verran (WAM1, +200 000 ha; WAM2, + 100 000 ha). WAM-skenaarioissa kesantotyyppisten nurmien määrän lisääntyminen kivennäismailla johtuu siitä, että viljan ja tuotantonurmien viljelyä tehostetaan satopotentiaaliltaan hyvillä viljelysmailla ja vähennetään huonommilla. Lisääntyneet kesantoalat erottuvat maisemasta ”hoitamattomampina” kuin varsinaiset tuotantonurmet ja viljapelot. WAM1- ja etenkin WAM2-skenaariossa kasvava osa tästä kesantoalasta käytetään biokaasuksi menevän apilapitoisen nurmen tuotantoon. Turvemaille perustetaan kosteikkoja, ja turvemaita pieneltä osin myös metsitetään WAM1- ja WAM2-skenaarioissa.

Huonotuottoisimpia turvemaita voi olla järkevää jättää kustannusvaikuttavaksi päästövähennysalaksi eli kokonaan viljelemättä ilman, että niille perustettaisiin kosteikkoja tai metsitettäisiin, mutta tähän liittyy ongelmiaakin. Tämä sinällään huonotuottoisten turvepeltojen viljelemättä jättäminen ilman mitään muita toimia voi aiheuttaa hämmennystä ja vastalauseita paitsi viljelijöiltä myös muulta paikallisyhteisöltä. Myös huonotuottoisia kivennäismaita metsitetään WAM1- ja WAM2-skenaarioissa. Uusia viljelykasveja (järviruoko) tulee kosteikkoviljelyn (WAM1 ja WAM2) ja ruokohelven tuotanto voi lisääntyä, mikäli kotieläintuotannossa joudutaan etsimään korvikkeita kuivikkeena käytetylle turpeelle. Aurinkovoimaloilla ja biokaasulaitoksilla, joita voi nousta esim. maaseututaajamien teollisuusalueiden yhteyteen on myös omat maisemalliset vaikutuksensa.

Maaseutumaiseman muutoksia arvioivat paitsi viljelijät, niin myös kansalaiset ja kuluttajat. Viljelijät kiinnittävät huomiota erityisesti peltojen kasvukuntoon, rikkakasvien määrään ja hoidettavuuteen. Pellot eivät ole viljelijöille samanarvoisia; tilakeskuksen lähellä sijaitseviin peltoihin suhtaudutaan eri tavoin kuin kauempana oleviin peltoihin. Metsitykseen ei suhtauduta aina suopeasti, mutta myönteisemmin kuin peltojen heitteillejättöön. Kesannointia ei nähdä toivottavana maankäyttömuotona varsinkaan aktiivisten viljelijöiden keskuudessa. Kansalaiset arvostavat monimuotoista, hoidettua ja ”perinteistä” maaseutumaisemaa. Koska ilmastotavoitteet ovat Suomessa hyvin kunnianhimoiset, on täysin mahdollista, että maisemallisten arvojen väheneminen hyväksytään tuntuvien päästövähennysten vastapainoksi. Tässä voidaan kuitenkin olla sekä viljelijöiden, että asukkaiden keskuudessa alueellisesti erimielisiä. On kuitenkin huomattava, että maisemalliset vaikutukset kuten myös maisemalliset mieltymykset ja arvostukset eroavat alueellisesti.

Oman haasteensa ilmastotoimille muodostaa myös syrjäisyys. Mikäli tila sijaitsee harvaan asutulla maaseudulla, sen mahdollisuudet etenkin uusiutuvaan energiaan liittyvien ilmastotoimien menestyksekkääseen toteuttamiseen ovat WEM-skenaariossa suhteellisen vähäiset. Tilanne paranee jonkin verran WAM1-skenaariossa hiiliviljelyn yleistyessä, jolloin syrjäisemmätkin tilat pääsevät hyötymään lisääntyvistä ilmastotoimenpiteistä ja niitä edistävistä verkostoista. Kuitenkin vasta WAM2-skenaariossa syrjäisemmille tiloille tarjoutuu kunnollisia mahdollisuuksia päästä mukaan uusiutuvan energian (erityisesti biokaasu) tuotantoverkostoihin ja hyödyntää laaja-alaisesti erilaisten ilmastotoimenpiteiden käyttöönottoa tukevia rakenteita.

Ilmastotoimien toteuttaminen edellyttää uudenlaista osaamista, neuvontaa ja koulutusta varsinkin WAM1:n ja WAM2:n myötä. Neuvontaorganisaation rinnalla tarvitaan yrittäjiä, jotka auttavat viljelijöitä sopimustuotantokäytännössä, tehostettujen ravinnekiertojen toteutuksessa, aurinkosähkövoimaloiden perustamisessa sekä toimijoita, jotka koordinoivat tilojen välistä ja muiden toimijoiden välistä yhteistyötä. Maatilat monialaistuvat (WAM1 ja WAM2) paitsi ruuan, myös energiapalveluiden tuottajina. Tämä voi tarjota joillekin viljelijöille mahdollisen ammatilliseen erikoistumiseen, uudenlaiseen toimenkuvaan ja uusiin tulovirtoihin.

Koska merkittävien KHK-päästövähennysten saavuttaminen ei ole mahdollista ilman laajamittaista tehokkaiden ilmastotoimien toteuttamista, myös viljelijäyhteisön pitäisi osoittaa hyväksyntää viljelijöille, jotka toteuttavat esim. turvemaiden vettämistä ja ennallistamista, veden pinnan ylhäällä pitämistä säästöajatuilla turvemaidella tai tehostettua hiilensidontaa kivennäismailla eri keinoin, jopa metsittämälläkin. Näihin toimiin tarttuminen pienelläkin osalla maatiloja tulisi voida nähdä myös muiden viljelijöiden kannalta hyödyllisenä sekä kustannustehokkuusnäkökulmasta että maatalouden yhteiskunnallisesta hyväksyttävyyssnäkökulmasta. Vastaavasti kuin viljelijöille myös heitä ympäröiville maaseutuyhteisöille ja kokonaisten alueiden ihmisille joudutaan perustelemaan maataloilla erikseen suoritettavat ilmastotoimet, jotka eivät toteudu ilman lisäresursseja ja -kannustimia.

Ilmastotoimiin liittyvät taloudelliset kannustimet tuottavat luonnollisesti myös lisätuloja maataloille. Se onkin tarkoituksenmukaista, koska ilman mitään tulojen lisäystä - edes vähäisessä määrin - ei ole perusteltua odottaa viljelijöiden toteuttavan merkittäviä päästövähennystoimia. Tämä on alueellinen tulonjako- ja poliittinen kysymys, sillä maatilojen erityisasema ilmastotoimien kannustimien saajina saatetaan myös kyseenalaistaa. Siksi onkin keskeistä tuoda todennetusti esille maataloudessa saavutettavien päästövähennysten hinta suhteessa vastaavaan muilla talouden sektoreilla. Tulonjakovaikutukset sekä maaseudun väestöryhmien välillä että maatalouselinkeinon sisällä nousevat todennäköisesti joka tapauksessa esille julkisessa keskustelussa.

Taulukko 7.2.3. Sosiaaliset ja kulttuuriset vaikutukset yhteisö- ja aluetasolla: maisema, tilojen väliset erot, uusi yrittäjyys.

	WEM	WAM1	WAM2
YHTEISÖ/ALUE-TASO			
Maisemalliset vaikutukset (subjektiivisia; myönteinen tai välttämätön kehitys vs. kielteinen kehitys)			
Maisemamuutosten kokeminen	Vain vähän muutoksia pellonkäytössä; huono	Kesantojen ja biokaasunurmien määrä	Metsitys lisääntyy, maiseman osittainen

(kesantoalan kasvu, peltojen metsitys, maiseman sulkeutuminen, "hoitamattoman maiseman li säys)	kannattavuus voi johtaa kesantoalan kasvuun; viljelykiertojen ja aluskasvien lisääntyminen jää vähäiseksi;	lisääntynyt; turvepeltojen metsitys; osa pelloista jätetään hoitamatta ja ennallistetaan; viljapellot vihreitä syksyisin; hylättyjä turvepeltoja; biokaasulaitokset ja aurinkoenergiaan liittyvät rakennelmat yleistyvät;	sulkeutuminen tietyillä alueille; kosteikkoviljelyjä ja biokaasunurmia paikoin paljon; viljapellot vihreitä syksyisin; hylättyjä turvepeltoja; biokaasulaitokset ja aurinkoenergiaan liittyvät isot rakennelmat yleistyvät sekä maatiloilla että muualla maaseudulla;
Tilojen väliset erot			
Tilakoko (ha)	Pienillä tiloilla heikommät edellytykset osallistua investointeja edellyttäviin yhteistyöhankkeisiin;	Isommilla tiloilla edelleen paremmat edellytykset ilmastotoimien käyttöönottoon, mutta myös pienten tilojen edellytykset paranevat;	Tilakoon merkitys vähenee; pienet tilat mukaan erilaisiin verkostoihin;
Sijainti (alueen lisäksi myös suhteellinen sijainti esim. toisiin tiloihin voi vaikuttaa yhteistyön toteutumiseen)	Syrjäisemmillä tiloilla ei mahdollisuutta kannattavaan tilan ulkopuolelle myytävän uusiutuvan energian tuotantoon tai ylipäättensä tilojen väliin ilmastoyhteistoihin; vain isoilla tiloilla mahdollisuus perustaa isompia biokaasulaitoksia;	Suuren kokoluokan biokaasulaitoksia ei vielä läheskään kaikkien syrjäisempien tilojen ulottuvilla; ilmastotoimien painopiste viljelytekniisissä toiminna, joiden hyödyntämistä tehostaa kasvavassa määrin hiiliviljelijäverkostoissa saatava tuki;	Suuren kokoluokan biokaasulaitokset niin yleisiä, että syrjäisemmilläkin tiloilla mahdollisuus tuottaa esim. biokaasunurmea; hiiliviljelijäverkostojen laaja-alaisessa yhteistyössä mukana myös syrjäisemmät tilat;
Uusi yritystoiminta			
Maatilojen monialaistuminen	Ruoantuotannon rinnalla harvat kotieläintilat tuottavat energiapalveluja;	Energia- ja hiilensidontapalvelujen tuottajina kasvava joukko maatiloja;	Monialaiset energia- ja hiilensidontapalvelujen tuottavat maatilat ovat valtavirtaa;
Maaseudun yritystoiminnan monimuotoistuminen (uusutuva energia, ilmastotoimet, ravinnekierrätys)	Uudenlaista yritystoimintaa, konsultointi- ja urakointipalveluja syntyy energia- ja ilmastotoimiin liittyen vielä varsin vähän;	Uudet konsultoivat yritykset ja urakointipalvelut, jotka auttavat maatilojen tuotannon organisoinnissa ja tilojen yhteistyön järjestämisessä;	Verkostoissa toimii monia erityisosaamista tarjoavia palveluja, työnjako sujuvaa;
Tilojen välinen yhteistyö			
Verkostoistuminen, yhteistyö, työnjako	Yhteistyö lisääntyy erityisesti kotieläintiloilla (Varsinais-Suomi, Satakunta, Pohjanmaa ja Pohjois-Savo);	Yhteistyön määrä lisääntyy kaikentyypisillä tiloilla;	Yhteistyö lisääntynyt merkittävästi koko maataloudessa ja myös muiden sektoreiden kanssa; paikallinen yhteistyö viljelijöiden välillä voi jopa vähentyä erityisesti urakointin lisääntymisen myötä;

7.3 Vesistö- ja monimuotoisuusvaikutukset

Ilmastopäästöjen vähennystoimenpiteet sekä vähentävät että lisäävät vesistökuormitusta ja peltoluonnon monimuotoisuutta. Aktiivisen viljelytoiminnan väheneminen ja perinteisen peltokäytön korvautuminen uusilla viljelytavoilla ja osin myös maankäyttömuutoksilla luo monipuolisempia peltoympäristöjä ja tarjoaa lisää tilaa luonnon lajistolle. Samat muutokset vähentävät pitkällä aikavälillä myös ravinnevalumia vesistöihin. Toisaalta maankäyttömuutokset kuormittavat lyhyellä aikavälillä merkittävästi paikallisia vesistöjä. Lisäksi maaseutumaisema tulee muuttumaan ja peltolajistolle sopiva pinta-ala vähenee.

Laajamittaisilla pellonkäytön ja maankäytön muutoksilla WAM1- ja WAM2-skenaarioissa on vaikutuksia maatalouden vesistökuormitukseen ja luonnon monimuotoisuuteen. Näitä

vaikutuksia on arvioitu laadullisesti (Taulukot 7.3.1 ja 7.3.2). Lähtötietoina on käytetty vuoden 2019 pellonkäyttöä (erit. turvemilla) ja soveltuvien osin MYTTEHO-loppuraportin (Hyvönen ym. 2020) tuloksia ympäristökorvausjärjestelmän eri toimenpiteiden vaikutuksista.

WEM-skenaariossa ei tapahdu pellonkäytön muutoksia verrattuna vuoden 2019 tilanteeseen. WAM-skenaarioissa kivennäismaapelloista lähes kaikki säilyvät peltokäytössä, mutta vilja-ala vähenee 200 000 ha ja tuotantonurmien ala vähenee 200 000 ha vuoteen 2035 mennessä. Vapautuvasta 400 000 hehtaarista noin 100 000 ha siirtyy palkokasvien viljelyyn ja noin 50 000 ha öljykasvien viljelyyn. Lisäksi käytetään 50 000 ha biokaasunurmen tuotantoon WAM1-skenaariossa ja 150 000 ha WAM2-skenaariossa. Kesantoala kasvaa 200 000 hehtaarilla WAM1-skenaariossa ja 100 000 hehtaarilla WAM2-skenaariossa eli kivennäismaapelloista vajaa viidennes on kesantoa WAM1-skenaariossa ja vajaa 15 % WAM2-skenaariossa (Taulukko 7.3.1). Näistä kesantoaloista erilaista viherlannoitusnurmia ja erilaisia maanparannuskasveja on molemmissa WAM-skenaariossa noin 100 000 ha ja loput erilaisia ympäristönhoitonurmia. Kerääjäkasveja viljellään 620 000 ha alalla eli noin kolmanneksella kivennäismaiden pinta-alasta molemmissa skenaarioissa. Lisäksi pieni osa kivennäismaapelloista metsitetään (1,5 % WAM1-skenaariossa ja 3 % WAM2-skenaariossa). Biokaasutuksen kautta osa lannan ja tuotantonurmen ravinteista kierrätetään takaisin pelloille, joilla viljellään biokaasunurmea kasvinviljelytilojen viljelykierron osana.

Taulukko 7.3.1. WAM1- ja WAM2-skenaarioiden pellon- ja maankäyttömuutosten laadulliset vaikutukset maatalouden vesistökuormitukseen ja luonnon monimuotoisuuteen maatalouskäytössä olevilla kivennäismailla. Pinta-alat: Tilanne 2019 □ WEM □ WAM1 □ WAM2

Kivennäismaat Toimenpide: Valkuaiskasvien viljelyn lisääminen Pinta-ala: reilut 30 000 ha □ reilut 30 000 ha □ 130 000 ha □ 130 000 ha WAM-skenaarioissa viljan ja nurmen viljely vähenee merkittävästi ja vapautuvasta 400 000 hehtaarista noin 100 000 ha siirtyy palkokasvien viljelyyn. Vesistö: Yksivuotisten viljelyssä kasvukauden ulkopuolella riski ravinteiden huuhtoutumiseen ja eroosioon. Lisää typpeä maaperään, mikä lisää nitraatin huuhtoutumisriskiä vesistöihin. Sitä voi pienentää kerääjäkasveja kasvattamalla. Monimuotoisuus: Lisää monimuotoisuutta viljelykiertoon. Typpipitoinen karike lisää maaperän hajotustoimintaa. Hyviä mesikasveja kunhan pölyttäjiä vaaralliset ruiskutukset tehdään oikein (öisin, ennen kukintaa). Varissut sato hyödyttää joitain lintulajeja. Toimenpide: Öljykasvien viljelyn lisääminen Pinta-ala: vajaat 40 000 ha □ vajaat 40 000 ha □ 90 000 ha □ 90 000 ha WAM-skenaarioissa viljan ja nurmen viljely vähenee merkittävästi ja vapautuvasta 400 000 hehtaarista noin 50 000 ha siirtyy öljykasvien viljelyyn Vesistö: Yksivuotisten viljelyssä kasvukauden ulkopuolella riski ravinteiden huuhtoutumiseen ja eroosioon. Riskiä voi pienentää kerääjäkasveja kasvattamalla. Monimuotoisuus: Lisää monimuotoisuutta viljelykiertoon. Hyviä mesikasveja kunhan pölyttäjiä vaaralliset ruiskutukset tehdään oikein (öisin, ennen kukintaa). Toimenpide: Kesantonurmien lisääminen Pinta-ala: 200 000 ha □ 200 000 ha □ 400 000 ha □ 300 000 ha WAM-skenaarioissa viljan ja nurmen viljely vähenee merkittävästi ja vapautuvasta 400 000 hehtaarista 200 000 ha (WAM1) ja 100 000 ha (WAM2) siirtyy kesannolle. Näistä kesantoaloista erilaista viherlannoitusnurmia ja erilaisia maanparannuskasveja on molemmissa WAM-skenaariossa noin 100 000 ha ja loput erilaisia ympäristönhoitonurmia. Vesistö: Vähäisempi lannoittaminen ja muokkaus vähentävät ravinteiden huuhtoutumisriskiä. Kuolleesta kasvustosta ja pintaan kerrostuneesta fosforista kuitenkin huuhtoutuu liukoista fosforia talvisaikaan.
--

Monimuotoisuus: Vähäisempi hoito hyödyttää luonnoneliöitä (maaperäeliöt, petoselkärangattomat, linnut, pölyttäjät, riistalajit, putkilokasvit), ellei kesantoa käytetä joihinkin kunnostustoimiin kuten salaojitus, kalkitus, oijen kaivu tai vaikeiden rikkakasvien tehotorjunta.

Toimenpide: Kerääjäkasvien käytön lisääminen

Pinta-ala: 120 000 ha □ 120 000 ha □ 370 000 ha □ 620 000 ha

Vesistö: Lisääntyvä kasvipeitteisyys vähentää typen huuhtoutumista, mutta lisää talviaikaista liukoisen fosforin huuhtoutumista. Kasvipeitteisyys estää kuitenkin eroosiota ja partikkelifosforin huuhtoutumista.

Monimuotoisuus: Peltokasvilajisto monipuolistuu ja samalla maaperäeliöt hyötyvät, kun on enemmän ja monipuolisempaa kariketta.

Toimenpide: Kivennäismaalajia olevan pellon metsitys (pääosin koivulle)

Pinta-ala: 0 ha □ 0 ha □ 30 000 ha □ 60 000 ha vuoteen 2050

Vesistö: Vähentää ravinnehuuhtoumia, kun pysyvä kasvipeite sitoo maata ja ravinteita.

Monimuotoisuus: Lisää luonnon lajistoa, mutta nuoria kivennäismaametsiä on runsaasti muutoinkin. Vähentää samalla peltolajistolle sopivaa elinympäristöä.

Turvepeltojen viljelyssä tapahtuu erittäin merkittäviä muutoksia luovuttaessa yksivuotisten kasvien ja kesantonurmien viljelystä lähes kokonaan (WAM1) tai kokonaan (WAM2) (Taulukko 7.3.2). Noin kymmenesosa tästä pinta-alasta siirretään aktiiviseen kosteikkoviljelyyn molemmissa skenaarioissa. WAM1-skenaariossa suurimmalla osalla yksivuotisten tai kesantonolla olleiden turvepeltojen pinta-alasta viljelytoiminta loppuu ja valtaosa näistä pelloista hylätään metsittymään tai soistumaan itsestään, vajaa viidennes eli 20 000 ha ennallistetaan aktiivisesti soiksi ja 10 000 ha metsitetään. Lisäksi tuotantonurmen viljelystä siirtyy 20 000 ha WAM1-skenaariossa ja 30 000 ha WAM2-skenaariossa tavanomaisesti ojitetuilta pelloilta säätösalaojitetuille pelloille, joilla veden pinta pyritään pitämään keskimäärin 30 cm pellon pinnan alapuolella.

