



Euroopan unionin
osarahoittama



Anna Kwokori, Rathish Rajan, Liisa Ukonmaanaho ja Ashraful Alam

Egidija Rainosalo (toim.)

Entisillä turvetuotantoalueilla kasvatetusta biomassasta tuotetun biokaasun elinkaariarviointi

Centria-ammattikorkeakoulu, 2026

centria
ammattikorkeakoulu

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 101

Anna Kwokori*, Rathish Rajan*, Liisa Ukonmaanaho**, Ashraful Alam**

Egidija Rainosalu* (toim.)

Entisillä turvetuotantoalueilla kasvatetusta biomassasta tuotetun biokaasun elinkaariarviointi

Centria-ammattikorkeakoulu

*Centria-ammattikorkeakoulu

**Luonnonvarakeskus (Luke)

JULKAISIJA:

Centria-ammattikorkeakoulu
Talonpojankatu 2, 67100 Kokkola

TAITTO: Centria-ammattikorkeakoulu

KANSIKUVA: Heli Salmela

ISSN 2342-933X
ISBN 978-952-7604-38-0

Kiitokset

TÄMÄ TUTKIMUS toteutettiin osana Turvetuotantoalueet kestäväään käyttöön - TURKE -hanketta, jonka tavoitteena oli arvioida entisten Keski-Pohjanmaan turvetuotantoalueiden soveltuvuutta erilaisiin jatkokäyttömuotoihin. Tutkimus toteutettiin Keski-Pohjanmaan liiton myöntämän JTF-rahoituksen avulla.

Kiitämme Luonnonvarakeskusta (Luke) hankkeen päätoteuttajana sekä muita hankkeen kumppaneita: Geologian tutkimuskeskusta, Kokkolan yliopistokeskus Chydeniusta (Jyväskylän yliopisto) ja Centria-ammattikorkeakoulua. Kiitokset myös hankkeen valmisteluvaiheessa kuultujen eri sidosryhmien ja organisaatioiden edustajille, mukaan lukien Kaustisen seutukunnan, Perhon kunnan, Kannuksen kaupungin ja Wennströmin maatilan edustajat.

Käsitteiden määrittely

Anaerobinen mädätys	Biologinen prosessi, jossa mikro-organismit hajottavat orgaanista ainesta hapettomassa tilassa tuottaakseen biokaasua ja mädätettä.
Attributionaalinen elinkaaren arviointimenetelmä	Elinkaaren arviointimenetelmä, jossa arvioidaan tuotteen tai järjestelmän nykyiseen elinkaareen suoraan liittyviä ympäristövaikutuksia (ilman tulevien muutosten tai seurausten mallintamista).
Biokaasun tuotanto	Hallittu prosessi, jossa tuotetaan biokaasua, pääasiassa metaania (CH ₄) ja hiilidioksidia (CO ₂), biomassan, kuten lannan, energiakasvien tai orgaanisen jätteen, anaerobisen mädätyksen avulla.
Biometaani	Puhdistettu biokaasun muoto, jossa on korkea metaanipitoisuus ja joka on jalostettu maakaasun kaltaiseksi sekä soveltuu käytettäväksi liikennepolttoaineena tai syötettäväksi kaasuverkkoon.
BMP (biokemiallinen metaanipotentiaali)	Kokeellinen mittaus tietyistä substraateista saavutettavissa olevista suurimmista metaanin saannoista ihanteellisissa anaerobisissa mädätysolosuhteissa.
Elinkaariarviointi (LCA, life cycle assessment)	Systemaattinen ja standardoitu menetelmä tuotteen, prosessin tai palvelun kaikkien vaiheiden ympäristövaikutusten arvioimiseen koko elinkaaren ajalta raaka-aineiden hankinnasta ja tuotannosta käyttöön ja loppusijoitukseen.
Fossiilisten polttoaineiden niukkuus	Ympäristövaikutusten luokka, joka mittaa fossiilisten polttoaineiden ehtymistä ja korostaa riippuvuutta uusiutumattomista energialhteistä.
Happamoituminen	Ympäristövaikutusluokka, joka kuvaa happamien yhdisteiden lisääntymistä maaperässä ja vedessä, pääasiassa päästöjen, kuten rikkidioksidin (SO ₂), typpioksidien (NO _x) ja ammoniakkin (NH ₃), seurauksena.
Hiilidioksidiekvivalentti (CO₂-ekv.)	Kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitta, jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasujen (hiilidioksidi, metaani, otsoni, typpioksiduuli [ilokaasu] ja freonit) päästöjen vaikutus kasvihuoneilmaston voimistumiseen.
Ilmakehän lämmityspotentiaali (GWP, global warming potential)	Ilmaisee kasvihuonekaasupäästön aiheuttaman lämmitysvaikutuksen suhteellisen voimakkuuden tietyn ajan kuluessa verrattuna vastaavaan hiilidioksidipäästöön.
Ilmastonmuutos	Pitkän aikavälin lämpötilan ja säämallien muutokset, jotka johtuvat pääasiassa ihmisen toiminnasta, erityisesti kasvihuonekaasupäästöistä.
ISO 14040	Kansainvälinen standardi, joka kuvaa elinkaariarvioinnin (LCA) periaatteita ja viitekehystä, mukaan lukien tavoitteiden määrittely, laajuus, inventaarioanalyysi ja vaikutusten arviointi.
Kehdosta portille (cradle-to-gate)	Elinkaarianalyysin rajaus, joka sisältää kaikki prosessit resurssien louhinnasta (kehdosta) siihen pisteeseen, jossa tuote lähtee tehtaan portilta, mutta joka ei sisällä käyttöä ja elinkaaren loppuvaiheita.
Mädäte	Anaerobisen mädätyksen jälkeen jäljelle jäävä materiaali, joka on ravinnepitoinen ja jota käytetään usein lannoitteena tai maanparannusaineena.

ReCiPe	Yleisesti käytetty elinkaarivaikutusten arviointimenetelmä, joka muuntaa ympäristöpäästöt ympäristövaikutusluokkiin sekä keskipisteen (esim. happamoituminen) että päätepisteen (ihmisten terveys, ekosysteemit, luonnonvarat) tasolla.
Rehevöityminen	Vesistön rikastuminen ravinteilla (pääasiassa typellä ja fosforilla), mikä johtaa liialliseen levien kasvuun ja veden laadun heikkenemiseen.
Rikkidioksidiekvivalentti (SO₂-ekv.)	Mitta, jota käytetään ilmaisemaan päästöjen happamoittavaa potentiaalia vertaamalla niiden vaikutusta rikkidioksidin vaikutukseen.
Turvetuotantoalue	Turpeen tuotantoa varten kuivatettu suoalue.
Vihreä siirtymä	Siirtyminen kestävään, vähähiiliseen talouteen omaksumalla uusiutuvia energialähteitä, kiertotalouden käytäntöjä ja ympäristöystävällisiä teknologioita.
VS (haihtuva kiintoaine)	Biomassan kuiva-aineen orgaaninen osa, jonka mikro-organismit voivat hajottaa anaerobisen mädätyksen aikana biokaasuksi.
Yhteismädätys	Useiden raaka-aineiden (esim. lannan ja energiakasvien) anaerobinen mädätys yhdessä prosessitehokkuuden ja biokaasun tuoton parantamiseksi.
Ympäristövaikutukset	Ihmisen toiminnan aiheuttamat ympäristön muutokset, jotka voivat olla positiivisia tai negatiivisia ja joita arvioidaan indikaattoreilla, kuten päästöillä, resurssien käytöllä ja maankäytöllä.

Sisälllys

1	Johdanto	7
1.1	Tausta ja konteksti	7
1.2	LCA:n tavoitteet	7
1.3	Raportin rakenne	8
2	Metodologinen viitekehys	9
2.1	LCA-tutkimuksen tavoite	9
2.2	Tutkimuksen laajuus	9
3	Elinkaari-inventaarioanalyysi	13
3.1	Raaka-aineiden viljely, korjuu ja kuljetus	13
3.2	Biomassan varastointi ennen anaerobista mädätystä	13
3.3	Biomassan esikäsittely ennen anaerobista mädätystä	13
3.4	Anaerobinen mädätys biokaasun ja mädätejäänöksen tuottamiseksi	14
4	Vaikutusten arvioinnin tulokset ja tulkinta	15
4.1	ReCiPe 2016 Midpoint Menetelmä (Karakterisointi) -tulokset	15
4.2	Ilmaston lämpenemispotentiaalin tulokset	15
4.3	Makean veden rehevöitymisen tulokset	15
4.4	Fossiilisten resurssien niukkuuden tulokset	16
4.5	Mädätyksen eri syötteillä vertailu	18
4.6	Parannusehdotukset	18
5	Johtopäätökset	20
	Lähteet	21
	Liitteet	22

1 Johdanto

1.1 Tausta ja konteksti

SUOMEN TAVOITTEENA on hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä, ja yksi välittömimmistä ja vaikuttavimmista muutoksista on turpeen energiantuotannon puolittaminen vuoteen 2030 mennessä. Turpeen käytön lasku johtuu kasvavista ympäristöhuolista (Euroopan parlamentti 2024; valtiovarainministeriö 2025), mutta myös päästöoikeuksien hintojen noususta ja verotuksen kiristymisestä. Siksi entisten turpeentuotantoalueiden kestävä maankäyttö tuo mukanaan sekä ympäristöhaasteita että mahdollisuuksia.

Turve kattaa vain noin neljä prosenttia Suomen kokonaisenergiankulutuksesta, mutta sen ilmastovaikutukset ovat edelleen suuret, koska turpeen polttaminen tuottaa enemmän hiilidioksidipäästöjä energiaa kohti kuin kivihiilen polttaminen. Siksi Suomen hallitus aikoo puolittaa turpeen käytön vuoteen 2030 mennessä ja lopettaa sen käytön kokonaan vuoteen 2035. Muutos on erityisen merkittävä Keski-Pohjanmaan kaltaisille alueille, joilla turpeen tuotanto on perinteisesti tukenut paikallista työllisyyttä ja taloudellista toimintaa (YLE News 2021).

Mustonen (2023) korostaa, että kuivatut turvesuot voivat muodostua hoitamattomina merkittäviksi kasvihuonekaasupäästöjen ja ravinteiden huuhtoutumisen lähteiksi. Tämä asettaa sidosryhmät monimutkaisten päätösten eteen siitä, miten näitä alueita voidaan hoitaa ympäristön ja talouden kannalta kestävällä tavalla (Työ- ja elinkeinoministeriö 2022).

