



# DigiBiogasHubs

Digitaaliset alustat joustavan ja skaalautuvan  
biokaasutoiminnan mahdollistajina

---

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

- Keski-Pohjanmaan maakunta

25.11.2024

---

TP2, osaraportti

Petri Jäntti

Centria-ammattikorkeakoulu



---

# Sisältö

## Executive summary

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

## Lähteet

---

# Executive summary

- Finland's national goal, according to the Climate Act, is to achieve carbon neutrality by 2035 at the latest. To achieve this goal, it is critical to replace fossil fuels with low-emission forms of energy. Biogas is a low-emission and responsible alternative to fossil fuels in transport, industry, and heat and electricity production. In addition to emission reduction targets, the biogas sector offers opportunities for the development of nutrient recycling, improving regional vitality, increasing security of supply, and achieving agricultural emission reduction goals.
- This report is part of the DigiBiogasHubs project, which aims to develop and pilot a system-level solution, and tools based on a digital platform. These promote the development and interaction of biogas hubs located in different regions and the growth of the biogas market. The project was implemented in three provinces: South Ostrobothnia, Central Ostrobothnia, and Ostrobothnia.
- The report is related to the project's work package 2, which describes and analyzes three province-specific, distinct biogas hubs. This report focuses on the biogas hub in Central Ostrobothnia and was prepared by Centria University of Applied Sciences. The report consists of four parts: 1) geographic definition of the hub and identification of key players, 2) assessment of biogas use potential, 3) assessment of biogas production potential, and 4) calculation of the carbon footprint and emission reduction potential of biogas production and use.

- 
- In the Central Ostrobothnia biogas hub, the most significant biogas use potential is strongly linked to industry, with a potential of 256 GWh/year, and energy production as a replacement for fossil energy, with a potential of 176 GWh/year. Hycamite, based in Kokkola, produces hydrogen and carbon from methane. Yara uses methane for the production of potassium sulfates and phosphates. Due to emission concerns, there is a significant need to replace natural gas with biomethane in these operations. Biomethane is a sustainable energy alternative even for heavy (>42 t) road transport, with a potential of 102 GWh/year. Additionally, for heavy (3.5 t – 42 t) transport, the use potential was calculated to be 36 GWh/year. Biomethane could also be used as fuel for passenger cars. However, this option is not currently supported by EU regulations, which is why the potential is not considered very high at present. The potential for passenger car traffic was calculated to be 8.3 GWh/year.
  - However, the introduction of LBG in the mentioned segments requires a significant increase in biogas production and investments in liquefaction infrastructure. To increase biogas production, new actors, innovations in business models, and new possible value chains are needed, such as enhancing nutrient recycling. In addition to biogas users, key players in Central Ostrobothnia include current biogas producers Pohjanmaan Biokaasu Oy, WeKas Oy/Bull team Oy, Uusitalo farm, and MTY Klemola. Additionally, several new biogas plants are planned or under construction in the Central Ostrobothnia region. Other key players include feedstock producers, technology suppliers, logistics, and gas distribution companies.

- 
- The current annual biogas production in Central Ostrobothnia is 37 GWh. However, there is a lot of untapped biogas potential in the area. Agricultural biomasses play a crucial role in increasing biogas production, as most of the unused biogas production potential lies in agricultural biomasses.
  - According to this study, the theoretical annual biomethane production potential of unused manure and field side streams in Central Ostrobothnia is 281 GWh. Due to technical and economic limitations, not all these biomasses can be assumed to end up in biogas production. The techno-economic potential was calculated with the following assumptions: collection radius of 20 km for slurry manure, 40 km for solid manure, and 50 km for field biomass, and the amount of biomass ending up in biogas production being 60% or 80% of the total amount for slurry manure, 50% or 70% for solid manure, and 20% or 40% for field biomass.
  - In the Central Ostrobothnia region, the largest individual biomethane potentials are related to straw and cattle solid manure. However, there are many challenges associated with the use of straw, and in known plants and planned plants, the proportion of straw in feed mixtures is minimal. The maximum techno-economic potential of straw was calculated to be 72 GWh per year.
  - The combined techno-economic biomethane potential of all manures in the area is 110 GWh per year. Although field biomasses have a high energy potential as biogas, manure is an excellent basic input for the biogas process because it is produced in large quantities evenly throughout the year. Manure from livestock production also contains most of the recyclable nutrients.
  - The techno-economic biogas potential of fallow, buffer zone, and green manure grasses is at most 10 GWh/year. However, it should be noted that the calculation method of the Biomass Atlas is area-based, not yield-based. If multiple crops can be harvested from the same area, the potential is greater than the calculations presented in this study.

- 
- The greenhouse gas calculations followed the principles of the EU Renewable Energy RED II directive. The calculation of greenhouse gas 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. Biomethane transport
    6. End use of biomethane in 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. In this study, diesel fuel was used as the reference fuel.
  - Two calculations were performed, both based on the biomass potential of the Central Ostrobothnia region, primarily focusing on manures. In the basic case, process heat and part of the process electricity are produced in the plant's own CHP unit, with the additional electricity needed being sourced from the grid, and transport is carried out using diesel fuel. In the advanced case, all transport is carried out using biomethane, process heat is produced with a heat boiler, and all electricity used is renewable electricity from the grid.
  - In the basic case, the emission reduction was 135%, and in the advanced case, it was 139%. Both cases therefore meet the sustainability criteria of the RED II directive.

- 
- In addition to avoiding emissions by replacing fossil fuels, biogas also has significant potential to avoid greenhouse gas emissions from agriculture. Large quantities of manure from animal production can be brought into the closed and controlled environment of a biogas plant, avoiding uncontrolled methane emissions from raw manure storage. Additionally, biogas plants not only produce energy but also digestate, which is formed during the anaerobic digestion process. Digestate is an excellent biological and green fertilizer that can reduce the use of mineral fertilizers and avoid the emissions associated with their energy-intensive production.
  - As the study shows, it is not possible to produce enough methane in Central Ostrobothnia using digestion techniques alone to replace fossil energy, so in the long term, new inputs and new technologies are needed alongside traditional digestion techniques.
  - The potential of renewable methane from synthetic production chains is enormous. In any case, although the production potential of synthetic methane is greater than that of biomethane, biogas activities must be developed in parallel. In addition to providing low-emission energy, traditional biogas production offers efficient nutrient recycling and, especially when using manure, an effective means of reducing agricultural emissions.

---

# Johdanto

- Suomen kansallinen tavoite Ilmastolain mukaisesti on saavuttaa hiilineutraalius viimeistään vuonna 2035. Tavoitteen saavuttamiseksi on kriittistä korvata fossiiliset polttoaineet vähäpäästöisillä energiamuodoilla. Biokaasu on vähäpäästöinen ja vastuullinen vaihtoehto fossiilisille polttoaineille liikenteessä, teollisuudessa sekä lämmön- ja sähköntuotannossa. Päästövähennystavoitteiden lisäksi biokaasusektorille avautuu mahdollisuuksia ravinteiden kierrätyksen kehittämisessä, alueiden elinvoimaisuuden parantamisessa, huoltovarmuuden lisäämisessä sekä maatalouden päästövähennystavoitteiden saavuttamisessa.
- Tämä selvitys on osa DigiBiogasHubs-hanketta, jonka tavoitteena on kehittää ja pilotoida digitaaliseen alustaan perustuvaa järjestelmätason ratkaisua ja työkaluja. Nämä edistävät eri alueilla sijaitsevien biokaasuhubien kehittymistä ja vuorovaikutusta sekä biokaasumarkkinoiden kasvua. 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. Tämä raportti keskittyy Keski-Pohjanmaan biokaasuhubiin ja sen on laatinut Centria-ammattikorkeakoulu. Raportti koostuu neljästä osasta: 1) hubin maantieteellinen määrittely ja keskeisten toimijoiden identifiointi, 2) biokaasun käyttöpotentiaalin selvitys, 3) biokaasun tuotantopotentiaalin selvitys, ja 4) biokaasun tuotannon ja käytön hiilijalanjäljen ja päästövähennyspotentiaalin laskenta.



## Keski-Pohjanmaan maakunta

Keski-Pohjanmaa on Suomen länsirannikolla sijaitseva 8 kunnasta koostuva maakunta, jossa asuu noin 68 000 asukkaan. Pohjanmaan keskus on noin 48 000 asukkaan Kokkola.



---

# Keski-Pohjanmaan biokaasuhub

- Keski-Pohjanmaan biokaasuhubissa merkittävä potentiaali biokaasun käytössä perustuu Kokkolan suurteollisuusalueelle suurten teollisuusasiakkaiden toimesta. Kokkolan energia toimii LNG-verkon omistajana ja operaattorina. Kokkolan energia voisi käyttää paikallisesti myös biometaania maakaasun korvaajana. Hycamite valmistaa vetyä ja hiiltä metaanista. Tällöin lopputuotteen hiilijalanjälkeä voitaisiin pienentää paikallisesti tuotetulla biokaasulla. Lisäksi Yara käyttää kaliumsulfaattien ja fosfaattien valmistukseen metaania.
- Avainasemassa Keski-Pohjanmaan biokaasuhubia ovat myös paikalliset biokaasun tuottajat. WeKas Oy Sykäräisessä tarjoaa puhdistettua biokaasua julkisella CNG-tankkausasemalla. Ilpo Wennström operoi kahta biokaasulaitosta tilallaan: toinen tuottaa sähköä CHP-moottorilla ja toinen jalostaa biokaasua metaaniksi tieliikenteeseen. Kaustisen Turkisrehu Oy suunnittelee suurta biokaasulaitosta, joka käsittelee ulkoista biomassaa ja lantaa. Kannuksessa suunnitellaan suurta biokaasulaitosta, joka tuottaa metaania tieliikenteeseen ja mahdollisesti LBG:tä. LBG:n käyttöönotto vaatii biokaasutuotannon lisäämistä ja nesteytysinfrastruktuurin kehittämistä.

---

# Biokaasun käyttöpotentialiaali

- Biokaasun käyttöpotentialiaalia arvioitiin saatavilla olevien energiankulutustietojen kartoituksella Keski-Pohjanmaan alueelta. Tarkastelu suoritettiin teollisuuden osalta muuhun kuin sähkönkulutukseen perustuvaan energiankulutukseen. Tällöin tarkastelun osana ovat teollisuuden polttoaineisiin perustuva energiankulutus.
- Liikenteen osalta tarkasteluun sisällytettiin raskasliikenne, joka on eritelty yli ja alle 42 000 kg sekä henkilöautoliikenne bensiini- ja diesel-käyttövoimiin.
- Energiantuotannon osalta arviointiin sisällytettiin turpeen ja fossiilisten polttoaineiden polttoon perustuvat kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotannot.

# Energian käyttö Keski-Pohjanmaalla

## Teollisuus

	GWh	Suhde
Öljy	107	4,58 %
Hiili	83	9,92 %
Maakaasu	59	6,99 %
Turve	8	0,93 %
Puupolttoaineet	431	51,46 %
Muut energialähteet	35	4,17 %
Lämpö	116	14 %
Yhteensä **	838	100 %
Sähkö ****	1497	

- Keski-Pohjanmaan teollisuuden muun energian ja sähkön käytön kokonaismäärä oli ilmoitettu erillään Tilastokeskus (2024a ja 2024b). Näiden tietojen perusteella Keski-Pohjanmaalla käytettävät energiamäärät suhteutettiin koko maan polttoaineiden kulutussuhteeseen Tilastokeskus (2024c).
- Keski-Pohjanmaan teollisuuden käyttämä muu kuin sähköenergia oli vuonna 2022 **838 GWh**. Sähköenergian kulutus sen sijaan oli 1497 GWh. Koko maan muodostaman suhteen perusteella yli 50 % kulutuksesta perustuu puun käyttöön. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus olisi siis **30,6 %** eli **256 GWh**.

---

# Energian käyttö Keski-Pohjanmaalla

## Teollisuus

- Muun muassa Kokkolan suurteollisuus alueella sijaitsee hyvin laaja-alaisesti teollisuutta. KIP-alueelle on sijoittunut yrityksiä erityisesti kemianteollisuudesta ja metallienjalostuksesta. Lisäksi alueella on energia-alan yrityksiä, jotka ovat erikoistuneet teollisuuskaasuihin.
- Lisäksi Keski-Pohjanmaan alueelta löytyy elintarviketeollisuuden yrityksiä
- Monet näistä yrityksistä käyttävät nykyisin fossiilisia polttoaineita tuotantonsa ylläpitämiseen.
- Laskelman perusteella arvioitu teollisuuden fossiilisten polttoaineiden ja turpeen tarve olisi korvattavissa esimerkiksi nesteytetyllä biokaasulla osittain, mikäli sitä olisi alueella helposti saatavilla.
- Esimerkiksi Hycamite on kiinnostunut mahdollisuudesta lisätä kotimaisen biokaasun osuutta vedyn tuotannossaan (Vihanta and Amonoo, 2024).

---

# Energian käyttö Keski-Pohjanmaalla

## Liikenne

- Liikennesektorilla kaasukäyttöisten henkilöautojen määrä on rajallinen, eikä biokaasulla nähdä henkilöautoissa juurikaan kasvupotentiaalia, kun EU-regulaatio ohjaa voimakkaasti ajoneuvokantaa sähköistymään.
- Biokaasun käyttöpotentiaalin on nähty jopa laskevan seuraavan 15 vuoden aikana (Virolainen-Hynna, 2024). Vaikka biokaasun käytön oletetaan vähenevän juuri henkilöautoissa ja linja-autoissa, jää sille potentiaalia vielä tulevaisuudessakin. Onkin oletettavaa, että potentiaali voi muuttua jakeluinfran ja EU-regulaation vaikutuksesta myös tulevaisuudessa.
- Sähkön käyttö on nousemassa myös paketti-, linja- ja kuorma-autoissa (Sähköinen liikenne ry, 2023). Sähkö ei kuitenkaan ole vielä nykytekniikalla toimiva ratkaisu raskaisiin pitkän matkan kuljetuksiin johtuen akkujen heikosta energiatiheydestä.
- Keski-Pohjanmaan alueella etenkin valtatie 8 ja 13 ovat merkittäviä reittejä kaupan ja teollisuuden kuljetuksissa. Biokaasu tarjoaa kestävä, nopeasti käyttöönotettavan energiavaihtoehdon liikenteeseen, mikäli jakeluinfra on kunnossa.

