



# DigiBiogasHubs

Digitaaliset alustat joustavan ja skaalautuvan  
biokaasutoiminnan mahdollistajina

---

## Biokaasun tuotanto- ja käyttöpotentiaalin selvitys sekä biokaasun tuotannon ja käytön päästölaskenta

### - Pohjanmaan maakunta

12.09.2024

Tarkistettu 5.3.2025

---

#### TP2, osaraportti

Kirsi Spoof-Tuomi

Vaasan yliopisto/VEBIC



---

# Sisältö

## Executive summary

1. Johdanto
2. Pohjanmaan biokaasuhub
3. Biometaanin käyttöpotentiaali
4. Biokaasutuotannon nykytila
5. Biometaanin tuotantopotentiaali
6. Päästölaskenta
7. Yhteenveto ja pohdinta

## Lähteet

---

## Executive summary

Finland's national goal is to be carbon neutral by 2035. A critical step in achieving this goal is replacing fossil fuels with low-emission forms of energy. Biogas is a low-emission, sustainable alternative to fossil fuels in transport, industry, and heat and electricity production. In addition to emission reduction goals, biogas activities are supported by the development needs of nutrient recycling, regional vitality, security of supply, and agricultural emission reduction goals.

This report was completed as part of the DigiBiogasHubs project. The project's overall goal is to develop and pilot a system-level solution based on a digital platform and tools that promote the development and interaction of biogas hubs located in different regions and the development of the biogas market. The project was implemented in three provinces: South Ostrobothnia, Central Ostrobothnia, and Ostrobothnia.

This report is related to the project's work package 2, which describes and analyzes three province-specific biogas hubs (networks formed regionally). This report focuses on Ostrobothnia's biogas hub, and the study was carried out by the University of Vaasa. The report consists of four main parts: 1) a geographic definition of the hub and identification of key players as well as a hub description based on these, 2) an analysis of biogas use potential, 3) an analysis of biogas production potential, and 4) carbon accounting and calculating the GHG reduction potential of biogas.

---

## Hub description

In Ostrobothnia's biogas hub, the most significant biogas use potential relates to short-sea shipping and industrial use. The deployment of the gas-powered ferry Aurora Botnia on the Vaasa-Umeå route opened up enormous opportunities for liquefied biogas (LBG). Wärtsilä has also expressed interest in using LBG in its testing and piloting activities. The waste-to-energy plant Westenergy has also been interested in using biogas as auxiliary fuel for the power plant. Liquefied biomethane is a sustainable energy alternative even for heavy road traffic.

However, introducing LBG in the mentioned segments requires a significant increase in biogas production and investments in the liquefaction infrastructure. In order to increase the production of biogas, new actors, innovation in business models, and new possible value chains are needed, such as enhancing nutrient recycling and cooperation with the hydrogen cluster. In addition to biogas users, key players in Ostrobothnia are the current biogas producers Jeppo Biogas and Stormossen and potential new biogas producers. Other key players are feedstock producers, technology suppliers, logistics, and gas distribution companies.

## LBG use potential

LBG's use potential was identified in industry, heavy road traffic, and short-sea shipping, as well as in the production of district heating and cogeneration electricity. The total amount of energy produced with fossil fuels and peat in the aforementioned sectors in Ostrobothnia is almost 1300 GWh per year. LNG consumption alone in short-sea shipping and industry is 100–130 GWh/year. Here, switching to liquefied biomethane instead of LNG would be possible immediately when LBG is available.

---

## LBG production potential

The current annual biogas production in Ostrobothnia is 60 GWh. However, there is plenty of unused biogas potential in the area. Agricultural biomasses play a crucial role in increasing biogas production, as most of the unused production potential of biogas is in agricultural biomasses.

Based on this study, the theoretical annual biomethane production potential of Ostrobothnia's unused manure and field side streams, including fallow and buffer zone grasses, potato stalks, and surplus straws, is 762 GWh. However, due to technical and economic limitations, all of these biomasses cannot be assumed to end up in biogas production. The techno-economic potential was calculated with the following assumptions: The collecting radii of biomasses for wet manures 20 km, dry manures 40 km, and field biomass 50 km, and the amount of biomass ending up in biogas production for wet manures 60 % or 80 % of the total amount, dry manures 50 % or 70 % of the total amount, and field biomass 20 % or 40 % of the total amount.

With these assumptions, the techno-economic potential was estimated at 240–434 GWh per year, depending on the utilization rate. This is 4–7 times the current annual production. The highest single biomethane potential was associated with straw; the share of straw in the total potential exceeds 50 %. The biomethane potential of potato stalks in the area is also significant, up to 50 GWh/year. The maximum biogas potential of fallow and buffer zone grasses was estimated at 28 GWh/year. However, in the case of grasses, it should be noted that the calculation method of the Biomass Atlas, used as the source, is surface-based, not yield-based, i.e., if several crops can be harvested from the same area, the potential is greater than the calculations presented in this study. The maximum techno-economic biomethane potential of manures in the area is 106 GWh annually.

---

Although the greatest energy potential as biogas is related to field biomass, manure is an excellent basic input for the biogas process because it is formed evenly throughout the year in large quantities. Manures also contain most of the nutrients that can be recycled.

### **Carbon accounting and the GHG reduction potential of biogas**

GHG calculations followed the principles of the EU renewable energy RED II directive. The calculation of GHG emissions included the following unit processes:

1. Feedstock transport
2. Biogas processes (feedstock pretreatment + sanitation + digestion)
3. Biogas upgrading and liquefaction
4. Digestate residue processing and storage
5. LBG transport
6. End use of LBG in maritime transport and heavy road transport

To meet the sustainability criteria of the RED II directive, biogas must reduce greenhouse gas emissions by at least 65 % compared to fossil fuels. This study used LNG and conventional diesel fuel as the reference fuels.

The emission reduction results strongly depended on the raw materials used: Case 1 mainly used manures (84 %) as feedstocks, leading to an emission reduction of 98–120 % compared to LNG or fossil diesel use. In Case 2, with a feedstock mixture of 39 % manures and 61 % grass biomasses, the GHG emissions reduction was 75–88 %. The emission reduction of LBG produced from grass biomass alone (Case 3) was 70–82 % compared to fossil fuels. Thus, the sustainability criteria of RED II was met in all investigated cases.

---

In addition to avoiding emissions by replacing fossil fuels, biogas also has considerable potential to avoid GHG emissions from agriculture. Large quantities of manure from animal farming can be brought into the biogas plant's closed and controlled environment, avoiding uncontrolled methane release from raw manure storage. In addition, biogas plants not only produce energy but also digestate, which is formed during the anaerobic digestion process. Digestate is a perfect biological and green fertilizer that can reduce the use of mineral fertilizers, avoiding the emissions associated with their energy-intensive production.

The total amount of energy produced with fossil fuels and peat in the studied sectors in Ostrobothnia is almost 1300 GWh per year, so in the long term, new inputs and new technologies are needed alongside traditional digestion techniques.

A huge renewable methane potential lies in synthetic production chains. In any case, although the production potential of synthetic methane is greater than that of biomethane, biogas activities must continue to be developed in parallel. In addition to providing low-emission energy, traditional biogas production is an efficient nutrient recycler and, especially when using manure, an effective agricultural emission reducer.

---

# 1. Johdanto

Suomen kansallinen, Ilmastolain mukainen tavoite on olla hiilineutraali viimeistään vuonna 2035. Tavoitteen saavuttamisessa kriittinen toimi on fossiilisten polttoaineiden korvaaminen vähäpäästöisillä energiamuodoilla. Biokaasu on vähäpäästöinen, vastuullinen vaihtoehto fossiilisille polttoaineille niin liikenteessä, teollisuudessa kuin lämmön- ja sähköntuotannossa. Päästövähennystavoitteiden lisäksi biokaasusektorille mahdollisuuksia luovat ravinteiden kierrätyksen kehittämistarpeet, alueiden elinvoimaisuusnäkökulmat, huoltovarmuusnäkökulmat sekä maatalouden päästövähennystavoitteet.

Tämä selvitys valmistui osana DigiBiogasHubs–hanketta. Hankkeen kokonaisvaltaisena tavoitteena on kehittää ja pilotoida digitaaliseen alustaan perustuvaa järjestelmätason ratkaisua ja työkaluja, jotka edistävät eri alueilla sijaitsevien biokaasuhubien kehittymistä ja vuorovaikutusta sekä biokaasumarkkinoiden kehittymistä. Hanke toteutettiin kolmen maakunnan alueella: Etelä-Pohjanmaa, Keski-Pohjanmaa ja Pohjanmaa.

Selvitys liittyy hankkeen työpakettiin 2, jossa kuvataan ja analysoidaan kolme maakuntakohtaista, toisistaan poikkeavaa biokaasuhubia (alueellisesti muodostuvaa verkostoa). Tämä raportti keskittyy Pohjanmaan biokaasuhubiin ja selvityksestä vastasi Vaasan yliopisto. Raportti koostuu neljästä osasta: 1) hubin maantieteellinen määrittely ja keskeisten toimijoiden identifiointi sekä näiden perusteella laadittu hubkuvaus, 2) biokaasun käyttöpotentiaalin selvitys, 3) biokaasun tuotantopotentiaalin selvitys, ja 4) biokaasun tuotannon ja käytön hiilijalanjäljen ja päästövähennyspotentiaalin laskenta.



## Pohjanmaan maakunta

Pohjanmaa on Suomen länsirannikolla sijaitseva 14 kunnan ja noin 176 000 asukkaan maakunta. Pohjanmaan keskus on kansainvälinen, noin 67 000 asukkaan Vaasa. Maakunta jakautuu Pietarsaaren ja Vaasan seutuihin sekä Suupohjan rannikkoseutuun.



---

## Tutkimusmenetelmät

Biokaasun käyttöpotentiaalin arvioinnissa hyödynnettiin Tilastokeskuksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Energiateollisuuden tilastoja. Käyttöpotentiaalin arvioinnissa tarkasteltiin erityisesti raskaan tieliikenteen ja lähimerenkuliikenteen energiankulutusta, teollisuuden fossiilienergiaan perustuvaa energiankulutusta sekä turpeen ja fossiilisten polttoaineiden polttoon perustuvaa kaukolämmön tuotantoa.

Biokaasun tuotantopotentiaalin arvioinnissa hyödynnettiin Luonnonvarakeskuksen Biomassa-atlas –palvelua, Luonnonvarakeskuksen Biokaasulaskuria ja alan kirjallisuutta.

Päästölaskennassa painopiste oli kasvihuonekaasujen laskennassa. Laskennassa hyödynnettiin mm. seuraavia lähteitä: EU:n uusiutuvan energian RED II direktiivi, Ilmastolannoite –kierrätyslannoitevalmisteiden hiilijalanjälkilaskuri, JRC well-to-wheels raportti v5 2020, Tilastokeskuksen data sekä alan kirjallisuus.

---

## 2. Pohjanmaan biokaasuhub:

LBG, teollisuuden sekä satama- ja meriliikenteen kehittämistä tukeva hub

Pohjanmaan biokaasuhubissa merkittävin biokaasun käyttöpotentiaali liittyy lähimerenkulkuun ja teollisuuskäyttöön. Kaasukäyttöisen autolautta Aurora Botnian käyttöönotto Vaasa-Uumaja reitillä avasi mittavat mahdollisuudet nesteytetylle biometaanille (LBG). Myös Wärtsilä on ilmaissut kiinnostuksensa LBG:n käyttöön omassa testaus- ja koetoiminnassaan. Lisäksi jäte-energialaitos Westenergy on ollut kiinnostunut biokaasun käytöstä voimalan apupolttoaineena. Nesteytetty biometaani on kestävä energiavaihtoehto myös raskaaseen maantieliikenteeseen.

LBG:n käyttöönotto mainituilla segmenteillä vaatii kuitenkin tuntuvaan biokaasutuotannon lisäämistä ja panostuksia nesteytysinfrastruktuuriin. Biokaasun tuotannon kasvattamiseksi tarvitaan uusia toimijoita, innovointia liiketoimintamalleihin ja uusia mahdollisia arvoketjuja, esimerkkeinä ravinnekierrätyksen tehostaminen sekä yhteistyö vetyklusterin kanssa. Biokaasun käyttäjien lisäksi avainasemassa olevia toimijoita Pohjanmaalla ovat nykyiset biokaasun tuottajat Jepuan biokaasu ja Stormossen sekä mahdolliset uudet tulevat biokaasun tuottajat. Muita avaintoimijoita ovat syötteen tuottajat, teknologiatoimittajat, logistiikkayhtiöt ja kaasun jakeluyhtiöt.

### 3. Biometaanin käyttöpotentiaali

LBG:n käyttöpotentiaalin arvioinnissa kartoitettiin julkisista lähteistä saatavilla olevia energiankulutustietoja Pohjanmaalla. Tarkastelu keskittyi teollisuuden polttoaineisiin perustuvaan energiakäyttöön (= teollisuuden muu kuin sähkön käyttöön perustuva energiakäyttö), raskaan tieliikenteen ja lähimerenkululiikenteen energiankulutukseen sekä turpeen ja fossiilisten polttoaineiden polttoon perustuvaan kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotantoon. Tietoa kerättiin maakuntakohtaisesti, silloin kun sitä oli saatavilla. Mikäli maakuntakohtaista tietoa ei ollut käytettävissä, maakuntakohtainen arvio laskettiin skaalaamalla koko Suomea koskevat kokonaisluvut väkiluvun perusteella.



Kuvat: iStock

# Energian käyttö Pohjanmaalla

## Teollisuus

Teollisuuden energiankäyttö jaotellaan tilastoissa teollisuuden sähkön käyttöön ja muun energian käyttöön. Muun energian käyttö koostuu polttoaineisiin perustuvasta energiasta sekä ostetusta lämmöstä.

Teollisuuden kokonaisenergiankäyttö Pohjanmaalla vuonna 2022 oli 5 298 GWh. Muuta kuin sähköenergiaa teollisuudessa käytettiin 3 842 GWh eli 72,5 % kokonaisenergiankäytöstä. (Tilastokeskus, 2024a)

Alla oleva taulukko erittelee eri energialähteiden osuuden teollisuuden muusta energiakäytöstä toimialoittain Pohjanmaalla vuonna 2019. Lähteenä käytetty Ramboll (2021).

GWh/vuosi	Mineraalien kaivu	Elintarvike-teollisuus	Tekstiili- ja vaate-teollisuus	Metsä-teollisuus	Kemian-teollisuus	Metallien jalostus	Kone- ja metallituote-teollisuus	Elektroniikka- ja sähkö-teollisuus	Muu tehdas-teollisuus	Yhteensä
Öljy	0 %	1 %	0 %	2 %	3 %	0 %	2 %	0 %	1 %	9 %
Hiili	0 %	1 %	0 %	1 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	3 %
Maakaasu	0 %	1 %	0 %	5 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	7 %
Turve	0 %	0 %	0 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	2 %
Puupolttoaineet	0 %	0 %	0 %	58 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	59 %
Muut energialähteet	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	2 %
Ostettu lämpö	0 %	5 %	0 %	5 %	1 %	0 %	3 %	3 %	0 %	19 %
Yhteensä	0 %	8 %	0 %	74 %	5 %	1 %	6 %	4 %	2 %	100 %

---

Pohjanmaalla teollisuus on merkittävä energiankäyttäjä ja polttoon perustuvaa energiaa käytetään edelleen paljon.

Suurin osa teollisuuden polttoon perustuvasta energiasta käytetään metsäteollisuudessa, jossa puupolttoaineet ovat isossa roolissa. Kuitenkin 10 % metsäteollisuuden energiasta tuotetaan edelleen fossiilisilla polttoaineilla – öljyllä, hiilellä ja maakaasulla – sekä turpeella. Muita fossiilisia polttoaineita hyödyntäviä teollisuuden aloja ovat elintarviketeollisuus, kemianteollisuus, metallien jalostus ja kone- ja metallituoteteollisuus.

**Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus teollisuuden energian käytöstä Pohjanmaalla vuonna 2019 oli yhteensä 20,4 %. Vuoden 2022 energiankulutustiedoilla tämä tekee 782 GWh/vuosi.**

Alueen teollisuusyrityksistä Wärtsilä on ilmaissut kiinnostuksensa nesteytetyn biokaasun käyttöön Vaasassa sijaitsevassa Smart Technology Hubissa, jossa polttoaineita käytetään pääasiassa moottoreiden testaustoiminnassa. Nesteytetyn maakaasun kulutus Wärtsilän Vaasan toimipisteissä vaihtelee vajaasta 3000 tonnista 5000 tonniin vuodessa (40–70 GWh/v). Tämä määrä voitaisiin korvata suoraan nesteytetyllä biometaanilla, jos sitä olisi alueelta saatavissa.

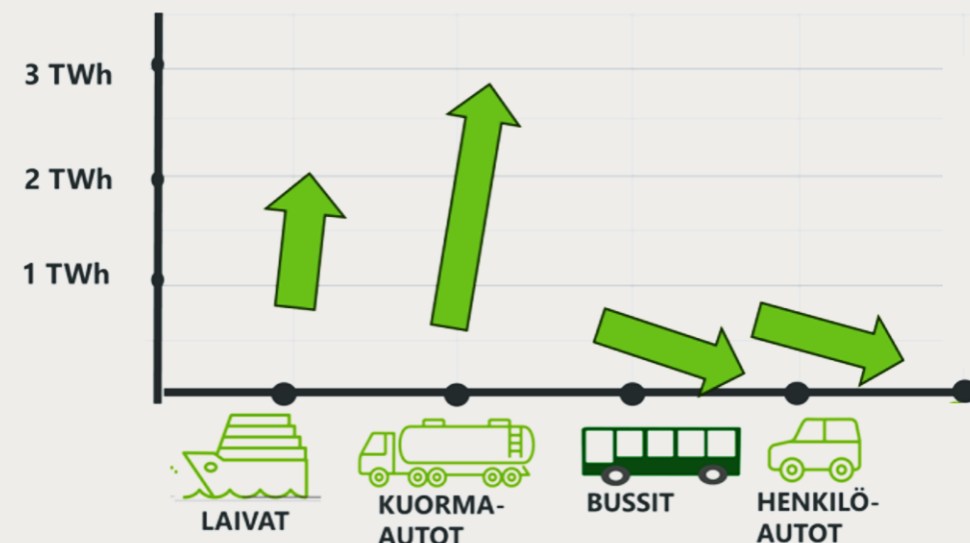
# Energian käyttö Pohjanmaalla

## Liikenne

Liikennesektorilla kaasukäyttöisten henkilöautojen määrä on rajallinen, eikä biokaasulla nähdä henkilöautoissa juurikaan kasvupotentiaalia, kun EU-regulaatio ohjaa voimakkaasti ajoneuvokantaa sähköistymään. Sähkön käyttö on nousemassa myös paketti-, linja- ja kuorma-autoissa (Sähköinen liikenne ry, 2023). Sähkö ei kuitenkaan ole vielä nykYTEKNIKALLA toimiva ratkaisu raskaisiin pitkän matkan kuljetuksiin.

Pohjanmaan alueella etenkin valtatie 8 ja 12 ovat merkittäviä reittejä kaupan ja teollisuuden kuljetuksissa. Biokaasu tarjoaa kestävän, nopeasti käyttöönotettavan energiavaihtoehdon raskaaseen liikenteeseen, mikäli jakeluinfra on kunnossa. Runko-liikenteen ajoneuvoille sopii parhaiten nesteytetty kaasu (LBG).

Toinen merkittävä käyttökohde LBG:lle on laivaliikenne, jossa ilmeisin käyttökohde Pohjanmaalla on Vaasa-Uumaja välillä operoiva kaasukäyttöinen autolautta.



Arvioita biometaanin kysyntämääristä Suomessa vuosina 2030, 2035 ja 2040. Kuva muokattu lähteestä Virolainen-Hynnä (2024)

## Raskas maantieliikenne

Raskaiden pitkän matkan maantiekuljetusten energiankulutuksen laskennassa käytettiin Tilastokeskuksen dataa. Tilastokeskuksen tilastoissa liikennesuoritteiden määrä ilmoitetaan koko maan osalta, eikä maakuntakohtaisia tilastoja ole saatavilla. Maakuntakohtainen arvio laskettiin skaalaamalla koko Suomea koskevat kokonaisluvut väkiluvun perusteella.

Laskentaan otettiin mukaan kokonaispainoltaan yli 42 tonnin ajoneuvoyhdistelmät (puoliperävaunu- ja täysperävaunuyhdistelmät). Alla oleva taulukko esittää liikennesuoritteiden määrän (milj. km) painoluokittain koko Suomen osalta sekä väkiluvun perusteella lasketun Pohjanmaan osuuden (3,2 %).

Painoluokka	Liikennesuorite, milj. km	
	Koko maa	Pohjanmaa
42 000 - 48 000 kg	88	2,8
48 001 - 54 000 kg	98	3,1
54 001 - 60 000 kg	87	2,8
60001 - 64 000 kg	111	3,5
64 001 - 68 000 kg	252	8,0
Yli 68 000 kg	374	11,8
Yhteensä	1010	32,0

Lähde: Tilastokeskus, 2024a

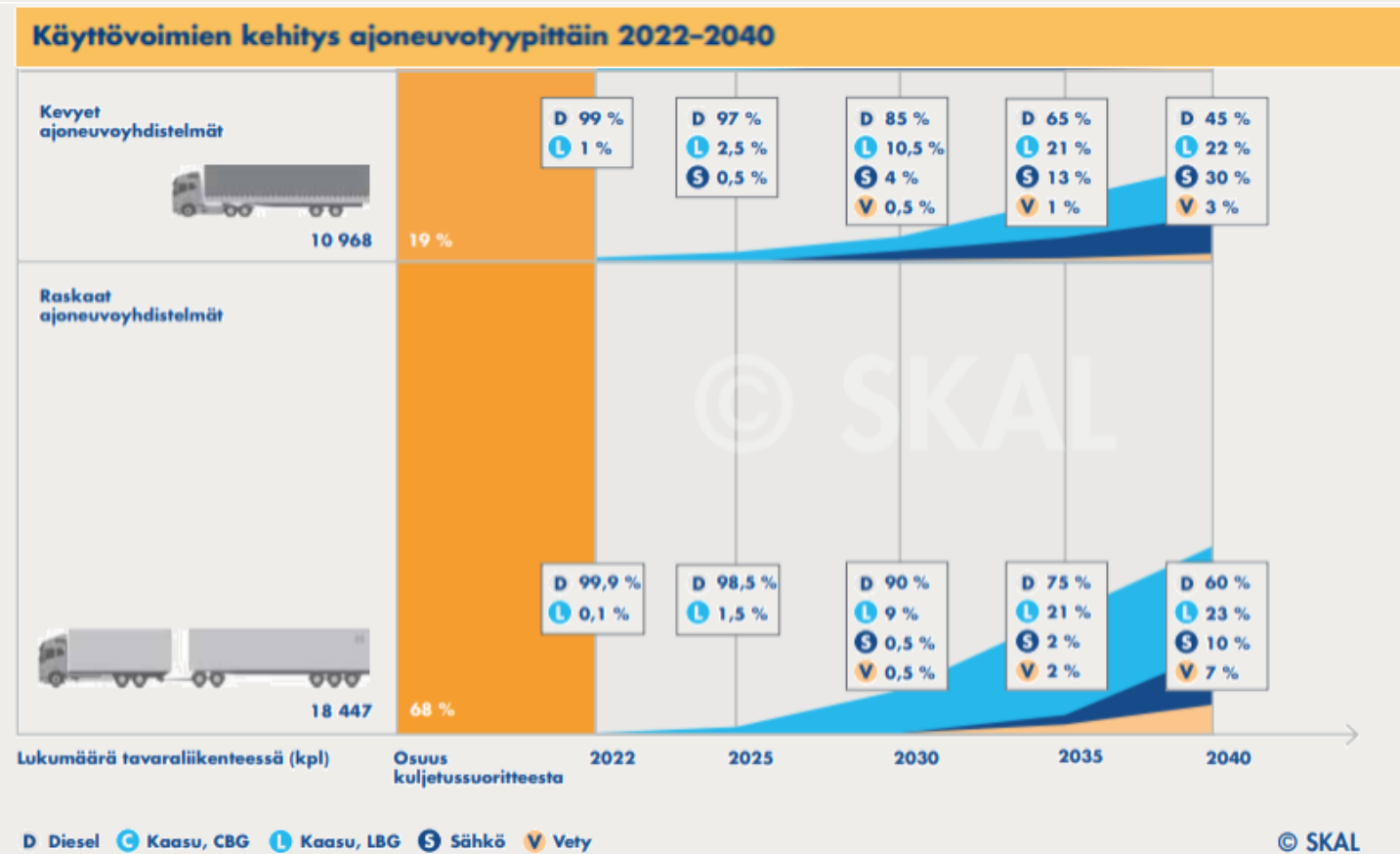
Diesel polttoaineen keskilukulutuksella 45 l/100 km, alueen raskaan liikenteen energiankulutukseksi muodostuu **144 GWh/vuosi**.



