

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PELTOBIOBIOMASSAN KESTÄVYYSKRITEERIT BIOKAASUN TUOTANNOSSA

Opinnäytetyö

TEKIJÄ Kirsi Pelkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Kirsi Pelkonen	
Työn nimi Peltobiomassan kestävyyskriteerit biokaasun tuotannossa	
Päiväys	29.4.2023
Sivumäärä/Liitteet	32/14
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Biokaasua pelloilta -hanke	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Leppävuiran Riikinnevalle sijoitettavasta biokaasulaitoksesta aloitettiin Wega Group Oy:n ja Riikinvoima Oy:n yhteistyö keväällä 2022. Valmistuessaan laitos tuottaisi nesteytettyä biokaasua (LBG) Riikinvoima Oy:n jätepolttolaitoksen sekajätteen biojakeesta ja lähialueen maatalouden sivuvirroista. Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliiton MTK:n paikallisyhdistykset Leppävuirralta, Joroisista ja Jäppilästä aloittivat Biokaasua pelloilta -hankkeen selvittämään lähialueen maatalousbiomassan tuotantoa biokaasulaitokselle ja biomassan tuotantoketjun kannattavuutta ja kestävyyttä. Tämä opinnäytetyö käsittelee biokaasulaitokselle toimitettavan peltobiomassan kestävyyskriteerejä ja se on tehty yhteistyössä Biokaasua pelloilta -hankkeen ja Wega Group Oy:n kanssa.</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin maatalousbiomassan kestävyyskriteerit ja tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla kasvihuonekaasupäästölaskuri. Peltobiomassojen kestävyyskriteeritarkastelun pohjana toimi EU:n uudelleen laadittu direktiivi (EU) 2018/2001 uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä (RED II). Kasvihuonekaasupäästölaskuria tarvittiin Biokaasua pelloilta -hankkeessa laskemaan biokaasulaitoksen raaka-aineena käytettävien peltobiomassojen elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt viljelyn alusta siihen asti, kun raaka-aine on toimitettu biokaasulaitoksen alueelle. Laskuriin tehtiin osiot myös biokaasulaitokseen toimitettavan lannan päästöhvytyksen laskemiselle ja mädätysjäännöksen lannoitekäytölle.</p> <p>Hankkeen peltobiomassojen alkuperäkriteeri täyttyi, koska maankäytössä ei ollut tapahtunut muutosta tammi-kuun 2008 jälkeen. Maatalousmaan jätteisiin ja tähteisiin liittyvä lisäkriteeri maan laatuun ja maaperän hiileen kohdistuvista vaikutuksista tulee täyttymään, kun mädätysjäännös palautetaan peltomaahan. Päästölaskurilla tehtiin ensimmäisen satoarvion mukainen kasvihuonekaasupäästölaskelma. Laskennalla saatiin raaka-aineen yksikköpäästö, joka kuvaa nesteytetyn biometaanin elinkaaripäästöjä ennen jalostuksen, lopputuotteen kuljetuksen ja loppukäytön päästöjä. Tämä yksikköpäästö sisällytetään biokaasun kestävyystarkasteluun ja kasvihuonekaasupäästövähennyksen toteutumisen arviointiin. Lopullisen hyväksynnän päästölaskennalle tekee Energiavirasto toiminnanharjoittajan kestävyysjärjestelmän hyväksymisen yhteydessä. Hyväksymisen jälkeen esim. biokaasu ja sen tuotanto voidaan osoittaa kestäväksi, mikä mahdollistaa mm. valtiontukea, alhaisempaa verosta ja laskemisen kansalliseen uusiutuvan energian osuuteen.</p>	
Avainsanat kestävyyskriteerit, kasvihuonekaasupäästö, peltobiomassa, biokaasu, mädäte	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author Kirsi Pelkonen	
Title of Thesis Sustainability Criteria of Field Biomass in Biogas Production	
Date 29 April 2023	Pages/Appendices 32/14
Client Organisation /Partners Biogas from Fields Project	
<p>Abstract</p> <p>In the spring of 2022, Wega Group Oy and Riikinvoima Oy started cooperation on the biogas plant to be in Riikinneva, Leppävirta. Once completed, the plant would produce liquefied biogas (LBG) from the bio fraction of mixed waste of Riikinvoima Oy's waste incineration plant and the agricultural side streams in the surrounding area. Local associations of The Central Union of Agricultural Producers and Forest Owners (MTK) from Leppävirta, Joroinen and Jäppilä started the Biogas from Fields Project. The project was started to investigate the production of agricultural biomass in the surrounding area for the biogas plant and the profitability and sustainability of the biomass production chain. This thesis deals with the sustainability criteria for field biomass delivered to the biogas plant and it was carried out in cooperation with the Biogas from Fields Project and Wega Group Oy.</p> <p>In the thesis the sustainability criteria for agricultural biomass were examined and a greenhouse gas (GHG) emission calculator using the Excel spreadsheet program was created. The review of the sustainability criteria for field biomass was based on a recast EU Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources (RED II). The GHG emission calculator was required in the Biogas from Fields Project to calculate the life cycle GHG emissions of the biogas plant's raw material from the start of cultivation until the raw material has been delivered to the biogas plant. Parts of the calculator were also made for calculating the emission credit for the manure delivered to the biogas plant and the fertiliser use of the digestate.</p> <p>As a result of the study, it can be stated that the origin criterion of the project's field biomasses was met because there had been no change in land use since January 2008. The additional criterion of soil quality and impacts on soil carbon related to farmland waste and residues will be met when the digestate is returned to arable land. The emission calculator was used to calculate GHG emissions according to the first harvest estimate. The calculation produced a unit emission of the raw material, which describes the life-cycle emissions of liquefied biomethane before emissions from processing, transport of the final product and end-use. This unit emission shall be included in the biogas sustainability review and in the assessment of the achievement of the GHG emission reduction. The final approval for the GHG emission calculation shall be carried out by the Energy Authority in the context of the operator's sustainability system approval. After the approval, e.g. biogas and its production can be shown to be sustainable, which will allow for, among other things, state aid, lower taxation and counting in the national renewable energy shares.</p>	
<p>Keywords sustainability criteria, greenhouse gas emissions, field biomass, biogas, digestate</p>	

LYHENNELUETTELO

AR = hallitustenvälisen ilmastopaneelin arviointiraportti, jossa on mm. määritelty lämmityspotentiaalikertoimet (GWP(100)). Arviointiraportit yksilöidään järjestysluvun mukaan esim. AR4 ja AR5.

CH₄ = metaani, hiilidioksidin jälkeen merkittävin kasvihuonekaasu ilmastomuutoksessa

CO₂ = hiilidioksidi, merkittävin kasvihuonekaasu

GWP(100) = lämmityspotentiaalikerroin, jonka avulla kaasun lämmitysvaikutusta ilmakehässä verrataan hiilidioksidiin sadan vuoden tarkastelujaksolla.

IPCC = hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli

ISCC = kansainvälinen kestävän kehityksen sertifiointijärjestelmä

Khk-päästö = kasvihuonekaasupäästö

MTK-yhdistys = Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliiton paikallisyhdistys

N₂O = dityppioksidi eli typpioksiduuli, pitoisuus ilmakehässä on pieni, mutta sen lämmittävä vaikutus on voimakas.

RED II = uudelleenlaadittu Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001 uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä.

REDcert GmbH = saksalainen maatalous- ja biopolttoaineteollisuuden yhdistysten ja organisaatioiden vuonna 2010 perustama yritys kestävyysmääräyksien soveltamiseen käytännössä.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	TAUSTAA	8
2.1	Lainsäädäntö	8
2.1.1	RED II-direktiivi	9
2.1.2	Kestävyyslaki	9
2.1.3	Jakeluveloitelaki	10
2.2	Kestävyysjärjestelmät	10
2.2.1	Kansallinen kestävyysjärjestelmä	11
3	MAATALOUSBIOMASSAN KESTÄVYYS	12
3.1	Maatalousbiomassan kestävyyskriteerit	12
3.1.1	Alkuperä	13
3.1.2	Kasvihuonekaasupäästövähennemävaatimus	13
3.2	Maatalousmaasta peräisin olevat jätteet ja tähteet	13
4	KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖLASKENTA	17
4.1	Päästölaskuri	20
4.2	Viljelyn päästöt e_{ec}	21
4.2.1	Lannoitteet ja muut syötteet	22
4.2.2	Työkoneet ja energia	22
4.2.3	Viljelylaskuri	23
4.2.4	Suorat ja epäsuorat typpioksiduulipäästöt	24
4.2.5	Kalkitus	26
4.3	Kuljetuksen päästöt e_{td}	26
4.3.1	Kuljetuslaskuri	27
4.4	Mädätysjäännös	27
4.4.1	Mädätelaskuri	28
4.5	Maankäytön muutokset e_l	28
4.6	Paremmista maatalouskäytännöistä saatavat hyvitykset e_{sca}	28
4.6.1	Lantalaskuri	29
4.7	Koostesivu	29
5	POHDINTAA	30
	LÄHTEET	33

LIITE 1: PELTOTIETOJEN MERKINTÄ VIJELYLASKURISSA	36
LIITE 2: SATOTIEDOT VIJELYLASKURISSA.....	37
LIITE 3: VIJELYN PÄÄSTÖT LASKURISSA	38
LIITE 4: PERUSTAMINEN/UUDISTAMINEN LASKURISSA	39
LIITE 5: KASVINTÄHTEIDEN TYPPI.....	40
LIITE 6: EPÄSUORAT N ₂ O-PÄÄSTÖT	42
LIITE 7: SUORAT TYPPIOKSIDUULIPÄÄSTÖT JA KASVINTÄHTEIDEN TYPEN LASKENTA	44
LIITE 8: ELOPERÄISEN MAAN PÄÄSTÖ, EPÄSUORAT TYPPIOKSIDUULIPÄÄSTÖT JA YHTEENVETO N ₂ O-PÄÄSTÖISTÄ	45
LIITE 9: KALKITUKSEN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT	46
LIITE 10: KALKITUKSEN PÄÄSTÖT LASKURISSA	47
LIITE 11: OSA KULJETUSLASKURIA	48
LIITE 12: OTE MÄDÄTELASKURISTA	49
LIITE 13: LANTALASKUJEN KAAVAT	50
LIITE 14: OTE KOOSTESIVULTA	51

KUVALUETTELO

KUVA 1. Maatalousbiomassan kestävyyskriteerit.....	12
KUVA 2. Laskentaohjeiden lähteitä	17
KUVA 3. Kuvaus laskurin välilehdistä	20
KUVA 4. Yksinkertaistettu kaavio kuvaa maatalousmaan jätteiden ja tähteiden khk-päästöjen laskentaa.....	21
KUVA 5. Osa taulukosta 4 Toiminnanharjoittajan kestävyyskriteeriohjeessa (Energiavirasto (3) 2022)	22
KUVA 6. Esimerkki koostesivun kaaviosta, jossa on nähtävillä viljelyn päästölähteet hehtaarille.....	29

1 JOHDANTO

Keväällä 2022 Wega Group Oy ja Riikinvoima Oy aloittivat yhteistyön Leppävirran Riikinnevalle sijoitettavasta biokaasulaitoksesta. Nesteytettyä biokaasua tuottava laitos käsittelee Riikinvoima Oy:n jätteenpolttolaitoksen sekajätteen biojätettä ja lähialueen maatalouden sivuvirtoja. Leppävirran, Joroisten ja Jäppilän Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliiton paikallisyhdistysten (MTK-yhdistysten) Biokaasua pelloilta -hanke aloitettiin selvittämään lähistön maaseutualueen biomassan tuotantoa biokaasulaitokselle ja biomassan tuotantoketjun kannattavuutta ja kestävyyttä.

Biokaasua pelloilta -hankkeessa tarjoutui tilaisuus opinnäytetyölle peltobiomassojen kestävyystarkastelussa ja kasvihuonekaasupäästöjen selvittämisessä. Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Biokaasua pelloilta -hankkeen ja Wega Group Oy:n kanssa. Opinnäytetyössä käsitellään peltobiomassan kestävyyskriteereitä biokaasun tuotannossa kansallisen kestävyysjärjestelmän pohjalta ja se on osa selvitystyötä, jolla varmistetaan biokaasulaitoksen toteutumista Leppävirran Riikinnevalle.

Opinnäytetyössä selvitetään hankkeessa arvioidun peltobiomassan kestävyyskriteerit, mutta työn painopiste on kasvihuonekaasulaskennan selvittämisessä ja laskennan siirtämisessä Excel-laskentataulukkomuotoon. Päästöjen laskenta rajautuu raaka-aineen osuuteen viljelyn alusta siihen asti, kun peltobiomassakuorma puretaan laitosalueelle, sisältäen myös mädätysjäännöksen kuljetuksen ja käytön pelloilla. Biokaasua pelloilta -hankkeessa Excel-laskurilla voidaan tehdä peltobiomassalle ensimmäisen satoarvion mukainen kasvihuonekaasupäästölaskenta. Laskennalla saatu raaka-aineen yksikköpäästö kuvaa nesteytetyn biometaanin elinkaaripäästöjä ennen jalostuksen, lopputuotteen kuljetuksen ja loppukäytön päästöjä. Raaka-aine ja sen yksikköpäästö on osana biokaasulaitoksen tuottaman biokaasun kestävyystarkastelussa ja kasvihuonekaasupäästövähennämisen toteutumisen arvioinnissa.

2 TAUSTAA

Vuonna 2015 solmittiin kansainvälinen Pariisin ilmastopöytäkirja ilmastomuutoksesta, myös Suomi on sopimuksen osapuolena. Sopimuksen tavoitteena on mm. rajata maapallon keskilämpötilan nousu 1,5 asteeseen verrattuna esiteolliseen aikaan kääntämällä kasvihuonekaasupäästöt laskuun maailmanlaajuisesti. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi sopimusosapuolet sitoutuvat kansallisiin päästövähennystavoitteisiin. (Ympäristöministeriö 2023.)

Euroopan unionilla on sitoumus olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä. Vuoteen 1990 verrattuna vuonna 2030 pitää olla vähennetty 55 prosenttia päästöistä, tämä välitavoite on nimeltään Fit for 55-ilmastopaketti tai 55-valmiuspaketti. Jotta tavoitteisiin olisi mahdollista päästä, mm. uusiutuvien polttoaineiden käyttöä pyritään edistämään EU:n direktiiveillä ja kansallisella lainsäädännöllä. Lainsäädännöllä ja valvonnalla halutaan myös varmistaa, että biopolttoaineiden ja bionesteiden tuotanto on kestävä kehityksen mukaista. (Energiavirasto (3) 2022; Valtioneuvoston kanslia 2023.)

Suomen tavoitteena on puolittaa kotimaisen liikenteen päästöt vuoteen 2030 mennessä. Vuoteen 2045 mennessä tavoitteena on täysin fossiiliton liikenne. Liikenteen sähköistyminen ei yksin riitä päästövähennyksiä toteuttamaan, vaan tarvitaan uusiutuvia polttoaineita, jotka ovat nopea keino vähentää päästöjä liikenteessä. Uusiutuvien polttoaineiden käyttöä, kuten nestemäisten biopolttoaineiden ja biokaasun, varmistetaan jakeluelvoitteella. Nesteytetty biokaasu (LBG) on jalostettua biokaasua, joka on metaania (CH₄) samoin kuin maakaasu. Biometaania voidaan käyttää maakaasun sijasta myös ajoneuvoissa ja koneissa. Biometaani on uusiutuvaa, hiilidioksidineutraalia polttoainetta, joka vähentää mm. liikenteen päästöjä verrattuna fossiilisiin (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry (2) 2023). Arvioiden mukaan tulevaisuudessa suurimmat käyttökohteet nesteytetylle metaanille ovat raskaassa liikenteessä, laivoissa ja teollisuudessa. (Bioenergia 2022; Suomen Biokierto ja Biokaasu ry (1) 2020.)