---

# Energian käyttö Keski-Pohjanmaalla

## Raskas maantieliikenne

- Raskaiden pitkän matkan maantiekuljetusten energiankulutuksen laskennassa käytettiin Tilastokeskuksen (2024d) ja Väyläviraston (2024) avointa dataa.
- Väyläviraston datan mukaan Keski-Pohjanmaan raskaan liikenteen suorite vuonna 2023 oli 43 miljoonaa kilometriä. Tarkemman tiedon puuttuessa suhteutettiin edellä mainittu suorite koko maan raskaan liikenteen suoritteen mukaisesti.
- Diesel polttoaineen kesikulutuksella 45 l/100 km, yli 42 tonnin ajoneuvoyhdistelmien energiankulutukseksi Keski-Pohjanmaan alueella muodostuu 113 GWh/vuosi.
- Diesel polttoaineen kesikulutuksella 22,5 l/100 km, 3,5 – 42 tonnin ajoneuvoyhdistelmien energiankulutukseksi Keski-Pohjanmaan alueella muodostuu 40 GWh/vuosi.
- Kuorma-auton aktiivinen käyttöikä on tyypillisesti 10–15 vuotta, joten muutokset käyttövoimissa tulevat kuitenkin tapahtumaan hitaasti (SKAL ry, 2023). SKALin ennusteen mukaan yli 42 tonnin ajoneuvoyhdistelmistä noin 10 %:ssa käyttövoimana on LBG vuoteen 2030 mennessä. Vuoteen 2035 mennessä LBG:n osuuden ennustetaan olevan 21 %

# Energian käyttö Keski-Pohjanmaalla

## Raskas maantieliikenne

	Liikennesuorite, milj. km Koko maa *	Osuus % Koko maa	Liikennesuorite, milj. km (Suhteutettu koko maan liikennesuoritejakauman mukaan) Keski-Pohjanmaa
3 501 - 6 000kg	124	7 %	3,1
6 001 - 11 500kg	25	1 %	0,6
11 501 - 18 000kg	104	6 %	2,6
18 001 -26 000kg	128	7 %	3,2
26 001 - 35 000kg	263	15 %	6,5
35 001 -42 000kg	75	4 %	1,9
42001 - 48 000kg	88	5 %	2,2
48 001 - 54 000kg	98	6 %	2,4
54 001 -60 000kg	87	5 %	2,2
60 001 - 64 000kg	111	6 %	2,8
64 001 -68 000kg	252	15 %	6,3
Yli 68 000kg	374	22 %	9,3
<b>Yhteensä</b>	<b>1 729</b>	<b>100 %</b>	<b>43,0</b> **

Keski-Pohjanmaan raskaan liikenteen suorite suhteutettuna koko maan suoritteeseen

\* Tilastokeskus (2024d)

\*\* Väylävirasto (2024)



# Energian käyttö Keski-Pohjanmaalla

## Henkilöautoliikenne

- Vaikka henkilöautoliikenteen biokaasun käyttöpotentiaali EU-regulaation ja jakeluinfran mukaan vähenemässä, voidaan Keski-Pohjanmaan maakunnan alueelle laskea teoreettinen käyttöpotentiaali.
- Laskelmassa käytettiin Traficom (2024) julkista dataa ajoneuvojen käyttövoimista, sekä Väyläviraston (2024) julkista dataa liikennesuoritteista. Näiden tietojen perusteella voitiin Keski-Pohjanmaan maakunnan alueen ajosuoritteet suhteuttaa käyttövoimajakauman mukaisesti. Autojen keskimääräinen kulutus määritettiin Moottorin (2021) artikkelissa ilmoitettujen arvojen mukaisesti.
- Tällöin diesel polttoaineen keskikulutuksella 5,9 l/100 km, energiankulutukseksi Keski-Pohjanmaan alueella muodostuu 69 GWh/vuosi. Mikäli energian tarpeesta käytetään 10 % pilottipolttoainetta, muodostuisi biokaasulla korvattavan energian määräksi 66 GWh/vuosi.
- Bensiiniä käyttövoimanaan käyttävien ajoneuvojen keskikulutuksen ollessa 6,9 l/100 km, energiankulutukseksi muodostuu 104 GWh/vuosi. Kyseiset kipinäsytytteiset polttomoottorit eivät tarvitse pilottipolttoainetta, jolloin koko energian tarve olisi korvattavissa biokaasulla.
- Traficom (2024) mukaan kaasua polttoaineenaan käyttäviä henkilöautoja Suomessa on ollut koko autokannasta vain 0,6 %. Mikäli oletetaan, että biokaasun käyttöpotentiaali kasvaisi siten, että 5 % henkilöautoista olisi biokaasukäyttöisiä, olisi näiden ajoneuvojen energian kulutus 8,3 GWh.

	Liikennesuorite, milj. km		Liikennesuorite, milj. km
	Koko maa *		Keski-Pohjanmaa
Henkilöautoilu, milj. km	34722		392
Bensiinillä, milj. km	14878		168
Dieselillä, milj. km	10368		117

# Energian käyttö Keski-Pohjanmaalla

## Liikenteen yhteenveto

- Kaikista suurin käyttöpotentiaali biokaasulla fossiilisten polttoaineiden korvaajana on raskaassa liikenteessä yli 42 tonnin ajoneuvoyhdistelmissä. Muissa ajoneuvoluokissa potentiaali on vähenemässä sähköisten ratkaisujen korvattaessa fossiiliset polttoaineet. Suomessa autojen keski-ikä ollessa Autoalan Tiedotuskeskuksen (2024) mukaan 13,2 vuotta, uusiutuu autokanta lopulta todella hitaasti. Tällöin voisi olla mahdollista, että regulaatio ja jakeluinfra voisivat muodostaa lisää kasvupotentiaalia biokaasun käytössä myös henkilöautoliikenteelle.

	Fossiilisen liikenteen energiankulutus		Biokaasulla korvattava energia		Pilottipolttoaineen tarve	Biokaasun käyttöpotentiaali ajoneuvoista
Raskas liikenne 3500 kg - 42 000 kg		40GWh		36GWh	10 %	100 %
Raskas liikenne Yli 42 000 kg		113GWh		102GWh	10 %	100 %
Henkilöautoliikenne (Bensiini)		104GWh		5,2GWh	0 %	5 %
Henkilöautoliikenne (Diesel)		69GWh		3,1GWh	10 %	5 %
<b>Yhteensä</b>		<b>327GWh</b>		<b>146GWh</b>	<b>8 %</b>	
Biokaasun (metaanin) tarve	23 499 107	kg	10 522 542	kg		
	32 774 208	m <sup>3</sup>	14 675 791	m <sup>3</sup>		

# Energian käyttö Keski-Pohjanmaalla

## Kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotanto

- Saatujen tietojen perusteella vuosina 2022 ja 2023 Keski-Pohjanmaan maakunnan alueella kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotantoon käytettiin energiaa yhteensä 524,37 GWh. Lestijärven tuotantodataa ei ollut saatavilla.

Kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotantoon käytetyt polttoaineet yhteensä														
	Keskiraskaat öljyt (kevyt polttoöljy)	Jyrsinturve	Palaturve	Kokopuu- tai rankahake	Metsätähdehake tai -murske	Kantomurske	Kuori	Sahanpuru	Puutähdehake tai -murske	Puupelletit ja briketit	Höyry	Yhteensä	Kaukolämmön erillistuotannon osuus	
	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	
<b>Kokkola, Kannus, Toholampi ja veteli *</b> (2022)	3,80	136,80	10,30	87,30	102,90	0,60	30,10	76,90	0,70	0,60	23,70	473,70	112,00	
<b>Kaustinen ****</b> (2023)	0,005		19,28		7,97							27,25	27,25	
<b>Perho**</b> (2022)	0,48		2,74		16,04			0,36				19,62	19,62	
<b>Halsua***</b> (2023)	0,35		2,32		1,13							3,80	3,80	
Keski-Pohjanmaa yhteensä	4,64	136,80	34,64	87,30	128,04	0,60	30,10	77,26	0,70	0,60	23,70	524,37	162,67	
Koko maa												48 615,00	13 641,22	

\* Lähde: (Energieateollisuus, 2024)

\*\* Lähde: (Kuntaliitto, 2023)

\*\*\* Lähde: Sähköpostikysely Antti tuominiemi/Halsua

\*\*\*\* Lähde: Sähköpostikysely Vesa Jouppila/Kaustinen

---

# Energian käyttö Keski-Pohjanmaalla

## Kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotanto

- Merkittävimmät energialähteet kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotannossa ovat biopolttoaineet, joiden osuus käytetyistä polttoaineista oli 325 GWh ja 62 %.
- **Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus energian kulutuksesta oli 176 GWh ja 34 %**

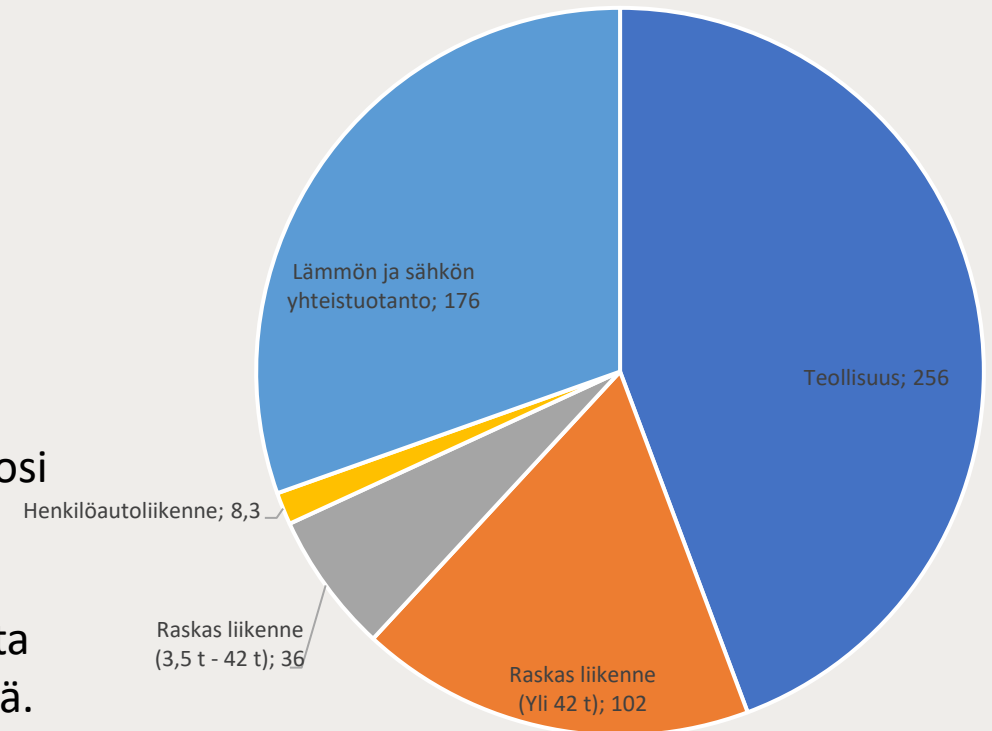
# Energian käyttö Keski-Pohjanmaalla

## Yhteenveto

Biokaasulla voitaisiin korvata fossiilisia polttoaineita ja turvetta

- Teollisuudessa 256 GWh/vuosi
- Raskaassa maantieliikenteessä (>42 t) 102 GWh/vuosi
- Raskaassa maantieliikenteessä (3,5-42 t) 36 GWh/vuosi
- Henkilöautoliikenteessä 8,3 GWh
- Kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotannossa 176 GWh/vuosi

Teknisesti fossiilista maakaasua voitaisiin korvata biokaasulla, esimerkiksi kemianteollisuudessa, jossa vetyä valmistetaan metaanista erottamalla välittömästi kun biokaasua on saatavilla tarvittavia määriä.



---

# Biokaasutuotannon nykytila

- **Pohjanmaan biokaasu Oy**

Kokkolassa sijaitseva Pohjanmaan Biokaasu Oy valmistaa biokaasua jätevesilietteistä sekä Ekorosk Oy:n alueella (Evijärvi, Pietarsaari, Kokkola, Kauhava, Kaustinen, Kruunupyö, Luoto, Uusikaarlepyy, Pedersöre ja Veteli) syntyvistä sakokaivolietteistä. Lietteiden käsittelymäärä on keskimäärin 90 000 m<sup>3</sup> vuodessa. Laitos tuottaa kahdella reaktorilla keskimäärin 700 000 m<sup>3</sup> biokaasua vuosittain (Pöyry Environment Oy, 2009, s. 20).

- **Wekas Oy/Bull team Oy**

Toholammin Sykäräisessä sijaitsee Ilpo Wensströmin omistama maatila, jossa valmistetaan biokaasua kahdella reaktorilla. Toinen reaktori on maatilan käytössä ja sen tuotanto käytetäänkin maatilan sähkön ja lämmön tuotantoon. Toisen reaktorin biokaasu jalostetaan liikennekäyttöön. Biokaasua valmistetaan tilalla keskimäärin 4,68 milj. m<sup>3</sup> vuodessa. Syötteenä reaktoreissa käytetään tilan lietelantaa, säilörehua ja olkea sekä Finnspring Oy:ltä ylimääräistä sokeriliientä ja läheisen turkistarhan eläinrasvaa. (Ilpo Wennström haastattelu 2024.)

---

# Biokaasutuotannon nykytila

- **Uusitalon maatila**

Marko Uusitalon maatilalla Kannuksessa sijaitsee yksi biokaasureaktori, jolla tuotetaan noin 350 000 m<sup>3</sup> biokaasua vuosittain. Syötteenä tilalla käytetään lietelantaa, säilörehua ja olkea. Tilan biokaasua käytetään tilan sähkön ja lämmön tuotantoon (Marko Uusitalo haastattelu, 2024.).

- **MTY Klemola**

Petri Klemolan maatilalla Kokkolan Ullavassa valmistetaan biokaasua yhdellä reaktorilla noin 455 000 m<sup>3</sup> vuosittain. Kaasua käytetään tilalla sähkön ja lämmön tuotantoon. Syötteenä tilalla käytetään naudan liete- ja kuivalantaa sekä pieniä määriä säilörehua (Petri Klemola haastattelu, 2024.).

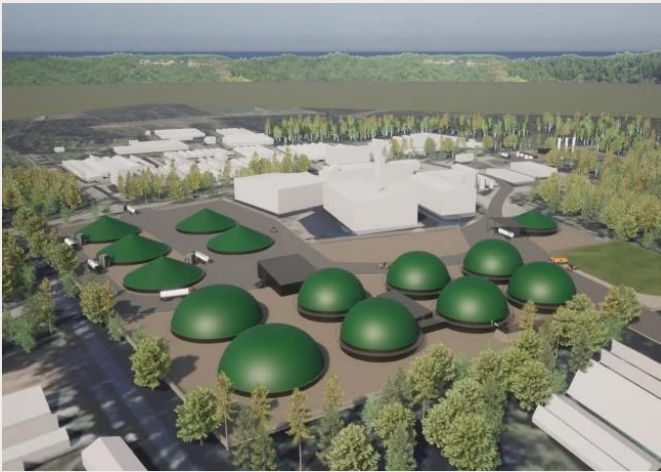
# Biokaasutuotannon nykytila

- **Kaustisen turkisrehu Oy ja One1 Oy**

Kaustiselle on suunnitteilla tällä hetkellä yksi Suomen suurimmista biokaasulaitoksista. Laitoksen tavoitellun tuotannon on määrä olla 150 GWh vuodessa (Kaustisen seutu, 2024). Aluksi laitoksen on tarkoitus hyödyntää rehuntuotannon massavirtoja sekä myöhemmin myös maatalojen biomassoja. Biokaasu on tarkoitus nesteyttää laitoksella raskaan liikenteen tarpeisiin.

- **Kannuksen biokaasuhanke**

Wega group ja Copenhagen Infrastructure Partners (CIP) suunnittelevat Kannuksen Poleenkankaan alueelle biokaasulaitosta, jonka tarkoitus on tuottaa 150 GWh biokaasua vuodessa (Mäkinen, 2024). Laitoksen on tarkoitus käyttää syötteenään maatalouden sivuvirtoja, kuten lantoja, säilörehua ja olkea sekä teollisuuden jätevirtoja.

