



HABA

Hiilidioksidin ja biometaanin potentiaaliset markkinat ja käyttökohteet Keski-Suomessa ja lähialueilla

Kirsikka Kiviranta & Onni Linjala (VTT)

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Johdanto

- Selvityksen tarkoituksena on kartoittaa eri puhtaustasoisten hiilidioksidin ja biometaanin markkinoita ja potentiaalisia käyttökohteita Keski-Suomessa ja lähialueilla
- Selvityksen tarkoituksena on fasilitoida ja rakentaa pohjaa Keski-Suomen hiilidioksidin ja biometaanin tuottajien ja potentiaalisten käyttäjien yhteistyölle
- Selvityksen sisältö:
 - 1) Hiilidioksidin markkinat ja käyttökohteet
 - 2) Hiilidioksidin lähteet ja saatavuus Suomessa ja Keski-Suomessa
 - 3) Hiilidioksidin hyötykäyttö Keski-Suomessa
 - 3.1. Hiilidioksidin potentiaaliset nykykäyttökohteet Keski-Suomessa
 - 3.2. Tulevaisuuden potentiaalisia hiilidioksidin hyötykäyttökohteita Keski-Suomessa
 - 4) Biokaasun ja biometaanin saatavuus ja potentiaaliset käyttökohteet Keski-Suomessa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

1. Hiilidioksidin markkinat ja käyttökohteet

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Hiilidioksidin markkinat

Hiilidioksidin markkinat voidaan jakaa omakäyttöön ja hyödykemarkkinoihin. [1]

Omakäyttö (captive market)

- Tuotannossa syntynyttä hiilidioksidia hyödynnetään kohteen tuotantoprosessin omiin tarpeisiin
- Suurin markkinamuoto CO₂:lle globaalisti
- Esim. urean valmistus ja tehostettu öljyntuotanto

Hyödykemarkkinat (merchant market)

- Hiilidioksidi kaupataan markkinoilla, mikä vaatii kattavat toimitusketjut tuottajien ja kuluttajien välille
- Esim. elintarviketeollisuus, valmistava teollisuus, lääketeollisuus, tutkimuskäyttö...

Tässä selvityksessä tarkastellaan CO₂ käyttökohteita erityisesti hyödykemarkkinoilla sekä potentiaalisissa omakäyttökohteissa, jotka eivät ole vielä laajalti käytössä. Vakiintuneita omakäyttökohteita ei ole sisällytetty, sillä niiden markkinapotentiaali on matala.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

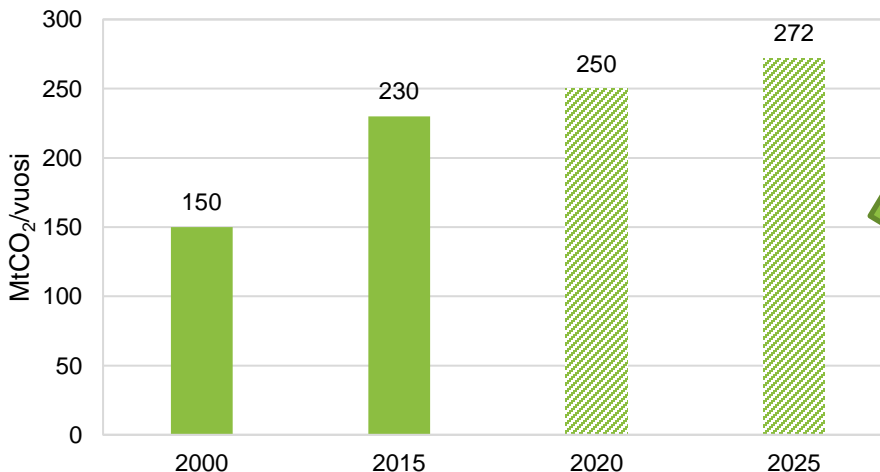
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Hiilidioksidin globaalit markkinat

- Hiilidioksidin markkinat olivat vuonna 2019 maailmanlaajuisesti kooltaan 230 miljoonaa tonnia [2] ja arvoltaan 7,8 mrd.\$ [3]
- IEA arvioi, että globaali hiilidioksidin kysyntä nousee 272 miljoonaan tonniin vuonna 2025 [2]
- Lisäksi erilaiset ennusteet olettavat, että hiilidioksidin kysyntä voi kasvaa jopa 1-7 gigatonniin hiilidioksidia vuoteen 2030 mennessä [2]
 - Kysynnän ennusteiden hajonta on suurta, sillä monet hiilidioksidia hyödyntävät teknologiat ovat vielä kehitysvaiheessa ja koska hiilidioksidin kysyntä riippuu erilaisista poliittisista ohjaukskeinoista
- Merkittävimmät hiilidioksidin markkina-alueet ovat Pohjois-Amerikka (33 %), Kiina (21 %) ja Eurooppa (16 %) [2]



Kuva 1. Hiilidioksidin globaali kysyntä perustuen [2].

Oletus hiilidioksidin globaalin kysynnän kasvusta perustuu kysynnän 1.7%:n vuosittaiseen nousuun [2]

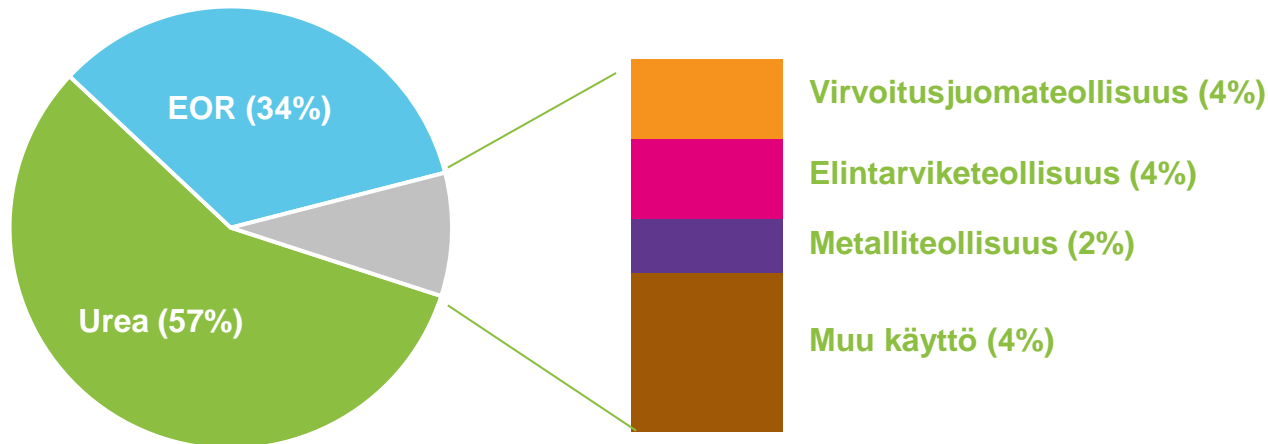
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Hiilidioksidin globaalit käyttökohteet

- Globaalisti suurimmat hiilidioksidin käyttökohteet ovat urean valmistus lannoiteteollisuuden tarpeisiin (130 miljoonaa tonnia CO₂/vuosi ja 57 % kysynnästä) ja tehostettu öljyntuotanto (EOR) (70-80 miljoonaa tonnia CO₂/vuosi ja 34 % kysynnästä) [2]
- Muita merkittäviä käyttökohteita ovat mm. virvoitusjuoma- ja elintarviketeollisuus, metalliteollisuus (mm. hitsaus), jäähdytys, palontorjunta sekä kasvihuonekäyttö [2]



Hiilidioksidin globaalien kysynnän jakautuminen käyttökohteittain perustuen [2].

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Hiilidioksidin päästökauppa

- Pitkään jatkuneen matalan ja tasaisen hintakehityksen (n. 10-30 €/tCO₂) jälkeen hiilidioksidin päästöoikeuden hinta nousi äkillisesti vuodesta 2021 lähtien nykytasolleen (n. 70-100 €/tCO₂)
- Hintakehitys on nykyään myös huomattavasti volatiilimpaa
 - Äkillistä hinnan nousua ja volatiiliutta selittää mm. nopea talouskasvu sekä spekulatiot EU:n ilmastopolitiikan kiristymisestä [4]
- Kohonnut hinta on nostanut useiden yritysten päästömaksut kipurajoille ja saanut ne miettimään vihreän siirtymän mahdollisuuksia sekä vaihtoehtoisia käyttökohteita hiilidioksidipäästöilleen



Päästöoikeuden hinta 26.6.2023 [5]
87.59 €/tCO₂

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

EU ETS päästöoikeuden hintakehitys (€/tCO₂) 2008-2023. Lähde [5].

Hiilidioksidin teollinen tuotanto

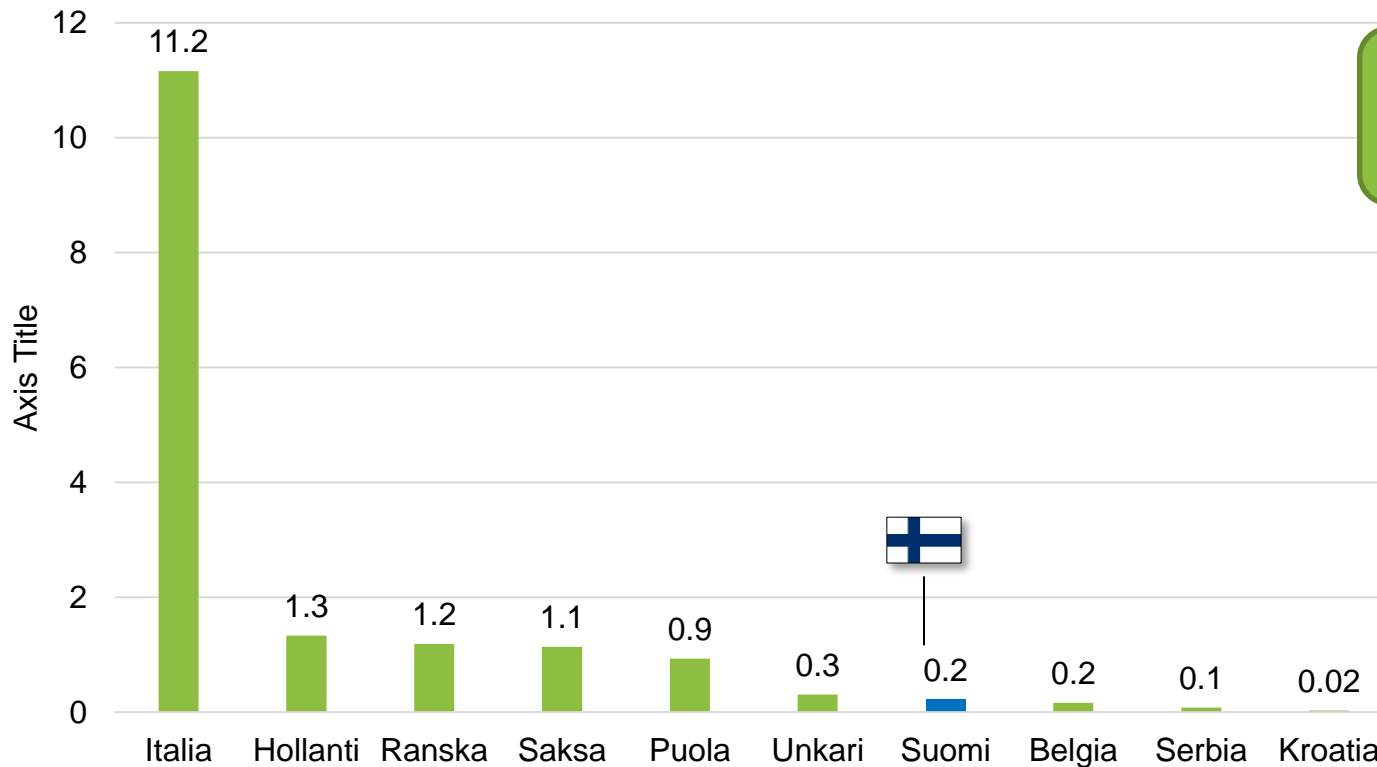
- Teollisessa käytössä oleva kaupallinen hiilidioksidi syntyy pääasiassa erilaisten teollisten prosessien sivutuotteena, joissa hiilidioksidia syntyy suuria määriä korkeassa konsentraatiossa [2]
 - Korkea konsentraatio vähentää hiilidioksidin erotuksen ja puhdistuksen tarvetta ja kustannuksia
- Merkittävä osa teollisesta hiilidioksidista saadaan vety- ja ammoniakkiteollisuuden sivutuotteena maakaasun höyryreformoinnista [2]
- Muita korkean konsentraation hiilidioksidin lähteitä teolliseen käyttöön ovat mm. bioetanolin [2,6] ja etyleenioksidin [2] valmistus
- Teollisten sivuvirtojen lisäksi hiilidioksidia pumpataan kallioperästä etenkin Yhdysvalloissa, jossa pumpattua hiilidioksidia käytetään pääasiassa öljyteollisuudessa, missä se toimii täyteaineena öljy- ja kaasuesiintymien tyhjennyksestä jääviin onkaloihin [7]

Hiilidioksidin lähde	CO ₂ -pitoisuus	Lähde
Ammoniakin tuotanto	98-100%	[2]
Vedyn tuotanto (SMR*)	30-100%	[2]
Bioetanolin tuotanto	98-100%	[2]
Etyliinioksidin tuotanto	98-100%	[2]
Kallioperä	80-98%	[1]

*Hiilidioksidin konsentraatio eri lähteistä.
Lähde [1] ja [2].*

Hiilidioksidin teollinen tuotanto Euroopassa

TOP 10 hiilidioksidin teolliset tuottajat Euroopassa [8]



**Yhteensä
17,8 MtCO₂/a**

Tietoja ei saatavilla: Iso-Britannia, Tanska, Portugali, Espanja, Norja, Ruotsi, Itävalta, Turkki, Latvia, Liettua, Tšekki, Romania, Bulgaria

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Hiilidioksidin teollinen tuotanto Suomessa

- Hiilidioksidin teollinen tuotanto Suomessa oli vuonna 2021 määrältään 225 kilotonnia, josta myyntiin päätyi 190 kilotonnia [9]
- Myynnin kokonaisarvo oli 19,9 M€ [9], muodostaen hiilidioksidin keskiarvohinnaksi Suomessa **105 €/tCO₂**
- Vuosina 2013–2021 tuotannon määrä on ollut tasaisesti noin 200–240 kt vuodessa (pl. 2014, 70 kt), kun taas keskiarvohinnan trendi on nousussa [10]

Hiilidioksidin teollinen tuotanto (PRODCOM) Suomessa 2013–2021. [9,10]

		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Tuotanto	ktCO ₂	237	71	206	221	226	228	237	228	225
Myynti	ktCO ₂	230	208	193	200	189	209	224	215	190
	M€	19,8	17,4	17,2	18,2	17,3	20,3	21,5	20,5	19,9
Keskihinta	€/tCO ₂	86,1	83,8	89,4	91,3	91,5	96,9	95,7	95,6	104,8

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Hiilidioksidin toimittajat Suomessa

- **Linde** on liikevaihdoltaan mitattuna maailman suurin teollisuuskaasuyhtiö [11]. Suomessa se ottaa hiilidioksidia talteen Nesteen Kilpilahden jalostamolla vedyn tuotannosta maakaasun höyryreformoinnin yhteydessä sekä Anoran Koskenkorvan tehtaalla bioetanolin tuotannosta [12]. Lisäksi Lindellä on hiilidioksidin tuotantolaitoksia maailmanlaajuisesti mm. ammoniakkin valmistuksen ja etanolin tuotannon yhteydessä.
- **Air Liquide** on yksi maailman johtavista teollisuuskaasuyhtiöistä [11]. Sillä on hiilidioksidin tuotantolaitoksia maailmanlaajuisesti mm. ammoniakkin valmistuksen, vedyntuotannon, energiantuotannon ja raakamaakaasun puhdistuksen yhteydessä.
- **Voikoski** on suomalainen teollisuuskaasuyhtiö. Sillä on hiilidioksidin tuotantolaitos Kokkolassa, jossa hiilidioksidia otetaan talteen kemianteollisuuden prosesseista [12].