2.1 Lainsäädäntö

Kestävyyskriteerien tarkastelu pohjautuu Euroopan parlamentin ja neuvoston uudelleen laadittuun direktiiviin uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä (Direktiivi 2018/2001/EU). Laki biopolttoaineista, bionesteistä ja biomassapolttoaineista (393/2013) eli nk. Kestävyyslaki siirtää Red II-direktiivin Suomen kansalliseen lainsäädäntöön ja Laki uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä (446/2007), ns. Jakeluelvoitelaki, edistää uusiutuvien polttoaineiden käyttöä liikenteessä. Energiaviraston toiminnanharjoittajan kestävyyskriteeriohje täydentää lainsäädäntöä. Ohje on yleislonteinen, koska ohje on tarkoitettu monenlaisille toimijoille. Periaatteena siinä kuitenkin on jokaisen toiminnanharjoittajan kestävyysjärjestelmän luotettavuus, varmuus ja väärinkäytösten ehkäiseminen. (Energiavirasto (3) 2022.)

Lainsäädännöllä varmistetaan uusiutuvien polttoaineiden kestävyys asettamalla vaatimuksia ja rajoitteita raaka-aineille ja tuotannolle. Vastaavasti täyttämällä kestävyyskriteerit ja päästövähennystavoitteet toiminnanharjoittaja voi saada valtioneuvoston tukia, alhaisempaa verotusta ja mm. biomassapolttoaineelle nollapäästökertoimen ja jakeluelvoitteeseen laskemisen. Kestävyys osoittamalla uusiutuva

polttoaine voidaan laskea kansalliseen uusiutuvan energian osuuteen. Jos kestävyyskriteerit eivät täyty, biokaasun kanssa toimitaan kuin se olisi fossiilista alkuperää. (Energiavirasto (3) 2022.)

2.1.1 RED II-direktiivi

RED II -direktiivi annettiin joulukuussa 2018 ja se on otettu käyttöön osana kansallista lainsäädäntöä. Direktiivi sisältää unionin yleistavoitteen, jonka mukaan uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian osuus EU:n energian loppukulutuksesta olisi vähintään 32 prosenttia vuonna 2030. Suomi tavoittelee 51 prosentin osuutta uusiutuvassa energiassa vuonna 2030. Uusiutuvan energian osuus liikenteen energian loppukulutuksesta tulisi olla EU:ssa vuoteen 2030 mennessä 14 prosenttia. RED II -direktiivissä ohjeistetaan sitovat EU-tason kestävyyskriteerit biomassoille, joita käytetään energian tuotantoon. Kriteereillä varmistetaan, että bioenergian käytöstä saadaan kasvihuonekaasupäästöjen (myöh. khk-päästöt) vähennyksiä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin ja luonnon monimuotoisuutta suojellaan. Khk-päästösäästön lisäksi kriteereihin sisältyy biomassojen kasvattamista koskevia vaatimuksia. Direktiivin liitteistä löytyy kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan ohjeistusta ja oletusarvoja. (Motiva 2023; Maa- ja metsätalousministeriö 2023.)

Osana 55-valmiuspakettia Euroopan komissio on ehdottanut uusiutuvan energian direktiivin tarkistusta. Muutosehdotuksista äänestettiin syksyllä 2022, jonka jälkeen jäsenmaiden, parlamentin ja komission välillä käydään neuvotteluja ennen direktiivin päivityksen vahvistamista. Direktiivin päivitykseen liittyviä tässä yhteydessä kiinnostavia kantoja ovat, ettei raaka-ainevalikoimaa rajoiteta, uusiutuvan energian edistäminen on jatkossakin direktiiville ensisijaista ja uusiutuvan energian hankkeiden lupamenettelyjä kehitetään ja nopeutetaan. Esillä on myös kansallisen sääntelyn ja alueiden erityispiirteiden huomioiminen. (Valtioneuvoston kanslia 2023; Työ- ja elinkeinoministeriö 2022.)

2.1.2 Kestävyyslaki

Biopolttoaineiden, bionesteiden ja biomassapolttoaineiden kestävyys on Suomessa osoitettava ns. Kestävyyslain mukaan (Laki biopolttoaineista, bionesteistä ja biomassapolttoaineista 393/2013). Vuoden 2021 alusta voimaan tulleella muutoksella RED II:n mukaiset kestävyyskriteerit otettiin osaksi kansallista lainsäädäntöä (Laki biopolttoaineista ja bionesteistä annetun lain muuttamisesta 967/2020). Taulukossa 1 on esitetty maatalousbiomassojen kestävyyskriteerit. Kestävyyslain muutoksella ja direktiivillä pyritään varmistamaan, että Suomessa käytetyt biopolttoaineet, bionesteet ja biomassapolttoaineet tuotetaan ja käytetään kestäväällä tavalla. Silloin ne voidaan ottaa huomioon myös EU:n uusiutuvan energian tavoitteissa ja liikenteen jakeluvuorotteissa. (Valtioneuvosto 2023.)

TAULUKKO 1. Maatalousbiomassojen kestävyyskriteerit kestävyyslaissa (Kestävyyslaki 2013)

Maatalousbiomassa	<ul style="list-style-type: none"> • 6 §:n kasvihuonekaasupäästövähennysvaatimukset • 7–9 § alkuperään liittyvät kriteerit (kielleyt hankinta-alueet)
Maatalousmaasta peräisin olevat jätteet ja tähteet	<ul style="list-style-type: none"> • 5a § 2 momentti hallinta- ja seurantasuunnitelmat maan laatuun ja maaperän hiileen kohdistuvista vaikutuksista • 6 §:n kasvihuonekaasupäästövähennysvaatimukset • 7–9 § alkuperään liittyvät kriteerit (kielleyt hankinta-alueet)

2.1.3 Jakeluelvoitelaki

Jakeluelvoitelaki (Laki uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä) asettaa liikennepolttoaineiden jakelijoille ns. jakeluelvoitteen. Velvoite edellyttää jakelijan toimittavan kulutukseen vähimmäisosuuden uusiutuvia polttoaineita ja tämän lain tarkoituksena on edistää uusiutuvien polttoaineiden käyttöä. Vuoden 2022 alusta myös biokaasu kuuluu jakeluelvoitteen piiriin. Jakeluelvoite on prosenttiosuus kulutukseen toimitettavasta polttoaineesta ja se on vuonna 2023 13,5 prosenttia. Jakeluelvoite nousee asteittain ja on vuonna 2030 ja sen jälkeen 34 prosenttia. (Energiavirasto (6) 2023.)

Jakeluelvoitelaisissa säädetään, että ravinto- ja rehuksveista tuotettujen biopolttoaineiden ja biokaasun osuus saa olla enintään 2,6 prosenttiyksikköä liikennepolttoaineen jakeluelvoitteesta (Energiavirasto (2) 2021). Ravinto- ja rehuksveilla tarkoitetaan lähinnä paljon tärkkelystä sisältäviä viljelykasveja, joten nurmikasvit ja maatalousmaan jätteet ja tähteet eivät sisälly tähän (Energiavirasto (4) 2023). Tämä rajoitus, nk. Crop cap, on kuitenkin hyvä huomioida, jos liikennebiokaasun tuotantoon viljellään raaka-aineeksi esim. viljoja, rehuksveita tai sokerijuurikasta. Jos raaka-aineesta on epäselvyyttä, Energiavirastolta on mahdollista hakea ennakkotietopäätöstä biokaasun raaka-aineista. Ennakkotietopäätöksestä selviää, onko kyseinen raaka-aine jakeluelvoitelain mukaisesti kestävä. (Energiavirasto (3) 2022.)

2.2 Kestävyysjärjestelmät

Kestävyyskriteerien täyttyminen osoitetaan Energiavirastolle kansallisen tai vapaaehtoisen järjestelmän kautta. Vapaaehtoiset kestävyysjärjestelmät ovat EU:n komission hyväksymiä järjestelmiä biopolttoaineen, bionesteen tai biomassapolttoaineen kestävyys todistamiseen. Kolmas vaihtoehto raaka-aineen tai polttoaineen kestävyys näyttämiseen on kestävyystodistus, mutta sen perustana tulee olla hyväksytty kestävyysjärjestelmä. (Energiavirasto (3) 2022.) Tässä opinnäytetyössä käsitellään kestävyyttä kansallisen kestävyysjärjestelmän kautta, mutta vapaaehtoisia järjestelmiä on sivuttu päästölaskentaohjeiden vertailussa.

Kestävyyslain noudattamista valvoo Energiavirasto. Kestävyyjärjestelmää seurataan todentajan suorittamilla tarkastuksilla ja vuosittaisella Energiavirastolle toimitettavalla kestävyyskriteeriselvityksellä. Todentaja on Energiaviraston hyväksymä ulkopuolinen ja puolueeton yhteisö, säätiö tai osa tällaista. Jos toiminnanharjoittaja ei noudata kestävyyslakia Energiavirasto voi uhkasakolla määrätä tämän täyttämään velvollisuutensa tai kieltää jatkamasta kiellettyä toimintaa. Viimeisenä keinona Energiavirastolla on oikeus peruuttaa toiminnanharjoittajan kestävyysjärjestelmän hyväksymispäätös. (Energiavirasto (3) 2022.)

2.2.1 Kansallinen kestävyysjärjestelmä

Suomen kansallinen kestävyysjärjestelmä perustuu toiminnanharjoittajan kestävyysjärjestelmään, jolle haetaan Energiaviraston hyväksyntä. Kestävyysjärjestelmän vaatimukset kuvaillaan kestävyyslaissa ja Energiaviraston Toiminnanharjoittajan kestävyyskriteeriohjeessa. Kestävyysjärjestelmällä voidaan hyväksymisen jälkeen osoittaa mm. biomassapolttoaineen kestävyys. Energiavirasto määrittelee toiminnanharjoittajan oikeushenkilöksi tai luonnolliseksi henkilöksi, joka mm. ”-- tuottaa, valmistaa, hankkii, tuo maahan, luovuttaa kulutukseen tai käyttää raaka-ainetta, biopolttoainetta, bionestettä, biomassapolttoainetta tai niitä sisältäviä polttoaineita --” (Energiavirasto (3) 2022). Toiminnanharjoittaja voi olla esim. uusiutuvien polttoaineiden jakeluvelvollinen, valmisteverovelvollinen, päästökauppalaan mukainen toiminnanharjoittaja tai polttoaineen toimittaja. Tässä opinnäytetyössä toiminnanharjoittajalla tarkoitetaan liikennebiokaasun valmistajaa. Biomassapolttoaineiden kestävyyskriteerien täytyminen on osoitettava, jos niitä käytetään sähköä, lämpöä ja jäähdytystä tuottavassa kokonaislämpöteholtaan vähintään 20 MW laitoksessa ja 2 MW kaasumaista biomassapolttoainetta käyttävässä laitoksessa. Liikennepolttoaineeksi toimitetun biokaasun kestävyys on osoitettava tuotannon koosta riippumatta. (Energiavirasto (3) 2022.)

Toiminnanharjoittajan tulee tehdä tuotantoketjuista ja kestävyysjärjestelmästä riskinarviointi. Sillä tunnistetaan toiminnan ja kestävyysjärjestelmän riskit ja suunnitellaan riskien pienentämisen ja ehkäisemisen toimenpiteet. Myös todentajan tekemä lausunto kestävyysjärjestelmän vaatimustenmukaisuudesta on liitettävä kestävyysjärjestelmän hyväksymishakemukseen. (Energiavirasto (3) 2022.)

Kestävyysjärjestelmän tulee sisältää ainetase. Ainetaseeseen kirjataan mm. seoksesta poistettujen ja lisättyjen kestävyysominaisuuksiltaan poikkeavien raaka-aine-erien tiedot. Lisättyjen ja poistettujen erien määrien ja kestävyysominaisuuksien on vastattava toisiaan. Ainetasemenetelmään perustuvalla järjestelmällä toiminnanharjoittaja varmistaa raaka-ainetuotannon ja khk-päästövähennämisen vaatimuksenmukaisuuden. (Energiavirasto (3) 2022.)

Toiminnanharjoittajien, joilla on kestävyysjärjestelmä, on toimitettava kestävyyskriteeriselvitys vuosittain Energiavirastolle. Selvityksessä ilmoitetaan mm. kulutukseen luovutetun biopolttoaine-erän tuotantoon käytettyjen raaka-aineiden tiedot, vuotuiset jakelumäärät, valmistetun biopolttoaine-erän raaka-aineita koskevat tiedot, biopolttoainemäärä ja kestävyyskriteerien täyttymisen osoittaminen. Selvityksellä valvotaan, että biopolttoaineiden valmistuksessa käytettävät raaka-aineet ovat kestäviä. (Energiavirasto (3) 2022.)

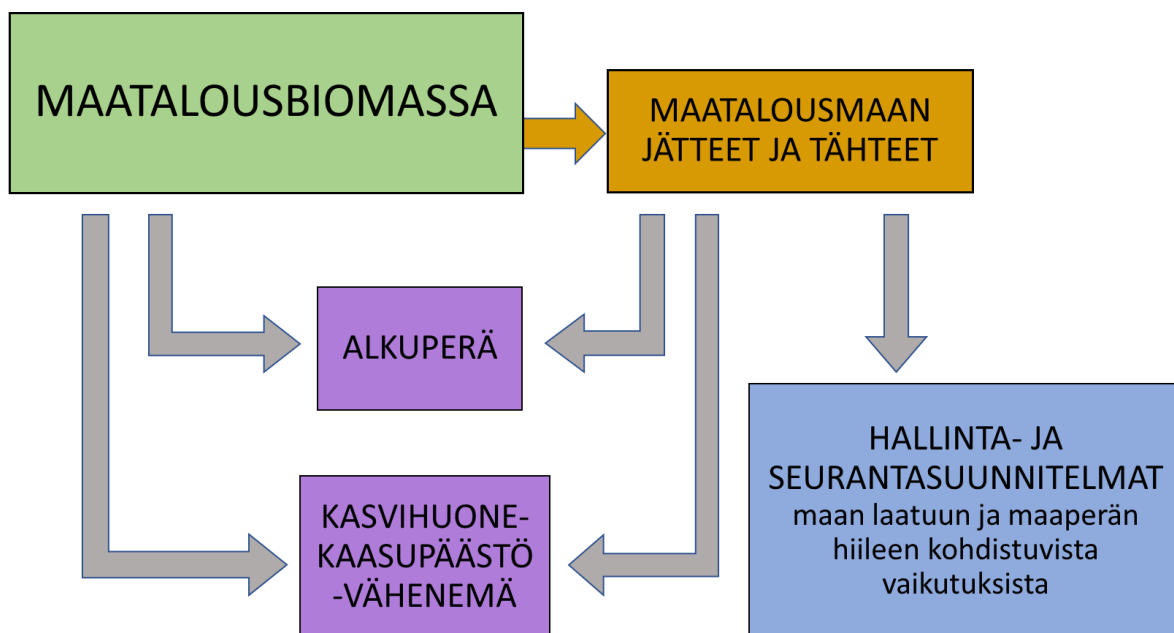
3 MAATALOUSBIOMASSAN KESTÄVYYS

Biokaasun tuotannossa käytetään erilaisia orgaanisia raaka-aineita, joita biokaasuprosessin mikrobit hajottavat, jolloin syntyy biokaasua. Raaka-aineiksi sopivat mm. teollisuuden biohajoavat jätteet, kauppojen elintarvikejätteet, biojäte, jätevesilietteet ja maatalouden biomassat. (Gasum 2023.) Maatalouden biomassoja ovat viljely- ja rehukasvit, maatalousmaan jätteet ja tähteet ja tuotantoeläinten lannat. Tässä opinnäytetyössä keskitytään maatalouden biomassojen ja erityisesti pelto- biomassojen kestävyiden tarkasteluun.