Taulukko 7.3.2. WAM1- ja WAM2-skenaarioiden pellonkäyttömuutosten laadulliset vaikutukset maatalouden vesistökuormitukseen ja luonnon monimuotoisuuteen maatalouskäytössä olevilla turvemaidilla. Pinta-ala-muutokset: Tilanne 2018 □ WEM □ WAM1 □ WAM2

Turvemaat

Toimenpide: Yksivuotisten kasvien viljelyn vähentäminen

Pinta-ala: 94 500 ha □ 94 500 ha □ 20 000 ha □ 0 ha

Vesistö: N- ja P-huuhtoumat vähenevät WAM-skenaarioissa, koska eroosio kasvukauden ulkopuolella vähenee, kun yksivuotisten kasvien pinta-ala pienenee.

Monimuotoisuus: yksivuotisten kasvien viljelyn väheneminen lisää monimuotoisuutta, kun peltojen lajisto monipuolistuu ja viljelytoimet vähenevät tai loppuvat kokonaan, paljolti uudesta käytöstavasta riippuen.

Toimenpide: Tuotantonurmien viljelyn vähentäminen

Pinta-ala: 126 000 ha □ 126 000 ha □ 106 000 ha □ 96 000 ha

Vesistö: koska tilalle tulee WAM-skenaarioissa saman verran määrässä (vesitaso keskimäärin 30 cm maanpinnan alapuolella) turvemaassa viljeltyä tuotantonurmea, niin vaikutukset samanlaisia kuin kohdassa "säätösalaojitus".

Monimuotoisuus: Koska tilalle tulee saman verran määrässä viljeltyä tuotantonurmea, niin vaikutukset samanlaisia kuin kohdassa "säätösalaojitus".

Toimenpide: Kesantonurmien viljelyn vähentäminen

Pinta-ala: 38 000 □ 38 000 ha □ 18 000 ha □ 0 ha

Vesistö: Huonotuottoisella turvemaidilla kesantoalan vähentäminen ja jättäminen peltokäytön ulkopuolelle (WAM:t, kesantoala vähenee) vähentävät ravinteiden huuhtoutumista, kun muokkaus ja lannoitus loppuvat kokonaan ja kasvillisuus muuttuu pysyväksi. Liukoista fosforia kuitenkin vapautuu lakastuneesta kasvustosta

talvisaikaan (ehkä vähemmän kuin tuotantonurmista) koska kesantoina olleissa tuottokyvyltään heikoissa turvepelloissa saattaa olla fosforivarantoja.

Monimuotoisuus: Erityisten monimuotoisuuskesantojen väheneminen voi turvemaillakin heikentää luonnon monimuotoisuutta. Muiden kesantojen väheneminen ja korvautuminen hylätyn peltoalan kasvulla (kaikenlainen hoito loppuu) hyödyttää luonnoneliöitä (maaperäeliöt, petoselkärangattomat, linnut, pölyttäjät, riistalajit, putkilokasvit). Jos kuitenkin kesantoaikaa käytetään joihinkin kunnostustoimiin kuten salaojitus, kalkitus, ojien kaivu tai vaikeiden rikkakasvien tehotorjunta, näitä monimuotoisuushyötyjä ei synny.

Toimenpide: Säättosalaojitus ja nurmen viljely tavanomaista märemmissä olosuhteissa

Pinta-ala: 3000 ha ☐ 3000 ha ☐ 20 000 ha ☐ 30 000 ha

Vesistö: Vesitason nosto tavanomaisesta keskimäärin 30 cm pellon pinnan alapuolelle hidastaa merkittävästi turpeen hajoamista ja siten myös ravinteiden vapautumista vesitason alapuolella, mikä saattaa vähentää ravinteiden huuhtoutumista. Toisaalta samasta syystä myös lannoitustarve voi lisääntyä, mikä voisi lisätä ravinteiden huuhtoutumista. Vaikutuksia pitäisi tutkia tarkemmin, jotta voidaan sanoa tarkemmin huuhtoumavaikutuksista.

Monimuotoisuus: Jos avo-ojitettu pelto säättosalaojitetaan, menetetään pientareet kasveineen ja hyönteisineen eli monimuotoisuus vähenee, mutta tavanomaisesti salaojitetun pellon säättosalaojittamisessa näitä menetyksiä ei enää tule. Toisaalta vesitason nosto luo uudentyyppistä peltoympäristöä, mikä puolestaan lisää monimuotoisuutta.

Toimenpide: Huonotuottoisten turvepeltojen poistaminen viljelyksestä ilman muita toimia (hylkääminen)

Pinta-ala: 67 000 ha ☐ 67 000 ha ☐ 124 000 ha ☐ 124 000 ha

Vesistö: Peltojen hylkääminen käytön ulkopuolelle vähentää ravinteiden huuhtoutumista vähitellen.

Monimuotoisuus: Hoitotoimenpiteiden lopettaminen antaa luonnon lajistolle (kasvit, linnut, hyönteiset, maaperäeliöt, nisäkkäät jne.) lisää tilaa eli tässä mielessä monimuotoisuus lisääntyy. Peltolajisto kuitenkin vähenee vähitellen pellon metsittyessä tai soistuessa.

Toimenpide: Turvemaalajia olevien peltojen metsittäminen

Pinta-ala: <1000 ha ☐ <1000 ha ☐ 10 000 ha ☐ 20 000 ha

Vesistö: Maaperän käsittely taimien istutusta / siemenkylvöä varten lisää hiili- ja ravinnehuuhtoumia muutamaksi vuodeksi. Myöhemmin kasvipeitteisyys ehkäisee ravinnevalumia ja eroosiota.

Monimuotoisuus: Maankäyttömuutos lisää luonnonvaraista lajistoa, mutta ojitettua turvemaametsää on runsaasti entuudestaan. Vähentää samalla peltolajistolle sopivaa elinympäristöä.

Toimenpide: Kosteikkoviljely

Pinta-ala: Tuntematon (kokeiluasteella) ☐ muutamia ha ☐ 10 000 ha ☐ 20 000 ha

Vesistö: Vesitason nosto lähelle pellon pintaa voi lisätä ravinteiden huuhtoutumista sateisina jaksoina.

Monimuotoisuus: Täysin uudentyyppinen viljelystapa lisää maatalousympäristöjen monimuotoisuutta.

Toimenpide: Turvemaalajia olevan pellon ennallistaminen suoksi / kosteikoksi

Pinta-ala: <1000 ha ☐ <1000 ha ☐ 15 000 ha ☐ 37 000 ha

Vesistö: Hiili-, typpi- ja fosforihuuhtoumat ovat suuria muutaman vuoden vedenpinnan tason nostamisen (ojien tukkimisen ja/tai pohjapadon rakentamisen) jälkeen. Myöhemmin kosteikko / suo pidättää kiintoaineita ja ravinteita, jos on se riittävän suuri suhteessa valuma-alueensa kokoon ja jos sinne ei synny merkittäviä veden oikovirtauksia.

Monimuotoisuus: Suoluonnon palauttaminen voi vaatia lajistonsiirtoja (ja luonnonsuojelulain uudistusta), mutta ravinteikas ja kalkittu turvemaata saattaisi mahdollistaa lettomaisen suokohteen perustamisen, mikä lisäisi aidosti suoluontomme monimuotoisuutta. Vähentää samalla peltolajistolle sopivaa elinympäristöä.

Toimenpide: Uuden pellon raivauksen vähentäminen turvemaille

Pinta-ala: noin 1000 ha /v ☐ noin 30 000 ha ☐ 24 000 ha ☐ 1400 ha

Vesistö: Ojitus ja aiemman kasvillisuuden raivaaminen aiheuttaa suuret hiili-, typpi- ja fosforihuuhtoumat, joten raivauksen vähentäminen vähentää vesistökuormitusta.

Monimuotoisuus: Jos raivaus kohdistuu metsäojitetuille aloille, niin ei raivauksen vähentämisellä ole erityisesti monimuotoisuusvaikutuksia, sillä metsäojitettuja soita on runsaasti. Jos kohdistuu luonnontilaisille soille, niin monimuotoisuus vähenee, paikallisesti menetykset voivat olla suuriakin. Raivauksen vähentäminen pienentää haitallisten seurausten määrää.

Tapahtuma: Viljelyn myötä turvekerros ohenee ja lopulta ohutturpeinen peltö muuttuu kivennäismaaksi

Pinta-ala: sama kaikissa skenaarioissa 15 000 ha (muutosnopeus 500 ha / vuosi)

Vesistö: Turpeen loppuessa kiintoaineen ja liuenneen orgaanisen hiilen valumat vähenevät.

Monimuotoisuus: Ei merkitystä peltöjen monimuotoisuudelle, sillä peltoviljely jatkuu ja turvepeltoja jää jäljelle edelleen runsaasti ja kivennäismaapelloja on jo runsaasti.

Näistä ilmastopäästöjen vähennystoimenpiteistä on sekä hyötyä että haittaa vesistöille ja monimuotoisuudelle. Aktiivisen viljelykäytön väheneminen sekä kivennäismailla että erityisesti turvemaiden vähentää lannoitteiden käyttöä ja siten ravinteiden huuhtoutumisriskiä vesistöihin. Myös vesitason nousu joko aktiivisesti nostaen (märkä nurmi, kosteikkoviljely, ennallistus) tai hylättyjen peltöjen ojaverkoston tukkeutuessa hidastaa turpeen hajoamista ja siten turpeesta vapautuvien ravinteiden määrää. Kasvipeitteisyyden lisääntyminen (yksivuotisten kasvien viljelystä luopuminen turvemaiden, kerääjäkasvien käyttö kivennäismailla) vähentää eroosiokuormitusriskiä. Kerääjäkasvit sitovat myös satokasvilta käyttämättä jääneitä ja maasta vapautuvia ravinteita. Muokkauksen väheneminen monivuotisiin kasvustoihin siirtäessä vähentää myös orgaanisen aineksen hajoamista. Toisaalta monivuotisilta nurmilla ja muilta kasvipeitteisiltä alueilta voi liukoisen fosforin kuormitus lisääntyä sekä fosforin maahan kerrostumisen että kasvuston jäätyneen ja sulamisen seurauksena. Lisäksi maankäyttömuutoksista (metsittäminen, soistaminen) syntyy lyhytaikaisesti suuria typpi- ja fosforivalumia, jotka myöhemmin vähenevät peltökäyttöä pienemmiksi.

Monimuotoisuuden kannalta kerääjäkasvien käyttö ja viljelykiertojen monipuolistaminen kivennäismailla tuottaa WAM-skenaarioissa enemmän ja laadultaan vaihtelevampaa kariketta nykytilanteeseen tai WEM-skenaarioon verrattuna. Tämä monipuolistaa myös maaperän pieneliöstöä. Vesitason nosto säättösalojitetuilla ja kosteikkoviljelyillä turvepeltoilla monipuolistaa peltöympäristöjen (viljely)kasvilajistoa ja pieneliöstöä. Ennallistetuilla ja hylätyillä peltöaloilla peltolajisto vaihtuu vesitason nousun myötä vähitellen kosteikko- ja suolajistoon (kasvit, pieneliöt, hyönteiset, linnut jne.). Myös aktiivisimman viljelyn keskittyminen pienemmälle pinta-alalle antaa lisää tilaa luonnonvaraiselle lajistolle ja mahdollistaa suurempien peltopinta-alojen siirtämisen erilaisiksi luonnonhoitonurmiksi. Kesantoalojen vähäisempi hoito hyödyttää eliöitä (maaperäeliöt, petoselkärangattomat, linnut, pölyttäjät, riistalajit, putkilokasvit), ellei kesantoa käytetä joihinkin kunnostustoimiin kuten salaojitus, kalkitus, ojien kaivu tai vaikeiden rikkakasvien tehotorjunta. Toisaalta maankäyttömuutokset, metsittäminen ja soistaminen, vähentävät Suomen peltopinta-alaa, mikä muuttaa maisemaa ja pienentää peltolajistolle sopivaa pinta-alaa. Myös viljelyalojen hylkääminen muuttaa pitkällä tähtäimellä maisemaa ja elinympäristöjen lajistoa peltöjen pusikoituessa, metsittyessä tai jopa soistuessa itsestään.

8 Yhteenvetoa tutkimus- ja kehitystarpeista

Turvemaiden käyttöön khk-päästöjen vähentämisessä liittyy turvemaan määritelmä (esim. maatumattoman orgaanisen aineksen osuus yli 40 % maanäytteen painosta yms) ja peltolohkotasolla pellon maalajin käytännön todentaminen kiistattomasti tai yksiselitteisesti on koettu ongelmaksi. Peltolohkolla voi olla eri maalajeja eri osissa lohkoa ja voi olla vaikea päätellä lohkon yleisintä maalajia. Peltö voi myös olla pääosin useiden kymmenen senttien

syvyydeltä turvetta, vaikka pintamaa olisi pitkälle maatunutta. Turvemaiden tuottokyvyn määrittäminen ja soveltuvuus eri kasvien viljelyyn erityisesti happamuuden ja vesitalouden kannalta on tärkeää selvittää. Tämä liittyy myös luvussa 4 mainittuun peltolohkojen pisteyttämiseen, joka voisi tehostaa peltomarkkinoiden toimintaa ja siten tehostaa peltojen käyttöä ja parantaa tuottavuutta.

Hiilensidontaan liittyviin tutkimus- ja selvitystarpeisiin on moneen otteeseen viitattu edellisissä luvuissa. Olennaista on tuoda esille vaihtoehtoisia, ennestään hyviksi koettuja viljelykiertoja ja muita tapoja, joilla maan hiilipitoisuutta voidaan lisätä. Tämä on erittäin tarpeellista, koska viljelijöiden ja maatilojen tilanteet ovat suuresti vaihtelevia, kuten toisinaan myös markkinat ja kysyntä eri kasveille. Tutkimuksellisiin haasteisiin liittyen erityisesti maahan lisätyn hiilen pysyvyydessä pureudutaan liitteessä 2.

Maatalouteen liittyvään biokaasutuotantoon liittyviä kehitystarpeita: Lannankäsittelyn muutoksen ja biokaasulaitosten päästövaikutuksista tarvitaan lisätietoa; prosessointiteknologioisakin kehittämistä, kierrätyslannoitevalmisteiden käsittelyn ja käytön ratkaisuissa myös, samoin biokaasun puhdistamisessa ja käyttöratkaisuissa, myös kaasukäyttöisten traktoreiden yms. tekniikka.

Tämän tiekarttatyön tuloksia ja tarkasteluja voi olla tarpeellista soveltuvien osin hyödyntää esim. alueellisissa (esim. alueellisten tuottajajärjestöjen tai muiden tahojen tekemissä) tiekartoissa. Eri alueellisissa tapauksissa voidaan päästä syvemmin maalajeihin, topografiaan ja hydrologiaan liittyviin erityispiirteisiin. Tähän on myös taustatietoa hyvin saatavilla (Lemola ym 2018).

9 Tiekartan yhteenveto

Suomen maatalous tuotti kaikkiaan noin 16 Mt CO₂ ekv. kasvihuonekaasupäästöjä (khk-päästöjä) vuonna 2018. Maatalouden tie tuntuviin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen edellyttää laajamittaisia toimia turvemaiden päästöjen vähentämisessä, hiilensidonnan lisäämistä kivennäismailla ja muutoksia maatalouden energian käytössä ja tuottamisessa. Nämä muutokset edellyttävät uusia ohjauksia ja kannustimia viljelijöille, joiden päätehtävänä on edelleen tuottaa kuluttajien tarpeisiin ja mieltymyksin vastaavaa kotimaista ruokaa likimain entisessä laajuudessa. Maataloustuotannon kestävyttä pyritään kaikilta osin parantamaan, myös kannattavuuden suhteen. Maatilojen mahdollisuudet vähentää kasvihuonekaasupäästöjä poikkeavat suuresti toisistaan. Tuntuvien vähennysten toteuttaminen on siksi suunniteltava huolellisesti ja toteutettava monin eri keinoin, jotta kaikki viljelijät voivat soveltaa sopivia toimenpiteitä yhteistyössä muiden viljelijöiden ja toimijoiden kanssa.

Elintarvikkeiden ja maataloustuotteiden kotimainen kysyntä ei tuottajajärjestöjen arvion mukaan olennaisesti muutu vuoteen 2035. Punaisen lihan eli naudan- ja sianlihankulutus kuitenkin vähenee noin 20 % ja samalla siipikarjanlihan kotimainen kulutus kasvaa 20 %. Maidon kysyntä yhteensä, nestemaitotuotteita ja eri jalosteina, vähenee noin 10 % vuoteen 2035. Näiden kysyntämuutosten kanssa lähes samaa tahtia muuttuu myös kotimainen tuotanto, joskin suotuisa viennin kehitys voi pitää kotimaisen tuotannon vähän kulutusmuutosta

korkeammalla tasolla. Kotimaassa tuotettujen palkokasvien kysyntä rehuksi ja elintarvikkeiksi kasvaa, samoin kauran.

WEM-skenaariossa **eli perusura-skenaariossa**, jossa ei oleteta kuin melko vähäisiä muutoksia nykyiseen tilanteeseen maataloustuotteiden markkinoilla eikä lainkaan muutoksia pellonkäytössä tai siihen vaikuttavissa ohjauskeinoissa, khk-päästöt alenevat 5 % vuoteen 2035 (6 % vuoteen 2050). Tämä tarkoittaa vajaan 1 Mt CO₂ ekv. päästövähennystä vuoteen 2050, joka aiheutuisi pääosin nautakarjan määrän hitaasta vähenemisestä maataloustuotannon ja pellonkäytön pysyessä pääosin ennallaan.

WAM-skenaarioissa (**WAM1 ja WAM2**), **eli nykyistä perusuraa kunnianhimoisemmissa skenaarioissa**, haetaan khk-päästöjen vähennyksiä lisätoimin maatalouden turvemailta, kivennäismaiden hiilensidontaa lisäämällä, ja tuottamalla enemmän biokaasua ja aurinkoenergiaa maatalouden yhteydessä. Näihin liittyy turvemailta monia toimenpiteitä, kuten yksivuotisten kasvien vähäisempää viljelyä, säätösalaojitusta, ennallistamista ja kosteikkoviljelyä vedenpinnan korkealla pitämiseksi, jotka vähentävät khk-päästöjä. WAM-skenaarioissa kasvien satotasot nousevat 10 % vuoteen 2035 ja yli 15 % vuoteen 2050 erityisesti uusien kasvilajikkeiden ja niiden asianmukaisen viljelyn ja tarkan panoskäytön keinoin, ja myös parantamalla pellon kasvukuntoa monipuolisemman viljelykierron ja maan orgaanisen aineksen lisäämisen kautta. Pellonkäyttö muuttuu merkittävästi monipuolisempaan suuntaan, koska viljan viljelystä ja heikkotuottoisesta osasta tuotantonurmia vapautuu peltoalaa erityisesti palko- ja öljykasvien tuotantoon, biokaasutuotannossa käytettäville nurmille, sekä viherlannoitusnurmille, saneerauskasveille ja erilaisille tavoitteellisille ympäristökesannoille. Kokonaisuutena kivennäismaiden hiilensidonta paranee selvästi ja kivennäismaat muuttuvat khk-päästöjen lähteestä niiden nieluksi vuoteen 2035. Tätä tehostetaan kerääjäkasvia lisäämällä ja monilajisilla satoisilla nurmilla niin tuotanto- kuin kesantonurmillakin. Biokaasua ja aurinkoenergiaa edistetään uusilla ohjauksilla ja lisätuilla liittyen tuotetun energian hyödynnettävyyteen ja ravinnekiertoon yhteistyössä eri toimijoiden kanssa.