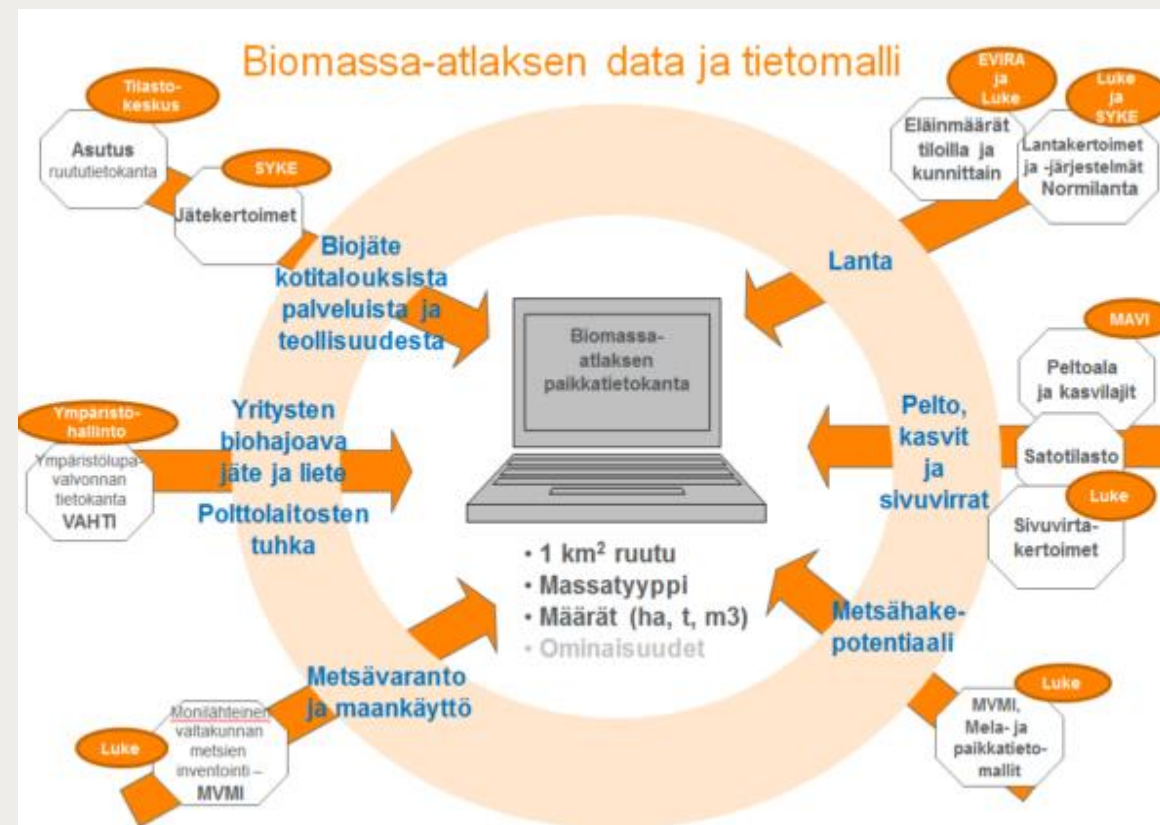


Lähde: (Kaustisen seutu, 2024)



# Biokaasun tuotantopotentiaali

- Paikallisesti tuotetun biokaasun määrää voitaisiin kasvattaa huomattavasti. Maatalouden biomassat ovat tässä avainasemassa, sillä suurin osa hyödyntämättömästä biokaasupotentiaalista löytyy juuri niistä.
- Hyödyntämättömän tuotantopotentiaalin arvioinnissa käytettiin Luonnonvarakeskuksen Biomassa-atlas-palvelua ja Biokaasulaskuria.
- Biomassa-atlas on avoin tietokanta, joka sisältää valtakunnalliset tiedot biomassojen saatavuudesta, määrästä ja sijainnista.
- Biokaasulaskuri puolestaan tarjoaa tutkimuksiin perustuvia tietoja syötteiden ominaisuuksista ja metaanintuottopotentiaalista.



Lähde: Luonnonvarakeskus

---

# Biokaasun tuotantopotentiaali

Maatilojen syötteissä, kuten peltobiomassoissa ja eläinten lannassa, on suurimmat mahdollisuudet lisätä biokaasun tuotantoa. Esimerkiksi viljojen oljet kynnetään usein peltoon, mutta niiden ohjaaminen biokaasun tuotantoon voisi tuottaa merkittävästi energiaa. Myös käyttämättömät kasvibiomassat, kuten suojavyöhykkeet ja kesannot, sekä perunan varret tarjoavat potentiaalia.

Suurin osa eläintilojen lietteestä ja kuivalannasta levitetään suoraan pelloille, vaikka ne voitaisiin hyödyntää biokaasun tuotannossa. Keski-Pohjanmaan alueelta löytyy kuitenkin muutamia biokaasun tuottajia, jotka hyödyntävät omilla tiloillaan syntyviä lantoja biokaasun tuotantoon.

## Tutkittaviksi syötteiksi valittiin:

### Eläintuotannon syötteet:

- Nautojen ja sikojen lietelannat
- Nautojen, siipikarjan, turkiseläinten, lampaiden, vuohien ja hevosten kuivalannat

### Peltosyötteet:

- Kesanto- ja suojavyöhykenurmet
- Viherlannoitusnurmen alkusato
- Perunan varret
- Ylijäämäolki (80 % oljista, jotka eivät mene kuivikekäyttöön ja jotka perinteisesti kynnetään maahan)

Metsätähteet jätettiin tarkastelun ulkopuolelle, koska ne soveltuvat huonosti biokaasun tuotantoon mädättämällä. Puupohjaisten biomassojen metaanintuotantopotentiaali liittyy kaasutusprosesseihin, joita ei tässä tutkimuksessa huomioitu.

# Biokaasun tuotantopotentiaali

- Hyödyntämättömien biomassojen selvittämiseksi Biomassa-atlaksen ilmoittamista määristä vähennettiin tällä hetkellä jo biokaasun tuotantoon menevät biomassamäärät sekä olkien kuivikekäyttö.
- Tällä hetkellä tuotantoon menevät määrät on selvitetty vierailuilla Keski-Pohjanmaan biokaasutuottajien luona. Vierailtaviksi tuotantolaitoksiksi valittiin 13.9. tiedetyt vakaassa toiminnassa olevat laitokset.
- Tulokset taulukoituna alla.

Kunta	Suojavyö			Viherlannoitusnurmen alkusato t (k-a)/vuosi	Perunan varret t (k-a)/v	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	Yhteensä
	Kesanto- nurmet t (k-a)/v	hyke- nurmet t (k-a)/v	Ylijäämä- olki t (k-a)/v											
Halsua	301	483	1 931	62	602	11 324	7 511	2 384	-	-	13	1 168	5 169	30 948
Kannus	509	163	5 205	37	690	34 049	22 610	5 547	-	-	602	1 010	1 244	71 666
Kaustinen	225	75	3 559	-	1	43 770	24 551	3 669	-	-	213	2 341	6 383	84 787
Kokkola	977	214	9 734	108	3 231	88 882	58 051	3 386	1	-	1 806	6 047	3 194	175 631
Lestijärvi	92	199	841	12	1	13 790	8 542	-	-	-	74	570	-	24 121
Perho	237	244	2 414	119	-	33 450	19 896	3 031	-	-	87	839	-	60 317
Toholampi	298	117	5 512	9	3	44 235	30 251	3 362	-	-	225	1 124	-	85 136
Veteli	235	1 204	4 096	7	2	52 464	31 741	191	1	-	65	1 271	1 355	92 632
<b>Yhteensä</b>	<b>2 573</b>	<b>2 216</b>	<b>31 362</b>	<b>292</b>	<b>3 928</b>	<b>310 640</b>	<b>195 642</b>	<b>19 186</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>3 072</b>	<b>13 202</b>	<b>12 176</b>	<b>594 291</b>
	0,4 %	0,4 %	5 %	0 %	1 %	52 %	33 %	3 %	0 %	0 %	0,5 %	2 %	2 %	100 %

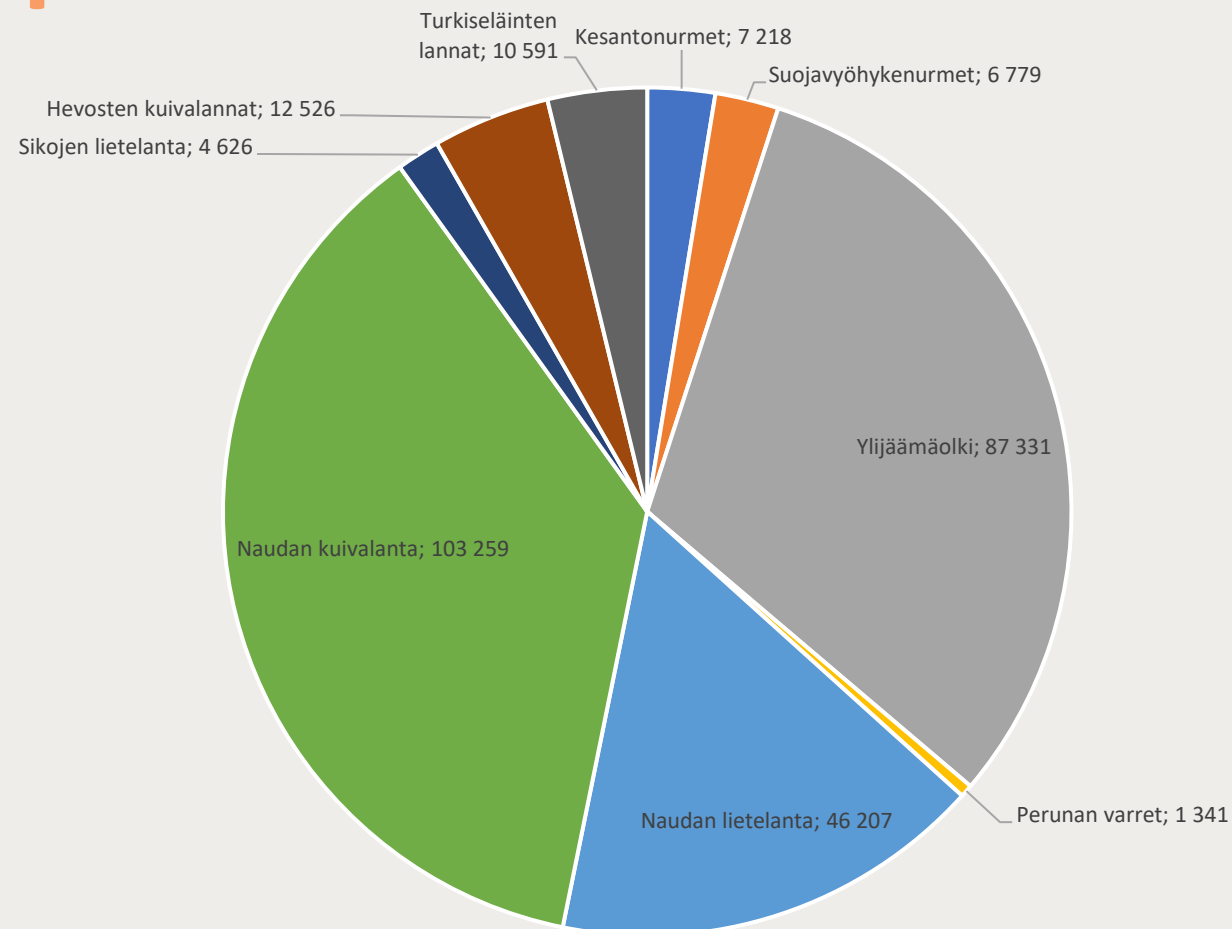
# Biokaasun tuotantopotentiaali

- 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 (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> /t VS).
- Syötteen metaanintuotantopotentiaalin laskennassa käytettiin viereisen taulukon arvoja.
- MWh-perusteisen metaanipotentialin laskennassa käytettiin metaanin tiheyttä standardiolosuhteissa (0,717 kg/m<sup>3</sup> ) ja alempaa lämpöarvoa 13,9 kWh/kg.

	Kuiva-ainepitoisuus (TS) %	Orgaaninen aine (VS) %/kuiva-aine	Metaanintuottopotentiaali m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /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 lietalanta	9 %	80 %	200
Naudan kuivalanta	30 %	85 %	200
Sikojen lietalanta	8 %	82 %	320
Munituskanojen lanta	35 %	75 %	260
Broilerien, kalkkunien, muun siipikarjan lanta	68 %	85 %	155
Lampaiden ja vuohien lanta	25 %	80 %	100
Hevosten kuivalanta	35 %	85 %	160
Turkiseläinten lanta	33 %	79 %	235
*perunan varsille ei löytynyt arvoja, käytetty vihannesten naattien arvoja			

# Biokaasun tuotantopotentiaali

- Viereinen kuvio esittää hyödyntämättömien peltobiomassojen ja lantojen yhteenlasketun **teoreettisen** metaanintuottopotentiaalin koko maakunnan alueella. Kuntakohtaiset potentiaalit löytyvät taulukoituna seuraavalta sivulta.
- 100 %:n hyödyntämisasteella metaanin tuotannoksi maakunnassa saataisiin 281 GWh vuodessa, joka on lähes 8-kertainen nykyiseen tuotantoon verrattuna.
- Viereisessä taulukossa esitetään tuotantopotentiaaliltaan kaikki yli 1 GWh tuottavat syötteen.



# Biokaasun tuotantopotentiaali

- Tutkittujen syötteiden kuntakohtaiset teoreettiset metaanintuottopotentiaalit (MWh/v)

Kunta	Kesantonurmet	Suojavyöhykenurmet	Ylijäämäolki	Viherlannoitusnurmen alkusato	Perunan varret	Naudan lietelanta	Naudan kuivalanta	Sikojen lietelanta	Munituskanojen kuivalanta	Broilerin, kalkkunan, muun siipikarjan lanta	Lampaiden ja vuohien kuivalannat	Hevosten kuivalannat	Turkiseläinten lannat
	MWh CH4/v	MWh CH4/v	MWh CH4/v	MWh CH4/v	MWh CH4/v	MWh CH4/v	MWh CH4/v	MWh CH4/v	MWh CH4/v	MWh CH4/v	MWh CH4/v	MWh CH4/v	MWh CH4/v
Halsua	756	1 213	5 066	62	178	1 625	3 818	511	0	0	3	479	3 156
Kannus	1 278	409	13 653	37	204	4 887	11 492	1 190	0	0	120	1 111	760
Kaustinen	565	188	9 336	0	0	6 282	12 479	787	0	0	42	2 869	3 897
Kokkola	2 454	537	25 535	108	956	12 756	29 506	726	1	0	360	270	1 950
Lestijärvi	231	500	2 206	12	0	1 979	4 342	0	0	0	15	398	0
Perho	595	613	6 333	120	0	4 801	10 113	650	0	0	17	533	0
Toholampi	748	294	14 458	9	1	6 348	15 376	721	0	0	45	603	0
Veteli	590	3 024	10 744	7	1	7 529	16 133	41	1	0	13	6 263	827
<b>Yhteensä</b>	<b>7 218</b>	<b>6 779</b>	<b>87 331</b>	<b>356</b>	<b>1 341</b>	<b>46 207</b>	<b>103 259</b>	<b>4 626</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>615</b>	<b>12 526</b>	<b>10 591</b>

---

# Biokaasun tuotantopotentiaali

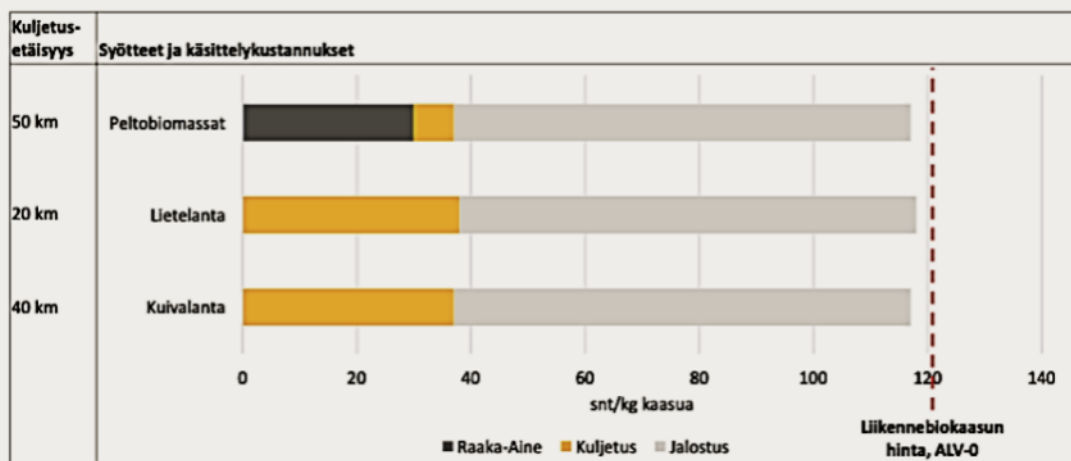
## Teknitaloudellinen potentiaali

- Kaikkien esitettyjen biomassojen ei voida olettaa päätyvän biokaasulaitokseen, koska niiden korjuulle on sekä teknisiä että taloudellisia rajoitteita. Esimerkiksi osa peltobiomassojen sivuvirroista on jätettävä pellolle kasvun ylläpitämiseksi.
- 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 erityisesti lantojen käyttöä biokaasutuotannossa. Erityisesti lietelannan taloudellinen hankintaetäisyys on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi nurmibiomassojen.

# Biokaasun tuotantopotentiaali

## Teknicaloudellinen potentiaali

- Raaka-aineen ja kuljetuksen yhteishinnan ylärajaksi asetettiin peltobiomassojen 50 km kuljetusetäisyyttä vastaava kustannus. Näin ollen biomassojen hankintasäteiksi asetettiin :
  1. Lietelannat 20 km
  2. Kuivat lannat 40 km
  3. Peltobiomassat 50 km



Lietelannan, kuivalannan ja peltobiomassan raaka-aineen kuljetus- ja jalostuskustannukset työssä käytetyillä etäisyyksillä. Lannan logistiikassa kuljetuskustannukset kasvavat nopeasti suuriksi, ja vaikka syötteellä ei olisi hintaa, porttikustannus on kaikilla jakeilla suunnilleen sama.