Yksi käytöstä poistettujen turvetuotantoalueiden potentiaalinen hyödyntämistapa on energiakasvien viljely uusiutuvan energian, kuten biokaasun, tuotantoon. Tällaisen maankäytön muutoksen ympäristövaikutuksista ei kuitenkaan ole saatavilla tietoa, mikä vaikeuttaa maanomistajien, päätöksentekijöiden ja suunnittelijoiden tietoon perustuvien päätösten tekemistä.

Tässä yhteydessä elinkaariarviointi (LCA) voi tarjota ratkaisun. LCA:n avulla voidaan kvantifioida ympäristövaikutukset raaka-aineiden viljelystä uusiutuvien energiatuotteiden, kuten biokaasun,

tuotantoon ulottuvalla elinkaarella. Se tukee sidosryhmien näyttöön perustuvaa päätöksentekoa, joka on linjassa Suomen ilmasto- ja biotaloustavoitteiden kanssa.

1.2 LCA:n tavoitteet

TÄMÄ RAPORTTI esittelee attribuutiolajikohtaisen elinkaariarvioinnin, joka on toteutettu osana TURKE-hanketta. Sen tavoitteena on tunnistaa ja arvioida ympäristöllisesti kestäviä ja alueellisesti sopivia käytön jälkeisiä vaihtoehtoja kuivatuille turvesoille. TURKE-hankkeessa arvioiduista kolmesta arvoketjusta tämä raportti keskittyy biokaasun tuotantoon energiakasveista, jotka on viljelty entisillä turpeentuotantoalueilla. Tässä LCA-tutkimuksessa arvioidaan pääasiassa energiakasveja, jotka ovat ruokohelvi (*Phalaris arundinacea*) ja nurmi (*Festuca pratensis*). Ne molemmat sopivat hyvin turvesoiden olosuhteisiin. Ruokohelvi on osoittanut lupaavia satoja hakatuilla turvesoilla Suomessa Laasasenahon ym. (2020) tutkimuksen mukaan.

Tässä LCA-tutkimuksessa arvioidaan neljää skenaariota: (1) keväällä korjatun ruokohelven mädätys, (2) kesällä korjatun ruokohelven mädätys, (3) nurmen mädätys sekä (4) kesällä korjatun ruokohelven ja kolmelta paikalliselta maatilalta saadun lehmänlannan yhteismädätys. Tutkimus noudattaa ISO 14040:2006 -standardia, ja se on toteutettu SimaPro-ohjelmistolla. Järjestelmäraajat on määritelty kehdosta portille (cradle-to-gate) -periaatteella, ja ne sisältävät raaka-aineen viljelyn, sadonkorjuun, kuljetuksen biokaasun tuotantolaitokseen, biomassan varastoinnin, esikäsittelyn ja anaerobisen mädätyksen biokaasun tuottamiseksi. Jatkoprosessit, kuten jakelu ja loppukäyttö, on jätetty pois.

LCA-analyysi perustuu seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitkä ovat entisillä turpeenottoalueilla viljellystä ruokohelvestä ja nurmesta tuotetun biokaasun keskeiset ympäristövaikutukset?

- Miten lehmänlannan yhteismädätys vaikuttaa biokaasun arvoketjun ympäristötehokkuuteen?
- Mikä skenaario tarjoaa kestävimmän ratkaisun Keski-Pohjanmaan turvetuotantoalueiden jälkikäyttöön?

Näihin kysymyksiin vastaamalla voidaan tuottaa paikkakohtaisia näkemyksiä, jotka ohjaavat sidosryhmiä kehittämään alueellisia strategioita kestäväälle maankäytölle ja uusiutuvan energian kehittämiseksi.

1.3 Raportin rakenne

RAPORTTI ON rakennettu seuraavasti: (1) osiossa 2 esitetään metodologinen kehys, mukaan lukien LCA-tutkimusten tavoite ja laajuus, (2) osiossa 3 esitetään inventaarioanalyysi ja vaikutusten arvioinnin tulokset, (3) osiossa 4 esitetään vaikutusten arvioinnin tulosten tulkinta ja parannusehdotukset, (4) osiossa 5 esitetään johtopäätökset ja suositukset biokaasun arvoketjujen tulevasta kehittämisestä kuivatuilla turvesoilla.

2 Metodologinen viitekehys

TÄSSÄ OSIOSSA kuvataan tutkimuksessa käytettyä menetelmää, jolla lasketaan Keski-Pohjanmaan kuivattujen turvesoiden energiakasvien biokaasuntuotannon elinkaariarviointia. SimaPro v9.0 -ohjelmistolla toteutettu attribuutiolähestymistapa noudattaa ISO 14040 ja 14044 -standardeja ja -ohjeita (ISO 14040 2006). Ne sisältävät seuraavat neljä keskeistä vaihetta: tavoitteen ja laajuuden määrittely, elinkaari-inventaarioanalyysi, elinkaaren vaikutusten arviointi ja elinkaaren tulkinta.

2.1 LCA-tutkimuksen tavoite

LCA-TUTKIMUKSEN TAVOITTEENA on selvittää biokaasun arvoketjun merkittävimmät ympäristövaikutukset, arvioida keskeisten vaikutusten suuruusluokka sekä vertailla turvesoilla tuotetun biomassan (ruokohelpi ja nurmi) ympäristövaikutuksia keskenään. Tutkimuksessa arvioidaan ruokohelven ja lehmänlannan yhteismädätyksen ympäristövaikutuksia ja tarjotaan vertailukohtaa eri raaka-aineyhdistelmille. Tulosten tarkoituksena on tarjota tärkeitä ympäristön kestävyyttä koskevia tietoja, jotka tukevat päätöksentekoa turpeen käytöstä luopumisessa, optimoivat biomassan valinnan biokaasun tuotantoon ja luovat mahdollisuuksia monipuolistaa alueen turvemaiden omistajien elinkeinoja. Tärkeimmät kohderyhmät ovat turvemaiden omistajat, maanviljelijät, biokaasun ja uusiutuvan energian kehittäjät, alueelliset ja kansalliset ilmastosuunnittelijat ja -kehittäjät sekä uusiutuvan energian ja ympäristötieteiden tutkijat.

2.2 Tutkimuksen laajuus

TUTKIMUKSEN LAAJUUS kattaa biokaasun tuotannon ruokohelvestä ja nurmesta, jotka on viljelty käytöstä poistetulla turvemaalla. Tutkimuksessa arvioidaan neljää eri skenaariota, joista kunkin laajuus sisältää seuraavat keskeiset vaiheet:

- Käytöstä poistetun turvemaan valmistelu, ojanverkoston kunnossapito, viljely, sadonkorjuu ja biomassan kuljetus biokaasulaitokseen

- Biomassan väliaikainen varastointi biokaasulaitoksessa
- Biomassan mekaaninen esikäsittely ennen sen syöttämistä mädätysreaktoriin
- Biomassan anaerobinen mädätys reaktorissa
- Mädätysjäännöksen kuljetus biokaasulaitoksesta.

2.2.1 Toiminnallinen yksikkö

Toiminnallinen yksikkö on määritelty siten, että se täyttää hankkeen yleisen tavoitteen. Toiminnallinen yksikkö on tuote, joka on peräisin yhden hehtaarin turvemaalla vuodessa viljellystä biomassasta (tuote/ha/vuosi). Järjestelmän tehtävänä on tuottaa biokaasua, jota voidaan käyttää lämmön ja sähkön tuottamiseen tai jalostaa biometaaniksi liikenteessä käytettäväksi.

2.2.2 Vertailuvirtaus

Vertailuvirtaus ilmaistaan biokaasun tuotoksena hehtaaria kohti vuodessa (tuotos/ha/vuosi) perustuen vuotuisen biomassan tuotokseen, haihtuvien kiintoaineiden pitoisuuteen ja biometaanin tuotantopotentiaaliin. Yksittäisen mädätysprosessin skenaarioiden vertailuvirrat on esitetty alla:

Vertailuvirtaus: keväällä korjatun ruokohelven anaerobinen mädätys

1 587 m³ biokaasua tuotetaan vuosittain hehtaaria kohti keväällä korjatulla ruokohelvellä, joka on viljelty käytöstä poistetulla turvemaalla, kun kuiva-aineen määrä on 6 000 kg hehtaaria kohti vuodessa ja haihtuvien kiintoaineiden pitoisuus 97 % (VS) ja biometaanin tuotantopotentiaali (BMP) on 150 m³ metaania tonnia haihtuvia kiintoaineita kohti (Luonnonvarakeskus; Jylhä, Aro, Knuutila, Lötjönen, Ukonmaanaho & Wejberg 2026).

Vertailuvirtaus: kesällä korjatun ruokohelven anaerobinen mädätys

3 100 m³ biokaasua tuotetaan vuosittain hehtaaria kohti kesällä korjatulla ruokohelvellä, joka viljelty käytöstä poistetulla turvemaalla, kun kuiva-aineen määrä on 6 000 kg hehtaaria kohti vuodessa ja haihtuvien kiintoaineiden pitoisuus on 96 % (VS) ja biometaanin tuotantopotentiaali (BMP) on 296 m³ metaania tonnia haihtuvia kiintoaineita kohti (Jylhä ym. 2026; Pehme, Tamm & Koiv 2017).