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

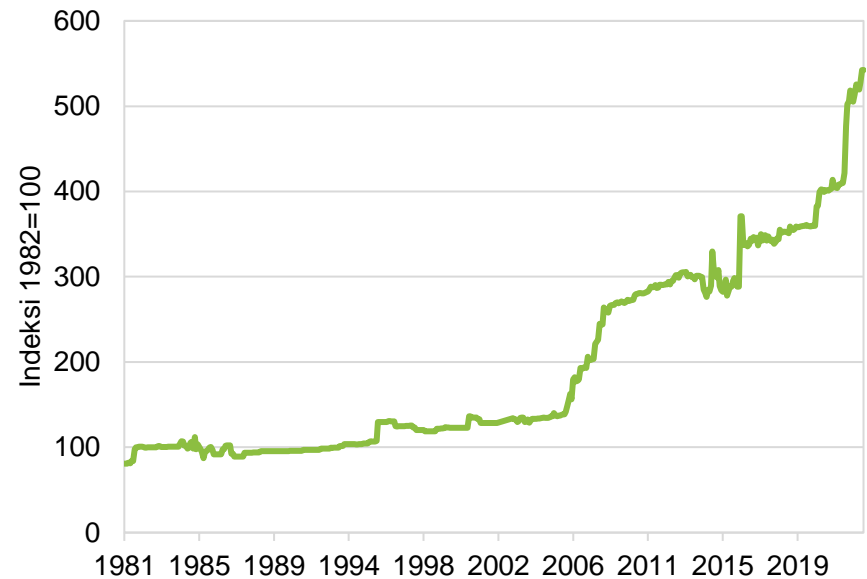
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Hiilidioksidipula

- Koska hiilidioksidia tuotetaan pääasiassa sivutuotteena, sen tuotanto on riippuvainen itse pääprosessista
- Euroopassa energiakriisin ja maakaasun kohonneen hinnan seurauksena maakaasupohjaista ammoniakintuotantoa vähennettiin, mikä johti hiilidioksidipulaan ja rajuun hinnan nousuun vuonna 2022 [13]
 - Pula vaikutti esimerkiksi Euroopan virvoitusjuoma- ja panimoteollisuuteen, jossa tuotantoa jouduttiin vähentämään tai jopa lopettamaan
- Euroopassa on myös aiemmin ollut hiilidioksidin tuotantokatkoja, kuten vuonna 2018, jolloin ammoniakki- ja etanolilaitoksia suljettiin, aiheuttaen ajoittaista pulaa hiilidioksidista [14]



Teollisesti valmistetun hiilidioksidin hintaindeksi (1982=100). Hinta nousi rajusti vuonna 2022 hiilidioksidipulan takia. Lähde [15].

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Hiilidioksidin markkinat murroksessa

- Pitkällä tähtäimellä kaupallisen hiilidioksidin markkinat ovat murroksessa, kun elektrolyyttinen vedyntuotanto kasvattaa suosiotaan korvaten fossiilisen maakaasun höyryreformoinnin vety- ja ammoniakiteollisuudessa
- Tällä hetkellä 75% globaalista vedystä [16] ja 72% ammoniakista [17] tuotetaan maakaasun höyryreformoinnilla ja jos höyryreformoinnista luovutaan tai sen käyttö vähenee, tuotannon sivutuotteena syntyvän korkean konsentraatiopitoisuuden hiilidioksidin saatavuus laskee
- Tämä lisää tarvetta löytää vaihtoehtoisia hiilidioksidin lähteitä samalla kasvattaen kysyntää myös muiden, kuin korkean konsentraation lähteiden osalta
- Hiilidioksidin markkinoiden kasvua kiihdyttää myös vetytalous, sillä hiilidioksidi on olennainen raaka-aine synteettisten hiilivetytuotteiden valmistuksessa
 - Erityisesti hiilineutraaliksi määritelty **bioperäinen hiilidioksidi** on kiinnostavassa asemassa, sillä sitä voidaan hyödyntää hiilineutraalien tuotteiden valmistuksessa ja teknisten hiilinielujen luomisessa

3.4.2023 06:15 | METSÄ

Metsä Group tuottaa 10 miljoonaa tonnia puuperäistä hiilidioksidia vuodessa - aikoo tehdä talteenotosta bisneksen Fortumin kanssa

Metsä Group selvittää puuperäisen hiilidioksidin talteen ottamista. Jatkotuotteilla korvattaisiin fossiilisia materiaaleja.



Hiilidioksidia talteen. Metsä Groupin tuotantolaitoksen sivuvirtana syntyy vuosittain noin 10 miljoonaa tonnia puuperäistä hiilidioksidia. KUVA: PEKKA KARHUNEN

Metsä Group ja Fortum selvittävät puuperäisen hiilidioksidin talteenoton ja hyödyntämisen mahdollisuuksia. Kuva: [18]

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

2. Hiilidioksidin lähteet ja saatavuus Suomessa ja Keski-Suomessa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

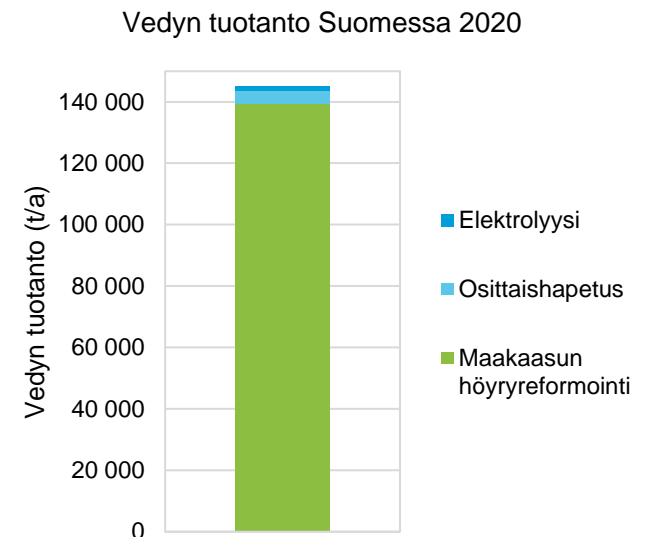
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Hiilidioksidin lähteet Suomessa (1/3)

- Matalammista hiilidioksidin talteenotto- ja puhdistuskustannuksista johtuen korkean CO₂-konsentraation lähteet asetetaan todennäköisesti etusijalle, kun pohditaan hiilidioksidin kaupallistamista ja hyötykäyttöä [1]
- Kuten aiemmin mainittiin, teollisessa käytössä oleva kaupallinen, lähes puhdas hiilidioksidi saadaan pääasiassa erilaisten teollisten prosessien sivutuotteena [2]
- Maakaasun höyryreformointi, jota käytetään perinteisessä vety- ja ammoniakiteollisuudessa, on yksi merkittävä kaupallisen hiilidioksidin lähde [2]
- Vuonna 2020 Suomessa tuotettiin n. 145 kt vetyä, josta 96% tuotettiin maakaasun höyryreformoinnilla [3]
 - Neste Oyj:n Porvoon öljynjalostamo on Suomen suurin yksittäinen vedyn käyttäjä [3]
 - Jalostamolla pyritään korvaamaan maakaasuperäinen vety elektrolyyttisellä vihreällä vedyllä, ja tuotannon on suunniteltu alkavan vuonna 2026 [4]
- Suomessa ei ole omaa ammoniakkin valmistusta



Vetyä tuotetaan Suomessa tällä hetkellä pääasiassa maakaasun höyryreformoinnilla. Kuva perustuen [3] dataan.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Hiilidioksidin lähteet Suomessa (2/3)

- Tiukentuvien päästötavoitteiden ja regulaation myötä fossiilipohjaisiin polttoaineisiin perustuvia prosesseja korvataan yhä enemmän uusiutuvilla vaihtoehdoilla
- Sen sijaan, että kaupallisen hiilidioksidin saatavuus perustuisi vain nykyiseen muutamaaan prosessiin (kuten maakaasun höyryreformointiin), **tulevaisuudessa kaupallisen hiilidioksidin voi olettaa olevan peräisin moninaisemmista lähteistä** [1]
- Sopivia tulevaisuuden hiilidioksidin talteenottolähteitä ovat esimerkiksi erilaisten **teollisuuslaitosten savukaasut**, sillä laitosten toiminta on pääosin tasaista ympäri vuoden, yksikkökoot ovat suuria, ja hiilidioksidipitoisuudet suhteellisen korkeita alentaen talteenottokustannuksia [1]
- **Energiantuotantosektorin** päästöt ovat myös mahdollisia lähteitä talteenotettavalle hiilidioksidille [1]
 - Vaihtoehdot polttoon perustuvalla energiantuotannolle ja etenkin tuotannon kausivaihtelut voivat kuitenkin haastaa talteenoton kannattavuutta etenkin pienissä laitoksissa

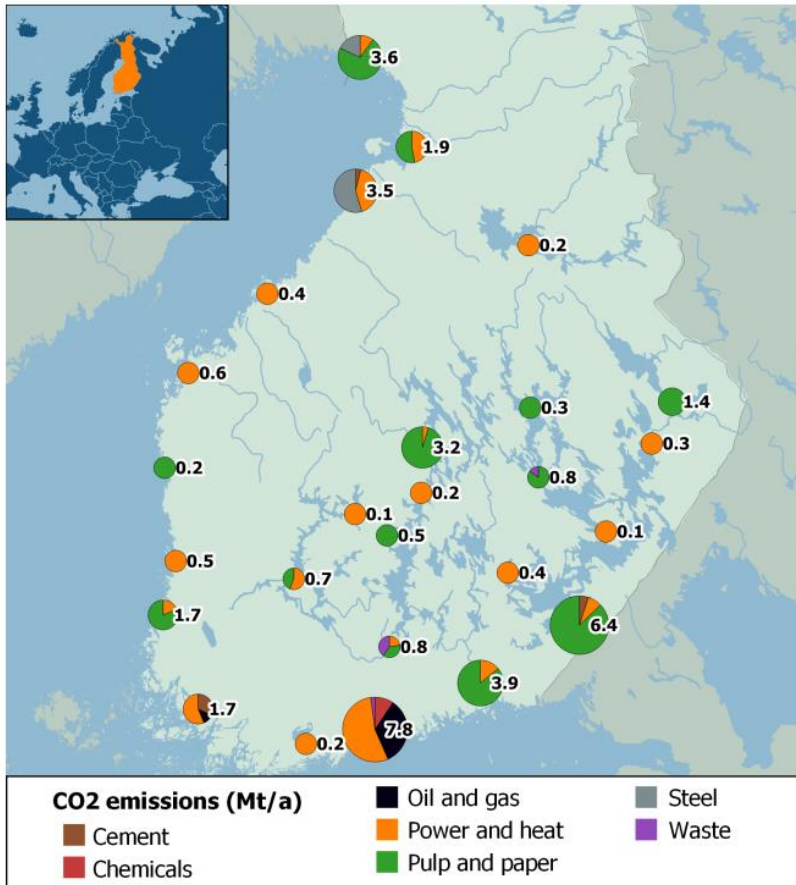
Bioperäinen hiilidioksidi on erityisen kiinnostavassa asemassa, sillä sitä voidaan hyödyntää hiilineutraalien tuotteiden valmistuksessa ja teknisten hiilinielujen luomisessa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Hiilidioksidin lähteet Suomessa (3/3)



Hiilidioksidipäästöt Suomessa vuonna 2020. Kuva [1] perustuen Euroopan ympäristökeskuksen (EEA) dataan.

- **Volyymiltaan** merkittävimmät hiilidioksidin lähteet, jotka soveltuvat hiilidioksidin talteenottoon Suomessa, löytyvät **paperi- ja selluteollisuudesta** sekä **energiantuotannosta** [1]
- Vuonna 2020 suuret, yksittäiset pistelähteet aiheuttivat yhteensä 41 miljoonaa tonnia hiilidioksidipäästöjä, joista noin puolet olivat bioperäisiä päästöjä [1]
 - Paperi- ja selluteollisuuden sekä energiantuotannon lisäksi lukuun sisältyvät myös mm. öljy- ja kaasuteollisuus sekä terästeollisuus
- Kuten kuvasta nähdään, Suomen suurimmat hiilidioksidikeskittymät sijaitsevat Kaakkois- ja Keski-Suomessa sekä Perämerenkaarella [1]

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Hiilidioksidin talteenoton kannattavuudesta

- Kaupalliseen käyttöön soveltuvan hiilidioksidin talteenoton näkökulmasta tärkeitä tekijöitä ovat **hiilidioksidin konsentraatio poistokaasussa** ja skaalaetuja mahdollistava **talteenoton kokoluokka** [1,5]
- Muita hiilidioksidin talteenoton ja hyötykäytön kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. [1,5]:
 - Päästölähteen **maantieteellinen sijainti** ja **etäisyys hyötykäyttökohteeseen**
 - Hiilidioksidia tuottavan prosessin tasainen operointi eli **hiilidioksidin saatavuus vuositasolla**
 - Hyötykäyttötavasta riippuvat **puhtausvaatimukset**
 - Hiilidioksidin **saatavuus pitkällä aikavälillä**
- Volyymiltaan merkittävimmät päästölähteet Keski-Suomessa on eritelty seuraavilla kalvilla
- Tässä selvityksessä pääpaino on hiilidioksidilähteissä, jotka ovat volyymeiltaan suuria ja joissa hiilidioksidin konsentraatio on korkea
 - Huomioitavaa on, että Keski-Suomessa on esimerkiksi pieniä energiantuotantolaitoksia, joissa hiilidioksidia on saatavilla, mutta jotka eivät ole esillä seuraavassa listauksessa
 - Pienten laitosten kohdalla hiilidioksidin talteenotto voi olla taloudellisesti kannattamatonta johtuen mm. talteenoton pienestä kokoluokasta ja hiilidioksidin saatavuuden kausivaihteluista

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Suurimmat hiilidioksidin lähteet Keski-Suomessa

Yritys	Sijainti	Toimiala	Fossiilinen CO ₂	Bioperäinen CO ₂	Kokonais-CO ₂
Metsä Fibre Oy, Äänekosken biotuotetehtas	Äänekoski	Paperi- ja selluteollisuus	0	2 610 000	2 610 000¹
UPM-Kymmene Oy, Jämsänkosken paperitehtas	Jämsänkoski	Paperi- ja selluteollisuus	61 000	274 000	335 000
Metsä Fibre biovoimalaitos	Äänekoski	Energiantuotanto	35 000	251 000	286 000
Alva-yhtiöt Oy, Jyväskylän Voima Oy, Keljonlahden voimalaitos	Jyväskylä	Energiantuotanto	0	206 000	206 000^{1,2,3}
Alva-yhtiöt Oy, Rauhalahden voimalaitos	Jyväskylä	Energiantuotanto	0	172 000	172 000^{1,2,4}

Keski-Suomen suurimmat CO₂-pistelähteet perustuen Euroopan ympäristökeskuksen (EEA) dataan vuodelta 2021 [8].