3.1 Maatalousbiomassan kestävyyskriteerit

Maatalousbiomassa sisältää maataloudessa tuotetun biomassan lisäksi maatalousmaan jätteet ja tähteet. Peltobiomassoista esimerkiksi biokaasulaitosta varten viljelty nurmi on maatalousbiomassaa ja viherlannoitusnurmi viljelykierron kuuluu jäte ja tähte -luokitukseen. Vaatimuksena kestävyiden osoittamiselle ovat kasvihuonekaasupäästövähennemä ja alkuperään liittyvät kriteerit. Jätteillä ja tähteillä on edellisten lisäksi asetettu lisäkriteeri seuranta- ja hallintasuunnitelmista maan laatuun ja maaperän hiileen kohdistuvista vaikutuksista (kuva 1). (Energiavirasto (3) 2022.)

Kaikkien kestävyyskriteerien tulee täytyä. Raaka-aine ei ole kestävää jos alkuperäkriteeri ei täyty, vaikka khk-päästövähennemä olisi veloitettua suurempi. Syynä voi olla muutos maankäytössä vuoden 2008 tammikuun jälkeen. Raaka-aine ei ole kestävää esim. silloinkaan, kun jätteisiin ja tähteisiin luokitellusta oljesta kerätään kaikki joka vuosi, mutta vastaavaa määrää oljesta muodostuvaa mädätysjäännöstä ei palauteta maahan. (Energiavirasto (3) 2022.)



KUVA 1. Maatalousbiomassan kestävyyskriteerit

3.1.1 Alkuperä

Alkuperäkriteerit koskevat sekä maatalousbiomassaa että maatalousmaasta peräisi olevia jätteitä ja tähteitä. Kriteerit koskevat biologisesti monimuotoisia alueita, maankäytön muutoksia ja turvemaiden kuivattamista tammikuun 2008 jälkeen. (Energiavirasto (3) 2022.)

Maatalousbiomassaa ei saa kerätä aarniometsästä tai muuten biologisesti monimuotoisesta lajirikkaasta metsästä tai puustoiselta alueelta, luonnonsuojelualueilta eikä yli hehtaarin suuruiselta erityisen monimuotoiselta ruohoalueelta. Kestävyyslain mukaan on silti mahdollista kerätä maatalousbiomassaa suojelualueilta, jos raaka-aineen tuotanto ei häiritse luonnonsuojelutarkoitusta. (Energiavirasto (3) 2022.)

Maatalousbiomassa ei saa olla peräisin alueelta, jossa on tammikuun 2008 jälkeen tapahtunut maankäytön muutos, esim. tehty peltomaata kosteikosta, pysyvästi metsän peittämästä alueesta tai alueesta, jonka latvuspeittävyys on 10–30 prosenttia. Maatalousbiomassaa voisi hankkia kosteikoilta ja pysyviltä metsämailta, jos maankäyttöluokkaan ei tule muutosta. Tätä toimintaa voi olla kosteikkoviljelyssä tai peltometsätaloudessa. Pilaantuneella maalla viljelystä on mahdollista saada päästöhyytystä 29 g CO₂-ekv/MJ_{biokaasu}, mutta tämä edellyttää näyttöä maaperän laadun paranemisesta, esim. hiilivarantojen säännöllisestä kasvusta. Pilaantuneella maalla tarkoitetaan vakavasti huonontunut maata, joka on erittäin suolaantunut, eroosion kuluttama tai jonka eloperäisen aineen pitoisuus on hyvin alhainen. (Energiavirasto (3) 2022.)

Maatalousbiomassa ei ole kestävää, jos se on peräisin turvemaalta, joka on kuivatettu tammikuun 2008 jälkeen. Kuivatettu turvemaata on uudisojitettua turvemaata, jonka pohjaveden pinta on laskenut, puusto elpynyt ja suokasvillisuus muuttunut. Maatalousbiomassa katsotaan kuitenkin alkuperältään kestäväksi, jos turvemaan kuivatus on tapahtunut ennen tammikuuta 2008 tai kuivatusta ei ole tapahtunut ollenkaan. Myös turvemaan kunnostusojitus on sallittua, jos kuivatus on tapahtunut ennen tammikuuta 2008. (Energiavirasto (3) 2022.)

3.1.2 Kasvihuonekaasupäästövähennysvaatimus

Khk-päästövähennyskriteerissä biopolttoaineen, bionesteen tai biomassapolttoaineen elinkaaren aikaisia päästöjä verrataan korvaavan fossiilisen polttoaineen päästöihin. Ennen vuotta 2015 toiminnan aloittaneen laitoksen tuottaman liikenteeseen tuotetun mm. biokaasun khk-päästövähennys on oltava vähintään 50 prosenttia ja vuoden 2015 jälkeen aloittaneen laitoksen vähintään 60 prosenttia. Jos laitos on aloittanut toimintansa tammikuun 2021 jälkeen, biokaasun päästövähennys on oltava vähintään 65 prosenttia. Liikennealalla kulutetun biokaasun khk-päästöjä verrataan fossiiliseen vertailuarvoon 94 g CO₂-ekv/MJ. (Energiavirasto (3) 2022.)

3.2 Maatalousmaasta peräisin olevat jätteet ja tähteet

Maatalouden jätteet ja tähteet on laaja kokonaisuus, johon kuuluu eloperäisen jätteen lisäksi kaikki maataloudesta syntyvä jätemateriaali mm. lannoitteiden muovisäkit. *Maatalousmaasta* peräisin ole-

viin jätteisiin ja tähteisiin sen sijaan kuuluu kasveja ja kasvinosia, joista esimerkkejä on lueteltu taulukossa 2. Energiavirastolta voi epäselvissä raaka-ainetapauksissa hakea jäte ja tähte -luokitukseen kuulumisesta ennakkotietopäätöstä (Energiavirasto (3) 2022).

TAULUKKO 2. Maatalousmaasta peräisin olevia jätteitä ja tähteitä (Luonnonvarakeskus (2) 2021; Energiavirasto (3) 2022)

Olki ja muut puintitähteet
<p>Aluskasvit/kerääjäkasvit</p> <p>Aluskasvit ovat kasveja, jotka peittävät maaperää varsinaisten satokasvien välissä. Kerääjäkasvit sitovat satokasvilta käyttämättä jääneitä ja maasta vapautuvia ravinteita.</p>
<p>Naatit, esimerkiksi sokerijuurikkaan naatit (jos syntyy korjuun yhteydessä)</p>
<p>Viherlannoitusnurmi</p> <p>Viherlannoitusnurmen avulla maahan lisätään typpeä palkokasvien biologisen typensidonnan avulla.</p>
<p>Suojavyöhykenurmi</p> <p>Suojavyöhyke on pellolla yli kolme metriä leveä vyöhyke, joka rajoittuu vesistön tai valtaojan reunaan. Sen tarkoitus on vähentää pellolta tulevaa eroosiota ja ravinnekuormitusta vesistöön.</p>
<p>Luonnonhoitopeltonurmi</p> <p>Luonnonhoitopeltonurmet ovat lannoittamattomia nurmia. Kasvuston perustamisen jälkeen niitä ei saa muokata eikä niillä saa käyttää kasvinsuojeluaineita. Luonnonhoitopeltonurmet vähentävät eroosiota ja vesistöjen typpikuormitusta. Lisäksi ne vaikuttavat myönteisesti luonnon monimuotoisuuteen.</p>
Pilaantunut rehu ja nurmi, joka ei kelpaa eläinrehuksi
Rehutuotannon ylijäämät ja reuhävikit ruokinnan yhteydessä

Maatalousmaasta peräisin olevan jätteen ja tähteen pitää täyttää alkuperään ja kasvihuonekaasupäästövähennykseen liittyvät kestävyyskriteerit, mutta niiden elinkaaripäästöjen laskeminen aloitetaan vasta korjuusta tai keräilystä lähtien. Maatalousmaan jätteille ja tähteille on myös asetettu kestävyyslaissa lisäkriteeri (Kestävyyslaki 5 a § 2 momentti). Lisäkriteeri edellyttää toiminnanharjoittajalta seuranta- ja hallintasuunnitelmia, joilla seurataan maan laatua ja maaperän hiileen kohdistuvia vaikutuksia. Lisäkriteerillä pyritään ylläpitämään maan laatua. (Energiavirasto (3) 2022.)

Mädätteen palautuksella peltoon säilytetään maan laatua ja estetään hiilen vähenemää maaperässä. Lisäkriteeri voidaan osoittaa täytyneeksi mädätteen palauttamisella. Mädätteestä ja sen

lannoitekäytöstä on kerrottu lisää kappaleessa 4.4. Ilman mädätteen palautusta lisäkriteeri täyttyy, jos raaka-aineena on jokin taulukossa 3 lueteltu raaka-aine. (Energiavirasto (3) 2022.)

TAULUKKO 3. Lisäkriteerin täyttäviä raaka-aineita (Luonnonvarakeskus (2) 2021; Energiavirasto (3) 2022)

Luomupeltoviljelyn tähteet
Olki, kun puolet olkimassasta jätetään peltoon. Tai vain joka toinen vuosi kerätään koko olkimassa.
Suojavyöhykkeiden, luonnonhoitopeltojen tai viherlannoitusnurmen kasvusto
Pilaantunut rehu ja nurmi, jota ei voi käyttää eläinrehuna
Rehutuotannon ylijäämät ja reuhävikit ruokinnassa

Yllä mainittujen raaka-aineiden lisäksi sovelletaan maan laatua ja maaperän hiilivarastoja edistäviä hyviä maatalouskäytäntöjä (taulukko 4). Niittotähteen (ts. sängen) poltto on Suomessa kielletty vuodesta 2021 lähtien. Kiellolla pyritään maaperän eloperäisen aineksen säilymiseen. (Energiavirasto (3) 2022; Ruokavirasto 2022.)

TAULUKKO 4. Hyviä maatalouskäytäntöjä (Luonnonvarakeskus (2) 2021; Energiavirasto (3) 2022)

1. Monipuoliset viljelykierrot	Vähintään viiden eri kasvin viljelykierto sisältäen vähintään yhden palkokasvin.
2. Maanpeitekasvien käyttö	Maanpeitekasvien kylvö paikallisilla lajiseoksilla sisältäen vähintään yhden palkokasvin. Tavoitteena on, että tilan peltoalasta on vuosittain katettuna vähintään 75 %.
3. Maaperän tiivistymisen ehkäiseminen	Toimenpiteet pelloilla suunnitellaan niin, että voidaan välttää märällä pellolla liikkumista, märkien peltojen muokkausta vältetään.
4. Niittotähteen polton välttäminen	Poikkeuksena tapaukset, joissa polttokehotus on annettu kasvinterveyteen liittyvistä syistä.
5. Happamien maiden kalkitus	Kalkitusta suositellaan tapauksissa, joissa sillä on kasvintuotantoon positiivinen vaikutus.

Toiminnanharjoittaja voi täyttää lisäkriteerin osoittamalla seuranta- ja hallintajärjestelmillä hyvien maatalouskäytäntöjen soveltamisen tai näytön em. lisäkriteerin täyttävistä raaka-aineista. Vaihtoeht-

tona on ilmoittaa kestävyysjärjestelmän kuvauksessa, että biokaasulaitoksen mädätysjäätös palautetaan peltomaahan. Joka tapauksessa lisäkriteerin täyttäminen edellyttää toiminnanharjoittajalta sisäistä tiedonhallintajärjestelmää, jolla varmistetaan tietojen oikeellisuus ja vaatimuksien toteutuminen. (Energiavirasto (3) 2022.)

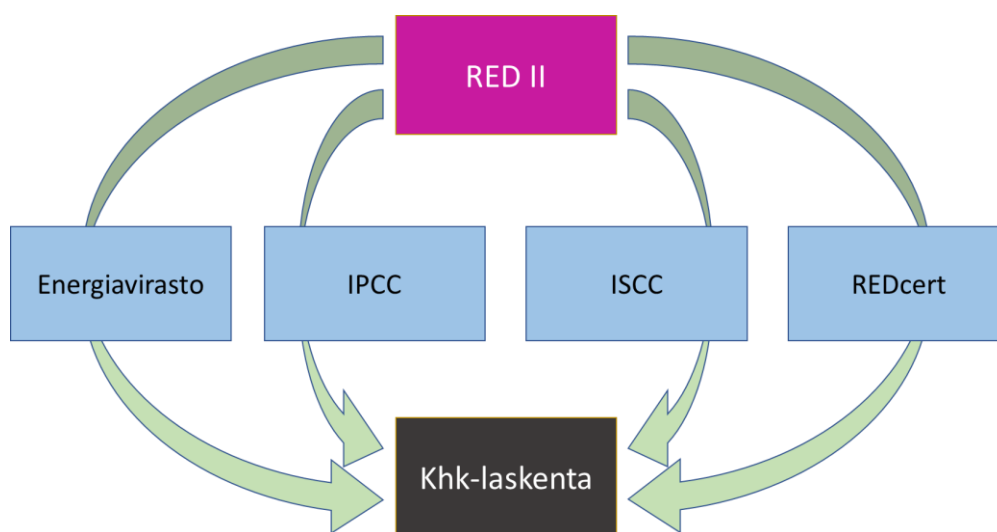
Seuranta- ja hallintasuunnitelmat edellyttävät maataloilta vuosittaista ilmoitusta toiminnanharjoittajalle osoituksena hyvien maatalouskäytäntöjen soveltamisesta. Ilmoituksessa kerrotaan maatalon tyyppi, mitä viljellään ja mitä menetelmiä ja seuranta-tilalla käytetään maan laatuun ja maaperän hiileen liittyen. Tässä voi hyödyntää mm. peltolohkokisteriä ja muistiinpanoja, joita Ruokavirasto muutenkin tilalla edellyttää. (Energiavirasto (3) 2022.)

4 KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖLASKENTA

Opinnäytetyössä laskettiin todelliset kasvihuonekaasupäästöt peltobiomassan ja lannan osalta biokaasulaitoksen raaka-aineina viljelystä siihen saakka, kun raaka-aine puretaan biokaasulaitoksen alueelle. Lannan päästöt laskettiin kuljetuksesta, jotka vähennettiin lantahyvityksestä. Laskentaan otettiin mukaan mädätteen lannoitekäytön päästöt kuljetuksesta ja levityksestä pellolle.

Laskenta tehtiin RED II-direktiivin mukaisesti. Laskennan voisi suorittaa käyttämällä direktiivin liitteissä annettuja oletusarvoja, mutta biokaasun raaka-aineista valittavana on arvoja vain lannalle, maissille ja biojätteelle (Direktiivi 2018/2001/EU). Koska esimerkiksi nurmelle ei ole oletusarvoja, päätettiin laskea todellisia päästöjä direktiivin ohjeiden mukaisesti. Työskentelin Biokaasua pelloilta -hankkeessa työntekijänä, mutta opinnäytetyö oli hankkeen ulkopuolista työtä. Hankkeessa sovittiin, että tarvittavat päästökertoimet ja niiden hakeminen ei kuulunut opinnäytetyöhön, vaan etsin ne hanketyönä. Päästölaskennassa käytin myös hankkeeseen ostopalveluna tilattuja lähtötietoja eri kasveille ja kasviseoksille. Tarvittavia tietoja olivat mm. satotaso hehtaarille, kuiva-aineprosentti ja kaasuntuottopotentiali.