Vertailuvirtaus: kahdesti vuodessa korjatun nurmen anaerobinen mädätys

4 582 m³ biokaasua tuotetaan vuosittain hehtaaria kohti käytöstä poistetulla turvemaalla, jota viljellään kahdesti vuodessa korjattavalla nurmilla, perustuen 8 000 kg:aan kuiva-ainetta hehtaaria kohti vuodessa, 90 %:n haihtuvien kiintoaineiden pitoisuudella (VS) ja biometaanin tuotantopotentiaaliin (BMP) 350 m³ metaania tonnia haihtuvia kiintoaineita kohti (Jylhä ym. 2026; Luonnonvarakeskus). Ruokohelven ja lehmänlannan yhteismädätystä varten käytetään erilaista vertailuvirtaa, jotta se olisi vertailukelpoinen monoseoksen mädätyksen kanssa. Yhteismädätystapauksissa vertailuvirta määritellään vuotuisiksi biokaasutuotannoksi (m³/vuosi), koska vain ruokohelpi on peräisin turvesoilta, kun taas lehmänlanta on peräisin kolmelta läheiseltä maatilalta. Harkitaan kahta biomassan saatavuuteen perustuvaa skenaariota:

Vertailuvirtaus: kesällä korjatun ruokohelven ja lehmänlannan yhteismädätys

Skenaario A: lehmänlannan rajoitettu saatavuus

Skenaario perustuu tilanteeseen, jossa lehmänlannan saatavuus on rajallista, mikä rajoittaa seoksen määrän noin 3 750 kg:aan ruokohelpiä (0,175 ha) säilyttäen samalla oletetun 80:20-suhteen lannan ja ruokohelven välillä. Tämä edustaa nykyisissä mautilojen olosuhteissa tosiasiallisesti saavutettavaa metaanin ja biokaasun tuottoa. Vertailuvirta on siis 874,9 m³ biokaasua, joka tuotetaan vuosittain kesällä korjatun ruokohelven ja lehmänlannan yhteismädätyksellä perustuen

80:20-suhteeseen lehmänlannan (15 000 kg/vuosi) ja ruokohelven (3 750 kg ruokohelpiä [0,175 ha/vuosi]) välillä sekä taulukon 1 parametreihin.

Skenaario B: käytetään täysimääräisesti yhden hehtaarin turvemaalta tuotettu ruokohelpi

Tässä skenaariossa oletetaan, että kaikki yhden hehtaarin maalta tuotettu ruokohelpi käytetään yhteismädätysseoksessa. Tässä hypoteettisessa tilanteessa oletetaan, että lannan ja ruokohelven suhde on 80:20 ja ruokohelven määrä on 6 000 kg hehtaarilta turvemaata. Vertailuvirta on seuraava:

Kesällä korjatun ruokohelven ja lehmänlannan yhteismädätyksessä tuotetaan vuosittain 4 975 m³ biokaasua, kun lehmänlannan (85 716 kg/vuosi) ja ruokohelven (6 000 kg/ha/vuosi) suhde on 80:20. Muut parametrit on esitetty taulukossa 1.

2.2.3 Järjestelmärajat

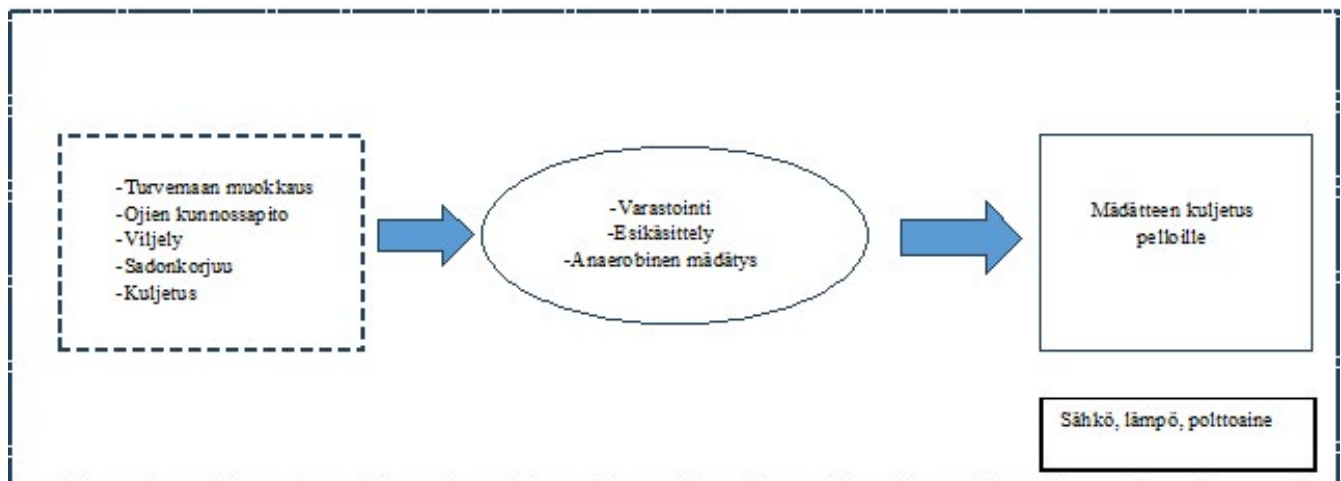
Tutkimuksessa on käytetty kehdestä-portille (cradle-to-gate) -lähestymistapaa, jossa järjestelmärajat kattavat kohdassa 2.2 esitetyt keskeiset vaiheet.

Järjestelmän rajojen ulkopuolelle on jätetty infrastruktuurin rakentaminen ja käytöstäpoisto sekä laitteiden elinkaaren loppukäsittely. Poissulkemiset ovat perusteltuja, koska näiden vaiheiden vaikutus biokaasun tuotannon kokonaisympäristövaikutuksiin on suhteellisen vähäinen, etenkin verrattuna raaka-aineiden viljelyyn, kuljetukseen ja mädätysprosesseihin (Mahlan, Tokede, Sadick & Costin 2025). Koska kaikissa raaka-aineskenaarioissa oletetaan käytettävän samaa infrastruktuuria, näiden elementtien poissulkeminen ei vaikuta tutkimuksen vertailutuloksiin.

Kuvassa 1 esitetään järjestelmärajat turvemaalla viljellyn biomassan biokaasuntuotantoon. Maaperän valmisteluun, ojaverkoston ylläpitoon, viljelyyn, sadonkorjuuseen ja biomassan kuljetukseen biokaasulaitokseen liittyvät panokset on saatu Lukelta, ja niitä käytetään lähtökohtana järjestelmän rajoituksessa.

Taulukko 1. Yhteenvetotaulukko ruokohelven ja lehmänlannan seoksesta, kahta skenaariota käyttäen viitevirtauksena yhteismädätyksessä.

Mitta	Skenaario A (käyttäen saatavilla olevaa lehmänlantaa vuodessa)	Skenaario B (käytettävissä olevan ruokohelven käyttö hehtaaria kohden vuodessa)
Seoksen kokonaismäärä, kg/vuosi	18 750	107 145 (märkä)
Lehmänlannan osuus (80 %), kg/vuosi	15 000	85 716
Ruokohelven osuus (20 %), kg /vuosi	3 750	6 000 (kuiva) 21 429 (märkä)
Seoksen haihtuvat kiintoaineet VS (%)	11,14	11,1
Biometaanin tuotantopotentiaali per VS (m ³ CH ₄ / t VS)	246,3	246,4
Kokonaistuotanto biometaanissa (m ³ CH ₄ /vuosi)	514,4	2925
Kokonaistuotanto biokaasua (m ³ /vuosi) (perustuu biokaasun koostumukseen 58,8 % CH ₄ ja 42,2 % CO ₂)	874,9	4 975



Kuva 1. Järjestelmäraajat, jotka osoittavat biokaasun elinkaariarviointijärjestelmän kehdestä portille -vaiheen. Katkoviivat osoittavat Lukelta ja muista lähteistä, kuten Ecoinvent-tietokannasta, saadut tiedot.

2.2.4 Kohdistusmenettely

Anaerobisessa mädätysprosessissa ympäristökuormitukset jaetaan sivutuotteisiin (biokaasu ja mädätysjäännös) järjestelmän laajennuksen/ korvaamisen avulla. Menetelmässä järjestelmäraajat laajennetaan kattamaan korvaavien tuotteiden vältetyt vaikutukset. Menetelmä on sopiva, koska biokaasulla ja mädätysjäännöksellä on erilaiset toiminnot. Järjestelmän laajennus ottaa huomioon fossiilisten polttoaineiden ja synteettisten lannoitteiden korvaamisesta saatavat ympäristöhyödyt.

2.2.5 Vaikutustenarviointimenetelmä

ReCiPe 2016 Midpoint (H) -menetelmää käytetään arvioimaan eri biokaasuntuotantoskenaarioiden ympäristövaikutuksia. TURKE-hankkeen tavoitteiden perusteella valitut ReCiPe 2016 Midpoint (H) -menetelmän keskeiset vaikutusluokat ovat ilmaston lämpenemispotentiaali, maaperän happamoituminen, makean veden rehevöityminen ja fossiilisten luonnonvarojen niukkuus.

2.2.6 Oletukset ja rajoitukset

Seuraavia oletuksia ja rajoituksia otettiin huomioon eri skenaarioiden mallintamisessa:

- Luke toimitti laskelmat biomassan tuotantoon liittyvästä maaperän valmistelusta, viljelystä, sadonkorjuusta ja kuljetuksesta. Yksityiskohtainen laskenta löytyy Luken raportista (Jylhä ym. 2026).
- Taustatiedot on saatu tieteellisestä kirjallisuudesta, Ecoinvent-tietokannoista, alueen pienimuotoisesta biokaasulaitoksesta ja asiantuntijoiden lausunnoista.

- Mädätysjäännös oletettiin kuljetettavan traktorilla ja perävaunulla kolmelle maatilalle, jotka sijaitsevat noin kilometrin päässä biokaasulaitoksesta.

2.2.7 Tiedon laatuvaatimus

LCA-tulosten luotettavuuden ja merkityksellisyyden varmistamiseksi on sovellettu seuraavia tietojen laatuksiteerejä:

1. **Aikaraja:** Tässä tutkimuksessa käytetyt tiedot heijastavat pääasiassa vuosien 2015–2025 olosuhteita ja käytäntöjä. Aikajänne valittiin, jotta tutkimukseen saataisiin mukaan uusimmat ja alueellisesti merkitykselliset energiantuotantokäytännöt.
2. **Maantieteellinen raja:** Tutkimus rajoittuu maantieteellisesti Keski-Pohjanmaan alueelle Suomessa, ja siinä keskitytään erityisesti viljelyyn ja biokaasun tuotantoon käytettyihin kuivattuihin turvesoihin. Suurin osa valituista tiedoista heijastaa paikallisia olosuhteita.
3. **Teknologian edustavuus:** Mallinnettu teknologia edustaa nykyisiä maatilojen käytäntöjä Suomessa. Suurin osa käytetyistä tiedoista on peräisin toiminnassa olevista laitoksista ja vahvistetuista kirjallisuuslähteistä.
4. **Täydellisyys ja johdonmukaisuus:** Ensisijaiset tiedot kerättiin alueellisilta sidosryhmiltä, ja niitä täydennettiin toissijaisilla tiedoilla vertaisarvioituista julkaisuista, kansallisista tietokannoista (esim. Luke, Tilastokeskus) ja tunnustetuista LCA-tietokannoista (esim. Ecoinvent).