Kuorma-auton aktiivinen käyttöikä on tyypillisesti 10–15 vuotta, joten muutokset käyttövoimissa tulevat tapahtumaan hitaasti (SKAL, 2023).

SKALin ennusteen mukaan >42 tonnin ajoneuvoyhdistelmistä noin 10 %:ssa käyttövoimana on LBG vuoteen 2030 mennessä. Vuoteen 2035 mennessä LBG:n osuuden ennustetaan olevan 21 %

Tämän mukaan raskaan liikenteen tarve LBG:lle Pohjanmaan alueella vuonna 2030 on noin 14 GWh vuodessa. Vuoteen 2035 mennessä tarve on 30 GWh/v.



Kevyet ajoneuvoyhdistelmät edustavat noin painoluokkaa 40–60 tonnia ja raskaat ajoneuvoyhdistelmät Suomessa tyypillisiä massatavaran kuljettamisessa ja terminaalien välisessä liikenteessä käytettäviä yli 60 tonnin ajoneuvoyhdistelmiä. Kuva: SKAL (2023)

## Lähimerenkulku

Vaasa-Uumaja autolautan kaksoispolttoainemoottoreissa käytetään pääasiassa nesteytettyä fossiilista maakaasua (LNG) sekä meridieseliä/meriliikenteessä käytettävää kaasuöljyä.

Autolautan energiankulutuksen laskennassa hyödynnettiin tuoretta opinnäytetyötä (Konttori, 2024). Opinnäytetyössä esitetään polttoaineen kulutustiedot tammi-huhtikuulta 2023, ja autolautan vuotuinen polttoaineen kulutus arvioitiin näiden perusteella.

Polttoaineen kulutus vuonna 2023 (hybrid mode = myös akusto käytössä)		
Tammikuu	5199	MWh/kk
Helmikuu	4747	MWh/kk
Maaliskuu	5580	MWh/kk
Huhtikuu	4991	MWh/kk
Keskiarvo	5129	MWh/kk

Lähde: Konttori (2024)

Kuukausittaisen keskiarvon perusteella laskettu autolautan vuotuinen polttoaineen kulutus on 61,5 GWh. Nestemäisen pilottipolttoaineen määrän ollessa noin 5 % polttoaineen kokonaiskulutuksesta, voisi biometaanilla korvata fossiilisia polttoaineita jopa **58 GWh vuodessa**.

# Energian käyttö Pohjanmaalla

## Kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotanto

Vuonna 2022 Pohjanmaalla kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotantoon käytettiin energiaa 1468 GWh. Tästä kaukolämmön erillistuotannon osuus oli 300 GWh.

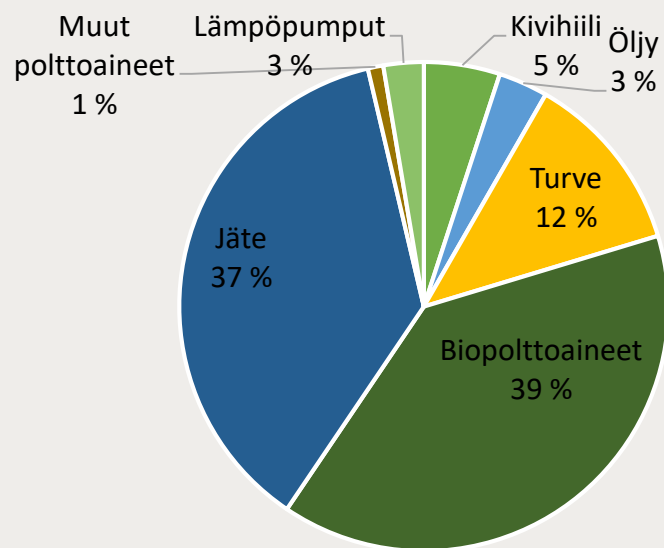
### Kaukolämmön ja sähkön yhteistuotantoon käytetyt energialähteet Pohjanmaalla vuonna 2022

	Kivihiili	Polttoöljy	Jyrsinturve	Metsäpolttoaine	Teollisuuden puutähte	Muut biomassat	Biokaasu	Yhdyskuntajäte	Muut sekapolttaineet	Lämpöpumput	Muut	Yhteensä	KL erillistuotannon osuus
	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh
Kaukolämpö ja yhteistuotantosähkö	74	48	176	429	135	10	1	541	10	39	5	1 468	300

Lähde: Energiateollisuus

Merkittävimmät energialähteet kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotannossa ovat biopolttoaineet ja jäte, joiden osuus käytetyistä polttoaineista on 76 %.

**Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus vuonna 2022 oli 298 GWh (noin 20 %).**



Lähde: Energiateollisuus

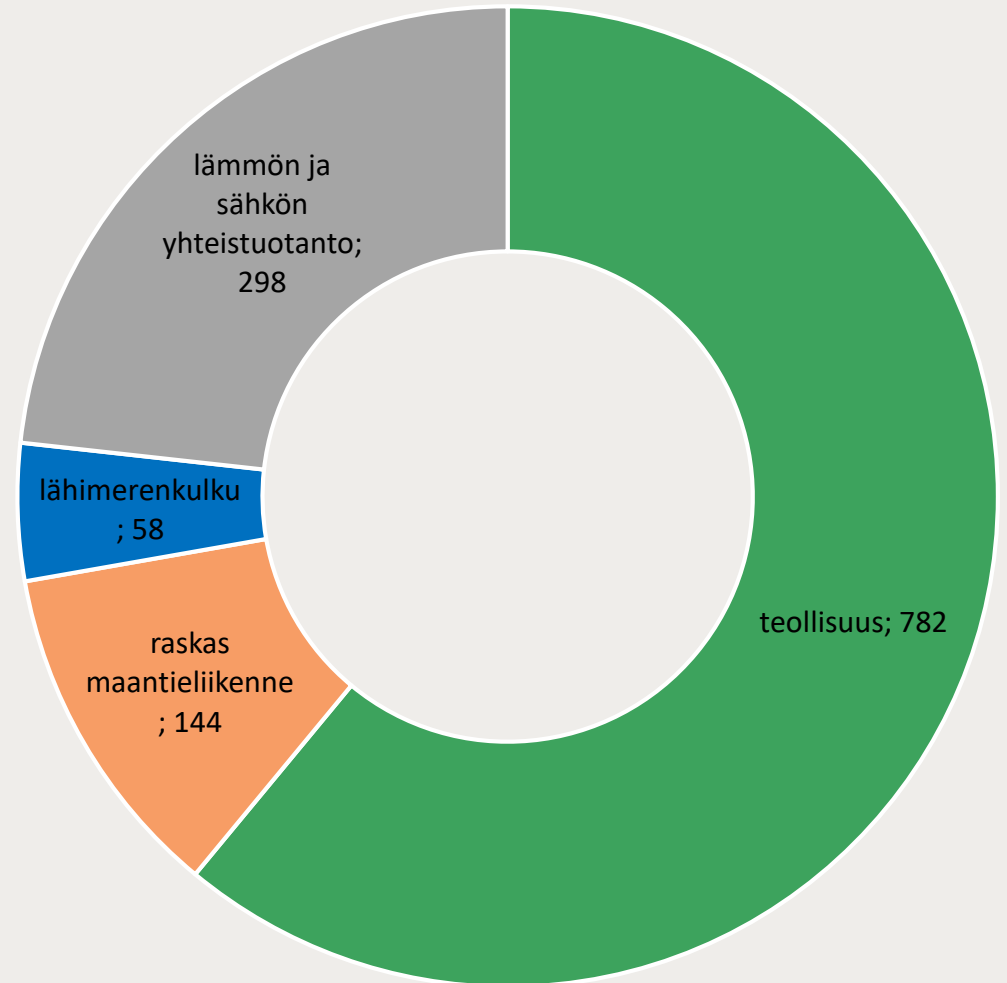
Esimerkiksi Pohjanmaalla Mustasaassa sijaitseva, kaukolämpöä ja sähköä yhteistoiminnassa Vaasan Sähkö Oy:n kanssa tuottava Westenergyn jätevoimala on ollut kiinnostunut biokaasun käytöstä voimalan tukipolttoaineena. Vuonna 2021 Westenergyllä kului tukipolttoainetta (fossiilinen kevyt polttoöljy) 174 tonnia (2 GWh).

## Yhteenveto LBG:n käyttöpotentialista

LBG:llä voitaisiin korvata fossiilisia polttoaineita ja turvetta

- teollisuudessa 782 GWh/vuosi
- raskaassa maantieliikenteessä (>42 t) 144 GWh/vuosi
- lähimerenkulussa 58 GWh/vuosi
- kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotannossa 298 GWh/vuosi

Teknisesti nesteytetyn biometaanin käyttöönotto olisi mahdollista lähimerenkulussa ja LNG:tä käyttävässä teollisuudessa välittömästi kun LBG:tä on alueelta saatavilla. Mainittujen segmenttien vuosittainen metaanin tarve on 100–130 GWh.



---

## 4. Biokaasutuotannon nykytila

### **Jepuan Biokaasu Oy**

Uudessakaarlepyyssä sijaitseva Jepuan Biokaasu Oy on yksi Suomen suurimmista biokaasulaitoksista. Jepuan Biokaasu vastaanottaa vuosittain noin 150 000 tonnia raaka-ainetta, joista se tuottaa uusiutuvaa biokaasua liikenne-, teollisuus- ja lämmityskäyttöön 45 GWh vuodessa. Lisäksi biokaasu-tuotannon sivutuotteena saadaan ympäristöystävällisiä lannoitteita maanviljelyyn. Raaka-aineena laitos käyttää orgaanisia jätteitä maataloudesta ja elintarviketeollisuudesta.

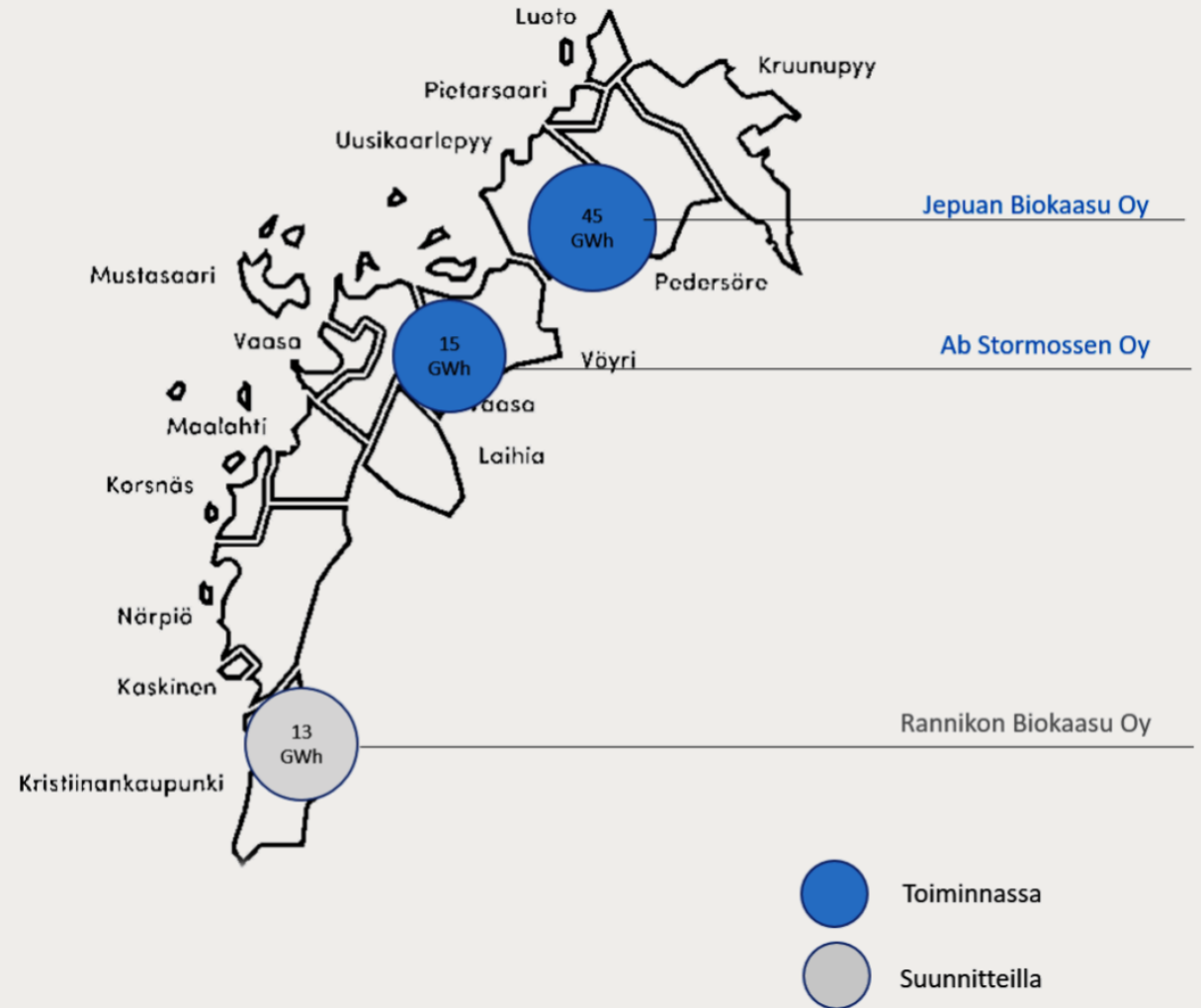
### **Ab Stormossen Oy**

Vaasan seudulla biokaasua tuottaa Ab Stormossen Oy. Stormossenin toiminta-alueeseen kuuluu kuusi kuntaa: Isokyrö, Korsnäs, Maalahti, Mustasaari, Vaasa ja Vöyri. Vuonna 2023 laitoksella mädätettiin 12 700 tonnia puhdistamolietettä, 1 700 tonnia rasvoja ja 16 000 tonnia yhdyskuntien biojätettä. Omistajakuntien biojätteen ja lietteen lisäksi käsiteltiin Ekorosk Oy:n, Millespakka Oy:n ja Vestia Oy:n biojätettä. Raakabiokaasua tuotettiin lähes 2,4 miljoonaa Nm<sup>3</sup> (noin 15 GWh). Biokaasu jalostetaan edelleen liikennepolttoaineeksi. Mädätysjämmästä valmistetaan kompostimultaa myyntiin.

Maakunnan eteläosissa ei tällä hetkellä ole biokaasun tuotantoa.

Kristiinankaupunkiin on kuitenkin suunnitteilla biokaasulaitos **Rannikon Biokaasu Oy** – hankkeessa. Hankkeen osapuolina ovat alueen toimijat ja energiaratkaisujen asiantuntijayritys One1. Laitokselle on haettu REPowerEU-investointitukea ja hankkeen toteutuminen riippuu tukipäätöksestä. Työ- ja elinkeino-ministeriö tekee tukipäätökset vuoden 2024 loppuun mennessä. Jos tuki myönnetään, hankkeen on valmistuttava 30.6.2026 mennessä.

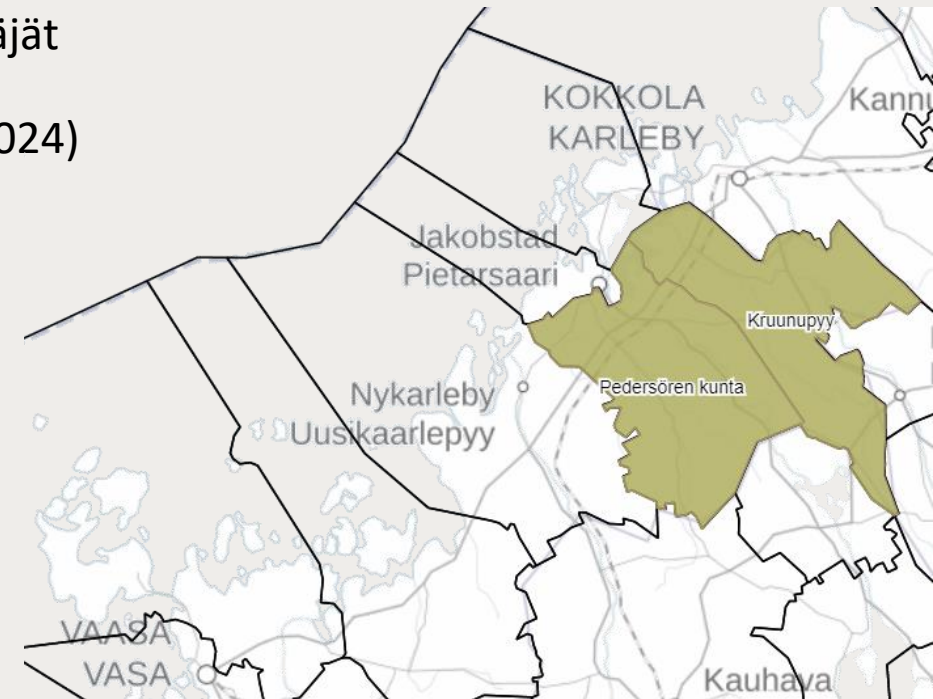
Toteutuessaan Rannikon Biokaasu Oy tulee käyttämään raaka-aineina alueen omia biomassavarantoja. Tuotantokapasiteetiksi on arvioitu 13 GWh vuodessa. Kaasua toimitetaan hankkeessa mukana olevien toimijoiden omaan käyttöön sekä liikennepolttoaineeksi.



Lisäksi Valion ja energiayhtiö St1:n yhteisyritys Suomen Lantakaasu Oy on selvittänyt biokaasulaitoshankkeen käynnistämistä Pedersöre-Kruunupyyn alueella.

Yhtiön tekemän syötekyselyn mukaan alueen maatalousyrittäjät ovat kiinnostuneita ryhtymään Suomen Lantakaasun biokaasulaitoksen syötetoimittajiksi. (Suomen Lantakaasu, 2024)

Yhtiö päättää biokaasulaitoksen lopullisesta sijainnista meneillään olevien luonto- ja infrastruktuuriselvitysten valmistuttua.





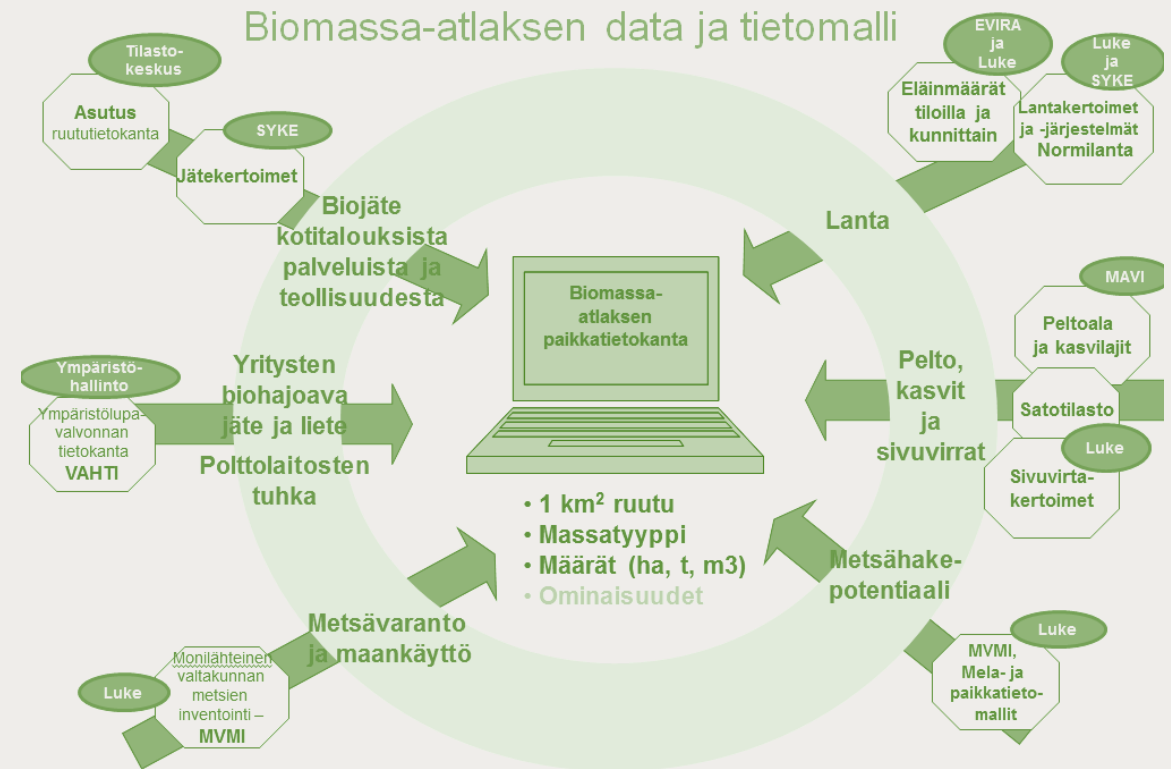
## 5. Biokaasun tuotantopotentiaali

Paikallisesti tuotettua biokaasua olisi mahdollista tuottaa paljon nykyistä enemmän. Biokaasutuotannon kasvattamisessa etenkin maatalouden biomassoilla on keskeinen rooli, sillä suurin osa biokaasun hyödyntämättömästä tuotantopotentiaalista on maatalouden biomassoissa.

Hyödyntämättömän tuotantopotentiaalin laskennassa käytettiin Luonnonvarakeskuksen Biomassa-atlas –palvelua ja Luonnonvarakeskuksen Biokaasulaskuria.

Biomassa-atlas on avoin tietokanta, joka sisältää valtakunnalliset tiedot erilaisten biomassojen saatavuudesta, määrästä ja sijainnista.

Biokaasulaskurista puolestaan on saatavilla tutkimuksiin perustuvia syötteiden ominaisuuksien ja metaanintuottopotentiaalien arvoja erilaisille syötteille.



Kuva: Luke

---

Kuten edellä todettiin, suurimmat tuotannon lisäysmahdollisuudet ovat maatilojen syötteissä, kuten peltobio-massoissa ja eläinten lannassa. Esimerkiksi viljojen oljet kynnetään useimmiten peltoon. Jos näistä osakin ohjattaisiin biokaasun tuotantoon, tuotettu energiamäärä voisi olla merkittävä. Kasvibiomassaa voidaan korjata myös aloilta, joiden sato muuten jää korjaamatta tai sille ei ole käyttöä, kuten kasvintuotantotilojen suojavyöhykkeet ja kesannot. Pohjanmaalla erityisesti Kristiinankaupungin alueella myös perunan varret voisivat tarjota runsaan raaka-aineen biokaasutuotantoon. Lisäksi suurin osa eläintilojen tuottamasta lietteestä ja kuivalannasta menee suoraan peltolevitykseen, vaikka sitä voitaisiin käyttää biokaasun tuotantoon. Pohjanmaalla kaikki alueen maataloudessa syntyvä lanta on vielä hyödyntämättä Uudenkaarlepyyn kuntaa lukuun ottamatta.