WAM1-skenaariossa khk-päästöt alenevat 29 % vuodesta 2018 vuoteen 2035 ja 38 % vuoteen 2050). Tämä tarkoittaa noin 6 Mt CO₂ ekv. päästöjen vähennystä vuoteen 2050. Tästä noin 1,9 Mt CO₂ ekv. saavutetaan turvemaita koskevilla toimilla ja noin 2,2 Mt CO₂ ekv. pellonkäytön muutoksen ja tavoitteellisen kivennäismaiden hiilensidonnain keinoin. Maatalouden energiankäytön ja tuotannon muutoksesta aiheutuu myös pieni khk-päästöjen lasku, samoin nautakarjan määrän vähenemisestä, joka on WAM-skenaarioissa samalla tasolla kuin WEM-skenaariossa.

WAM2-skenaariossa maatalouden khk-päästöt vähenevät 42 % vuoteen 2035 (77 % vuoteen 2050) vuodesta 2018. Tämä tarkoittaisi noin 12 Mt CO₂ ekv. päästövähennystä vuoteen 2050 (6,8 Mt CO₂ ekv. jo vuoteen 2035). Tästä noin 3,1 Mt CO₂ ekv. aiheutuisi turvemailta tehtävien toimien laajamittaisemmasta soveltamisesta, erityisesti turvemaalajia olevien peltojen ennallistamisesta, säätösalaojituksesta ja ohutturpeisten peltojen metsityksestä. Kivennäismailla tavoitteena on tässä skenaariossa suuri, jopa 5 Mt CO₂ ekv. suuruisen hiilinielu vuoteen 2050 mennessä (2 Mt CO₂ ekv. vuoteen 2035). Tätä on pidetty vahvasti tavoitteellisena ja kunnianhimoisena skenaariona. WAM2-skenaarion suurta tavoitteellista hiilensidontaa kivennäismaihin ei voida toistaiseksi laskea Luonnonvarakeskuksen käytämällä virallisen kasvihuonekaasuinventaarion aineistoilla ja menetelmillä. Tavoitteen saavuttamisen arvioiminen edellyttäisi uusia aineistoja ja menetelmiä. Tavoite on haasteellinen uusia ratkaisuja vaativa pitkän aikavälin työ, jossa erityisenä kysymyksenä on paitsi

hiilisyötteen lisääminen maahan, myös hiilen pysyvyys maassa, mihin liittyy suuria epävarmuuksia mm. ilmaston lämpenemisestä johtuen. Tuottajajärjestöillä on kuitenkin vahva tahotila tavoitteen saavuttamiseen.

Sen sijaan WAM1-skenaariota voidaan pitää jo nykytiedon valossa saavutettavissa olevana, jopa realistisena, jos ohjauskeinoihin liittyvät haasteet saadaan ratkaisua. Erityisesti tämä koskee sitä, millä ehdoin viljelijälle voidaan korvata täysimääräisesti ne tulonmenetykset, jotka aiheutuvat maataloustukien menetyksistä ennallistettavilla tai viljelykäytöstä poistettavilla huonotuottoisilla turvemailla ja metsitetyillä turve- tai kivennäismailla. Lisäksi turvemailla tarvitaan erillistä tukea ja kannustimia vedenpinnan korkeana pitämiseen ja tämän todentamiseen. Tarkastelujen perusteella näyttää siltä, että erityisesti näihin toimiin tarvitaan uusia resursseja 300-500 milj. euroa 2020-2050 aikajaksolle. Lisäksi tarvitaan resursseja teknologiakehitykseen ja menetelmien soveltamiseen, kuten tarkkuusviljely, uudet satoisammat ja ilmastokestävämmät kasvilajikkeet, hiilensidonnan onnistuminen ja todentaminen kivennäismailla, sekä onnistunut säätösalaajitus ja ennallistaminen turvemailla. Näiden resurssien käyttö olisi alkuvaiheessa osin melko vähäistä, mutta lisääntyisi merkittävästi viimeistään 2030-luvulle tultaessa. Näin siksi, että uusien ohjauskeinojen ja niiden ehtojen sekä teknologian ja todentamisen kehitys vie aikaa. Tämän lisäksi tarvitaan lisätukia ja markkinoiden edistämistä, jotta bioenergian tuotanto ja ravinnekierrätys voivat kasvaa. Merkittävä osa lisäresursseista tulisi saada markkinaehtoisesta toiminnasta. Kokonaisuutena maatalous muuttuu olennaisesti kestävämpään suuntaan monilla eri kestävyysmittareilla, joten myös julkisten varojen käyttö muutokseen on perusteltua. Ohjauskeinojen suunnittelu entisten ohjausten päälle on haasteellista ja voi edellyttää olemassa olevan ohjauksen kuten maataloustuen tiettyjen ehtojen muuttamista, jotta ohjauksilla olisi toivottu vaikutus esimerkiksi luopumiseen heikkotuottoisten maiden viljelystä.

Edellä mainittuja khk-päästöjen vähennyksiä voidaan pitää jo WAM1-skenaariota osalta varsin merkittävinä ja ne vaativat jo laajamittaista työtä monilla tasoilla toteutuakseen. Paljon riippuu myös siitä, päästäänkö molempien WAM-skenaarioiden taustalla oleva maatalouden kestävässä tehostamisessa eteenpäin. Tämä tarkoittaa ennen muuta satotason nostoa ja lannoitteiden ja muiden tuotantopanosten aiempaa tarkempaa hyödyntämistä. Tähän liittyy myös peltojen kasvukunnon parantaminen, nykyistä olennaisesti suurempi viljelykiertojen monipuolistaminen ja siten kivennäismaiden hiilensidonnan edellytysten parantaminen. Sekä turvemaiden toimien, etenkin turvepeltojen vettämisen (eli vedenpinnan noston) laajamittaisen soveltamisen, että kivennäismaiden tehokkaan hiilensidonnan suhteen on paljon merkittäviä epävarmuuksia ja ratkaisemattomia ongelmia. Niihin on tavoitteellisesti haettava ratkaisuja niin maatilatasolla kuin tutkimus- ja kehitystoiminnassa.

WAM-skenaarioiden päästökehityksiin johtavat toimet vaativat asetelmaa, jossa viljelijä hyötyy khk-päästöjen vähentämisestä ja niihin liittyvistä toimista. Ellei tällaiseen asetelmaan päästä, vaan viljelijälle koituu tulonmenetyksiä, kuten esimerkiksi maataloustuotantoa haittaavia vaikutuksia tai maataloustukien menetyksiä ilman vastaavaa hyötyä tai kompensatioita menetyksistä, WAM-skenaarioissa esitettyjen khk-päästövähennysten saavuttaminen ei ole mahdollista.

Vaikuttavilla ja hyvin kohdennetuilla ohjauskeinoilla mahdollistetaan samalla kestävien ravinnekiertojen kehittäminen ja lisää päästövähennyksiä. Biokaasutuotanto luo ratkaisuja keskitetyn kotieläintuotannon alueellisiin haasteisiin lantaravinteiden hyödyntämisessä ja maatalouden ravinneomavaraisuuden parantamisessa (mineraalilannoitteiden korvaaminen).

Osana khk-päästöjen vähentämiseen liittyvää kehitystä kuuluu olennaisena osana maatalouden energiantuotannon ja siihen liittyvän ravinnekierron (typpi, fosfori, kalium) edistäminen. WAM1-skenaariossa biokaasutuotantoa ja siihen kytkeytyvää ravinnekiertoa tuettaisiin ja edistettäisiin monin tavoin. Kannustinten myötä sekä liikenne- ja teollisen biokaasun että kierrätyslannoitevalmisteiden markkinat saataisiin kehittymään voimakkaasti, mikä nostaisi maatalouden materiaalien ohjautumista biokaasutuotantoon. Tällöin lannasta yli kolmannes ohjautuisi biokaasutuotantoon. Tuotetun lantabiokaasun energiamäärä nousisi vuoteen 2050 mennessä noin 38 %:iin lannan kokonaisenergiapotentiaalista biokaasuna. Lisäksi energiaa saataisiin WAM1-skenaariossa Etelä-Suomen nurmialoilta 50 000 ha pinta-alalta. Lannoista merkittävä osa päätyisi suuriin maatilakokoluokkaa suurempiin biokaasulaitoksiin, jotka mahdollistavat alueellisen ravinteiden uusjaon. WAM2-skenaariossa kannustimia ja tukitoimenpiteitä biokaasutuotantoon ja ravinnekiertoihin tulisi vielä lisää. Tällöin biokaasutuotanto maatalouden biomassoista kasvaisi entisestään, etenkin nurmien biokaasukäyttö selvästi kasvaisi sekä liikennebiokaasun ja teollisen biokaasun osuus tuotetusta energiasta nousisi merkittävästi. Maatilakokoluokkaa suurempien laitosten osuus biokaasulaitoksista nousisi liikennebiokaasutuotannon tehostamiseksi ja ohjaamiseksi etenkin nesteytetyn biokaasun suuntaan raskaan liikenteen käyttöön. Tuotetun biokaasun energiamäärä nousisi WAM2-skenaariossa vuoteen 2050 mennessä noin 48 % lannan kokonaisenergiapotentiaalista biokaasuna. Lisäksi energiaa saataisiin WAM2-skenaariossa 150 000 hehtaarin nurmialoilta Etelä-Suomesta. Tällöin nurmen osuus tuotettavasta biokaasusta olisi jo lantaa suurempi. Fossiliista energiaa korvattaessa saavutetaan merkittäviä päästövähennyksiä maatilatasolla ja niiden lähialueilla, vaikka kokonaistasolla vaikutus khk-päästöihin jääkin melko pieneksi, alle 0,5 Mt CO₂ ekv. tasolle. Maatalouden materiaaleista tuotettu biokaasuenergia ei kuitenkaan jää ainoastaan maatalouden käyttöön, vaan sektoreiden välinen yhteistyö raaka-aineiden tuotannossa, prosessoinnissa ja lopputuotteiden hyödyntämisessä on välttämätöntä. WAM1-skenaariossa biokaasulaitoksilta arvioidaan vapautuvan kasvitiloille vähintään 8 milj. kg typpilannoitetta. WAM2-skenaariossa biokaasulaitoksilta voidaan arvioida vapautuvan kasvitiloille noin 19 milj. kg typpilannoitetta. Koko maataloudessa käytettiin 2018 noin 150 milj. kg epäorgaanisia teollisesti valmistettuja typpilannoitteita. Ilmastovaikutuksen lisäksi myös muiden ympäristövaikutusten, esimerkiksi ilman laatuun (ammoniakki) ja vesistöjen tilaan (ravinehuuhtoumat) liittyen, ovat olennainen osa biokaasulaitosten mädätteen kestävää hyödyntämistä ja toimivia ravinnekiertoja.

Tuotantorakennusten suuret harjakatot ja myös käytettävissä olevat maa-alueet tekevät maatiloista aurinkovoimaloiden rakentamiseen hyvin soveltuvia. Tuotannon kasvua rajoittaa erityisesti se, että tuotannosta 90% syntyy maalissyyskuussa ja investointitukikelpoista on vain omaan käyttöön tuotettava aurinkovoima. Investointituen laajentaminen kattamaan myös ulosmyyntiin suunnitellut voimalat ja akustot, ulosmyynnin tuntikohtainen netotus, energiayhteisöjen muodostamisen helpottaminen, virtuaaliakkujen toteutuminen sekä ulosmyytävän sähkön kannustava verokohtelu vauhdittaisivat aurinkovoimalainvestointien toteutumista maatiloilla. Maatilojen sähkönkulutuksesta olisi mahdollista kattaa tilojen itse tuottamalla aurinkosähköllä n. 8% vuoteen 2035 mennessä ja n. 14% vuoteen 2050 mennessä. Kesäkuukausina aurinkovoima akustoon yhdistettynä voi tehdä osasta tiloja täysin sähköomavaraisia.

Tarkastelluilla ilmastotoimenpiteillä ja niiden laajamittaiseen edistämiseen tarkoitetulla ohjauksella on myös merkittäviä sosiaalisia ja kulttuurisia vaikutuksia. Toimintaympäristön ja yhteiskunnallisten odotusten muuttuminen vaikuttavat sekä osaamisvaatimuksiin että

viljelijöiden ammattkuvaan varsinkin WAM1- ja WAM2-skenaarioissa. WAM1- ja WAM2-skenaarioissa ruoantuotanto integroituu yhä voimakkaammin ilmastotoimiin. Suurilla viljanviljely- ja kotieläintiloilla on paremmat taloudelliset mahdollisuudet ilmastotoimien vaatimien uusien teknologioiden ja tuotantotapojen käyttöönottoon.

Yhteistyöverkostoihin perustuva toimintatapa valtaa alaa, mikä WAM2-skenaariossa mahdollistaa laajamittaisen biokaasutuotannon, jossa onnistuneesti yhdistetään hajautettuja ja keskitettyjä ratkaisuja. Pienten ja syrjäisten tilojen mukana pitäminen tässä tehokkaaseen työnjakoon ja yhteistyöhön sekä teknologiamurrokseen perustuvassa kehityksessä on haasteellista, mutta ratkaistavissa verkostomaisesti toimien. Jos viljelijät eivät koe maatalouden muuttuneita tavoitteita tai toimintakulttuuria omakseen, se voi johtaa rooliepäselvyyksiin tai konflikteihin oman ammattkuivan suhteen.

Skenaarioissa toimenpiteet ja kehityskulut eivät kohdistu kaikkiin viljelijöihin samalla tavalla. Yksittäiset viljelijät ovat eri asemassa riippuen tilan ominaispiirteistä ja aikaisemmin jo tehdyistä ilmastotoimenpiteistä. Siksi ilmastotoimia suunniteltaessa myös erilaisten sosiaalisten ja kulttuuristen vaikutusten kohtaantuminen on selvittettävä etukäteen. WAM2-skenaariossa kuvaama kehitys voi toteutua vain, jos ilmastotoimien politiikkaohjaus toteutetaan niin, että kaikki viljelijät kokevat olevansa yhteisellä asialla.

Tarkastellut kasvihuonekaasupäästöjen vähennystoimenpiteet sekä vähentävät että lisäävät vesistökuormitusta ja peltoluonnon monimuotoisuutta. Aktiivisen viljelytoiminnan väheneminen ja perinteisen peltokäytön korvautuminen uusilla viljelytavoilla ja osin myös maankäyttömuutoksilla luo monipuolisempia peltoympäristöjä ja tarjoaa lisää tilaa luonnonvaraiselle lajistolle. Samat muutokset vähentävät pitkällä aikavälillä myös ravinnevalumia vesistöihin. Toisaalta maankäyttömuutokset kuormittavat lyhyellä aikavälillä merkittävästi paikallisia vesistöjä. Lisäksi maaseutumaisema tulee muuttumaan ja peltolajistolle sopiva pinta-ala vähenee. Ei ole itsestään selvää, että yhteiskunta laajasti ymmärtää ja arvostaa maatalousmaise- man ja pellonkäytön muutosta, joka seuraisi khk-päästöjen voimakkaasta vähentämisestä.

Sammanfattning på svenska

Det finska jordbruket producerade totalt cirka 16 Mt CO₂ ekv. utsläpp av växthusgaser (GHG-utsläpp) 2018. Vägen till en betydande minskning av utsläpp av växthusgaser kräver storskaliga åtgärder för att minska utsläppen från torvmarker, öka kolbindningen i mineral- land, och förändringar i användning och produktion av energi in jordbruket. Dessa förändringar kräver ny vägledning och incitament för jordbrukare, vars huvuduppgift kommer att fortsätta vara att producera inhemsk mat som uppfyller konsumenternas behov och preferenser i ungefär samma utsträckning som i senaste åren. Insatser görs för att förbättra hållbarheten i jordbruksproduktionen i alla avseenden, inklusive lönsamhet. Jordbrukets potential att minska utsläppen av växthusgaser varierar mycket. Genomförandet av betydande minskningar måste därför noggrant planeras och genomföras på olika sätt, så att alla jordbrukare kan tillämpa lämpliga åtgärder i samarbete med andra jordbrukare och operatörer.

Enligt producentorganisationerna kommer den inhemska efterfrågan på livsmedel och jordbruksprodukter inte att förändras betydligt förrän 2035. Konsumtionen av rött kött, dvs. nötkött och svinkött, kommer dock att minska med cirka 20% och samtidigt ökar den inhemska

konsumtionen av fjäderfäkött med 20%. Den totala efterfrågan på mjölk och olika mejeriprodukter minskar med cirka 10-15% fram till 2035. Inhemsk produktion kommer att förändras i nästan samma takt som dessa förändringar i efterfrågan, även om gynnsamma exporttrender kan hålla den inhemska konsumtionsproduktionen på en högre nivå än inhemsk konsumtion. Efterfrågan på inhemskt producerade baljväxter för foder och mat växer, liksom efterfrågan på havre.

I basscenariot (WEM-scenariot; nuvarande politiska instrumenter och trender i jordbruket) kommer växthusgasutsläppen att minska med bara 5% fram till 2035 (6% fram till 2050). Detta betyder mindre än 1 Mt CO₂ ekv. Basscenariot förutsätter mindre förändringar av den nuvarande situationen på jordbruksmarknaderna och inga ändringar i fältanvändning från 2018, eller kontroller som påverkar det. Fem procent utsläppsminskning fram till 2035 sker på grund av en långsam minskning av antalet nötkreatur, med jordbruksproduktion och markanvändning i stort sett oförändrad.

WAM-scenarierna (WAM1 och WAM2) är mer ambitiösa och innehåller mera åtgärder för att minska GHG-utsläppen än baslinjescenariot. WAM-scenarierna söker ytterligare minskningar av växthusgasutsläpp från odlade torvmarker, ökad kolbindning i mineralland och mer biogas och solenergi i jordbruket. Dessa involverar många åtgärder i torvmarker, såsom mindre odling av årliga växter, kontrollerad underjordisk dränering (högre vattennivå än normalt, t.ex. 30 cm), återställning av torvmarker med hög vattennivå (0-10 cm) och odling av våtmarker. Höga vattennivån minskar växthusgasutsläppen effektivt. I WAM-scenarierna kommer skörden att öka med 10% fram till 2035 och med mer än 15% fram till 2050, särskilt genom nya växtsorter och deras lämpliga odling och exakta insatsanvändning. Högre skördor kan uppnås också genom att förbättra jordbruksförhållandena genom mer diversifierad grödrotation och ökat markorganiskt material. Användningen av åkermark kommer att förändras avsevärt i en mer diversifierad riktning, eftersom arealer i odling av spannmål och den lågavkastande delen av fodergräsproduktion kommer att minska och frigöra åkermark, särskilt för baljväxter och oljeväxter, gräs som används för biogasproduktion, samt gröngödselsgräs. Som en helhet förbättras kolbindningen i mineralmarker tydligt. Mineralland kommer att förändras från källan till växthusgasutsläpp till deras sänkor år 2035. Detta kommer att förbättras genom att öka odlande av uppsamlingsväxter och med flerartiga gräs i både foderproduktion och träde. Biogas och solenergi kommer att främjas genom nya kontroller och ytterligare subventioner relaterade till utnyttjandet av den producerade energin och förbättrad näringscykeln i samarbete med olika aktörer.