3 Elinkaari-inventaarioanalyysi

TÄSSÄ OSIOSSA kuvataan inventaariotiedot, joita on käytetty mallintamaan biokaasun tuotannon ympäristövaikutuksia tutkimuksessa määritellyissä neljässä skenaarissa. Inventaario sisältää spesifiset tuotetiedot ja taustatiedot vakiintuneista tietokannoista SimaPro-ohjelmistossa mallinnettujen eri elinkaaren vaiheiden osalta.

3.1 Raaka-aineiden viljely, korjuu ja kuljetus

LUONNONVARAKESKUS (LUKE) toimitti elinkaari-inventaariotiedot (LCI) maaperän valmistelusta, ojen kunnossapidosta, viljelystä, sadonkorjuusta ja ruokohelven kuljetuksesta biokaasulaitoksen portille. Tiedot muodostavat yksikkökäsittelymallinnuksen perustan, ja ne on integroitu elinkaariarviointiin SimaPro 9.5.0.2 PhD -versiolla. Luken eri skenaarioille laskemat elinkaaren vaiheen vaikutustiedot on esitetty taulukossa 2.

3.2 Biomassan varastointi ennen anaerobista mädätystä

BIOMASSAN VARASTOINTIVAIHE mallinnetaan käyttämällä kylmäilman kuivausolosuhteita raaka-aineen laadun säilyttämiseksi ennen anaerobista

mädätystä. Tämän yksittäisen prosessin teknosfäärin panos on aiemmin määritelty viljely-, sadonkorjuu- ja kuljetusprosessi.

Varastointitoimintojen kuvaamiseen käytetään Ecoinvent v3.10 -tietokannan tietojoukkoa ”toiminta, kuivattu karkearehu, kylmäilmakuivattu, perinteinen {GLO} | markkinat toiminnalle, kuivattu karkearehu, kylmäilmakuivattu, perinteinen | Cut-off, U”. Tietojoukko sisältää infrastruktuurikomponentit, kuten tuulettimet, siipipyörät ja rakenteelliset elementit (lattia, seinät, katto) ja ottaa huomioon niihin liittyvät päästöt. Varastointitoiminnan päästöt ilmaan on lisätty malliin.

Samaa varastointitoiminnan tietojoukkoa käytettiin kaikissa kolmessa turvemaalla kasvatetun biomassan mädätyskenaarissa. Ruokohelpiä ja lantaa käyttävässä yhteisessä mädätyskenaarissa käytettiin erilaista varastointitoiminnan tietojoukkoa: ”toiminta, nestemäisen lannan varastointi- ja käsittelylaitos {GLO} | markkinat toiminnalle, nestemäisen lannan varastointi- ja käsittelylaitos | Cut-off, U”. Kaikkien skenaarioiden elinkaaren vaiheiden tietokannat ovat liitteenä.

3.3 Biomassan esikäsittely ennen anaerobista mädätystä

KAIKISSA SKENAARIOISSA oletettu esikäsittely on mekaaninen pienentäminen, jotta biomassassa hajoaa

Taulukko 2. Luken toimittamat LCI-tiedot biokaasun tuotantoon tarvittavan alueen valmistelusta, ojen kunnossapidosta, viljelystä, sadonkorjuusta ja kuljetuksesta kolmessa yksivaiheisen mädätysprosessin skenaarissa.

Vaikutusluokka	Skenaario 1 Ruokohelpi, keväällä korjattu	Skenaario 2 Ruokohelpi, kesällä korjattu	Skenaario 3 Nurmi
Ilmaston lämpenemispotentiali, kg CO ₂ -ekv. / kg	0,37	0,37	0,43
Makean veden rehevöitymispotentiali, kg P-ekv. / kg	0,000040	0,000038	0,000046
Maan happamoituminen, kg SO ₂ -ekv. / kg	0,0011	0,0011	0,0014
Fossiilisten resurssien niukkuus, kg öljy-ekv. / kg	0,073	0,072	0,094

tehokkaammin anaerobisessa reaktorissa. Tämän prosessin aikana oletetaan tapahtuvan yhden prosentin materiaalihävikki, joka perustuu van Somerenin väitöskirjan (2014) tuloksiin. Leikkausprosessi mallinnetaan käyttämällä vasaramyllyä, jonka oletetaan olevan sähkökäyttöinen. Tämä yksikköprosessi sisältää mekaanisesta käsittelystä aiheutuvat päästöt ilmaan, kuten asiaankuuluvissa elinkaari-inventaariotiedoissa on dokumentoitu. Kaikkien skenaarioiden yksikköprosessia koskevat tiedot ovat liitteessä.

3.4 Anaerobinen mädätys biokaasun ja mädätejäännöksen tuottamiseksi

TÄMÄ YKSIKKÖPROSESSI mallintaa turvemailla kasvatetusta biomassasta tuotetun biokaasun anaerobista mädätystä. Prosessissa syntyy kaksi

arvokasta tuotetta: biokaasu ja mädätysjäännös. Jotta välttyttäisiin sivutuotteiden väliseltä ympäristövaikutusten jakamiselta, sovellettiin järjestelmän laajennusmallia. Mädätysjäännös mallinnetaan synteettisen lannoitteen, erityisesti NPK (15-15-15) -lannoitteen, korvikkeena käyttäen Ecoinvent v3.10-tietokannan tietoja. Laskelmilla arvioitiin, missä määrin mädätysjäännösellä voidaan korvata keinolannoitteita.

Mädätysprosessin energiantarve, mukaan lukien sähkö ja lämpö, otetaan huomioon käyttämällä Ecoinventin tietokantoja, jotka edustavat Suomen ja laajemmin Euroopan olosuhteita. Lisäksi mädätteen kuljetus mallinnettiin olettaen, että biokaasulaitos sijaitsee yhden kilometrin päässä käyttöpaikasta, jossa mädätettä hyödynnetään maaperän parantamiseen. Kaikki tähän yksikköprosessiin liittyvät merkittävät päästöt ilmaan, veteen ja maaperään on sisällytetty elinkaari-inventaarioon. Kaikissa skenaarioissa käytetään samaa mallia, ja täydellinen LCI-inventaarioaineisto on liitteessä.

4 Vaikutusten arvioinnin tulokset ja tulkinta

Taulukko 3. ReCiPe Midpoint (H)v1.08/World (2010) -mallin mukaiset tulokset.

Vaikutusluokka	Yksikkö	Skenaario 1 ruokohelpi (kevät)	Skenaario 2 ruokohelpi (kesä)	Skenaario 3 nurmi
Ilmaston lämpeneminen	kg CO ₂ -ekv.	3 635	3 858	5 676
Maan happamoituminen	kg SO ₂ -ekv.	11,4	11,4	17,7
Makean veden rehevöityminen	kg P-ekv.	1,02	1,01	1,41
Fossiilisten luonnonvarojen niukkuus	kg öljy-ekv.	706	699	1 117

TÄSSÄ OSIOSSA esitetään elinkaariarvioinnin (LCIA) tulokset neljälle biokaasun tuotantoskenaariolle, joita tässä tutkimuksessa arvioitiin. Arvioinnissa kvantifioidaan kunkin skenaarion ympäristövaikutukset käyttämällä ReCiPe 2016 Midpoint (H)v1.08/World (2010) H (Characterization) -menetelmää. Ensimmäisessä taulukossa 3 esitetään kolmen biomassan mädätyskenaarioiden karakterisoidut tulokset, jotka perustuvat tuotetun biokaasun toiminnalliseen yksikköön hehtaaria kohti vuodessa, kaikissa vaikutusluokissa. Sen jälkeen esitetään yksityiskohtainen vertailu ja tulkinta kustakin vaikutusluokasta havaittujen tulosten perusteella. Lopuksi verrataan biomassan ja lannan yhteismädätyksen skenaariota tuotetun biokaasun määrän perusteella kuutiometreinä vuodessa.

4.1 ReCiPe 2016 Midpoint Menetelmä (Karakterisointi) -tulokset

ReCiPe 2016 MIDPOINT (H)v1.08/World (2010) H (karakterisointi) -menetelmää käytetään kaikkien skenaarioiden ympäristövaikutusten keskeisten lähteiden määrittämiseen. Menetelmä on valittu, koska se sisältää kattavasti keskipisteindikaattorit ja sopii yhteen globaalin mittakaavan arvioinnin kanssa. Se tarjoaa yksityiskohtaisen, prosessitasoisen käsityksen ympäristövaikutusten syistä ja helpottaa skenaarioiden vertailevaa analysointia. Biokaasun arvoketjun keskeisten ympäristöongelmien tunnistamisen ja tulkinnan kriteerit perustuvat PEF 2021 -suositukseen. Suosituksessa todetaan, että merkityksellimmät prosessit määritetään niiden kumulatiivisen kokonaisvaikutuksen perusteella, joka on yli 80

prosenttia karakterisoiduista tuloksista (European Commission 2021).

4.2 Ilmaston lämpenemispotentialin tulokset

TUOTETUN BIOMASSAN hehtaaria kohti laskettu ilmaston lämpenemispotentiali on esitetty kuvassa 2. Tulokset vaihtelevat suuresti kolmen mädätyskenaarioiden välillä, ja nurmi osoittaa korkeimman GWP-arvon tuotettua biomassan hehtaaria kohti (5 676 kg CO₂-ekv. / ha). Nurmen korkea GWP-arvo johtuu suuremmasta biomassantuotosta, joka vaatii enemmän koneiden käyttöä viljelyn aikana sekä enemmän polttoainetta ja sähkön käyttöä hehtaaria kohti.

Keväällä korjatun ruokohelven yksittäinen mädätys aiheuttaa hieman pienemmän GWP-vaikutuksen (3 635 kg CO₂-ekv. / ha) kuin kesällä korjattu ruokohelpi (3 858 kg CO₂-ekv. / ha). Tämä johtuu hehtaarikohtaisen sadon sekä viljelyn, sadonkorjuun ja kuljetuksen aikana tehtävien peltotöiden eroista.