Tutkittaviksi syötteiksi valittiin eläinten lannoista

- nautojen ja sikojen lietelannat
- kuivalannoista nautojen, siipikarjan, turkiseläinten, lampaiden ja vuohien sekä hevosten lannat

Lisäksi peltojen sivuvirroista kartoitettiin

- kesanto- ja suojavyöhykenurmet sekä viherlannoitusnurmen mahdollinen alkusato
- perunan varret
- ylijäämäolki. Ylijäämäolkenä pidetään sitä osaa oljista, joka ei mene kuivikekäyttöön ja joka on perinteisesti kynnetty maahan. Ylijäämäoljen osuudeksi olkien kokonaismäärästä asetettiin 80 %.

Metsätähteet jätettiin tarkastelun ulkopuolelle, koska paljon ligniiniä sisältävät biomassat kuten puu soveltuvat huonosti biokaasun tuottamiseen mädättämällä. Puupohjaisten biomassojen metaanintuotantopotentiaali liittyykin ensisijaisesti kaasutusprosesseihin ja kaasutuksella tuotetun synteetikaasun metanointiin, joita ei tässä tutkimuksessa huomioitu.

## Hyödyntämättömien biomassojen määrät kunnittain

Hyödyntämättömien biomassojen selvittämiseksi Biomassa-atlaksen ilmoittamista määristä vähennettiin tällä hetkellä jo biokaasun tuotantoon menevät biomassamäärät sekä olkien kuivikekäyttö. Tulokset taulukoituna alla.

Kunta	Kesanto- nurmet t (k-a)/v	Suojavyöhyke nurmet t (k-a)/v	Ylijäämä- olki t (k-a)/v	Viherlannoitus		Naudan lietelanta t/v	Naudan kuivalanta t/v	Sikojen lietelanta t/v	Munitus- kanojen kuivalanta t/v	Broilerin, kalkkunan, muun siipikarjan lanta t/v	Lampaiden ja vuohien kuivalannat t/v	Hevosten kuivalannat t/v	Turkis- eläinten lannat t/v
				nurmen alkusato t (k-a)/vuosi	Perunan varret t (k-a)/v								
Kaskinen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83	0
Korsnäs	712	83	1 769	0	35	1183	997	0	0	0	69	127	2775
Kristiinankaupunki	925	482	7 063	176	14707	19165	15567	1964	1	0	650	657	0
Kruunupyy	520	250	8 191	0	5	76292	47707	32770	579	0	229	1903	2752
Laihia	726	381	17 774	147	128	5466	3969	8902	0	0	219	1365	0
Luoto	11	0	233	0	2	4626	3169	0	0	0	764	88	31
Maalahti	1372	298	10 658	127	767	3691	3532	25866	323	0	843	397	1601
Mustasaari	1658	579	20 085	166	101	6907	6072	15380	99	1399	1268	2653	1638
Närpiö	2316	420	28 751	103	295	15226	16939	6551	4564	1055	1148	490	2414
Pedersöre	458	193	10 410	0	383	84015	58 708	3900	206	0	329	2245	7227
Pietarsaari	18	2	173	0	0	1790	1186	327	0	0	185	1421	7259
Uusikaarlepyy	974	294	15 182	87	5 788	29791	20 849	43135	0	279	900	1652	24387
Vaasa	1188	208	14 907	232	322	1892	1480	21303	1	0	5	2531	0
Vöyri	1915	551	21 006	36	1071	26094	21320	100407	273	0	719	1108	4851
<b>Yhteensä</b>	<b>12793</b>	<b>3741</b>	<b>156 203</b>	<b>1074</b>	<b>23604</b>	<b>276138</b>	<b>201495</b>	<b>260505</b>	<b>6046</b>	<b>2733</b>	<b>7328</b>	<b>16720</b>	<b>54935</b>

## Metaanintuottopotentiaalin laskentamenetelmä

Metaanin tuotannon laskennassa oleellisia syötteen ominaisuuksia ovat kuiva-ainepitoisuus (TS, Total Solids) sekä orgaaninen kuiva-aines (VS, Volatile Solids).

Metaanintuottopotentiaali kertoo suurimman mahdollisen raaka-aineesta saatavan metaanikaasun määrän syötteen orgaanisen aineen tonnia kohti ( $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t VS}$ ).

Syötteiden metaanintuotantopotentiaalin laskennassa käytettiin viereisen taulukon arvoja.

MWh-perusteisen metaanipotentialin laskennassa käytettiin metaanin tiheyttä standardiolosuhteissa ( $0,717 \text{ kg}/\text{m}^3$ ) ja alemmaa lämpöarvoa  $13,9 \text{ kWh}/\text{kg}$ .

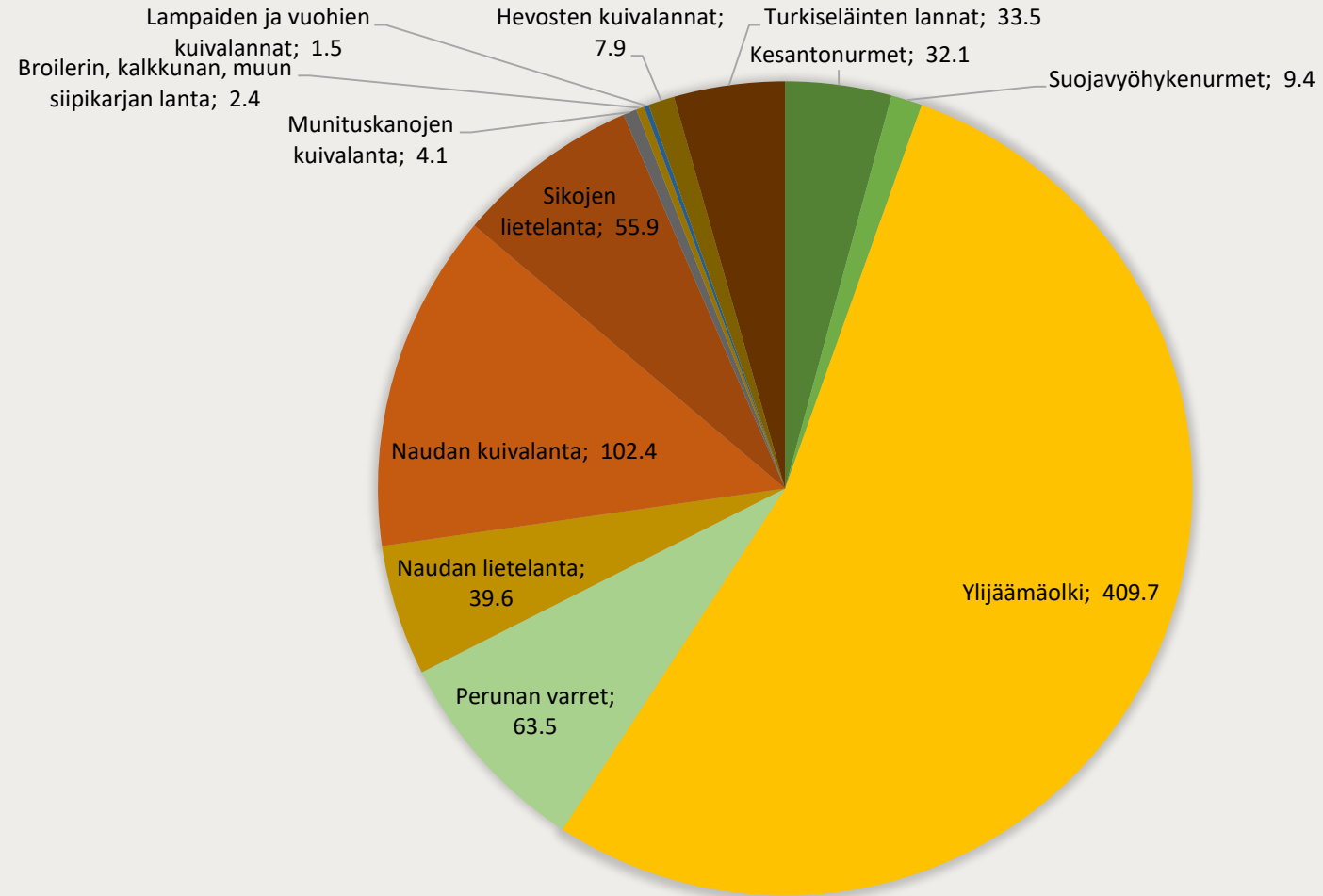
	Kuiva-ainepitoisuus (TS) %	Orgaaninen aine (VS) %/kuiva-aine	Metaanintuottopotentiaali $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t VS}$
Kesantonurmi	40 %	90 %	280
Suojavyöhykenurmi	40 %	90 %	280
Olki	90 %	94 %	280
Viherlannoitusnurmen alkusato	40 %	90 %	280
Perunan varret*	11 %	90 %	300
Naudan lietelanta	9 %	80 %	200
Naudan kuivalanta	30 %	85 %	200
Sikojen lietelanta	8 %	82 %	320
Munituskanojen lanta	35 %	75 %	260
Broilerin, kalkkunan, muun siipikarjan lanta	68 %	85 %	155
Lampaiden ja vuohien lanta	25 %	80 %	100
Hevosten kuivalanta	35 %	85 %	160
Turkiseläinten lanta	33 %	79 %	235
Vesikasvillisuus**	32 %	97 %	250
*perunan varsille ei löytynyt arvoja, käytetty vihannesten naattien arvoja			
**käytetty järviruo'on arvoja			

Lähde: Pyykkönen ja muut, 2023

## Tutkittujen syötteiden metaanintuottopotentialit (GWh/v) koko Pohjanmaan alueella

Viereinen kuvio esittää hyödyntämättömien peltobiomassojen ja lantojen yhteenlasketun teoreettisen metaanintuottopotentialin koko maakunnan alueella.

100 %:n hyödyntämisasteella metaanintuotannoksi maakunnassa saataisiin 762 GWh vuodessa, joka on yli 12-kertainen nykyiseen 60 GWh vuosituotantoon verrattuna.



---

## Teknitaloudellinen potentiaali

Kaikkien esitettyjen biomassojen ei kuitenkaan voida olettaa päätyvän biokaasulaitokseen, koska niiden korjuulle on olemassa sekä teknisiä että taloudellisia rajoitteita. Esimerkiksi osa peltobiomassojen sivuvirroista pitää jättää pellolle kasvukuntoa ylläpitämään.

Realistisemmän kuvan saamiseksi alueen metaanintuotantopotentiaalista, biokaasutuotantoon päätyvän biomassan määräksi määriteltiin:

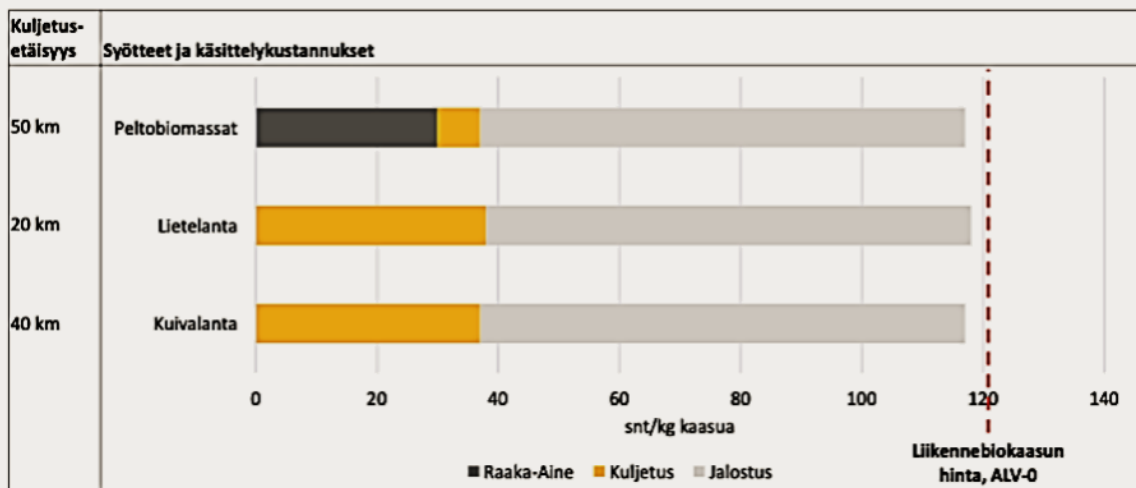
- lietelannoista 60 % tai 80 % kokonaismäärästä
- kuivalannoista 50 % tai 70 % kokonaismäärästä
- peltobiomassoista 20 % tai 40 % kokonaismäärästä

Taloudelliset rajoitteet liittyvät korjuun ja logistiikan kustannuksiin. Logistiikan kustannukset rajoittavat etenkin lantojen käyttöä biokaasutuotannossa. Erityisesti lietelannan taloudellinen hankintaetäisyys on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi nurmibiomassojen.

Raaka-aineen ja kuljetuksen yhteishinnan ylärajaksi asetettiin peltobiomassojen 50 km kuljetusetäisyyttä vastaava kustannus.

Näin ollen biomassojen hankintasäteiksi asetettiin

- lietelannat 20 km
- kuivat lannat 40 km
- peltobiomassat 50 km



Lähde: Miettunen, 2022

Lietelannan, kuivalannan ja peltobiomassan raaka-aineen, kuljetuksen ja jalostuksen hinta työssä käytetyillä kuljetusetäisyyksillä. Kuljetuskustannus nousee lannan logistiikassa nopeasti suureksi ja vaikka itse syötteellä ei olisi lainkaan hintaa, on kustannus portilla karkeasti ottaen yhtä suuri kaikilla jakeilla.

---

## Kolme keskusta

Biokaasukeskittymät jaoteltiin kolmeen keskukseseen: Pohjoisessa keskittymän ytimessä on Jepuan Biokaasu, maakunnan keskiosissa Stormossenin biokaasulaitos ja eteläisessä osassa Kristiinankaupungin Härkmeren kylään valmisteilla oleva Rannikon Biokaasu.

Pohjoisen keskittymän alueelle sijoittuvat maakunnan kunnista Kruunupyy, Luoto, Pedersöre, Pietarsaari ja Uusikaarlepyy. Keskiosan kuntia ovat Laihia, Mustasaari, Vaasa ja Vöyri, ja eteläiseen osaan sijoittuvat Kaskinen, Korsnäs, Kristiinankaupunki, Maalahti ja Närpiö.

Seuraavilla sivuilla esitetään biokaasutuotannon teknistaloudellisen lisäämispotentiaalin laskelmat kullekin keskittymälle erikseen.

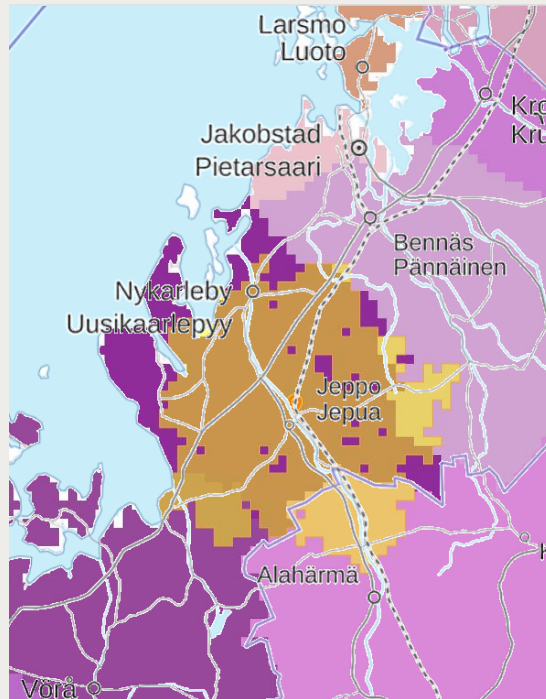


# Pohjanmaa, pohjoisosa

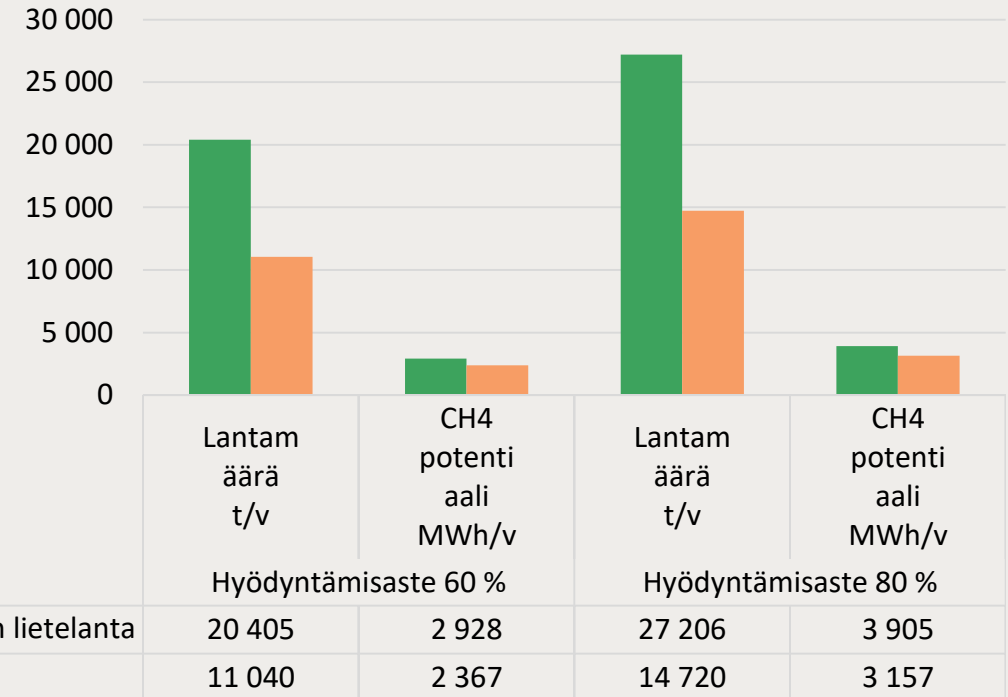
- Kruunupyö, Luoto, Pedersöre, Pietarsaari, Uusikaarlepyy

## Biokaasukeskittymän keskuksena Jepuan Biokaasu Oy

Lietelantojen keräilysäde 20 km on osoitettu kartassa kellanruskealla värillä. Etäisyys on mitattu tietä pitkin.



Lietelannat  
keräilyssäde 20 km  
hyödyntämisaste 60 % ja 80 %

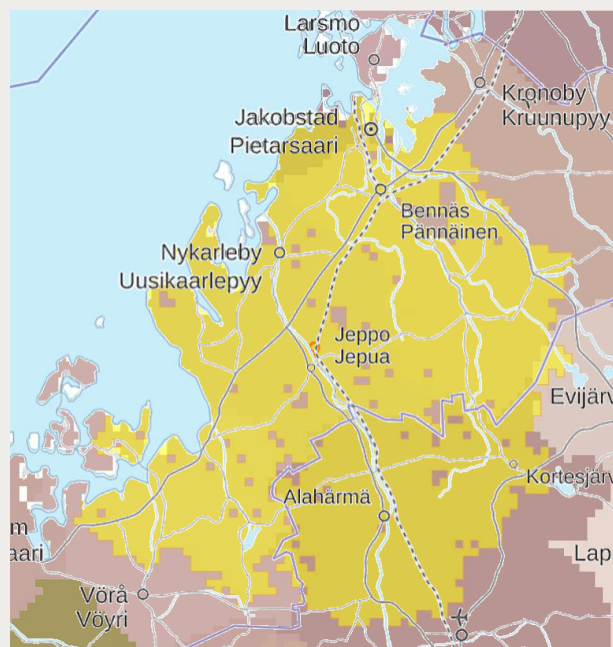


■ Lypsy- ja lihakarjan lietelanta  
■ Sikojen lietelanta

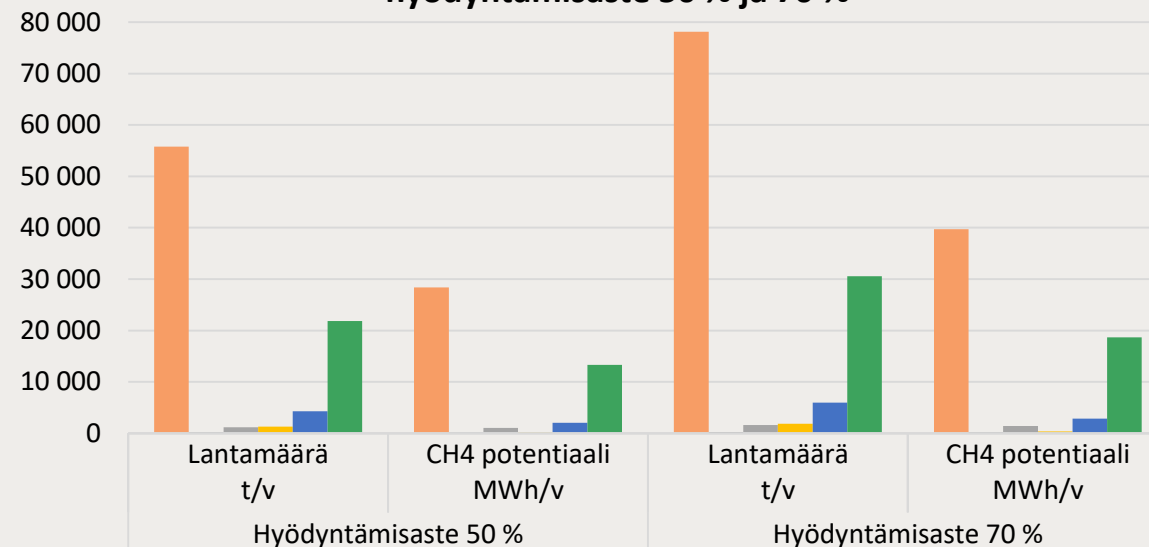
# Pohjanmaa, pohjoisosa

- Kruunupyö, Luoto, Pedersöre, Pietarsaari, Uusikaarlepyy

Kuivien lantojen keräilyssäde 40 km on havainnollistettu kuvassa keltaisella värillä.