Lähde: (Miettunen, 2022.)



---

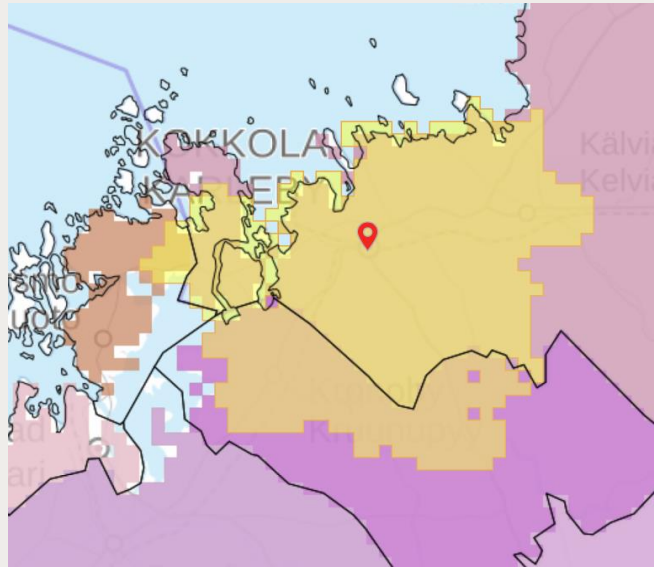
# Kaksi keskusta

- Keski-Pohjanmaan maakunta pyrittiin kattamaan lähes kokonaan kahdella biokaasukeskittymällä. Kaustisen seudun biokaasukeskittymän keskipisteenä on Kaustisen Turkisrehu Oy:n suunnittelema biokaasulaitos. Kokkolan seudulla keskittymänä biokaasukeskittymän keskipisteenä on Pohjanmaan Biokaasu Oy.
- Keski-Pohjanmaan maakunnan pienestä koosta johtuen biokaasukeskittymien biomassojen hankintaetäisyyksissä tulee osittain päällekkäisyyttä. Tämä ei kuitenkaan laskentaan ristiriitaa, koska esimerkiksi peltobiomassojen päällekkäisyydet eivät tule nostaa hyödyntämistä ikinä yli 100 %. Kuivalantojen osuus kuitenkin ylittää 100 % pienellä alueella kun käytetään suurempaa 70 % hyödynnysastetta. Kyseinen tilanne joudutaan kuitenkin hyväksymään maakunnan pienestä koosta johtuen.
- Seuraavilla sivuilla esitetään biokaasutuotannon teknistaloudellisen lisäämispotentiaalin laskelmat kullekin keskittymälle erikseen.

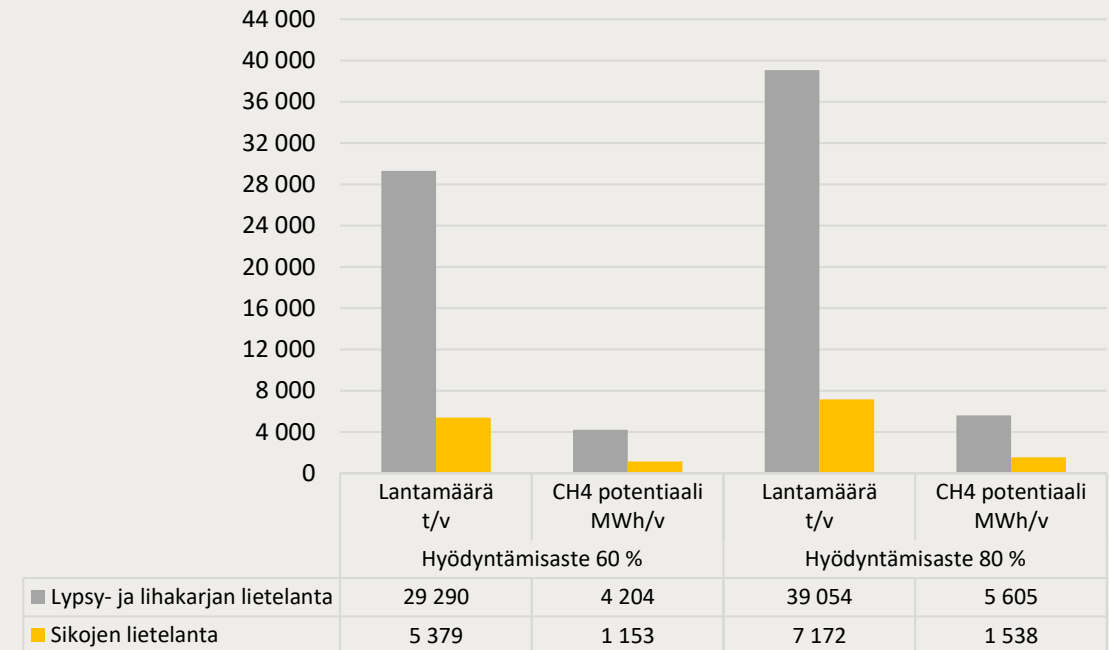
# Keski-Pohjanmaa, Kokkolan seutu

Biokaasukeskittymän keskuksena Pohjanmaan biokaasu Oy

Lietelantojen keräilyssäde 20 km on osoitettu kartalla. Etäisyys on esitetty maantietä pitkin mitattuna.

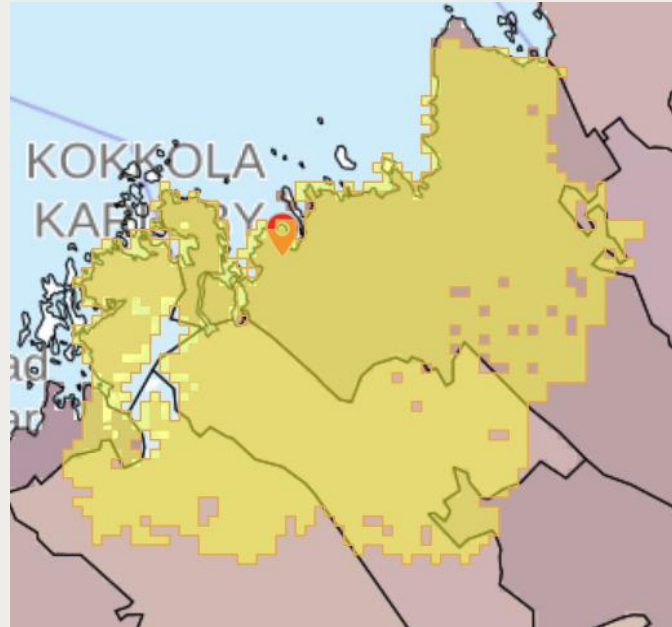


Lietelannat keräilyssäde 20 km hyödyntämisaste 60 % ja 80 %

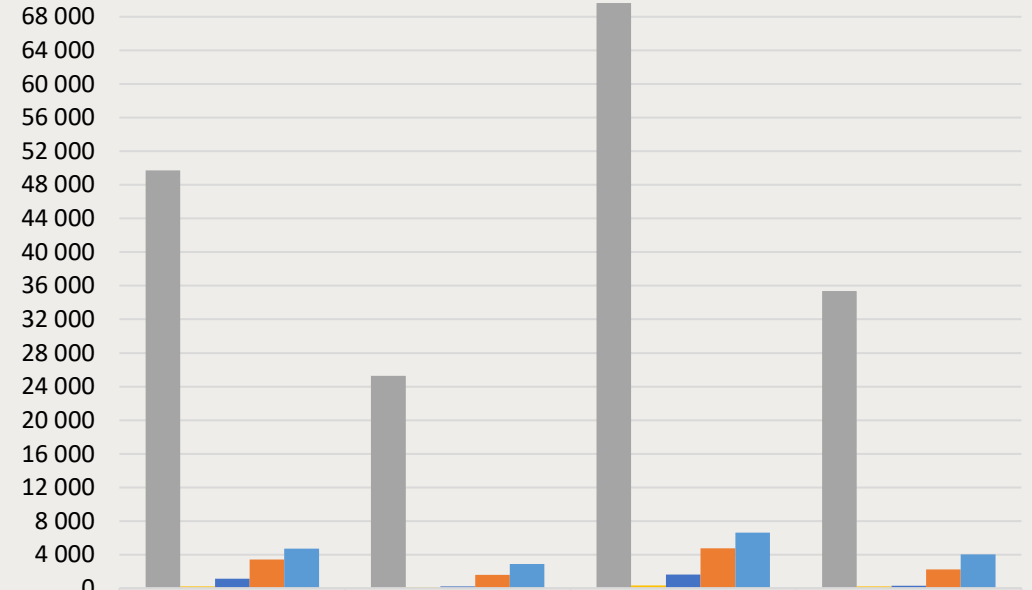


# Keski-Pohjanmaa, Kokkolan seutu

Kuivalantojen keräilyssäde 40 km on osoitettu kartalla. Etäisyys on esitetty maantietä pitkin mitattuna.



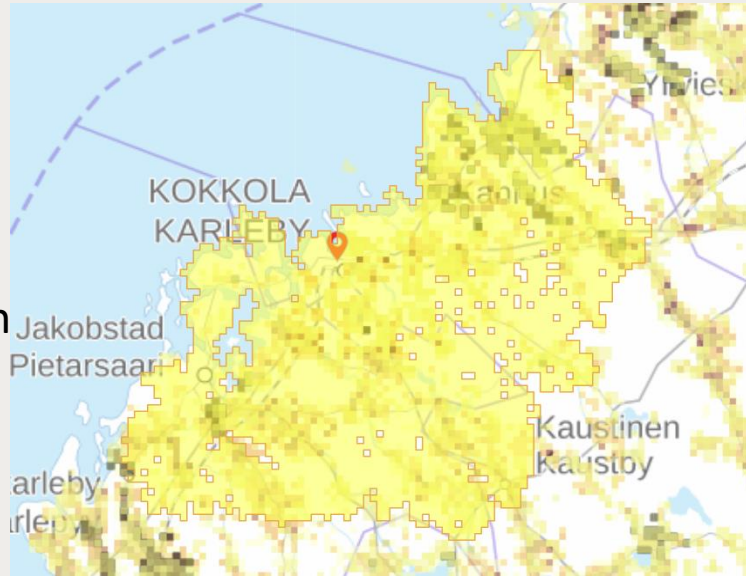
Kuivalannat  
keräilyssäde 40 km  
hyödyntämisaste 50 % ja 70 %



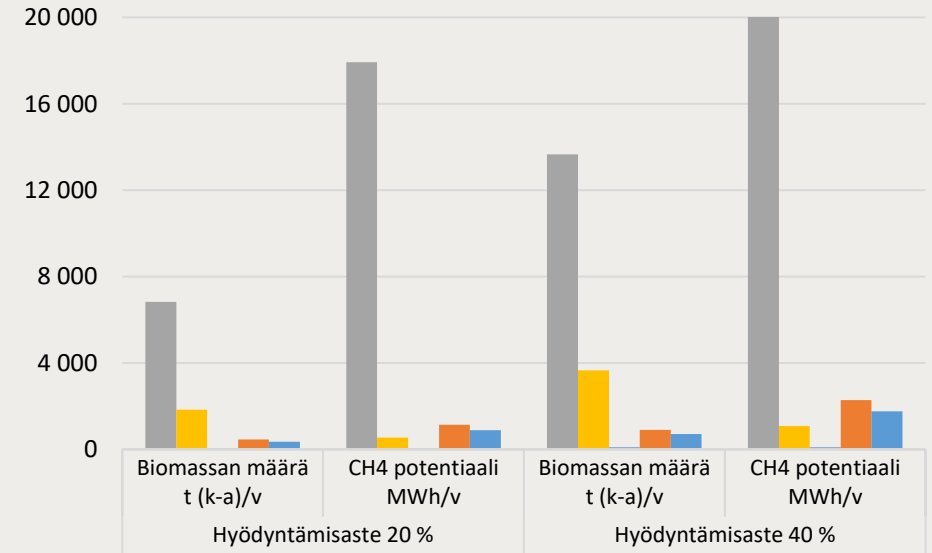
	Hyödyntämisaste 50 % Lantamäärä t/v	Hyödyntämisaste 50 % CH4 potentiaali MWh/v	Hyödyntämisaste 70 % Lantamäärä t/v	Hyödyntämisaste 70 % CH4 potentiaali MWh/v
■ Lypsy- ja lihakarjan kuivalanta	49 724	25 274	69 613	35 383
■ Munituskanat kuivalanta	241	164	337	229
■ Lampaiden ja vuohien kuivalanta	1 163	232	1 628	325
■ Hevosten kuivalanta	3 416	1 620	4 782	2 268
■ Turkiseläinten kuivikelanta	4 742	2 895	6 639	4 054

# Keski-Pohjanmaa, Kokkolan seutu

Peltobiomassojen keräilyssäde 50 km on osoitettu kartalla. Etäisyys on esitetty maantietä pitkin mitattuna.



Peltobiomassat  
keräilyssäde 50 km  
hyödyntämisaste 20 % ja 40 %

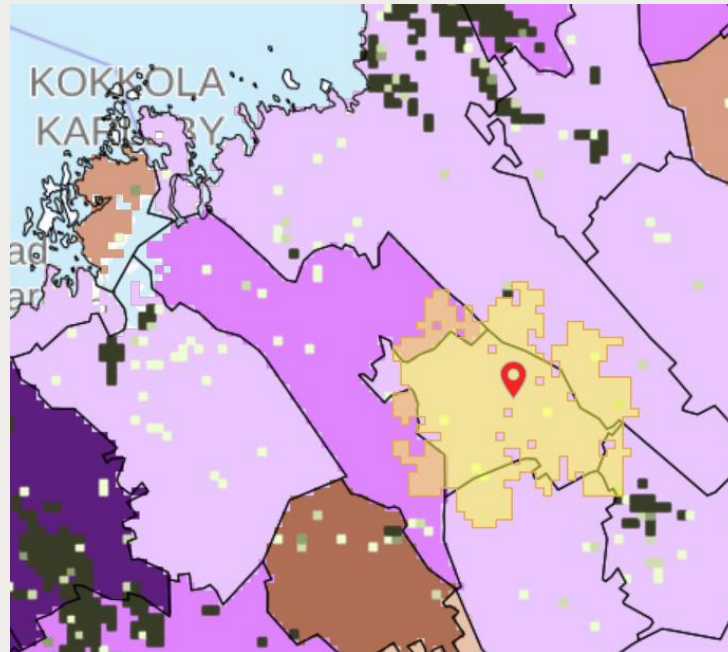


	Hyödyntämisaste 20 %		Hyödyntämisaste 40 %	
	Biomassan määrä t (k-a)/v	CH4 potentiaali MWh/v	Biomassan määrä t (k-a)/v	CH4 potentiaali MWh/v
Olki	6 835	17 929	13 670	35 859
Perunan varret	1 831	542	3 663	1 084
Viherlannoitusnurmien alkusato	45	45	90	90
Kesantonurmi	454	1 139	907	2 278
Suojavyöhykenurmi	351	882	702	1 764

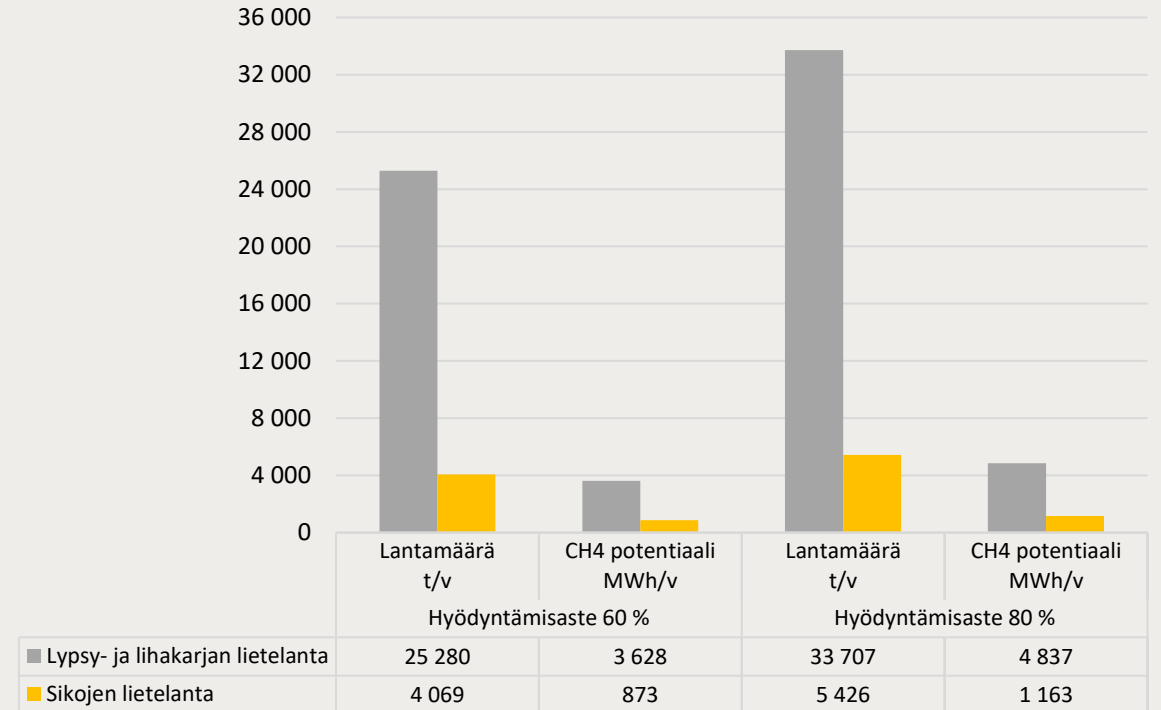
# Keski-Pohjanmaa, Kaustisen seutu

Biokaasukeskittymän keskuksena Kaustisen turkisrehu Oy

Lietelantojen keräilyssäde 20 km on osoitettu kartalla. Etäisyys on esitetty maantietä pitkin mitattuna.