Energiaviraston Toiminnanharjoittajan kestävyyskriteeriohjeessa RED II:n mukainen laskenta viljelylle on selitetty pääpiirteittäin, mutta typpioksiduulipäästöjen laskentaa ei ole avattu, vaan ohjataan käyttämään Hallitustenvälisen ilmastopaneelin (IPCC) laskentaohjeita. Toiminnanharjoittajan ohjeessa on mainittu ensisijaisia tietolähteitä, mm. Kansainvälinen kestävä kehityksen sertifiointijärjestelmä (ISCC). ISCC on yksi Euroopan komission tunnustamista vapaaehtoisista kestävyysjärjestelmistä, jonka EU-sertifiointijärjestelmän perusteet on toteutettu RED II:n mukaan. Laskentaohjeita verrattiin myös REDcert -vapaaehtoisen kestävyysjärjestelmän ohjeisiin. REDcert GmbH on saksalaisten maatalous- ja biopoltoaineteollisuuden yhdistysten ja organisaatioiden vuonna 2010 perustama yritys kestävyysmääryksien käytäntöön soveltamiseen (REDcert GmbH 2021). Kuvassa 2 on laskentaohjeiden lähteet.



KUVA 2. Laskentaohjeiden lähteitä

Opinnäytetyötä varten khk-päästöjen laskentakaavojen yksityiskohtia kysyttiin Energiavirastolta. Opinnäytetyötä tehdessä hankkeen tiedossa ei ollut vastaavaa liikennepolttoainetta tuottavaa bio-kaasulaitosta, jonka raaka-aineina käytetään merkittäviä määriä peltobiomassoja. Ennakkotapauksen puuttumisen takia kattavaa ohjetta päästökertoimien ei vielä laskennan tekohetkellä ollut olemassa ja siksi Energiavirasto pystyi antamaan vain alustavia vastauksia kysymyksiin khk-laskennasta.

Kasvihuonekaasupäästöihin lasketaan biokaasun raaka-aineiden tuotannosta syntyneet hiilidioksidi (CO_2), metaani- (CH_4) ja typpioksiduulipäästöt (N_2O). Nämä päästöt muutetaan yhtenäisiksi käyttämällä lämmityspotentiaalikerrointa ($\text{GWP}(100)$), jonka avulla kaasun lämmitysvaikutusta ilmakehässä verrataan hiilidioksidiin sadan vuoden tarkastelujaksolla. EU:n alaiseen raportointiin käytetään IPCC:n tietyin aikavälein arviointiraporteissa (AR) päättämiä $\text{GWP}(100)$ -kertoimia (taulukko 5). Arviointiraportit yksilöidään järjestysluvun mukaan esim. AR4 ja AR5. $\text{GWP}(100)$ -kertoimilla kasvihuonekaasut yhtenäistetään hiilidioksidiekvivalenteiksi ja yksikkönä käytetään hiilidioksidiekvivalenttigrammaa [$\text{g CO}_2\text{-ekv}$]. (Tilastokeskus (2) 2023.)

RED II -direktiivissä GWP -kertoimet ovat IPCC:n neljännen arviointiraportin (AR4) mukaisia, mutta mm. Tilastokeskuksella oli jo käytössä AR5:n mukaiset kertoimet (Tilastokeskus (1) 2022). Myös tässä laskennassa käytettiin uudempia AR5:n lukuja.

TAULUKKO 5. IPCC:n arviointiraporttien mukaiset $\text{GWP}(100)$ -kertoimet (Tilastokeskus (1) 2022)

Kasvihuonekaasu	AR4	AR5
Hiilidioksidi, CO_2	1	1
Metaani, CH_4	25	28
Typpioksiduuli, N_2O	298	265

RED II -direktiivin liitteessä VI B. on annettu kaava (1) tosiasiallisten khk-päästöjen laskentaan biometaanin tuottavassa biokaasulaitoksessa (Direktiivi 2018/2001/EU):

$$E = \sum_1^n S_n \times (e_{ec,n} + e_{td,raaka-aine,n} + e_{l,n} - e_{sca,n}) + e_p + e_{td,tuote} + e_u - e_{ccs} - e_{ccr} \quad (1)$$

jossa E = biokaasun tai biometaanin tuotannosta aiheutuvat kokonaispäästöt ennen energianmuuntoa [$\text{g CO}_2\text{-ekv/MJ}$],

S_n = raaka-aineen n osuus, osuutena mädätysäiliöön syötettävästä,

$e_{ec,n}$ = raaka-aineen n tuotannosta tai viljelystä aiheutuvat päästöt [$\text{g CO}_2\text{-ekv/MJ}$],

$e_{td,raaka-aine,n}$ = raaka-aineen n kuljetuksesta mädätyskäyttöön aiheutuvat päästöt [g CO₂-ekv/MJ],

$e_{l,n}$ = maankäytön muutoksista johtuvista hiilivarantojen muutoksista aiheutuvat vuositteiset päästöt raaka-aineen n osalta [g CO₂-ekv/MJ],

e_{sca} = raaka-aineeseen n liittyvistä paremmista maatalouskäytännöistä saatavat vähennykset päästöissä (hyvitys -45 g CO₂-ekv/ lannan megajoule paremmista maatalouskäytännöistä ja lannan paremmasta käsittelystä) [g CO₂-ekv/MJ],

e_p = jalostuksesta aiheutuvat päästöt [g CO₂-ekv/MJ],

$e_{td,tuote}$ = biokaasun ja/tai biometaanin kuljetuksesta ja jakelusta aiheutuvat päästöt [g CO₂-ekv/MJ],

e_u = polttoaineen käytön aikaiset päästöt, ts. poltettaessa syntyneet kasvihuonekaasupäästöt [g CO₂-ekv/MJ],

e_{ccs} = hiilidioksidin talteenotosta ja geologisesta varastoinnista saatavat vähennykset päästöissä [g CO₂-ekv/MJ] ja

e_{ccr} = hiilidioksidin talteenotosta ja kaupallisissa tuotteissa ja palveluissa käytettävän fossiilisen hiilidioksidin korvaamisesta saatavat vähennykset päästöissä [g CO₂-ekv/MJ].

Raaka-aineen päästöt ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttigrammoina hehtaarille vuodessa [g CO₂-ekv/ha*vuosi] ja/tai raaka-aineen megajoulea kohti [g CO₂-ekv/MJ_{polttoaine}] (Energivirasto (3) 2022). Peltobiomassan kasvihuonekaasupäästöt lasketaan käyttämällä edellisen kaavan (1) raaka-aineen osaa:

$$E = e_{ec} + e_{td,raaka-aine} + e_l - e_{sca} \quad (2)$$

jossa E = biometaanin tuotannosta aiheutuvat raaka-aineen päästöt [g CO₂-ekv/MJ],

e_{ec} = raaka-aineen tuotannosta tai viljelystä aiheutuvat päästöt [g CO₂-ekv/MJ],

$e_{td,raaka-aine}$ = raaka-aineen kuljetuksesta mädätyskäyttöön aiheutuvat päästöt [g CO₂-ekv/MJ],

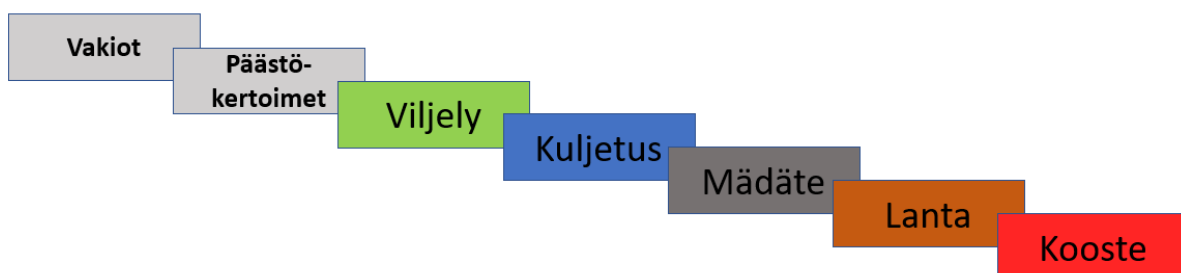
e_l = maankäytön muutoksista johtuvista hiilivarantojen muutoksista aiheutuvat vuositteiset päästöt raaka-aineen osalta [g CO₂-ekv/MJ] ja

e_{sca} = raaka-aineeseen liittyvistä paremmista maatalouskäytännöistä saatavat vähennykset päästöissä (hyvitys 45 gCO₂ekv/ lannan megajoule paremmista maatalouskäytännöistä ja lannan paremmasta käsittelystä) [g CO₂-ekv/MJ].

4.1 Päästölaskuri

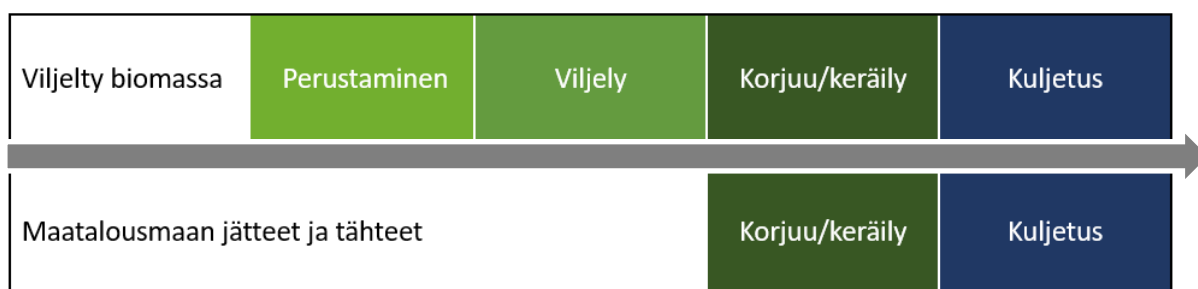
Excel-laskentaohjelmalla tehty khk-päästölaskuri rakennettiin niin, että laskenta suoritettiin yhdelle riville. Jäte- ja tähdeluokitukseen kuuluville peltobiomassoille tehtiin oma rivi ns. päärivin alle, jotta ne olisi helpompi erottaa viljelystä biomassasta (liite 1). Näitä rivejä kopioidaan alas tarvittava määrä peltolohkoittain ja/tai eri kasvien ja kasviseosten mukaan, jotka valitaan viljelylaskurin satotieto-osion pudotusvalikosta (liite 2). Viljelylaskurista satotiedot poimitaan muihin laskureihin.

Laskureissa merkittiin vihreällä pohjavärillä solut, joihin täytetään muuttuvat arvot ja kirkkaammalla vihreällä merkittiin pudotusvalikoiden solut. Päästökertoimet ja vakiotiedot koottiin omille välilehdilleen ja viljely-, kuljetus-, mädäte- ja lantalaskurit myös erillisille välilehdilleen (kuva 3). Vakiot ja lähötiedot voi lajitella useammalle välilehdelle, jolloin jatkossa tietojen päivittäminen on helpompaa. Jokaisessa laskuriosiossa rivin loppuun kerättiin khk-päästöt eriteltynä hehtaarille [kgCO₂-ekv/ha*vuosi] ja tuotetulle biokaasulle [gCO₂-ekv/MJ]. Liitteessä 3 on esimerkkinä kuvakaappaus viljelylaskurin yhteenveto-osasta. Lopuksi tehtiin koostesivu, jolle päästöt kerätään yhteen ja esitetään diagrammeina.



KUVA 3. Kuvaus laskurin välilehdistä

Viljeltyjen biomassojen päästölaskenta aloitettiin lannoitteiden ja muiden tuotannon syötteiden valmistuksen päästöistä. Jätteiden ja tähteiden päästöt laskettiin vasta niiden keräilystä alkaen (kuva 4). Laskennassa mm. sato ja syötteet laskettiin yksikössä kilo hehtaarille vuodessa [kg/ha*vuosi], koska valtaosa päästökertoimista on yksikössä [kg CO₂-ekv/ha*vuosi]. Ysikkö muutetaan hiilidioksidiekvivalenttigrammoiksi koostesivulla. Khk-päästö hehtaarille saatiin kertomalla esimerkiksi koko vuoden aikana hehtaarille käytetty typpimäärä kiloina typen päästökertoimella, jossa on huomioitu typen valmistuksesta aiheutuneet khk-päästöt. Päästö tuotettua biokaasun megajoulea kohti [kg CO₂-ekv/MJ_{biokaasu}] saatiin, jakamalla hehtaaripäästö energiasadolla hehtaarille [MJ/ha]. Laskurin lähötiedoissa energiasato hehtaarille oli ilmoitettu megawattitunteina ja se saatiin megajouleiksi kertomalla megawattitunnit ensin tuhannella ja vielä kertomalla luvulla 3,6.



KUVA 4. Yksinkertaistettu kaavio kuvaa maatalousmaan jätteiden ja tähteiden khk-päästöjen laskentaa.

4.2 Viljelyn päästöt e_{ec}

Peltobiomassan viljelystä aiheutuvat päästöt muodostuvat polttoaineen ja apuenergian käytöstä viljelyprosessissa, korjuussa ja peltokuljetuksissa, sekä erilaisista viljelyssä tarvittavien syötteiden valmistuksen päästöistä ja suorista ja epäsuorista typpioksiduulipäästöistä. Vuoden aikana hehtaarille käytettyjen lannoitteiden, muiden käytettyjen syötteiden, polttoaineen ja apuenergian määrä kerrottiin kunkin omalla päästökertoimella, jolloin saatiin hehtaarikohtaiset khk-päästöt. Kun nämä päästöt ja N_2O -hehtaari-päästöt (typpioksiduulin laskenta on kappaleessa 4.2.4) laskettiin yhteen, saatiin viljelyn vuosittainen khk-päästö hehtaarille (kaava 3). Monivuotisten nurmikasvustojen perustamisesta aiheutuvat päästöt jaettiin uudistamisvälivuosille, jolloin päästöt jakautuivat tasaisemmin. Tämä käytäntö perusteltiin sillä, että myös IPCC:n suoria ja epäsuoria N_2O -päästöjä koskevassa ohjeessa kasvin-tähteiden maanalaisen kasvinosan typpimäärä jaetaan uudistamisvälivuosille (IPCC (1) 2006).

$$E_{ec} = P_{lannoite} + P_{syöte} + P_{polttoaine} + P_{sähkö} + P_{N_2O} \quad (3)$$

jossa E_{ec} = viljelyn hehtaarikohtaiset khk-päästöt $\left[\frac{kgCO_2-ekv}{ha*vuosi}\right]$,

$P_{lannoite}$ = lannoitteiden tuotannon päästöt $\left[\frac{kgCO_2-ekv}{ha*vuosi}\right]$,

$P_{syöte}$ = viljelyssä käytettyjen syötteiden päästöt $\left[\frac{kgCO_2-ekv}{ha*vuosi}\right]$,

$P_{polttoaine}$ = viljelyssä käytetyn polttoaineen päästöt $\left[\frac{kgCO_2-ekv}{ha*vuosi}\right]$,

$P_{sähkö}$ = viljelyssä käytetyn apuenergian päästöt $\left[\frac{kgCO_2-ekv}{ha*vuosi}\right]$ ja

P_{N_2O} = viljelystä aiheutuneet typpioksiduulipäästöt $\left[\frac{kgCO_2-ekv}{ha*vuosi}\right]$.

4.2.1 Lannoitteet ja muut syötteen

Lannoitteiden, kylvösiemenien ja mahdollisten kasvinsuojeluaineiden valmistuksen päästöt laskettiin kertomalla kilomäärä vuodessa syötekohtaisella päästökertoimella. Näiden laskennassa huomioidaan vain aktiivisen ainesosan kilomäärä vuodessa. (ISCC 2021.)