I WAM1-scenariot kommer växthusgasutsläppen att minska med 29% från 2018 till 2035 och med 38% till 2050). Detta innebär cirka 6 Mt CO₂ ekv. utsläppsminskningar år 2050. Av detta cirka 1,9 Mt CO₂ ekv. uppnås genom torvlandsåtgärder och cirka 2,2 Mt CO₂ ekv. genom förändring i markanvändning och riktad kolbindning av mineralland. Förändringen i energianvändning och produktion i jordbruket resulterar också i en liten minskning av växthusgasutsläpp (0,2 Mt CO₂ ekv.), samt en minskning av antalet nötkreatur, vilket är på samma nivå i WAM-scenarierna som i WEM-scenariot.

I WAM2-scenariot kommer växthusgasutsläppen från jordbruk att minska med 42% till 2035 (77% fram till 2050) från 2018. Detta skulle betyda cirka 12 Mt CO₂ ekv. utsläppsminskningar år 2050 (6,8 Mt CO₂ ekv. år 2035). Av detta cirka 3,1 Mt CO₂ ekv. skulle resultera från en tillämpning av åtgärder på torvmarker i större skala, särskilt återställande av torvfält, regleringsdränering och beskogning av tunna torvfält. I mineralmarker är målet i detta

scenario en stor kolsänka upp till 5 Mt CO₂ ekv. år 2050 (2 Mt CO₂ ekv. år 2035). Detta har betraktats som ett starkt riktat och ambitiöst scenario. För närvarande kan den höga målsättningen för koldioxid i WAM2-scenariot för mineralländer inte beräknas med hjälp av data och metoder för den officiella inventeringen av växthusgaser som används av Naturresursinstitutet. Att bedöma uppnåendet av målet skulle kräva nya material och metoder. Målet är utmanande. Det kräver långsiktigt arbete och förbättrade och nya lösningar i kolbindning, där en speciell fråga är inte bara att öka koldioxidförsörjningen till marker, utan också kolens varaktighet i landet, vilket innebär stora osäkerheter, t.ex. på grund av den globala uppvärmningen. Producentorganisationer har dock en stark vilja att uppnå detta mål.

Istället kan WAM1-scenariot redan anses vara uppnåeligt med tanke på aktuell kunskap, till och med realistisk, om utmaningarna i samband med incitament och kontrollåtgärder tas upp. I synnerhet gäller detta förbättrade förutsättningarna för att en jordbrukare kan kompenseras fullständigt för inkomstbortfallet till följd av förlusten av jordbrukssubventioner på torvmarker som restaurerats eller avsattes och beskogas. Dessutom behöver torvmarker separat stöd och incitament för att hålla vattennivån hög och för att verifiera detta. Allt detta kräver nya resurser på 300-500 miljoner euro för perioden 2020-2050. Dessutom behövs resurser för teknisk utveckling och tillämpning av metoder som precisionsodling, nya, mer produktiva och klimatbeständiga växtsorter, framgångsrik kolbindning och dess verifiering i mineralländer och framgångsrik restaurering i torvmarker. Användningen av dessa resurser skulle vara relativt låg i den inledande fasen, men skulle öka avsevärt senast 2030-talet. Detta beror på att utvecklingen av nya incitament, kontroller och deras förhållanden, såväl som teknik och verifiering, tar tid. Dessutom behövs ytterligare subventioner och marknadsföring för att öka produktion av bioenergi och återvinning av näringsämnen. En betydande del av de ytterligare resurserna bör komma från marknadsbaserad verksamhet. Som en helhet förändras jordbruket i en betydligt mer hållbar riktning med flera olika hållbarhetsindikatorer, så användningen av offentliga resurser för förändring är också berättigad. Utformningen av politiska instrumenter över tidigare jordbrukspolitiska instrumenter är utmanande och kan kräva förändringar av vissa villkor för befintliga instrumenter, såsom speciella villkor av jordbruksstöd, för att instrumenterna ska ha den önskade effekten, till exempel för att överge lågavkastande jordbruk för att uppnå minskningar i GHG-utsläpp med låga kostnader.

Ovannämnda minskningar av växthusgasutsläpp kan redan anses vara ganska betydande för WAM1-scenariot och kräver redan omfattande arbete på många nivåer för att uppnås. Mycket beror också på om framsteg görs med hållbar intensifiering i jordbruket som ligger bakom båda WAM-scenarierna. Detta innebär framför allt att höja avkastningsnivån, dvs högre skördor, och göra en mer exakt användning av gödselmedel och andra insatsvaror. Detta innebär också att förbättra åkrarnas växande tillstånd, väsentligt diversifiera grödrotationerna och därmed förbättra förhållandena för kolbindning i mineralland. Allt detta är inte enkelt men det är möjligt och redan nu det är verkligheten på många enskilda gårdar. Det finns många betydande osäkerheter och olösta problem vad gäller både storskalig tillämpning av torvlandsåtgärder, i synnerhet bevakning av torvmarker (dvs höjningen av vattenytan) och den effektiva kolbindningen av mineraler. Målinriktade lösningar måste sökas både på gårdsnivå och inom forskning och utveckling.

Åtgärderna som leder till utsläppsutvecklingen i WAM-scenarierna kräver en miljö där jordbrukaren drar ekonomisk nytta av minskningen av växthusgasutsläpp och relaterade åtgärder. Om ett sådant arrangemang inte uppnås, men jordbrukaren har inkomstförluster, såsom negativa effekter på jordbruksproduktion eller förluster av jordbrukssubventioner utan

motsvarande förmåner eller kompensation för förluster, kommer det inte att vara möjligt att uppnå utsläppsminskningarna för växthusgaser som presenteras i WAM-scenarierna.

Samtidigt möjliggör effektiva och väl riktade politiska instrumenter och kontroller utvecklingen av hållbara näringscykler och ytterligare minskade utsläpp. Produktion av biogas skapar lösningar på de regionala utmaningarna med koncentrerad husdjurproduktion i användningen av gödselnäringsämnen och för att förbättra näringsämnets självförsörjning inom jordbruket, dvs. utbyte av mineralgödselmedel. En integrerad del av utvecklingen för att minska utsläppen av växthusgaser är främjandet av jordbruksenergiproduktion och den tillhörande näringscykeln (kväve, fosfor, kalium). I WAM1-scenariot skulle biogasproduktion och tillhörande näringscykel stöds och främjas på många sätt. Incitament skulle leda till en stark utveckling av marknaden för både transport och industriell biogas och återvunna gödselprodukter, vilket skulle öka avledningen av jordbruksmaterial till biogasproduktion. I så fall skulle mer än en tredjedel av djurgödsel ledas till biogasproduktion. År 2050 skulle djurgödselbiogas energiinnehåll öka till cirka 38% av djurgödselens totala energipotential som biogas. Dessutom skulle energi erhållas i WAM1-scenariot från gräsmarker speciellt i södra Finland med en yta på 50 000 ha. En betydande del av djurgödseln skulle hamna i stora biogasanläggningar, större än gårdsstorlek, vilket möjliggör regional omfördelning av näringsämnen.

I WAM2-scenariot bör incitament och stödåtgärder för biogasproduktion och näringscykler förbättras ytterligare. I så fall skulle produktionen av biogas från jordbruksbiomassa öka ytterligare, särskilt användningen av biogas i gräsmarker skulle tydligt öka. Andelen transporterbiogas och industriell biogas i den producerade energin skulle öka avsevärt. Andelen anläggningar som är större än jordbruksstorleken i biogasanläggningar skulle öka för att öka effektiviteten och kontrollen av transportens biogasproduktion, särskilt i riktning mot flytande biogas för tung transport.

Mängden energi som produceras från biogas i WAM2-scenariot skulle öka med 2050 till cirka 48% av den totala energipotentialen för djurgödsel som biogas. Dessutom skulle energi erhållas i WAM2-scenariot från 150 000 hektar gräsmarker, de flesta i södra Finland. I detta fall skulle andelen gräs för biogas vara högre än gödsel. Genom att ersätta fossil energi kommer utsläppsminskningar att uppnås på gårdar och i de omgivande områdena, även om den totala påverkan på växthusgasutsläpp kommer att förbli relativt liten, mindre än 0,5 Mt CO₂ ekv. nivå. Biogasenergi som produceras från jordbruksmaterial förblir emellertid inte bara för jordbruksbruk, utan samarbete mellan sektorer inom produktion, bearbetning och användning av råmaterial är väsentligt. I WAM1-scenariot uppskattas att minst 8 miljoner kg kvävegödsel kommer att släppas från biogasanläggningar till växtodlingsgårdar. I WAM2-scenariot kan det uppskattas att cirka 19 miljoner kg kvävegödseln från biogasanläggningar kommer att släppas till växtodlingsgårdar. Cirka 150 miljoner kg oorganiskt industriellt framställt kvävegödselmedel spenderades i Finland 2018. Dessutom kan den här siffran bli 20 % lägre, 120 miljoner kg 2050 genom hållbar intensifiering i WAM-scenarierna. Biogas kan därför producera en betydande del av behovet av kvävegödsel. Förutom klimatpåverkan kan biogas bidra till andra positiva miljökonsekvenser, såsom luftkvalitet (mindre ammoniak) och vattenstatus (mindre näringsutlakning). Allt detta kan åstadkommas genom hållbart utnyttjande av digerade rester från biogasanläggningar i effektiva näringscykler.

Jordbrukets produktionsbyggnadens stora takareal och även de tillgängliga markområdena gör gårdarna mycket lämpliga för byggande av solkraftverk. Produktionstillväxten begränsas

särskilt av att 90% av produktionen genereras i mars-september och att endast solenergi som produceras för eget bruk är berättigad till investeringsstöd. Att utvidga investeringsstödet till kraftverk och batterier som planeras för försäljning, timlig kompensering av försäljning, underlättande av bildandet av energisamhällen, realisering av virtuella batterier och incitamentskattbehandling av utgående el skulle påskynda realiseringen av solkraftsinvesteringar på gårdar. Det skulle vara möjligt att täcka cirka 8% av elförbrukningen för gårdar med solcellsolja fram till 2035 och cirka 14% år 2050. Under sommarmånaderna kan solenergi i kombination med ett batteri göra enskilda gårdar helt självförsörjande.

De klimatåtgärder och politiska instrumenter för att främja dem i stor skala har också betydande sociala och kulturella konsekvenser. Förändringar i driftsmiljön och samhällets förväntningar påverkar både kompetenskraven och jordbrukarnas yrkesbild, särskilt i WAM1- och WAM2-scenarierna. I WAM1- och WAM2-scenarierna integreras livsmedelsproduktionen alltmer i klimatåtgärder. Stora gårdar i spannmål och djurhushållning har bättre ekonomiska möjligheter för införande av ny teknik och produktionsmetoder som krävs av klimatåtgärder.

Den nätverksbaserade strategin tar över sektorn, som i WAM2-scenariot möjliggör storskalig biogasproduktion som framgångsrikt kombinerar decentraliserade och centraliserade lösningar. Att involvera små och avlägsna gårdar i denna utveckling baserat på effektiv arbetsdelning och samarbete, såväl som teknisk förändring, är utmanande, men kan lösas genom nätverk. Om jordbrukare inte känner de förändrade målen eller kulturen för jordbruk som sina egna, kan det leda till oklarheter eller konflikter om sin egen professionella image.

I scenarierna är åtgärder och utvecklingskostnader inte riktade mot alla jordbrukare på samma sätt. Enskilda jordbrukare är i en annan position beroende på gårdens egenskaper och de klimatåtgärder som redan har vidtagits tidigare. Därför, när man planerar klimatåtgärder, måste mötet med olika sociala och kulturella effekter också fastställas i förväg. Den utveckling som beskrivs i WAM2-scenariot kan bara verka om politiska riktlinjer för klimatåtgärder genomförs på ett sådant sätt att alla jordbrukare anser att de har gemensamma mål.

Åtgärderna för att minska utsläppen av växthusgaser beaktades både minska och öka vattenföroreningen och biologisk mångfald i fältet. Minskningen av den aktiva jordbruksverksamheten och ersättningen av traditionell fältanvändning med nya jordbruksmetoder och delvis också med markanvändningsförändringar kommer att skapa mer olika fältsmiljöer och ge mer utrymme för vilda arter. Samma förändringar kommer också att minska näringsavloppet till vattendrag på lång sikt. Å andra sidan kommer ändring av markanvändning att sätta en betydande påfrestning på lokala vattendrag på kort sikt. Dessutom kommer landsbygdslandskapet att förändras och området som är lämpligt för åkrar ska minska. Det är inte självklart att samhället i stor utsträckning förstår och uppskattar den förändring i jordbrukslandskapet och fältanvändningen som skulle bli resultatet av en kraftig minskning av växthusgasutsläppen.

Summary in English

Finnish agriculture produced a total of about 16 Mt CO₂ eq. greenhouse gas emissions (GHG emissions) 2018. The road to a significant reduction in greenhouse gas emissions

requires large-scale measures to reduce emissions from peatlands, increase carbon sequestration in mineral land, and changes in the use and production of energy in agriculture. These changes require new guidance and incentives for farmers, whose main task will continue to be to produce domestic food that meets consumer needs and preferences to about the same extent as in recent years. Efforts are being made to improve the sustainability of agricultural production in all respects, including profitability. The potential of agriculture to reduce greenhouse gas emissions varies widely. The implementation of significant reductions must therefore be carefully planned and implemented in different ways, so that all farmers can apply appropriate measures in cooperation with other farmers and operators.

According to producer organizations, domestic demand for food and agricultural products will not change significantly until 2035. Consumption of red meat, i.e. beef and pork, however, will decrease by about 20% and at the same time the domestic consumption of poultry meat will increase by 20%. Total demand for milk and various dairy products will decrease by about 10-15% by 2035. Domestic production will change at almost the same rate as these changes in demand, although favorable export trends may keep domestic consumption production at a higher level than domestic consumption. Demand for domestically produced legumes for feed and food is growing, as is demand for oats.

In the base scenario (WEM scenario; current policy instruments and trends in agriculture), greenhouse gas emissions will be reduced by only 5% by 2035 (6% by 2050). This means less than 1 Mt CO₂ eq. The base scenario assumes minor changes to the current situation in the agricultural markets and no changes in agricultural land use from 2018, or controls that affect it. Five percent reduction in emissions until 2035 is due to a slow reduction in the number of cattle, with agricultural production and land use largely unchanged.

The WAM scenarios (WAM1 and WAM2) are more ambitious and contain more measures to reduce GHG emissions than the baseline scenario. The WAM scenarios seek further reductions in greenhouse gas emissions from cultivated peatlands, increased carbon sequestration in mineral land and more biogas and solar energy in agriculture. These involve many measures in peatlands, such as less cultivation of annual plants, controlled underground drainage (higher water level than normal, e.g. 30 cm), restoration of peatlands with high water level (0-10 cm) and cultivation of wetlands. High water levels effectively reduce greenhouse gas emissions. In the WAM scenarios, the harvested crop yields will increase by 10% by 2035 and by more than 15% by 2050, especially through new plant varieties and their appropriate cultivation and precise use of production inputs. Higher yields can also be achieved by improving agricultural conditions through more diversified crop rotation and increased soil organic matter. The use of arable land will change significantly in a more diversified direction, as areas under cereals and the low-yielding part of forage grass production will decrease and free up arable land, especially for legumes and oilseeds, grasses used for biogas production, and green manure grasses. As a whole, carbon sequestration in mineral soils is clearly improved. Mineral land will change from the source of greenhouse gas emissions to their sinks in 2035. This will be improved by increasing the cultivation of collection plants and with multi-species grass in both fodder production and trees. Biogas and solar energy will be promoted through new controls and additional subsidies related to the utilization of the energy produced and improved the nutrient cycle in collaboration with various actors.

In the WAM1 scenario, greenhouse gas emissions will decrease by 29% from 2018 to 2035 and by 38% by 2050. This means about 6 Mt CO₂ eq. emission reductions in 2050. Of this

approximately 1.9 Mt CO₂ eq. is achieved through peatland measures and approximately 2.2 Mt CO₂ eq. is achieved through change in land use and targeted carbon sequestration of mineral land. The change in energy use and production in agriculture also results in a small reduction in greenhouse gas emissions (0.2 Mt CO₂ eq.), As well as a reduction in the number of cattle, which is at the same level in the WAM scenarios as in the WEM scenario.

In the WAM2 scenario, greenhouse gas emissions from agriculture decrease by 42% by 2035 (77% by 2050) from 2018. This would mean approximately 12 Mt CO₂ eq. emission reductions in 2050 (6.8 Mt CO₂ eq. in 2035). Of this approximately 3.1 Mt CO₂ eq. would result from the application of various measures in larger scale on peatlands, in particular the restoration of peatlands, adjustable drainage and the afforestation of thin peatlands. In mineral soils, the target in this scenario is a large carbon sink up to 5 Mt CO₂ eq. year 2050 (2 Mt CO₂ eq. year 2035). This has been considered a highly targeted and ambitious scenario. At present, the high carbon sequestration target in the WAM2 scenario for mineral lands cannot be calculated using data and methods applied in the official greenhouse gas inventory, used by the Natural Resources Institute Finland (Luke). Assessing the achievement of the goal would require new materials and methods. The goal is challenging. It requires long-term work and improved and new solutions in carbon sequestration, where a special issue is not only to increase the carbon supply to soils, but also the duration of carbon in the soil, which entails great uncertainties, e.g. due to global warming. However, producer organizations have a strong will to achieve this goal.

Instead, the WAM1 scenario can already be considered achievable in terms of current knowledge, even realistic, if the challenges associated with incentives and control measures are addressed. In particular, this applies to the improved conditions for a farmer to be fully compensated for the loss of income as a result of the loss of agricultural subsidies on peatlands that have been restored, abandoned or afforested. In addition, peatlands need separate support and incentives to keep the water level high and to verify this. All this requires new resources of 300-500 million euros to be used in Finland for the period 2020-2050. In addition, resources are needed for technical development and application of methods such as precision cultivation, new, more productive and climate-resistant plant varieties, successful carbon sequestration and its verification on mineral soils, and successful restoration in peatlands. The use of these resources would be relatively low in the initial phase but would increase significantly by the 2030s, at the latest. This is because the development of new incentives, controls and their conditions, as well as technology and verification, take time. In addition, additional subsidies and marketing are needed to increase the production of bioenergy and nutrient recycling. A significant part of the additional resources should come from market-based activities. As a whole, agriculture in WAM1-scenario changes in a much more sustainable direction with several different sustainability indicators, so the use of public resources for change is also justified. The design of policy instruments over previous agricultural policy instruments is challenging and may require changes to certain conditions of existing instruments, such as special conditions of agricultural support, in order for the instruments to have the desired effect, for example to abandon low-yielding agriculture to achieve reductions in GHG emissions with low costs.

The above-mentioned reductions in greenhouse gas emissions can already be considered quite significant for the WAM1 scenario and already require extensive work at many levels to be achieved. Much also depends on whether progress is made with sustainable intensification in agriculture, which is behind both WAM scenarios. This means above all raising the

crop yield levels and making a more accurate use of fertilizers and other inputs. This also means improving the growing condition of the fields, significantly diversifying the crop rotations and thereby improving the conditions for carbon sequestration in mineral land. All this is not easy but it is possible and already now it is the reality on many individual farms. There are many significant uncertainties and unresolved problems regarding both large-scale application of peatland measures, in particular rewetting peatlands (ie the raising of the water surface) and the effective carbon sequestration of minerals. Targeted solutions must be sought both at farm level and in research and development.

The measures leading to the development of emissions in the WAM scenarios require an environment in which the farmer benefits financially from the reduction of greenhouse gas emissions and related measures. If such an arrangement is not achieved, but the farmer has income losses, such as negative effects on agricultural production or losses of agricultural subsidies without corresponding benefits or compensation for losses, it will not be possible to achieve the greenhouse gas emission reductions presented in the WAM scenarios.