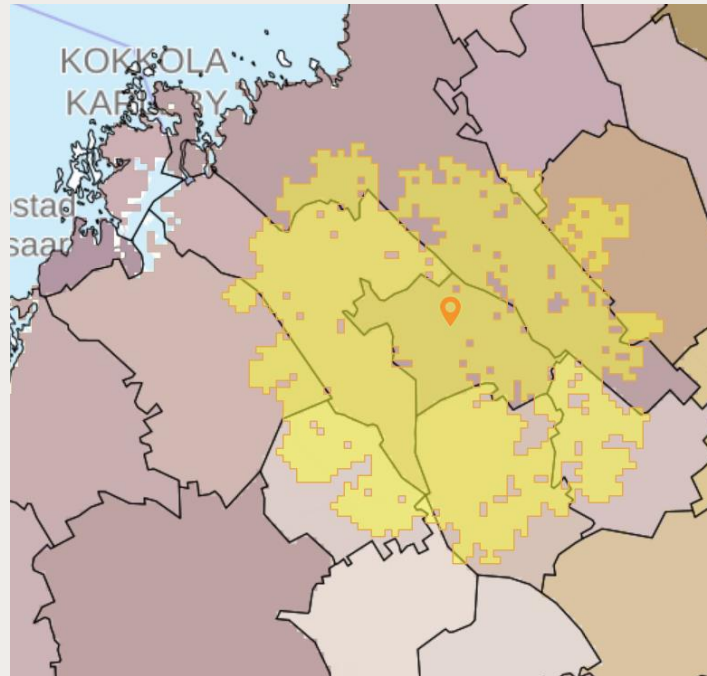


Lietelannat  
keräilyssäde 20 km  
hyödyntämisaste 60 % ja 80 %

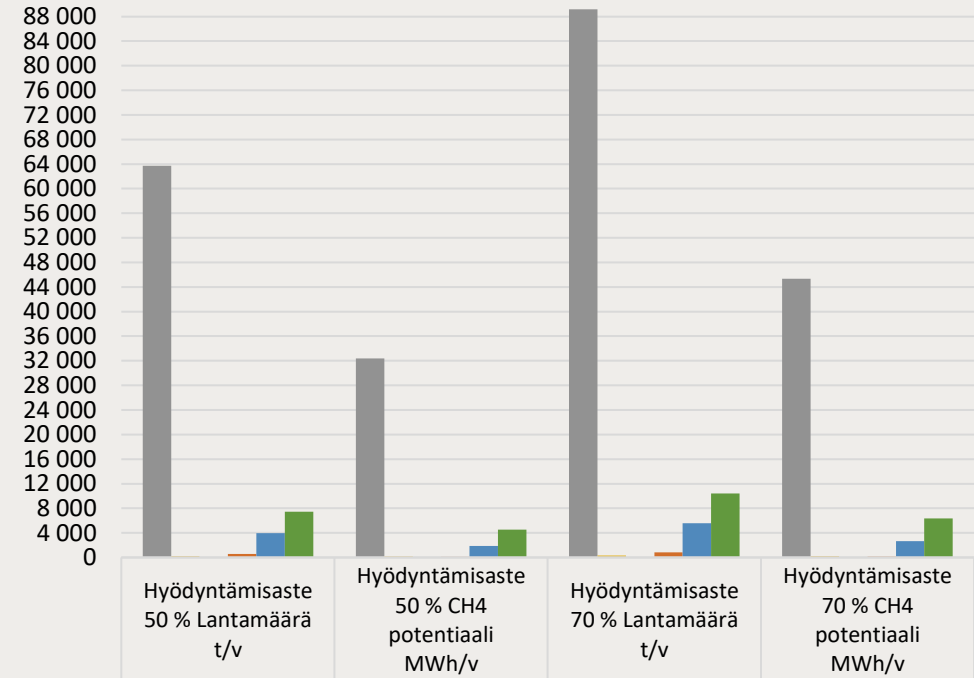


# Keski-Pohjanmaa, Kaustisen seutu

Kuivalantojen keräilyssäde 40 km on osoitettu kartalla. Etäisyys on esitetty maantietä pitkin mitattuna.



Kuivalannat  
keräilyssäde 40 km  
hyödyntämisaste 50 % ja 70 %

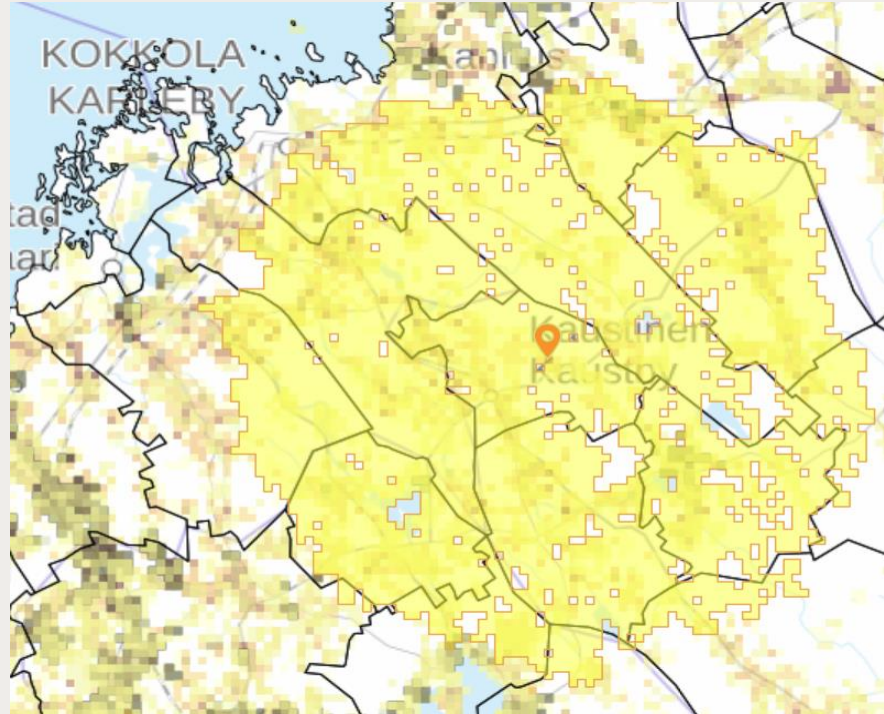


	Hyödyntämisaste 50 % Lantamäärä t/v	Hyödyntämisaste 50 % CH4 potentiaali MWh/v	Hyödyntämisaste 70 % Lantamäärä t/v	Hyödyntämisaste 70 % CH4 potentiaali MWh/v
■ Lypsy- ja lihakarjan kuivalanta	63 697	32 376	89 175	45 326
■ Munituskanat kuivalanta	236	161	330	225
■ Broilerit, kalkkunat ja muu siipikarja kuivalanta	3	2	4	3
■ Lampaiden ja vuohien kuivalanta	599	119	839	167
■ Hevosten kuivalanta	3 965	1 881	5 551	2 633
■ Turkiseläinten kuivikelanta	7 431	4 537	10 403	6 352

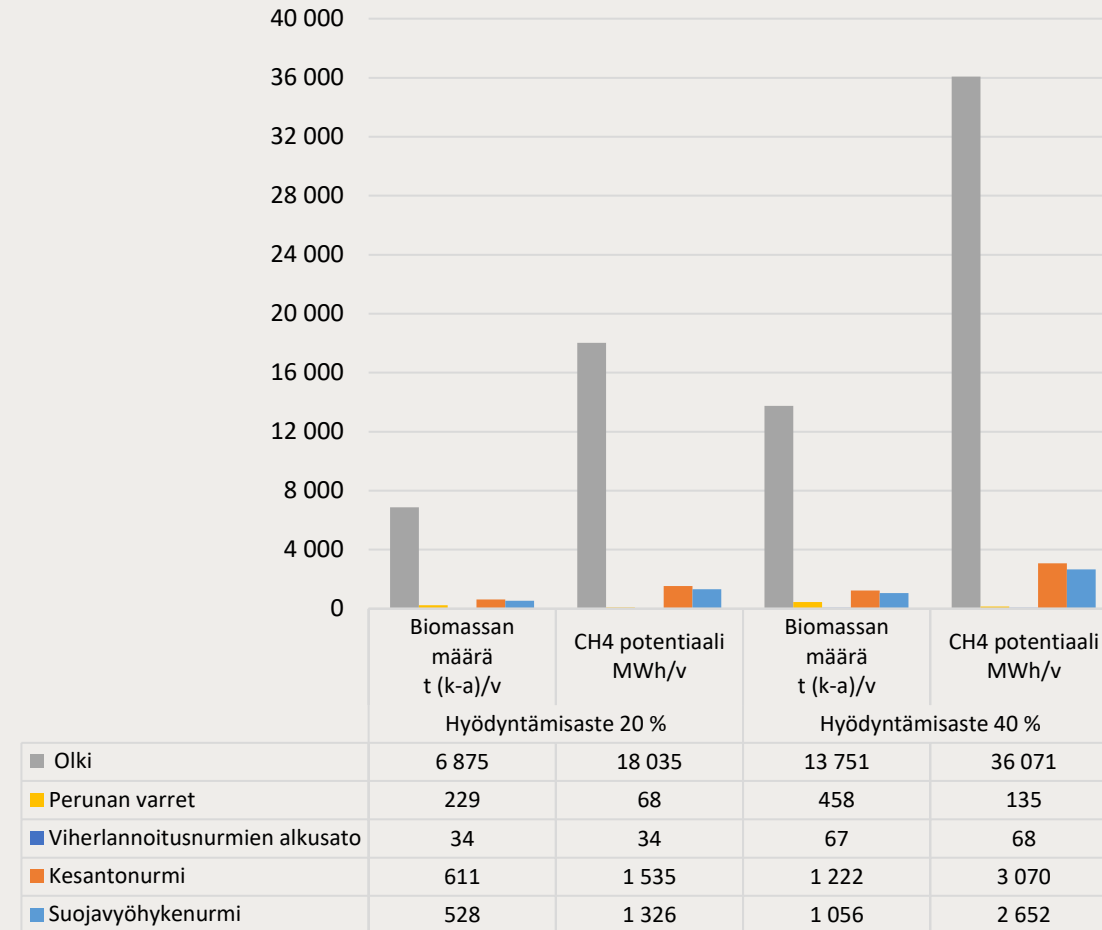


# Keski-Pohjanmaa, Kaustisen seutu

Peltobiomassojen keräilyssäde 50 km on osoitettu kartalla. Etäisyys on esitetty maantietä pitkin mitattuna.



Peltobiomassat  
keräilyssäde 50 km  
hyödyntämisaste 20 % ja 40 %



---

## Yhteenveto biokaasun tuotantopotentiaalista

- Tämän tutkimuksen mukaan Keski-Pohjanmaan käyttämättömien lantojen ja peltobiomassojen teknistaloudellinen potentiaali on 121–193 GWh vuodessa, joka on 3–5-kertainen nykyiseen 37 GWh vuosituotantoon verrattuna.
- Kokkolan seudulla teknistaloudellinen potentiaali on 56-91 GWh vuodessa nykyisen tuotannon ollessa noin 6 GWh vuodessa.
- Kokkolan seudulla suurin yksittäinen energiapotentiaali liittyy viljojen olkiin: 40 % hyödyntämisteella lähes 36 GWh/v ja 20 % hyödyntämisteellakin 18 GWh/v. Perunan varsien metaanin tuotantopotentiaali alueella on 0,5–1,1 GWh/v ja nurmisyötteen 2,1–4,1 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 massaan verrattuna 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 35,5–49,4 GWh/v.



---

## Yhteenveto biokaasun tuotantopotentiaalista

- Kaustisen seudulla laskennallinen hyödyntämätön teknistaloudellinen potentiaali on 64,6–102,7 GWh/v, joka on 2-3 kertainen nykyiseen 30,8 GWh tuotantoon verrattuna.
- Tällä alueella suurin yksittäinen energiapotentiaali liittyy Lypsy- ja lihakarjan kuivalantaan: 50 % hyödyntämisasteella 32,3 GWh/v ja 70 % hyödyntämisasteella 45,3 GWh/v. Kaikkien lantojen yhteenlaskettu metaanintuotantopotentiaali on 43,6–60,7 GWh/v.
- Tällä alueella myös viljojen oljet muodostavat merkittävän teknistaloudellisen potentiaalin, joksi saatiin 18-36 GWh/v. Perunan varsien potentiaali alueella on pieni, 65-135 MWh/v. Nurmisyötteiden potentiaaliksi alueella saatiin 2,9-5,8 GWh/v.