**Kuivalannat**  
keräilyssäde 40 km  
hyödyntämisaste 50 % ja 70 %



	Hyödyntämisaste 50 %		Hyödyntämisaste 70 %	
	Lantamäärä t/v	CH4 potentiaali MWh/v	Lantamäärä t/v	CH4 potentiaali MWh/v
Lypsy- ja lihakarjan kuivalanta	55 796	28 360	78 114	39 704
Munituskanat kuivalanta	174	118	244	166
Broilerit, kalkkunat ja muu siipikarja kuivalanta	1 142	1 020	1 599	1 428
Lampaiden ja vuohien kuivalanta	1 308	261	1 831	365
Hevosten kuivalanta	4 263	2 022	5 968	2 831
Turkiseläinten kuivikelanta	21 844	13 337	30 581	18 672

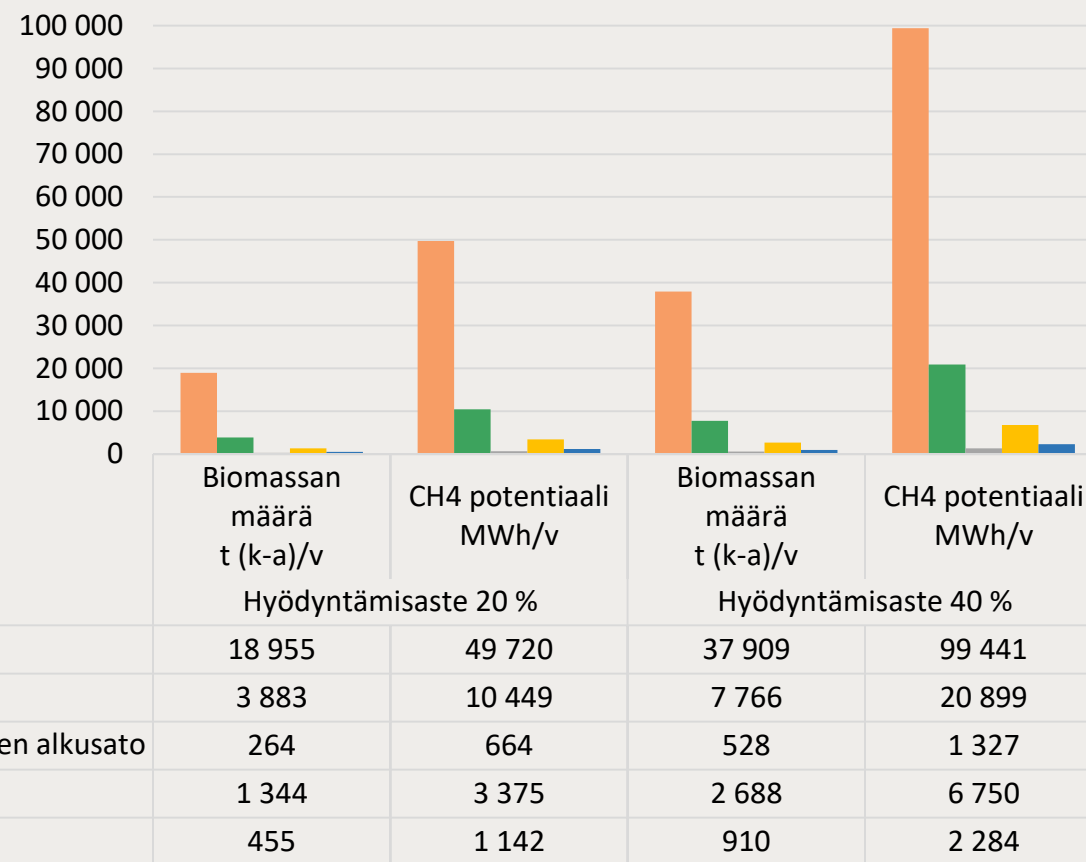
# Pohjanmaa, pohjoisosa

- Kruunupyö, Luoto, Pedersöre, Pietarsaari, Uusikaarlepyy

Peltobiomassojen keräilyssäde 50 km erottuu kartassa keltaisena.



Peltobiomassat  
keräilyssäde 50 km  
hyödyntämisaste 20 % ja 40 %



# Pohjanmaa, keskiosa

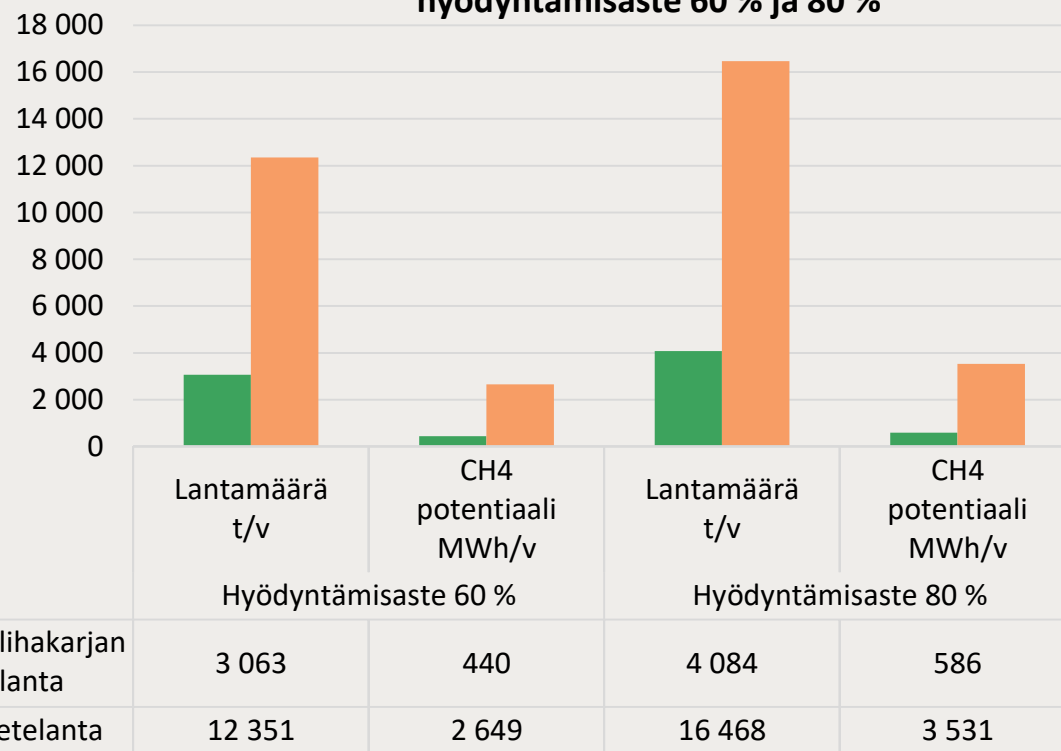
- Laihia, Mustasaari, Vaasa, Vöyri

## Biokaasukeskittymän keskuksena Ab Stormossen Oy

Lietelantojen keräilyssäde 20 km.



Lietelannat  
keräilyssäde 20 km  
hyödyntämisaste 60 % ja 80 %



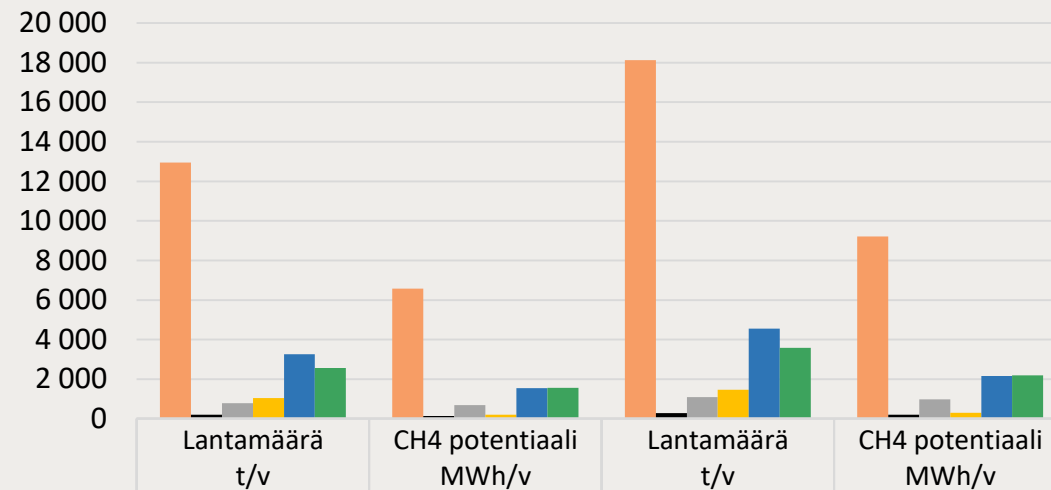
# Pohjanmaa, keskiosa

- Laihia, Mustasaari, Vaasa, Vöyri

Kuivalantojen keräilyssäde 40 km.



Kuivalannat  
keräilyssäde 40 km  
hyödyntämisaste 50 % ja 70 %



	Hyödyntämisaste 50 %		Hyödyntämisaste 70 %	
	Lantamäärä t/v	CH4 potentiaali MWh/v	Lantamäärä t/v	CH4 potentiaali MWh/v
■ Lypsy- ja liharajan kuivalanta	12 945	6 580	18 123	9 212
■ Munituskanat kuivalanta	208	141	291	198
■ Broilerit, kalkkunat ja muu siipikarja kuivalanta	779	695	1 090	973
■ Lampaiden ja vuohien kuivalanta	1 046	208	1 464	292
■ Hevosten kuivalanta	3 257	1 545	4 559	2 163
■ Turkiseläinten kuivikelanta	2 556	1 561	3 578	2 185

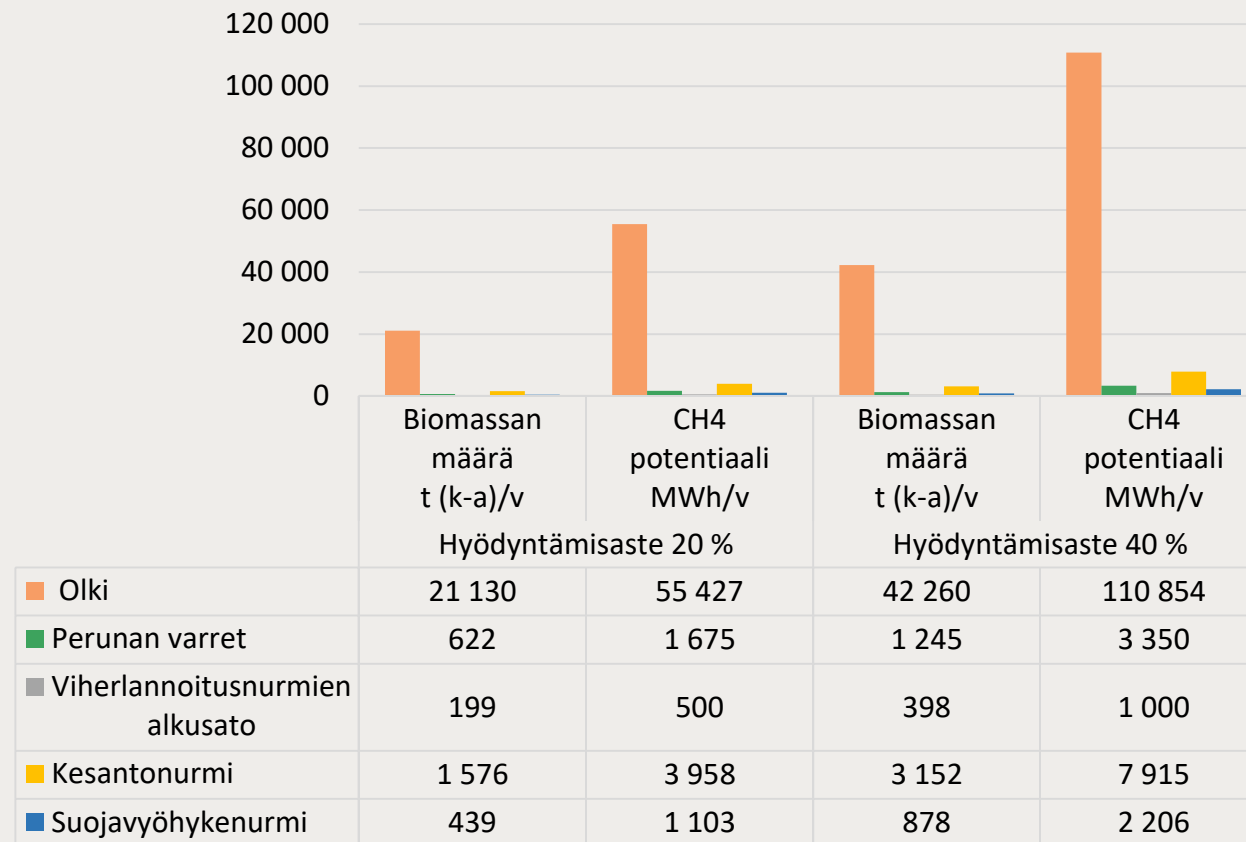
# Pohjanmaa, keskiosa

- Laihia, Mustasaari, Vaasa, Vöyri

Peltobiomassojen keräilyssäde 50 km.



Peltobiomassat  
keräilyssäde 50 km  
hyödyntämisaste 20 % ja 40 %

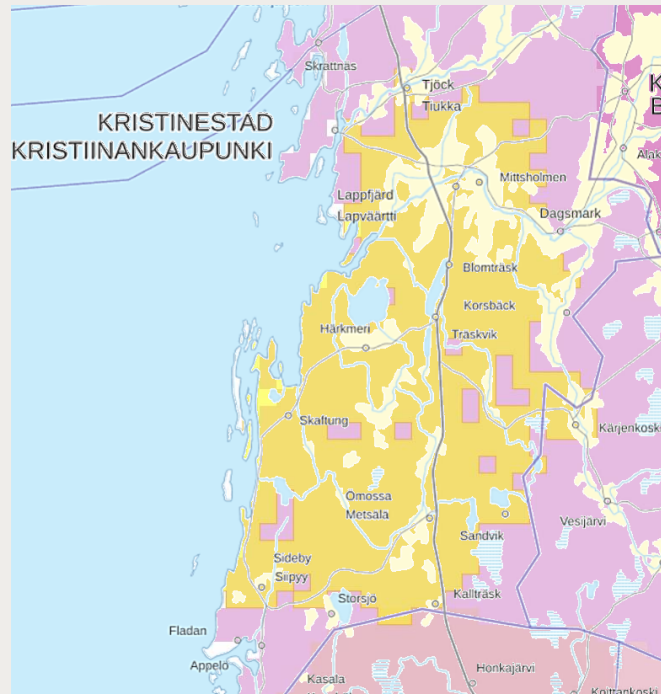


# Pohjanmaa, eteläosa

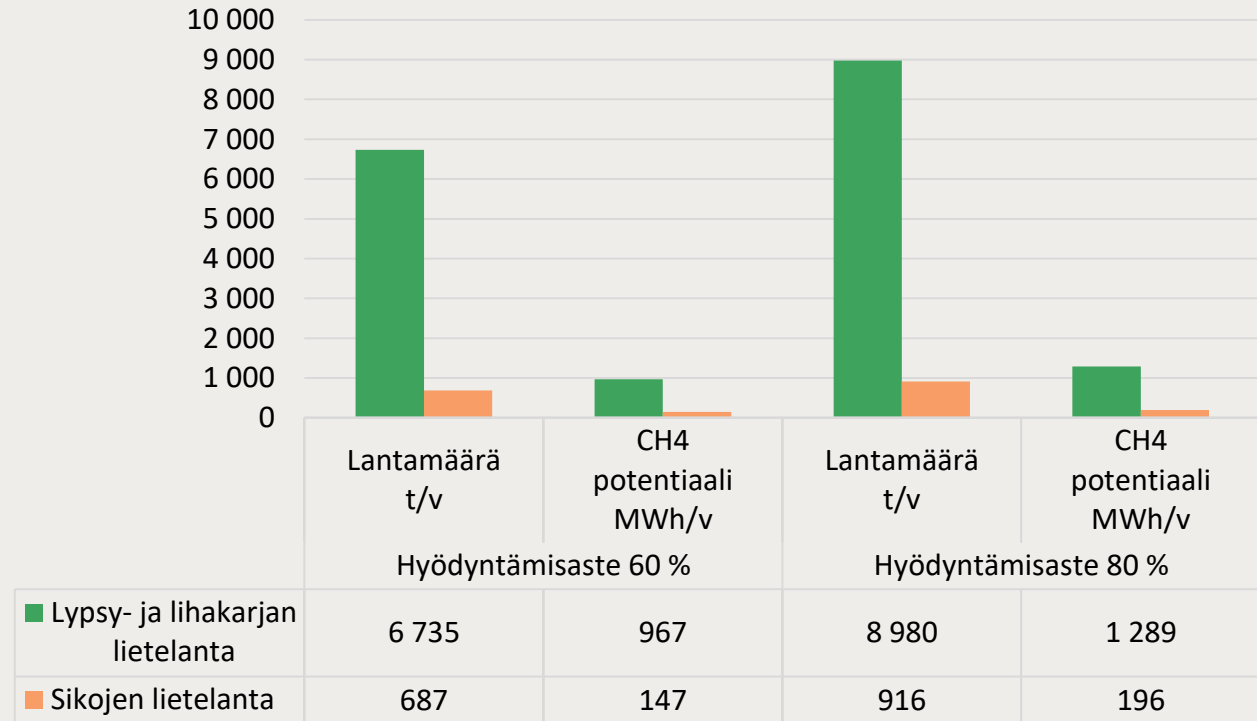
- Kaskinen, Korsnäs, Kristiinankaupunki, Maalahti, Närpiö

## Biokaasukeskkittymän keskuksena Härkmeri

Lietelantojen keräilyssäde 20 km.



Lietelannat  
keräilyssäde 20 km  
hyödyntämisaste 60 % ja 80 %



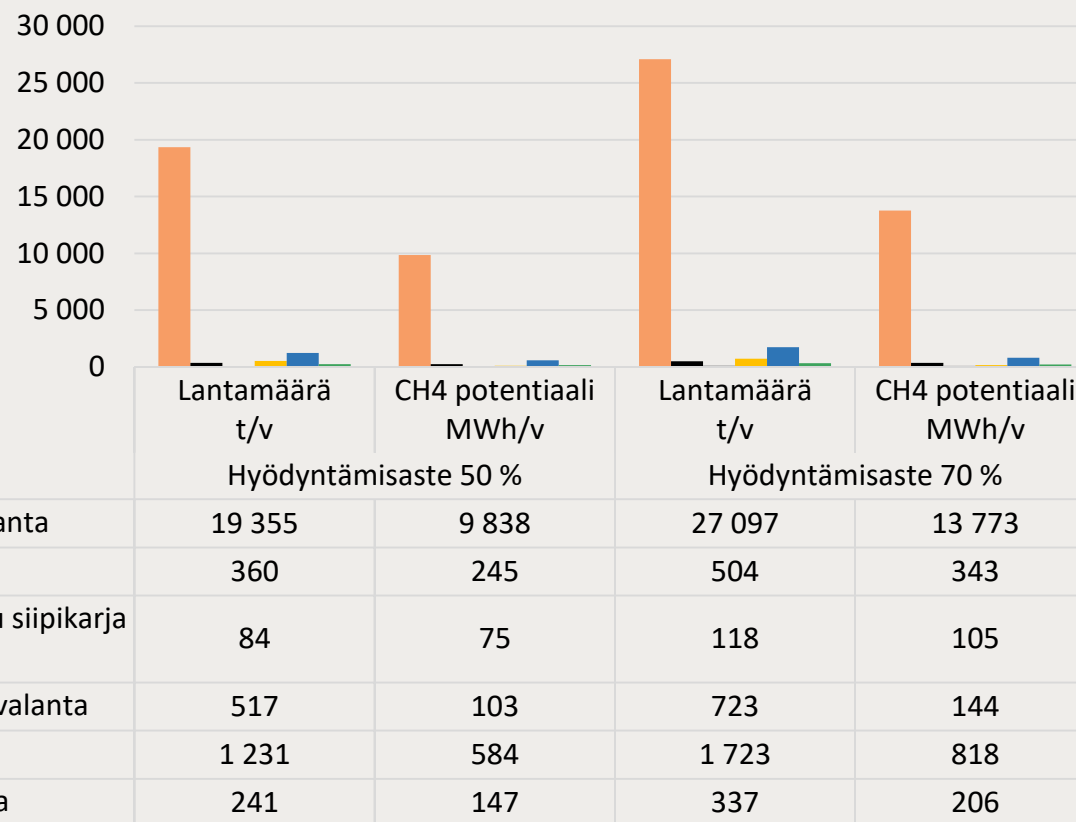
# Pohjanmaa, eteläosa

- Kaskinen, Korsnäs, Kristiinankaupunki, Maalahti, Närpiö

Kuivalantojen keräilyssäde 40 km.



**Kuivalannat**  
keräilyssäde 40 km  
hyödyntämisaste 50 % ja 70 %

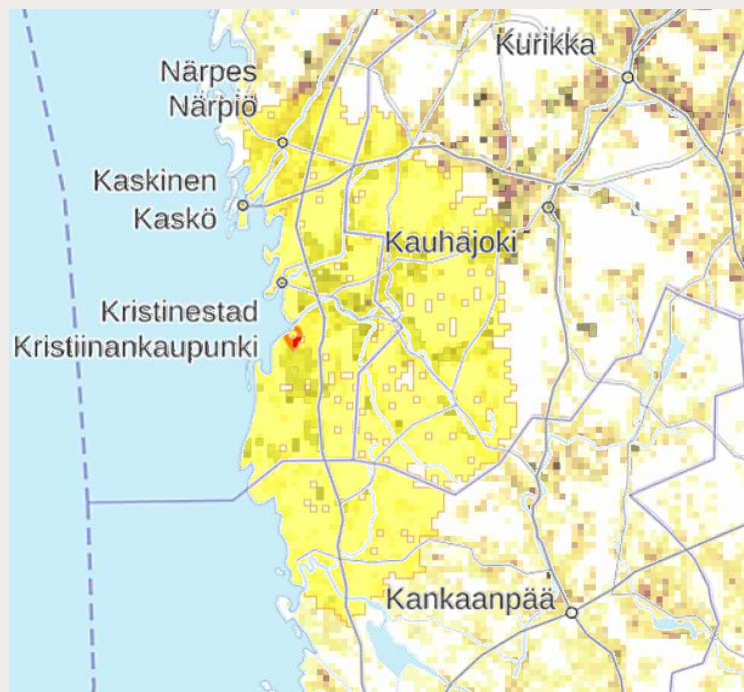




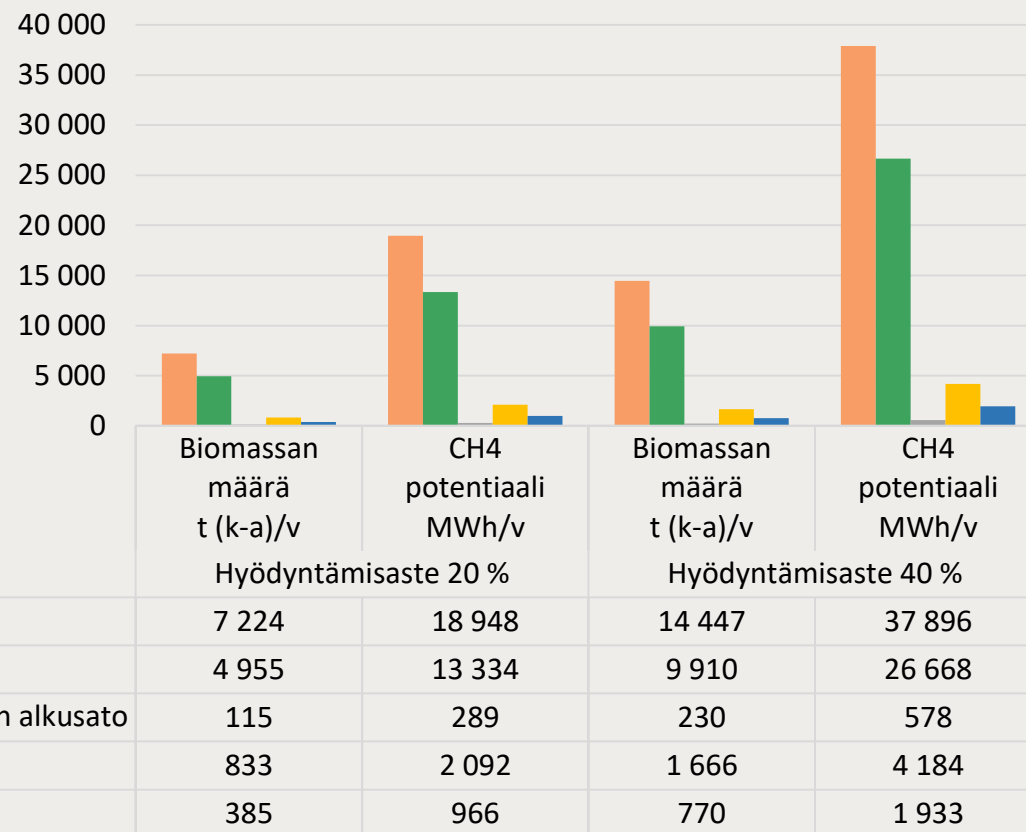
# Pohjanmaa, eteläosa

- Kaskinen, Korsnäs, Kristiinankaupunki, Maalahti, Närpiö

Peltobiomassojen keräilyssäde 50 km.