¹ E-PRTR datan epätarkkuudesta johtuen oletettu vain bioperäisiksi päästöiksi

² Energiateollisuuden tilastojen mukaan laitoksella käytettiin vuonna 2021 myös jyrshinturvetta ja pieniä määriä fossiilisia polttoaineita [6].

³ Tavoitteena on, että vuoteen 2026 mennessä tekniset muutokset mahdollistavat pelkän puupolttoaineen käytön [7].

⁴ E-PRTR datan epätarkkuudesta johtuen päästöt vuodelta 2019. Kesällä 2022 laitos toimi pelkästään puupolttoaineella [7].



Suurimmat biogeenisen hiilidioksidin lähteet Keski-Suomessa

- Energiantuotanto
- Paperi- ja selluteollisuus

E-PRTR data vuodelta 2021 [8]

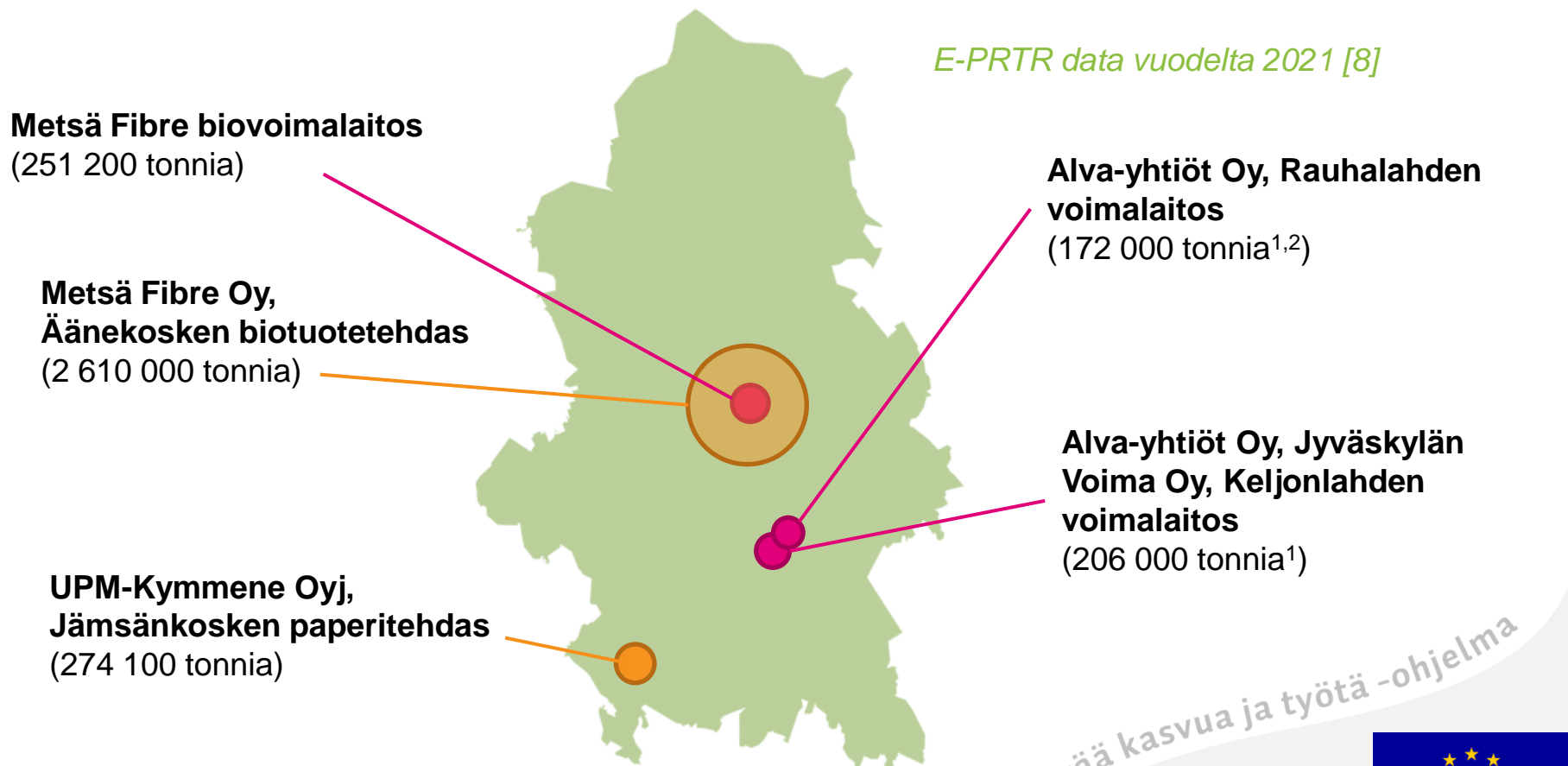
Metsä Fibre biovoimalaitos
(251 200 tonnia)

**Metsä Fibre Oy,
Äänekosken biotuotetehtas**
(2 610 000 tonnia)

**UPM-Kymmene Oyj,
Jämsänkosken paperitehtas**
(274 100 tonnia)

Alva-yhtiöt Oy, Rauhalahden voimalaitos
(172 000 tonnia^{1,2})

Alva-yhtiöt Oy, Jyväskylän Voima Oy, Keljonlahden voimalaitos
(206 000 tonnia¹)



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

¹ E-PRTR datan epätarkkuudesta johtuen oletettu yhtäsuureksi fossiilisten päästöjen kanssa

² Data vuodelta 2019 E-PRTR datan epätarkkuudesta johtuen



Korkean hiilidioksidipitoisuuden lähteet

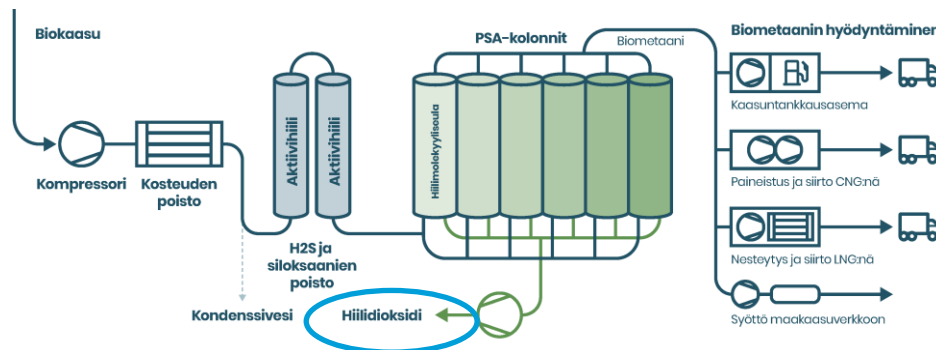
- Korkean konsentraation hiilidioksidilähteitä ovat esimerkiksi [1,5]:
 - Biokaasulaitokset
 - Fermentointiprosessit (esim. etanolin tuotanto, olutpanimot, leipomot)
 - Kalsiumkarbonaatin jalostukseen perustuvat laitokset (sellutehtaiden meesauunit, sementti- ja kalkkitehtaat)
- VTT:n koordinoimassa ja Keski-Suomen liiton rahoittamassa [Bio-CO₂-hankkeessa](#) on kartoitettu korkean hiilidioksidipitoisuuden lähteitä Keski-Suomessa
- Hankkeessa tunnistetut korkean CO₂-pitoisuuden lähteet ovat pääasiassa biokaasulaitoksia, joista osa jo erottaa hiilidioksidin biokaasun jalostuksen yhteydessä biometaaniksi [5]



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Biokaasu korkean hiilidioksidipitoisuuden lähteenä

- Biokaasu on erinomainen hiilidioksidin lähde hyötykäyttöä varten, sillä raakabiokaasun jalostus liikennekäyttöön tai maakaasuverkkoon soveltuvaksi biometaaniksi vapauttaa tälläkin hetkellä hiilidioksidivirtaa, joka voisi olla hyödynnettävissä
- Biokaasun puhdistustekniikasta riippuen erotettu hiilidioksidi on jo valmiiksi varsin korkeassa konsentraatiossa (jopa 99%)
 - Biokaasun jalostustekniikat ovat jo markkinoilla olevia kypsiä teknologioita
- Korkean konsentraatiopitoisuuden ansiosta hiilidioksidin talteenotto biokaasulaitoksilta on konsentraation suhteen kustannustehokkaampaa, esimerkiksi savukaasupäästöihin verrattuna, jossa CO₂-pitoisuus on luokkaa 3-15% [9]
- Tällä hetkellä hiilidioksidi vapautetaan ilmakehään biokaasun puhdistuksen jälkeen, vaikka se käytännössä olisi välittömästi hyödynnettävissä



Usein käytetyn raakabiokaasun puhdistuksessa käytetyn PSA-jalostuslaitteiston prosessikaavio. Lähde: [10]

Biokaasunpohjainen hiilidioksidi

Keski-Suomessa (1/2)

- Keski-Suomen alueella on toiminnassa viisi biokaasulaitosta:
 - **Mustankorkea Oy**
 - **Kalmarin tilan**
 - **Joutsan Ekokaasu Oy**
 - **Metsä Fibren Äänekosken biokaasulaitos**
 - **Nenäinniemen Jäteveden puhdistamon biokaasulaitos**
- Biokaasua jalostetaan tällä hetkellä biometaaniksi kaikilla tuotantolaitoksilla pl. Nenäinniemen Jäteveden puhdistamon biokaasulaitos
- Keski-Suomen Liiton teettämässä ja Envitecpolis Oy:n laatimassa selvityksessä "*Biokaasun tuotannon vauhdittaminen Keski-Suomessa*" [11] on arvioitu, että Keski-Suomeen on suunnitteilla 40 GWh/a lisävolyymi biokaasun tuotantoon
 - Lisävolyymi koostuu olemassa olevien laitosten kasvutavoitteista (9 GWh/a) sekä eri toimijoiden suunnitteilla olevista uusista biokaasulaitoshankkeista (31 GWh/a)
- Seuraavalla kalvolla on esitetty arvio olemassa olevien laitosten ja mahdollisen lisävolyymien mahdollistamasta hiilidioksidipotentiaalista
- Selvityksen tekohetkellä (8/2023) mikään alueen biokaasulaitoksista ei jalosta hiilidioksidia hyötykäyttöön

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Biokaasunpohjainen hiilidioksidi

Keski-Suomessa (2/2)

Biokaasulaitos	Sijainti	Biokaasun jalostus biometaaniksi	Teoreettinen arvio CO ₂ määrästä (tCO ₂ /a)
Mustankorkea Oy	Jyväskylä	Kyllä	1 960 [14]
Kalmarin tila	Laukaa	Kyllä	240 [17]
Joutsan Ekokaasu Oy	Joutsa	Kyllä	290 [17]
Metsä Fibre, Äänekosken biokaasulaitos	Äänekoski	Kyllä	1 000 [12,13]
Nenäinniemen jätevedenpuhdistamo	Jyväskylä	Ei	1 640 ¹ [15]
Suunnitteilla oleva lisävolyymi (40 GWh/a)	Keski-Suomi	n/a	5 200 ²
Yhteensä			10 330 tCO₂/a

¹ CO₂-saanto todennäköisesti pienenee, kun biokaasulaitoksen tuotanto tehostuu vuonna 2023 [16]

² Biokaasun metaani- ja hiilidioksidipitoisuudeksi oletettu 60% ja 40%

Biokaasusta erotetun hiilidioksidin puhtausaste riippuu erotustekniikasta: teoriassa voi olla jopa yli 99%

Biokaasupohjaiset hiilidioksidin lähteet Keski-Suomessa

Huom! Teoreettinen potentiaali: biokaasun puhdistus- ja jalostusvaiheen häviöitä ei otettu huomioon

Metsä Fibre, Äänekosken biokaasulaitos
(1 000 tonnia)

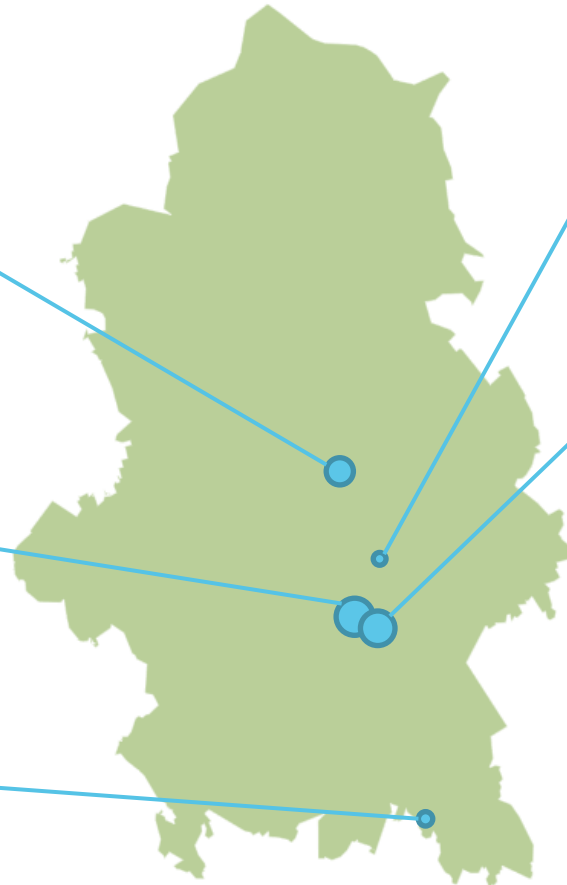
Kalmarin tila
(240 tonnia)

Nenäinniemen jätevedenpuhdistamo
(1 640 tonnia)

Mustankorkean biokaasulaitos
(1 960 tonnia)