Lannoitteiden khk-päästöjen laskentaohjeista löytyi eroja. Energiaviraston ohjeessa lannoitteille ja torjunta-aineille tulisi laskea sekä tuotannon että käytön päästöt (kuva 5). ISCC:n ohjeessa näille lasketaan vain tuotannon päästö ja synteettisestä typpilannoitteesta N₂O-päästöt (ISCC 2021). Va-paaehtoisesta kestävyysjärjestelmä REDcertin ohjeessa lannoitteen päästöissä käytetään tuotannon päästökerronta ja pellon päästökerronta (REDcert GmbH 2021). Pellon päästökerronin selitetään kuitenkin N₂O-päästöjen kertoimeksi, joten tulkittiin, että Energiavirastonkin ohjeessa käytön päästöillä tarkoitetaan lannoitteen tyyppioksiduulipäästöjä suorissa ja epäsuorissa N₂O-päästölaskennoissa. Tätä varmistettiin sähköpostikyselyllä Energiavirastolta, josta todettiin asian todennäköisimmin olevan näin (Energiavirasto (5) 2022).

TAULUKKO 4 RAAKA-AINEIDEN VIJELYN PÄÄSTÖJÄ AIHEUTTAVAT TEKIJÄT.

Tekijä		Päästölähde
Viljelyssä käytettävät työkoneet ja ajoneuvot		Polttoaineen valmistuksen ja käytön päästöt
Lannoitteet		Lannoitteiden valmistuksen ja käytön päästöt
Torjunta-aineet		Torjunta-aineiden valmistuksen ja käytön päästöt
Typpilannoitteet		Typpilannoitteiden käytön ja maan muokkauksesta aiheutuvat suorat ja epäsuorat N ₂ O-päästöt

KUVA 5. Osa taulukosta 4 Toiminnanharjoittajan kestävyyskriteeriohjeessa (Energiavirasto (3) 2022)

4.2.2 Työkoneet ja energia

Viljelyn päästöjen laskentaa varten viljelyprosessiin tehtiin erilaisia peltotyöketjuja, joiden keskiarvoiset polttoaineenkulutukset hehtaarille saatiin Helsingin yliopiston julkaisusta (Ahokas 2013). Esimerkiksi perustamisen peltotyöketju voisi olla kyntö, äestys ja kylvö. Näiden työvaiheiden keskimääräiset polttoaineenkulutukset vuodessa hehtaarille laskettiin yhteen ja kerrottiin dieselin päästökertoimella, joka sisältää polttoaineen valmistuksesta ja käytöstä aiheutuvat päästöt litraa kohti. Tästä saatiin perustamisen/uudistamisen polttoaineen päästöt hehtaarille vuodessa, joka jaettiin uudistamisväli vuosien lukumäärällä. Peltobiomassan korjuun työvaiheissa meneteltiin samoin, mutta jakamisen sijaan käytettiin kerrointa, joka on korjuukertojen vuotuinen lukumäärä. Polttoaineen päästöihin huomioitiin myös matka talousrakennuksesta pellolle ja muut peltokuljetukset, esimerkiksi lannoitteen kuljettaminen pellolle. Jos viljelyssä käytettäisiin kastelua, kuivausta tai muuta esimerkiksi sähköä tarvitsevaa vaihetta, myös tämän apuenergian käytöstä laskettaisiin valmistuksen ja käytön päästöt. (Energiavirasto (3) 2022; ISCC 2021.)

4.2.3 Viljelylaskuri

Päästölaskurissa viljelyn khk-päästöjen laskenta aloitetaan lisäämällä pelto- ja satotiedot (liitteet 1 ja 2). Pellot yksilöidään peltolohkotunnuksella ja peltoalaksi merkitään hehtaarit. Viljeltävissä pelloissa maaperäksi valitaan kivennäismaa tai eloperäinen maa, tämä tieto vaikuttaa myöhemmässä vaiheessa maaperän typpioksiduulipäästöihin. Khk-raportoinnissa eloperäisiksi peltomaiksi luokitellaan alat, joissa turvekerros on vähintään 30 cm paksu ja eloperäisen aineksen pitoisuus on yli 35 % (SOMPA-tutkimushanke 2023). Tämän määritelmän alittaneet peltomaat luokitellaan tässä laskennassa kivennäismaiksi. Jätteissä ja tähteissä valikon mukaan nimetään mistä raaka-aineesta on kyse. Peltotietoihin lisätään myös matka pellon ja talousrakennuksen välillä, jonka mukaan lasketaan kuljetuksien polttoaineenkulutuksia.

Satotietoja varten laskurissa on oltava vakiotietoina kasvien ja kasviseosten ominaisuudet. Pudotusvalikosta tehdään kasvivalinta, joka tuo Vakiot-välilehdeltä mm. kyseisen kasvin kuiva-ainepitoisuuden ja energiasadon hehtaarille. Valinnan mukaan lasketaan hehtaarilla tuotetun sadon märkäpaino ja energiasato [MJ/ha]. Satotaso-valikosta voidaan valita satotiedoista tiedot hyvälle, keskimääräiselle ja huonolle sadolle.

Perustamisen/uudistamisen -kohdassa merkitään uudistusväli vuosina, jonka mukaan perustamisen päästöt jaetaan väli vuosille. Jos typpilannoitteen määrä on perustamisvuonna suurempi kuin vuosittain lisättävä typpimäärä, merkitään synteettisten ja eloperäisten lannoitteiden (esim. lanta) typen määrä kiloina vuodessa hehtaarille. Alun kasvivalinta tuo vuosittaiselle viljelylle valmiiksi typpimäärän, jolloin uudistamisen lannoituksesta lasketaan vain mahdollinen yli menevä osa vuosittaiseen viljelyyn verrattuna (liite 4). Muita syötteitä ovat kylvösiemenet ja torjunta-aineet.

Uudistamisen peltotöiden polttoaineenkulutukset vuodessa koostuvat kuljetusmatkasta pellolle ja erilaisista peltotyöketjuista, jotka voidaan valita pudotusvalikoista. Lannoitteiden ja muiden syötteiden valmistuksen ja polttoaineen valmistuksen ja käytön päästöt lasketaan laskurissa yhteen ja jaetaan uudistusväli vuosien lukumäärällä. Uudistamisen yhdelle vuodelle aiheuttama kuormitus ilmoitetaan omassa solussa.

Vuosittaisten viljelytoimien khk-päästölaskenta tehtiin laskuriin kuten perustamisvaiheen päästöjen laskenta. Viljelyssä käytettyjen tuotantopanosten, esim. lannoitteiden, valmistuksen päästöt lasketaan hehtaarikohtaisesti. Samoin pudotusvalikoiden kautta valittavien peltotyöketjujen hehtaarikoh- taisten polttoaineenkulutuksien mukaan lasketaan khk-päästöt hehtaarille vuodessa. Päästöt laske- taan yhteen ja khk-päästöt vuosittaiselle viljelylle hehtaarilla merkitään omaan soluun.

Synteettisen lannoitteen käytön ja mädätteen lannoitekäytön päästöt on koottu viljelylaskurin lop- puun vierekkäin. Ne sisältävät kaikki tuotannon, käytön ja polttoaineen päästöt, joita lannoitekäy- töstä tulee. Näin niiden käytön päästöjä pystytään vertailemaan keskenään.

4.2.4 Suorat ja epäsuorat typpioksiduulipäästöt

Typpioksiduulia eli dityppioksidia (N_2O) muodostuu maaperästä mm. typpilannoitteiden hajotessa. Energiavirasto ohjeistaa käyttämään viljelyn typpioksiduulipäästöjen laskennassa IPCC:n ohjeita. Laskennassa on valittavissa tasot 1, 2 tai 3. Tässä työssä käytettiin ensimmäistä tasoa, koska se on yksinkertaisin ja siihen tarvittavat kertoimet sisältyvät IPCC:n liitteisiin. Tasot 2 ja 3 ovat yksityiskoh-
taisempia ja niihin tarvittavia maa- ja aluekohtaisia kertoimia ei ollut saatavilla. Laskennassa huomioidaan synteettisten ja eloperäisten lannoitteiden ja peltoon jäävien kasvintähteiden tyyppi. (IPCC (1) 2006.)

Suorat typpioksiduulipäästöt laskettiin vuoden aikana käytetyn typen määrästä hehtaarille synteettisestä typpilannoitteesta, eloperäisen lannoitteen typpimäärästä (esim. lanta ja mädätysjäännös) ja kasvintähteiden tyypestä käyttämällä IPCC:n ohjetta (kaava 4) ja päästökertoimia. Päästökertoimet ja alkuperäiset kaavat löytyvät samasta IPCC:n ohjeesta. (IPCC (3) 2019.) Mädätteen N_2O -päästöt laskettiin mädätteen sisältämän kokonaistypen määrästä.

$$N_2O_{suora} = (N_{synt} + N_{elop} + N_{kasvintähteet}) * PK_1 * \frac{44}{28} \quad (4)$$

jossa N_2O_{suora} = vuosittaiset suorat typpioksiduulipäästöt $[\frac{kg N_2O}{ha*vuosi}]$,

N_{synt} = synteettisten lannoitteiden typpimäärä vuodessa $[\frac{kg N}{ha*vuosi}]$,

N_{elop} = eloperäisten lannoitteiden typpimäärä vuodessa $[\frac{kg N}{ha*vuosi}]$,

$N_{kasvintähteet}$ = kasvintähteiden typpimäärä vuodessa $[\frac{kg N}{ha*vuosi}]$,

PK_1 = typpisyötteiden N_2O -päästökerroin [$kg N_2O-N$] ja

$\frac{44}{28}$ = muuntokerroin, jolla typpipäästöt muutetaan typpioksiduulipäästöiksi. Luku on typen (N_2) atomimassojen suhde typpioksiduulin (N_2O) molekyylimassaan.

Kun viljelymaana oli eloperäinen maa ts. turvemaa, suoriin N_2O -päästöihin laskettiin lisäksi maaperän päästö orgaanisen aineksen hajoamisesta (kaava 5). Eloperäisen maan päästölaskenta löytyy IPCC:n ohjetäydennyksestä (IPCC (2) 2013). Nurmiviljely arvioitiin kuuluvan kategoriaan *ruohomaat* ennemmin kuin *viljelymaat*, koska monivuotisten nurmien viljely ei vaadi jokavuotista maan muok-
kausta ja vähentää siten kasvihuonekaasupäästöjä (MTK, Luonnonvarakeskus 2020).

$$N_2O_{eloperäinen\ maa} = A_{elop} * PK_2 * \frac{44}{28} \quad (5)$$

jossa $N_2O_{\text{eloperäinen maa}} = \text{eloperäisen maan vuosittaiset typpioksiduulipäästöt} \left[\frac{\text{kg } N_2O}{\text{ha} \cdot \text{vuosi}} \right],$

$A_{\text{elop}} = \text{eloperäinen maa-alue hehtaareina [ha]}$

$PK_2 = N_2O\text{-päästökerroin eloperäiselle maalle [kg } N_2O\text{-N]} \text{ ja}$

$\frac{44}{28} = \text{muuntokerroin, jolla typpipäästöt muutetaan typpioksiduulipäästöiksi. Luku on}$
 typen (N_2) atomimassojen suhde typpioksiduulin (N_2O) molekyyliinmassaan.

Kasvintähtien typpimäärä laskettiin IPCC:n laskentakaavojen mukaan. Laskentakaavat ovat liitteessä 5. Typpimäärän selvittäminen aloitettiin laskemalla ensin maanpäällisen tähtien kuiva-ainemassa (kaava 7). Tämän jälkeen voitiin laskea maanalaisten kasvintähtien massa (kaava 8). Kasvintähtien typpimäärä laskettiin edellisten yhtälöiden vastausten avulla kaavalla 9. Tarvittavat kertoimet ja suhdeluvut löytyvät IPCC:n ohjeesta. (IPCC (4) 2019.)

Epäsuorat typpioksiduulipäästöt syntyvät viljelyssä käytetyn typhen haihtumisesta ja huuhtoutumisesta. Kaavat typhen haihtumisesta (kaava 10) ja huuhtoutumisesta (kaava 11) ovat liitteessä 6. Laskenta ja kertoimet löytyvät IPCC:n ohjeista. Kasvintähtien typpi otetaan huomioon laskettaessa huuhtoutumisen päästöjä, mutta jätetään pois haihdunnan laskuista. (IPCC (4) 2019.)

Typpioksiduulipäästöt lasketaan viljelylaskurissa IPCC:n laskukaavojen mukaan. Lannoitteiden ja kasvintähtien N_2O -päästöt lasketaan samaan soluun. Kun maaperä on turvemaata, maaperän päästö lisätään suoriin N_2O -päästöihin. Kasvintähtien typpimäärän laskennassa kasvilajit rajataan nurmikasveihin ja yleiset viljat edustavat viherlannoitusnurmen suojaviljoja. Nurmen perustamisessa kylvetään yleisesti yksivuotisen suojakasvin (usein vilja) siemenet nurmen siementen lisäksi. Näin saadaan nurmen perustamiskesäntä satoa, koska nurmella on hidas alkukehitys. Suojakasvi suojaaa myös rankkasateilta ja estää hieman rikkakasveja. (Pekkarinen 2023.)

Laskurin kasvilajivalinnan mukaan laskuri käyttää kaavassa kasvilajille tyypillisiä arvoja. Kasvintähtien massat jätettiin näkyville, jotta massojen oikeellisuus olisi arvioitavissa (liite 7). Eloperäisen maan päästöjen laskennassa olennaista on hehtaaripäästö, mutta myös koko peltoalan maaperäpäästöt tuodaan näkyville. Epäsuorissa typpioksiduulipäästöissä lasketaan typpimäärän päästöt haihtumisesta ja huuhtoutumisesta, joissa kasvintähtien typpimäärää tarvitaan vain huuhtoutumisen laskentaan.

Lopuksi lasketaan yhteen suorat ja epäsuorat N_2O -päästöt ja kerrotaan luku typpioksiduulin GWP(100)-kertoimella N_2O -päästöjen muuttamiseksi hiilidioksidiekvivalenteiksi. Tähän yhteyteen tuodaan mädätysjäätännöksen käytön typpioksiduulipäästöt, myös muutettuna hiilidioksidiekvivalenteiksi. Lannoitteiden ja mädätteen käytön N_2O -päästöjä on näin helpompi verrata keskenään ja koostesivulle poimiminen helpottuu (liite 8).

4.2.5 Kalkitus

Kalkitusta käytetään vähentämään maaperän happamuutta ja parantamaan kasvien kasvua. Maaperän kalkituksesta aiheutuvat maaperän hiilidioksidipäästöt lasketaan erikseen dolomiittikalkille ja kalkkikivelle. Kalkkikiven ja dolomiittikalkin määrä kiloina kerrottiin niiden päästökertoimilla ja arvot laskettiin yhteen. Summa kerrottiin murtoluvulla 44/12 hiilipäästöjen muuttamiseksi hiilidioksidiksi. (IPCC (1) 2006.) Luku 44/12 on hiilen (C) atomimassan suhde hiilidioksidin (CO₂) molekyyliinmassaan. Koska kalkitus tehdään yleensä n. kymmenen vuoden välein, päästöt jaettiin kalkitusvälivuosille. Laskurissa määrät syötetään soluihin ja laskenta toimii kuten on edellä mainittu. Kaava (12) on liitteessä 9 ja kuva laskurista on liitteessä 10.

4.3 Kuljetuksen päästöt E_{td}

Biomassan kuljetuksesta biokaasulaitokselle aiheutuviin päästöihin laskettiin kuuluvaksi massan kuormaus, kuljetus täysperävaunurekalla ja kuorman purku. Päästöt syntyvät kulutetun polttoaineen valmistuksesta ja käytöstä.