4.3 Makean veden rehevöitymisen tulokset

KUTEN AIEMMIN mainitut muut vaikutusluokat, myös makean veden rehevöitymisen (fresh water eutrophication) tulokset ovat kaikissa skenaarioissa huomattavan erilaisia. Nurmen mädätys aiheuttaa jälleen suurimman rehevöitymisvaikutuksen (1,41 kg

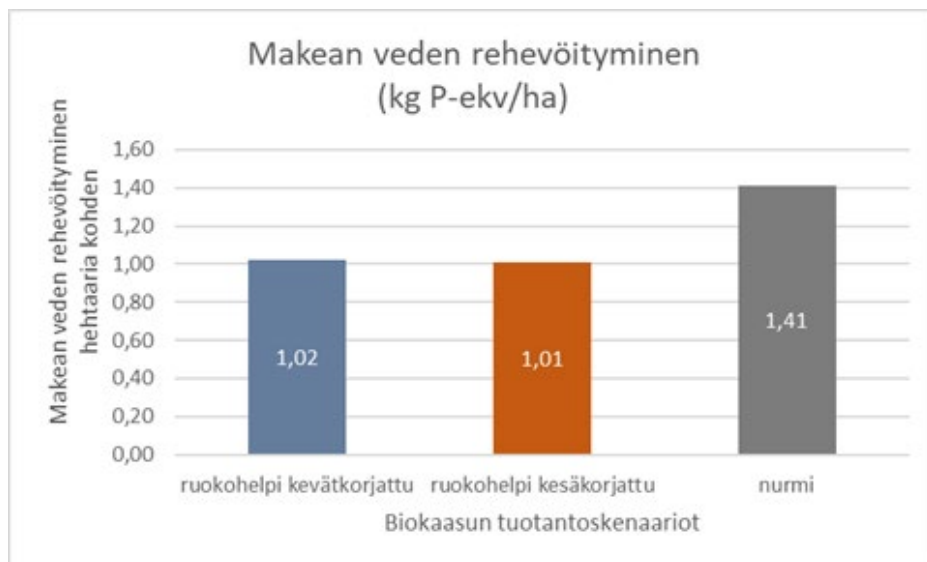
P-ekv. / ha). Ruokohelven mädätyksen skenaarioiden vaikutukset olivat suhteellisen samankaltaiset: keväällä korjatun 1,02 kg P-ekv. / ha ja kesällä korjatun 1,01 kg P-ekv. / ha. Tulosten samankaltaisuus viittaa siihen, että lannoituskäytännöt ja maaperän olosuhteet olivat viljelyn aikana vertailukelpoiset. Kuva 4 esittää tulokset.

4.4 Fossiilisten resurssien niukkuuden tulokset

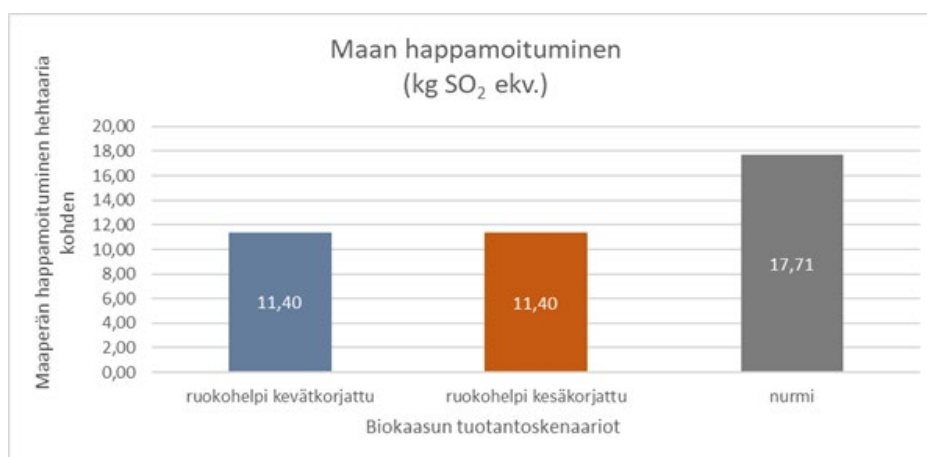
NURMEN MÄDÄTYS osoittaa jälleen korkeimmat tulokset fossiilisten resurssien kysynnän osalta (1 116 kg öljy-

ekv. / ha) verrattuna ruokohelpiskenaarioihin. Koska biomassantuotto hehtaaria kohti on suurempi, sen viljely- ja varastointivaiheissa kulutetaan enemmän polttoainetta, käytetään enemmän koneita ja tarvitaan enemmän sähköä verrattuna ruokohelpiskenaarioihin. Ruokohelven mädätysskenaariot vaikuttavat fossiilisten resurssien niukkuuteen samalla tavalla (kevät: 706,03 kg öljy-ekv. / ha ja kesä: 698,97 kg öljy-ekv. / ha), koska niiden viljely- ja käyttöenergiatarve on samanlainen.

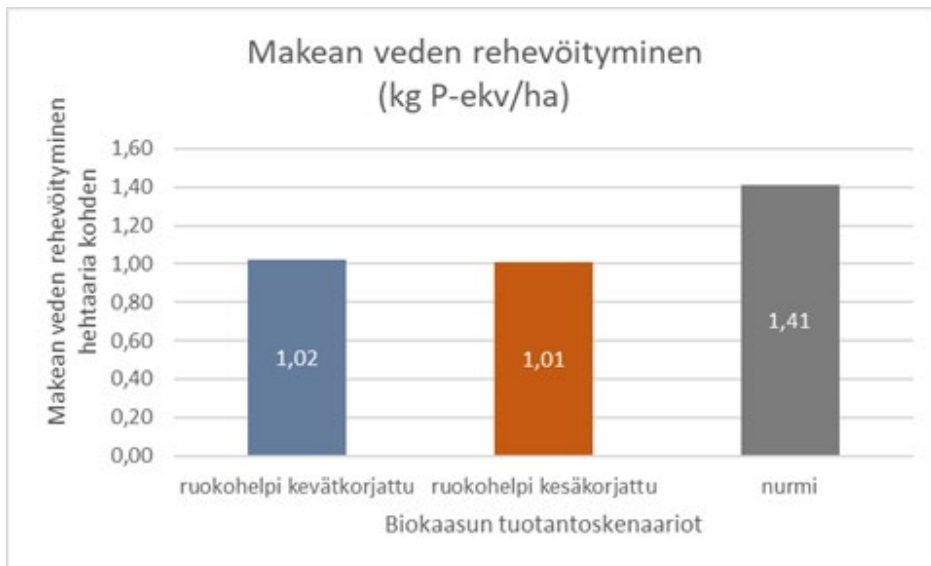
Kuva 5 esittää fossiilisten resurssien niukkuuden tulokset kaikille kasvatetun biomassan skenaarioille.



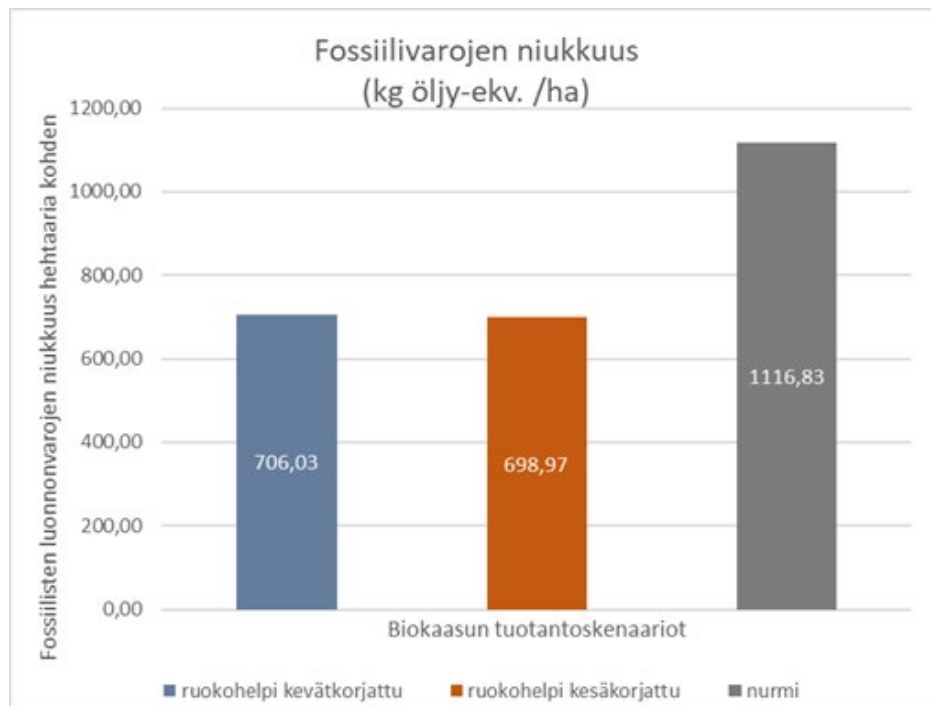
Kuva 2. Kaikkien mädätysskenaarioiden kasvatetun biomassan hehtaarikohtaisen GWP-arvon tyypilliset tulokset.



Kuva 3. Kaikkien mädätysskenaarioiden tulokset maaperän happamoitumisesta hehtaaria kohti biomassan osalta.



Kuva 4. Kasvatetun biomassan mädätyskenaarioiden tulokset makean veden rehevöitymisestä hehtaaria kohti biomassan osalta.



Kuva 5. Kaikkien biokaasuntuotantoskenaarioiden fossiilisten luonnonvarojen niukkuuden tulokset hehtaaria kohti.

Taulukko 4. Neljän skenaarion LCA-tulokset tuotettua biokaasua kuutiometriä kohti vuodessa.