**Peltobiomassat**  
keräilyssäde 50 km  
hyödyntämisaste 20 % ja 40 %



---

## Yhteenveto biokaasun tuotantopotentialista

Tämän tutkimuksen mukaan Pohjanmaan käyttämättömien lantojen ja peltobiomassojen teknistaloudellinen potentiaali on 240–434 GWh vuodessa, joka on 4–7-kertainen nykyiseen 60 GWh vuosituotantoon verrattuna.

Maakunnan pohjoisosassa hyödyntämättömäksi teknistaloudelliseksi potentiaaliksi saatiin 116–201 GWh/v.

- Suurin yksittäinen energiapotentiaali liittyy viljojen olkiin: 40 % hyödyntämisteella lähes 100 GWh/v ja 20 % hyödyntämisteellakin 50 GWh/v. Perunan varsien metaanin tuotantopotentiaali alueella on 10–20 GWh/v ja nurmisyötteen 5–10 GWh/v.
- Nurmien kohdalla on huomioitava, että Biomassa-atlaksen antamat biomassamäärät ovat pinta-alaperusteisia, ei satoperusteisia. Jos samalta alueelta voidaan korjata useampi sato, on potentiaali tässä esitettyjä laskelmia suurempi.
- Lantojen metaanintuotot eivät ole kovin korkeita, mutta niitä muodostuu suuria määriä tasaisesti ympäri vuoden, mikä tekee niistä erinomaisia raaka-aineita biokaasun tuotantoon. Lantojen yhteenlaskettu hyödyntämätön teknistaloudellinen metaanintuotantopotentiaali alueella on 50–70 GWh/v. Hyödyntämättömiä lantavaroja löytyy runsaasti mm. Pedersören ja Kruunupyyn alueelta. Myös Uudessakaarlepyyssä on vielä hyödyntämättömiä lantavaroja erityisesti naudan lannoissa.

---

Maakunnan keskiosassa laskennallinen hyödyntämätön teknistaloudellinen potentiaali on 77–145 GWh/v.

- Täälläkin suurin yksittäinen energiapotentiaali liittyy viljojen olkiin: 40 % hyödyntämisteella 110 GWh/v ja 20 % hyödyntämisteella 55 GWh/v. Tutkittujen nurmisyötteiden metaanintuotantopotentiaali Biomassa-atlaksen mukaan on 5,5–11 GWh/v.
- Lantojen yhteenlaskettu metaanintuotantopotentiaali on 14–19 GWh/v. Suurin tuotantopotentiaali liittyy lypsy- ja lihakarjan kuivalantoihin. Myös sikojen lietelantoja on runsaasti hyödyntämättä. Sikojen lietelantoja löytyy runsaasti mm. Vöyrin kunnan alueelta.

Maakunnan eteläosassa teknistaloudelliseksi potentiaaliksi saatiin 48–88 GWh/v.

- Suurin yksittäinen energiapotentiaali liittyy jälleen viljojen olkiin, 19–38 GWh/v. Alueen erityispiirteenä muihin maakunnan alueisiin on perunan varsien varsin huomattava energiapotentiaali, 13,5–27 MWh/v. Peräti kolmannes Suomen ruokaperunasta viljelläänkin Kristiinankaupungin alueella ja perunaa viljellään kunnassa noin 3000 hehtaarella. Haasteena perunantuotannon jätteille on se, että niitä muodostuu sesongittain ja ne pilaantuvat helposti, minkä vuoksi ne täytyy kuljettaa biokaasulaitokseen heti muodostuttuaan ja laitoksen täytyy olla varautunut tähän ajoittain käytettävissä olevaan syötteeseen (Luostarinen, 2015).
- Lantojen yhteenlaskettu metaanintuotantopotentiaali on 12–17 GWh/v. Tästä kuivalantojen osuus on 90 %.

---

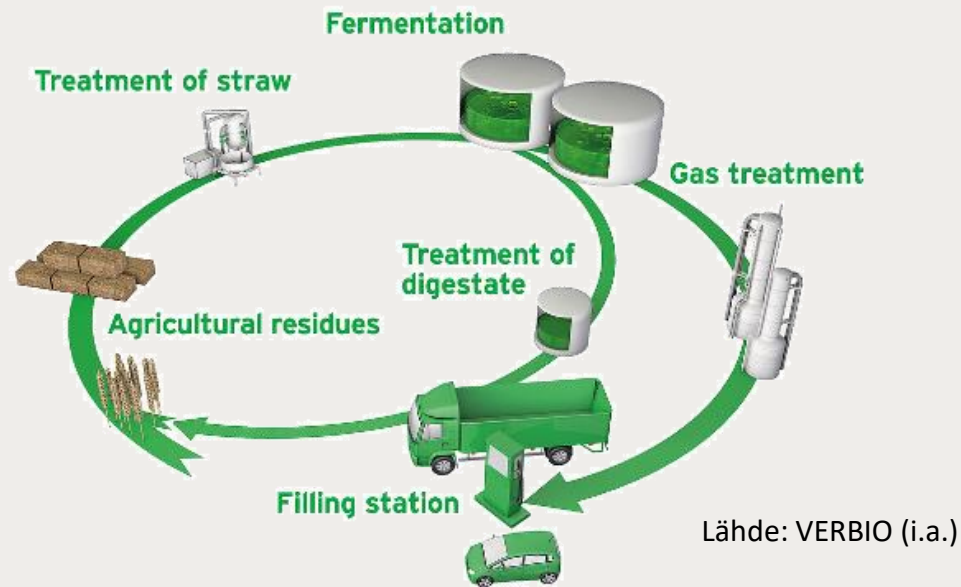
Huomiota kiinnittää, että kaikilla alueilla suurin yksittäinen biometaanipotentiaali liittyy olkiin; olkien osuus kokonaispotentiaalista ylittää 50 %. Olki on merkittävä satojäännös, jota on toistaiseksi käytetty vain hyvin vähän. Jos osakin oljista ohjattaisiin biokaasutuotantoon, tuotettu energiamäärä voisi olla merkittävä. Oljen käyttöön liittyy kuitenkin monia haasteita.

Oljen logistiikan kannalta haasteet liittyvät lyhyeen ja säiden suhteen epävakaaseen korjuukauteen.

Oljen mädätyksen haasteet liittyvät mm. sen ligniinipitoisuuteen; ligniini ei hajoa mädätysprosessissa. Ligniiniä voidaan kuitenkin hajottaa biologisesti entsyymien, kemiallisesti happojen tai emästen tai termokemiallisesti lämmön avulla (Lampinen, 2015). Myös partikkelikoolle on merkittävä vaikutus oljen metaaninmuodostuspotentiaaliin (Andersen ja muut, 2022). Yleisimpiä partikkelikoon pienentämiseen tähtäviä esikäsitteilymenetelmiä ovat erilaiset fysikaaliset silppuamiset tai murskaamiset, jolloin mikrobit pääsevät tehokkaammin hajottamaan syötettä (Luostarinen 2015). Samalla pyritään varmistamaan laitoksen tekninen toimivuus.

Asianmukaisen esikäsitteilyprosessin valinta onkin yksi avaintekijöistä olkibiokaasun onnistuneessa tuotannossa. Andersen ja muut (2022) pitivät lupaavimpina mekaanista esikäsitteilyä (partikkelikokoon <2mm), höyryräjäytystä ja alkalista esikäsitteilyä. Olkien biologista esikäsitteilyä ei pidetty kannattavana sen vaatiman pitkän käsitteilyajan (4-6 viikkoa) takia. Mainitussa tutkimuksessa mekaaninen esikäsitteily vasaramyllyllä oli taloudellisesti kannattavampi kuin muut vaihtoehdot, vaikka biokaasun saanto on selvästi pienempi. Vaikka metaaninsaanto höyryräjäytyksellä ja alkalisella esikäsitteilyllä oli korkeampi, johtivat nämä menetelmät korkeisiin investointikustannuksiin korkean paineen tai pitkien viipymäaikojen vuoksi.

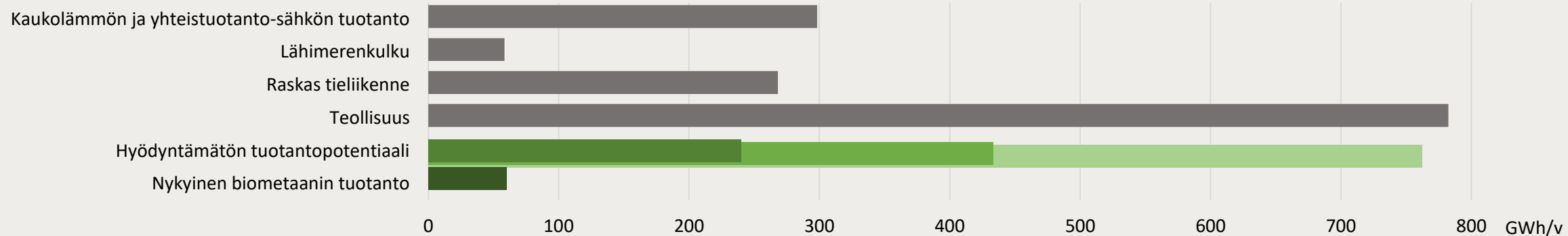
Esimerkkinä olkibiokaasulaitoksista saksalaisen VERBIO SE:n innovatiivinen, 100-prosenttisesti olkea syötteenä käyttävä laitos. Laitoksen kapasiteetti on 136 GWh/v ja käsiteltävä olkimäärä 40 000 tonnia vuodessa (VERBIO, i.a).



Esikäsittelyn lisäksi oljen käytössä olennaista on sen asianmukainen säilöntä ja varastointi talven varalle, jotta syöttökuorma voidaan pitää tasaisena läpi vuoden (Luostarinen 2015).

## Yhteenveto biometaanin tuotanto- ja käyttöpotentiaalista

Pohjanmaan käyttämättömien lantojen ja peltobiomassojen teoreettiseksi biometaanin vuosituotantopotentiaaliksi saatiin 762 GWh. Teknistaloudelliseksi tuotantopotentiaaliksi arvioitiin 240–434 GWh vuodessa, saavutettavasta hyödyntämistä riippuen. Käyttöpotentiaalia tunnistettiin niin teollisuudessa, raskaassa tieliikenteessä ja lähimerenkulussa kuin kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotannossa.



	Nykyinen biometaanin tuotanto	Hyödyntämätön tuotantopotentiaali	Teollisuus	Raskas tieliikenne	Lähimerenkulku	Kaukolämmön ja yhteistuotanto-sähkön tuotanto
■ Nykyinen biometaanin tuotanto	60					
■ Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käyttö			782	268	58	298
■ Teknistaloudellinen biometaanin tuotantopotentiaali, min		240				
■ Teknistaloudellinen biometaanin tuotantopotentiaali, max		434				
■ Teoreettinen biometaanin tuotantopotentiaali		762				

---

Nykyinen 60 GWh:n vuosituotanto kulutetaan todennäköisimmin nykyisten käyttäjien (teollisuus, henkilöauto-liikenne, Vaasan kaupunkibussit) toimesta.

240 GWh:n lisätuotannolla (alempi teknistaloudellinen potentiaali) voitaisiin korvata lähimerenkulun käyttämä fossiilienergia 58 GWh/v täysimääräisesti. Meriliikenteessä LBG:hen siirtyminen ei vaadi uusia investointeja tai muutoksia nykyiseen kalustoon. Näin ollen siirtyminen nesteytettyyn biometaaniin maakaasun sijaan on mahdollista välittömästi, kun sitä on saatavilla. Raskaan liikenteen (>42 t) vuotuinen LBG:n tarve Pohjanmaan alueella vuonna 2030 arvioitiin 14 GWh:ksi. Vuoteen 2035 mennessä tarve on 30 GWh/v. Näin ollen myös raskaan tieliikenteen biometaanin tarve voitaisiin korvata täysimääräisesti. Näiden lisäksi 240 GWh:n vuosituotannolla LBG:llä voitaisiin korvata vielä noin 20 % (150 GWh) teollisuuden fossiilienergian käytöstä.

434 GWh:n lisätuotannolla (maksimi teknistaloudellinen potentiaali) voitaisiin lähimerenkulun ja raskaan tieliikenteen tarpeiden jälkeen kattaa vielä jopa 360 GWh muuta energiakäyttöä. Tämä vastaa lähes puolta teollisuuden fossiilienergian käytöstä, tai kolmannesta teollisuuden ja kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotannon yhteenlasketusta fossiili- ja turve-energian käytöstä.

# Pohdintaa

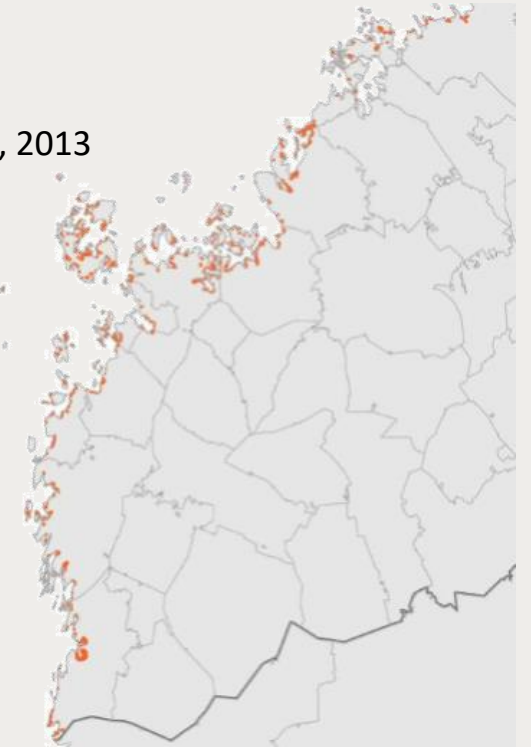
## Miten biometaanin tuotantopotentiaalia voitaisiin nostaa?

- **Vesikasvillisuuden niitot**, parantaisi myös vesistöjen tilaa. Huomaa, vesikasvien käyttöön on saatavilla ravinnekiertotuokea.
- Tällä hetkellä niittoja tehdään melko vähän. Pohjanmaan ELY-keskukselta saadun tiedon mukaan niittolupia haettiin vuonna 2021 kymmenelle hehtaarille, vuonna 2022 reilulle 30 hehtaarille ja vuonna 2023 runsaalle 370 hehtaarille.
- Ruovikoiden pinta-alan Pohjanmaan alueella arvioidaan olevan kuitenkin jopa 4 400 ha (Klemola ja muut, 2013).
- Ruovikon hyötykäyttö on kannattavinta laajoilla ruovikkokohteilla, joihin on hyvät kulkuyhteydet. Maksimipotentialin laskennassa teknistaloudelliseksi alaksi arvioitiin 50 % ruovikoiden kokonaispinta-alasta. Lisäksi niitto oletetaan tapahtuvan joka toinen vuosi, jotta ruoko ei taannu. Näin ollen maksimipotentialin laskennassa vuosittain niitettävän ruovikon kokonaisalaksi asetettiin 1100 ha. Kun ruokomassan saanti on 5 000 kg kuiva-ainetta hehtaaria kohden (Myllyviita ja muut, 2015), tekee tämä teknistaloudelliseksi potentiaaliksi 12,3 GWh/vuosi.
- **Nurmibiomassojen lisääminen viljelijöiden toimesta**, esim. rehunurmen niiton jälkeen toinen kylvö, jonka sato ohjataan biokaasutuotantoon

Ruovikoiden ja merenrantaniittyjen pinta-alat rannikkoalueiden ELY-keskuksissa CORINE-aineistojen ja ELY-keskusten asiantuntija-arvioiden mukaan.

Lähde: Klemola ja muut, 2013

kunta	ha
Kaskinen	3,4
Kokkola	178,3
Korsnäs	247,2
Kristiinankaupunki	659,4
Luoto	135,1
Maalahti	724,3
Mustasaari	2.135,4
Närpiö	391,7
Pietarsaari	47,8
Uusikaarlepyy	747,4
Vöyri	1.287,2
Vaasa	462,7
yht.	7.019,7
mriittyjä	2.500,0
ruovikoita	4.519,7





---

## 6. Päästölaskenta

Globaalin ympäristökeskustelun keskittyessä yhä enemmän ilmastonmuutoksen hillitsemiseen, LBG:n arvoketjun päästölaskennassa keskiössä tässä tutkimuksessa ovat kasvihuonekaasupäästöt (KHK).

Menetelmänä käytetään hiilijalanjälki- ja hiilikädenjälkilaskentaa. Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan toiminnasta tai tuotteesta aiheutunutta ilmastokuormitusta, eli paljonko kasvihuonekaasuja muodostuu ja vapautuu ilmaan toiminnan tai tuotteen elinkaaren ajalta. Hiilikädenjäljellä puolestaan tarkoitetaan tuotteen tai toiminnan aiheuttamaa ilmastohyötyä eli päästövähennystä sen käyttäjälle. LBG-ketjun hiilikädenjälki liittyy ennen kaikkea mahdollisuuden korvata fossiilisia polttoaineita biometaanilla, millä on nettokasvihuonekaasupäästöjä vähentävä vaikutus. Lisäksi biokaasuteknologian avulla mahdollistetaan sivutuotteiden jalostaminen lannoitteiksi, joiden käyttäminen vähentää teollisten lannoitteiden käyttöä ja niiden valmistuksesta aiheutuvia päästöjä.

Lisäksi sivuvirtojen anaerobinen hyödyntäminen vähentää biohajoavien materiaalien hallitsemattomasta hajoamisesta johtuvien metaani- ja N<sub>2</sub>O-kaasujen vapautumista ilmakehään.



## Hiilijalanjälki

Raaka-aineiden ja lopputuotteiden kuljetusten päästöt



LBG:n tuotannon päästöt



Mädätysjäännöksen prosessoinnin ja varastoinnin päästöt



LBG:n loppukäytön päästöt, esim. liikenne



Vältetyt päästöt biohajoavien materiaalien hallitsemattomasta hajoamisesta



Tuotettujen päästöjen summa g CO<sub>2</sub>-ekv./MJ<sub>LBG</sub>



## Hiilikädenjälki (vältetyt päästöt)

Fossiilisten polttoaineiden valmistuksen ja loppukäytön päästöt



Mineraalilannoitteiden valmistuksen päästöt



Vältettyjen päästöjen summa g CO<sub>2</sub>-ekv./MJ<sub>LBG</sub>

---

Päästövähennyksen laskennassa noudatettiin EU:n uusiutuvan energian RED II direktiivin (EU RED II, 2018) periaatteita. Päästöjen laskennan vaiheet RED II -direktiivin mukaan ovat:

**1. Syötteiden ja raaka-aineiden määrittely**

**2. Kasvihuonekaasupäästöjen laskeminen**

- Kasvihuonekaasupäästöt lasketaan syötteiden tuotannosta, keräämisestä, kuljetuksesta, biokaasun tuotantoprosessista sekä mädätysjäännöksen käsittelystä ja levityksestä.
- Kasvihuonekaasupäästöihin lasketaan mukaan hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), metaani (CH<sub>4</sub>) ja typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O) -päästöt. KHK-laskennan tulos ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalentteina lopputuotteen megajoulea kohden (g CO<sub>2</sub>-ekv./MJ).

**3. Lantahyvyitys**

- Jos biokaasun tuotannossa käytetään lantaa, lantahyvyitys voi vähentää päästölaskelmia merkittävästi. Lantahyvyitys lasketaan arvioimalla, kuinka paljon metaania olisi vapautunut ilmakehään, jos lantaa ei olisi käytetty biokaasulaitoksessa, ja vähentämällä tämä määrä biokaasulaitoksen kokonaispäästöistä.

**4. Biokaasun jalostus ja loppukäyttö**

- Päästöt, jotka liittyvät biokaasun jalostamiseen ja sen loppukäyttöön otetaan myös huomioon. Näihin sisältyy mahdollinen energian kulutus ja siihen liittyvät päästöt. Huomaa, että biokaasun poltosta aiheutuvia CO<sub>2</sub>-päästöjä ei laskennassa huomioida niiden biogeenisen luonteen vuoksi.

**5. Päästövähennyksen laskeminen**

- KHK-kaasupäästövähennys määritellään vertaamalla biokaasun koko elinkaaren aikaista päästöä fossiilisen vertailupolttoaineen vastaavaan elinkaaripäästöön.
- RED II -direktiivin kriteerien täyttämiseksi biokaasun on vähennettävä kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 65 % verrattuna fossiiliseen polttoaineeseen.

---

Toimija voi osoittaa KHK-päästökriteerien mukaisuuden kolmella vaihtoehdoisella tavalla:

1. Käyttämällä direktiivin liitteissä annettuja oletusarvoja päästövähennemälle
2. Laskemalla itse varsinaisen KHK-päästövähennyksen direktiivin liitteissä annettujen laskentaohjeistusten mukaisesti
3. Yhdistämällä direktiivin liitteissä annettuja eriteltyjä oletusarvoja osalle tuotantovaiheista, sekä toimijan itsensä laskemia todellisia arvoja osalle tuotantovaiheista.

Huomattava on, että direktiivin oletusarvot on laskettu varovaisuusperiaatteen mukaisesti. Esimerkiksi sähkön tuotannon päästökerroin on oletusarvoissa huomattavasti keskimääräistä suomalaista arvoa suurempi. Samoin direktiivissä mainittu liikenteessä käytettävän fossiilisen polttoaineen päästökerroin poikkeaa esimerkiksi Tilastokeskuksen Suomea koskevasta datasta. Lisäksi direktiivi käyttää metaanille ja N<sub>2</sub>O:lle IPCC:n vanhoja viidennen arviointiraportin (AR5) mukaisia GWP100-kertoimia (GWP, global warming potential), jotka on myöhemmin ajantasaistettu versiossa AR6. Mm. edellä mainituista syistä laskennassa käytettiin vaihtoehtoa 3, eli osalle tuotantoketjua käytettiin muihin lähteisiin kuin RED II direktiiviin perustuvia päästökertoimia.

Päästövähennys fossiiliseen vertailupolttoaineeseen verrattuna laskettiin kaavalla

$$\text{Päästövähennys} = \frac{\text{Fossiilinen vertailuarvo} - \text{LBG:n kokonaispäästö}}{\text{Fossiilinen vertailuarvo}}$$

LBG:n tuotannon päästöt koostuvat mahdollisista syötteiden viljelyn ja siihen käytettyjen tuotantopanosten päästöistä, syötteiden keräilystä ja kuljetuksista aiheutuvista päästöistä, sekä biokaasun tuotantoon, jalostukseen ja nesteytykseen, jakeluun ja loppukäyttöön liittyvistä päästöistä. Päästöjä syntyy myös mahdollisista metaanivuodoista. Myös mädätysjäännöksen prosessoinnista aiheutuvat päästöt allokoidaan RED II:n mukaan biometaanille, koska käsittelyjäännöksellä ei ole lämpöarvoa.