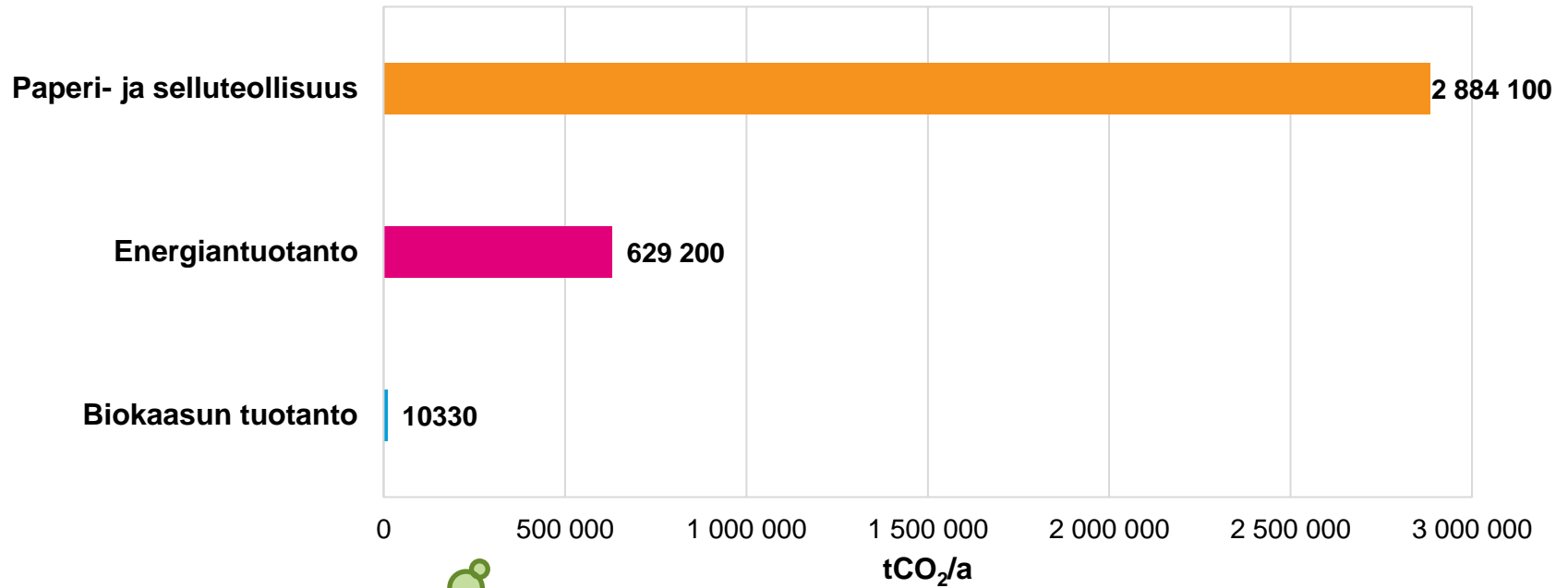
Suunnitteilla olevan biokaasun tuotannon lisävolyymin CO₂
(5 200 t)

Joutsan Ekokaasu
(290 tonnia)



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Biogeenisen hiilidioksidin saatavuus Keski-Suomessa



Keski-Suomen
biogeenisen
hiilidioksidin potentiaali
yhteensä 3.5 Mt CO₂/a

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Muita korkean hiilidioksidipitoisuuden lähteitä Keski-Suomessa (1/2)

Biokaasun lisäksi muita korkean konsentraation hiilidioksidilähteitä alueella voivat olla esimerkiksi [1,5,18]:

- Fermentointiprosessit (esim. etanolin tuotanto, olutpanimot, ruokateollisuus kuten leipomot)
- Kalsiumkarbonaatin jalostukseen perustuvat laitokset (sellutehtaiden meesauunit, sementti- ja kalkkitehtaat)

Fermentointiprosessit

- Keski-Suomessa ei ole bioetanolin tuotantoa
- Keski-Suomessa toimii useita pienpanimoita, mutta yksittäisen panimon hiilidioksidipotentiaali ulkoisille markkinoille on varsin rajallinen: koko Suomen alkoholintuotannon perusteella Suomen juomateollisuudesta on arvioitu mahdolliseksi talteenottaa noin **20 000 t/CO₂** vuodessa [18], ja tämä potentiaali on jakautunut eri puolille maata
 - Panimot voisivat toki olla omavaraisia hiilidioksidin suhteen: 100 dm³ olutta tuottaa 4 kilogrammaa hiilidioksidia, kun taas saman määrän hiilihapotus vaatii 3 kg hiilidioksidia [19]
- Ruokateollisuuden fermentointipäästöjen suhteen on tehty arvio, jonka mukaan kaikkien Suomen leipomoiden yhteenlaskettu hiilidioksidintuotantopotentiaali on **1 300 t/CO₂** vuodessa [18], joten tämän perusteella yksittäisten Keski-Suomen leipomoiden hiilidioksidipäästöt ovat varsin vähäisiä kaupallisen hiilidioksidin markkinoita ajatellen

kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Muita korkean hiilidioksidipitoisuuden lähteitä Keski-Suomessa (2/2)

Kalsiumkarbonaatin jalostukseen perustuvat laitokset

- Keski-Suomessa ei ole sementti- tai kalkkitehtaita
- Keski-Suomesta löytyy meesauuni Äänekosken biotuotetehtaalta
 - Äänekosken tehtaalla käytetään meesauunin polttoaineena sellupuun kuoren kaasutuskaasua perinteisten polttoöljyn ja maakaasun sijaan [20]
 - Meesauunin poistokaasu on hiilidioksidirikasta, sillä kuoren kaasutuskaasussa on korkea hiilipitoisuus ja kalsinointireaktiossa muodostuu hiilidioksidia
 - Tehdasalueella toimiva Specialty Minerals Nordic hyödyntää meesauunin poistokaasusta puhdistettua hiilidioksidia saostetun kalsiumkarbonaatin (PCC:n) valmistuksessa, hyötykäytettävän hiilidioksidimäärän tietoja ei ole käytettävissä [21]
- Meesauunin poistokaasun hiilidioksidipitoisuutta olisi edelleen mahdollista nostaa:
 - Kaasutuksen/kaasunpolton happirikastuksella
 - Sähköuunikonsepti mahdollisesti esikalsinaattorina

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

3. Hiilidioksidin hyötykäyttö Keski-Suomessa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

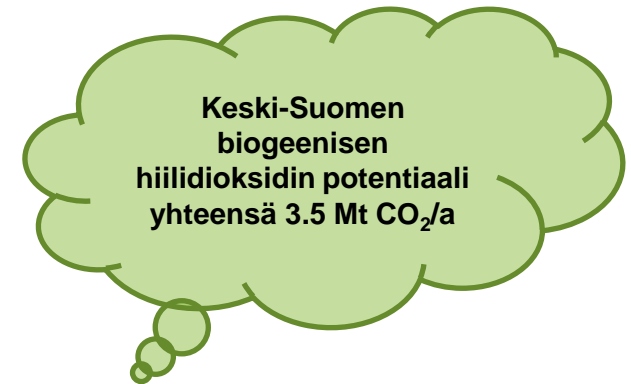
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Hiilidioksidin hyötykäyttö Keski-Suomessa

- Selvityksessä on kartoitettu eri hiilidioksidin hyötykäyttötapoja Keski-Suomessa
 - Mukana on esimerkkejä paikallisista yrityksistä, joissa **kirjoittajien näkemysten mukaan** voisi teoriassa olla mahdollista hyödyntää hiilidioksidia
- Ensimmäiseksi (luku 3.1.) käsitellään kohteita, jotka jo nykyisellään voisivat olla potentiaalisia hyötykäyttökohteita biogeeniselle hiilidioksidille
- Luvussa 3.2. tarkastellaan kohteita, joissa hiilidioksidia voitaisiin käyttää raaka-aineena tulevaisuuden prosesseissa
- Hiilidioksidin käyttöön liittyvät puhtausvaatimukset on otettu huomioon, kun tietoa on ollut saatavilla
- Seuraavalla kalvolla on kooste nykyisistä ja potentiaalisista päähyödyntämisreiteistä hiilidioksidille



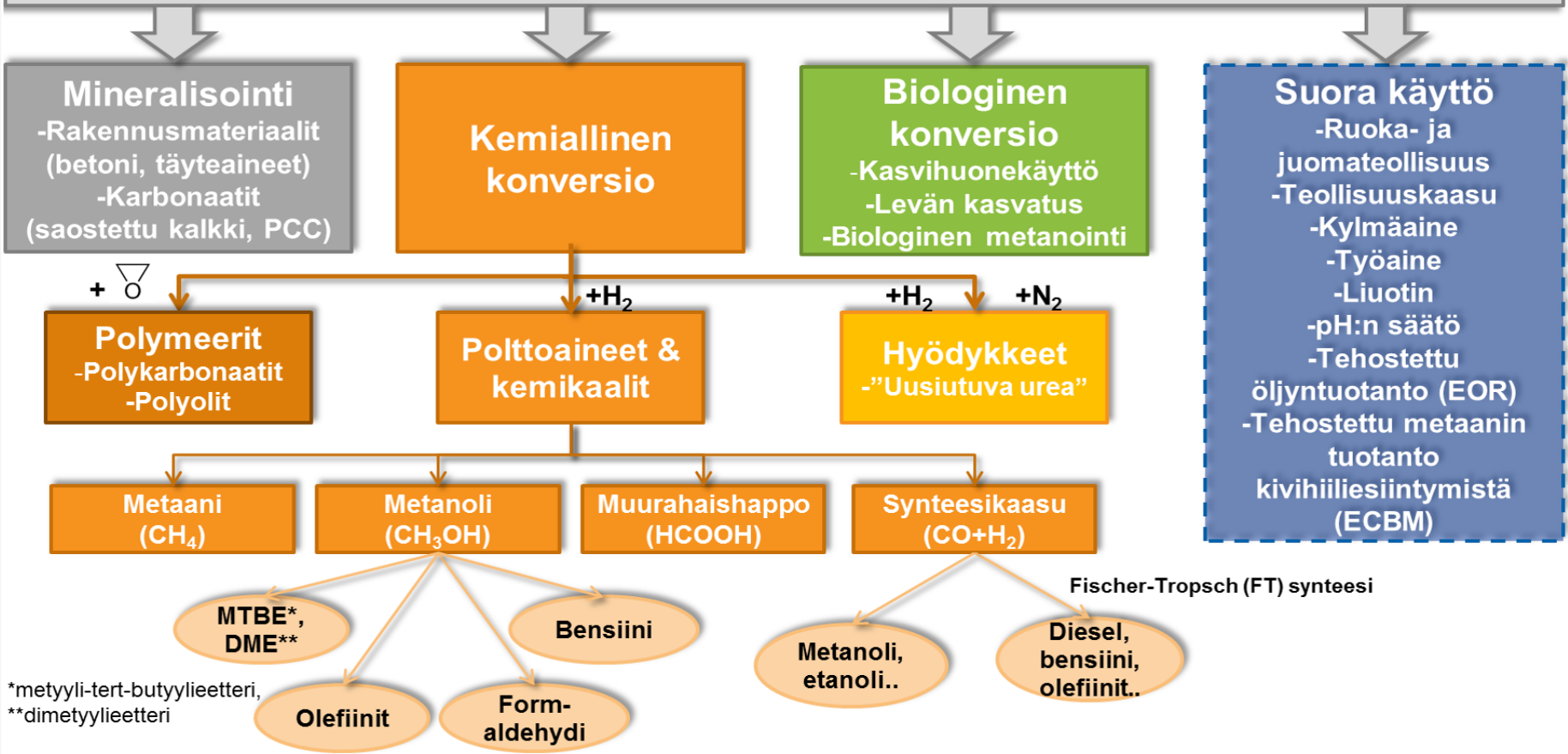
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

HIILIDIOKSIDI, CO₂



Hiilidioksidin nykyiset ja potentiaaliset päähyödyntämisreitit. Kuva: [1]

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

3.1. Hiilidioksidin potentiaaliset nykykäyttökohteet Keski-Suomessa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Elintarviketeollisuus ja panimot

- Elintarviketeollisuudessa ja panimoissa hiilidioksidia käytetään esimerkiksi [1]:
 - Panimo- ja virvoitusjuomien kuplituksessa
 - Pakkausten suojakaasuna, sillä hiilidioksidi ehkäisee bakteerien kasvua
 - Kylmäaineena varmistamaan kylmäketju
 - Elintarvikkeiden nopeassa jäähdytyksessä
 - Kaasutainnutuksessa
- Panimot voisivat olla omavaraisia hiilidioksidin suhteen: oluen valmistuksen yhteydessä vapautuu hiilidioksidia käymisprosessin aikana, jonka lisäksi hiilidioksidia tarvitaan myös oluen hiilihapottamiseen: [2]
 - 100 dm³ olutta tuottaa 4 kg hiilidioksidia, kun taas saman määrän hiilihapotus vaatii 3 kg hiilidioksidia [2]
- Elintarviketyössä vaatimukset hiilidioksidin puhtaudelle ovat korkeammat kuin monessa muussa hyötykäyttökohteessa (99.9 %) [3]

Esimerkkejä potentiaalisista hiilidioksidin käyttäjistä Keski-Suomessa

ATRIA

Hyvä ruoka – parempi mieli.