Laskurissa viljelyn päästöt loppuvat aumaukseen. Biomassojen kuljetus tiloilta biokaasulaitokselle tapahtuisi niin lyhyen ajan sisällä, että varsinaista välivarastoa ei lisätty tähän laskuriin. Varastointi tapahtuisi biokaasulaitoksella.

Kuljetuksen päästöt alkavat, kun pyöräkuormaaja lastaa peltobiomassan aumasta täysperävaunurekaan. Kuljetuksen päästö laskettiin niin, että paluukuormana tulee pelloille mädätettä. Näin menomatkan päästöt kohdistuvat nurmelle ja paluumatkan mädätteelle, eikä rekka aja tyhjiään. Kun rekalla ei ole ajoa, se on biokaasulaitoksella. Muussa tapauksessa laskuriin merkitään myös rekan ajo tyhjiään kuormauspaikalle ja paluu lähtöpaikkaan.

Kuljetuksen päästöjä laskettaessa käytettiin ISCC:n ohjetta (ISCC 2021), mutta jakajaksi otettiin hehtaarimäärä (kaava 6). Kuljetusten lukumäärä saatiin jakamalla peltoalalla tuotettu märkäsato täysperävaunun kuljetuskapasiteetilla. Lukumäärällä kerrottiin koko matkalla kulutetun polttoaineen määrän ja päästökertoimen tulo. Kuormauksen, kuljetuksen ja kuorman purkamisen päästöt laskettiin ensin koko raaka-ainemäärälle ja jaettiin saatu päästö hehtaarimäärällä, jotta saatiin kuljetuksen päästöt hehtaarille. Päästöt tuotettua biokaasua kohti laskettiin jakamalla tämä päästö hehtaarikohteisella energiasadolla [MJ/ha].

$$E_{td} = \frac{\text{Kuljetukset}_{\text{lukumäärä}} * ((\text{Matka}_{\text{täysi}} * \text{Kulutus}_{\text{täysi}} + \text{Matka}_{\text{tyhjä}} * \text{Kulutus}_{\text{tyhjä}}) * PK_{\text{polttoaine}}}{ha} \quad (6)$$

jossa E_{td} = kuljetuksesta aiheutuneet päästöt hehtaarille $[\frac{kgCO_2-ekv}{ha}]$,

$\text{Kuljetukset}_{\text{lukumäärä}}$ = kuljetuskertojen määrä, jolla koko peltoalalla tuotettu märkäsato saadaan kuljetettua

$Matka_{täysi}$ = kuljetuksen matka kilometreinä täydellä kuormalla [km],

$Kulutus_{täysi}$ = rekan polttoaineenkulutus kilometrille täydellä kuormalla [$\frac{l}{km}$],

$Matka_{tyhjä}$ = kuljetuksen matka kilometreinä tyhjänä [km],

$Kulutus_{tyhjä}$ = rekan polttoaineenkulutus kilometrille tyhjänä [$\frac{l}{km}$],

$PK_{polttoaine}$ = polttoaineen päästökerroin [$\frac{kgCO_2-ekv}{l}$] ja

ha = peltoala hehtaareina [ha].

4.3.1 Kuljetuslaskuri

Kuljetusvälilehdelle laskuriin kerättiin alkuun peltotiedot ja satotiedot viljelylaskurista. Viljelylle ja jäte- ja tähdeluokitukselle tehtiin omat rivit, kuten viljelylaskurissa. Laskuriin merkitään kuljetuksen kilometrimäärät kuormalla ja tyhjänä. Kuormaus, kuljetus ja kuorman purku lasketaan kaavan mukaisesti koko pellon märkäsadolle. Kuljetuksen lukumäärä pyöristetään ylös lähimpään tasalukuun. Saatu päästö jaetaan pellon hehtaarimäärällä, jolloin saadaan kuljetuksen aiheuttamat päästöt hehtaaria kohti. Lisäksi laskettiin kuljetuksen päästöt raaka-aineen megajoulea kohti. Liitteessä 11 on kuva kuljetuslaskuriosista.

4.4 Mädätysjäännös

Biokaasulaitoksen mädätysprosessista syntyvä mädätysjäännös sisältää ravinteita, mm. typpeä, fosforia ja kaliumia, ja sitä voidaan käyttää lannoitteena. Maatalousbiomassan kestävyyskriteereissä jätteiden ja tähteiden lisäkriteeri voidaan katsoa täytyneeksi, kun mädätysjäännös palautetaan peltoomaahan. Palauttaminen vähentää maan laatuun ja maaperän hiileen kohdistuvia vaikutuksia. Mädätettä ei tarvitse palauttaa samaan paikkaan, josta raaka-aine on otettu eli sitä voidaan käyttää lannoitteena siellä missä sitä eniten tarvitaan. Kun mädätettä käytetään lannoitteena viljelylle biokaasunurmelle, on otettava huomioon kuljetuksen ja levityksen aiheuttamat polttoaineen kasvihuonekaasupäästöt ja mädätteen sisältämän kokonaistypen typpioksiduulipäästöt maaperässä. Jos mädätysjäännöksestä erotetaan nestettä kiintoaineesta eli sitä separoidaan ennen kuljetusta ja levitystä, mädätteelle lasketaan myös separoinnista aiheutuneet päästöt. Yleisimpiä erotusmenetelmiä ovat ruuvipuristin, suotonauhakuivain ja dekantterilinko. Kun peltoon levitetään mädätettä, päästölaskurin vakiotiedoissa täytyy huomioida, että separoimattoman mädätteen typpipitoisuus on erilainen kuivajakeeseen verrattuna. (Luonnonvarakeskus (2) 2021; Suomen Biokaasuyhdistys ry 2015.)

Mädätteen levityksestä tulevat päästöt aloitettiin laskemalla koko massan peltokuljetuksiin kuluttama polttoaineen määrä. Peltokuljetusten polttoainemäärä jaettiin peltoalalla [ha], että saatiin laskettua kulutus hehtaaria kohti [l/ha]. Mädätteen levityksen polttoaineenkulutus on hehtaarikohtainen ja tähän lisättiin edellinen peltokuljetusten polttoaine. Summa kerrottiin dieselin päästökertoimella ja saatiin mädätteen levityksen päästö hehtaarille.

Kuljetuksen päästöt koko mädättemassalle jaettiin peltoalalla [ha] ja lisättiin hehtaarikohtainen levityksen päästö, jolloin siitä saatiin mädätteen kuljetuksen ja levityksen hehtaari päästö. Laskettiin vielä päästöt lannoitettavasta raaka-aineesta saatavalle energiamäärälle jakamalla hehtaari päästö raaka-aineen hehtaarikohtaisella energiasadolla [MJ/ha]. Mädätteen käytöstä laskettiin lisäksi suorat ja epäsuorat N₂O-päästöt IPCC:n ohjeilla (IPCC (3) 2019) mädätteen kokonaistypen määrän mukaan.

4.4.1 Mädätelaskuri

Mädätysjäännöksen palauttamiselle peltoon tehtiin oma laskuriosio. Rivin alkuun tuodaan viljelylaskurista peltotietoina pellon yksilöivä peruslohkotunnus ja peltoala hehtaareina. Laskuriin merkitään mädätteen määrä kiloina hehtaarille ja laskuri laskee peltoalalle levitettävän mädätteen kokonaismäärän. Kuljetuksen päästöt biokaasulaitokselta lasketaan koko määrälle kuormauksen, kuljetuksen ja kuorman purkuun käytetyn polttoaineenkulutuksen mukaan. Mädate arvioitiin olevan ainakin osin kuivattua, jolloin samalla täysperävaunuyhdistelmällä voisi kuljettaa mädätettä pelloille ja biomassaa biokaasulaitokselle. Laskurissa lasketaan myös mädätteen käytön typpioksiduulipäästöt ja nämä päästöt siirretään myös viljelylaskuriin, jotta olisi helpompi verrata erilaisten lannoitusvaihtoehtojen päästöjä keskenään. Liitteessä 12 on kuva mädätyslaskurista.

4.5 Maankäytön muutokset e₁

Tämän työn yhteydessä käsitellyillä pelloilla ei ole ollut muutosta maankäyttöluokassa vuoden 2008 tammikuun jälkeen. Maankäytöstä ei näin ollen aiheudu päästöä. Vaikka khk-päästövähennys toteutuisi selvästi, raaka-aine ei pääsääntöisesti ole kestävä, jos maankäytössä on tapahtunut muutos vuoden 2008 tammikuun jälkeen. (Energiavirasto (3) 2022.)

4.6 Paremmista maatalouskäytännöistä saatavat hyvitykset e_{sca}

Kun lantaa käytetään biokaasulaitoksen syötteenä, sen varastointiaika maatilalla jää lyhyemmäksi, jolloin varastoinninaikaisten päästöjen määrä pienenee. Varastoinnista aiheutuvia päästöjä ovat ammoniakkipäästöt, typen haihtuminen ja orgaanisen aineen hajoamisesta seuraavat kasvihuonekaasupäästöt (MURU 2023). RED II:n mukaan biokaasulaitoksen raaka-ainepäästöistä on mahdollista saada hyvitystä paremmista maatalouskäytännöistä ja lannan paremmasta käsittelystä 45 hiilidioksidiekvivalenttigrammaa jokaista lannan tuottamaa megajoulea kohti [-45 g CO₂-ekv/MJ_{lanta}].

Arvioita laskettaessa hyvityslaskennassa voi olla eri käytäntöjä. Joko hyvitys lasketaan suoraan lannan kaasuntuottopotentialista lasketun energian [MJ] mukaan tai arvioidaan saanto lannan kaasuntuottopotentialista, jossa otetaan huomioon biokaasulaitosprosessissa hukattu kaasu, ja lasketaan saatu energia [MJ] vasta tämän mukaan. Energiaviraston ja RED II:n ohjeissa ei ole mainintaa kaasuntuoton saantoarviosta, mutta esimerkiksi Luonnonvarakeskus käyttää 90 % potentialista (Luonnonvarakeskus (1) 2019). RED II:n (kaava 2) mukaan hyvitys tehtäisiin raaka-aineen viljelyn ja kuljetuksen päästöistä. Luonnonvarakeskus on vähentänyt lantahyvityksen lopputuotteen päästöissä (Luonnonvarakeskus (1) 2019).

Lantahyvitys selvitettiin laskemalla ensin lantatonnin tuottama energiasisältö megajouleina [MJ/t] liitteen 13 kaavalla 13. RED II:n ohjeen mukaan lannasta saa hyvitystä $-45 \text{ g CO}_2\text{-ekv/MJ}_{\text{lanta}}$. Kun liitteessä 13 olevan kaavan 14 mukaisesti lantatonnista saatava megajoulemäärä kerrottiin hyvityksellä 45, saatiin hyvitys grammoina lantatonnia kohti. Edelleen kertomalla lannan kokonaistonnimäärällä laskettiin lantahyvitys koko toimitetusta lantamäärästä hiilidioksidiekvivalenttigrammoina [g $\text{CO}_2\text{-ekv}$].

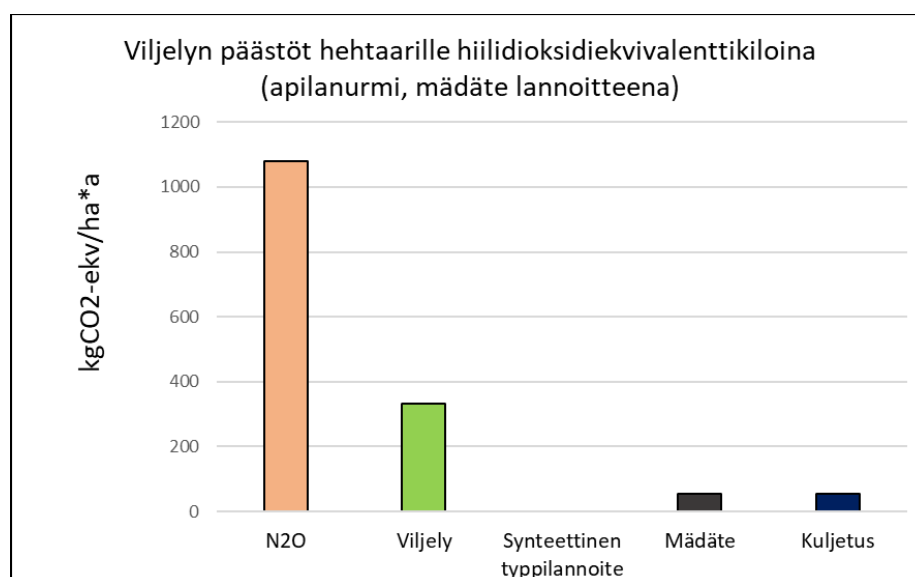
4.6.1 Lantalaskuri

Laskurissa lannan kuljetuksen päästöt lasketaan kuten biomassan ja mädätteen kuljetuspäästöt. Biokaasulaitokselle toimitettava lanta olisi kuivalantaa, jolloin lantakuljetuksissa käytettäisi samaa kalustoa kuin peltobiomassalle ja mädätteelle.

Lantalajeilla on erilaiset kaasuntuottopotentialit ja laskuriin tehtiin valikko, josta voi valita naudan, sian, hevosen, lampaan tai siipikarjan lannan. Laskurissa lähtöarvoina ovat lannan kuiva-aineprosentti [TS-%], orgaanisen aineen prosenttimäärä kuiva-aineesta [VS/TS] ja lannan metaanintuottopotentiali tonnista orgaanista ainetta [m^3/tVS]. Tässä laskurissa lantahyvityksestä vähennetään lannan kuljetuksen aiheuttamat päästöt ennen hyvityksen vähentämistä viljelyn ja muiden kuljetusten päästöistä.

4.7 Koostesivu

Koostesivulle kerättiin kaikkien laskureiden hehtaari päästöt ja päästöt tuotetun biokaasun megajoulea kohti. Siellä laskettiin kaikki viljelyn ja kuljetuksen päästöt yhteen koko pinta-alalta. Viljelyn päästöt sisältävät myös jätteiden ja tähteiden keräilyä ja kuljetuksesta aiheutuneet päästöt. Viljelyn ja kuljetuksen päästöjen summasta vähennettiin lantahyvitys ja saatiin lopulliset päästöt kaikesta biomassasta koko pinta-alalta (liite 14). Koostesivulla on esitetty diagrammeina mm. viljeltyjen kasvien ja kasvilajien hehtaarikohtaiset päästöt (esim. päästölähteet kuvassa 6) ja laskettiin yhteen kaikkien biomassojen koko pinta-alalla tuottama biokaasu.



KUVA 6. Esimerkki koostesivun kaaviosta, jossa on nähtävillä viljelyn päästölähteet hehtaarille.

5 POHDINTAA

Opinnäytetyön kestävyyskriteeritarkastelu tehtiin pääosin Energiaviraston toiminnanharjoittajille suunnatun kestävyyskriteeriohjeen mukaisesti. Liikennebiokaasun tuottaminen nurmibiomassoista on verrattain tuore asia ja sen takia mm. todellisten khk-päästöjen laskentaan ei vielä opinnäytetyön tekemisen aikaan ollut yksityiskohtaista ohjeistusta. Tämä vaikeutti työn tekemistä. Vaikka tieto oli hajallaan, sitä oli kuitenkin mahdollista koota ja varmistaa sekä kotimaisilta että EU:n verkkosivustoilta, sähköpostitiedusteluilla Energiavirastolta ja Teams-palavereilla Luonnonvarakeskuksen kanssa. Työn tekemistä edisti yhteistyö Wega Group Oy:n kanssa.