Vaikutusluokat	Skenario 1 Keväällä korjattu ruokohelpi	Skenario 2 Kesällä korjattu ruokohelpi	Skenario 3 Nurmi	Skenario 4 Sekasyöte: kesällä korjattu ruokohelpi ja lanta
Ilmaston lämpenemispotentiaali, kg CO ₂ -ekv./m ³ vuodessa	3 635	3 858	5 676	2 237
Maan happamoituminen, kg SO ₂ -ekv./m ³ vuodessa	11,4	11,4	17,71	2,28
Makean veden rehevöityminen, kg P-ekv./m ³ vuodessa	1,02	1,01	1,41	0,82
Fossiilisten resurssien niukkuus, kg öljy-ekv./m ³ vuodessa	706,03	698,97	1 116,83	-95,87

4.5 Määdätyksen eri syötteillä vertailu

TAULUKOSSA 4 esitetyt elinkaariarvioinnin tulokset vertaavat eri syötteillä toteutettujen määdätyskenaaroiden ympäristövaikutuksia vuotuisen biokaasuntuotannon (m³/v) perusteella. Kaikissa vaikutusluokissa kesällä korjatun ruokohelven ja lannan yhteismäädätys osoittaa johdonmukaisesti pienimmät ympäristövaikutukset, mikä osoittaa sen selkeän edun pelkästään kasvatetun biomassan määdätysvaihtoehtoihin verrattuna. Yhteismäädätyskenaariossa on alhaisin GWP-arvo (2 237 kg CO₂-ekv. tuotettua biokaasua kohti vuodessa). Päästöjen väheneminen johtuu suurelta osin lannan käsittelyyn liittyvien päästöjen välttämisestä, mikä kompensoi merkittävästi kasvihuonekaasupäästöjen kokonaisvaikutusta. Tulos korostaa lannan hyödyntämisen etuja kasvibiomassan rinnalla biokaasun arvoketjussa, sillä se parantaa biokaasun saantoa ja lisää ympäristöhyötyjä.

Yhteismäädätyskenario saavuttaa pienimmän happamoitusvaikutuksen (2,28 kg SO₂-ekv. / vuosi tuotettua biokaasua kohti) lannan ravinteiden kierrätyshyötyjen ansiosta. Makean veden rehevöitymisen osalta yhteismäädätyskenario on paras, sillä sen vaikutus on 0,82 kg P-ekv. tuotettua biokaasua kohti vuodessa. Lopuksi yhteismäädätyskenario saavuttaa negatiivisen fossiilisten resurssien niukkuuden arvon, joka on -95,87 kg öljy-ekv. tuotettua biokaasua kohti vuodessa, mikä osoittaa fossiilisten resurssien

nettosäästön. Tämä johtuu pääasiassa lannan käyttöön liittyvistä vältetyistä päästöistä ja energian talteenotosta. Nurmen määdätys biokaasun tuottamiseksi on osoittautunut kaikissa vaikutusluokissa vähemmän suotuisaksi, sillä se aiheuttaa suurempia vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin, happamoitumiseen, rehevöitymiseen ja fossiilisten luonnonvarojen käyttöön siitä huolimatta, että biomassan ja biokaasun tuotto on korkea verrattuna ruokohelpeen.

4.6 Parannusehdotukset

1. Ruokohelven ja lannan yhteismäädätyksen vaikutukset ovat kaikissa vaikutusluokissa vähäisiä. Siksi sekasyötteen käyttöä on suotavaa edistää biokaasun arvoketjussa tuotannon tehostamiseksi ja päästöjen pienentämiseksi.
2. Lannoitteiden käyttö biomassan viljelyvaiheessa lisää merkittävästi ravinteiden valumaa ja happamoitumista kaikissa skenaarioissa. Biomassan viljelyssä on tärkeää optimoida lannoitteiden käyttö ja hyödyntää kierrätyslannoitteita, kuten biokaasun tuotannossa syntyvää määdätettä, jotta synteettisten lannoitteiden käyttöä voidaan vähentää.
3. Biomassan varastointiprosessi ennen anaerobista määdätystä on vaikuttanut merkittävästi kaikkiin analysoituihin vaikutusluokkiin. Tämä johtuu varastointiprosessissa käytetystä sähköntuotannon yhdistelmästä. Biokaasulaitosten siirtyminen

uusiutuviin sähköntuotantolähteisiin, kuten aurinko- ja tuulivoimaan, tai tuotetun biokaasun uudelleenkäyttö laitoksessa sen sijaan, että sähköä hankitaan verkosta, vähentää merkittävästi sähköön liittyviä vaikutuksia.

4. Viljelykäytäntöjen parantaminen ja vähäpäästöisten koneiden käyttö viljelyn ja peltotöiden aikana vähentävät fossiilisten polttoaineiden käyttöä.

5 Johtopäätökset

SUOMEN SITOUMUS saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä on nopeuttanut turpeen käytön lopettamista. Tämä on luonut sekä ympäristöhaasteita että mahdollisuuksia kestäväälle maankäytölle. Tämä TURKE-hankkeen osana laadittu raportti esittelee attribuutionaalisen elinkaariarvioinnin (LCA) biokaasun tuotannosta energiakasveista, jotka on viljelty käytöstä poistetuilla turvetuotantoalueilla. Tutkimuksessa arvioidaan neljää skenaariota: ruokohelven (kevät- ja kesäsato) mädätys, nurmen mädätys sekä ruokohelven ja lehmänlannan yhteismädätys.

Elinkaariarviointi suoritettiin ISO 14040/44 -standardin sekä ReCiPe 2016 Midpoint -menetelmän mukaisesti, ja järjestelmäraajat määriteltiin kehdosta portille (cradle-to-gate) -periaatteella. Ympäristövaikutukset arvioitiin neljän avainkategorian perusteella: ilmaston lämpenemispotentiaali, maaperän happamoituminen, makean veden rehevöityminen ja fossiilisten luonnonvarojen niukkuus.

Keskeiset havainnot osoittivat, että ruokohelven ja lannan yhteismädätys oli kaikista skenaarioista vähiten haitallinen, sillä sen GWP-arvo oli 2 237 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia, maaperän happamoituminen 2,28 kilogrammaa rikkioksidiekvivalenttia, makean veden rehevöityminen 0,83 kilogrammaa fosforiekvivalenttia ja fossiilisten luonnonvarojen nettosäätöt -95,97 kilogrammaa öljyekvivalenttia. Toisaalta nurmen mädätys on osoittanut suurimman vaikutuksen kaikissa kategorioissa, vaikka sen biomassan- ja energiantuotto on suurempi kuin ruokohelven mädätyksen skenaarioissa. Vaikutuksesta yli 80 prosenttia muodostavat viljelystä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt sekä sähköntuotannosta aiheutuvat fossiiliset hiilidioksidipäästöt (GWP), viljelystä ja sähköntuotannosta aiheutuvat rikkioksidipäästöt (happamoituminen), viljelystä ja varastoinnista aiheutuvat fosfaatti- ja fosforipäästöt (rehevöityminen) sekä viljelystä ja sähköntuotannosta aiheutuvat raakaöljy- ja kivihiilipäästöt (fossiilisten luonnonvarojen niukkuus).

Tutkimuksen tulokset puoltavat käytöstä poistetulla turvetuotantoalueella kasvatetun biomassan ja lannan yhteismädätysstrategioiden priorisointia, jotta ympäristöhyödyt voidaan maksimoida ja Suomen ilmastoneutraaliustavoitteet saavuttaa. Yhteismädätys tarjoaa mahdollisuuksia talouden monipuolistamiseen, mikä luo uusia tulonlähteitä käytöstä poistettujen turvetuotantoalueiden omistajille ja viljelijöille sekä tukee uusiutuvan energian tavoitteita. Tutkimuksen tulokset voivat vaikuttaa kansallisiin ja alueellisiin linjauksiin, mukaan lukien yhteismädätysinfrastruktuuri sekä uusiutuvan sähkön integroinnin tukitoimet. Lopuksi tulokset korostavat tarvetta lisätutkimuksille vähäpanoksisten viljelykasvien, parannetun mädätysjäännöksen käsittelyn ja energiatehokkaiden biokaasun jalostustekniikoiden alalla.

Tutkimuksen rajoitukset liittyvät järjestelmärajan määrittelyyn. Analyysi ei sisällä loppupään prosesseja, kuten biokaasun jakelua ja loppukäyttöä, jotka voivat vaikuttaa kokonaiskestävyyteen. Jotkin inventaariotiedot perustuvat toissijaisiin lähteisiin ja oletuksiin rajallisten paikkakohtaisten mittausten vuoksi, mikä aiheuttaa epävarmuutta. Lopuksi on todettava, että tulokset perustuvat Keski-Pohjanmaan olosuhteisiin, eivätkä ne välttämättä ole suoraan siirrettävissä muille alueille ilman aluekohtaisia mukautuksia.

Tutkimuksen keskeisten havaintojen perusteella suositellaan biomassan ja lannan yhteismädätysstrategioiden edistämistä biokaasun tuotannon arvoketjussa. Happamoitumista ja rehevöitymistä vähennetään käyttämällä biokaasun tuotannossa syntyvää mädätettä lannoitteena. Fossiiliriippuvuuden ja kasvihuonekaasupäästöjen minimoimiseksi ehdotetaan uusiutuvan sähkön yhdistämistä biokaasutoimintoihin sekä vähäpäästöisten koneiden hyödyntämistä viljelyssä ja peltotoiminnassa.

Lähteet

Ecoinvent database. Ecoinvent v3.10 database. Accessed via LCA SimaPro PhD version software.

European Commission. 2021. *Product Environmental Footprint (PEF) method*. Guidance document.

European Parliament. 2024. *Finland's climate action strategy*. Saatavissa: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2024/767180/EPRS_BRI%282024%29767180_EN.pdf. Viitattu 30.10.2025.

ISO 14040. 2006. *Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework*. Geneva: International Organization for Standardization.

Jylhä, P., Aro, L., Knuutila, M., Lötjönen, T., Ukonmaanaho, L. & Wejberg, H. 2026. *Turvetuotantoalueiden jatkokäyttö: Kannattavuus, aluetalous- ja ympäristövaikutukset*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2026. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 77 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-157-9>. Viitattu 4.3.2026.

Laasasenaho, K., Renzi, F., Karjalainen, H., Kaparaju, P., Konttinen, J. & Rintala, J. 2020. *Biogas and combustion potential of fresh reed canary grass grown on cutover peatland*. *Mires and Peat*, 26, 10. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020050725634>. Viitattu 30.10.2025.

Luonnonvarakeskus. Biokaasulaskuri. Saatavissa: <https://biokaasulaskuri.luke.fi/?lang=fi>. Viitattu 30.10.2025.

Mahlan, S., Tokede, O., Sadick, A. M. & Costin, P. G. 2025. Capital goods in life cycle inventory of products: a global systematic review and future research agenda. *International Journal of Life Cycle Assessment* 30, 1623-1650 (2025). Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s11367-025-02476-1>. Viitattu 30.10.2025.