At the same time, effective and well-targeted policy instruments and controls enable the development of sustainable nutrient cycles and further reduced emissions. Biogas production creates solutions to the regional challenges of concentrated livestock production in the use of fertilizer nutrients and to improve the nutrient self-sufficiency in agriculture, i.e. replacement of mineral fertilizers. An integral part of the development to reduce greenhouse gas emissions is the promotion of agricultural energy production and the associated nutrient cycle (nitrogen, phosphorus, potassium). In the WAM1 scenario, biogas production and the associated nutrient cycle would be supported and promoted in many ways. Incentives would lead to a strong development of the market for both transport and industrial biogas and recycled fertilizer products, which would increase the diversion of agricultural materials to biogas production. In that case, more than a third of animal manure would be directed to biogas production. In 2050, the energy content of livestock manure -based biogas would increase to approximately 38% of the total energy potential of livestock manure as biogas. In addition, energy would be obtained in the WAM1 scenario from grasslands, especially in southern Finland with an area of 50,000 ha. A significant part of the animal manure would end up in large biogas plants, larger than farm size, which enables regional redistribution of nutrients.

In the WAM2 scenario, incentives and support measures for biogas production and nutrient cycles should be further improved. In that case, the production of biogas from agricultural biomass would increase further, especially the use of biogas in grasslands would clearly increase. The share of transport biogas and industrial biogas in the energy produced would increase significantly. The proportion of plants larger than the agricultural farm size of biogas plants would increase to increase the efficiency and control of transport's biogas production, especially in the direction of liquefied biogas for heavy transport.

The amount of energy produced from biogas in the WAM2 scenario would increase by 2050 to about 48% of the total energy potential for animal manure as biogas. In addition, energy would be obtained in the WAM2 scenario from 150,000 hectares of grassland, most of them in southern Finland. In this case, the proportion of grass for biogas would be higher than manure. By replacing fossil energy, emission reductions will be achieved on farms and in the surrounding areas, although the total impact on greenhouse gas emissions will remain relatively small, less than 0.5 Mt CO₂ eq. However, biogas energy produced from agricultural materials remains not only for agriculture, but cooperation between sectors in the production,

processing and use of raw materials is essential. In the WAM1 scenario, it is estimated that at least 8 million kg of nitrogen fertilizer will be released from biogas plants to plant production farms. In the WAM2 scenario, it can be estimated that approximately 19 million kg of nitrogen fertilizer from biogas plants will be released to plant production farms. Approximately 150 million kg of inorganically industrially produced nitrogen fertilizer was spent in Finland in 2018. In addition, this figure could be 20% lower, 120 million kg in 2050 through sustainable intensification in the WAM scenarios. Biogas can therefore produce a significant part of the need for nitrogen fertilizer. In addition to climate change, biogas can contribute to other positive environmental consequences, such as air quality (less ammonia) and water status (less nutrient leaching). All this can be achieved through the sustainable utilization of digested residues from biogas plants in efficient nutrient cycles.

The large roof area of the agricultural production building and also the available land areas make the farms very suitable for the construction of solar power plants. Production growth is particularly limited by the fact that 90% of production is generated in March-September and that only solar energy produced for own use is eligible for investment support. Extending investment support to power plants and batteries planned for sale, temporary compensation of sales, facilitating the formation of energy communities, realization of virtual batteries and incentive tax treatment of outgoing electricity would accelerate the realization of solar power investments on farms. It would be possible to cover about 8% of the electricity consumption for farms with solar cell oil by 2035 and about 14% by 2050. During the summer months, solar energy in combination with a battery can make individual farms completely self-sufficient.

The climate measures and policy instruments to promote them on a large scale also have significant social and cultural consequences. Changes in the operating environment and society's expectations affect both the competence requirements and the farmers' professional image, especially in the WAM1 and WAM2 scenarios. In the WAM1 and WAM2 scenarios, food production is increasingly integrated into climate measures. Large farms in grain and animal husbandry have better economic opportunities for the introduction of new technology and production methods required by climate measures.

The network-based strategy takes over the sector, which in the WAM2 scenario enables large-scale biogas production that successfully combines decentralized and centralized solutions. Involving small and remote farms in this development based on efficient division of labor and cooperation, as well as technical change, is challenging, but can be solved through networks. If farmers do not know the changing goals or culture of agriculture and consider them as their own, it can lead to ambiguities or conflicts about their own professional image.

In the scenarios, measures and development costs are not targeted at all farmers in the same way. Individual farmers are in a different position depending on the characteristics of the farm and the climate measures that have already been taken before. Therefore, when planning climate action, the encounter with different social and cultural effects must also be determined in advance. The development described in the WAM2 scenario can only work if policy guidelines for climate action are implemented in such a way that all farmers consider that they have common goals.

The measures to reduce greenhouse gas emissions were considered both to reduce and increase water pollution and biodiversity in the field. The reduction of active agricultural activity and the replacement of traditional field use with new agricultural methods and partly also

with land use changes will create more different field environments and provide more space for wild species. The same changes will also reduce nutrient effluent to watercourses in the long term. On the other hand, changing land use may put a significant strain on local waterways in the short term. In addition, the rural landscape will change and the area suitable for fields will decrease. It is not self-evident that society largely understands and appreciates the change in the agricultural landscape and field use that would result from a sharp reduction in greenhouse gas emissions.

Lähteet

Aakkula, J., Asikainen, A., Kohl, J., Lehtonen, A., Lehtonen, A., Ollila, P., Regina, K., Salmi-
nen, O., Sievänen, R. & Tarja Tuomainen. 2019. Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja
nielukehitys vuoteen 2050. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja
20/2019. 70 p. An English abstract: "Development of emissions and sinks in the agricultural
and LULUCF sectors until 2050" <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-650-8>

Akujärvi, A. ym 2014. Carbon budget of Finnish croplands — Effects of land use change
from natural forest to cropland. *Geoderma Regional* 2–3 (2014) 1–8.

Auvinen, K. & Rummukainen, M. 2020. Aurinkosähköjärjestelmien hinnat laskussa – kannat-
tavuutta arvioitava käyttöajan puitteissa. Blogi 12.5. 2020. [https://www.hiilineutraalisu-
omi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien_hinnat_las-
kuss\(56958\)\)](https://www.hiilineutraalisu-
omi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien_hinnat_las-
kuss(56958)))

Burton, R. F. Forney, J., Lee Ann Sutherland, Stock, P. 2020. *The Good Farmer. Culture
and Identity in Food and Agriculture.* Routledge.

Carbon Action 2020. Viljelijät. <https://carbonaction.org/viljelijat/> Viitattu 26.6. 2020

COM 2020. The EU budget powering the recovery plan for Europe. Communication from the
Commission. Brussels, 27.5.2020. COM/2020/442 final. [https://eur-lex.europa.eu/legal/con-
tent/EN/TXT/?uri=COM:2020:442:FIN](https://eur-lex.europa.eu/legal/con-
tent/EN/TXT/?uri=COM:2020:442:FIN)

FAO 2016. Greenhouse gas emissions from agriculture, forestry and land use change.
<http://www.fao.org/3/a-i6340e.pdf> Viitattu 25.6. 2020

FAO 2017. Soil Organic Carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of
the United Nations Rome, Italy. [http://www.fao.org/documents/card/en/c/ed16dbf7-b777-
4d07-8790-798604fd490a/](http://www.fao.org/documents/card/en/c/ed16dbf7-b777-
4d07-8790-798604fd490a/)

Hakala, K., Hannukkala, A., Huusela-Veistola, E., Jalli, M., Peltonen-Sainio, P., 2011. Pests
and diseases in a changing climate a major challenge for Finnish crop production. *Agricultural
and Food Science* 20, 3-14

Heikkinen J, Ketoja E, Seppänen L, Luostarinen S¹, Fritze H, Pennanen T, Peltoniemi K,
Velmala S, Hanajik P & Regina K. Chemical quality determines decomposition of organic
amendments in agricultural soils (Manuscript submitted)

Hyvönen, T., Heliölä, J., Koikkalainen, K., Kuussaari, M., Lemola, R., Miettinen, A., Rankinen, K., Regina, K. & Turtola, E. 2020. Maatalouden ympäristötoimenpiteiden ympäristö- ja kustannustehokkuus (MYTTEHO): loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 76 s.

IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama: IPCC and IGES. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>

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. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

IRENA 2017. Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets>

Jokinen, K. 2020. Suullinen tiedonanto, Luonnonvarakeskus.

Jokinen, R. 2012. Maanviljelijöiden sopeutuminen maatalouden rakennemuutokseen : sopeutumisen identiteettiteoreettista tarkastelua Saarijärven-Viitasaaren seutukunnassa. ProGradu, Jyväskylän yliopisto, Yhteiskuntapolitiikka. URN:NBN:fi:juu-201205241726.pdf

Kauppapuutarhaliitto 2019. Kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutuslaskenta 2004 ja 2017 todellisten energiankulutustilastojen perusteella sekä vesijalanjälki. Tilaustutkimus Kauppapuutarhaliitolle ja SLC:lle. Luonnonvarakeskus. Tekijät: Frans Silvenius, Kirsi Usva, Juha-Matti Katajajuuri, Anna-Kaisa Jaakkonen. <https://kauppapuutarhaliitto.fi/wp-content/uploads/2019/05/Kasvihuoneiden-ilmastovaikutus-tutkimus.pdf>

Klimscheffskij, M., Bröckl, M., Vanhanen, J., & Värre, U. 2019. Alkuperätakuujärjestelmän laajennus biokaasulle. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:72. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-818-2>

Koljonen, T., Aakkula, J., Honkatukia, J., Soimakallio, S., Haakana, M., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Kärkkäinen, L., Laitila, J., Lehtilä, A., Lehtonen, H., Maanavilja, L., Ollila, P., Siikavirta, H. & Tuomainen, T. 2020. Hiilineutraali Suomi 2035 - Skenaariot ja vaikutusarviot. 150 s. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology, No. 366. An English abstract: "Carbon neutral Finland 2035 – Scenarios and impact assessments". <https://doi.org/10.32040/2242-122X.2020.T366>

Känkänen, H. Kerääjäkasvitoimenpiteen laadullinen toteutuminen tiloilla. Julkaisussa: Yli-Viikari, A. (toim.). 2019. Maaseutuohjelman (2014–2020) ympäristöarviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 63/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 46–67.

Kässi, P., Niskanen, O. & Lehtonen, H. 2015a. Pellonhankinnan vaihtoehdot, kustannukset ja peltomarkkinoiden toimivuus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 30/2015. 37 p. ISBN: 978-952-326-034-4 (Verkkojulkaisu) ISSN 2342-7647 (Verkkojulkaisu). <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-034-4>

Kässi, P., Känkänen, H., Niskanen, O., Lehtonen, H., Höglind, M. 2015b. Farm level approach to manage grass yield variation under climate change in Finland and north-western Russia. Biosystems Engineering, Volume 140, December 2015, p. 11–22.

Latvala, T., Väre, M. & Niemi, J. (toim.) 2020. Maa- ja elintarviketalouden suhdannekatsaus 2020. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 33/2020. Luonnonvarakeskus (Luke). 74 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-967-5>

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., Niskanen, O., Karhula, T. & Jansik, C. 2017. Maatalouden rakennekehitys ja investointitarve vuoteen 2030. Markkinaskenaarioiden vaikutus maatalouden tuotantorakenteeseen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 19/2017. 59 s. ISSN 2342-7639 (Verkkojulkaisu). URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-383-3>

Lehtonen, H. & Pyykkönen, P. 2005. Maatalouden rakennekehitysnäkymät vuoteen 2013. MTT:n selvityksiä 100: 40 s., 1 liite. <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts100.pdf>

Lehtoranta, S., Johansson, A., Malila, R., Rankinen, K., Grönroos, J., Luostarinen, S., Kaisila, K. 2020. Vaihtoehtoja kestävämpää turkiseläinten lannan hyödyntämiseen. Raportti käsikirjoitus julkaistavana Suomen ympäristökeskuksen raportteja -sarjassa.

Lemola, R., Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Sarvi, M. & Turtola E. 2018. Suomen peltojen maa-lajit, multavuus ja fosforipitoisuus. Vuodet 1996–2000 ja 2005–2009. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-558-5>

Luonnonvarakeskus 2018a. Viljelysmaan hoito ja kastelu 2016. <https://stat.luke.fi/viljelys-maan-hoito-ja-kastelu>

Luonnonvarakeskus 2018b. Tutkittua tietoa ruuan ympäristövaikutuksista. <https://www.luke.fi/tutkittua-tietoa-ruuan-ymparistovaikutuksista/>

Luonnonvarakeskus 2020a. Antibioottien käyttö. <https://www.luke.fi/ruokafakta/yleista-tietoa/antibioottien-kaytto/>

Luonnonvarakeskus 2020b. Maatalouden kannattavuuskirjanpidon tulokset 2013-2018. www.luke.fi/taloustohtori

Luonnonvarakeskus 2020c. Ravintotase. <https://stat.luke.fi/ravintotase>

Luonnonvarakeskus 2020d. Maatalous- ja puutarhayritysten rakenne. <https://stat.luke.fi/maatalous-ja-puutarhayritysten-rakenne>

Luonnonvarakeskus 2020e. Maatalouden tuotantotilastot. stat.luke.fi/

Luonnonvarakeskus 2020f. Satotilasto. <https://stat.luke.fi/satotilasto>

Luonnonvarakeskus 2020g. Puutarhatilastot vuodelta 2019. <https://stat.luke.fi/puutarhatilastot>

Luonnonvarakeskus 2020h. Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus. <https://stat.luke.fi/maa-ja-puutarhatalouden-energiankulutus>

Luostarinen ym 2017a. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 46/2017. Luonnonvarakeskus.

Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J., Munther, J. 2017. SUOMEN NORMILANTA – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 54 s.

Luostarinen, S., Tampio, E., Niskanen, O., Koikkalainen, K., Kauppila, J., Valve, H., Salo, T., Ylivainio, K. 2019a. Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2019. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 75 s.

Luostarinen, S., Tampio, E., Berlin, T., Grönroos, J., Kauppila, J., Koikkalainen, K., Niskanen, O., Rasa, K., Salo, T., Turtola, E., Valve, H., Ylivainio, K. 2019b. Keinoja orgaanisten lannoitevalmisteiden käytön edistämiseen. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:5. Maa- ja metsätalousministeriö.

Luostarinen, S. & Laakso, J. 2019. Lannan käyttö. Teoksessa: Yli-Viikari, A. (toim) 2019. Maaseutuohjelman (2014-2020) ympäristöarviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 63/2019. Luonnonvarakeskus, Helsinki.

Maito ja Me 2019. Lehmän ominaisuuksien ja ruokinnan vaikutus maidon hiilijalanjälkeen. <http://www.maitojame.fi/artikkelit/lehman-ominaisuuksien-ja-ruokinnan-vaikutus-maidon-hiilijalanjalkeen/47283676>

Maljanen, M., Sigurdsson, B.D., Guðmundsson J., Óskarsson H., Huttunen J. T., ja Martikainen, P. J. 2010b. Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps. Biogeosciences 7:2711–2738.

Marttinen, Sanna; Venelampi, Olli; Iho, Antti; Koikkalainen, Kauko; Lehtonen, Eeva; Luostarinen, Sari; Rasa, Kimmo; Sarvi, Minna; Tampio, Elina; Turtola, Eila; Ylivainio, Kari; Grönroos, Juha; Kauppila, Jussi; Koskiahho, Jari; Valve, Helena; Laine-Ylijoki, Jutta; Lantto, Raija; Oasmaa, Anja; zu Castell-Rüdenhausen, Malin (2017) Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa : Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Luonnonvarakeskus.

Marttinen, S., Luostarinen, S., Winqvist, E., Timonen, K. 2015. Rural biogas: feasibility and role in Finnish energy system, BEST suitable Bioenergy Solutions for Tomorrow. Cleen Oy. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/543444>

Minasny et al. 2017. Soil carbon 4 per mille. Geoderma 292, 59–86
<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>

MTK ry. 2018. MTK:n ilmasto-ohjelma. Helsinki: https://www.mtk.fi/documents/20143/310288/MTK_ilmasto-ohjelma_net.pdf/5eac409a-c547-c484-3d85-3f43aed83a68?t=1546866084294

Niemi, J.N. 2016. Hyvä valkuaisomavaraisuus turvaa huoltovarmuutta. Tutkija Jarkko Niemén blogi 13.6. 2016. <https://www.luke.fi/blogi/hyva-alkuaisomavaraisuus-turvaa-huoltovarmuutta/>

Niemi, J. & Väre, M. (toim.) 2019. Suomen maa- ja elintarviketalous 2019. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/19. Luonnonvarakeskus (Luke). 105 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-769-5>

Niskanen, O. & Rinne, M. 2020. Huoltovarmuus märehdittävänä.

<https://www.luke.fi/blogi/huoltovarmuus-marehdittavana/>

Nordlund, E., & Vilppula, K. (toim.) 2019. Toimeenpanosuunnitelma Suomen proteiiniomavaraisuuden nostamiseksi. VTT Technical Research Centre of Finland.

<https://doi.org/10.32040/2019.978-951-38-8706-3>

OECD-FAO 2019. OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028. www.agri-outlook.org

Ojanen, P. & Minkkinen, K. 2020. Rewetting offers rapid climate benefits for tropical and agricultural peatlands but not for forestry-drained peatlands. Global Biogeochemical Cycles.

<https://doi.org/10.1029/2019GB006503>

Oksala, A. Mapping suitable cultivated peatlands for mitigating greenhouse gas emissions by water table management. Pohjavedenpinnan nostoon soveltuvien viljeltyjen turvepeltojen kartoittaminen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Diplomityö. Aalto-yliopisto. 61. 6.

<https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/40928>

OSMO-hanke. 2020. OSMO – Osaamista maan kasvukunnon hoitoon 2015-2019. Viitattu

1.7.2020 <https://luomu.fi/tietopankki/osmo-osaamista-maan-kasvukunnon-hoitoon-2015-2018/>

Paatero, J. 2019. Miten maakaasun päästöt vertautuvat muihin fossiilisiin energialähteisiin?

<https://kysymykset.kysyilmastosta.fi/t/miten-maakaasun-paastot-vertautuvat-muihin-fossiilisiin-energalähteisiin/122/3>

Peltonen-Sainio, P., Sorvali, J., Kaseva, J. 2020. Winds of change for farmers: Matches and mismatches between experiences, views and the intention to act. Climate Risk Management 27: 100205

Peltonen-Sainio, P. & Nurmi, E. 2020. Viljelykierto -työkalu tulossa monimuotoistamisen tueksi viljelijöille. Blogi 24.6. 2020. <https://www.opal.fi/2020/06/24/viljelykierto-tyokalu-tulossa-monimuotoistamisen-tueksi-viljelijöille/>

Pyykkönen, P., Lehtonen, H. & Koivisto, A. 2010. Maatalouden rakennekehitys ja investointitarve vuoteen 2020. Pellervon Taloustutkimuksen (www.ptt.fi) Työpapereita nro 24. 35 s.

ISBN 978-952-224-061-3 (pdf), ISSN 1796-4784 (pdf). http://www.ptt.fi/dokumentit/tp125_1111100930.pdf

Rabobank 2019. Global Animal Protein Outlook 2020. Viitattu 25.6. 2020 <https://www.rabobank.com/en/press/search/2019/20191113-rabobank-global-animal-protein-outlook-2020.html>

Rasi, S., Timonen, K., Joensuu, K., Regina, K., Virkajärvi P, Pulkkinen, H., Tampio, E., Pyykkönen, V. Luostarinen, S. 2019. Nurmi biokaasun raaka-aineena, RED II direktiivin mukainen kasvihuonekaasupäästöjen laskenta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 46/2019. Luonnonvarakeskus.