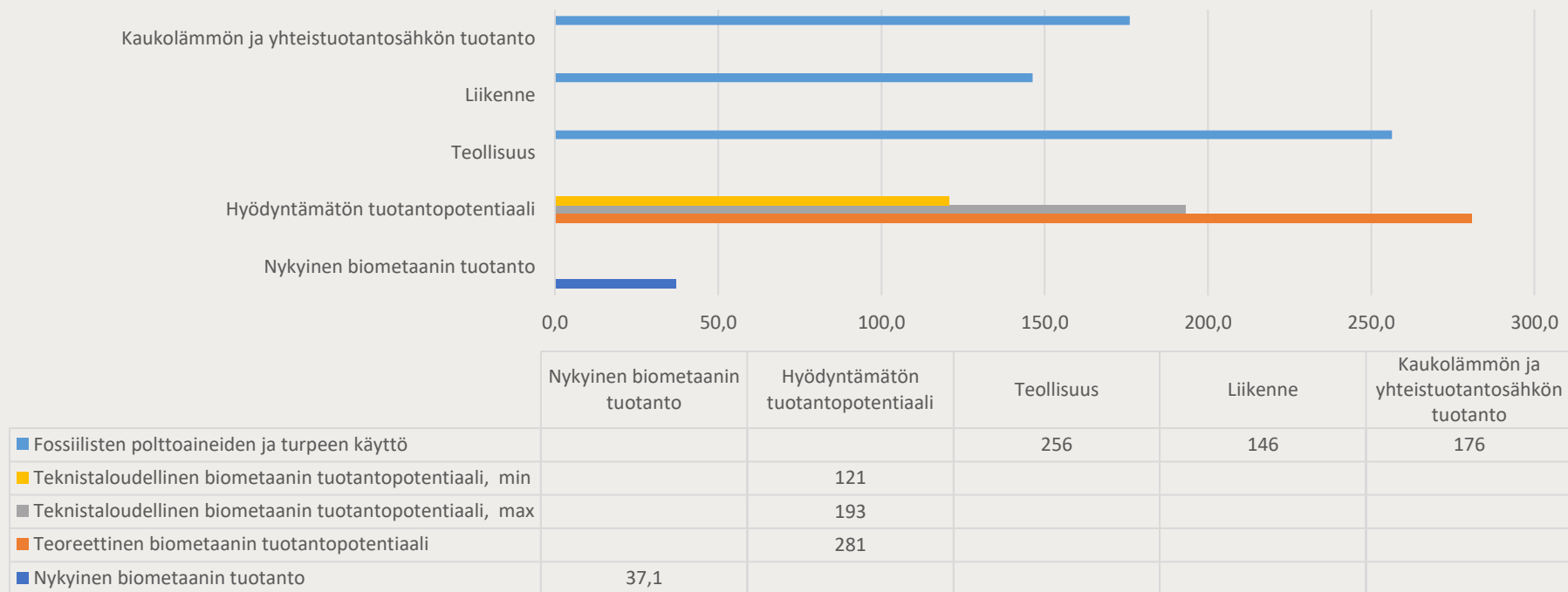
---

## Yhteenveto biokaasun tuotantopotentialista

- Molemmilla alueilla viljojen oljet muodostavat merkittävän biokaasupotentiaalin. Olki on merkittävä satojäännös, jota on toistaiseksi käytetty vain hyvin vähän. Jos pienikin osa oljista voitaisiin ohjata biokaasutuotantoon, tuotettu energiamäärä voisi olla merkittävä.
- Oljen käyttöön liittyy kuitenkin monia haasteita. Oljen logistiikan kannalta haasteet liittyvät lyhyeen ja säiden suhteen epävakaiseen 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 partikkelikoolla on merkittävä vaikutus oljen metaaninmuodostuspotentialiin (Andersen ja muut, 2022). Yleisimpiä partikkelikoon pienentämiseen tähtääviä esikäsittelymenetelmiä ovat erilaiset fysikaaliset silppuamiset tai murskaamiset, jolloin mikrobit pääsevät tehokkaammin hajottamaan syötettä (Luostarinen 2015). Samalla pyritään varmistamaan laitoksen tekninen toimivuus.
- Asianmukaisen esikäsittelyprosessin valinta onkin yksi avaintekijöistä olkibiokaasun onnistuneessa tuotannossa. Andersen ja muut (2022) pitivät lupaavimpina mekaanista esikäsittelyä (partikkelikokoon <2mm), höyryräjäytystä ja
- alkalista esikäsittelyä. Olkien biologista esikäsittelyä ei pidetty kannattavana sen vaatiman pitkän käsittelyajan (4-6 viikkoa) takia. Mainitussa tutkimuksessa mekaaninen esikäsittely vasaramyllyllä oli taloudellisesti kannattavampi kuin muut vaihtoehdot, vaikka biokaasun saanto on selvästi pienempi. Vaikka metaaninsaanto höyryräjäytyksellä ja alkalisella esikäsittelyllä oli korkeampi, johtivat nämä menetelmät korkeisiin investointikustannuksiin korkean paineen tai pitkien viipymäaikojen vuoksi.
- Luostarisen (2015.) mukaan tulee myöskin huomioida, että jotta oljen syöttökuormaa voidaan ylläpitää, täytyy oljelle kyetä järjestämään myös asianmukainen säilöntä ja varastointi vuoden ympäri.

## Yhteenveto biometaanin tuotanto- ja käyttöpotentialista

Keski-Pohjanmaan maakunnan käyttämättömien biomassojen teoreettiseksi tuotantoarvoksi saatiin 281 GWh/v. Teknillistaloudelliseksi tuotantopotentialiksi alueella saatiin 121-193 GWh/v hyödyntämisasteesta riippuen. Käyttöpotentiaalia tunnistettiin niin teollisuudessa, liikenteessä (sis. Henkilöautoliikenne, raskasliikenne (alle ja yli 42 t)) sekä kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotannossa.



---

## Yhteenveto biometaanin tuotanto- ja käyttöpotentialista

- Suurin osa mykyisestä tuotannosta kulutetaan nykyisin tuotannon omistavilla maatiloilla sähkön ja lämmön tuotannossa. Lisäksi WeKas Oy on ilmoittanut tuottavansa noin 556 MWh vuodessa liikennekaasua.
- Laskelman mukaan biometaanin tuotantomäärän tulisi kasvaa nykyisestä 37,1 GWh/v tuotannosta teknillistaloudelliseen maksimiin 193 GWh/v, jotta Keski-Pohjanmaan maakunnan liikenteen tai kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotannon fossiilinen energian kulutus olisi katettavissa täysimääräisesti.
- Teknillistaloudellisella minimituotannolla olisi kuitenkin mahdollista kattaa liikenteen energian tarpeesta jopa 25 % ja samalla kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotannon energian kulutuksesta jopa 48 %.
- Mikäli tuotantomäärä kasvatettaisiin teknillistaloudelliseen maksimiin, olisi edellä mainittujen kulutustarpeen lisäksi mahdollista kattaa myös teollisuuden fossiilisesta energiantarpeesta jopa 28 %.

---

# Päästölaskenta

- Globaalin ympäristökeskustelun keskittyessä ilmastonmuutoksen hillitsemiseen. Tässä tutkimuksessa keskiössä ovat LBG:n arvoketjun päästölaskennassa korostuvat kasvihuonekaasupäästöt (KHK).
- Tutkimuksessa käytetään hiilijalanjälki- ja hiilikädenjälkilaskentaa. Hiilijalanjälki mittaa toiminnan tai tuotteen aiheuttamaa ilmastokuormitusta elinkaaren aikana, kun taas hiilikädenjälki kuvaa ilmastohyötyä eli päästövähennystä käyttäjälle. LBG-ketjun hiilikädenjälki liittyy erityisesti fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen biometaanilla, mikä vähentää nettokasvihuonekaasupäästöjä. Biokaasuteknologia mahdollistaa myös sivutuotteiden jalostamisen lannoitteiksi, mikä vähentää teollisten lannoitteiden käyttöä ja niiden valmistuksesta aiheutuvia päästöjä.
- Sivuvirtojen anaerobinen hyödyntäminen vähentää biohajoavien materiaalien hallitsemattomasta hajoamisesta johtuvien metaani- ja N<sub>2</sub>O-päästöjen vapautumista ilmakehään.

# Päästölaskenta

## Hiilijalanjälki



Raaka-aineiden ja loppu-tuotteiden kuljetusten päästöt



LBG:n tuotannon päästöt



Mädätys-jäännöksen 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



Mineraali-lannoitteiden valmistuksen päästöt



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

# Päästölaskenta

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. Lantahyvitys
  - Jos biokaasun tuotannossa käytetään lantaa, lantahyvitys voi vähentää päästölaskelmia merkittävästi. Lantahyvitys 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.

# Päästölaskenta

- Toimija voi osoittaa KHK-päästökriteerien mukaisuuden kolmella vaihtoehdoisella tavalla:
  1. Käyttämällä direktiivin liitteissä annettuja oletusarvoja päästövähennykselle
  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.
- 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 Tilastokeskuksen Suomea koskevasta datasta. Lisäksi direktiivi käyttää metaanille ja N<sub>2</sub>O:lle IPCC:n vanhoja viidennen arviointiraportin (AR5) mukaisia GWP100-kertoimia, jotka on myöhemmin ajantasaistettu versiossa AR6. Näistä syistä laskennassa käytettiin vaihtoehtoa 3, eli osalle tuotantoketjua käytettiin muihin lähteisiin kuin RED II -direktiiviin perustuvia päästökertoimia.
- Päästövähennys fossiiliseen vertailupolttoaineeseen verrattuna laskettiin kaavalla,

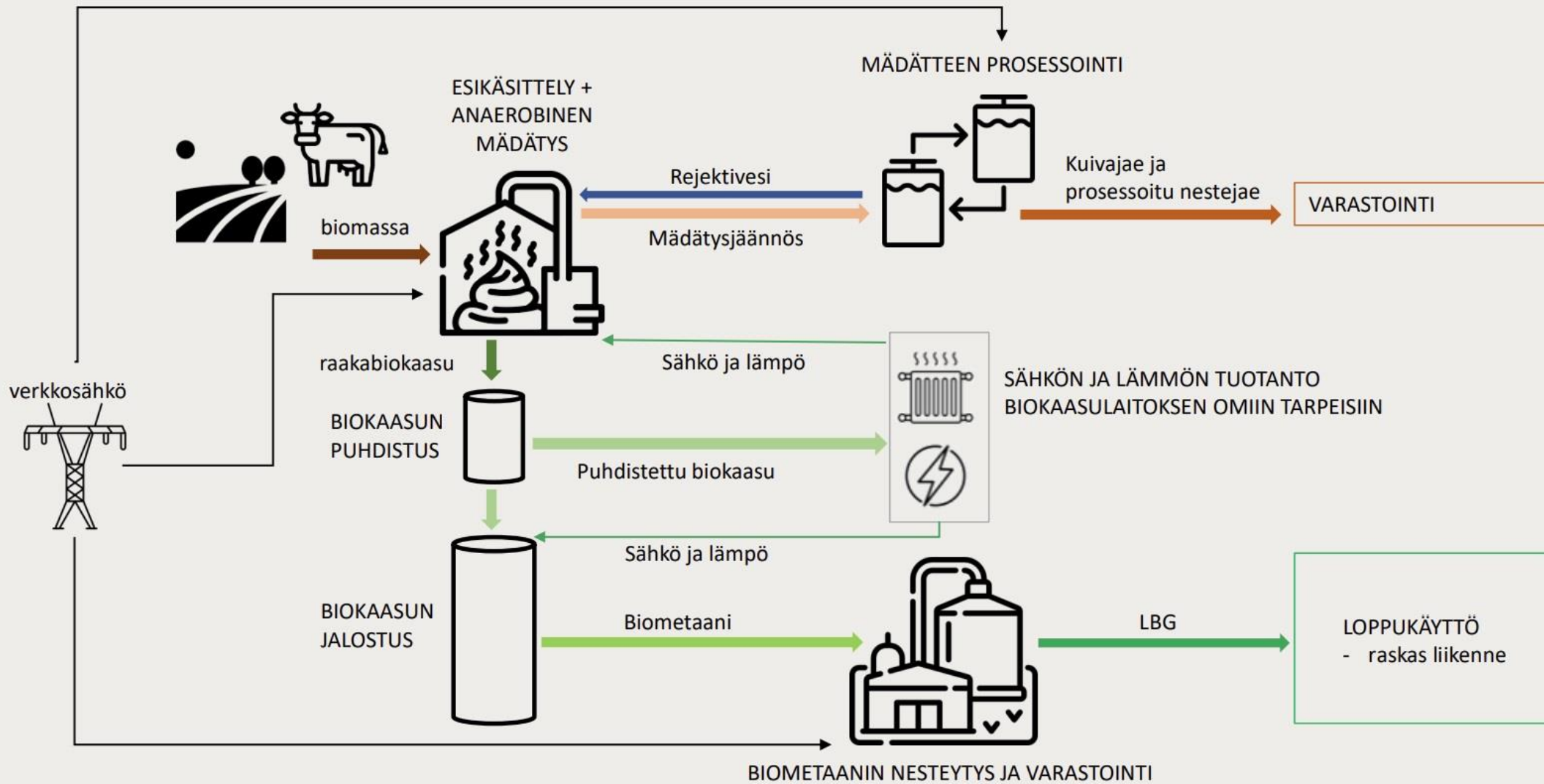
$$\text{Päästövähennys} = \frac{\text{Fossiilinen vertailuarvo} - \text{LBG:n kokonaispäästö}}{\text{Fossiilinen vertailuarvo}}$$



- LBG:n tuotannon päästöt koostuvat syötteiden viljelyn, keräilyn ja kuljetuksen päästöistä sekä biokaasun tuotannon, jalostuksen, nesteytyksen, jakelun ja loppukäytön päästöistä. Myös metaanivuodot ja mädätysjäännöksen prosessoinnin päästöt allokoidaan biometaanille RED II:n mukaan, koska käsittelyjäännöksellä ei ole lämpöarvoa.
- Biokaasun polton aikaisia hiilidioksidipäästöjä ei lasketa mukaan, koska biomassa sitoo kasvunsa aikana hiilidioksidia, joka vapautuu takaisin ilmakehään polton aikana. Tämä biogeeninen hiilidioksidi ei lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta. Metaani- ja N<sub>2</sub>O-päästöt sekä biometaaniketjussa käytetyn fossiilienergian CO<sub>2</sub>-päästöt sisällytetään kuitenkin laskentaan.
- LBG:n ilmastovaikutusten laskemiseksi muodostettiin teoreettinen biokaasulaitosesimerkki. Biokaasulaitoksen käsittelykapasiteetti on 50 000 tonnia vuodessa. Lantojen osuus märkämädätyksen syötteistä on 93 % ja peltobiomassojen 7 %. Syötemateriaalien tarkempi erittely on taulukoituna ohessa. Metaanintuoton toteutuma oletettiin 90 %:ksi. Käsittelemätön biokaasu sisältää 65 % metaania ja 35 % hiilidioksidia.

Syötemateriaalit	t/v *
naudan lietelanta	26 167
naudan kuivalanta	16 492
sian lietelanta	1 646
nurmisyötteet	459
olki	2 670
Perunan varret	362
Hevosien kuivalannat	1 142
Turkiseläinten kuivalannat	1 056
<b>Yhteensä</b>	<b>49 993</b>

- 
- Kasvihuonekaasupäästöjen laskenta sisälsi seuraavat yksikköprosessit
    1. Syötteiden kuljetukset
    2. Biokaasuprosessi (syötteiden esikäsitteily + hygienisointi + mädätys)
    3. Biokaasun jalostus ja nesteytys
    4. Mädätysjäännöksen prosessointi ja varastointi
    5. LBG:n kuljetukset
    6. LBG:n loppukäyttö raskaassa tieliikenteessä
  - Jätteiden ja tähteiden, kuten oljen, ei katsota aiheuttavan elinkaarenaikaisia kasvihuonekaasupäästöjä ennen niiden keräämistä (RED II, 2018). Tämän vuoksi viljojen viljelyn päästöt jätettiin huomioimatta. Kesanto- ja suojavyyhykenurmet käsitetään 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. Esikäsittelyssä epäpuhtaudet poistetaan syötteistä, materiaali murskataan sopivaan palakokoon ja syötemassa homogenisoidaan. 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) taudinaiheuttajien ja rikkakasvien siementen tuhoamiseksi. Hygienisoinnin jälkeen syötemassa pumpataan biokaasureaktoriin, jossa varsinainen mädätys ja biokaasun muodostuminen tapahtuvat.
- Esikäsittelyn ja hygienisoinnin sähkönkulutus on 150 kWh/t kuiva-ainetta, ja reaktorin sähkönkulutus on 3 % tuotetun biometaanin energiasisällöstä (Luostarinen ym., 2019).
- Lämpöenergiaa tarvitaan syötteiden lämmitykseen ja reaktorin lämpöhäviöiden korvaamiseen. Koska mädätysprosessia edelsi hygienisointi, erillistä syötteiden lämmitystä ei tarvita. Hygienisoinnin lämmönkulutus laskettiin veden ominaislämpökapasiteetin perusteella kaavalla:

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

jossa (E) on 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.