Mustonen, P. 2023. Peatlands and associated boreal forests of Finland under restoration. *Arctic Report Card*. Saatavissa: <https://arctic.noaa.gov/report-card/report-card-2023/peatlands-and-associated-boreal-forests-of-finland-under-restoration/>. Viitattu 30.10.2025.

Pehme, S., Tamm, K. & Koiv, V. 2017. *Environmental performance of manure co-digestion with reed canary grass: A consequential life cycle assessment*.

Spoof-Tuomi, K., Nuortila, C., Berg, P. & Myllykangas, A., 2022. *Biogas Utilization Opportunities in Ostrobothnia Region: Findings from the project*. University of Vaasa. Saatavissa: <https://osuva.uwasa.fi/handle/11111/3973>. Viitattu 30.10.2025.

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2022. *Oikeudenmukaisen siirtymän rahasto tukee alueita uudistamaan elinkeinorakennetta ja vahvistamaan työllisyyttä*. Saatavissa: <https://tem.fi/-/oikeudenmukaisen-siirtyman-rahasto-tukee-alueita-uudistamaan-elinkeinorakennetta-ja-vahvistamaan-tyollisyytta>. Viitattu 30.10.2025.

Valtiokonttori. 2025. *Carbon Neutral Finland 2035*. Saatavissa: <https://www.treasuryfinland.fi/investor-relations/sustainability-and-finnish-government-bonds/carbon-neutral-finland-2035/>. Viitattu 30.10.2025.

Van Someren, C. 2014. *Sustainability of biogas production from biomass waste streams: Grass & cow manure co-digestion process*. Oldenburg, Germany: University of Oldenburg. Postgraduate Program Renewable Energy.

Yle News. 2021. *Ministry unveils plan to phase out peat burning in Finland*. 31.3.2021. Saatavissa: <https://yle.fi/a/3-11864714>. Viitattu 18.11.2025.

Zhao, C. 2020. *Cow manure and biowaste as a biogas substrate – A review*. Master thesis: Environmental Engineering in Agriculture. University of Helsinki. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstreams/7908fe69-fc7b-4926-9588-90428e3fd275/download>. Viitattu 30.10.2025.

Liitteet

Liite 1. Life cycle inventory (LCI). Scenario 1: Reed canary grass (RCG) harvested in spring

Unit Processes

Table 1. LCI data for cultivation, harvesting and transport of reed canary grass.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
Output: Products and Co-products			
1.RCG_spring-harvested	1	kg	Represents 1 kg of reed canary grass received at gate of the biogas production facility.
Emissions to air			
Carbon dioxide	0,37	kg	Provided by Luke (represents GWP emissions)
Substance for footprint terrestrial acidification	0,0011	kg	Provided by Luke (represent terrestrial acidification) (Created a new substance for sulphur dioxide because it was not available in the database)
Emissions to water			
Phosphorus, FI	0,00004	kg	Provided by Luke (freshwater eutrophication)
Inputs from nature			
Oil, crude	0,073	kg	Provided by Luke representing (fossil resources).

Table 2. LCI data for storage of reed canary grass.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
1.RCG_spring-harvested	1,1	kg	Considering a 9% DM loss based on Köhler et al. 2013, Pehme et al. 2017.
Operation, dried roughage store, cold-air dried, conventional {GLO} market for operation, dried roughage store, cold-air dried, conventional Cut-off, U	1,1*Cold_air_dried= 1	kg	Unit process adopted from Ecoinvent v3.10.
Operation, dried roughage store, air dried, solar {GLO} market for operation, dried roughage store, air dried, solar Cut-off, U	1,1*air_dried_solar=1,1	kg	Used for sensitivity analysis
Output: Products and Co-products			
2.RCG_storage	1	kg	It represents 1 kg of reed canary grass after storage assuming a cold-dried conventional storage in a silo at the biogas facility.

Table 3. LCI data for pretreatment of reed canary grass.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
2.RCG_storage	1,01	kg	A 1% loss of material is assumed based on Christian van Someren thesis (2014).
Electricity, medium voltage {F1} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,00207	MJ	Assumption: An electrically powered hammer mill is used to cut the reed canary grass before loading it into the digester. The hammer mill has an energy consumption of 2.05 MJ/ton. (Christian van Someren thesis (2014).
Output: Products and Co-products			
3.RCG_pretreatment	1	kg	This unit process represents 1 kg of pretreated reed canary grass after storage. The pre-treatment considered after storage is only cutting the grass into smaller pieces for easy digestion in the reactor.
Emissions to air			
Particulates, <2.5 um	2,87e-8	kg	Particulate matter: 0.00005kg PM2.5/kWh (ecoinvent v3.11 electricity datasets for SO ₂ , NOx, PM, heavy metal) Pretreatment impacts are dominated by electricity use. PM2.5 values are from indirect electricity production emissions, not the grass.

Table 4. LCI data for anaerobic digestion of reed canary grass.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
3.RCG_pretreatment	3,78	kg	
Electricity, medium voltage {F1} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,189	kWh	0.05 kWh for 1 kg of reed (Hamelin et al.,2010)
Heat, central or small-scale, other than natural gas {RER} market group for heat, central or small-scale, other than natural gas Cut-off, U	0,378	MJ	0.1 MJ for 1 kg of reed (Hamelin et al., 2010)
Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U	0,0034	tkm	Digestate mass: 3.4 kg Transport distance is assumed to be 1 km near the biogas facility 3,4/1000 *1 =0.0034 ton-km
Output: Products and Co-products			
4.RCG_Biogas	1	m ³	VS content is taken as 97% of DM (Luonnonvarakeskus) BMP = 150 m ³ CH ₄ per ton of VS (Saija Rasi, Luke-Spring-harvested RCG) Biogas contains 55% methane and 45% CO ₂ and other impurities. Biogas density of 1.158 kg/Nm ³ (Pehme et al. 2017) Digestate produced is 90% of wet input mass
5.RCG_Digestate	3,4	kg	Digestate is assumed to be 90% of the wet input mass

Continues on the next page.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
Outputs to technosphere: Avoided products			
NPK (15-15-15) fertilizer {RER} market for NPK (15-15-15) fertilizer Cut-off, U	0,0068	kg	System expansion is considered in the process. The limiting nutrient is the phosphorus, therefore, Avoided NPK (kg) = Digestate P(kg) / P in 1 kg NPK (kg) = 0,00102 kg / 0,15 = 0.0068 kg NPK
Emissions to air			
Methane	0,00394	kg	Assumption: 1% of the methane content of the biogas is assumed to be emitted to the environment according to Hamelin 2010 (Jungbluth et al 2007; Börjesson and Berglund (2007)
Carbon dioxide	0,00658	kg	Assumption: From Hamelin 2010, 1.67 kg CO ₂ per kg CH ₄ is calculated. Therefore, 1.67 kg * 0.00394kg = 0.00658 kg
Ammonia, FI	0	kg	Adopted from Hamelin 2010, the emissions of NH ₃ and N ₂ O from the biogas plant are assumed to be insignificant. And it's based-on publications from Marcato et al 2008; Masse et al 2007)
Hydrogen sulfide	0	kg	No data. Hamelin 2010 assumed it to be insignificant.

Liite 2. Scenario 2: Reed canary grass harvested in summer

Unit Processes

Table 5. LCI data for cultivation, harvesting and transport of reed canary grass harvested in summer.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
Output: Products and Co-products			
1.RCG_summer_harvested_TP	1	kg	Represents 1 kg of reed canary grass received at gate of the biogas production facility.
Emissions to air			
Carbon dioxide	0,37	kg	Provided by Luke (represents GWP emissions)
Sulfur dioxide, FI	0,0011	kg	Provided by Luke (represent terrestrial acidification)
Emissions to water			
Phosphorus, FI	0,000038	kg	Provided by Luke (freshwater eutrophication)
Inputs from nature			
Oil, crude	0,072	kg	Provided by Luke representing (fossil resources).

Table 6. LCI data for storage of reed canary grass harvested in summer.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
1.RCG_summer_harvested_TP	1,1	kg	Considering a 9% DM loss based on Köhler et al 2013, Sirli Pehme 2017.
Operation, dried roughage store, cold-air dried, conventional {GLO} market for operation, dried roughage store, cold-air dried, conventional Cut-off, U	1,1*Cold_ air- dried=1	kg	Unit process adopted from Ecoinvent v3.10.
Operation, dried roughage store, air dried, solar {GLO} market for operation, dried roughage store, air dried, solar Cut-off, U	1,1*air_ dried_ solar=0		For sensitivity analysis
Output: Products and Co-products			
2.RCG_storage_summer_TP	1	kg	It represents 1 kg of reed canary grass after storage assuming a cold-dried conventional storage in a silo at the biogas facility.

Table 7. LCI data for pretreatment of reed canary grass.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
2.RCG_storage_summer_TP	1,01	kg	A 1% loss of material is assumed based on Christian van Someren thesis (2014).
Electricity, medium voltage {FI} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,00207	MJ	Assumption: We assume that a hammer mill is used to cut the reed canary grass before loading it into the digester. The hammer mill considered is also electrically powered with an energy consumption of 2.05 MJ/ton. (Christian van Someren thesis (2014).
Output: Products and Co-products			
3.RCG_pretreatment_summer_TP	1	kg	This unit process represents 1 kg of pretreated reed canary grass after storage. The pre-treatment considered after storage is only cutting the grass into smaller pieces for easy digestion in the reactor.
Emissions to air			
Particulates, <2.5 um	2,87e-8	kg	Particulate matter: 0.00005 kg PM2.5/kWh (ecoinvent v3.11 electricity datasets for SO ₂ , NO _x , PM, heavy metal) Pretreatment impacts are dominated by electricity use. PM2.5 values are from indirect electricity production emissions, not the grass.