- Ruokatieto 2020. Suomessa ruuan turvallisuus on hyvällä mallilla. Viitattu 25.6. 2020 <https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokavisa-vastuullisuus-ruokaketjussa/tuoteturvallisuus/mita-turvallinen-ruoka/suomessa-ruuan-turvallisuus-hyvalla-mallilla>
- Ruokavirasto 2014. Ravitsemus- ja ruokasuositukset. Viitattu 25.6. 2020 https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/teemat/terveytta-edistava-ruokavalio/kuluttaja-ja-ammattilaismaterii-aali/julkaisut/ravitsemussuositukset_2014_fi_web_versio_5.pdf Viitattu 25.5. 2020.
- Ruokavirasto 2020. Eläintaudit. Viitattu 25.6. 2020 <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/elaintenpito/elainten-terveys-ja-elaintaudit/elaintaudit/>
- Silvasti, T. 2001. Talonpojan elämä: tutkimus elämäntapaa jäsentävistä kulttuurisista malleista. Suomalaisen Kirjallisuuden Seura.
- Soini, K. Aakkula, J. 2007. Framing the biodiversity of agriculture. Land Use Policy, 24, 2: 311-321.
- Suomen Virallinen Tilasto (SVT) 2020. Käytössä oleva maatalousmaa. <https://stat.luke.fi/kaytossa-oleva-maatalousmaa> Viitattu 25.5.2020
- SVT 2018: Väestöennuste [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-5137. 2018. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 18.1.2019]. Saantitapa: http://www.stat.fi/til/vaenn/2018/vaenn_2018_2018-11-16_tie_001_fi.html
- Tampio ym. 2020. Käsikirjoitus
- TEM 2020a. Biokaasuohjelma. <https://tem.fi/tuettavat-hankkeet>
- TEM 2020b. Asetus mahdollistaa sähköisen liikenteen julkisen lataus- ja biokaasun jakeluinfran tukemisen. https://tem.fi/artikkeli/-/asset_publisher/asetus-mahdollistaa-sahkoisen-liikenteen-julkisen-lataus-ja-biokaasun-jakeluinfran-tukemisen
- Tilastokeskus 2020. Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2018. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 9.4.2020. Saatavilla: <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020> Suomeksi: SUOMEN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT 1990–2019 https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/yymp_kahup_1990-2019_2020.pdf
- TNS Kantar 2020. Maitomarkkinakatsaus 02/2020
- Tupek, B. ym 2020. Potential for offsetting CO2 emissions by conversion of cropland to grassland and forest in Finland. Submitted manuscript. Earlier conference poster presentation: https://presentations.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-21919_presentation.mp4
- Tähti, H., & Rintala, J. 2010. Biometaanin ja -vedyn tuotantopotentiaali Suomessa. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja, 90. Jyväskylän yliopisto. Jyväskylä.
- Valkama, E., R. Lemola, H. Känkänen, and E. Turtola. 2015. Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. Agric. Ecosyst. Environ. 203:93–101. doi:10.1016/j. Agee.2015.01.023

Vesala, K. & Nirkko, J. 2004. Maan Sydämettä. Tutkimusnäkökulmia maanviljelijöiden kilpakeruuaineistoon. Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, julkaisu 931.

Williams, A., Audsley, E. & Sandars, D.L. 2010. Environmental burdens of producing bread wheat, oilseed rape and potatoes in England and Wales using simulation and system modelling. The International Journal of Life Cycle Assessment, 15: 855–868

Liite 1. Nykyiset viljelykierrot ja niiden monipuolistamisen mahdollisuudet

Suomessa viljellään tyypillisesti joko vilja- tai nurmipainotteisesti. Viljapainotteiset kierrot (voivat olla joko viljalajimonokulttuureja, viljamonokulttuureja tai katkaisukasvikiertoja (Peltonen-Sainio ym. 2020). Viljalajimonokulttuurissa viljellään vähintään neljänä vuotena viidestä samaa viljalajia, jotka meillä Suomessa ovat lähinnä ohra tai kaura. Viljamonokulttuurissa viiden vuoden aikana viljellään vähintään kahta eri viljalajia ja katkaisukasvikierrossa yhtenä vuotena viidestä on jotain muuta kuin viljaa. Nurmikierrossa vähintään kolmena vuotena viidestä viljellään tuotantonurmea, kun taas viherkesantokierrossa vähintään kolmena vuotena viidestä pellolla on luonnonhoito-, viherkesanto- tai muu nurmi kuin tuotantonurmi. Nurmikiertoja ei useinkaan katkaista useammaksi vuodeksi siemensatokasveilla, vaan ohraa käytetään paljolti suojaviljana kylvettäessä nurmea välittömästi uudelleen samalle nurmikierto-lohkolle.

Viljalajimonokulttuuri- ja nurmikierrat ovat sitä yleisempiä mitä pienempi maatila on. Katkaisukasvikierto ja monimuotoinen kierto yleistyvät tilakoon kasvaessa. Nurmi- ja viherkesantokierrat harvinaistuvat päinvastoin kuin muut kierrot, kun lohkokoko on yli kolmen hehtaaria tai lohko oli yhä yhtenäisempi muodoltaan, jolloin viljellään muita kasveja. Nurmi- ja viljalajimonokulttuurikiertoja on keskimääräistä enemmän vuokralohkoilla. Viherkesantokierrat painottuvat ominaisuuksiltaan heikoille lohkoille ja erityisesti maan eteläosiin päinvastoin kuin tuotantonurmet. Monimuotoisia kiertoja eli viiden vuoden aikana samalla pellolla viljellään kevätviljoja, syysviljoja ja kahta muuta kasvilajia on alle kahdella prosentilla pelloistamme.

Viljelyn monipuolistamisesta olisi kuitenkin hyötyä sekä maan rakenteelle että ravinnetaseelle ja sitä kautta satotaseille. Suomen peltolohkojen viljelytietojen laajan tarkastelun perusteella edeltävä kasvilaji tai pellonkäyttötapa voi vaikuttaa positiivisesti tai negatiivisesti seuraajakasvin satoon (Peltonen-Sainio ym. 2020). Esimerkiksi öljykasvit, palkoviljat ja erilaiset erikoiskasvit näyttäisivät hyviltä esikasveilta kevätviljoille tai toisaalta viher- tai avokesannon tai luonnonhoitopellon jälkeen ei kannata kylvää ohraa. Ajallisen monipuolistamisen lisäksi kannattaisi monipuolistaa myös lohkojen välillä, mikä antaisi paremmat mahdollisuudet sadon saantiin vuosittain vaihtelevissa ja ilmastomuutoksen myötä edelleen äärevöityvissä kasvuolosuhteissa.

Peltonen-Sainio ym. (2020) arvioivat monimuotoisemman viljelyn potentiaalia Suomessa. Tarkastelu rajattiin kahteen kasvuoloihimme sopeutuneeseen, nykyisellään alituotettuun viljelykasviryhmään, öljykasveihin (rypsi, rapsi) ja palkoviljoihin (härkäpapu, herne). Nykyisistä viljalajimonokulttuurikierrossa olevista lohkoista 15-26 % soveltuisi monimuotoiseen kiertoon eli lohkoilla voitaisiin viljellä rypsiä tai rapsia kerran sekä lisäksi hernetä tai härkäpapua kerran viidessä vuodessa, jolloin viljaa kierrossa olisi kolmena vuotena viidestä. Tämän lisäksi 14-21 % lohkoista, joilla on nykyisin kyseinen äärimmäisen yksipuolinen kierto, voisi hyödyntää katkaisukasveja. Vastaavasti 16-21 % prosenttia viljamonokulttuurikiirroista sopisi katkaisukasvikierrolle ja peräti 18-41 % monimuotoiselle kierrolle. Katkaisukasveina yksipuolisia

kiertoja rikkomassa voisivat olla esimerkiksi palkokasvit, öljykasvit, eräät erikoiskasvit kuten kumina, tattari, öljyretikka ym. tai viherlannoitusnurmi ja erilaiset kesannot.

Suuret edellä mainitut vaihteluvälit peltolohkojen soveltuvuudessa monipuolistamiseen kuvaavat eroja tilojen tuotantosuunnissa siten, että alhaisimmat monimuotoistamisen mahdollisuudet ovat nauta-, lammas- ja hevostiloilla ja suurimmat puolestaan kasvintuotanto-, sika- ja kanatiloilla. Tämä on johdonmukaista siitä näkökulmasta, että näiden tuotantosuuntien tilat ovat usein pitkälle erikoistuneita ja kooltaan suuria (erit. sika- ja kanatilat) ja sijaitsevat yleensä alueilla, joilla peltoa on merkittävä osuus koko alueen pinta-alasta (esim. Varsinais-Suomi, Etelä-Pohjanmaan eräät osat) ja peltolohkojen koko suuri. Keskeinen kysymys näiden tilojen viljelyn monimuotoistamisessa on rehun tarvetta vastaava viljely ja siinä erityisesti täydennysvalkuaisen, kuten palkokasvien viljely.

Koska tämän raportin WAM-skenaarioiden mukaisesti maataloustuottajat ja elintarviketeollisuus näkevät täydennysvalkuaisen kotimaisessa tuotannossa ja tuontivalkuaisen korvaamisessa merkittäviä mahdollisuuksia, tämä näyttäisi myös Peltonen-Sainio ym. (2020) peltolohkoaineistoon perustuvan tarkastelun perusteella olevan hyvinkin mahdollista nimenomaan kasvintuotanto-, sika- ja siipikarjatilojen pellonkäyttöä monipuolistamalla. Näin ollen WAM-skenaarioissa oletettu merkittävä vilja-alan väheneminen (jopa 20 % 2018-2035), viljelyn monipuolistaminen etenkin palkokasvien ja öljykasvien alaa lisäämällä ja sitä kautta satoi-suuden parantaminen ja panoskäytön tehostaminen näyttää hyvinkin mahdollisilta toteuttaa.

Paljon riippuu kuitenkin kysynnästä eli käytännössä siitä, että palkokasveille, kuten herneelle ja härkäpavulle yksimahaisten tuotantoeläinten täydennysvalkuaiseksi, on kysyntää, ne ovat käytettävyydeltään kotieläintiloilla riittävän edullisia ja helppoja käsitellä. Tärkeää on viljelymahdollisuuksien ohella se, että rehujen valmistus tiloilla viljellyistä raaka-aineista, käytettävyyden, hygienian ja jäljitettävyyden ovat hyvällä tasolla. Öljykasvinsiementen tuottaminen pääasiassa rehuksi (erityisesti lypsylehmille) on kuitenkin haaste tuotannon kannattavuudelle. Öljykasvien viljelyn kannattavuus pelkästään rehuksi on tapauskohtaista ja varsin kyseenalaista, ellei se sovi muuten maatilan toimintaan ja käytettävissä oleville peltomaille. Öljyn puristaminen ja myynti elintarvikeliikenteeseen on ollut merkittävä osa öljykasvituotannon arvosta.

Myös lypsykarja- ja muilla nautatiloilla sekä lammastiloilla voi olla mahdollisuuksia monipuolistaa viljelyä, ellei eläinmäärä hehtaaria kohden ja siten rehualan tuotantointensiteetti ole korkea. Se, onko käytettävissä oleva peltoala muuhun kuin nurmirehun tuotantoon järkevää käyttää öljykasvien viljelyyn rehuksi on kuitenkin varsin kyseenalaista, jos ostettu täydennysvalkuainen tulee tilalle selvästi edullisemmaksi.

Ilmastomuutos on haaste kasvinviljelylle (Trnka ym. 2011). Sääolojen äärevöityminen vaatii pelloilta hyvää rakennetta ja riittävää eloperäisen aineksen määrää, jotta pellon kuivatus ja toisaalta vedenpidätyskyky maan mururakenteessa olisivat riittävällä tasolla. Yksipuolinen viljely, etenkin viljan, heikentää näitä peltomaan ominaisuuksia. Maan rakenteen parantaminen ja ylläpitäminen edellyttää riittävän monipuolista viljelyä, joka voi myös helpottaa kasvukausien lämpenemisen myötä kasvavaa kasvitautipainetta (Hakala ym 2011).

Viljelyn monimuotoistaminen voi olla temporaalista eli ajallista (eri vuosina eri kasvit) tai spatiaalista (samana vuonna eri lohkoilla eri kasveja). Peltonen-Sainio ym. (2020) mukaan olennaista on juuri hyvin eri tyyppisten kasvien viljely osana viljelykiertoa. Viljelemällä tilan lohkoilla eri viljalajeja ei saavuteta saman mittasuhteen resilienssihyötyjä kuin viljeltäessä selvästi eri kasvilajeja. Esimerkiksi herne ja syysviljat eroavat toisistaan siinä, miten ne reagoivat satovaihteluihin aiheuttaviin säätekijöihin. Molemmat lajit eroavat reagoinniltaan enemmän kevätiljoista kuin kevätiljat eroavat toisistaan. Siten spatiaalisella monimuotoistamisella saavutetaan temporaalista monimuotoistamista suurempia resilienssihyötyjä eli puskurointikykyä säävaihtelulle ja haitallisille sääilmiöille, joiden arvioidaan lisääntyvän ilmastomuutuksessa (Peltonen-Sainio ym. 2020).

Eri kasvien viljely samanaikaisesti tilalla voi vähentää sekä sääolosuhteiden että markkinahintojen muutosten aiheuttamia riskejä. Pitkään on ollut kuitenkin ollut esimerkkejä siitä, että monilla kasveilla ja etenkin keskenään samantyyppisillä kasveilla, kuten viljoilla, sekä sadot että markkinahinnat ja sitä kautta hehtaarikohtainen katetuotto liikkuvat samaan suuntaan (esim. Lehtonen & Kujala 2007). Tästäkin näkökulmasta riittävän monipuolinen viljely on eduksi viljelijälle. Pelkkä öljykasvin lisääminen katkaisukasviksi viljakiertoon ei vielä paljoa vähennä taloudellisia riskejä, koska öljykasvi itsessään on sadoltaan melko epävarma kasvi. Öljykasvien katetuotto, johon vaikuttavat panosten ja sadon hinnat, liikkuvat vuosien yli tarkasteltaessa samaan suuntaan kuin viljojenkin, mutta kuitenkin heikommin kuin eri viljojen katetuotto keskenään.

Keskeisenä rajoitteena viljelyn monipuolistamiselle laajassa mitassa on kuitenkin kysyntä sekä tilatasolla eri kasveille sopivien peltolohkojen rajallisuus. Jos esim. viljan viljely keskittyy, kuten WAM-skenaarioissa on oletettu tapahtuvan mm. kannattavuussyistä, aiempaa selvemmin paremmille lohkoille, vapautuva lähes 200 000 ha peltoala ei voi siirtyä muiden markkinakelpoisten kasvien tuotantoon kuin pieniltä osin kotimaisen kysynnän rajallisuuden vuoksi. Tilatasolla juurikin öljy- ja palkokasvien tuotantoa taas ei voida viljellä kasvitautilien vuoksi kuin noin joka viides vuosi samalla loholla. Tämä tarkoittaa sitä, että monipuolistamista jarruttaa olennaisesti eri tyyppisten markkinakelpoisten kasvien rajoitettu kysyntä. Esimerkiksi sokerijuurikkaan, perunan, kuminan, öljy- ja palkokasvien ja avomaan vihannesten kotimainen kysyntä on varsin rajallinen. Tästä syystä erilaisten kesantojen merkitys on todennäköisesti suuri viljamonokulttuurien katkaisijana erityisesti alueilla, joilla tuotantonurmien nurmisadoille on hyvin vähän kysyntää.

Eri tyyppisten kasvien viljelyssä voidaan hyödyntää ns. esikasviarvoja. Esikasviarvo on satohyöty seuraavalle kasville samalla peltolohkolla verrattuna tilanteeseen, jossa esi- ja seuraavakasvi olivat samat (esimerkiksi ohra ohran jälkeen). Esimerkiksi öljykasvit, palkoviljat ja erilaiset erikoiskasvit (kuten em. sokerijuurikas ja kumina) ovat osoittautuneet eräissä tutkimuksissa (Peltonen-Sainio ym. (2019)) hyviksi esikasviarvoltaan, kun kevätiljat olivat kasvinvuorotuksessa seuraajakasveina. Tämä tarkoittaa sitä, että kevätiljojen sato on osoitettu laajassa aineistossa paremmaksi em. kasvien jälkeen viljeltynä kuin muiden kevätiljojen jälkeen viljeltynä. Esimerkiksi muut kevätiljat olivat ohralle negatiivisia esikasviarvoltaan, eli ohran sato pieneni niiden jälkeen viljeltynä.

Viljelijät ovat useissa eri yhteyksissä esittäneet huolensa maan kasvukunnon heikkenemisestä sekä tarpeesta siirtyä yksipuolisesta viljelystä kohti monimuotoisempaa tuotantotapaa. Kokemukset vähitellen laskevista sadoista osalla peltolohkoja, viljatilojen heikentynyt kannattavuus 2010-luvulla (Luonnonvarakeskus 2020), joidenkin tilojen hyvät kokemukset viljelyn monipuolistamisesta saavat todennäköisesti monet viljelijät monipuolistamaan viljelyä. Ilmaston lämmetessä vähitellen paranevat mahdollisuudet viljelyn monipuolistamiseen mm. uusien pitempään kasvukauteen sopivien lajikkeiden avulla parantavat edellytyksiä monipuolistaa viljelyä, jos vain sopivien kasvien kysyntä kotimaassa kehittyy suotuisasti. Tässä puolestaan palko- ja öljykasvien merkitys valkuaiskasveina on keskeinen (Peltonen-Sainio & Jauhainen 2019).

Viitteet:

Hakala, K., Hannukkala, A., Huusela-Veistola, E., Jalli, M., Peltonen-Sainio, P., 2011. Pests and diseases in a changing climate a major challenge for Finnish crop production. *Agricultural and Food Science* 20, 3-14.

Lehtonen, H. & Kujala, S. 2007. Climate change impacts on crop risks and agricultural production in Finland. Contributed paper presented in 101st EAAE seminar "Managing Climate

Risks in Agriculture”, held in Berlin, Germany, July 5-6 2007. 21 p. <http://agecon-search.umn.edu/bitstream/9259/1/sp07le01.pdf>

Luonnonvarakeskus 2020. Maatalouden kannattavuuskirjanpidon tulokset 2013-2018. www.luke.fi/taloustohtori

Peltonen-Sainio, P., Jauhainen, L., Honkavaara, E., Wittke, S., Karjalainen, M. & Puttonen, E. 2019. Pre-crop values from satellite images for various pre- and subsequent crop combinations. *Frontiers in Plant Science* 10: 462

Peltonen-Sainio, P. & Jauhainen, L. 2019. Unexploited potential to diversify monotonous crop sequencing at high latitudes. *Agricultural Systems* 174: 73-82 <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.04.011>

Peltonen-Sainio P, Jauhainen L, Latukka A, Peltonen S. 2020. Viljelykiertojen monipuolistamiseen kannustava vuorovaikutteinen suunnittelutyökalu VILKAS. Loppuraportti. 17 s. <https://mmm.fi/documents/1410837/3476612/VILKAS+loppuraportti+FINAL.pdf/ec04f141-31ce-b634-c748-a0836389d6f4/VILKAS+loppuraportti+FINAL.pdf>

Trnka, M., Olesen, J.E., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Eitzinger, J., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rötter, R.P., Iglesias, A., Orlandini, S., 2011. Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology* 17: 2298–2318.