Kuten edellä jo mainittiin, biokaasun/LBG:n polton aikaisia hiilidioksidipäästöjä ei laskennassa huomioida. Kasvunsa aikana biomassassa on imenyt tietyn määrän hiilidioksidia ilmakehästä yhteyttämisen kautta. Biokaasun/ biometaanin polton aikana tämä talteen otettu hiilidioksidi palautuu ilmakehään; hiilidioksidin määrä ilmakehässä ei lisääny, vaan se kiertää lyhyinä hiilikiertoina. Puhutaan ns. biogeenisestä hiilidioksidista, jonka ei katsota kiihdyttävän ilmastonmuutosta. Metaani- ja N<sub>2</sub>O-päästöt sisällytetään kuitenkin aina laskentaan. Samoin biometaaniketjussa käytetyn fossiilienergian CO<sub>2</sub>-päästöt allokoidaan biometaanille.

LBG:n ilmastovaikutusten laskemiseksi muodostettiin teoreettinen biokaasulaitosesimerkki. Biokaasulaitoksen käsittelykapasiteetti on 50 000 tonnia vuodessa (Case 1). Lantojen osuus märkämädätyksen syötteistä on 84 % ja peltobiomassojen 16 %. Syötemateriaalien tarkempi erittely on taulukoituna ohessa. Metaanintuoton toteutuma oletettiin 90 %:ksi. Käsittelemätön biokaasu sisältää 65 % metaania ja 35 % hiilidioksidia.

Syötemateriaali, Case 1	t/v
Naudan lietelanta	14 000
Naudan kuivalanta	8 000
Sian lietelanta	20 000
Kesanto- ja suojavyöhykenurmi	5 000
Olki	3 000

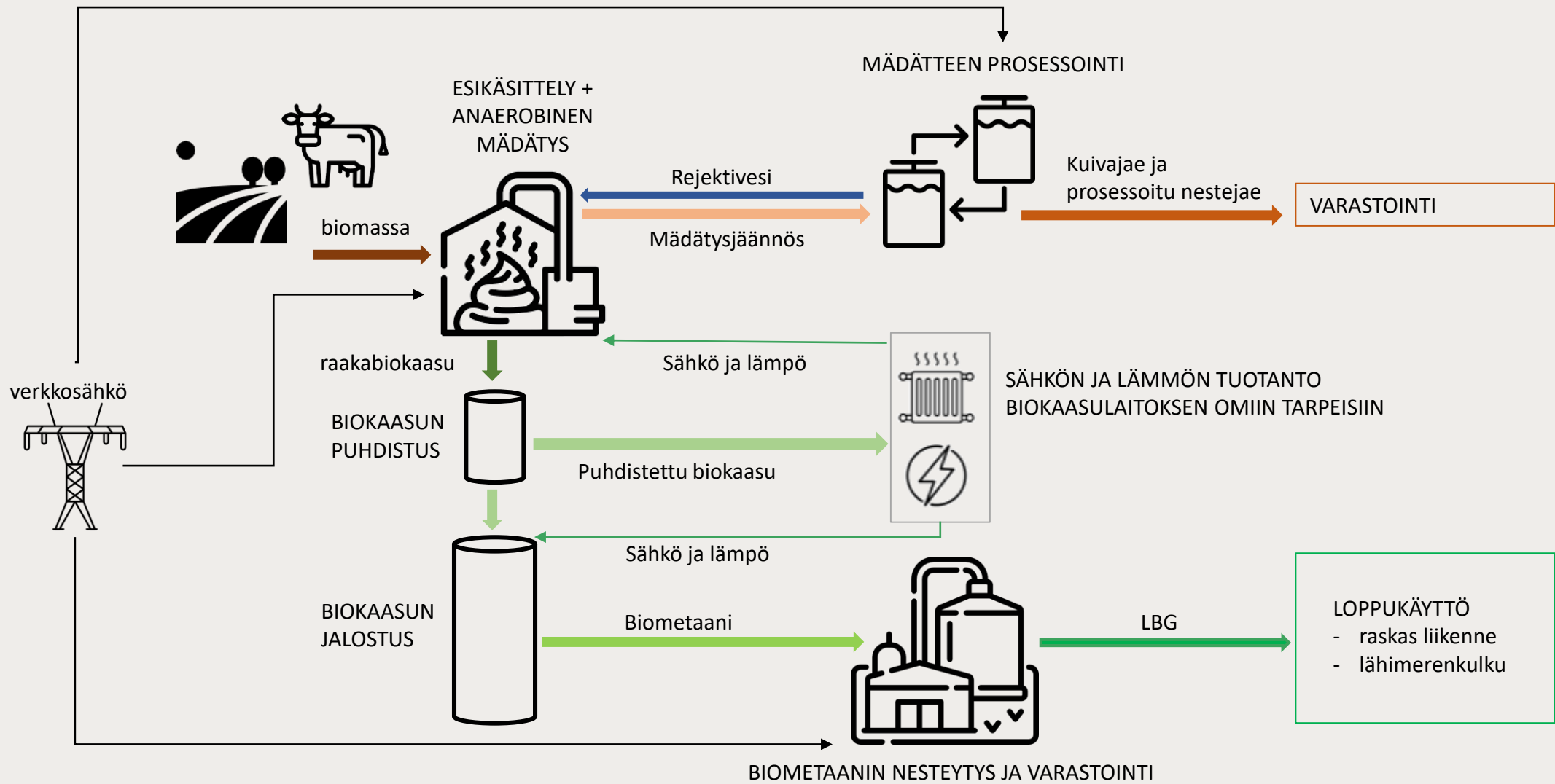
---

Kasvihuonekaasupäästöjen laskenta sisälsi seuraavat yksikköprosessit

1. Syötteiden kuljetukset
2. Biokaasuprosessi (syötteiden esikäsittely + hygienisointi + itse mädätys)
3. Biokaasun jalostus ja nesteytys
4. Mädätysjäännöksen prosessointi ja varastointi
5. LBG:n kuljetukset
6. LBG:n loppukäyttö meriliikenteessä ja raskaassa tieliikenteessä

Jätteiden ja tähteiden, kuten oljen, ei katsota aiheuttavan elinkaarenaikaisia kasvihuonekaasupäästöjä ennen kyseisten materiaalien keräämistä (RED II, 2018). Tämän vuoksi esim. viljojen viljelyn päästöt jätettiin huomioimatta. Myös kesanto- ja suojavyöhykenurmet käsitetään tässä tuotannon sivutuotteiksi, jolloin niiden päästölaskenta alkaa kuljetuksista biokaasulaitokselle. Myös lantojen kohdalla päästölaskenta alkaa lannan kuljetuksista.

LBG:n hiilijalanjäljen laskentaan sisällytetyt yksikköprosessit havainnollistetaan seuraavalla sivulla esitetyssä kuvassa. Esimerkkitapauksessa biokaasulaitoksen prosessien tarvitsema lämpöenergia tuotetaan polttamalla tuotettua biokaasua joko laitoksen omassa CHP-yksikössä tai lämpökattilassa. CHP-yksikön tuottamalla sähköllä katetaan myös osa laitoksen sähkönenergiantarpeista.



## 1. Biokaasuprosessi

Biokaasuprosessi käsittää syötteiden esikäsittelyn ja itse mädätysprosessin. Esikäsittelyn tarkoituksena on poistaa epäpuhtaudet käsiteltävistä syötteistä, murskata materiaali sopivaan palakokoon ja homogenisoida syöteseos. Lisäksi esikäsittelyvaiheessa säädetään syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus ja orgaaninen kuorma prosessin käynnistymisen ja toiminnan edellyttämälle tasolle.

Tässä tutkimuksessa esikäsittely sisältää myös hygienisoinnin, mikä mahdollistaa mädätysjäännöksen jatkojalosteiden markkinoimisen lannoitevalmisteina. Hygienisoinnissa syötemassa kuumennetaan (1 h, 70 °C) sen sisältämien taudinaiheuttajien ja rikkakasvien siementen tuhoamiseksi. Hygienisoinnin jälkeen syötemassa pumpataan biokaasureaktoriin, jossa varsinainen mädätys ja biokaasun muodostuminen tapahtuvat.

Esikäsittelyn ja hygienisoinnin sähkön kulutuksena käytettiin 150 kWh/t kuiva-ainetta ja reaktorin sähkönkulutuksena 3 % tuotetun biometaanin energiasisällöstä (Luostarinen ja muut, 2019).

Lämpöenergiaa puolestaan tarvitaan syötteiden lämmitykseen ja korvaamaan reaktorin lämpöhäviöitä. Koska mädätysprosessia edelsi hygienisointi, ei erillistä syötteiden lämmitystä tarvita. Hygienisoinnin lämmönkulutus laskettiin veden ominaislämpökapasiteetin perusteella kaavalla:

$$E = c \times m \times \Delta T$$

jossa  $E$ =lämmittämiseen tarvittava energia (kJ),  $c$ =veden ominaislämpökapasiteetti (4,18 kJ/kg°C),  $m$ =massa (kg) ja  $\Delta T$ =lämpötilan muutos (°C). Lämpötilan muutoksena käytettiin 12 → 70 °C.



---

Myöskään prosessissa kierrätettävälle laimennusvedelle ei huomioitu erillistä lämmitystarvetta, vaan hygienisoinnin lämmön oletettiin riittävän myös prosessiveden lämmitykseen sekä myös reaktorin lämpöhäviöiden kattamiseen.

Biokaasuprosessin energiankulutuksen päästöt riippuvat sähkön ja lämmön tuotantotavasta. Yleinen tapa on tuottaa prosessin tarvitsema lämpö ja sähkö tuotetusta biokaasusta. Tällöin prosessin energiankäytön päästöt rajoittuvat CHP-yksikön metaani- ja N<sub>2</sub>O-päästöihin. CHP-yksiköissä metaanipäästö johtuu epätäydellisestä palamisesta ja sen myötä poistokaasuun päätyvästä palamattomasta biokaasusta. CHP-yksikön metaanivuodoksi asetettiin 3 gCH<sub>4</sub>/kWh. N<sub>2</sub>O-päästöt puolestaan ovat seurausta reaktorin syötemateriaalien ja siten myös biokaasun sisältämästä ammoniakkipitoisuudesta. N<sub>2</sub>O-päästön suuruudeksi arvioitiin 0,002 gN<sub>2</sub>O/kWh (Luostarinen ja muut, 2023).

Metaanipäästöjä voi lisäksi aiheutua syötemateriaalien esisekoituksen ja syötön aikaisista metaanivuodoista, paineensäätöventtiileistä aiheutuvista vuodoista sekä huollon aikaisista metaanivuodoista. Myös vuodot laitosrakenteista ovat mahdollisia. (Luostarinen ja muut, 2023) Laskennassa biokaasuprosessin metaanivuodoksi oletettiin 1 % tuotetusta biometaanista (Majer ja muut, 2016).

## 2. Biokaasun jalostus ja nesteytys

Biokaasun jalostuksessa biometaaniksi kaasusta poistetaan muut komponentit kuten hiilidioksidi ja typpi. Jalostuksen aikaiset metaanipäästöt muodostuvat jalostuslaitteistojen vuodoista sekä poistokaasuun päätyvästä metaanista, jota ei tekniikoilla täysin saada talteen. Yleisimpiä tekniikoita ovat absorptioon perustuvat vesi- tai kemialliset pesurit (mm. amiinipesuri) sekä painenvaihteluadsorptio (PSA). Metaanipäästön määrä vaihtelee käytettävän jalostustekniikan mukaan (Hoyer ja muut, 2016):

- Amiinipesuri 0,1 %
- Vesipesuri 1 %
- PSA 1-1,5%

Lisäksi on huomioitava jalostuksen energiankulutus ja siitä aiheutuvat KHK-päästöt. Lampisen (2015) mukaan tyypilliset arvot ovat:

	Vesipesu	Amiinipesu	PSA
Sähkönkulutus (kWh/Nm <sup>3</sup> biokaasua)	0,24	0,12	0,25
Lämmönkulutus (kWh/Nm <sup>3</sup> biokaasua)		0,13	

Jalostustekniikaksi valittiin amiinipesuri.

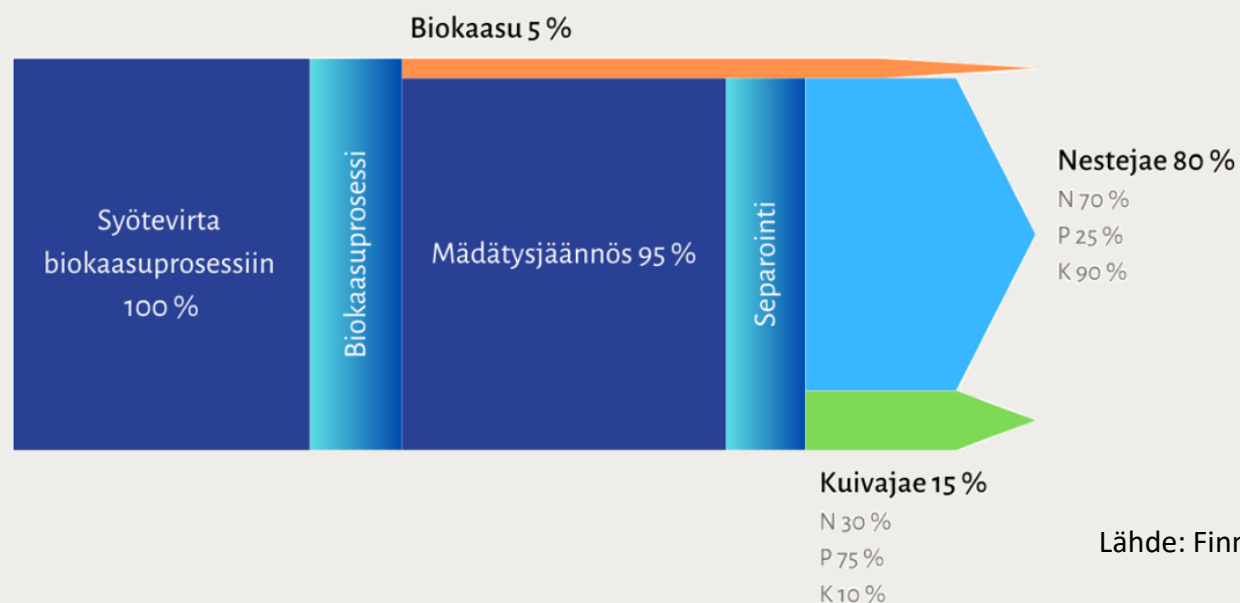
---

Biometaanin nesteytys tapahtuu jäähdyttämällä biometaani normaalissa ilmanpaineessa  $-163\text{ °C}$  lämpötilaan. Nesteytys pienentää kaasun tilavuutta 600-kertaisesti. Biometaanin nesteytyksessä yleisimmin käytetyt tekniikat ovat käänteiseen Brayton-kiertoon perustuvat paisuntajähdytysprosessit, joissa kylmäaineena käytetään typpikaasua, ja käänteiseen Rankine-kiertoon perustuvat prosessit, joissa kylmäaineena toimivat hiilivetyseokset. Tässä selvityksessä nesteytystekniikaksi valittiin hiilivetyseoksiin perustuva SMR (single mixed refrigerant) tekniikka. Oletuksena on, että nesteytyksen boil-off kaasu kierrätetään takaisin prosessiin, joten nesteyttämiseen liittyviä metaanipäästöjä ei huomioida. Nesteytysprosessit ovat kuitenkin hyvin energiantensiivisiä prosesseja ja nesteytykseen käytetyn sähköenergian tuotannon päästöt tulee laskennassa ottaa huomioon. SMR-tekniikkaan perustuvan nesteytyksen sähkön kulutukseksi asetettiin  $0,62\text{ kWh/kg}_{\text{LBG}}$  (Spoof-Tuomi, 2020).

### 3. Mädätysjäännöksen prosessointi ja varastointi

Biokaasuprosessin lopputuotteena muodostuu biokaasun lisäksi aina mädätysjäännöstä, jonka käsittely on tärkeä osa biokaasun tuotantoprosessia. Mädätysjäännöksen määrä on tyypillisesti yli 90 % alkuperäisestä syöttömäärästä. Mädätysjäännös voidaan hyödyntää lannoitteena myös sellaisenaan, mutta laitokseen kasvaessa tarvitaan mädätysjäännöksen jatkokäsittelyä massa- ja ravinnevertojen hallitsemiseksi.

Mädätysjäännöksen prosessointi alkaa mädätysjäännöksen separoinnilla eli jakamisella neste- ja kuivajakeeseen. Samalla voidaan erottaa fosforia ja typpeä osin erillisiin jakeisiin, jolloin niiden käyttöä lannoitteina voidaan täsmentää.



Lähde: Finnilä & Latvala, 2023

---

Separoinnin energiakulutus riippuu käytettävästä tekniikasta. Finnilän ja Latvalan (2023) Kierth2on 2-0 -hankkeelle tekemässä selvityksessä separoinnin energiankulutukseksi mainitaan:

- Ruuvipuristin 0,4-0,5 kWh/m<sup>3</sup>
- Dekantterilinko 3–5 kWh/m<sup>3</sup>
- Hihnasuodattimet 1,5-2 kWh/m<sup>3</sup>

Tässä tutkimuksessa separointitekniikaksi valittiin dekantterilinko. Energiankulutuksena käytettiin 3 kWh/m<sup>3</sup>.

Separointi on yleensä myös ensimmäinen prosessivaihe, kun pyritään jalostamaan vielä väkevempiä lannoitevalmisteita muilla prosessiteknologioilla, kuten kuivajakeen termisellä kuivauksella ja rakeistuksella ja/tai nestejakeen haihdutuksella tai typen strippauksella (Luostarinen ja muut, 2023). Jatkokäsittelyprosesseista erityisesti termisten menetelmien energiankulutus on huomattava.

Tässä tutkimuksessa separointia seuraava vaihe on nestejakeen haihdutus. Sähkötoimisen haihdutusprosessin sähkönkulutuksena käytettiin 25 kWh/tonni käsiteltävää ainesta (Luostarinen ja muut, 2019).

Separoitaessa mädätysjäännöksestä pääsee karkaamaan pieniä määriä siihen sitoutuneita kaasumaisia yhdisteitä. Jäännöksen viipymäaika separaattorilla on useimmiten kuitenkin lyhyt ja separoinnissa vapautuvat metaanipäästöt ovat pieniä (0,001–0,1 % laitoksen metaanituotosta) (Luostarinen ja muut, 2023), ja ne jätettiin tarkastelun ulkopuolelle.

Metaani- ja N<sub>2</sub>O-päästöjä voi muodostua myös mädätysjäännöksen ja sen jatkojalosteiden varastoinnin aikana. Varastoinnin ratkaisut vaikuttavat päästöihin merkittävästi. Tässä tutkimuksessa varastoinnin aikaiset kasvihuonekaasupäästöt eliminoitiin suljetulla jälkivarastoinnilla, josta metaani otetaan talteen biometaanin lisätuotantoa varten.

---

---

## 4. Kuljetukset

Kuljetusten KHK-päästölaskennassa huomioitiin syötteiden kuljetukset sekä LBG:n kuljetukset tankkausasemille/ loppukäyttäjille. Perustapauksessa kuljetusten polttoaineena käytetään dieselöljyä. Päästöjen laskennassa huomioitiin vain polttoaineen poltosta johtuvat päästöt, ei dieselin valmistuksen ja kuljetuksen päästöjä. Dieselpolttoaineen CO<sub>2</sub>-päästöinä käytettiin 61.6 g/MJ polttoainetta (Tilastokeskus, 2024b).

Edistyneessä tapauksessa kuljetusten polttoaineena käytettiin biometaanina.

## 5. Loppukäyttö

LBG:n loppukäytön KHK-päästöt laskettiin liikennekäytön mukaan. Päästöt laskettiin erikseen raskaalle tieliikenteelle ja meriliikenteelle. Tässä biometaanin polton aikaisten kasvihuonekaasupäästöjen tarkastelu keskittyi edelleen metaani- ja N<sub>2</sub>O-päästöihin; hiilidioksidipäästöjä ei huomioida niiden biogeenisen luonteen vuoksi.

Raskaassa tieliikenteessä moottoritekniikaksi valittiin ottomoottori. Kaasuottomoottoreiden metaanipäästöt perustuvat Röckin ja muiden (2020) selvitykseen; metaanipäästöt 0,2 gCH<sub>4</sub>/kWh ja N<sub>2</sub>O-päästöt 0,01 gN<sub>2</sub>O/kWh. Moottorin hyötysuhteella 35 % ominaispäästöt polttoaine-energiaa kohti ovat 0,019 gCH<sub>4</sub>/MJ<sub>LBG</sub> ja 0,001 gN<sub>2</sub>O/MJ<sub>LBG</sub>.

Meriliikenteessä moottoritekniikkana on kaksoispolttoainemoottori. Ominaispäästöt polttoaine-energiaa kohti ovat 1 gCO<sub>2</sub>/MJ<sub>LBG</sub>, 0,41 gCH<sub>4</sub>/MJ<sub>LBG</sub> ja 0,0022 gN<sub>2</sub>O/MJ<sub>LBG</sub> (Spoof-Tuomi ja Niemi, 2020). Pieni CO<sub>2</sub>-päästö on peräisin fossiilisesta pilottipolttoaineesta.

---

## Hiilijalanjäljen laskenta

Esimerkkitapauksessa biokaasuketju alkaa syötteiden kuljetuksesta keskitettyyn biokaasulaitokseen (puoliperävaunurekka 25 t, kuljetusmatka lietelannoille 20 km, kuiville lannoille 40 km ja peltobiomassoille 50 km, polttoaineenkulutus dieselkalustolla 1208 MJ/100 km (vastaa 35 l/100 km) ja kaasukalustolla 1509 MJ/100 km (kaasumoottorin hyötysuhde 20 % alempi kuin dieselmoottorin).

Biokaasulaitos itsessään koostuu syötteiden esikäsitteystä (murskaus, sekoitus, hygienisointi, syöttö), biokaasureaktoreista sekä biokaasun ja mädätysjäännöksen jatkokäsitteystä. Tuotettu biokaasu puhdistetaan (biokaasu sisältää pieniä määriä epäpuhtauksia, kuten vettä, ammoniakkia ja rikkivetyä, joiden poisto on yleensä välttämätöntä ennen kuin biokaasua voidaan käyttää hyödyksi) ja jalostetaan biometaaniksi amiinipesurissa. Lopuksi biometaaninesteytetään LBG:ksi. Tekniikkana kylmäaineseokseen perustuva nesteytys (SMR).

Mädätysjäännöstä muodostuu 95 % syöteseoksen massasta. Mädätysjäännöksen massa laskettiin syötteiden kokonaismäärän ja tuotetun biokaasun massan erotuksena. Mädätysjäännös separoidaan neste- ja kuivajakeisiin dekanterilingolla. Kuivajae markkinoidaan maanparannusaineena sellaisenaan. Nestejae väkevöidään haihduttamalla. Haihdutuksessa nestejakeen lämpötila nostetaan 80 asteeseen, jolloin lopputuotteena saadaan orgaanista nestemäistä lannoitevalmistetta (=konsentraatti) 20 %. Loput 80 % on laimeaa kondensaattia, jota voidaan käyttää syöteseoksen laimentamiseen niin, että syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus laskee märkämädätyksen vaatimalle 15 % tasolle.

LBG:n kuljetukset (50 km) tehdään 25 t kalustolla, jonka polttoaineen kulutus kuten edellä syötteiden kuljetusten kohdalla. Kaikki kuljetukset laskettiin edestakaisina.