Panimoyhtiö X

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Kasvihuoneet

- Hiilidioksidia voidaan hyödyntää kasvihuoneiden kasvatusilman rikastuksessa tehostamaan fotosynteesireaktiota ja nopeuttamaan kasvien kasvua [4]
- Kasvilannoituksessa käytettävän hiilidioksidin tulee olla korkealaatuista, jotta kasveille ei tule vaurioita [5]
 - Kasvilannoituksessa on käytetty puhdasta teollista hiilidioksidia tai esimerkiksi maa- tai nestekaasun polton savukaasuista puhdistettua hiilidioksidia, jolloin on samalla saatu talteen kasvihuoneiden tarvitsemaa lämpöä [5][6]
 - Myös teollisista päästölähteistä eroteltua hiilidioksidia voidaan hyödyntää kasvihuoneissa kuten tehdään mm. Hollannissa [7], Japanissa [8], ja Kanadassa [9]
- Hiilidioksidin kulutus riippuu monesta eri tekijästä kuten kasvilajista, vuodenajasta, lämpötilasta [6]
 - Esimerkiksi leikkoruusun ja tomaatin hiilidioksidinkulutuksen on arvioitu olevan 14 kg/m²/a ja 11-21 kg/m²/a [6]
- Vuonna 2022 Keski-Suomessa oli 25 kasvihuoneyritystä, ja kasvihuoneiden yhteenlaskettu pinta-ala oli 62 000 m² [10]
 - Olettaen, että kaikki käyttäisivät hiilidioksidilannoitusta ja kasvien ominaiskulutus olisi 10-20 kg/m²/a, vuotuinen hiilidioksidin tarve olisi **620-1 240 tCO₂/a**

Esimerkkejä potentiaalisista hiilidioksidin käyttäjistä Keski-Suomessa



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

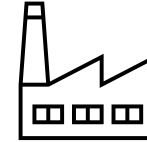
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Hitsauskaasu

- Hitsauskaasuja hyödynnetään suojaamaan hitsaustapahtumaa
- Hitsauskaasut ovat argonpohjaisia ja sisältävät lisäksi hiilidioksidia, happea tai esimerkiksi vetyä [11]
 - Woikosken argon-hiilidioksidi-seoskaasut sisältävät 8-25% hiilidioksidia [11]
- Hitsauskaasujen valmistuksessa hiilidioksidista poistetaan epäpuhtaudet ja hitsauksessa kaasujen puhtaudella on iso merkitys hitsauksen onnistumiseen [12]
 - Hitsauskaasujen laatuksiteerit määrittelee standardi, ja kaasun puhtauspitoisuuden tulee olla **99.5 vol-%** [12]
- Hitsauskaasu voidaan toimittaa mm. irtopulloissa, pullopattereissa, nestemäisenä ja erityisesti suurissa volyymeissa kaasu voidaan myös valmistaa ja sekoittaa kohteessa [12]
- Hitsauskaasun kustannuksiin vaikuttavat mm. kaasun hinta ja kuljetusmatkat [12]
- Hitsauskaasun hinta **voisi madaltua**, jos hiilidioksidia hankittaisiin edullisemmin ja pienemmin kuljetuskustannuksin, esimerkiksi hajautetuilta biokaasulaitoksilta

Esimerkkejä potentiaalisista hiilidioksidin käyttäjistä Keski-Suomessa



Konepajat

HT LASER

COMPONENTA



TANA
From Waste to Value®

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

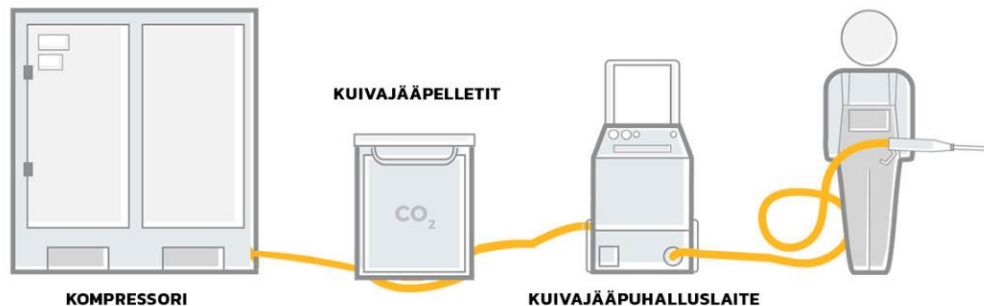
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Kuivajääpuhdistus

- Kuivajääpuhdistus on puhdistusmenetelmä, jossa kuivajääpellettejä puhalletaan paineilman avulla puhdistettavalle pinnalle kuivajään haihtuessa ilmaan [13]
 - Kuivajää on kiinteään muotoon paineistettua hiilidioksidia
- Kuivajääpuhdistuksella voidaan korvata mm. hiekka- ja soodapuhallusta, korkeapainepesua ja laserpuhallusta [13]
- Mm. Dry Ice Finland valmistaa kuivajään itse Linde Gas Ab:n toimittamasta teollisuuden sivutuotteena saatavasta hiilidioksidista [13]
- Kuivajää voitaisiin valmistaa myös esimerkiksi biokaasusta erotetusta hiilidioksidista



Kuivajääpuhdistus. Kuva: [13]

Esimerkkejä potentiaalisista hiilidioksidin käyttäjistä Keski-Suomessa

PJM-palvelu



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Metsäteollisuus

- Sellutehdasympäristössä hiilidioksidia voidaan hyödyntää esimerkiksi [14]:
 - Ligniinin erotukseen mustalipeästä
 - pH-säätöön
 - Mäntyöljyn palstoitukseen korvaamaan rikkihappoa
- Metsä Fibre ja Andritz suunnittelevat ligniinin erotuksen demonstrointia mustalipeästä Äänekosken biotuotetehtaalla [15]
- Puulevyteollisuudessa hiilidioksidista jalostettua metanolia voitaisiin käyttää hartsien ja liimojen valmistuksessa [16]
 - Keski-Suomen puulevyteollisuutta:
 - Metsä Wood, Suolahden vaneritehdas
 - Metsä Wood, Äänekosken viilutehdas
 - Kurikka Timber, Äänekoski
- Metsäteollisuudessa käytettävä hiilidioksidin puhtausaste on tyypillisesti korkea (95-99.9%) [14]

Esimerkkejä potentiaalisista hiilidioksidin käyttäjistä Keski-Suomessa



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

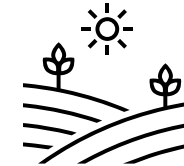
Saostettu kalsiumkarbonaatti (PCC)

- Hiilidioksidia käytetään raaka-aineena saostetun kalsiumkarbonaatin (PCC) valmistuksessa, jossa veteen liuotetun kalkin muodostama kalsiumhydroksidi karbonoidaan karbonaatiksi [1]
- PCC:tä käytetään täyte- ja päällysteaineena esimerkiksi paperi- ja kartonkituotteissa, tiivisteaineissa, liimoissa, muoveissa, kumissa, musteissa ja lääkkeissä [1]
- Kalsiumkarbonaattia hyödynnetään myös mm. happamuuden säätöön maataloudessa ja lisäaineena elintarviketeollisuudessa [1]
- Specialty Minerals Nordic valmistaa Metsän Äänekosken biotuotetehtaan yhteydessä PCC:tä hyödyntäen hiilidioksidin lähteenä sellutehtaan meesauunin savukaasua
- Metsä käyttää PCC:tä paperin ja kartongin täyte- ja päällysteaineena

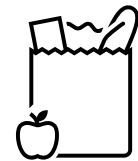
Esimerkkejä potentiaalisista hiilidioksidin käyttäjistä Keski-Suomessa

Specialty[®]
MINERALS

 **Metsä**



Maatalous



Elintarviketeollisuus

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

3.2. Tulevaisuuden potentiaalisia hiilidioksidin hyötykäyttökohteita Keski-Suomessa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

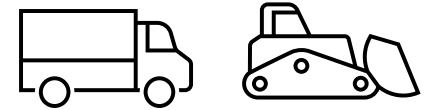


Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

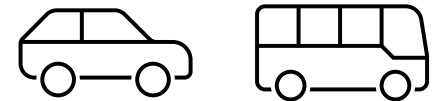
Synteettisen metaanin tuotanto

- Hiilidioksidista ja vedystä voidaan metanointireaktion avulla tuottaa synteettistä metaania, jolla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita
- Metanointi voi tapahtua joko suoraan biokaasuprosessin mädätysreaktorissa, jonne vetyä syötetään (in-situ metanointi) tai erillisessä reaktorissa, jonne sekä vety, että hyödynnettävä hiilidioksidi syötetään (ex-situ metanointi)
 - Metanointiin tarvittava hiilidioksidi voi olla myös muusta lähteestä kuin biokaasulaitokselta
 - Biokaasulaitokselta erotetusta hiilidioksidista voi myös tehdä muita liikennepolttoaineita tai kemikaaleja, mutta metaanin lisätuotanto voi olla luonteva vaihtoehto biokaasulaitoksilla
- Synteettinen metaani soveltuu nykyiseen maakaasuinfrastruktuuriin, ja sen käyttökohteet ovat samat kuin maakaasun ja biometaaninkin, mm. kaasujoneuvot, raskas liikenne, laivat ja teollisuus
 - Keski-Suomessa olevien ja alueella suunniteltujen biokaasulaitosten vuosittaisesta hiilidioksidimäärästä (10.3 kt/a) voisi teoriassa tuottaa **52 GWh/a** synteettistä metaania
- Biometaanin käyttökohteita Keski-Suomessa tarkastellaan tarkemmin luvussa 6

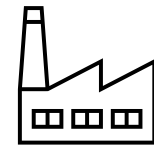
Esimerkkejä potentiaalisista metaanin käyttäjistä Keski-Suomessa



Rahtiliikenne, raskaat työkoneet



Kaasujoneuvot, linja-autot



Teollisuus

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



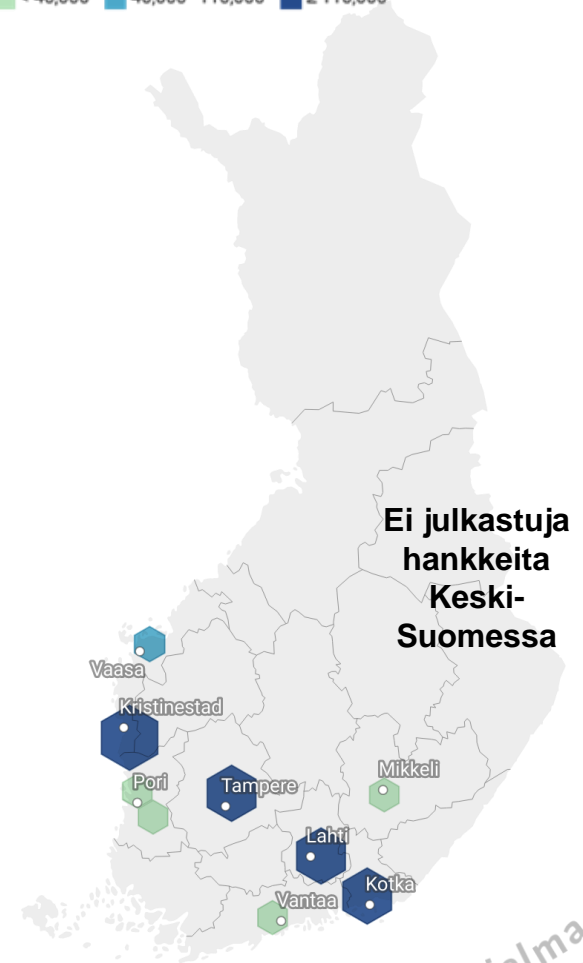
Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Esimerkkejä biogeenistä hiilidioksidia hyödyntävistä synteettisen metaanin tuotantohankkeista Suomessa

Talteenotettava hiilidioksidi, tonnia

< 40,000 40,000–110,000 ≥ 110,000

Yritys	Kaupunki	Tuote, määrä	CO ₂ talteenotto, lähde ja määrä
Koppö Energia Oy	Kristiinankaupunki	Metaani 55 000 t/a	Biomassa tai jäte 150 000 t/a
Q Power Oy	Harjavalta	Metaani n.a.	n.a.
Ren-Gas Oy	Tampere	Metaani 35 000 t/a	Jäte 110 000 t/a
Ren-Gas Oy	Lahti	Metaani 35 000 t/a	Biomassa, kierrätyspolttoaine 110 000 t/a
Ren-Gas Oy	Kotka	Metaani 35 000 t/a	n.a. 110 000 t/a
Ren-Gas Oy	Mikkeli	Metaani 12 000 t/a	Biomassa 37 000 t/a
Ren-Gas Oy	Pori	Metaani 12 000 t/a	Biomassa, kierrätyspolttoaine 37 000 t/a
Westenergy Oy	Mustasaari	Metaani 15 000 t/a	Jäte 40 000 t/a
Vantaan Energia Oy	Vantaa	Metaani 8 600 t/a	Jäte 37 000 t/a



kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Esimerkkejä synteettisen metaanin tuotantohankkeista Suomessa perustuen julkisiin lähteisiin.

Metanolin tuotanto

- Metanoli (MeOH) on yleisesti käytetty lähtöaine kemianteollisuudessa ja siitä valmistetaan monenlaisia kemikaaleja ja tuotteita [1]
 - Kemianteollisuudessa metanolia käytetään mm. liimojen, liuottimien ja muovien tuotantossa [1]
- Metanolia voidaan käyttää myös polttoaineena niin sellaisenaan kuin myös bensiiniin tai dieseliin sekoitettuna mm. raskaassa maantie- ja meriliikenteessä [1]
- St1 suunnittelee synteettisen metanolin laitosta Lappeenrantaan Finnsementin tehtaan yhteyteen [2]
 - Tuotantolaitos tuottaisi metanolia noin 25 000 t/a, ottaen talteen 36 000 t hiilidioksidia vuodessa Finnsementin sementtitehtaan savukaasuista
- Keski-Suomen suurimman yksittäisen biogeenisen päästölähteen (Metsä Fibre Oy, Äänekosken biotuotetehdas) vuosittain tuottamasta hiilidioksidista (2 610 ktCO₂/a) voitaisiin teoriassa valmistaa **1.9 Mt/a** metanolia
 - Vertailuarvona vuonna 2021 Suomeen tuotiin 262 kt metanolia [3]

Potentiaalisia suuren volyymin hiilidioksidilähteitä metanolin tuotantoa varten Keski-Suomessa



UPM



Metsä

ALVA

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Hiilidioksidin mineralisointi

- Hiilidioksidia voidaan hyödyntää betonin valmistuksessa korvaamaan sementtiä [4]
 - Mineralisointireaktiossa hiilidioksidi saostuu sideaineiden kanssa kalsiumkarbonaatiksi kovettaen betonia ja vähentäen sementin tarvetta
- Hiilidioksidin käyttö mineralisoinnissa mahdollistaa laajan valikoiman sementtiä korvaaville sideaineille: sideaineet voivat olla esimerkiksi teollisuuden eri sivuvirtojen kombinaatioita, kuten masuunikuonaa, viherlipeäsakkaa ja biotuhkaa [4]
- VTT spin-off yritys Carbonaide on kehittänyt karbonointimenetelmän, joka mahdollistaa hiilinegatiivisen betonin tuotannon ja rakentaa tällä hetkellä ensimmäistä teollista pilot-tuotantolinjastoa Hollolaan Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:n tehtaalla [5]
- Keski-Suomessa toimiva Betolar kehittää vaihtoehtoisia sideainekombinaatioita teollisuuden sivuvirroista korvaamaan sementtiä betonin valmistuksessa [6]
- Hiilidioksidin mineralisointia voidaan hyödyntää myös keinokiviaineiden valmistuksessa, joita voidaan käyttää kivimurskeen tavoin rakentamisessa ja täyteaineena [7,8]
 - Keinokiviaineisten raaka-aineena voidaan käyttää esimerkiksi kaivosjätteitä tai teollisia sivuvirtoja kuten tuhkia tai kuonia

Esimerkkejä potentiaalisista hiilidioksidin käyttäjistä Keski-Suomessa

BETOLAR



BETONITEAM



KESKI-SUOMEN RAKENNUS JA RAUDOITUS OY

Carbonaide

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

4. Biokaasun ja biometaanin saatavuus ja potentiaaliset käyttökohteet Keski-Suomessa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Biokaasun tuotantopotentiaali Keski-Suomessa