Tiedon kerääminen ja sen analysointi oli suuressa roolissa opinnäytetyön tekemisessä. Vertasin päästölaskennan tietoja EU:n vapaaehtoisten kestävyysjärjestelmien khk-päästölaskentaohjeisiin ja sovelsin niitä sähköpostitiedustelujen kautta Energiaviraston ohjeisiin. Myöskään liikennebiokaasun tuottamiseen käytettyjen nurmibiomassojen khk-päästölaskurin laatimiselle ei löytynyt mallia. Opinnäytetyönä valmistuneen Excel-laskurin laskennan tein niin tarkasti kuin mahdollista Energiaviraston ja IPCC:n ohjeilla, laskurin rakenteessa pyrin seuraamaan hankkeen toiveita ja toteuttamisessa Wegan ehdotuksia. Opinnäytetyön tekemisestä sain kokemusta monenlaisten lähdeaineistojen hakemisesta ja tietojen käsittelystä. Lisäksi tehostin Excel-taulukkolaskentaohjelman osaamista ja loin verkostoja alan toimijoihin.

Khk-päästövähennemä on olennaisessa osassa raaka-aineen kestävyden tarkastelussa. Jatkossa laskentaan tulisi saada kattava, riittävän yksityiskohtainen ja vähemmän tulkinnanvaraa jättävä hyväksytty kotimainen ohjeistus. Tarvittavat ajantasaiset päästökertoimet tulisi myös saada yhdestä paikasta. Tarkemman ohjeistuksen puuttumisen takia päästökertoimien ja laskennan oikeellisuutta ei ollut mahdollista varmentaa ennen kuin Energiavirasto on tarkastanut toiminnanharjoittajan virallisen hakemuksen kestävyysjärjestelmän hyväksymiseksi. Vasta hyväksymisen jälkeen toiminnanharjoittaja voi osoittaa biokaasun ja sen tuotannon kestäväksi, mikä mahdollistaa mm. valtiontuen, alhaisemman verotuksen ja laskemisen kansalliseen uusiutuvan energian osuuteen. Vaikka toiminnanharjoittajan on mahdollista hakea Energiavirastolta ennakkopäätöstä, isoissa investoinneissa kaikenlaiset epävarmuudet kasvattavat riskejä.

Tulevaan RED II-päivitykseen olisi hyvä saada päästölaskennan avuksi todenmukaisia oletusarvoja myös nurmikasveille, jolloin päästövähennemän laskenta helpottuisi huomattavasti. Laskettaessa viljelyn todellisia päästöjä biokaasun tuotannossa variaatiot tulisi ottaa huomioon ja IPCC:n ohjeistus antaakin mahdollisuuden erilaisiin aluekohtaisiin päästökertoimiin, jos niitä on saatavilla. Maaperämääryksiin ja turvemaan päästökertoimiin tulisi saada selkeyttä erityisesti siksi, koska typpipäästöt ovat viljelyssä suurin päästölähde. Mm. tarkkojen oletusarvojen lisääminen RED II -päivitykseen saattaa olla aikataulullisesti haastavaa. Sen takia olisi luontevaa keskittyä kehittämään päästölaskentaa Suomen kansallisessa kestävyysjärjestelmässä, joka ottaisi huomioon alueiden erityispiirteet.

Biokaasua pelloilta -hankkeessa sain tiedot ensimmäisenä vuonna biokaasulaitokseen toimitettavasta sadon määrästä ja laadusta, naudan kuivalantamäärästä ja keskimääräisistä kuljetusmatkoista. Tein khk-laskurilla tämän ensimmäisen satoarvion mukaisen khk-päästölaskelman. Satoarviossa oli viljeltyjä nurmikasveja, jäte ja tähdeluokitukseen kuuluvia viherlannoitusnurmia ja olkea. Laskin myös

biokaasulaitokseen tuotavan naudan kuivalannan kuljetuksen päästöt ja lantahyvytyksen. Tuloksissa oli eriteltyinä mm. viljelyn ja kuljetuksen aiheuttamat päästöt raaka-ainelajeittain hehtaarille (esim. kuva 6) ja päästöt grammoina raaka-aineista saatua megajoulea kohti. Huomasin, että suurimmat viljelystä aiheutuneet khk-päästöt tulivat typpioksiduulipäästöinä typpilannoitteista ja erityisesti eloperäisen maan viljelystä. Kuljetuksesta aiheutuvat päästöt olivat kokonaisuuteen nähden odotettua pienemmät, johtuen osin tyhjänä ajon välttämisestä. Laskurin avulla sain selville satoarvion kokonaispotentiaalilin kaasuntuotolle ja koko raaka-aine-erän khk-päästöt per megajoule biokaasua, mikä on oleellinen tieto toiminnanharjoittajalle biometaanin khk-päästövähennyksen laskennassa.

Tässä työssä kehitetty laskuri voisi jatkossa palvella sekä biokaasulaitosta että raaka-aineen toimittajia. Aluksi päästölaskurin avulla voidaan varmistaa ensimmäisen raaka-aine-erän päästövähennyksen satoarvion perusteella. Muokkaamalla laskurista voisi saada biokaasulaitoksen toiminnan alkaessa välineen, jolla perustellaan ja ilmoitetaan raaka-aineen päästövähennyksen vuosittain.

Laskuri on rakennettu vastaamaan todellisia viljelymenetelmiä, työvaiheita ja kuljetuksia. Siihen voidaan tarvittaessa lisätä työvaiheita, ja päästökertoimia on helppo päivittää. Viljelijät voisivat käyttää laskuria raaka-ainetuotannon analysointiin, koska viljelykustannuksilla ja päästömäärillä näyttää olevan suora yhteys. Kun optimoidaan lannoitus ja peltotyöt niin, että päästöt ovat mahdollisimman pienet satotasoon ja kaasuntuottopotentiaaliin nähden, myös viljelyn kustannukset laskevat. Koostesivun diagrammeja vertailemalla nähdään suurimmat päästölähteet ja paras kasvilaji tai kasviseos kaasuntuotantoon ja päästövähennykseen. Viljelylaskurissa lannoitteiden määrää manuaalisesti muuttamalla voidaan testata muutoksen vaikutusta kokonaispäästöihin. Biokaasun tuotannon alettua vakioarvoja voidaan hienosäätää toteutuneen tuotannon mukaan. Myös kuljetusmatkan pituutta voi arvioida kannattavuuden ja päästövähennyksen suhteen. Laskuria voisi kehittää edelleen niin, että se sisältäisi päästölaskennan lisäksi myös viljelyn kustannuslaskelmia.

Tätä opinnäytetyötä kirjoitettaessa RED II:n päivitys oli vielä neuvotteluvaiheessa. Nykyiset toimet ja päästövähennystavoitteet eivät rajoita maapallon lämpötilannousua niin, että Pariisin ilmastopöytäkirja onnistuisi ja maapallon keskilämpötila pysyisi alle 1,5 asteen. (Ympäristöministeriö 2023.) Tarve edistää uusiutuvien polttoaineiden valmistusta ja markkinoille saattamista on ilmeinen kansallisten ilmastotoimien ja päästövähennystavoitteiden kiristyessä.

Suomessa maatalouden sivuvirroissa ja jätteissä on biokaasupotentiaalia, jota ei olla vielä hyödynnetty. Nurmibiomassan potentiaali biokaasuntuotannossa on merkittävä, eikä nurmi kilpaile ruuan- tai rehuntuotannon kanssa. Suomessa nurmea voidaan viljellä koko maassa ja se kasvaa hyvin, koska täällä on kesäaikaan paljon valoa, sopivan viileää säätä ja riittävästi vettä. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:n tekemien laskelmien mukaan realistiseksi biokaasun tuotantotavoitteeksi on arvioitu vähintään 4 TWh vuoteen 2030 mennessä. Tähän on mahdollista päästä, jos nykyisen tuotannon lisäksi saataisiin 2 TWh maataloussyötekehäystä biokaasuntuotantoon ja 1 TWh uutta teknologiaa ja raaka-aineita. (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry (1) 2020; Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK 2023.)

Kansallisella ja EU:n politiikalla voidaan vaikuttaa biokaasun tuotannon kannattavuuteen verotuksen ja erilaisten tukien ja kannustimien kautta. Tuotantoa tukemalla saadaan hyötyinä hiilidioksidipäästöjen vähenemisen lisäksi käsiteltyä paremmin jätteet, tähteet ja lanta. Tukeminen mahdollistaa tehokkaamman ravinteiden kierrätyksen lannoitteissa ja lisää energiantuotannon huoltovarmuutta ja ruuantuotannon omavaraisuusastetta tuotantopanoksissa. Tuotannon tukeminen toisi uusia investointeja ja lisäisi liiketoimintaa ympäri Suomea. (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry (1) 2020.) Karjatalouden pienentyessä mm. kasvisruokavalion suosion kasvaessa, jäljelle jääneitä laidun- ja rehupeltoja voitaisiin hyödyntää ruuantuotannon ohella biokaasun raaka-aineiden tuottamiseen nurmibio-massoina. Toiminta biokaasutuotannon ympärillä voisi tuoda uusia liiketoimintamalleja ja lisääntynyt tuotanto olisi tukemassa maaseudun elinvoimaa.

LÄHTEET

- Ahokas, J. (2013). *Polttoaineen kulutus peltotöissä*. (Helsingin yliopisto) Haettu 5. 2. 2023 osoitteesta Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta: <https://www.energia.agrotekno.fi/wp-content/uploads/2021/04/Polttoaineen-kulutus-peltotoissa.pdf>
- Bioenergia. (28. 9. 2022). *Uusiutuvat polttoaineet ovat tärkein keino vähentää liikenteen päästöjä*. Haettu 29. 3. 2023 osoitteesta <https://www.bioenergia.fi/2022/09/28/uusiutuvat-polttoaineet-ovat-tarkein-keino-vahentaa-liikenteen-paastoja/>
- Direktiivi 2018/2001/EU. (11. 12. 2018). *Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi*. (Euroopan unionin virallinen lehti) Haettu 12. 1. 2023 osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>
- Energiavirasto (2). (30. 6. 2021). *Ravinto- ja rehukasveista tuotettujen biopolttoaineiden ja biokaasun enimmäisosuuden määrän vahvistaminen*. Haettu 16. 4. 2023 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/-/energiavirasto-vahvisti-ravinto-ja-rehukasveista-tuotettujen-biopolttoaineiden-ja-biokaasun-enimmaisosuuden-maaraksi-2-6-prosenttiyksikköä>
- Energiavirasto (3). (14. 2. 2022). *Toiminnanharjoittajan kestävyyskriteeriohje*. Haettu 12. 1. 2023 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12778928/OHJE-Toiminnanharjoittajan-kest%C3%A4vyyskriteeriohje.pdf/6eafa3a2-4c7e-adea-c955-4959a54a8b6d/OHJE-Toiminnanharjoittajan-kest%C3%A4vyyskriteeriohje.pdf?t=1644837262107>
- Energiavirasto (4). (2023). *Jakeluvuoteohje*. Haettu 18. 3. 2023 osoitteesta Ohje uusiutuvien polttoaineiden ja biopolttoöljyn jakeluvuoteen ilmoittamisesta Energiavirastolle: <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/103079467/Jakeluvuoteohje.pdf/7316f5d4-d6bc-643d-d07c-8729a30f57f7/Jakeluvuoteohje.pdf?t=1673609475040>
- Energiavirasto (5). (18. 11. 2022). Sähköpostitiedustelu.
- Energiavirasto (6). (2023). *Jakeluvuote*. Haettu 1. 4. 2023 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/jakeluvuote>
- Gasum. (2023). *Miten biokaasua tuotetaan?* Haettu 18. 3. 2023 osoitteesta <https://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasu/miten-biokaasua-tuotetaan/>
- IPCC (1). (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Haettu 5. 2. 2023 osoitteesta N2O emissions from managed soils, and CO₂, emissions from lime and urea application: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf
- IPCC (2). (2013). *Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*. Haettu 12. 1. 2023 osoitteesta Drained inland organic soil: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands_separate_files/WS_Ch2_Drained_Inland_Organic_Soils.pdf

- IPCC (3). (2019). *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Haettu 12. 1. 2023 osoitteesta N2O emissions from managed soil, and CO2 emissions from lime and urea application: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch11_Soils_N2O_CO2.pdf
- IPCC (4). (2019). *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Haettu 20. 1. 2023 osoitteesta Consistent representation of lands: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch03_Land%20Representation.pdf
- ISCC. (2021). *Greenhouse gas emissions (EU 205)*. Haettu 18. 1. 2023 osoitteesta https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2021/07/ISCC_EU_205_Greenhouse-Gas-Emissions-v4.0.pdf
- Jakeluvetoilaki. (2007). *Laki uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä*. Haettu 16. 4. 2023 osoitteesta <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070446>
- Kestävyyslaki. (2013). *Laki biopolttoaineista, bionesteistä ja biomassapolttoaineista 393/2013*. Haettu 13. 1. 2023 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130393>
- Luonnonvarakeskus (1). (2019). *Nurmi biokaasun raaka-aineena*. Haettu 2. 3. 2023 osoitteesta RED II direktiivin mukainen kasvihuonekaasupäästöjen laskenta: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/544351/luke-luobio_46_2019.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Luonnonvarakeskus (2). (2021). *Selvitys maatalousmaasta peräisin olevia jätteitä ja tähteitä koskevasta seuranta- ja hallintajärjestelmästä*. Haettu 17. 1. 2023 osoitteesta https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766786/Selvitys_Maatalousmaan+j%C3%A4tteen+ja+t%C3%A4hteet_LUKE_nettiin.pdf/e0a231d9-8f3e-3776-b5c5-98966791584a/Selvitys_Maatalousmaan+j%C3%A4tteen+ja+t%C3%A4hteet_LUKE_nettiin.pdf?t=1646383213128
- Maa- ja metsätalousministeriö. (2023). *Energiabiomassojen kestävyys*. Haettu 13. 1. 2023 osoitteesta <https://mmm.fi/metsat/kv-eu/eu-energia-ja-ilmastopolitiikka/energiabiomassojen-kestavyys>
- Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK. (2023). *Nurmiviljely Suomen vahvuutena*. Haettu 16. 4. 2023 osoitteesta https://www.mtk.fi/etusivu/-/asset_publisher/p1Jb9c1rEbCs/content/maidontuotannon_vahvuus
- Motiva. (2023). *Uusiutuvan energian RED II -direktiivi*. Haettu 16. 4. 2023 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/uusiutuvan_energian_red_ii_-_direktiivi
- MTK, Luonnonvarakeskus. (6. 7. 2020). *Maatalouden ilmastotiekartta*. Haettu 29. 1. 2023 osoitteesta <https://www.mtk.fi/documents/20143/0/Ilmastotiekartta+-raportti+15072020+%281%29.pdf/bc1197e3-6844-62e3-0259-931da255072b?t=1594791153902>
- MURU, I. j.-v. (2023). *Maatilojen biokaasulla energiaa, päästövähennyksiä ja ravinnekiertoja*. Haettu 16. 4. 2023 osoitteesta <https://www.ilmastoviisas.fi/tietopaketti/maatilojen-biokaasulla-energiaa-paastovahennyksia-ja-ravinnekiertoja/>