---

Perustapauksessa esikäsitteilyn ja hygienisoinnin, mädätyksen, biokaasun puhdistuksen ja jalostuksen ja mädätysjäännöksen jatkokäsittelyn lämmöntarpeet ja osa sähköntarpeesta katetaan polttamalla tuotettua biokaasua laitoksen omassa CHP-yksikössä. CHP-yksikön lämpöhyötysuhde on 59 % ja sähköhyötysuhde 31 %. Tarvittava CHP-yksikön teho (600 kW) mitoitettiin lämmöntarpeen perusteella. CHP:n sähköntuotannon ylittävät sähköntarpeet katetaan verkkosähköllä, jonka päästökertoimena käytettiin vuoden 2023 volyymipainotettua keskiarvoa 38 g CO<sub>2</sub>/kWh (Fingrid, 2024).

Lisäksi laskettiin ns. edistynyt tapaus, jossa biokaasulaitoksen lämmöntarpeet tuotetaan polttamalla tuotettua biokaasua lämpökattilassa (hyötysuhde 90 %). Kaikki laitoksen sähköntarpeet katetaan uusiutuvalla energialla tuotetulla verkkosähköllä, jolloin sähköntuotannon päästökerroin on 0 CO<sub>2</sub>/kWh. Lisäksi edistyneessä tapauksessa kaikkien kuljetusten polttoaineena käytettiin dieselin sijaan biometaania.

Koska esimerkkilaitos käyttää syötteenä lantaa, laskentaan voidaan sisällyttää RED II:n mukainen lantahyvitys. Direktiivin mukainen hyvitys paremmista maatalouskäytännöistä ja lannan paremmasta käsittelystä on 45 gCO<sub>2</sub>-ekv./MJ lantaa (EU RED II, 2018). Lantahyvityksen laskennassa käytetyt lantojen energiasisällöt ovat:

- Naudan lietelanta 0,5 MJ/kg lantaa (kosteuspitoisuus 91 %)
- Naudan kuivalanta 1,8 MJ/kg lantaa (kosteuspitoisuus 70 %)
- Sian lietelanta 0,75 MJ/kg lantaa (kosteuspitoisuus 92 %)

KHK-päästöt esitetään hiilidioksidiekvivalentteina. GWP100-päästökertoimina käytettiin IPCC:n AR6:n mukaisia arvoja (IPCC, 2021); biometaanille 27 ja N<sub>2</sub>O:lle 273.



**Case 1, perustapaus:** prosessilämpö ja osa prosessisähköstä tuotetaan laitoksen omassa CHP-yksikössä, CHP:n sähkön tuotannon ylittävä sähkön tarve hankitaan verkosta (perussähkö), kuljetukset diesel polttoaineella

## Nesteytetyn biometaanin tuotanto

	Diesel kulutus MJ/v	Energian kulutus MWh/v	LBG:n tuotanto MWh/v	CH <sub>4</sub> päästöt kg/v	N <sub>2</sub> O päästöt kg/v	CO <sub>2</sub> päästöt kg/v	CO <sub>2</sub> -ekv. t/v
<b>Syötteiden kuljetukset</b>	1 352 400					83 308	<b>83</b>
<b>Biokaasun tuotanto</b>			20 223				
<b>Lämpöenergian kulutus</b>							
• Biokaasuprosessi (syötteiden esikäsittely + hygienisointi , mädätys)		2 680					
• Jalostus		402					
<b>Sähköenergian kulutus</b>							
• Biokaasuprosessi (syötteiden esikäsittely + hygienisointi , mädätys)		2 107					
• Jalostus		371					
• Nesteytys		892					
• Mädatteen prosessointi (separointi, nestejakeen haihdutus) ja varastointi		1 482					
<b>Prosessilämmön ja -sähkön tuotanto tuotetulla biokaasulla (CHP 600 kW)</b>			-5 235	14 133	9		<b>384</b>
<b>Verkkosähkön käyttö</b>		3 223				122 466	<b>122</b>
<b>Metaanivuodot</b>			- 222	15 989			<b>432</b>
<b>LBG:n kuljetukset</b>	713 196					43 933	<b>44</b>
<b>Yhteensä</b>			<b>14 766</b>				<b>1 066</b>
<b>Lantahyvyty</b>							<b>-1 638</b>
<b>KHK-päästöt yhteensä</b>							<b>-572</b>

## LBG-ketjun hiilijalanjälki

### Well-to-tank päästöt

Tuotettu LBG yht. (MJ) 53 157 493

CO<sub>2</sub>-ekv. yht. (t/v) -572

**Well-to-tank KHK-päästö g/MJ<sub>LBG</sub> -10.8**

### Tank-to-wheels/tank-to-wake päästöt

	CH <sub>4</sub> päästöt g/MJ <sub>LBG</sub>	N <sub>2</sub> O päästöt g/MJ <sub>LBG</sub>	CO <sub>2</sub> päästöt g/MJ <sub>LBG</sub>	CO <sub>2</sub> -ekv. g/MJ <sub>LBG</sub>
Lähimerenkulku	0.41	0.0022	1	<b>12.7</b>
Raskas liikenne	0.019	0.001		<b>0.8</b>

### Hiilijalanjälki (well-to-wheels/well-to-wake)

Käyttö merenkulussa **1.9** gCO<sub>2</sub>-ekv./MJ<sub>LBG</sub>

Käyttö raskaassa liikenteessä **-10.0** gCO<sub>2</sub>-ekv./MJ<sub>LBG</sub>

Biokaasun hiilijalanjälki on hyvin pieni, jopa negatiivinen, jos mädätyksessä käytetään lantaa. Negatiivinen hiilijalanjälki tarkoittaa, että hiiltä sidotaan pois ilmakehästä enemmän kuin sitä päästetään ilmakehään.

**Case 1, edistynyt:** kaikissa kuljetuksissa käytetään polttoaineena biometaanina, prosessilämpö tuotetaan lämpökattilalla, kaikki sähkönkäyttö uusiutuvaa sähköä (esim. tuulisähkö) verkosta

## Nesteytetyn biometaanin tuotanto

	LBG kulutus MJ/v	Energian kulutus MWh/v	LBG:n tuotanto MWh/v	CH <sub>4</sub> päästöt kg/v	N <sub>2</sub> O päästöt kg/v	CO <sub>2</sub> päästöt kg/v	CO <sub>2</sub> -ekv. t/v
<b>Syötteiden kuljetukset</b>	1 690 500						<b>1.3</b>
<b>Biokaasun tuotanto</b>			20 223				
<b>Lämpöenergian kulutus</b>							
• Biokaasuprosessi (syötteiden esikäsittely + hygienisointi, mädätys)		2 680					
• Jalostus		402					
<b>Sähköenergian kulutus</b>							
• Biokaasuprosessi (syötteiden esikäsittely + hygienisointi, mädätys)		2 107					
• Jalostus		371					
• Nesteytys		892					
• Mädätteen prosessointi (separointi, nestejakeen haihdutus) ja varastointi		1 482					
<b>Prosessilämmön ja -sähkön tuotanto tuotetulla biokaasulla (lämpökattila 400 kW)</b>			-3424	9 245	6		<b>251</b>
<b>Verkkosähkön käyttö</b>		4852				0	<b>0</b>
<b>Metaanivuodot</b>			-222	15 989			<b>432</b>
<b>LBG kuljetukset</b>	1 000 798						<b>0.8</b>
<b>Yhteensä</b>			<b>16 576</b>				<b>685</b>
<b>Lantahyvitys</b>							<b>-1 638</b>
<b>KHK-päästöt yhteensä</b>							<b>-953</b>

## LBG-ketjun hiilijalanjälki

### Well-to-tank päästöt

Tuotettu LBG yht. (MJ) 59 674 933

CO<sub>2</sub>-ekv. yht. (t/v) -953

**Well-to-tank KHK-päästö g/MJ<sub>LBG</sub> -16.0**

### Tank-to-wheels/tank-to-wake päästöt

	CH <sub>4</sub> päästöt g/MJ <sub>LBG</sub>	N <sub>2</sub> O päästöt g/MJ <sub>LBG</sub>	CO <sub>2</sub> päästöt g/MJ <sub>LBG</sub>	CO <sub>2</sub> -ekv. g/MJ <sub>LBG</sub>
Lähimerenkulku	0.41	0.0022	1	<b>12.7</b>
Raskas liikenne	0.019	0.001		<b>0.8</b>

### Hiilijalanjälki (well-to-wheels/well-to-wake)

Käyttö merenkulussa -3.3 g/MJ<sub>LBG</sub>

Käyttö raskaassa liikenteessä -15.2 g/MJ<sub>LBG</sub>

Käytettävät syötteen vaikuttavat laskentaan merkittävästi. Edeltävistä laskelmista nähdään, että lantahyvyitys on keskeinen tekijä, joka voi merkittävästi pienentää biokaasulaitoksen laskennallisia päästöjä. Kun prosessissa käytetään lantaa, voi biokaasun tuotanto saada jopa negatiivisen arvon eli sen arvioidaan synnyttävän päästövähennyksiä, kun lannan hallitsemattomat metaanipäästöt estyvät. Jos sitten tuotannossa käytetään pelkästään kasvibiomassaa, ei vastaavaa laskennallista hyvitystä tehdä.

Laajemman kuvan antamiseksi laskettiin vielä LBG-ketjun päästöt tapauksessa, jossa syötteen massasta 39 % on lantaa ja 61 % sivuvirroiksi luokiteltuja nurmimassoja (Case 2) sekä tapauksessa, jossa syötteenä käytetään pelkästään sivuvirraksi luokiteltuja nurmimassoja (Case 3).

### Case 2:

**Syötteinä sian lietelanta 11 000 t/v ja nurmimassa 17 500 t/v.**

Well-to-tank päästöt	8.5	gCO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>
Tank-to-wake päästöt (lähimerenkulku)	12.7	gCO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>
Tank-to-wheels päästöt (raskas liikenne)	0.8	gCO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>
<b>Well-to-wake päästöt (lähimerenkulku)</b>	<b>21.2</b>	<b>gCO<sub>2</sub>-ekv./MJ<sub>LBG</sub></b>
<b>Well-to-wheels päästöt (raskas liikenne)</b>	<b>9.3</b>	<b>gCO<sub>2</sub>-ekv./MJ<sub>LBG</sub></b>

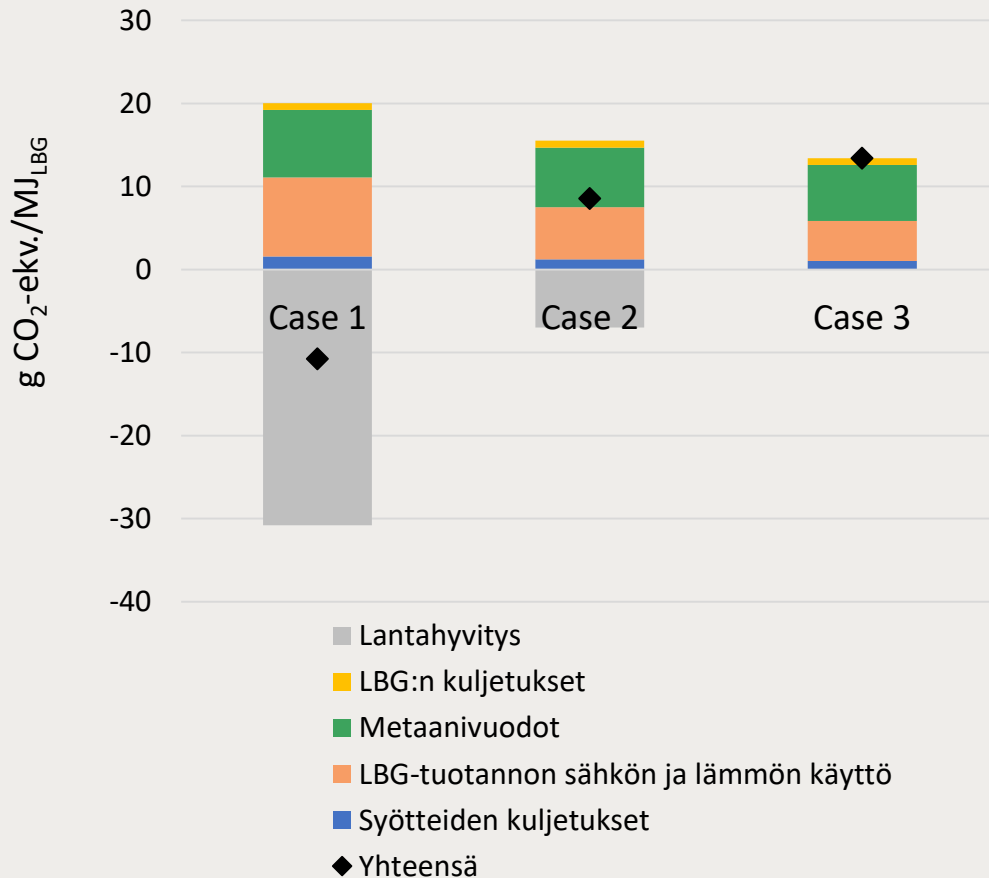
### Case 3:

**Syötteenä nurmimassa 18 600 t/v.**

Well-to-tank päästöt	13.4	gCO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>
Tank-to-wake päästöt (lähimerenkulku)	12.7	gCO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>
Tank-to-wheels päästöt (raskas liikenne)	0.8	gCO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>
<b>Well-to-wake päästöt (lähimerenkulku)</b>	<b>26.1</b>	<b>gCO<sub>2</sub>-ekv./MJ<sub>LBG</sub></b>
<b>Well-to-wheels päästöt (raskas liikenne)</b>	<b>14.2</b>	<b>gCO<sub>2</sub>-ekv./MJ<sub>LBG</sub></b>

Alla oleva kuva havainnollistaa käytettyjen syötteiden vaikutusta LBG-tuotannon laskennallisiin päästöihin. Kokonaispäästö on merkitty kuvaan mustalla vinoneliöllä.

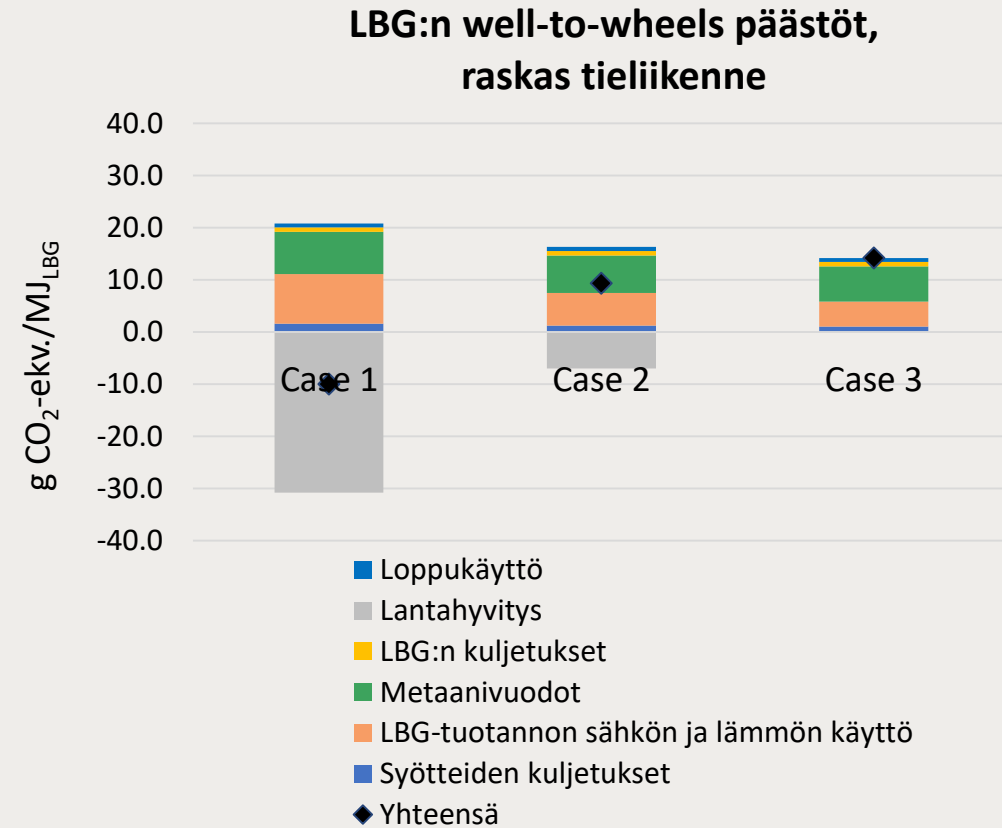
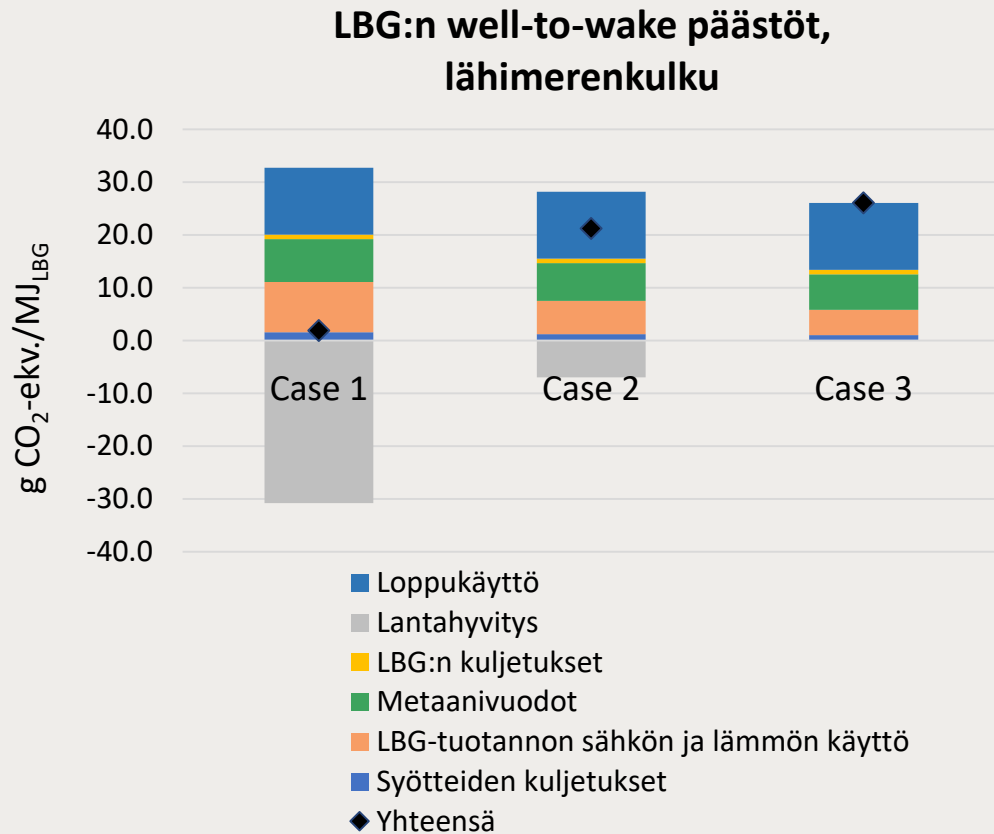
### LBG:n tuotantoketjun well-to-tank päästöt



Case 1: liete- ja kuivalanta 42 000 t/v, peltobiomassa 8 000 t/v  
 Case 2: sian lietelanta 11 000 t/v, nurmibiomassa 17 500 t/v  
 Case 3: nurmibiomassa 18 600 t/v

Huolimatta varsin erilaisista syöteseosten kokonaismassoista, LBG:n tuotanto on kaikissa tapauksissa sama noin 14,8 GWh/v. Lannan metaanintuottopotentiali ei ole erityisen hyvä, koska valtaosa orgaanisesta materiaalista on hajonnut jo eläinten ruuansulatuksessa. Sen sijaan nurmen metaanintuottopotentiali on suuri sen korkean orgaanisen aineen pitoisuuden takia.

LBG:n hiilijalanjälki muodostuu LBG:n tuotantovaiheen ja loppukäytön kokonaispäästöistä. Kokonaispäästö on jälleen merkitty kuvaan mustalla vinoneliöllä.



Raskaan liikenteen alhaisemmat loppukäytön päästöt johtuvat tieliikenteen päästönormien edellyttämästä pakokaasujen jälkikäsittelystä, joka eliminoi metaanipäästöt varsin tehokkaasti. Meriliikenteessä loppukäytön päästöt muodostuvat pääosin LBG:n polton aikaisesta metaanivuodosta.

---

## Hiilikädenjäljen laskenta

Hiilikädenjälki tarkoittaa asiakkaalle tuotettu hyötyä siitä, että yritys valmistaa tuotteita ja palveluja, joiden avulla asiakas pystyy pienentämään hiilijalanjälkeään. Hiilikädenjälki määritetään vertaamalla uutta vähähiilistä ratkaisua alan standardiin (baseline):

$$\text{Hiilikädenjälki} = \text{perusuran (baseline)hiilijalanjälki} - \text{uuden tuotteen hiilijalanjälki}$$

Kun uuden ratkaisun hiilijalanjälki on pienempi kuin baseline-ratkaisun, muodostuu positiivinen hiilikädenjälki.

## Vältetyt päästöt korvattaessa fossiilisia polttoaineita LBG:llä

Tässä tutkimuksessa hiilikädenjälki muodostuu pääasiassa vältetyistä päästöistä fossiilisen polttoaineen korvaamisen kautta. Vertailupolttoaineena meriliikenteessä käytettiin fossiilista LNG:tä ja raskaassa maantieliikenteessä fossiilista dieselöljyä. LNG:n well-to-tank päästönä käytettiin 16,9 g CO<sub>2</sub>-ekv./MJ<sub>LNG</sub> (Prussi ja muut, 2020) ja tank-to-wake päästönä 68,8 CO<sub>2</sub>-ekv./MJ<sub>LNG</sub> (Spoof-Tuomi ja Niemi, 2020).

Dieselpolttoaineen well-to-tank päästöt (15,9 g CO<sub>2</sub>-ekv./MJ<sub>diesel</sub>) laskettiin JEC well-to-wheels raportista v5 (Prussi ja muut, 2020) käyttäen biokomponentin osuutena 16 %. Dieselpolttoaineen tank-to-wheels päästönä käytettiin 61,6 g/MJ polttoainetta (Tilastokeskus, 2024b).

Hiilikädenjäljen laskennan tulokset esitetään seuraavalla sivulla. Samalla esitetään RED II:n ohjeistuksen mukaan laskettu päästövähennys korvattaessa fossiilisia polttoaineita LBG:llä.

### Case 1, perustapaus: LBG:n hiilikädenjälki sekä päästövähennys verrattuna fossiilisen polttoaineen käyttöön

	LNG g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LNG</sub>	Diesel g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>diesel</sub>	LBG g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>	LBG:n hiilikädenjälki g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>	Päästövähennys %
Lähimerenkulku	85.7		1.9	83.8	98 %
Raskas liikenne		77.5	-10.0	87.5	113 %

### Case 1, edistynyt: LBG:n hiilikädenjälki sekä päästövähennys verrattuna fossiilisen polttoaineen käyttöön

	LNG g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LNG</sub>	diesel g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>diesel</sub>	LBG g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>	LBG:n hiilikädenjälki g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>	Päästövähennys %
Lähimerenkulku	85.7		-3.3	89.0	104 %
Raskas liikenne		77.5	-15.2	92.7	120 %

### Case 2: LBG:n hiilikädenjälki sekä päästövähennys verrattuna fossiilisen polttoaineen käyttöön

	LNG g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LNG</sub>	diesel g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>diesel</sub>	LBG g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>	LBG:n hiilikädenjälki g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>	Päästövähennys %
Lähimerenkulku	85.7		21.2	64.5	75 %
Raskas liikenne		77.5	9.3	68.2	88 %

### Case 3: LBG:n hiilikädenjälki sekä päästövähennys verrattuna fossiilisen polttoaineen käyttöön

	LNG g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LNG</sub>	diesel g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>diesel</sub>	LBG g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>	LBG:n hiilikädenjälki g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>	Päästövähennys %
Lähimerenkulku	85.7		26.1	59.6	70 %
Raskas liikenne		77.5	14.2	63.3	82 %

Biokaasun päästövähennystulokset riippuvat käytetyistä raaka-aineista: suurin päästövähennys saavutetaan lantapainotteisilla syötteillä.