Liite 2. Lyhyt kirjallisuuskatsaus ja selvitys hiilensidonnasta kivennäismailla

Hiilen kertyminen maatalouskäytössä oleviin kivennäismaihin

Peltomailla maaperän eloperäinen hiili (C) on peräisin kasvijäänteistä ja –eritteistä sekä lannasta ja maanparannusaineista, jotka toisenvaraisten pieneliöiden hajotuksen seurauksena muuttuvat erilaisiksi hajotustuotteiksi (FAO 2017). Valtaosa hiilestä palaa hiilidioksidina (CO₂) ilmankehään, mutta osa hiiliyhdisteistä sitoutuu hienoainekseen tai maan mururakenteisiin, jolloin ne voivat säilyä maassa pidempään. Eloperäisen aineksen ja sitä kautta hiilen kertyminen maaperään edellyttää sitä, että maahan päätyy eloperäistä ainesta nopeammin kuin mitä hajoamisen tai huuhtoutumisen seurauksena maaperästä häviää. Monet maanviljelystoimet, kuten esimerkiksi maan muokkaaminen, lannoittaminen, kalkitus ja ojitus, edistävät hapen ja ravinteiden saatavuutta ja samalla kasvijäänteiden hajotusta. Valtaosa pelloille jäävästä kasviaineksesta hajoaakin jo ensimmäisen vuoden aikana. Samat viljelytoimet toisaalta lisäävät pellon biomassan tuotantoa ja sitä kautta maahan päätyvää hiilen määrää.

Hiilen kertymää maahan mitataan kahdella tavalla: 1) mittaamalla maaperänäytteistä C-pitoisuutta (näytteet otettava aina samalla tavoin samasta paikasta, tarvitaan runsaasti toistoja jolloin kestää kauan saada näkyviin tilastollisesti merkitseviä muutoksia pitoisuuksissa, sillä

vuotuiset muutokset ovat pieniä suhteessa maassa olevaan hiilen määrään) ja 2) mittaamalla peltoekosysteemin C-tasetta kammio- ja / tai eddykovarianssi-menetelmän avulla, joka vaatii paljon mittauksia ja mallinnusta, että kaikki osatekijät (yhteyttämis- ja hengitysnopeus koko vuoden aikana, sadonkorjuu, mahdollinen lannan mukana tuleva hiili tai huuhtouman mukana poistuva hiili) saadaan arvioitua. Ensimmäinen menetelmä on siis hidas ja toinen erittäin työläs ja molemmilla tavoin tarvittaisiin todella pitkiä aikasarjoja, että voidaan luotettavasti kertoa tietynlaisen viljelytavan vaikutuksista tietynlaisissa olosuhteissa. Lisäksi on kehitelty infra-punasäteilyn heijastumiseen pohjaavia maaperän C-pitoisuuden määrittämismenetelmiä, joissa yhdistetään maaperän heijastusspektri tietyillä aallonpituuksilla perinteisesti määritettyihin C-pitoisuuksiin (Smith ym. 2020). Spektrimääritykset sinällään ovat nopeita ja suhteellisen edullisia, mutta niiden tulkinta maaperän C-pitoisuuksiksi edellyttää paikallisiin olosuhteisiin perustuvaa vertailuaineistoa. Edellä olevista syistä johtuen viljelytoimien vaikutuksia maan hiilivarastoon arvioidaan usein mallinnuksen avulla. Maaperän hiilimalleja on useita (esim. RothC, ICBM, Yasso). Yleensä mallit ennustavat hiilivaraston kehittymistä maahan päätyvän kasvin-tähteen tai maanparannusaineiden laadun ja määrän sekä ilmasto-olojen perusteella. Joissakin malleissa voidaan lisäksi huomioida myös maalajin ja muokkauksen vaikutusta. Mallit ovat kuitenkin aina yksinkertaistuksia todellisuudesta ja vaativat rinnalleen maaperän C-pitoisuuden seurantaa.

Ilmastonmuutoksen hidastamiseksi ja sen vaikutusten lieventämiseksi on nostettu esiin ajatus kerryttää eloperäistä ainetta kivennäismaihin. Tätä on viime vuosina tutkittu innokkaasti. Luokisat tutkimukset hyvinkin erilaisissa olosuhteissa (tropiikista havumetsävyöhykkeelle) ovat osoittaneet, että muokkauksen vähentäminen lisää eloperäisen aineksen kertymistä pintamaahan (Luo ym. 2010, Mangalassery ym. 2015, Haddaway ym. 2017), mutta sen alapuoliossa kerroksessa hiilenkertymä väheni (Luo ym. 2010). Vastaavasti lauhkean ja havumetsävyöhykkeen koostejulkaisussa koko maaprofiilia (0-150 cm) tarkasteltaessa lisääntymistä ei ole havaittu (Haddaway ym. 2017). Myös Suomessa 30-vuotisessa kenttäkokeessa viljankasvatuksessa olleella savimaalla vähennetty maanmuokkaus ei lisännyt pintamaan (0-15 cm) hiilivarastoa edes silloin, kun oljet jätettiin pellolle (Singh ym. 2015). Magalassery ym. (2015) varoittaa myös muokkauksen vähentämisen negatiivisista ilmastovaikutuksista. Esimerkiksi N₂O-päästöt voivat lisääntyä tai satomäärät saattavat joissain tilanteissa hiukan laskea. Lisäksi Magalassery ym. (2015) muistuttaa, että tutkimustuloksissa on suurta vaihtelua riippuen muun muassa kasvilajista, maalajista ja kokeiden kestosta.

Toisena lupaavana keinona kivennäismaiden hiilivaraston kasvattamiseksi on pidetty aluskasvien/kerääjäkasvien viljelyä tuotantokasvin alla ja/tai tuotantokauden ulkopuolisena aikana. Tällöin saataisiin lisättyä pellolla kasvavaa ja sinne jäävää kasvimassaa. Esimerkiksi kokoomajulkaisun Poeplau & Don (2015) perusteella ainakin ensimmäisinä vuosikymmeninä kerääjäkasvien kasvatuksen aloittamisesta erilaisille koepeltojen pintamaahan on kertynyt keskimäärin 32 g C m⁻² v⁻¹ eli 320 kg C ha⁻¹ v⁻¹ (vaihtelua nettohävikistä nettokertymään). Mallinnuksen perusteella kertyminen voisi jatkua jopa yli sata vuotta, mutta potentiaalisesta kokonaiskertymästä puolet kertyisi jo ensimmäisen parinkymmenen vuoden aikana. Ilmasto (trooppinen vs. lauhkea vyöhyke), kerääjäkasvityyppi (palkokasvit vs. muut) tai maanmuokkaus (muokkaamaton vs. muokattu) ei vaikuttanut hiilenkertymänopeuteen. Toisaalta kuten muokkauksen vähentämisenkin yhteydessä, pellon pintakerros ei kuvaa koko maaprofiilin tilannetta. Esimerkiksi kun tarkasteltiin maissin ja tomaatin vuoroviljelyssä olleen pellon pintakerrosta (0-30 cm), niin talvipeitteiset kerääjäkasvit (kaksi hernekasvia tai hernekasvi ja kaura) lisäsivät hiilivarastoa 4%, mutta syvemmillä (30-200 cm) hiilivarasto pieneni 11% eli koko maaprofiilin kannalta kerääjäkasvien käyttö pienensi pellon hiilivarastoa merkittävästi (Tautges ym. 2019). Kuten muokkauksen vähentämisen yhteydessä jo todettiin, pintamaan

lisääntyvä eloperäinen aines voi myös lisätä N_2O -päästöjä (Poeplau & Don 2015), mikä pitäisi huomioida kokonaisilmastovaikutuksia arvioidessa.

Ulkomainen tutkimus ei välttämättä sovellu sellaisenaan kuvaamaan tilannetta suomalaisilla pelloilla, sillä Suomen ilmasto (havumetsävyöhyke vrt. lauhkea vyöhyke), maaperä (podsoli vrt. ruskomaannos, mustamulta, terra rossa), viljelymenetelmät (aktiivisesti hoidettu ja usein uudistettava nurmi vrt. todella pitkäikäiset vähällä hoidolla olevat heinämaat), viljeltyt lajit (timotei vrt. raiheinät ym.) ja viljelyhistoria (kymmeniä-satakunta vuotta sitten raivattuja vrt. satoja – tuhatkunta vuotta viljeltyjä) eroavat merkittävästi monien tutkimuspaikkojen tilanteesta.

Suomesta on olemassa pitkäaikainen, yli 600 mittauspistettä kattava seuranta, jonka mukaan suomalaisten peltöjen pintamaan (0-15 cm) hiilipitoisuus (g C kg^{-1} maata) on selvästi vähentynyt vuosien 1974-2009 aikana (Heikkinen ym. 2013). Kivennäismailla vähenemä on ollut keskimäärin $22 \text{ g C m}^{-2} \text{ v}^{-1}$ eli $220 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ ja sen arvioitiin osaksi johtuvan yksivuotisten kasvien viljelyn lisääntymisestä seurantavuosikymmenien aikana. Osasyinä vähenemiseen pidettiin myös ilmastomuutosta (havaittu lämpeneminen) ja metsäaikaisen hiilen hajoamista maaperässä peltokäytön aikana. Tiedossa ei kuitenkaan ole, miten koko maaprofiilin C-pitoisuudet ovat muuttuneet Suomen kivennäismaapelloissa viime vuosikymmenien aikana.

Kotimaista pintamaan C-pitoisuuden vähenemishavaintoa näyttäisi tukevan kolmella eri pelloilla 30 vuotta kestänyt ruotsalaistutkimus, jossa yksivuotisten kasvien viljely (kierrossa viljoja, viherlannoitusnurmea, perunaa, herneitä, porkkanaa) johti aina pintamaan (0-25 cm) hiilipitoisuuden vähenemiseen (Bolinder ym. 2010). Kun nurmivuotisia oli välissä useampia, niin väheneminen hidastui tai kääntyi jopa pintamaan hiilipitoisuuden lisääntymiseen. Peltomaan hiilipitoisuudella kokeen alussa oli merkittävä vaikutus: kun lähtöpitoisuus oli korkea (4,8%), niin nurmiviljelystä huolimatta hiilipitoisuus laski kokeen aikana huomattavasti (loppupitoisuus n. 3,8 %), mutta kun lähtöpitoisuus oli alhainen (2,8%), niin hiilipitoisuus lisääntyi jonkin verran (loppupitoisuus n. 3,2%). Toisaalta Suomessa on havaittu lyhytaikaisen kokeen perusteella myös hiilipitoisuudeltaan alhaisella (3%) nurmea kasvavalla hiesusavipellolla vuotuisen C-vuon voivan vaihdella nettokertymästä ($46,5 \text{ g C m}^{-2} \text{ v}^{-1}$ eli $465 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$) nettohävikkiin ($-260 - -418 \text{ g C m}^{-2} \text{ v}^{-1}$ eli $-2600-4180 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$) (Lind ym. 2020). Myös viimeaikaisen kokoomajulkaisun mukaan vuosittainen hiilivuo voi heinämailla vaihdella nettohävikistä $-220 \text{ g C m}^{-2} \text{ v}^{-1}$ eli $-2200 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ vastaavan suuruiseen nettokertymään $250 \text{ g C m}^{-2} \text{ v}^{-1}$ eli $2500 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ (Klumpp & Fornara 2018).

Hyvät kasvuolosuhteet edistävät kasvien kasvua ja siten myös kuolleen kasvimassan ja eloperäisen hiilen kertymistä maaperään (Kätterer ym. 2012, Colombi ym. 2019). Esimerkiksi kokoomajulkaisussa Kätterer ym. (2012) kerrotaan nitraattityypilannoituksen kerryttävän pintamaan (0-40 cm) hiilivarastoa (karkeasti $1 \text{ kg C } 1 \text{ kg}^{-1} \text{ N}$). Typpilannoitus hidastaa maan vanhan eloperäisen aineksen hajottamista ja mikrobit keskittyvät ensisijaisesti uuden karikkeen hajottamiseen (Zhang ym. 2016). Toisaalta Poeplau (*painossa*) koostejulkaisussa kerrotaan Saksassa ja Alankomaissa tehdystä kokeesta, jossa pelkkä N-lannoitus ei riittänyt lisäämään peltomaan C-pitoisuutta, vaan tarvittiin tehostettu NPK-lannoitus pintamaan (0-30 cm) C-pitoisuuden lisäämiseksi (keskimäärin $37 \text{ g C m}^{-2} \text{ v}^{-1}$ eli $370 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$). Ilmeisesti riittävä ravinteiden saanti lisää myös mikrobien hiilen käytön tehokkuutta ja edesauttaa siten hiilen pysyvyyttä maaperässä. Kuitenkin, kun annetun N-lannoituksen valmistuksesta aiheutuvat päästöt otetaan huomioon, niin lisääntynyt C-kertymä suurin piirtein kumoaa N-lannoituksesta koituvat CO_2 -päästöt, mutta ei enää N-lannoituksesta johtuvia N_2O -päästöjä (Kätterer ym. 2012, Poeplau *painossa*).

Aina parempi kasvuston kasvu ei kuitenkaan näyttäisi johtavan suurempaan hiilenkertymään. Suomalaisen 3-vuotisen nurmikokeen perusteella timotei-nurminatakasvusto hiesusavella menetti 2. ja 3. vuotena, kun sato oli yli kaksinkertainen perustamisvuoteen verrattuna, enemmän hiiltä kuin peltoekosysteemiin kertyi ($-417,9$ ja $-259,8$ g C m⁻² v⁻¹ eli -4179 ja -2598 kg C ha⁻¹ v⁻¹) ja kerrytti hiiltä ekosysteemiin ($46,51$ g C m⁻² v⁻¹ eli 465 kg C ha⁻¹ v⁻¹) vain perustamisvuoden alhaisen sadon vuonna (Lind ym. 2020). Samalla pellolla oli myös ruokohelpikoe ja vaikka sen sato oli 2. ja 3. vuotena samaa luokkaa (6200 - 6700 kg kuiva-ainetta ha⁻¹) kuin timotei-nurminatasato perustamisvuonna (6400 kg kuiva-ainetta ha⁻¹), niin myös ruokohelpikasvustolla alun perin vähähiilinen peltoekosysteemi menetti sadonkorjuun myötä enemmän hiiltä ($-10,18$ - $-38,13$ g C m⁻² v⁻¹ eli -102 - -381 kg C ha⁻¹ v⁻¹) kuin siihen yhteyttämällä sidottiin (Lind ym. 2016). Ruokohelpikasvuston hiilen hävikki oli kuitenkin kertaluokkaa pienempi kuin timotei-nurminatakasvuston.

Peltomaan hiilitaseissa on siis eroja eri kasvilajien välillä samoissakin kasvuolosuhteissa (maalaji, vuotuinen sää). Esimerkiksi Tanskassa oli 5-vuotinen koe 2012-2017, jossa oli 15 erilaista kasvustoa hiekkaisella savella (Chen ym., *painossa*). Kasvatukset erosivat niin kasvilajeiltaan (sekä yksivuotisia että heiniä), kasvatuskaudeltaan (tavanomainen ja pidennetty) että lannoitustasoiltaan ja kaikista mitattiin pintamaan (0-20 cm) C-pitoisuus kokeen lopussa. Valtaosassa erilaisia viljelyksiä muutos pintamaan C-pitoisuudessa ei ollut tilastollisesti merkitsevä, kolmessa (maissiviljelmä, yksi neljästä kasvukauden pituuden optimointivaihtoehdosta ja vähän lannoitettu mummattiheinäviljelmä) C-pitoisuus pieneni merkitsevästi (-2 - -6%) ja yhdessä (ruokonataviljelmä) C-pitoisuus suureni merkitsevästi (7%). Tulos saattaisi johtua siitä, että ruokonata kasvattaa runsaan ja syvälle (2,5 m) ulottuvasta juuriston eli suuri karikkeen syöttö suoraan maahan saattaisi lisätä C-kertymää kivennäismaihin.

Myös maanpäällisen kasvikaarikkeen lisääntymisen on havaittu lisäävän maaperän C-pitoisuutta (Poeplau, *painossa*). Yli 60-vuotisessa kokeessa Ruotsissa oli kolmella paikkakunnalla kenttäkoe, jossa oli vain kerran vuodessa niitettävä nurmi ja kahdeksan kertaa vuodessa niitetty nurmi. Toistuvat niitot lisäsivät perustuotantoa ja kun niitettyä heinää ei korjattu pois, niin lisääntynyt karikkeen syöttö lisäsi kokeen aikana pintamaan (0-20 cm) C-kertymää keskimäärin 13 g C m⁻² v⁻¹ eli 130 kg C ha⁻¹ v⁻¹. Myös laidunnetun nurmen prosessimallinnuksen perusteella nurmen käytön voimakkuus vaikuttaa maaperän C-kertymään (Soussana & Lemaire 2014). Kolmiportaisella asteikolla keskimääräinen karjatiheys ja epäorgaaninen N-lannoitus lisäävät perustuotantoa vähäiseen karja- ja lannoitusmäärään verrattuna ja maksimoivat C-kertymän maaperään. Käytön (laidunnus + lannoitus) voimistaminen nostaa vielä perustuotantoa (kunhan ei mennä ylilaidunnuksen puolelle), mutta C-kertymänopeus kääntyy heti maksimin jälkeen jyrkkään laskuun käytön voimistuessa.

Vaikka C-kertyminen maahan olisikin aktiivisesti hoidetuilla heinäpelloilla viljapeltoja ja laajaperäisiä heinäpeltoja todennäköisempää, niin heinäkasvustojakin pitää joskus uudistaa niiden tuottavuuden ylläpitämiseksi ja sillä voi olla merkittäviä vaikutuksia C-taseeseen. Sveitsissä on seurattu monivuotisesti kahden savisella (42 - 44%) kivennäismaalla kasvatetun nurmen hiilitasetta (Amman ym. 2020). Molemmilla lohkoilla oli sama käyttöhistoria ja toista viljeltiin aktiivisesti (sekä kivennäislannoitusta että lietelantaa, sadonkorjuu 3-5 kertaa vuodessa, uudistus kyntämällä ja uudelleen kylvämällä 6 vuoden jälkeen) ja toista passiivisesti (ei lannoitusta, sadonkorjuu 2-3 kertaa vuodessa, ei uudistusta). Molempien nurmilohkojen hiilitaseessa oli suurta vuosien välistä vaihtelua, mutta aktiivisesti hoidettu nurmi oli ennen uudistusta aina hiilinielu kun taas laajaperäinen nurmi oli koko kokeen aikana useimpina vuosina ($7/10$) hiilen lähde. Aktiivisesti hoidettu lohko kuitenkin muuttui uudistamisen jälkeen niin suureksi hiilen

(CO₂) ja typen (N₂O) lähteeksi seuraavaksi kolmeksi vuodeksi, että uudistuksen jälkeisten vuosien kasvihuonekaasupäästöt ylittivät aiempien 6 vuoden hiilikertymän. Huomionarvoista on myös se, että molemmat nurmilohkot olivat monilajisia heinä-apilanurmia (aktiivisesti hoidetulla 7 lajia, laajaperäisellä yli 30 lajia).

Suorien peltoon kohdistuvien toimien lisäksi ihmiskunta vaikuttaa myös epäsuorasti peltoekosysteemien toimintaan. Ilmastomuutos on vakava ongelma, joka vaikuttaa varmasti myös peltokäytössä olevien kivennäismaiden hiilikertymiin. Ilmastomuutosennusteiden mukaan sekä sademäärä että lämpötila kasvavat Suomessa, erityisesti talvella (Ruosteenoja et al. 2016). Runsaat sateet voivat huuhtoa ravinteiden lisäksi osan maaperän hiilestä vesistöihin. Pitkät kuivat jaksot kasvukaudella voivat merkittävästi heikentää kasvien kasvua ja siten hiilen syöttöä maaperään. Pidentyvä kasvukausi ja ilmakehän lisääntyvä CO₂-pitoisuus voivat puolestaan mahdollistaa suuremman kasvimassan tuoton, mutta toisaalta lämpenevä lepo-kausi voimistaa myös hajotusta. Myös (Poeplau, *painossa*) varoittaa Islannissa tehdyn kokeellisen tutkimuksen perusteella, että lämpenemisestä johtuva lisäys eloperäisen aineen hajotusnopeuteen voi kumota yritykset lisätä maaperän hiiltä. Lämpeneminen nopeuttaa erityisesti tuoreemman eloperäisen aineksen hajotusta, sillä hajotuksen myötä pysyvämpään muotoon muuttuneiden hiiliyhdisteiden hajotuksen lämpötilaherkkyys on pienempi kuin tuoreen karikkeen (Gillabel ym. 2010, Moinet ym. 2020). Sään äärevöityminen ilmastomuutoksen myötä todennäköisesti aiheuttaa entistä suurempaa vaihtelua vuotuisen C-kertymänopeuteen.