- [Biokaasun tuotannon vauhdittaminen Keski-Suomessa](#) (2023) -raportin mukaan Keski-Suomen biokaasun tuotantomäärä on tällä hetkellä noin 35 GWh/a pois lukien metsäteollisuuden biokaasun tuotanto
- Kun lukuun sisällytetään Keski-Suomen metsäteollisuuden biokaasun tuotanto (10 GWh/a [2]), nousee alueen nykyinen biokaasun tuotanto **45 GWh/a**:han
 - Keski-Suomeen on suunnitteilla myös 40 GWh/a lisävolyymi, sisältäen olemassa olevien laitosten kasvutavoitteet biokaasun suhteen (9 GWh/a) sekä eri toimijoiden uudet, suunnittelun eri vaiheessa olevat biokaasulaitoshankkeet (n. 31 GWh/a) [1]
- Keski-Suomen teoreettinen biokaasupotentiaali (n. 400 GWh/a) koostuu syötteistä, jotka eivät ole vielä biokaasun tuotannon piirissä [1]
 - Suurin hyödyntämätön potentiaali (95%) on lantajakeissa (195 GWh/a) sekä peltobiomassassa (184 GWh/a)
- Nykyisen tuotannon (45 GWh) ja teoreettisen potentiaalın (400 GWh/a) perusteella Keski-Suomen biokaasun kokonaistuotantopotentiaali on yhteensä **445 GWh/a**
- Suomen hallitus on asettanut koko maan kattavaksi biokaasun tuotantotavoitteeksi 4 TWh vuoteen 2030 mennessä [3]
 - Keski-Suomen teoreettinen tuotantopotentiaali kattaisi tästä 11%:ia

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Biokaasulaitokset Keski-Suomessa

- Teollisuuden sivuvirrat
- Maatilamittakaavan laitos
- Yhteismädätyslaitos
- Yhdyskunnan jätevedenpuhdistamo

Metsä Fibre, Äänekosken
biokaasulaitos

Mustankorkean
biokaasulaitos

Joutsan Ekokaasu



Kalmarin tila

Nenäinniemen
jätevedenpuhdistamo

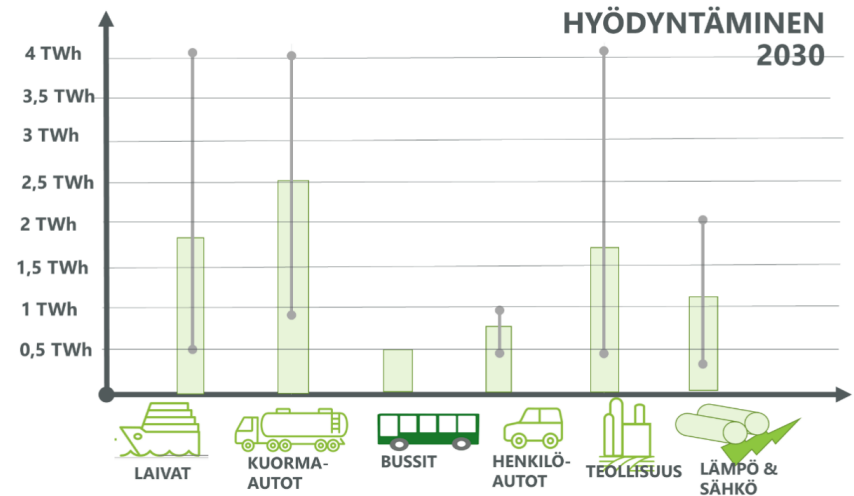
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Biokaasulaitokset Keski-Suomessa perustuen julkisiin lähteisiin.



Biokaasun käyttökohteet ja kysyntä

- Biokaasua voidaan käyttää mm. lämmön- ja sähköntuotannossa, liikenteessä ja teollisuudessa
 - Biokaasun (biometaanin) varastointi ja siirrettävyys mahdollistavat sen käytön myös energiavarastona
- Suomessa biokaasun kysynnän on vuonna 2030 arvoitu olevan **4-11 TWh/a** [4]
- Volyymiltaan suurimpien biokaasun (biometaanin) käyttökohteiden odotetaan olevan raskaan liikenteen, laivojen ja teollisuuden sektoreilla
- Lisäksi käytön odotetaan jatkuvan lämmön- ja sähköntuotannossa sekä henkilö- ja linja-autoissa



Arvio biokaasun kysynnästä Suomessa vuonna 2030.
Kuva: [4]

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Biokaasun puhdistus ja jalostus

- Biokaasun käyttökohde määrää biokaasun puhdistus- ja jalostusvaatimukset
- Biokaasun puhdistusprosessissa raakakaasusta poistetaan haitallisia epäpuhtauksia, jotka voivat vaurioittaa ja häiritä energiantuotanto- ja jalostuslaitteiden toimintaa tai aiheuttaa päästöhaittoja ympäristölle [5]
 - Puhdistettavia epäpuhtauksia voivat olla syötteestä riippuen mm. vesihöyry, rikkiyhdisteet kuten rikkivety, ammoniakki, siloksaanit, halogenoidut hiilivedyt ja hiukkaset
- Biokaasun jalostuksessa kasvatetaan biokaasun energiasisältöä ja vähennetään biokaasun varastoinnin ja kuljetuksen tilantarvetta poistamalla biokaasusta inerttejä kaasuja (hiilidioksidi ja typpikaasu) [5]
- Puhdistettua biokaasua voidaan hyödyntää sähkön- ja lämmöntuotannossa, jolloin biokaasun puhdistustason on vastattava laitteistovalmistajien asettamia laatuvaatimuksia [5]
 - Puhdistamaton biokaasu voi soveltua lämmöntuotantoon, mutta laitevaurioiden ehkäisemiseksi ainakin vesihöyry ja osa rikistä normaalisti poistetaan [6]
- Liikennekäyttöä varten biokaasu jalostetaan ja liikennekäyttöön myytävän biometaanin metaanipitoisuuden tulee olla vähintään **95%** [7]
 - Jalostuksen jälkeen biokaasua kutsutaan biometaaniksi

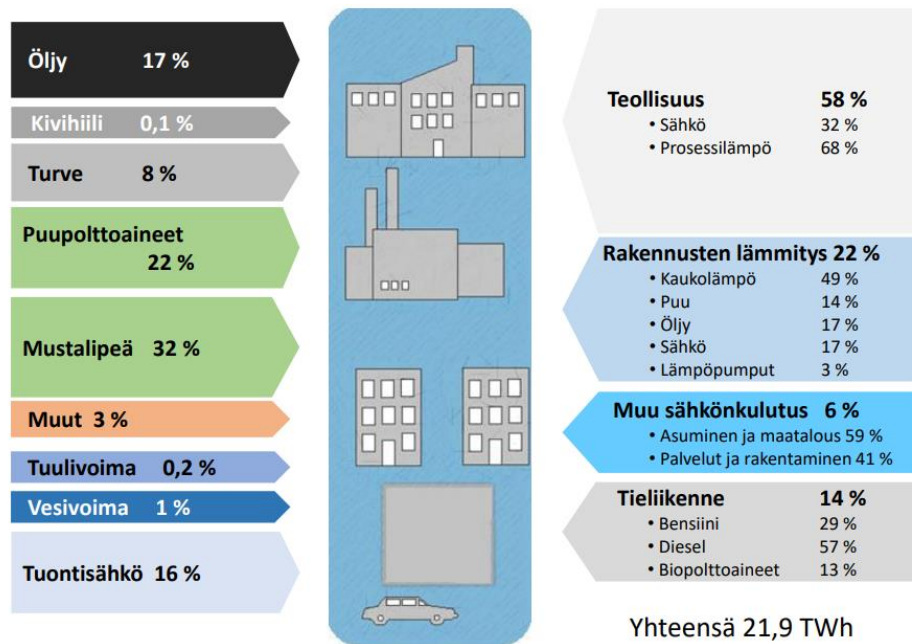
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Biokaasun ja biometaanin potentiaaliset käyttökohteet Keski-Suomessa

- Seuraavaksi tarkastellaan biokaasun ja biometaanin potentiaalisia käyttökohteita Keski-Suomessa
- Käyttökohteiden arvioinnissa käytetään **Keski-Suomen energiatasetta** [8] ja biokaasun tuotantopotentiaalia **445 GWh/a**
 - Samaa metodologiaa on käytetty selvityksessä [Biokaasu Keski-Suomessa 2015](#) [9]



* Alueen energiantuotannon häviöt (yht. 1,8 TWh) on jaettu kulutuskohteille niiden kulutusten mukaisissa suhteissa

Keski-Suomen energiatase 2019. Lähde: [8]

Biokaasu energiantuotannossa

- Suurin osa biokaasusta Suomessa hyödynnetään tällä hetkellä lämmön- tai yhdistetyn lämmön- ja sähköntuotannossa [10]
 - Haja-asutusalueilla lämpö hyödynnetään yleensä paikallisesti, mutta biokaasua voidaan käyttää myös kaukolämmön tuotantoon ja teollisuuden prosessilämpönä [11]
 - Sähkö voidaan hyödyntää paikallisesti tai syöttää sähköverkkoon: korvatta ostosähköä tuotetulle sähkölle saadaan parempi arvo [11]
- Energiakäytössä biokaasun puhtaustason on vastattava laitteistovalmistajien asettamia laatuvaatimuksia [11]
 - Puhdistettavia epäpuhtauksia ovat syötteestä riippuen mm. vesihöyry, rikkiyhdisteet kuten rikkivety, ammoniakki, siloksaanit, halogenoidut hiilivedyt ja hiukkaset [12]
 - Puhdistamaton biokaasu voi soveltua lämmöntuotantoon, mutta laitevaurioiden ehkäisemiseksi ainakin vesihöyry ja osa rikistä normaalisti poistetaan [11]
- Tutkimuksen alla on biokaasun muuttaminen sähköksi polttokennojen avulla ilman polttoprosessia, jolloin sähkön tuotannolle saadaan korkeampi hyötysuhde (yli 50%) perinteiseen polttoon verrattuna (30-40%) [11]
 - Polttokennot sietävät heikosti biokaasun epäpuhtauksia, joten biokaasun puhdistusprosessin tulee olla vaativampi, kuin polttoon perustuvassa energiantuotannossa [11]
- Biokaasun jalostusta, eli inerttien kaasujen poistoa (hiilidioksidi ja typpikaasu) ei tarvita polttoon perustuvassa energiantuotannossa eikä polttokennoissa [11]

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

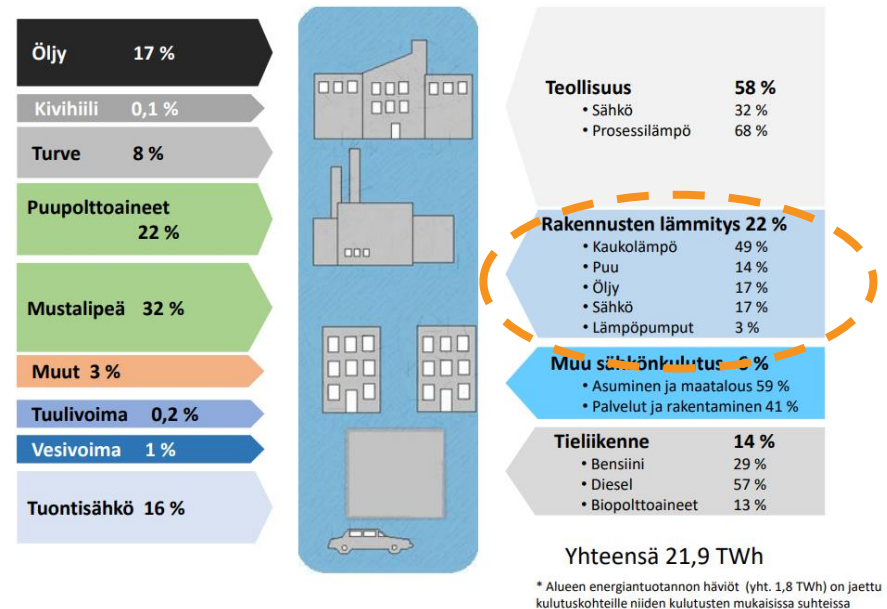
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Biokaasun energiakäyttö Keski-Suomessa

- Lämmityksessä biokaasua voidaan hyödyntää mm. polttamalla biokaasu kaasupolttimella normaalissa öljykattilassa [11]
- Keski-Suomen energiataseen mukaan alueella käytettiin rakennusten lämmitykseen vuonna 2019 yhteensä 4.8 TWh energiaa, josta öljylämmityksen osuus oli 17 % (**819 GWh**)
- Keski-Suomen biokaasupotentiaalin (445 GWh/a) perusteella biokaasulla voitaisiin korvata **yli puolet (54%)** alueen rakennusten lämmitykseen käyttämästä öljystä



Keski-Suomen energiatase 2019. Lähde: [8]

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Biometaani liikennekäytössä

- Biometaania voidaan hyödyntää useissa ajoneuvoissa, mm. henkilö- ja jäteautoissa, busseissa, raskaassa liikenteessä ja työkoneissa kuten traktoreissa
 - Tehdasvalmisteiset ajoneuvot on suunniteltu jalostetun biometaanin (maakaasun) käyttöä varten [11] ja liikennekäyttöön myytävän biometaanin metaanipitoisuuden tulee olla vähintään **95%** [13]
 - Jalostamatonta biokaasua voidaan hyödyntää ajoneuvoissa, mikäli ajoneuvot on muunnettu tätä tarkoitusta varten: polttoainetankki on tällöin kuitenkin huomattavasti suurempi biokaasun matalammasta energiatiheydestä johtuen [11]
- Yleensä biometaani varastoidaan ajoneuvoissa paineistettuna [11]
 - Standardoitu varastointipaine maantieajoneuvoille on 200 bar pois lukien raskaat ajoneuvot, joissa varastointipaine on 250 bar [11]
- Paineistettua kaasua käytetään mm. henkilöautoissa ja jakeluliikenteessä
- Kun ajoneuvon toimintasäde kasvaa, siirrytään nesteytettyyn biometaaniin, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi raskaissa ajoneuvoissa

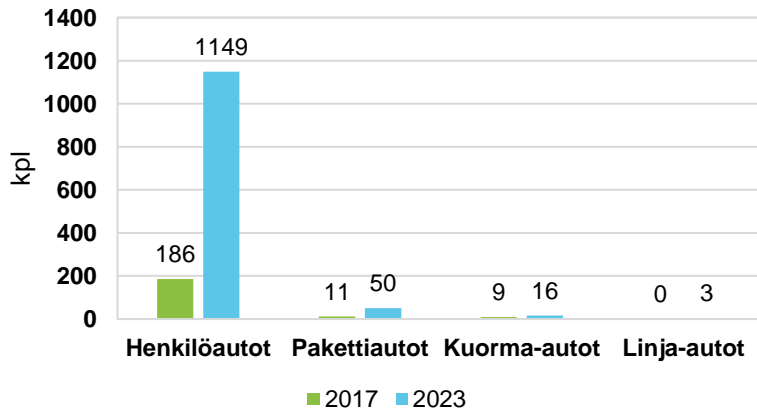
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