- Pekkarinen, M. (2023). *Nurmen perustaminen*. Haettu 16. 4. 2023 osoitteesta <https://mattipekkarinen.net/kasvisivut/nperust.htm>
- REDcert GmbH. (2021). *Scheme principles for GHG calculation*. Haettu 18. 1. 2023 osoitteesta Version: EU 05: https://www.redcert.org/images/SP_EU_GHG_Vers.05.pdf
- Ruokavirasto. (7. 2. 2022). *Täydentävien ehtojen opas 2022*. Haettu 24. 3. 2023 osoitteesta <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/oppaat/hakuoppaat/taydentavien-ehtojen-opas/taydentavien-ehtojen-opas-2022/#id-sangen-poltto>
- SOMPA-tutkimushanke. (2023). *Usein kysytyt kysymykset*. Haettu 15. 4. 2023 osoitteesta <https://projects.luke.fi/sompa/materiaalit/usein-kysytyt-kysymykset/>
- Suomen Biokaasuyhdistys ry. (2015). *Biokaasuteknologia - Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen*. Haettu 16. 4. 2023 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Suomen Biokierto ja Biokaasu ry (1). (2020). *Biokaasun tuotanto ja käyttö Suomessa 2030*. Haettu 1. 4. 2023 osoitteesta https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/06/Biokaasu2030_raportti_17062020.pdf
- Suomen Biokierto ja Biokaasu ry (2). (2023). *Biokaasun käyttö*. Haettu 1. 4. 2023 osoitteesta <https://biokierto.fi/biokaasu/kaytto/>
- Tilastokeskus (1). (2022). Haettu 19. 1. 2023 osoitteesta <https://www.stat.fi/muutostiedote/cl3bhkztacwpy0gvt9m6ysc83>
- Tilastokeskus (2). (2023). Haettu 1. 4. 2023 osoitteesta https://www.stat.fi/meta/kas/gwp_kertoimet.html
- Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). (2023). *EU:n uusiutuvan energian tavoitteet ja lainsäädäntö*. Haettu 13. 1. 2023 osoitteesta <https://tem.fi/eu-lainsaadanto>
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (14. 6. 2022). *Uusiutuvan energian direktiivin päivitys (RED III) U-jatkokirje*. Haettu 16. 4. 2023 osoitteesta <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/EDK-2022-AK-33067.pdf>
- Valtioneuvosto. (2023). *Päivitetty laki energiantuotannossa käytetyn biomassan kestävyyskriteereistä voimaan vuoden vaihteessa*. Haettu 13. 1. 2023 osoitteesta <https://valtioneuvosto.fi/en/-/1410877/paivitetty-laki-biopolttoaineiden-kestavyyskriteereista-voimaan-vuoden-vaihteessa>
- Valtioneuvoston kanslia. (2023). *EU:n ilmastopaketin tavoitteet ja käsittely Suomessa*. Haettu 16. 4. 2023 osoitteesta <https://vnk.fi/-/eu-n-ilmastopaketti-perustiedot>
- Ympäristöministeriö. (2023). *Pariisin ilmastopöytäkirja*. Haettu 29. 3. 2023 osoitteesta <https://ym.fi/pariisin-ilmastopimus>

LIITE 1: PELTOTIETOJEN MERKINTÄ VIJELYLASKURISSA

	A	B	C	D	E	F
1						
2		PELLOTIEDOT				
3						
4		Peruslohkotunnus	Peltoala [ha]	Maaperä	Matka pellolle	
5	VIJELY			Kivennäismaa		
6						
7	JÄTTEET JA TÄHTTEET			Rehutuotannon ylijäämä	<input type="text"/>	

LIITE 3: VIJELYYN PÄÄSTÖT LASKURISSA

Viljelyn aiheuttamat päästöt hiilidioksidiekvivalenttikiloina hehtaarille ja tuotetulle biokaasulle [MJ]

Päästöt kgCO ₂ -ekv/ha*a		Päästöt gCO ₂ -ekv/MJ _{raaka-aine}				
Viljely (ilman kuljetusta)		Viljely (ilman kuljetusta)				
N2O-päästöt yhteensä kgCO ₂ -ekv/ha*a		N2O-päästöt yhteensä gCO ₂ -ekv/MJ _{raaka-aine}	Viljelyn päästöt raaka-aineen MJ [gCO ₂ -ekv/MJ _{raaka-aine}]	Synteettisen lannoitteen käytön päästöt raaka-aineen MJ [gCO ₂ -ekv/MJ _{raaka-aine}]	Mädätteen käytön päästöt raaka-aineen MJ [gCO ₂ -ekv/MJ _{raaka-aine}]	Päästöt g vuodessa raaka-aineen MJ [gCO ₂ -ekv/MJ _{raaka-aine}]
Päästöt ja tähteet (ilman kuljetusta)		Päästöt ja tähteet (ilman kuljetusta)				

LIITE 4: PERUSTAMINEN/UUDISTAMINEN LASKURISSA

Perustamisessa käytetty synteettinen typpiainoite laskurissa

PERUSTAMINEN/UUDISTAMINEN			
Lannoitteet (tuotanto)			
Uudistusväli (a)	Synteettinen typpiainoite (ammoniumnitraatti) kg N/ha*a	Synteettisen lannoitteen typpimäärän erotus verrattuna vuosittaiseen kg N/ha*uudistusvuosi väli	Synteettisten typpiainoiteiden uudistusvuosille jäätty erotuksen päästö kg CO ₂ - ekv/ha
5	0	0,00	0,00

LIITE 5: KASVINTÄHTEIDEN TYPPI

Lähde:

2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application

Maanpäällisen kasvintähteen kuiva-ainemassan laskenta:

$$MP_{kuiva} = Sato_{kuiva} * Suhdeluku_{MPkuivasato} \quad (7)$$

jossa MP_{kuiva} = maanpäällisen kasvintähteen kuiva-ainemassa hehtaarille vuodessa

$$\left[\frac{kg}{ha*vuosi} \right],$$

$Sato_{kuivasato}$ = vuotuinen hehtaarilta saatu viljellyn kasvin tai kasviseoksen kuivapaino

$$\left[\frac{kg}{ha*vuosi} \right] \text{ ja}$$

$Suhdeluku_{MPkuiva}$ = maan yläpuolisen kasvintähteen suhde korjattuun satoon kuiva-aineessa.

Maanalaisen kasvintähteen kuiva-ainemassan laskenta:

$$MA_{kuiva} = (Sato_{kuiva} + MP_{kuiva}) * Suhdeluku_{MP-MA} * A * Osuus_{uudistamisväli} \quad (8)$$

jossa MA_{kuiva} = maanalaisen kasvintähteen kuiva-ainemassa hehtaarille vuodessa $\left[\frac{kg}{ha*vuosi} \right]$,

$Sato_{kuiva}$ = vuotuinen hehtaarilta saatu viljellyn kasvin tai kasviseoksen kuivapaino

$$\left[\frac{kg}{ha*vuosi} \right],$$

MP_{kuiva} = maanpäällisen kasvintähteen kuiva-ainemassa hehtaarille vuodessa

$$\left[\frac{kg}{ha*vuosi} \right],$$

$Suhdeluku_{MP-MA}$ = maan yläpuolisen kasvintähteen suhde maanalaisen kasvintähteen massaan,

A = maa-alue [ha],

$Osuus_{uudistamisväli}$ = murtoluku vuosittain uusittavasta sadosta. (Esim. uusitaan joka viides vuosi -> 1/5, uusitaan joka vuosi -> 1).

Kasvintähteiden typpimäärän laskenta:

$$N_{kasvintähteet} = (MP_{kuiva} * N_{MP} * (1 - Osuus_{poistettu})) + (MA_{kuiva} * N_{MA}) \quad (9)$$

jossa $N_{kasvintähteet}$ = kasvintähteiden typpimäärä vuodessa $[\frac{kg N}{ha*vuosi}]$,

MP_{kuiva} = maanpäällisen kasvintähteen kuiva-ainemassa hehtaarille vuodessa $[\frac{kg}{ha*vuosi}]$,

N_{MP} = maanpäällisen kasvintähteen typpisisältö [kg N]

$Osuus_{poistettu}$ = osuus, joka maanpäällisestä kasvintähteestä poistetaan (esimerkiksi poistetun oljen osuus)

MA_{kuiva} = maanalaisen kasvintähteen kuiva-ainemassa hehtaarille vuodessa $[\frac{kg}{ha*vuosi}]$

ja

N_{MA} = maanalaisen kasvintähteen typpisisältö [kg N].

LIITE 6: EPÄSUORAT N₂O-PÄÄSTÖT

Lähde:

2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application

Käytetyn typen haihtumisesta aiheutuvat typpioksiduulipäästöt:

$$N_2O_{haihtuva} = [(N_{synt} * Osuus - synt_{haihtuva}) + (N_{elop} * Osuus - elop_{haihtuva})] * PK_{haihtuva} * \frac{44}{28} \quad (10)$$

jossa $N_2O_{haihtuva}$ = vuosittaiset typpioksiduulipäästöt käytetyn typen haihtumisesta $[\frac{kg N_2O}{ha*vuosi}]$,

N_{synt} = synteettisten lannoitteiden typpimäärä vuodessa $[\frac{kg N}{ha*vuosi}]$,

$Osuus-synt_{haihtuva}$ = synteettisen lannoitteen typen haihtuva osuus

N_{elop} = eloperäisten lannoitteiden typpimäärä vuodessa $[\frac{kg N}{ha*vuosi}]$,

$Osuus-elop_{haihtuva}$ = eloperäisen lannoitteen typen haihtuva osuus,

$PK_{haihtuva}$ = päästökerroin typen haihtumiselle [kg N₂O-N] ja

$\frac{44}{28}$ = muuntokerroin, jolla typpipäästöt muutetaan typpioksiduulipäästöiksi. Luku on typen (N₂) atomimassojen suhde typpioksiduulin (N₂O) molekyyliinmassaan.

Käytetyn typen huuhtoutumisesta aiheutuvat typpioksiduulipäästöt:

$$N_2O_{huuhtoutuva} = (N_{synt} + N_{elop} + N_{kasvintähteet}) * Osuus_{huuhtoutuva} * PK_{huuhtoutuva} * \frac{44}{28} \quad (11)$$

jossa $N_2O_{huuhtoutuva}$ = vuosittaiset typpioksiduulipäästöt käytetyn typen huuhtoutumisesta maaperässä $[\frac{kg N_2O}{ha*vuosi}]$,

N_{synt} = synteettisten lannoitteiden typpimäärä vuodessa $[\frac{kg N}{ha*vuosi}]$,

N_{elop} = eloperäisten lannoitteiden typpimäärä vuodessa $[\frac{\text{kg N}}{\text{ha}\cdot\text{vuosi}}]$,

$N_{\text{kasvintähteet}}$ = kasvintähteiden typpimäärä vuodessa $[\frac{\text{kg N}}{\text{ha}\cdot\text{vuosi}}]$,

$\text{Osuus}_{\text{huuhtoutuva}}$ = typen huuhtoutuva osuus,

$\text{PK}_{\text{huuhtoutuva}}$ = päästökerroin typen huuhtoutumiselle maaperässä [kg N₂O-N] ja

$\frac{44}{28}$ = muuntokerroin, jolla typpipäästöt muutetaan typpioksiduulipäästöiksi. Luku on typen (N₂) atomimassojen suhde typpioksiduulin (N₂O) molekyyliinmassaan.

LIITE 9: KALKITUKSEN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT

LÄHDE:

2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application

$$CO_2 - \text{päästö} = \frac{[(\text{massa}_{\text{kalkkikivi}} * PK_{\text{kalkkikivi}}) + (\text{massa}_{\text{dolomiitti}} * PK_{\text{dolomiitti}})] * \frac{44}{12}}{\text{kalkitusvälivuodet}} \quad (12)$$

jossa CO_2 -päästö = kalkituksesta aiheutuva hiilidioksidipäästö vuodessa hehtaarille $[\frac{kgCO_2}{ha*vuosi}]$,

$\text{massa}_{\text{kalkkikivi}}$ = levitetty kalkkikivi kiloa hehtaarille $[\frac{kg}{ha}]$,

$PK_{\text{kalkkikivi}}$ = kalkkikiven päästökerroin (0,12),

$\text{massa}_{\text{dolomiitti}}$ = levitetty dolomiittikalkki kiloa hehtaarille $[\frac{kg}{ha}]$,

$PK_{\text{dolomiitti}}$ = dolomiittikalkin päästökerroin (0,13) ja

$\frac{44}{12}$ = kerroin hiilen muuttamiseksi hiilidioksidiksi. Luku on hiilen (C) atomimassan suhde hiilidioksidin (CO₂) molekyylimassaan.

LIITE 10: KALKITUKSEN PÄÄSTÖT LASKURISSA

	BS	BI	BU	BV
KALKITUS (CO₂-päästöt)				
Kalkitusväli vuosina	Kalkkikivi kg/ha	Dolomiittikalkki kg/ha	Kalkituksen päästö kgCO ₂ -ekv/ha*a	
10	0	4000	190,67	

LIITE 12: OTE MÄDÄTELASKURISTA

LEVITYS					päästö hehtaarille	päästö/mädäte kg
Peltokuljetus (yhteen suuntaan) km	Peltokuljetus ten lukumäärä/ koko massa	Peltokulje tuksen polttoaine l	Mädätteen levitys l/ha	Kuormaus, purku ja levitys, päästöt yhteensä kgCO ₂ - ekv/ha	Mädätteen kuljetusten ja levityksen päästö kgCO ₂ - ekv/ha	Mädätteen kuljetusten ja levityksen päästö kgCO ₂ - ekv/mädäte kg

LIITE 13: LANTALASKUJEN KAAVAT

$$\text{Lanta} \frac{\text{MJ}}{\text{t}} = \text{TS}\% * \frac{\text{VS}}{\text{TS}} * \text{CH}_4 \frac{\text{m}^3}{\text{tVS}} * 10 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} * 3,6 \quad (13)$$

jossa $\text{Lanta} \frac{\text{MJ}}{\text{t}}$ = lantatonnista saatava megajoulemäärä $[\frac{\text{MJ}}{\text{t}}]$,

$\text{TS}\%$ = kuiva-aineprosentti [%],

$\frac{\text{VS}}{\text{TS}}$ = eloperäisen aineen osuus kuiva-aineessa [%],

$\text{CH}_4 \frac{\text{m}^3}{\text{tVS}}$ = eloperäisen aineen metaanintuottopotentiaali tonnissa $[\frac{\text{m}^3}{\text{tVS}}]$,

$10 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$ = metaanin energia-arvo $[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}]$ ja

3,6 = kerroin kilowattitunnin muuntamiseen megajouleiksi.

$$\text{Lantahyvitys} = 45 \frac{\text{gCO}_2\text{ekv}}{\text{MJ}_{\text{lanta}}} * \text{lanta} \frac{\text{MJ}}{\text{t}} * m_{\text{lanta}} \quad (14)$$

jossa Lantahyvitys = lannasta saatava hyvitys hiilidioksidiekvivalenttigrammoina $[\text{gCO}_2\text{-ekv}]$,

$45 \frac{\text{gCO}_2\text{ekv}}{\text{MJ}_{\text{lanta}}}$ = lannan paremmasta käsittelystä saatava hyvitys lannan megajoulea

kohti $[\frac{\text{gCO}_2\text{ekv}}{\text{MJ}_{\text{lanta}}}]$,

$\text{lanta} \frac{\text{MJ}}{\text{t}}$ = megajoulemäärä lantatonnille $[\frac{\text{MJ}}{\text{t}}]$ ja

m_{lanta} = lannan massa tonneina [t].

LIITE 14: OTE KOOSTESIVULTA

e_{ec}	e_{td}	e_{sca}			
Viljelyn päästöt yhteensä [gCO ₂ -ekv]	Kuljetuksen päästöt yhteensä vuodessa [gCO ₂ -ekv]	Lantahyvitys [gCO ₂ -ekv]	Lopulliset päästöt vuodessa [gCO ₂ -ekv]	PÄÄSTÖT HEHTAARILLE (koko pinta-ala) [kgCO ₂ - ekv/ha]	PÄÄSTÖT/MJ [gCO ₂ - ekv/MJ _{kok.} raaka-aine]