- Prosessissa kierrätettävälle laimennusvedelle ei huomioitu erillistä lämmitystarvetta, vaan hygienisoinnin lämmön oletettiin riittävän myös prosessiveden lämmitykseen ja reaktorin lämpöhäviöiden kattamiseen.
- Biokaasuprosessin energiankulutuksen päästöt riippuvat sähkön ja lämmön tuotantotavasta. Yleinen tapa on tuottaa prosessin tarvitsema lämpö ja sähkö biokaasusta, jolloin päästöt rajoittuvat CHP-yksikön metaani- ja N<sub>2</sub>O-päästöihin. CHP-yksiköissä metaanipäästö johtuu epätäydellisestä palamisesta, ja sen määräksi asetettiin 3 gCH<sub>4</sub>/kWh. N<sub>2</sub>O-päästöt johtuvat syötemateriaalien ammoniakkipitoisuudesta, ja niiden määräksi arvioitiin 0,002 gN<sub>2</sub>O/kWh (Luostarinen ym., 2023).
- Metaanipäästöjä voi lisäksi aiheutua syötemateriaalien esisekoituksen ja syötön aikaisista metaanivuodoista, paineensäätöventtiileistä sekä huollon aikaisista vuodoista. Myös laitoksen rakenteista voi esiintyä vuotoja (Luostarinen ym., 2023). Laskennassa biokaasuprosessin metaanivuodoksi oletettiin 1 % tuotetusta biometaanista (Majer ym., 2016).

## 2. Biokaasun jalostus ja nesteytys

- Biokaasun jalostuksessa biometaaniksi kaasusta poistetaan muut komponentit, kuten hiilidioksidi ja typpi. Jalostuksen tavoitteena on tuottaa korkealaatuista biometaania, joka soveltuu käytettäväksi polttoaineena tai syötettäväksi maakaasuverkkoon.
- Jalostuksen aikaiset metaanipäästöt muodostuvat jalostuslaitteistojen vuodoista sekä poistokaasuun päätyvästä metaanista, jota ei tekniikoilla täysin saada talteen. Metaanipäästöt ovat merkittäviä, koska metaani on voimakas kasvihuonekaasu.
- Metaanipäästön määrä vaihtelee käytettävän jalostustekniikan mukaan (Hoyer ja muut, 2016):
  1. **Amiinipesuri:** Käyttää kemiallisia aineita, kuten amiineja, hiilidioksidin ja muiden epäpuhtauksien poistamiseen. Metaanipäästöt: 0,1 %.
  2. **Vesipesuri:** Perustuu veden absorptiokykyyn poistaa hiilidioksidia ja rikkivetyä. Metaanipäästöt: 1 %.
  3. **Paineenvaihteluadsorptio (PSA):** Hyödyntää kaasujen ominaisuutta läpäistä materiaaleja, kuten aktiivihiiltä, paineistettuna. Metaanipäästöt: 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.

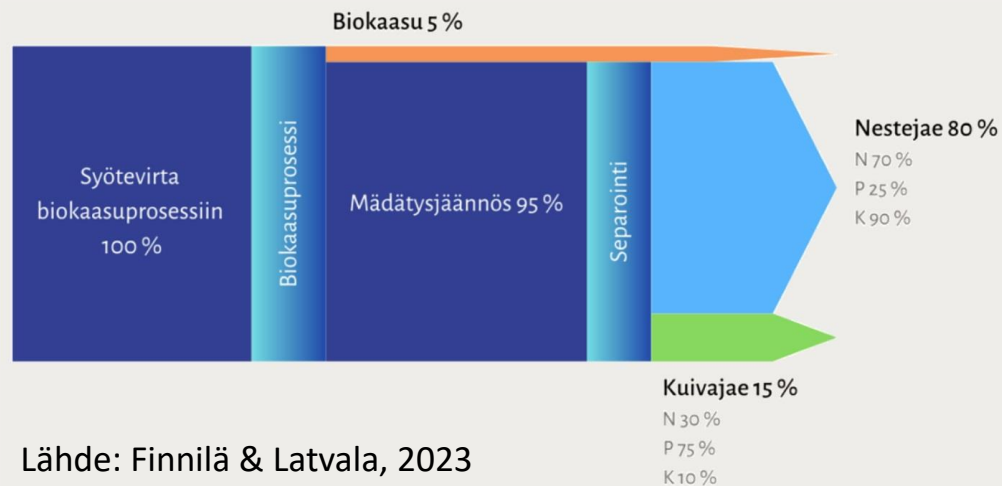
---

## 2. Biokaasun jalostus ja nesteytys

- Biometaanin nesteytys tapahtuu jäädyttämällä biometaani normaalissa ilmanpaineessa  $-163\text{ °C}$  lämpötilaan. Nesteytys pienentää kaasun tilavuutta 600-kertaisesti, mikä helpottaa sen varastointia ja kuljetusta.
- Biometaanin nesteytyksessä yleisimmin käytetyt tekniikat ovat:
  1. Käänteiseen Brayton-kiertoon perustuvat paisuntajäähdytysprosessit: Näissä prosesseissa kylmäaineena käytetään typpikaasua.
  2. Käänteiseen Rankine-kiertoon perustuvat prosessit: Näissä prosesseissa 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 energiaintensiivisiä, 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. Määtysjäännöksen prosessointi ja varastointi

- Biokaasuprosessin lopputuotteena muodostuu biokaasun lisäksi aina määtysjäännöstä, jonka käsittely on tärkeä osa biokaasun tuotantoprosessia. Määtysjäännöksen määrä on tyypillisesti yli 90 % alkuperäisestä syöttömäärästä. Määtysjäännös voidaan hyödyntää lannoitteena sellaisenaan, mutta laitokseen kasvaessa tarvitaan määtysjäännöksen jatkokäsittelyä massa- ja ravinnevirtojen hallitsemiseksi.
- Määtysjäännöksen käsittely alkaa separoinnilla, eli jakamisella neste- ja kuivajakeeseen. Separoinnin avulla voidaan erottaa fosforia ja typpeä osin erillisiin jakeisiin, mikä mahdollistaa niiden tarkemman käytön lannoitteina.
- Tässä tutkimuksessa separointitekniikaksi valittiin dekantterilinko. Energiankulutukseksi arviottiin vertailuarvojen perusteella 3 kWh/m<sup>3</sup>.



Lähde: Finnilä & Latvala, 2023

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>

- 
- Separointi on yleensä ensimmäinen prosessivaihe, kun pyritään jalostamaan väkevempiä lannoitevalmisteita muilla prosessiteknologioilla, kuten kuivajakeen termisellä kuivauksella ja rakeistuksella sekä nestejakeen haihdutuksella tai typen strippauksella (Luostarinen ja muut, 2023). 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).
  - Separoinnin aikana mädätysjäännöksestä voi vapautua pieniä määriä kaasumaisia yhdisteitä. Jäännöksen viipymäaika separaattorilla on kuitenkin lyhyt, ja separoinnissa vapautuvat metaanipäästöt ovat pieniä (0,001–0,1 % laitoksen metaanituotosta) (Luostarinen ja muut, 2023), joten 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, 2024e).

## 5. Loppukäyttö

- LBG:n loppukäytön KHK-päästöt laskettiin liikennekäytön mukaan. 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, jolloin pilottipolttoaineen osuutta ei tarvitse huomioida. 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>.

---

## Hiilijalanjäljen laskenta

### Esimerkkitapaus:

Biokaasuketju alkaa syötteiden kuljetuksesta keskitettyyn biokaasulaitokseen. Kuljetukseen käytetään 25t ajoneuvoyhdistelmää. Kuljetusmatkat ovat seuraavat:

1. Lietelannoille: 20 km
2. Kuiville lannoille: 40 km
3. Peltobiomassoille: 50 km

### Polttoaineenkulutus:

- Dieselkalusto: 1208 MJ/100 km (vastaa 35 l/100 km)
- Kaasukalusto: 1509 MJ/100 km (kaasumoottorin hyötysuhde 20 % alempi kuin dieselmoottorin)

### Biokaasulaitos koostuu seuraavista osista:

1. Syötteiden esikäsittely (murskaus, sekoitus, hygienisointi, syöttö)
2. Biokaasureaktorit
3. Biokaasun ja mädätysjäännöksen jatkokäsittely

---

## Hiilijalanjäljen laskenta

- Tuotettu biokaasu puhdistetaan epäpuhtauksista (vesi, ammoniakki, rikkivety) ja jalostetaan biometaaniksi amiinipesurissa. Lopuksi biometaanin nesteytetään LBG:ksi käyttäen kylmäaineseokseen perustuvaa nesteytystekniikkaa (SMR).

Mädätysjäännöksen käsittely:

- Mädätysjäännöstä muodostuu 95 % syöteseoksen massasta.
- Mädätysjäännös separoidaan neste- ja kuivajakeisiin dekanterilingolla.
- Kuivajae markkinoidaan maanparannusaineena sellaisenaan.
- Nestejake väkevöidään haihduttamalla (lämpötila nostetaan 80 °C:een), jolloin saadaan 20 % orgaanista nestemäistä lannoitevalmistetta (konsentraatti). Loput 80 % laimeaa kondensaattia soveltuu syöteseoksen kuiva-ainepitoisuuden laskemiseksi märkämädätyksen edellyttämälle 15 % tasolle.

LBG:n kuljetukset (50 km) tehdään 25 t kalustolla, ja polttoaineenkulutus on sama kuin syötteiden kuljetuksissa. Kaikki kuljetukset laskettiin edestakaisina.

---

## Hiilijalanjäljen laskenta

### Perustapaus:

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

### Edistynyt tapaus:

- **Lämmön tuotanto:** Biokaasulaitoksen lämmöntarpeet tuotetaan polttamalla tuotettua biokaasua lämpökattilassa (hyötysuhde 90 %).
- **Sähkönkulutus:** Kaikki laitoksen sähköntarpeet katetaan uusiutuvalla energialla tuotetulla verkkosähköllä, jolloin sähköntuotannon päästökerroin on 0 CO<sub>2</sub>/kWh.
- **Kuljetukset:** Kaikkien kuljetusten polttoaineena käytetään dieselin sijaan biometaania.

---

## Hiilijalanjäljen laskenta

### Lantahyvyys:

- Koska esimerkkilaitos käyttää syötteenä lantaa, laskentaan voidaan sisällyttää RED II:n mukainen lantahyvyys. Direktiivin mukainen hyvyys paremmista maatalouskäytännöistä ja lannan paremmasta käsittelystä on 45 g CO<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 %)
  - Hevosten kuivalanta: 1,7 MJ/kg lantaa (kosteuspitoisuus 65 %)
  - Turkiseläinten kuivalanta 2,2 MJ/kg lantaa (kosteuspitoisuus 67 %)

### Kasvihuonekaasupäästöt:

- KHK-päästöt esitetään hiilidioksidiekvivalentteina. GWP100-päästökertoimina käytettiin IPCC:n AR6:n mukaisia arvoja (IPCC, 2023); biometaanille 27 ja N<sub>2</sub>O:lle 273.

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

	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>Kuljetukset</b>							
Syötteiden kuljetukset	1 428 129					87 973	88
<b>LBG:n tuotanto</b>							
Biokaasun tuotanto			17 330				
<b>Lämpöenergian kulutus</b>							
Biokaasuprosessi (syötteiden esikäsittely + hygienisointi , mädätys)		2 625					
Jalostus		344					
<b>Sähköenergian kulutus</b>							
Biokaasuprosessi (syötteiden esikäsittely + hygienisointi , mädätys)		2 142					
Jalostus		318					
Nesteytys		764					
Mädätteen prosessointi (separointi, nestejakeen haihdutus) ja varastointi		1 172					
<b>Prosessilämmön ja -sähkön tuotanto tuotetulla biokaasulla (CHP 600 kW)</b>			5110	13 796	9		375
<b>Verkkosähkön käyttö</b>		2767				105 138	105
<b>Metaanivuodot</b>							
Biokaasuprosessi			173	12 467			337
Jalostus			17	1 234			33
<b>Kuljetukset</b>							
LBG kuljetukset	581 026					35 791	36
LBG:n tuotanto MWh/v			12030				
Lantahyvitys							-2172
KHK-päästöt yhteensä				27 498	9	228 902	-1 198

### Well-to-tank päästöt

Tuotettu LBG yht. (MJ)	43 306 308
CO <sub>2</sub> -ekv. yht. (t/v)	-1198
<b>Well-to-tank KHK-päästö g/MJ<sub>LBG</sub></b>	<b>-27,7</b>

### Tank-to-wheels 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>
Raskas liikenne	0,019	0,001		0,8

### Elinkaaripäästöt (well-to-wheels)

Käyttö raskaassa liikenteessä	-26,9	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.

## Edistynyt tapaus: kaikki kuljetukset biometaanilla, prosessilämpö tuotetaan lämpökattilalla, kaikki sähkökäyttö uusiutuvaa sähköä (esim. tuulisähkö) verkosta

	LBG kulutus MJ/v	MWh/v	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>Kuljetukset</b>							
Syötteiden kuljetukset	1 785 161						1,40
<b>LBG:n tuotanto</b>							
Biokaasun tuotanto			17 330				
<b>Lämpöenergian kulutus</b>							
Biokaasuprosessi (syötteiden esikäsittely + hygienisointi , mädätys)		2 625					
Jalostus		344					
<b>Sähköenergian kulutus</b>							
Biokaasuprosessi (syötteiden esikäsittely + hygienisointi , mädätys)		2 142					
Jalostus		318					
Nesteytys		764					
Mädätteen prosessointi (separointi, nestejakeen haihdutus) ja varastointi		1 172					
<b>Prosessilämmön ja -sähkön tuotanto tuotetulla biokaasulla (lämpökattila 400 kW)</b>			5033	8 908	6		242
<b>Verkkosähkön käyttö</b>		4396				167 054	167
<b>Metaanivuodot</b>							
Biokaasuprosessi			173	12 467			337
Jalostus			17	1 234			33
<b>Kuljetukset</b>							
LBG kuljetukset	730 922					45 025	45
LBG:n tuotanto MWh/v			12106				
Lantahyvitys							-2172
KHK-päästöt yhteensä				22 610	6	212 079	-1 346

### Well-to-tank päästöt

Tuotettu LBG yht. (MJ)	43 582 912
CO <sub>2</sub> -ekv. yht. (t/v)	-1346
<b>Well-to-tank KHK-päästö g/MJ<sub>LBG</sub></b>	<b>-30,9</b>

### Tank-to-wheels 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>
Raskas liikenne	0,019	0,001		0,8

### Elinkaaripäästöt (well-to-wheels)

Käyttö raskaassa liikenteessä	-30,1	g/MJ <sub>LBG</sub>
-------------------------------	-------	---------------------

---

## Hiilikädenjäljen laskenta

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

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

- Kun uuden ratkaisun hiilijalanjälki on pienempi kuin perusuran-ratkaisun, muodostuu hiilikädenjäljestä positiivinen.

### Vältetyt päästöt korvattaessa fossiilisia polttoaineita LBG:llä:

- Tässä tutkimuksessa hiilikädenjälki muodostuu pääasiassa vältetyistä päästöistä fossiilisen polttoaineen korvaamisen kautta. Vertailupolttoaineena raskaassa maantieliikenteessä käytettiin fossiilista dieselöljyä.

### Dieselpolttoaineen päästöt:

- Well-to-tank: 15,9 g CO<sub>2</sub>-ekv./MJ<sub>diesel</sub>, biokomponentin osuus 16 % (Prussi ja muut, 2020).
- Tank-to-wheels: 61,6 g CO<sub>2</sub>-ekv./MJ polttoainetta (Tilastokeskus, 2024e).



## Hiilikädenjäljen laskenta

### Perustapaus: LBG:n hiilikädenjälki sekä päästövähennys verrattuna fossiilisen polttoaineen käyttöön

	diesel g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>fuel</sub>	LBG g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>fuel</sub>	LBG:n hiilikädenjälki g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>	Päästö- vähennys %
Raskas liikenne	77,5	-26,9	104,4	135 %

### Edistynyt tapaus: LBG:n hiilikädenjälki sekä päästövähennys verrattuna fossiilisen polttoaineen käyttöön

	diesel g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>fuel</sub>	LBG g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>fuel</sub>	LBG:n hiilikädenjälki g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ <sub>LBG</sub>	Päästö- vähennys %
Raskas liikenne	77,5	-30,1	107,6	139 %

- RED II –direktiivin (2018) kriteerien täyttämiseksi biokaasun on vähennettävä kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 65 % verrattuna fossiiliseen polttoaineeseen.
- Vaatimus täytettiin molemmissa tapauksissa.