Table 8. LCI data for anaerobic digestion of reed canary grass harvested in summer.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
3.RCG_pretreatment_summer_TP	1,94	kg	
Electricity, medium voltage {FI} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	0.097	kWh	0.05 kWh for 1 kg of reed (Hamelin et al. 2010)
Heat, central or small-scale, other than natural gas {RER} market group for heat, central or small-scale, other than natural gas Cut-off, U	0,194	MJ	0.1 MJ for 1 kg of reed (Hamelin et al. 2010)
Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U	0,00175	tkm	Digestate mass:1,75 kg Transport distance is assumed to be 1 km near the biogas facility $1,75/1000*1=0,00175$ tkm
Output: Products and Co-products			
4.RCG_Biogas_produced_Summer_TP	1	m ³	
5.RCG_Digestate_Summer_TP	1,75	kg	Digestate is assumed to be 90% of the wet input mass
Outputs to technosphere: Avoided products			
NPK [15-15-15] fertilizer {RER} market for NPK [15-15-15] fertilizer Cut-off, U	0,0035	kg	System expansion is considered in the process. The limiting nutrient is the phosphorus, therefore, Avoided NPK (kg) = Digestate P(kg) / P in 1 kg NPK (kg) = 0,000525kg / 0,15 = 0,0035kg NPK
Emissions to air			
Methane	0,00394	kg	Assumption: 1% of the methane content of the biogas is assumed to be emitted to the environment according to Hamelin 2010 (Jungbluth et al 2007; Börjesson and Berglund (2007)
Carbon dioxide	0,00658	kg	Assumption: From Hamelin 2010, 1.67 kg CO ₂ per kg CH ₄ is calculated. Therefore, $1.67 \text{ kg} * 0.00394 \text{ kg} = 0.00658 \text{ kg}$
Ammonia, FI	0	kg	Adopted from Hamelin 2010, the emissions of NH ₃ and N ₂ O from the biogas plant are assumed to be insignificant. And it's based-on publications from Marcato et al 2008; Masse et al 2007.
Hydrogen sulfide	0	kg	No data. Hamelin 2010 assumed it to be insignificant.

Liite 3. Scenario 3: Grass harvested twice in the year

Unit Processes

Table 9. LCI data for cultivation, harvesting and transport of grass harvested.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
Output: Products and Co-products			
1a. TURKE-Grass-Received	1	kg	<p>This unit process represents the part modelled by Luke. It is 1 kg grass received at gate of the biogas facility. Luke provided the following calculated values:</p> <p>GHG emissions Grass: 0,43 kg CO₂ eq/kg biomass</p> <p>Phosphorus emissions Grass: 0,000046 kg P eq/kg biomass</p> <p>Fossil resources Grass: 0,094 kg Oil eq/kg biomass</p> <p>Terrestrial Acidification emissions Grass: 0,0014 kg SO₂ eq/kg</p>
Emissions to air			
Carbon dioxide	0,43	kg	Provided by Luke (represents GWP emissions)
Substance for footprint terrestrial acidification	0,0014	kg	Provided by Luke (represent terrestrial acidification)
Emissions to water			
Phosphorus, FI	0,000046	kg	Provided by Luke (freshwater eutrophication)
Inputs from nature			
Oil, crude	0,094	kg	Provided by Luke representing (fossil resources)

Table 10. LCI data for storage of grass.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
1a. TURKE_Grass_Received	1,1	kg	Assuming a 9% DM loss for easy comparison with the calculations done for reed canary grass.
Operation, dried roughage store, cold-air dried, conventional {GLO} market for operation, dried roughage store, cold-air dried, conventional Cut-off, U	1,1	kg	Unit process adopted from Ecoinvent v3.10.
Output: Products and Co-products			
2a. TURKE_Grass_Received	1	kg	This represents 1 kg output of grass (timothy) after storage assuming a cold-dried conventional storage in a silo at the biogas facility

Table 11. LCI data for pretreatment grass.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
2a. TURKE_Grass_Storage	1,01	kg	A 1% loss of material is assumed based on Christian van Someren thesis (2014).
Electricity, medium voltage {FI} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,00207	MJ	Assumption: We assume that a hammer mill is used to cut the grass before loading it into the digester. The hammer mill considered is also electrically powered with an energy consumption of 2.05 MJ/ton. (Christian van Someren thesis (2014).
Output: Products and Co-products			
3a. TURKE_Pretreatment_cutting_ grass	1	kg	This unit process represents 1 kg of pretreated grass after storage. The pre-treatment considered after storage is only cutting the grass into smaller pieces for easy digestion in the reactor.
Emissions to air			
Particulates, <2.5 um	2,87e-8	kg	Particulate matter: 0.00005 kg PM2.5/kWh (ecoinvent v3.11 electricity datasets for SO ₂ , NO _x , PM, heavy metal) Pretreatment impacts are dominated by electricity use. PM2.5 values are from indirect electricity production emissions, not the grass.

Table 12. LCI data for anaerobic digestion of reed canary grass harvested in summer.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
3.RCG_pretreatment_TP	1,746	kg	
Electricity, medium voltage {FI} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,087	kWh	0.05 kWh for 1 kg of grass (Hamelin et al.,2010)
Heat, central or small-scale, other than natural gas {RER} market group for heat, central or small-scale, other than natural gas Cut-off, U	0,174	MJ	0.1 MJ for 1 kg of grass (Hamelin et al., 2010)
Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U	0,00157	tkm	Digestate mass: 1,5714 kg Transport distance is assumed to be 1 km near the biogas facility 0.00157/1000 *1 =0.00157 ton-km
Output: Products and Co-products			
4.TURKE_Biogas_grass	1	m ³	
5.Grass_Digestate_TP	1,57	kg	Digestate is assumed to be 90% of the wet input mass

Continues on the next page.

Inputs: Materials/fuels	Amount	Unit	Comment + Assumptions
Outputs to technosphere: Avoided products			
NPK (15-15-15) fertilizer {RER} market for NPK (15-15-15) fertilizer Cut-off, U	0,00942	kg	<p>System expansion is considered in the process.</p> <p>Digestate nutrients can replace NPK fertilizer by the following: Based on Phosphorus: $0.001413 / 0.15 = 0.00942\text{kg}$</p> <p>The limiting nutrient is the phosphorus, therefore the digestate can replace 0.00942 kg of NPK fertilizer without exceeding the phosphorus contribution, which is the smallest amount.</p>
Emissions to air			
Methane	0,00394	kg	<p>Assumption: 1% of the methane content of the biogas is assumed to be emitted to the environment according to Hamelin 2010 (Jungbluth et al 2007; Börjesson and Berglund (2007)</p>
Carbon dioxide	0,00658	kg	<p>Assumption From Hamelin 2010, 1.67 kg CO₂ per kg CH₄ is calculated. Therefore, $1.67 \text{ kg} * 0.00394\text{kg} = 0.00658 \text{ kg}$</p>
Ammonia, FI	0	kg	<p>Adopted from Hamelin 2010, the emissions of NH₃ and N₂O from the biogas plant are assumed to be insignificant. And it's based-on publications from Marcato et al 2008; Masse et al 2007)</p>
Hydrogen sulphide	0	kg	<p>No data. Hamelin 2010 assumed it to be insignificant.</p>

Entisillä turvetuotantoalueilla kasvatetusta biomassasta tuotetun biokaasun elinkaariarviointi

TÄMÄ ELINKAARIARVIOINTI (LCA) on osa alueellista kehityshanketta TURKE (Turvetuotantoalueet kestävään käyttöön), jonka tavoitteena on arvioida Keski-Pohjanmaan turvetuotantoalueiden soveltuvuutta erilaisiin jatkokäyttömuotoihin. Tutkimuksessa arvioidaan biokaasun tuotannon ympäristövaikutuksia ja kestävyyttä, kun syötteenä käytetään entisillä turvetuotantoalueilla viljeltyä ruokohelpeä (*Phalaris arundinacea*) ja nurmea (*Festuca pratensis*) sekä eläinten lantaa.

Elinkaariarvioinnin keskeisenä tavoitteena on määrittää biokaasun arvoketjun tärkeimmät ympäristövaikutusten lähteet ja verrata raaka-aineena käytettävien energiakasvien suhteellista ympäristötehokkuutta. LCA-analyysi keskittyy neljään skenaarioon:

1. Keväällä korjatun ruokohelven mädätys
2. Kesällä korjatun ruokohelven mädätys
3. Kahdesti vuodessa korjatun nurmen mädätys
4. Kesällä korjatun ruokohelven ja lannan yhteismädätys.

Attribuutionallinen elinkaariarviointi tehtiin SimaPro-ohjelmiston PhD-versiolla käyttäen kehdestä portille (cradle-to-gate) -rajausta ja ReCiPe 2016 Midpoint (H) -menetelmää. Ensisijaisena vaikutuskategoriana tarkasteltiin ilmastonmuutosta. Tutkimuksessa kvantifioidaan myös vaikutukset, jotka liittyvät rehevöitymiseen, happamoitumiseen ja fossiilisten luonnonvarojen käyttöön.

Kaikista skenaarioista ruokohelven ja lannan yhteismädätys saavutti alhaisimman ilmaston lämpenemispotentialin tuotettua biokaasua kohti vuodessa (2 237 kg CO₂-ekv. / vuosi). Vaikka nurmen yksittäinen mädätys tuotti suurimman biomassan- ja biokaasutuoton hehtaaria kohti verrattuna ruokohelpiin, se aiheutti suurimman ympäristökuormituksen kaikissa vaikutusluokissa toiminnallista yksikköä kohti: [ilmaston lämpenemispotentiali (5 676 kg CO₂-ekv. / ha), happamoituminen (17,7 kg SO₂-ekv. / ha), rehevöityminen (1,41 kg P-ekv./ ha) ja fossiilisten luonnonvarojen niukkuus (1 116 kg öljy-ekv. / ha)].

Tulokset korostavat yhteismädätyksen, optimoidun ravinteiden hallinnan ja uusiutuvan energian käytön merkitystä biokaasuntuotannon arvoketjussa. Tämän tutkimuksen rajoituksiin kuuluvat jatkoprosessien poissulkeminen, datan puute ja osittainen tukeutuminen toissijaiseen aineistoon sekä tarkastelun rajautuminen Keski-Pohjanmaan alueeseen.

Tulokset auttavat sidosryhmiä politiikan kehittämisessä, aluesuunnittelussa ja tulevaisuudessa tutkimuksissa, jotka koskevat turvesoiden kestävää jälkikäyttöä ja bioenergian kehittämistä.

ISSN 2342-933X

ISBN 978-952-7604-38-0



**Euroopan unionin
osarahoittama**

centria
ammattikorkeakoulu



KESKI-POHJANMAAN LIITTO
MELLERSTA ÖSTERBOTTENS FÖRBUND