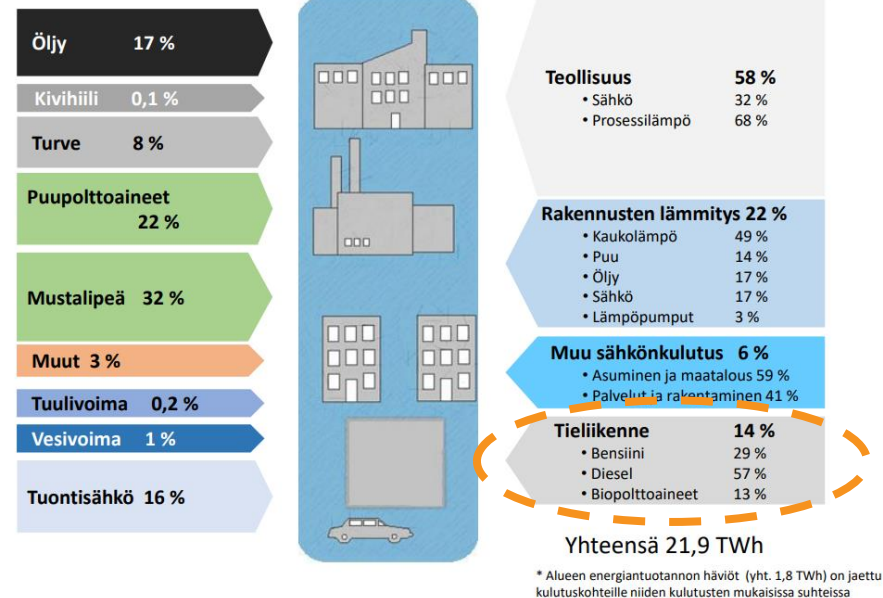


Biometaanin liikennekäyttö Keski-Suomessa

- Keski-Suomen energiataseen mukaan alueella käytettiin vuonna 2019 bensiiniä ja dieseliä yhteensä 2.6 TWh
 - Alueen bensiinin ja dieselin tarpeesta **17%** voitaisiin korvata Keski-Suomen biokaasupotentiaalilla (445 GWh/a)
- Biometaanin liikennekäyttö alueella on viime vuosien ajan ollut suotuisaa: käyttövoimanaan biometaania hyödyntävien ajoneuvojen määrä on kuusinkertaistunut vuosien 2017 ja 2023 välillä [14]



Biometaanina mahdollisena käyttövoimana hyödyntävien ajoneuvojen määrä Keski-Suomessa vuosina 2017-2023. Lähde [14].



Keski-Suomen energiatase 2019. Lähde: [8]

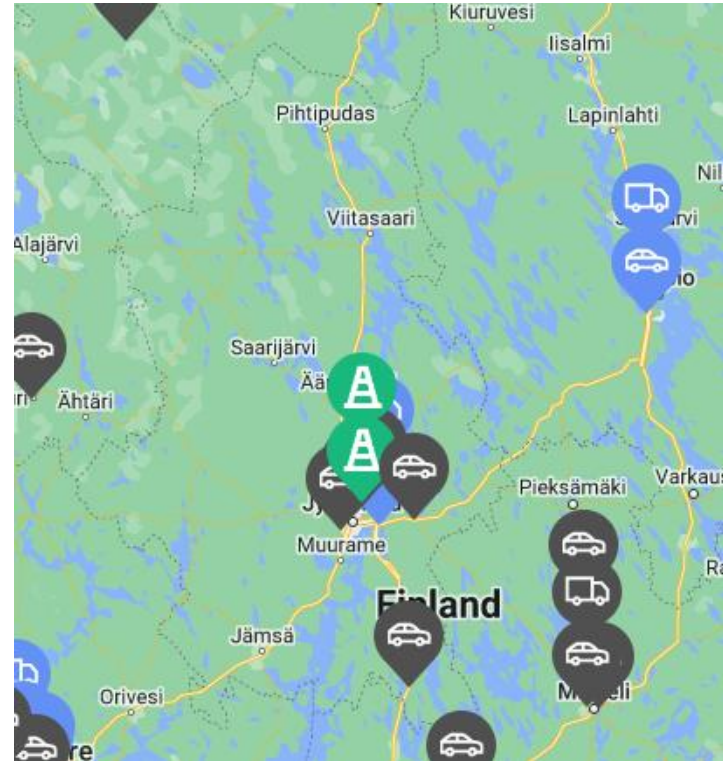
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Biometaanin jakelupisteet Keski-Suomessa

- Keski-Suomen biometaanin jakelupisteverkosto on keskittynyt Jyväskylän alueelle
- Paineistettua biometaania jaellaan Keski-Suomessa kuudella eri asemalla:
 - Jyväskylä, Mustankorkean jätekeskus
 - Jyväskylä, Mustankorkean K-Citymarket Seppälä
 - Leppävesi, Metener Kalmarin tila
 - Lievestuore, Lievestuoreen lämpö
 - Jyväskylä, Gasum Kanavuori (myös LNG)
 - Joutsa, Joutsan ekokaasu
- Lisäksi alueelle on avautumassa uusi asema syksyllä 2023 [15]
 - Jyväskylä, Gasum Seppälänkangas (myös LNG)



Biometaanin tankkausasemat Keski-Suomessa.
Lähde: [15].

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Biometaani teollisuudessa (1/2)

- Biometaania voidaan käyttää teollisuudessa samalla tavoin kuin maakaasua [16]
- Lisäksi biometaani tarjoaa vaihtoehtoisen ratkaisun myös propaanille, butaanille ja öljylle [16]
- Teollisuuden energiantuotannossa biometaania voidaan hyödyntää monin eri tavoin, esimerkiksi kuumen veden ja höyryntuotannossa, kuumennus ja kuivausprosesseissa sekä mm. tilojen lämmityksessä [9,16,17]
- Kemia- ja metsäteollisuuden sektorit ovat Suomen merkittävimmät maakaasun teollisuuskäyttäjät [18]
 - Metsäteollisuudessa maakaasua käytetään mm. paperin kuivaukseen ja energiantuotantoon
 - Kemianteollisuudessa maakaasua hyödynnetään vedyn tuotannossa, ja vety taas toimii raaka-aineena lukuisille kemianteollisuuden prosesseille
 - Lisäksi maakaasua hyödynnetään monissa muissa sovelluksissa, kuten elintarviketeollisuudessa, savi- ja lasiteollisuudessa, asfaltiteollisuudessa, pesuloissa sekä sementti- ja betoniteollisuudessa
- Teollisuudenaloja, jotka hyödyntävät nestekaasua (propani, butaani), ovat muun muassa paperiteollisuus, konepajat, pulverimaalamot ja pesulat [9]

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Biometaani teollisuudessa (2/2)

- Puhdistettua biokaasua voidaan hyödyntää teollisuuden energiantuotannossa, jolloin biokaasun puhdistustason on vastattava laitteistovalmistajien asettamia laatuvaatimuksia [12]
 - Biokaasussa olevat inertit kaasut (hiilidioksidin ja typpikaasu) eivät haittaa energiakäyttöä, mutta nämä kaasut kasvattavat kaasun tilavuutta ja lisäävät varastoinnin ja kuljetuksen tilantarvetta
 - Mikäli teollisuuskäytössä olevaa biokaasua siirretään maakaasuverkkoa pitkin, biokaasu on jalostettava maakaasuverkon laatuvaatimusten mukaisesti vähintään **95%** metaanipitoisuuteen [13,14]
 - Maakaasuverkon lisäksi biometaani voidaan kuljettaa käyttöpaikalle myös kontteihin paineistettuna tai nestemäisessä muodossa
 - Teollisuuskokoluokassa ja etenkin maakaasuverkon ulkopuolella biometaanin kuljettaminen nesteinä voi olla perusteltua suurista volyymeista johtuen [16]
- Mikäli biometaania käytetään esimerkiksi kemianteollisuuden raaka-aineena korvaamaan maakaasua, oletuksena on, että biometaanin laatuvaatimusten tulee vastata vähintään maakaasun siirtoverkon laatuvaatimuksia (biometaanin metaanipitoisuus vähintään 95%)

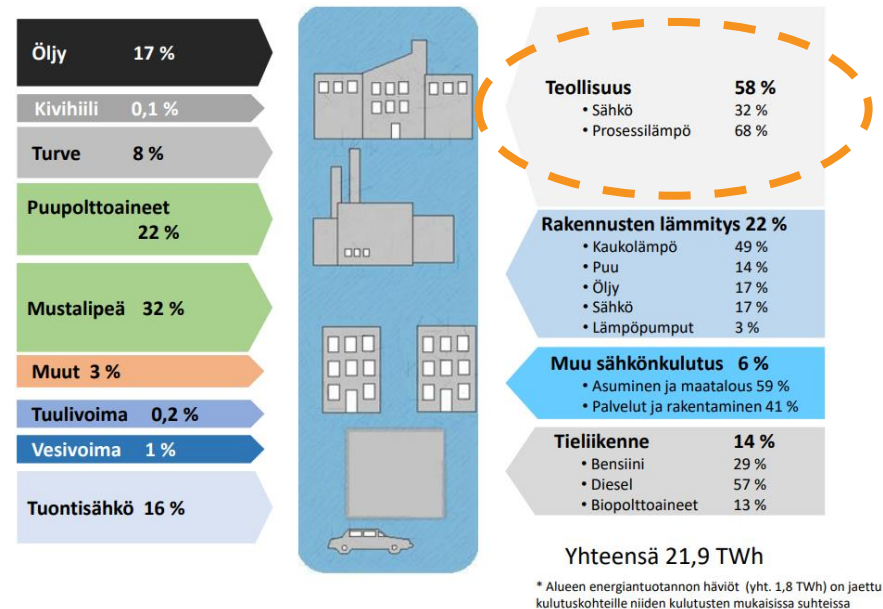
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Biometaanin teollisuuskäyttö Keski-Suomessa

- Teollisuuden energiantarve Keski-Suomessa vuonna 2019 oli 12.7 TWh, josta prosessilämmön tuotantoon kului 8.6 TWh [8]
- Alueen teollisuuden prosessilämmön tarpeesta **5%** voitaisiin kattaa Keski-Suomen biokaasupotentiaalilla (445 GWh/a)
- Biokaasun suotuisa hintakehitys suhteessa fossiilisiin vaihtoehtoihin sekä biokaasun vakaa ja varma saatavuus ovat tärkeitä tekijöitä, jotka voivat edistää biokaasun ja biometaanin käytön lisääntymistä teollisuudessa [16]



Keski-Suomen energiatase 2019. Lähde: [8]

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Lähdeluettelo

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Lähdeluettelo (1/7)

1. Hiilidioksidin markkinat ja käyttökohteet

- [1] Supekar, Sarang. (2015). Environmental and Economic Assessment of Carbon Dioxide Recovery and Mitigation in the Industrial and Energy Sectors. 10.13140/RG.2.2.21135.48804
- [2] IEA, 2019. Putting CO2 to Use. Saatavilla: <https://www.iea.org/reports/putting-co2-to-use>
- [3] Grand View Research, 2021 via Statista <https://www.statista.com/statistics/933202/global-market-value-carbon-dioxide-gas/>
- [4] Yle, 2022. Päästöoikeus kallistui, ja se näkyy sähkön hinnassa – ilmastopolitiikan kulmakivi toimii vihdoinkin niin kuin on tarkoitus, mutta samalla syntyi huoli. Saatavilla: <https://yle.fi/a/3-12316854>
- [5] Sandbag, 2023. Carbon Price Viewer 2023. Saatavilla: <https://sandbag.be/carbon-price-viewer/>
- [6] IEA, 2023. Bioenergy with Carbon Capture and Storage. Available: <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/bioenergy-with-carbon-capture-and-storage>
- [7] Chemical and Engineering News, 2023. We are mining CO2 in America. Available: <https://cen.acs.org/environment/greenhouse-gases/We-are-mining-carbon-dioxide-in-America/101/i14>
- [8] Eurostat, 2023. Statistics on the production of manufactured goods: Carbon dioxide. Saatavilla: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DS-056121_custom_6013987/default/table?lang=en
- [9] Statistics Finland. 2021. Industrial output by PRODCOM. Saatavilla: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/en/StatFin/StatFin_tti/statfin_tti_pxt_13jp.px/
- [10] https://statfin.stat.fi:443/PxWeb/api/v1/en/StatFin_Passiivi/tti/statfinpas_tti_pxt_11b7_2020.px/
- [11] Statista, 2021. Industrial gas leading global companies' sales 2021. Saatavilla <https://www.statista.com/statistics/933444/global-industrial-gas-companies-based-on-sales/>
- [12] Talouselämä, 2022. Eurooppalainen juomateollisuus kärsii hiilidioksidipulasta – Suomalaispanimolla on omalaatuinen ratkaisu ongelmaan. Saatavilla: <https://www.talouselama.fi/uutiset/eurooppalainen-juomateollisuus-karsii-hiilidioksidipulasta-suomalaispanimolla-on-omalaatuinen-ratkaisu-ongelmaan/fa766adf-9100-4a8f-b3d9-a475ed56447e>
- [13]: Tekniikka ja talous, 2022. Eurooppaa koettelee yhä hirveä CO2-pula: Panimoita joutunut lopettamaan – Suomessa "lottovoitto" lievittää, mutta silti vaikeaa on: Kilpailijat joutuneet paikkaamaan toisiaan. Saatavilla: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/eurooppaa-koettelee-yha-hirvea-co2-pula-panimoita-joutunut-lopettamaan-suomessa-lottovoitto-lievittaa-mutta-silti-vaikeaa-on-kilpailijat-joutuneet-paikkaamaan-toisiaan/88de7148-d605-48cc-bf2f-b42d89d4caf9>

Lähdeluettelo (2/7)

[14]. Rathi, 2018. The seemingly illogical reason Europe is running low on carbon dioxide... and beer. Saatavilla:

<https://qz.com/1321073/the-seemingly-illogical-reason-europe-is-running-low-on-carbon-dioxide-and-thus-beer>

[15] U.S. Bureau of Labor Statistics, 2023. Producer Price Index by Commodity: Chemicals and Allied Products: Carbon Dioxide.