Alustavia johtopäätöksiä kirjallisuuden perusteella

Kivennäismaiden pintamaan C-pitoisuutta voisi todennäköisimmin nostaa pelloilla, joiden C-pitoisuus on lähtötilanteessa alhainen ja joilla on aiemmin viljelty yksivuotisia lajeja. Näillä pelloilla hiilen määrää voisi lisätä viljelemällä useita vuosia tai osana viljelykiertoa monilajista (esim. ruokonata, timotei, apila = syväjuurinen, pintajuurinen, typensitoja) nurmea runsaalla sadolla (jos ei typensitojaa, niin hyvä N-lannoitus) mahdollisesti jättäen osan sadosta peltoon viherlannoitteeksi. Hiilen kertyminen kivennäismaihin, joilla hiilipitoisuus on jo korkea, on epävarmaa, ja näiltä mailta hiiltä voidaan edellä mainituista viljelytoimista huolimatta myös menettää. Hiilen kerryttämisessä on ensiarvoisen tärkeää huolehtia myös pellon kasvukunnosta (maan rakenne, vesitalous, happamuus, ravinnetalous), mikä mahdollistaa korkean biomasan tuotannon ja näin lisää maahan päätyvän orgaanisen aineen määrää. Sääoloista riippuen joinakin vuosina peltoekosysteemi voi silti menettää hiiltä (sato, hajotus) enemmän kuin sitä sinne tulee (yhteyttäminen, lanta). Lisäksi pitäisi ottaa huomioon, että N-lannoituksesta ja peltoon jätettävästä kasvimassasta syntyy N₂O-päästöjä, jotka osittain tai kokonaan kumoaisivat lisääntyvän C-kertymän positiiviset ilmastovaikutukset. Pitkäaikaisia seurantoja ja uusia tutkimuksia Suomen olosuhteissa tarvitaan lisää parhaimpien hiilen kerryttämismenetelmien löytämiseksi. Yhden yksittäisen viljelytoimenpiteen sijaan tarvittaneen kokonaisvaltaisempaa viljelyjärjestelmän kehittämistä ja sopeuttamista paikallisiin olosuhteisiin. Tätä tavoittelevat esimerkiksi suomalaiset hiiliviljelijät, jotka pyrkivät käyttämään sellaisia viljelymenetelmiä, jotka kerryttäisivät eloperäistä hiiltä peltomaahan ja parantaisivat maan kasvukuntoa (Joona & Mattila, *julkaisematon*). Varsinaiset tutkimukset hiiltä kerryttävän maanviljelyjärjestelmän vaikutuksista erilaisilla (maaperä, viljelymenetelmät, kasvilajit) hiiliviljelytiloilla ovat vasta alkuvaiheessa, joten tuloksia viljelyjärjestelmän muutoksen vaikutuksista kivennäismaiden C-kertymäprofiliin joudutaan vielä odottamaan.

Kirjallisuuskatsauksessa käytetyt ähteet

Ammann C, Neftel A, Jocher M, Fuhrer J, Leifeld J. 2020. Effect of management and weather variations on the greenhouse gas budget of two grasslands during a 10-year experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 292: 106814.

Bolinder MA, Kätterer T, Andrén O, Ericson L, Parent L-E, Kirchmann H. 2010. Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics in forage-based crop rotations in Northern Sweden (63-64°N). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138: 335-342.

Chen J, Lærke PE, Manevski K, Jørgensen U. 2020. Biomass production and soil carbon and nitrogen content with innovative cropping systems. Teoksessa: *Grassland Science in Europe*, Vol 25. - Meeting the future demands for grassland production. [Proceedings of 28th General Meeting of the European Grassland Federation Helsinki, Finland 2020. Toimittajina Virkajärvi, P., Hakala, K., Hakojärvi, M., Helin, J., Herzon, I., Jokela, V., Peltonen, S., Rinne, M., Seppänen, M., Uusi-Kämppä, J.], *painossa*.

Colombi T, Walder F, Büchi L, Sommer M, Liu K, Six J, van der Heijden MGA, Charles R, Keller T. 2019. On-farm study reveals positive relationship between gas transport capacity and organic carbon content in arable soil. *Soil* 5: 91-105.

FAO 2017. Soil Organic Carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.

Gillabel J, Cebrian-Lopez B, Six J, Merckx R. 2010. Experimental evidence for the attenuating effect of SOM protection on temperature sensitivity of SOM decomposition. *Global Change Biology* 16 (10): 2789-2798.

Haddaway NR, Hedlund K, Jackson LE, Kätterer T, Lugato E, Thomsen IK, Jørgensen HB, Isberg P-E. 2017. How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence* 6: 30.

Heikkinen J, Ketoja E, Nuutinen V, Regina K. 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974-2009. *Global Change Biology* 18: 1456-1469.

Joona J, Mattila T. Suomen maatalousmaiden hiilinielupotentiaali parhailla käytössä olevilla viljelymenetelmillä, *julkaisematon*.

Klumpp K, Fornara DA. 2018. The carbon sequestration of grassland soils – climate change and mitigation strategies. Teoksessa: Horan B, Hennessy D, O'Donovan M, Kennedy E, McCarthy B, Finn JA, O'Brien B. (toim.), *Sustainable meat and milk production from grasslands*, Proceedings of the 27th General Meeting of the European Grassland Federation, Cork, Ireland 17-21 June 2018, *Grassland Science in Europe* 23: 509-519.

Kätterer T, Bolinder MA, Berglund K, Kirchmann H. 2012. Strategies for carbon sequestration in agricultural soils in northern Europe. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A – Animal Science* 62(4): 181-198.

Lind SE, Shurpali NJ, Peltola O, Mammarella I, Hyvönen N, Maljanen M, Rätty M, Virkajärvi P, Martikainen PJ. 2016. Carbon dioxide exchange of a perennial bioenergy crop cultivation on a mineral soil. *Biogeosciences* 13: 1255-1268.

Lind SE, Virkajärvi P, Hyvönen NP, Maljanen M, Kivimäenpää M, Jokinen S, Antikainen S, Latva M, Rätty M, Martikainen PJ, Shurpali NJ. 2020. Carbon dioxide and methane exchange of a perennial grassland on a boreal mineral soil. *Boreal Environment Research* 25: 1-17.

Luo Z, Wang E, Sun OJ. 2010. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139: 224-231.

Mangalassery S, Sjögersten S, Sparkes D, Mooney SJ. 2015. Examining the potential for climate change mitigation from zero tillage. *Journal of Agricultural Science*, doi:10.1017/S0021859614001002.

Moinet GYK, Moinet M, Hunt JE, Rumpel C, Chabbi A, Millard P. 2020. Temperature sensitivity of decomposition decreases with increasing soil organic matter stability. *Science of The Total Environment* 704: 135460.

Poeplau C. 2020. Grassland soil organic carbon stocks as affected by management intensity and climate change. Teoksessa: *Grassland Science in Europe, Vol 25. - Meeting the future demands for grassland production*. [Proceedings of 28th General Meeting of the European Grassland Federation Helsinki, Finland 2020. Toimittajina Virkajärvi, P., Hakala, K., Hakojärvi, M., Helin, J., Herzon, I., Jokela, V., Pelttonen, S., Rinne, M., Seppänen, M., Uusi-Kämppe, J.], *painossa*.

Poeplau C, Don A. 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 200: 33-41.

Ruosteenoja K, Jylhä K, Kämäräinen M. 2016. Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica* 51(1), 17-50.

Singh P., Heikkinen J., Ketoja E., Nuutinen V., Palojarvi A., Sheehy J., Esala M., Mitra S., Alakukku L. & Regina K. 2015. Tillage and crop residue management methods had minor effects on the stock and stabilization of topsoil carbon in a 30-year field experiment. *Science of the Total Environment* 518-519: 337-344.

Smith P, Soussana J-F, Angers D, Schipper L, Chenu C, Rasse DP, Batjes NH, van Egmond F, McNeill S, Kuhnert M, Arias-Navarro C, Olesen JE, Chirinda N, Fornara D, Wollenberg E, Álvaro-Fuentes J, Sanz-Cobena A, Klumpp K. 2020. How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology* 26: 219-241.

Soussana J-F, Lemaire G. 2014. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 190: 9-17.

Tautges NE, Chiartas JL, Gaudin ACM, O'Geen A, Herrera I, Scow KM. 2019. Deep soil inventories reveal that impacts of cover crops and compost on soil carbon sequestration differ in surface and subsurface soils. *Global Change Biology* 25: 3753– 3766.

Zang H, Wang J, Kuzyakov Y. 2016. N fertilization decreases soil organic matter decomposition in the rhizosphere. *Applied Soil Ecology* 108: 47-53.

Liite 3. Biokaasutuotannon ja ravinnekierron laskentamenetelmät

Lannat

Tarkastelussa käytetään lantatietoa eläinsuojasta (ex housing) pois lukien laitumille ja jaloittelutarhoihin päätyvän lannan osuus. Tämä vastaa lantaa, joka pääasiassa ohjautuisi biokaasulaitoksiin, koska lanta pyritään toimittamaan niihin mahdollisimman pian eläinsuojasta poistamisen jälkeen. Käytetty lantatieto ei näin ollen sisällä lannan varastoinnin aikaisia hävikkejä, varastoinnin aikaista sadeveden lisää ja haihduntaa (katteista riippuen) sekä jaloittelutarhoista kerättyä lantaa. Tieto lannan määrästä ja ominaisuuksista on laskettu Luonnonvarakeskuksen ja Suomen ympäristökeskuksen yhteisen Suomen normilanta –järjestelmän avulla (Luostarinen ym. 2017a,b) käyttäen eläinmäärinä tilastotietoa vuodelle 2019 (Luonnonvarakeskus) sekä Dremfia-mallin tuottamia arvioita eläinmääristä vuosille 2035 ja 2050 kuten esitetty tämän raportin luvussa 4. Normilantalaskennassa huomioidaan oletettu muutos lantatyypeissä (ml. lietelannan yleistyminen nautojen ja sikojen lannanpoistojärjestelmissä), mutta ei mahdollisia muutoksia eläinten ruokinnassa, kasvussa ja tuotoksessa, jotka todellisuudessa vaikuttaisivat lannan määrään ja ominaisuuksiin.

Lannan energiapotentialiaali biokaasuna on laskettu käyttäen taulukossa 1 esitettyjä metaanintuottopotentiaaleja kullekin lantatyypille ja eläinluokalle. Tiedot perustuvat Luonnonvarakeskuksen omiin tutkimuksiin ja kirjallisuuteen.

Taulukko 1. Erilaisten lantojen metaanintuottopotentiaali orgaanista ainetta (VS) kohti.

Eläinluokka ja lanta- tyyppi	Metaanintuottopoten- tiaali (m ³ CH ₄ /tVS)
Naudat, liete- lanta	200
Naudat, kui- vat lannat	200
Siat, liete- lanta	320
Siat, kuivat lannat	230
Siipikarja	210
Hevoset ja ponit	160
Lampaat ja vuohet	100
Turkiseläi- met	235

Nurmet

Biokaasulaitoksiin ohjautuvan nurmen peltoalojen arvioitiin sijoittuvan pääasiassa Etelä-Suomen savi- ja kivennäismaille, joille tarvitaan hiilisyötettä ja joiden läheisyydessä ei välttämättä ole nurmelle rehukäyttöä. Nurmi olisi enimmäkseen apilanurmea tai jotain muuta palkokasvia sisältävää nurmiseosta. Biokaasutuotantoon päätyvän nurmen tuotantopinta-alan arvioitiin olevan biokaasutuotannon kannustimia sisältävissä WAM-skenaarioissa 50 000 ha (WAM1) ja 150 000 ha (WAM2). Satotasoksi valittiin keskimääräinen 5500 kg kuiva-ainetta/ha (FootprinBeef-hanke: ProAgrian lohkotietopankki nautakarjatilojen nurmien viljelystä vuosilta 2002–2011), ja se oletettiin saavutettavan maltillisella typpilannoituksella (78 kgN/ha). Biokaasuksi ohjautuvan nurmen ominaisuustiedot perustuvat Luonnonvarakeskuksen omiin tutkimuksiin ja kirjallisuuteen (Taulukko 2).

Kasvihuonetuotannon sivuvirrat

Kasvihuonetuotannosta tarkastelussa huomioitiin vuodelta 2019 paprikan, kurkun ja tomaatin tuotannon sivuvirrat, jotka ovat tilastojen mukaan sivuvirroista merkittävimmät (Luonnonvarakeskus 2020). Tomaatin ja kurkun tuotannon sivuvirtojen ominaisuuksien tiedot arvioitiin Jagadabhi ym. (2011) ja Li ym. (2016) avulla ja täsmällisemmän tiedon puuttuessa paprikan tuotannon sivuvirroille oletettiin samat ominaisuudet kuin kurkulle.

Taulukko 2. Nurmen ja kasvihuonetuotannon sivuvirtojen ominaisuudet.

	Kuiva-aine (%)	Orgaanisen aine (%)	Metaanintuottopotentiaali (m³CH₄/tVS)
Tomaatti	11,0	9,35	320
Kurkku	9,05	8,50	260
Paprika	9,05	8,50	260
Apilanurmi	26,2	24,1	290

Energiapotentiaalin ja ravinteiden laskenta

Lantojen ja nurmen sekä kasvihuonetuotannon sivuvirtojen orgaanisen aineen (volatile solids, VS) määrä kerrottiin metaanintuottopotentiaalilla, jolloin saatiin tuotettavissa olevan metaanin määrä biokaasussa. Yhden metaanikuution energiasisältö on noin 10 kWh. Metaanintuottopotentiaalista oletettiin yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon (CHP) tapauksessa sähkön hyötysuhteeksi 35 % ja lämmön 50 %. Kaasumaisen liikennebiokaasun tuotannossa 98 % energiasisällöstä arvioitiin olevan polttoaineena käytettävissä. Nesteytyksessä hävikit ovat korkeammat (92 %), mutta eroa ei tässä tarkastelussa huomioitu. Tuotetusta energiasta ei myöskään ole vähennetty biokaasulaitosten omaa energiantarvetta.

Ravinteiden laskennassa huomioitiin lantojen ja nurmien kokonaisfosforin ja kokonaistypen massamäärät. Ravinteiden oletettiin päätyvän täysmääräisinä mädätteeseen eikä niiden ravinnekierroksien tarkasteluissa huomioitu mädätteen käsittelyssä ja hyödyntämisessä mahdollisesti tapahtuvia hävikkejä.

Lähteet biokaasutuotannon laskentamenetelmiä koskien:

- Jagadabhi, P. S., Kaparaju, P., & Rintala, J. 2011. Two-stage anaerobic digestion of tomato, cucumber, common reed and grass silage in leach-bed reactors and upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Bioresource Technology*, 102(7), 4726-4733.
- Li, Y., Li, Y., Zhang, D., Li, G., Lu, J., & Li, S. 2016. Solid state anaerobic co-digestion of tomato residues with dairy manure and corn stover for biogas production. *Bioresource Technology*, 217, 50-55.
- Luonnonvarakeskus 2020. Puutarhatilastot vuodelta 2019. <https://stat.luke.fi/puutarhatilastot>
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J., Munther, J. 2017a. SUOMEN NORMI-LANTA – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 54 s.
- Luostarinen, S., Perttilä, S., Nousiainen, J., Hellstedt, M., Joki-Tokola, E., Grönroos, J. 2017b. Turkeiseläinten lannan määrä ja ominaisuudet. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 46/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 30 s.

Liite 4. Biokaasuinvestoinnit tarkastelluissa skenaarioissa

Laitoskokojen selitteet:

- Pieni laitos: maatilamittakaavan laitos, jossa kapasiteetti max 10 000 t; keskimääräinen investointihinta arvioitu: 1 milj. euroa sisältäen biokaasulaitoksen, mädätteen separoinnin sekä muut kustannukset (esim. perustustyöt, maisemoinnit, suunnittelu, luvitus)
- Keskikokoinen laitos: kapasiteetti max 40 000 t; keskimääräinen investointihinta arvioitu Luostarinen ym. 2019⁴ avulla: 15 milj. euroa sisältäen biokaasulaitoksen, puhdistetun ja paineistetun liikennebiokaasun tuotannon, mädätteen (osittaisen) jatkojalostuksen sekä muut kustannukset (esim. perustustyöt, maisemoinnit, suunnittelu, luvitus)
- Suuri laitos: kapasiteetti max 250 000 t; keskimääräinen investointihinta arvioitu kuten edellä: 35 milj. euroa sisältäen biokaasulaitoksen, puhdistetun ja nesteytetyn liikennebiokaasun tuotannon, mädätteen pitkälle viedyn jatkojalostuksen sekä muut kustannukset (esim. perustustyöt, maisemoinnit, suunnittelu, luvitus)

WEM		syöte yhteensä (t/vuosi, lantaa ja nurmea)									
		2035	1076400								
		2050	1246090								
				KOKO-NAISIN-VES-TOINTI			TARVITTU INVES-TOINTITUKI				
	Kapasi- teetti (t/vuosi)	Laitos- määrä 2035 (kpl)	Lai- tos- määrä 2050 (kpl)	milj € / lai- tos	2035 (milj €)	2050 (milj €)	MMM tuki 40% 2035	MMM tuki 40% 2050	TEM tuki 30% 2035	TEM tuki 30% 2050	
Pieni	10000	40	50	1	40	10	16	4			
Keski	40000	10	12	15	150	30			45	9	
Iso	250000	1	1	35	35	0			10,5	0	

⁴ Luostarinen, S., Tampio, E., Niskanen, O., Koikkalainen, K., Kauppila, J., Valve, H., Salo, T., Ylivainio, K. 2019a. Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2019. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 75 s.

	225	40	16	4	55,5	9
YH-TEENSÄ		265		20		64,5

WAM1		syöte yhteensä (t/vuosi, lantaa ja nurmea)									
		2035	4498260								
		2050	5298980								
				KOKO-NAISIN-VES-TOINTI			TARVITTU INVES-TOINTITUKI				
	Kapasi- teetti (t/vuosi)	Laitos- määrä 2035 (kpl)	Lai- tos- määrä 2050 (kpl)	milj € / lai- tos	2035 (milj €)	2050 (milj €)	MMM tuki 40% 2035	MMM tuki 40% 2050	TEM tuki 30% 2035	TEM tuki 30% 2050	
Pieni	10000	100	120	1	100	20	40	8			
Keski	40000	35	40	15	525	75			157,5	22,5	
Iso	250000	8	10	35	280	70			84	21	
					905	165	40	8	241,5	43,5	
YH-TEENSÄ						1070		48		285	

WAM2 syöte yhteensä (t/vuosi, lantaa ja nurmea)											
	2035	7755158,82									
	2050	8485104,27									
				KOKO-NAISIN-VES-TOINTI		TARVITTU INVES-TOINTITUKI					

	Kapasi- teetti (t/vuosi)	Laitos- määrä 2035 (kpl)	Lai- tos- määrä 2050 (kpl)	milj € / lai- tos	2035 (milj €)	2050 (milj €)	MMM tuki 40% 2035	MMM tuki 40% 2050	TEM tuki 30% 2035	TEM tuki 30% 2050
Pieni	10000	140	140	1	140	0	56	0		
Keski	40000	65	80	15	975	225			292,5	67,5
Iso	250000	15	16	35	525	35			157,5	10,5
					1640	260	56	0	450	78
YH- TEENSÄ						1900		56		528