---

## 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 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).

- Typpilannoitteiden valmistus: Hiilijalanjälki syntyy pääosin typpihappotuotannon N<sub>2</sub>O-päästöistä ja ammoniakkituotannon energiankulutuksesta. Laskennassa typpilannoitetuotannon KHK-päästönä käytettiin 3,6 kg CO<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 valmistus: CO<sub>2</sub>-päästöt ovat yleensä alhaisempia kuin typpilannoitteiden. Päästökertoimena fosforilannoitteelle käytettiin 0,56 kg CO<sub>2</sub>-ekv./kg ravinnetta ja kaliumlannoitteelle 0,43 kg CO<sub>2</sub>-ekv./kg ravinnetta (Ilmastolannoite, 2024).

- Laskennan yksinkertaistamiseksi mineraalilannoitteiden ja mädätysjäännöksestä jalostettujen lannoitevalmisteiden kuljetuspäästöjä tiloille ei otettu huomioon. Myöskään pelloilla tapahtuvia N<sub>2</sub>O-päästöjä ei tarkasteltu, koska niiden arvioitiin olevan samankaltaisia kummassakin lannoitustavassa (Timonen ym., 2020).
- Mädätysjäännöksen ravinnepitoisuus riippuu biokaasulaitoksessa käytetyistä lähtöaineista eli syötteistä. 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 perustapauksessa maanparannus- ja lannoitevalmisteina markkinoitavien jakeiden ravinnemäärät sekä vältetyt päästöt, kun mineraalilannoitteita korvataan kierrätyslannoitteilla.

#### Vältetyt päästöt kun mineraalilannoitteita korvataan kierrätyslannoitteilla

Typpi	553 336 kg CO <sub>2</sub> -ekv.
Fosfori	37 444 kg CO <sub>2</sub> -ekv.
Kalium	99 543 kg CO <sub>2</sub> -ekv.
<b>Yhteensä</b>	<b>690 322 kg CO<sub>2</sub>-ekv.</b>

Liukoisen typen osuus kuivajakeessa	41 790 kg N
Fosforin osuus kuivajakeessa	33 839 kg P
Kaliumin osuus kuivajakeessa	54 632 kg K
Liukoisen typen määrä konsentraatissa	111 915 kg N
Fosforin määrä konsentraatissa	33 024 kg P
Kaliumin määrä konsentraatissa	176 862 kg K

- RED II:n mukaan biometaanin päästövähennyksissä ei huomioida mineraalilannoitteiden käytön vähentämisestä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästösäästöjä. Nämä voidaan kuitenkin sisällyttää hiilikädenjäljen laskentaan. Alla olevissa taulukoissa on esitetty vältetyt päästöt mineraalilannoitetuotannosta ja fossiilisten polttoaineiden käytöstä.

	LBG:n hiilijalanjälki g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ_LBG	Vältetyt päästöt mineraalilannoite-tuotanto g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ_LBG	Vältetyt päästöt diesel g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ_fuel	Hiilikäden-jälki g CO <sub>2</sub> -ekv./MJ_LBG
Perustapaus	-26,88	15,94	77,50	120,99
Edistynyt tapaus	-30,11	15,84	77,50	123,45

# Yhteenveto ja pohdinta

- Keski-Pohjanmaan käyttämättömien lantojen ja peltobiomassojen teoreettinen biometaanin vuosituotantopotentiaali on 281 GWh. Teknitaloudelliseksi tuotantopotentiaaliksi arvioitiin 121–193 GWh vuodessa, riippuen saavutettavasta hyödyntämisasteesta. Tämä on 3–5-kertainen nykyiseen 37 GWh vuosituotantoon verrattuna.
- Keski-Pohjanmaan maakunnan alueella suurimmat yksittäiset biometaanipotentialit liittyvät olkiin ja naudun kuivalantaan. Oljen käyttöön liittyy kuitenkin monia haasteita, ja tiedossa olevissa laitoksissa sekä laitossuunnitelmissa oljen osuus syöteseoksissa on vähäinen. Euroopasta löytyy kuitenkin esimerkkejä laitoksista, jotka käyttävät jopa 100-prosenttisesti olkea syötteenä. Oljen teknitaloudelliseksi maksimipotentialiksi laskettiin 72 GWh vuodessa.
- Kaikkien lantojen yhteenlaskettu teknitaloudellinen biometaanipotentiali alueella on 110 GWh vuodessa. Vaikka peltobiomassoihin liittyy suuri energiapotentiaali biokaasuna, on lanta erinomainen perussyöte biokaasuprosessiin, koska sitä muodostuu suuria määriä tasaisesti ympäri vuoden. Kotieläintuotannon lanta sisältää myös suurimman osan kierrätettävissä olevista ravinteista.
- Kesanto-, suojavyöhyke- ja viherlannoitusnurmien teknitaloudellinen biokaasupotentiaali on enimmillään 10 GWh/v. On kuitenkin huomattava, että Biomassa-atlaksen laskentatapa on pinta-alaperusteinen, ei satoperusteinen. Jos samalta alueelta voidaan korjata useampi sato, potentiaali on 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 biometaanipotentialiaalia kahdella kestäväksi luokitellulla tavalla:
  1. Nautatilat mitoittavat rehunurmen viljelyalansa usein hieman yläkanttiin, jotta heikkonakin satovuotena nurmirehua saadaan riittävästi. Hyvinä satovuosina rehunurmea voidaan tuottaa yli karjan tarpeen, jolloin osa sadosta voitaisiin käyttää biokaasun tuotantoon.
  2. Rehunurmen niiton jälkeen voidaan mahdollisesti tehdä toinen kylvö, jonka sato voitaisiin ohjata biokaasutuotantoon.

- RED II –direktiivin mukaan voidaan biokaasutuotannon päästölaskelmien tulosta voidaan vähentää lantahyvityksen avulla, mikäli tuotannossa käytetään lantaa. Lantahyvitys perustuu laskelmaan metaanimääristä, jotka olisivat vapautuneet ilmakehään ilman biokaasutuotantoa. Pääasiassa lantaa käytävissä tapauksissa päästövähennys oli 135–139 % verrattuna fossiilisen dieselin käyttöön.
- RED II -direktiivin kestävyyskriteerien täyttämiseksi biokaasun on vähennettävä kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 65 % verrattuna fossiiliseen polttoaineeseen. Tämä kriteeri täyttyi molemmissa tutkituissa tapauksissa.
- Jos biokaasutuotannon mädätysjäännös prosessoidaan ja hyödynnetään lannoitevalmisteina, saavutetaan lisäksi mineraalilannoitteiden käytön vähentymisestä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästövähennyksiä.
- Biokaasun käyttöpotentiaalia tunnistettiin teollisuudessa, tieliikenteessä sekä kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotannossa. Fossiilisilla polttoaineilla ja turpeella tuotetun energian kokonaismäärä näillä sektoreilla Keski-Pohjanmaalla on lähes 600 GWh vuodessa. Pitkällä aikajänteellä tarvitaan uusia syötteitä ja teknologioita perinteisten mädätystekniikoiden rinnalle, jotta fossiilinen energia olisi täysin korvattavissa biometaanilla.
- 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, joka voidaan kerätä esimerkiksi jätehuollon tai metsäteollisuuden prosesseista. Tämä synteettinen metaani on merkittävästi vähäpäästöisempää kuin fossiiliset polttoaineet ja voi saavuttaa biokaasun käyttöä vastaavan päästövähennyksen (Gasum, 2023). Hiilidioksidia voidaan ottaa talteen myös biokaasuprosessista, ja nesteytettynä synteettinen metaani vastaa täysin LBG:tä. Tällöin biometaanin ja synteettisen metaanin tuotannot voidaan osaltaan myös yhdistää.
- Vaikka synteettisellä metaanilla on biometaania suurempi tuotantopotentiaali, biokaasutoimintaa on edelleen kehitettävä rinnalla. Lisäksi on huomioitava, että vetyä valmistetaan nykyisin elektrolyysillä vedestä. Kyseinen menetelmä edellyttää suuren määrän sähköenergiaa, mikä muodostaa vedyn tuotannolle oman rajoitteensa. Perinteinen biokaasutuotanto ei ainoastaan tarjoa huomattavaa päästövähennyspotentiaalia, vaan on myös tehokas ravinteiden kierrättäjä ja erityisesti lantaa hyödynnettäessä tehokas maatalouden päästöjen vähentäjä.

---

## Lähteet

- Tilastokeskus (2024a). 12bu -- Teollisuuden sähkön kokonaiskäyttö maakunnittain ja toimialaryhmittäin (TOL 2008), 2007-2022, Vuosi=2022, Maakunta= Keski-Pohjanmaa [https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_tene/statfin\\_tene\\_pxt\\_12bu.px](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_tene/statfin_tene_pxt_12bu.px)
- Tilastokeskus (2024b). 12bw -- Teollisuuden energiankäyttö maakunnittain, 2007-2022, Vuosi=2022, Maakunta= Keski-Pohjanmaa, Tiedot=GWh [https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_tene/statfin\\_tene\\_pxt\\_12b.px](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_tene/statfin_tene_pxt_12b.px)
- Tilastokeskus (2024c). 11wy -- Teollisuuden energiankäyttö toimialoittain (TOL 2008), 2007-2022. Vuosi=2022, Maakunta= Keski-Pohjanmaa, Tiedot=GWh, Energialähde=Kaikki. [https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_tene/statfin\\_tene\\_pxt\\_11wy.px/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_tene/statfin_tene_pxt_11wy.px/)
- Tilastokeskus (2024d). 11sw -- Kotimaan kuorma-autoliikenteen suoritteet kokonaispainoluokan mukaan, 2011-2023. Tiedot=Liikennesuorite milj. km, Ajoneuvon kokonaismassa=Kaikki, Vuosi=2023. [https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_kttav/statfin\\_kttav\\_pxt\\_11sw.px/table/tableViewLayout1/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_kttav/statfin_kttav_pxt_11sw.px/table/tableViewLayout1/)
- Tilastokeskus (2024e) Polttoaineluokitus. Tilastokeskus. Saatavilla: [https://stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](https://stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html) (Haettu: 1.11.2024).
- Virolainen-Hynna, A. (2024) 'Biokaasun tuotanto ja käyttö Suomessa 2030, 2035 ja 2040'. <https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2024/05/Biokaasun-tuotanto-ja-kaytto-Suomessa-2030-2035-ja-2040-artikkeli-10052024-1.pdf>
- Sähköinen liikenne ry (2022) Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q4/2022. Saatavilla: <https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/inline-files/2022%20Q4%20Sa%CC%88hko%CC%88inenLiikenne%20tilannekatsaus%202023%2001%2030%20jaettava.pdf> (Haettu: 15.10.2024).
- Vihanta, A. and Amonoo, H. (2024) 'Hycamite keksi vihreän tavan pilkkoa metaania vedyksi ja kiinteäksi hiileksi – Euroopan suurin tehdas nousi Kokkolaan', Yle Uutiset, Saatavilla: <https://yle.fi/a/74-20109498> (Haettu: 15.10.2024).
- SKAL ry (2023) 'MILLÄ ENERGIALLA KULJETAMME?' Saatavilla: [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) (Haettu: 15.10.2024).

## Lähteet

- Traficom (2024) Ajoneuvokannan tilastot. Saatavilla: <https://tieto.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Liikennekaytossa-olevat-ajoneuvot-kayttovoimittain-vuosimuutos.xlsx> (Haettu: 16.10.2024).
- Autoalan Tiedotuskeskus (2024) Henkilöautojen keski-ikä eräissä Euroopan maissa. Saatavilla: [https://www.aut.fi/tilastot/kansainvaliset\\_tilastot/henkiloautojen\\_keski-ika\\_eraissa\\_euroopan\\_maissa](https://www.aut.fi/tilastot/kansainvaliset_tilastot/henkiloautojen_keski-ika_eraissa_euroopan_maissa) (Haettu: 16.10.2024).
- Energiategollisuus (2024) 'Kaukolämpötilasto'. Saatavilla: <https://energia.fi/tilastot/kaukolampotilasto/> (Haettu: 16.10.2024).
- Kuntaliitto (2023) Tietoja pienistä lämpölaitoksista vuodelta 2022. Saatavilla: <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2023/2254-tietoja-pienista-lampolaitoksista-vuodelta-2022> (Haettu: 16.10.2024).
- Kaustisen seutu (2024) Suomen suurin biokaasulaitos rakennetaan Kaustiselle. Saatavilla: <https://kaustisenseutu.fi/tiedotteet/suomen-suurin-biokaasulaitos-rakennetaan-kaustiselle/> (Haettu: 17.10.2024).
- Mäkinen, S. (2024) Copenhagen Infrastructure Partners aloittaa kehittämään suuren mittaluokan biokaasulaitosta Kannukseen Wega Groupin kanssa, Wega. Saatavilla: <https://wega.fi/ajankohtaista/copenhagen-infrastructure-partners-aloittaa-kehittamaan-suuren-mittaluokan-biokaasulaitosta-kannukseen-wega-groupin-kanssa/> (Haettu: 21.10.2024).
- Luonnonvarakeskus (n.d.) Karttapalvelu, Biomassa-atlas. Available at: <https://projects.luke.fi/biomassa-atlas/biomassa-atlas-karttapalvelu/> (Haettu: 21.10.2024).
- Miettunen, P. (2022). Kristina Eco –raportti: Biokiertoalouden kehittämisestä Kristiinankaupungissa ja Suupohjan seudulla. Kristiinankaupungin Elinkeinokeskus Oy. 30.09.2022.
- 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)
- Andersen, L.F. ym. (2022) 'Biogas production from straw—the challenge feedstock pretreatment', Biomass Conversion and Biorefinery, 12(2), pp. 379–402. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00740-y>
- Luostarinen, S. (2015). Biokaasutuotannon raaka-aineiden esikäsittely. Teoksessa Kymäläinen M. ja Pakarinen O. (toim.), Biokaasuteknologia. Raakaaineet, 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)

## Lähteet

- EU RED II (2018) *Direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä*. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (Ippc) (2023) *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 1st edn. Cambridge University Press. Saatavilla: <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.
- Luostarinen, S. ym. (2019) 'Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot'. Saatavilla: [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. ym. (2023) 'Kestävät käytännöt biokaasutuotannossa', Valtioneuvoston Kanslia. Saatavilla: [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. ym. (2016) Calculation of GHG emissions caused by biomethane. Saatavilla: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21956.94082>.
- Hoyer, K. et al. (2016) 'Biogas upgrading - Technical Review'. Saatavilla: [https://vav.griffel.net/filer/C\\_Energiforsk2016-275.pdf](https://vav.griffel.net/filer/C_Energiforsk2016-275.pdf).
- Spoof-Tuomi, K. (2020) 'Techno-economic analysis of biomethane liquefaction processes'. Saatavilla: [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).
- Finnilä, J. and Latvala, M. (2023) '2023-08-15\_madatysjaannosselvitys\_final'. Kaustisen seutukunta. Saatavilla: [https://kaustisenseutu.fi/site/assets/files/7164/2023-08-15\\_madatysjaannosselvitys\\_final.pdf](https://kaustisenseutu.fi/site/assets/files/7164/2023-08-15_madatysjaannosselvitys_final.pdf) (Haettu: 31 October 2024).
- Röck, M., Martin, R. and Hausberger, S. (2020) 'JEC Tank-to-Wheels Report v5: Heavy duty vehicles'. Saatavilla: <https://doi.org/10.2760/541016>.
- Fingrid (2024) Sähköntuotannon ja -kulutuksen CO<sub>2</sub>-päästöarviot. Saatavilla: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/> (Haettu: 31.10.2024).
- Väylävirasto (2024). Liikennesuoritteet maakunta 2013-2023. <https://vayla.fi/vaylista/aineistot/tilastot/tietilastot/maanteiden-liikennesuoritteet>
- Prussi, M. ym. (2020) 'JEC Well-to-Tank report v5'. Saatavilla: <https://doi.org/10.2760/959137>.
- Ilmastolannoite (2024) Ohjeistus & laskuri. Saatavilla: <https://ilmastolannoite.fi/ohjeistus-laskuri/> (Haettu: 1.11.2024).
- Timonen, K. et al. (2020) 'Kierrätyslannoitevalmisteiden ilmastopäästöt'. Saatavilla: [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).
- Svan, J. (2021) 'Mädätysjäännöksestä separoidun re- jektinesteen ravinteiden talteenotto'. Saatavilla: [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) (Haettu: 1.11.2024).