RED II –direktiivin mukainen 65 % päästövähennyskriteeri täyttyi kaikissa tutkituissa tapauksissa.

---

Lisäksi tarkasteltiin tilannetta, jossa huomioitiin myös mädätysjäännöksen lannoitekäytön seurauksena vältetyt mineraalilannoitteiden tuotannon kasvihuonekaasupäästöt.

### **Vältetyt päästöt mineraalilannoitteiden tuotannosta**

Biokaasutuotannossa syntyvä mädätysjäännös sisältää runsaasti kasveille tarpeellisia ravinteita, kuten typpeä, fosforia ja kaliumia. Mädätysjäännöksen hyödyntäminen lannoitteena on tehokas ja ympäristöystävällinen tapa palauttaa ravinteita takaisin maaperään. Separoitaessa pääosa raaka-aineiden fosforista päätyy kuivajakeeseen kun taas suurin osa raaka-aineiden sisältämästä typestä ja kaliumista päätyy nestejakeeseen. Esimerkkitapauksessa mädätysjäännöksestä separoitu kiinteä fraktio levitetään pelloille sellaisenaan, jolloin se toimii sekä lannoitteena että maanparannusaineena. Nestejakeen haihdutuksesta saatava konsentraatti käytetään pelloilla typpilannoitteena.

Mädätysjäännöksestä jalostettujen kierrätyslannoitevalmisteiden hiilikädenjälkeä osoittavana arvona käytettiin mineraalilannoitteiden ravinnekohtaisia typen, fosforin ja kaliumin päästökertoimia (kg CO<sub>2</sub>-ekv./kg ravinnetta).

Teollisten typpilannoitteiden valmistuksessa hiilijalanjälki syntyy pääosin typpihappotuotannon N<sub>2</sub>O-päästöistä ja ammoniakkituotannon energiankulutuksesta. Laskennassa typpilannoitetuotannon KHK-päästönä käytettiin 3,6 kgCO<sub>2</sub>-ekv. typpikiloa kohti (Ilmastolannoite, 2024). Päästöt kattavat tehtaan suorat päästöt, raaka-aineiden tuotannon ja kuljetukset tehtaalte sekä prosessin tarvitseman energian tuotannon. Fosfori- ja kaliumlannoitteiden valmistuksessa syntyvät CO<sub>2</sub>-päästöt ovat yleensä alhaisempia kuin typpilannoitteiden. Päästökertoimena fosforilannoitteelle käytettiin 0,56 kgCO<sub>2</sub>-ekv./kg ravinnetta ja kaliumlannoitteelle 0,43 kgCO<sub>2</sub>-ekv./kg ravinnetta (Ilmastolannoite, 2024).



Laskennan yksinkertaistamiseksi mineraalilannoitteiden ja mädätysjäännöksestä jalostettujen lannoitevalmisteiden päästöjä kuljetuksista tiloille ei otettu tarkastelussa huomioon, ei myöskään pelloilla tapahtuvia N<sub>2</sub>O päästöjä, koska näiden arvioitiin johtavan hyvin samankaltaisiin päästömääriin kumminkin lannoitustavan kohdalla (Timonen ja muut, 2020).

Mädätysjäännöksen ravinnepitoisuus riippuu lähtöaineista, eli syötteistä, joita biokaasulaitoksessa käytetään. Ravinnepitoisuuksien määrittelyssä hyödynnettiin Luken Biokaasulaskuria, joka ilmoittaa kasveille käyttökelpoisen liukoisen typen, fosforin ja kaliumin pitoisuudet mädätysjäännöksessä. Pitoisuudet annetaan erikseen kuiva- ja nestejakeelle. Nestejakeen ravinteista 90 % oletettiin jäävän konsentraattiin (Svan, 2021).

Alla esimerkkinä Case 1 perustapauksessa maanparannus- ja lannoitevalmisteina markkinoitavien jakeiden ravinnemäärät sekä vältetyt päästöt, kun mineraalilannoitteita korvataan näillä kierrätyslannoitteilla.

Liukoisen typen määrä kuivajakeessa	26 117	kg N
Fosforin määrä kuivajakeessa	34 634	kg P
Kaliumin määrä kuivajakeessa	30 205	kg K

Liukoisen typen määrä konsentraatissa	107 081	kg N
Fosforin määrä konsentraatissa	10 242	kg P
Kaliumin määrä konsentraatissa	154 103	kg K

Vältetyt päästöt (mineraalilannoitteiden tuotannon päästöt)		
Typpi	479 512	kg CO <sub>2</sub> -ekv.
Fosfori	25 131	kg CO <sub>2</sub> -ekv.
Kalium	79 252	kg CO <sub>2</sub> -ekv.
<b>Yhteensä</b>	<b>583 895</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>-ekv.</b>

RED II:n mukaan biometaanin päästövähennyksissä ei huomioida mineraalilannoitteiden käytön vähentymisestä aiheutuvia KHK-päästösäästöjä. Ne voidaan kuitenkin sisällyttää hiilikädenjäljen laskentaan. Alla olevissa taulukoissa on koottuna vältetyt päästöt niin mineraalilannoitetuotannosta kuin fossiilisten polttoaineiden käytöstä.

## Lähimerenkulku

	LBG:n hiilijalan- jälki g CO <sub>2</sub> - ekv./MJ <sub>LBG</sub>	Vältetyt päästöt mineraalilannoite- tuotannosta g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>	Vältetyt päästöt fossiilisten polttoaineiden käytöstä g CO <sub>2</sub> - ekv./MJ <sub>LBG</sub>	LBG:n hiilikädenjälki g CO <sub>2</sub> - ekv./MJ <sub>LBG</sub>
Case 1, tavanomainen	1.9	11.0	85.7	<b>94.8</b>
Case 1, edistynyt	-3.3	9.8	85.7	<b>98.8</b>
Case 2	21.2	5.3	85.7	<b>69.8</b>
Case 3	26.1	2.9	85.7	<b>62.5</b>

## Raskas tieliikenne

	LBG:n hiilijalan- jälki g CO <sub>2</sub> - ekv./MJ <sub>LBG</sub>	Vältetyt päästöt mineraalilannoite- tuotannosta g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>	Vältetyt päästöt fossiilisten polttoaineiden käytöstä g CO <sub>2</sub> - ekv./MJ <sub>LBG</sub>	LBG:n hiilikädenjälki g CO <sub>2</sub> - ekv./MJ <sub>LBG</sub>
Case 1, tavanomainen	-10	11.0	77.5	<b>98.5</b>
Case 1, edistynyt	-15.2	9.8	77.5	<b>102.5</b>
Case 2	9.3	5.3	77.5	<b>73.5</b>
Case 3	14.2	2.9	77.5	<b>66.2</b>

---

## 7. Yhteenveto ja pohdinta

Pohjanmaan käyttämättömien lantojen ja peltobiomassojen teoreettiseksi biometaanin vuosituotantopotentiaaliksi saatiin 762 GWh. Teknistaloudelliseksi tuotantopotentiaaliksi arvioitiin 240–434 GWh vuodessa saavutettavasta hyödyntämistä riippuen. Tämä on 4–7-kertainen nykyiseen 60 GWh vuosituotantoon verrattuna.

Suurin yksittäinen biometaanipotentiaali liittyi olkiin; olkien osuus kokonaispotentiaalista ylittää 50 %. Oljen käyttöön liittyy kuitenkin monia haasteita ja tiedossa olevissa laitoksissa ja laitossuunnitelmissa oljen osuus syöteseoksissa on vähäinen. Euroopasta löytyy kuitenkin esimerkkejä jopa 100-prosenttisesti olkea syötteenä käyttävistä laitoksista.

Myös perunan varsien biometaanipotentiaali alueella on merkittävä, jopa 50 GWh/v. Perunan varsien kohdalla haasteet liittyvät mm. niiden nopeaan pilaantumiseen. Kesanto-, suojavyöhyke- ja viherlannoitusnurmien teknistä taloudelliseksi biokaasupotentiaaliksi saatiin maksimissaan 28 GWh/v. Tässä on kuitenkin huomattava, että Biomassa-atlaksen laskentatapa on pinta-alaperusteinen, ei satoperusteinen, eli jos samalta alueelta voidaan korjata useampi sato, on potentiaali tässä esitettyjä laskelmia suurempi.

Rehunurmia ei tässä tutkimuksessa huomioitu, koska tutkimuksen kohteeksi valittiin ainoastaan sellaiset peltobiomassat, jotka eivät kilpaile ruoan tai rehuntuotannon kanssa. Rehunurmet voivat kuitenkin nostaa biometaanipotentiaalia kahdella kestäväksi luokitellulla tavalla: Nautatilat mitoittavat rehunurmen viljelyalansa usein hieman yläkanttiin, jotta heikkonakin satovuotena nurmirehua saadaan riittävästi. Hyvinä satovuosina rehunurmea voidaan siten tuottaa yli karjan tarpeen, jolloin osa sadosta voitaisiin käyttää biokaasun tuotantoon. Toiseksi, rehunurmen niiton jälkeen voidaan mahdollisesti tehdä toinen kylvö, jonka sato voitaisiin ohjata biokaasutuotantoon.

---

Lantojen yhteenlaskettu teknistaloudellinen biometaanipotentiaali alueella on maksimissaan 106 GWh vuodessa.

Vaikka suurin energiapotentiaali biokaasuna liittyy peltobiomassoihin, on lanta erinomainen perussyöte biokaasuprosessiin, koska sitä muodostuu suuria määriä tasaisesti ympäri vuoden. Kotieläintuotannon lanta sisältää myös suurimman osan kierrätettävissä olevista ravinteista.

Biokaasun päästövähennystulokset riippuvat täysin käytetyistä raaka-aineista: pääasiassa lantaa käyttävässä tapauksessa (Case 1) päästövähennykseksi saatiin 98–120 % verrattuna fossiilisen maakaasun tai dieselin käyttöön. Pelkästä nurmimassasta (Case 3) tuotetun LBG:n päästövähennys oli 70–82 % fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna.

RED II -direktiivin kestävyyskriteerien täyttämiseksi biokaasun on vähennettävä kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 65 % verrattuna fossiiliseen polttoaineeseen. Mainittu kriteeri täyttyi kaikissa tutkituissa tapauksissa.

Jos biokaasutuotannon mädätysjäännös prosessoidaan ja hyödynnetään lannoitevalmisteina, saavutetaan biokaasutuotannolla lisäksi mineraalilannoitteiden käytön vähentymisestä aiheutuvia KHK-päästövähennyksiä.

LBG:n käyttöpotentiaalia tunnistettiin niin teollisuudessa, raskaassa tieliikenteessä ja lähimerenkulussa kuin kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotannossa. Fossiilisilla polttoaineilla ja turpeella tuotetun energian kokonaismäärä em. sektoreilla Pohjanmaalla on lähes 1300 GWh vuodessa -> pitkällä tähtäimellä tarvitaan uusia syötteitä ja uusia teknologioita perinteisten mädätystekniikoiden rinnalle.

Biokaasun tuotantopotentiaalista on vielä paljon käyttämättä, mutta biokaasuakin suurempi uusiutuvan metaanin potentiaali piilee synteettisissä tuotantoketjuissa.

---

Uusiutuvaa synteettistä metaania voidaan valmistaa yhdistämällä vihreää vetyä talteen otettuun hiilidioksidiin. Tarvittava hiilidioksidi voidaan ottaa talteen esimerkiksi jätehuollon tai metsäteollisuuden prosesseista. Näin tuotettu synteettinen metaani on merkittävästi fossiilisia polttoaineita vähäpäästöisempää, ja sen avulla voidaan saavuttaa biokaasun käyttöä vastaava päästövähennys (Gasum, 2023). Hiilidioksidia on mahdollista ottaa talteen myös biokaasuprosessista. Nesteytettynä synteettinen metaani on täysin LBG:tä vastaava polttoaine.

Pohjanmaalla Koppö Energia Oy suunnittelee rakennettavaksi vetyä ja synteettistä metaania valmistavan laitospöytäkonaisuuden Kristiinankaupungin Karhusaareen. Hanke koostuu 200 MW elektrolyysieristä, joka käyttää läheisten tuulivoimapuistojen tuottamaa uusiutuvaa sähköä tuottaakseen merivedestä vetyä, josta edelleen jalostetaan metaania. Metanointiprosessissa tarvittava hiilidioksidi otetaan talteen biomassaa polttavan laitoksen tai jätteenpolttolaitoksen savukaasuista. Valmistuttuaan laitos tuottaa nesteytettyä synteettistä metaania noin 55 000 tonnia (760 GWh) vuodessa. (Ympäristö, 2024) Hankkeessa on käynnissä YVA-menettely.

Vedyn tuotantoa on suunnitteilla myös Vaasan Vaskiluotoon. Power-to-X-to-Power -järjestelmä sisältää elektrolyysilaitoksen vedyn tuottamiseksi vedestä ja uusiutuvasta sähköstä, vetyvaraston sekä vetymootorilaitoksen sähkön tuottamiseksi varastoidulla vedyllä. Vedyn tuotannon kapasiteetti arvioidaan olevan noin 5 MW. Suunniteltu Power-to-X-to-Power -järjestelmä ei kuitenkaan rajaudu pelkästään vedyn käyttöön – termin X-kirjaimella viitataan myös muihin e-polttoaineisiin kuten esimerkiksi synteettiseen metaaniin. Hankkeen osapuolina toimivat Wärtsilä Finland, Vaasan Sähkö, EPV Energia ja Vaasan kaupunki.

Vaikka synteettisellä metaanilla on biometaanilla suurempi tuotantopotentiaali, on biokaasutoimintaa edelleen kehitettävä rinnalla. Huomattavan päästövähennyspotentiaaliksi lisäksi perinteinen biokaasutuotanto on tehokas ravinteiden kierrättäjä ja erityisesti lantaa hyödynnettäessä tehokas maatalouden päästöjen vähentäjä.

---

# Lähteet

Andersen, L.F.; Parsin, S.; Lüdtke, O. ja muut (2022). Biogas production from straw—the challenge feedstock pretreatment. *Biomass Conv. Bioref.* 12, 379–402. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00740-y>

Energiateollisuus (2023). Kaukolämpötilastot. 13.11.2023. Kaukolämmön tuotanto, kulutus, tuotantokapasiteetti sekä polttoaineet alueittain 2022. <https://energia.fi/tilastot/kaukolampotilasto/>

EU RED II (2018). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä (uudelleenlaadittu). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>

Fingrid (2024). Sähköntuotannon ja -kulutuksen CO<sub>2</sub>-päästöarviot. Noudettu 7.8.2024 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/>

Finnilä, J., Latvala, M. (2023). Biokaasutuotannosta syntyvän mädätysjäännöksen hyödyntämisvaihtoehdot. Feasib Oy. [https://kaustisenseutu.fi/site/assets/files/7164/2023-08-15\\_madatyssaannosselvitys\\_final.pdf](https://kaustisenseutu.fi/site/assets/files/7164/2023-08-15_madatyssaannosselvitys_final.pdf)

Gasum (2023). Metaania vedystä – Miksi vihreän vedyn metanointi kannattaa. 9.11.2023. <https://www.gasum.com/fi/uutiset-ja-asiakastarinat/artikkelit/2023/metaania-vedysta--miksi-vihrean-vedyn-metanointi-kannattaa/>

Hoyer, K., Hulteberg, C., Svensson, M., Jernberg, J., Nørregård, Ø. (2016). Biogas upgrading - Technical Review. Report 2016:275. Energiforsk AB. ISBN 978-91-7673-275-5. [http://vav.griffel.net/filer/C\\_Energiforsk2016-275.pdf](http://vav.griffel.net/filer/C_Energiforsk2016-275.pdf)

Ilmastolannoite (2024). Ilmastolannoitelaskuri. <https://ilmastolannoite.fi/ohjeistus-laskuri/>

IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B. (toim.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 s. [https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf)

Klemola, H., Härjämäki, K., Pihlaja, K. (2014). Opas ranta-alueiden monikäyttösuunnitteluun. Maaseutuverkosto. [https://www.researchgate.net/publication/337137545\\_Opas\\_ranta-alueiden\\_monikayttosuunnitteluun#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/337137545_Opas_ranta-alueiden_monikayttosuunnitteluun#fullTextFileContent)

---

Lampinen, Ari (2015). Biokaasualan historia ja tulevaisuus. Teoksessa Kymäläinen M. ja Pakarinen O. (toim.), Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin e-julkaisuja 36/2015. ISBN 978-951-784-771-1.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK\\_Biokaasun\\_tuotanto\\_2015\\_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Luke (2024). Biomassa atlas. <https://biomassa-atlas.luke.fi/>

Luostarinen, S. (2015). Biokaasutuotannon raaka-aineiden esikäsittely. Teoksessa Kymäläinen M. ja Pakarinen O. (toim.), Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin e-julkaisuja 36/2015. ISBN 978-951-784-771-1.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK\\_Biokaasun\\_tuotanto\\_2015\\_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Luostarinen, S., Tampio, E., Niskanen, O., Koikkalainen, K., Kauppila, J., Valve, H., Salo, T. Ylivainio, K. (2019). Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 75 s. [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/544244/luke-luobio\\_40\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y%20](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/544244/luke-luobio_40_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y%20)

Luostarinen, S., Tampio, E., Lehtoranta, S., Valve, H., Laakso, J. ja muut (2023). Kestävät käytännöt biokaasutuotannossa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:32. ISSN pdf: 2342-6799.

[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164889/VNTEAS\\_2023\\_32.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164889/VNTEAS_2023_32.pdf)

Majer, S.; Oehmichen, K.; Kircshmeyr, F.; Scheidl, S. Calculation of GHG Emission Caused by Biomethane. Biosurf. Fuelling Biomethane. Deliverable 5.3; European Union: Brussels, Belgium, 2016.

Miettunen, P. (2022). Kristina Eco –raportti: Biokiertotalouden kehittämisestä Kristiinankaupungissa ja Suupohjanseudulla. Kristiinankaupungin Elinkeinokeskus Oy. 30.09.2022.

Myllyviita, T., Mattila, T., Leskinen, P. (2015). Järviruo'on niittäminen ja hyötykäyttö. Elinkaariarviointi ympäristövaikutuksista. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 27/2015. ISSN 1796-1726. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/a83a98b6-7bd8-41fe-a2ca-3799d3583e57/content>

Prussi, M., Yugo, M., De Prada, L., Padella, M., Edwards, R. and Lonza, L., JEC Well-to-Tank report v5, EUR 30269 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-19926-7, doi:10.2760/959137, JRC119036.

---

Pyykkönen, V., Winqvist, E., Virkkunen, E., Annunen, V. & Rasi, S. (2023). Biokaasulaskurin käyttöohje 21.12.2023. Luonnonvarakeskus.  
<https://biokaasulaskuri.luke.fi/?lang=fi>

Ramboll (2021). Energiantuotanto EteläPohjanmaalla ja Pohjanmaalla 2050. Liitteet. <https://www.obotnia.fi/assets/Sidor/1/206/Energiantuotanto-Pohjanmaalla-ja-Etela-Pohjanmaalla-2050-selvityksen-liitteet-saavutettava.pdf>

Röck, M., Martin, R. and Hausberger, S. (2020). JEC Tank-To-Wheels report v5: Heavy duty vehicles, Hanarp, P., Bersia, C., Colombano, M., Gräser, H., Gomes Marques, G., Mikaelsson, H., De Prada, L., Prussi, M., Lonza, L., Yugo, M. and Hamje, H., editors. EUR 30271 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-19928-1, doi:10.2760/541016, JRC117564

SKAL (2023). Millä energialla kuljetamme? Raskaan liikenteen käyttövoimasiirtymän tilannekuva. Suomen Kuljetus ja Logistiikka SKAL ry. 19. tammikuuta 2023. [https://skal.fi/wp-content/uploads/2023/01/raportti\\_kayttovoimasiirtymasta\\_milla\\_energialla\\_kuljetamme-1.pdf](https://skal.fi/wp-content/uploads/2023/01/raportti_kayttovoimasiirtymasta_milla_energialla_kuljetamme-1.pdf)

Spoof-Tuomi, K. (2020). Techno-economic analysis of biomethane liquefaction processes. Vaasan yliopisto, Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö. [https://www.uwasa.fi/sites/default/files/2021-05/WP1%20Techno\\_economic%20analysis%20of%20biomethane%20liquefaction%20processes\\_revised2\\_0.pdf](https://www.uwasa.fi/sites/default/files/2021-05/WP1%20Techno_economic%20analysis%20of%20biomethane%20liquefaction%20processes_revised2_0.pdf)

Spoof-Tuomi, K., Niemi, S. (2020). Environmental and Economic Evaluation of Fuel Choices for Short Sea Shipping. Clean Technol., 2, 34-52. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol2010004>

Suomen Lantakaasu (2024). Suomen Lantakaasu Oy edistää kahden uuden biokaasulaitoksen kehittämistä Pohjanmaall. 6.6.2024. <https://www.suomenlantakaasu.fi/artikkelit/suomen-lantakaasu-oy-edistaa-uusia-biokaasulaitoksia-pohjanmaalla/>

Svan, J. (2021). Mädatysjäännöksestä separoidun rejektinesteen ravinteiden talteenotto. Opinnäytetyö, ylempi AMK. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/499764/Opinnaytetyo\\_Svan\\_Janne.pdf;jsessionid=B42F99E89707EB7ECE1A5CD12E451D70?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/499764/Opinnaytetyo_Svan_Janne.pdf;jsessionid=B42F99E89707EB7ECE1A5CD12E451D70?sequence=2)

Sähköinen liikenne ry (2023). Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q4/2022. 30.1.2023. <https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/inline-files/2022%20Q4%20Sa%CC%88hko%CC%88inenLiikenne%20tilannekatsaus%202023%2001%2030%20jaettava.pdf>



---

Tilastokeskus (2024a). Tilastokeskuksen maksuttomat tilastotietokannat. <https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/>

Tilastokeskus (2024b). Polttoaineluokitus 2024. [https://stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.htmlF](https://stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.htmlF)

Timonen, K., Ervasti, S. Salo, T., Katajajuuri, J.-M. & Rasi, S. 2020. Kierrätyslannoitevalmisteiden ilmastopäästöt: tapaus Demotehdas. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 34/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 36 s.

[https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/545917/luke\\_luobio\\_34\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/545917/luke_luobio_34_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

VERBIO (i.a.). Biomethane from straw - EU funded project "DE BIOh Verbiostraw". Verbio Biofuel and Technology. Noudettu 5.9.2024 osoitteesta

<https://www.verbio.de/en/products/verbiogas/>

Virolainen-Hynnä, A. (2024). Biokaasun tuotanto ja käyttö Suomessa 2030, 2035 ja 2040 (verkkojulkaisu). Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. Helsinki.

Toukokuu 2024. <https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2024/05/Biokaasun-tuotanto-ja-kaytto-Suomessa-2030-2035-ja-2040-artikkeli-10052024-1.pdf>

Westenergy (2021). Vuosikertomus 2021. <https://2021.westenergy.fi/>

Ympäristö (2024). Ympäristövaikutusten arviointi. Koppö Energia Oy, synteettisen metaanin valmistus, Kristiinankaupunki. Ympäristöhallinnon verkkopalvelu.

<https://www.ymparisto.fi/fi/osallistu-ja-vaikuta/ymparistovaikutusten-arviointi/koppo-energia-oy-synteettisen-metaanin-valmistus-kristiinankaupunki>