Saatavilla: <https://fred.stlouisfed.org/series/WPU06790302>

[16] IEA, 2019. The Future of Hydrogen. Available: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-](https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf)

[7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf)

[17] IRENA and AEA (2022), Innovation Outlook: Renewable Ammonia, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, Ammonia

Energy Association, Brooklyn. Available: [https://www.irena.org/-](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA_Innovation_Outlook_Ammonia_2022.pdf?rev=50e91f792d3442279fca0d4ee24757ea)

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA_Innovation_Outlook_Ammonia_2022.pdf?rev=50e91f792d3442279fca0d4ee24757ea](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA_Innovation_Outlook_Ammonia_2022.pdf?rev=50e91f792d3442279fca0d4ee24757ea)

[18] Talouselämä, 2023. Metsä Group tuottaa 10 miljoonaa tonnia puuperäistä hiilidioksidia vuodessa – aikoo tehdä talteenotosta

bisneksen Fortumin kanssa. Saatavilla: [https://www.talouselama.fi/uutiset/metsa-group-tuottaa-10-miljoonaa-tonnia-puuperaista-](https://www.talouselama.fi/uutiset/metsa-group-tuottaa-10-miljoonaa-tonnia-puuperaista-hiilidioksidia-vuodessa-aikoo-tehda-talteenotosta-bisneksen-fortumin-kanssa/c4eff61f-58f0-4881-96ad-6ef36273b3c6)

[hiilidioksidia-vuodessa-aikoo-tehda-talteenotosta-bisneksen-fortumin-kanssa/c4eff61f-58f0-4881-96ad-6ef36273b3c6](https://www.talouselama.fi/uutiset/metsa-group-tuottaa-10-miljoonaa-tonnia-puuperaista-hiilidioksidia-vuodessa-aikoo-tehda-talteenotosta-bisneksen-fortumin-kanssa/c4eff61f-58f0-4881-96ad-6ef36273b3c6)

2. Hiilidioksidin lähteet ja saatavuus Suomessa ja Keski-Suomessa

[1] Karjunen, H. (2022). Analysis and design of carbon dioxide utilization systems and infrastructures. (Doctoral dissertation,

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT). Acta Universitatis Lappeenrantaensis ,1048. Saatavilla:

<https://lutpub.lut.fi/handle/10024/164753>

[2] IEA, 2019. Putting CO2 to Use. Saatavilla: <https://www.iea.org/reports/putting-co2-to-use>

[3] Laurikko, J., Ihonen, J., Kiviaho, J., Himanen, O., Weiss, R., Saarinen, V., Kärki, J. & Hurskainen, M. (2019). National Hydrogen

Roadmap for Finland. Business Finland. Saatavilla: [https://www.businessfinland.fi/4abb35/globalassets/finnish-customers/02-build-your-](https://www.businessfinland.fi/4abb35/globalassets/finnish-customers/02-build-your-network/bioeconomy--cleantech/alykasenergia/bf_national_hydrogen_roadmap_2020.pdf)

[network/bioeconomy--cleantech/alykasenergia/bf_national_hydrogen_roadmap_2020.pdf](https://www.businessfinland.fi/4abb35/globalassets/finnish-customers/02-build-your-network/bioeconomy--cleantech/alykasenergia/bf_national_hydrogen_roadmap_2020.pdf)

[4] Neste, 2023. Nesteen uusiutuvan vedyn projekti Porvoossa etenee. Saatavilla: [https://www.neste.fi/tiedotteet-ja-](https://www.neste.fi/tiedotteet-ja-uutiset/vastuullisuus/nesteen-uusiutuvan-vedyn-projekti-porvoossa-etenee)

[uutiset/vastuullisuus/nesteen-uusiutuvan-vedyn-projekti-porvoossa-etenee](https://www.neste.fi/tiedotteet-ja-uutiset/vastuullisuus/nesteen-uusiutuvan-vedyn-projekti-porvoossa-etenee)

[5] Kärki et al. (2018). Uutta kestäväää liiketoimintaa bioperäisestä hiilidioksidista - Kooste projektin päätuloksista. Saatavilla:

<https://projectsites.vtt.fi/sites/BioCO2/www.vtt.fi/sites/BioCO2/PublishingImages/tiedotteet/BioCO2%20kooste.pdf>

Lähdeluettelo (3/7)

- [6] Energiateollisuus, 2023. Kaukolämpötilasto 2021. Saatavilla: <https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolampotilasto.html#material-view>
- [7] Alva, 2023. Energiantuotanto. Saatavilla: <https://www.alva.fi/alva/yhtio/energiantuotanto/>
- [8] EEA, 2023. Industrial Reporting under the Industrial Emissions Directive 2010/75/EU and European Pollutant Release and Transfer Register Regulation (EC) No 166/2006. European Environmental Agency. Saatavilla: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/industrial-reporting-under-the-industrial-6>
- [9] Sebastian Teir, Eemeli Tsupari, Tiina Koljonen, Toni Pikkarainen, Lauri Kujanpää, Antti Arasto, Antti Tourunen, Janne Kärki, Matti Nieminen & Soile Aatos. Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS). [Carbon capture and storage (CCS).] Espoo 2009. VTT Tiedotteita - Research Notes 2503. 61 s.
- [10] Biovoima, 2019. Kaasunjalostusyksikkö. Saatavilla: <https://biovoima.com/ratkaisut/kaasunjalostusyksikko>
- [11] Envitecpolis Oy, 2023. Biokaasun tuotannon vauhdittaminen Keski-Suomessa. Saatavilla: <https://keskisuomi.fi/wp-content/uploads/2023/03/Biokaasuntuotannon-vauhdittaminen-Keski-Suomessa.-Keski-Suomen-liitto-Circwaste-hanke.pdf>
- [12] Kinnunen, Viljami (2023). BioTalks: Utilizing biogenic CO2 from biogas plants. Saatavilla: https://www.jamk.fi/sites/default/files/2023-01/Viljami%20Kinnunen%20Gasum%20BioTalksWebinar_Gasum_Hackathon.pdf
- [13] Gasum, 2021. Gasum ja Metsä Fibre tuottavat yhteistyössä biokaasua Äänekosken biokaasulaitoksella. Saatavilla: <https://www.gasum.com/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2021/gasum-and-metsa-fibre-tuottavat-yhteistyossa-biokaasua-aanekosken-biokaasulaitoksella/>
- [14] Yle, 2023. Tässä kontissa puhdistetaan ja pulloetaan ilmastopahis hiilidioksidia – yhdessä vedyn kanssa se voisi korvata vaikka kaikki öljytuotteet. Saatavilla: <https://yle.fi/a/74-20019973>
- [15] Huttunen, M & Kuittinen, V., 2017. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 20. University of Eastern Finland. Saatavilla: <https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2019/06/Biokaasulaitosrekisteri-2016.pdf>
- [16] JS-Puhdistamo, 2022. Nenäinniemi news 2.11.2022: Nenäinniemen puhdistamon lietteenkäsittelyn ja biokaasulaitoksen energiatehokkuuden parantaminen (JSPBio+). Saatavilla: <https://www.js-puhdistamo.fi/2022/11/02/nenainniemi-news-2-11-2022/>
- [17] Perustuen tiedonantoon kyseisten laitosten vuosittaisista biokaasun tuotantomääristä
- [18] Kouri, S., Tsupari, E, Kärki, J., Teir, S., Sormunen, R., Arponen, T. & Tuomaala, M. (2016). The potential for CCUS in selected industrial sectors – summary of concept evaluations in Finland. Energy Procedia, Volume 114, 2017, Pages 6418-6431, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1778>.

Lähdeluettelo (4/7)

[19] AtlasCopo. Käymisessä syntyvän hiilidioksidin talteenotto panimoissa. Saatavilla: <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/industry-solutions/brewery-air-compressor/co2-recovery-brewery>

[20] Kuusrainen, Topias. 2019. Kuorikaasuttimen prosessinohjauksen kehittäminen. Opinnäytetyö, AMK. Saatavilla: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/167036/Kuorikaasuttimen%20prosessinohjauksen%20kehitta%CC%88minen.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

[21] Metsä Group, 2020. Pienensimme hiilidioksidipäästöjämme 3 230 tonnilla. Saatavilla: <https://www.metsagroup.com/fi/metsafibre/uutiset-ja-julkaisut/uutiset-ja-tiedotteet/artikkelit-videot/2020--fi/Pienensimme-hiilidioksidipaastojamme-3230-tonnilla/>

3. Hiilidioksidin hyötykäyttö Keski-Suomessa

[1] Lähde: Kärki et al. 2018. Uutta kestäväää liiketoimintaa bioperäisestä hiilidioksidista - Kooste projektin päätuloksista. Saatavilla: <https://projectsites.vtt.fi/sites/BioCO2/www.vtt.fi/sites/BioCO2/PublishingImages/tiedotteet/BioCO2%20kooste.pdf>

3.1. Hiilidioksidin potentiaaliset nykykäyttökohteet Keski-Suomessa

[1] BIOSYKLI-hanke, 2022. Hiilidioksidin käyttö. Saatavilla: <https://sites.google.com/lab.fi/biosykli-co2/k%C3%A4ytt%C3%B6kohteet/elintarviketeollisuus>

[2] AtlasCopo, xxxx, Käymisessä syntyvän hiilidioksidin talteenotto panimoissa. Saatavilla: <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/industry-solutions/brewery-air-compressor/co2-recovery-brewery>

[3] CO2Meter.com, 2022. Carbon Dioxide (CO2) Purity Grade Chart. Available: <https://www.co2meter.com/blogs/news/co2-purity-grade-charts>

[4] European Biogas Association (2022). Biogenic CO2 from the biogas industry. Saatavilla: https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/10/Biogenic-CO2-from-the-biogas-industry_Sept2022-1.pdf

[5] IEA, 2019. Putting CO2 to Use. Available: <https://www.iea.org/reports/putting-co2-to-use>

[6] Kutuniva, J. 2012. Uusitutvat energiat – Hiilidioksidin hyödyntäminen ja kuivamädätys, ISBN 978-951-39-4803- 0.

[7] Aker Carbon Capture, 2022. Start of construction of CCU project at Twence’s waste-to-energy plant in the Netherlands. Saatavilla: https://akercarboncapture.com/?cision_id=7A20F06051D8AD50

[8] Global CCS Institute, 2018. Saga City: The world’s best kept secret (for now). Saatavilla: <https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/saga-city-the-worlds-best-kept-secret-for-now/>

[9] Saipem, 2023. Carbon capture – Showcase. Saatavilla: <https://www.saipem.com/en/solutions-energy-transition/reduce-co2-emissions/co2-capture-storage/carbon-capture>

Lähdeluettelo (5/7)

- [10] Luonnonvarakeskus, 2023. Puutarhatilastot 2022. Saatavilla: <https://www.luke.fi/fi/tilastot/puutarhatilastot/puutarhatilastot-2022>
- [11] Woikoski. Seoskaasut hitsaukseen. Saatavilla: <http://woikoski2.wm.fi/fi/ammattilaisille/teollisuus/hitsaus/seoskaasut-hitsaukseen>
- [12] Korjala, 2007. Hitsaussuojakaasujen tehokas ja taloudellinen käyttö. Saatavilla: <http://woikoski2.wm.fi/sites/default/files/Hitsaussuojakaasujen%20tehokas%20ja%20taloudellinen%20k%C3%A4ytt%C3%B6%20KK.PDF>
- [13] Dry Ice Finland, 2023. Kuivajääpuhallus. Saatavilla: <https://www.dryice.fi/kuivajaapuhallus/>
- [14] Biosykli, 2022. Hiilidioksidin käyttö: Metsäteollisuus. Saatavilla: <https://sites.google.com/lab.fi/biosykli-co2/k%C3%A4ytt%C3%B6kohteet/mets%C3%A4teollisuus>
- [15] Metsä, 2023. Metsä Group ja ANDRITZ suunnittelevat ligniinituotteen koelaitosta Äänekoskelle. Saatavilla: <https://www.metsagroup.com/fi/uutiset-ja-julkaisut/tiedotteet/2023/metsa-group-ja-andritz-suunnittelevat-ligniinituotteen-koelaitosta-aanekoskelle/>
- [16] Kärki et al. 2018. Uutta kestäväää liiketoimintaa bioperäisestä hiilidioksidista - Kooste projektin päätuloksista. Saatavilla: <https://projectsites.vtt.fi/sites/BioCO2/www.vtt.fi/sites/BioCO2/PublishingImages/tiedotteet/BioCO2%20kooste.pdf>
- [17] STT. What is Precipitated Calcium Carbonate? Saatavilla: <https://www.sttsystems.com/industries/precipitated-calcium-carbonate-production/>
- [18] Metsä Group, 2020. Pienensimme hiilidioksidipäästöjämme 3 230 tonnilla. Saatavilla: <https://www.metsagroup.com/fi/metsafibre/uutiset-ja-julkaisut/uutiset-ja-tiedotteet/artikkelit-videot/2020--fi/Pienensimme-hiilidioksidipaastojamme-3230-tonnilla/>

3.2. Tulevaisuuden potentiaalisia hiilidioksidin hyötykäyttökohteita Keski-Suomessa

- [1] IRENA, 2021. Innovation Outlook: Renewable Methanol. Saatavilla: <https://www.irena.org/publications/2021/Jan/Innovation-Outlook-Renewable-Methanol>
- [2] St1, 2022. St1 suunnittelee synteettisen metanolin pilottilaitosta Lappeenrantaan. Saatavilla: <https://www.st1.com/fi/st1-suunnittelee-synteettisen-metanolin-pilottilaitosta-lappeenrantaan>
- [3] Tilastokeskus, 2023. Energian hankinta ja kulutus. Saatavilla: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehk/statfin_ehk_pxt_13gn.px/table/tableViewLayout1/
- [4] Tuohiniitty, 2023. Hiilidioksidista sementin korvaaja. Saatavilla: <https://bioenergialehti.fi/2023/03/29/hiilidioksidista-sementin-korvaaja/>
- [5] Tekniikka ja Talous, 2023. Maailman ensimmäinen hiilinegatiivisen betonin tuotantolinjasto Hollolaan – Carbonaide tavoittelee 10 tuotantolaitosta Pohjoismaihin. Saatavilla: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/maailman-ensimmainen-hiilinegatiivisen-betonin-tuotantolinjasto-hollolaan-carbonaide-tavoittelee-10-tuotantolaitosta-pohjoismaihin/367779d0-5ae2-4b83-9a77-7e065965fcb0>

Lähdeluettelo (6/7)

[6] Betoni verkkolehti. Carbonaide tähtää hiilenegatiiviseen betoniteknologiaan. Saatavilla: https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2022/05/BET2202_106-113.pdf

[7] Kursula, K., Perumal, P., Ohenoja, K. et al. Production of artificial aggregates by granulation and carbonation of recycled concrete fines. J Mater Cycles Waste Manag 24, 2141–2150 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10163-022-01457-y>

[8] Mäkikouri et al. (2021). Effects of accelerated carbonation on carbon dioxide uptake and compressive strength of biomass ash artificial aggregates. Saatavilla: <https://cris.vtt.fi/en/publications/effects-of-accelerated-carbonation-on-carbon-dioxide-uptake-and-c>

4. Biokaasun ja biometaanin saatavuus ja potentiaaliset käyttökohteet Keski-Suomessa

[1] Envitechpolis Oy ja Keski-Suomen liitto (2023). Biokaasun tuotannon vauhdittaminen Keski-Suomessa. Saatavilla: <https://keskisuomi.fi/wp-content/uploads/2023/03/Biokaasuntuotannon-vauhdittaminen-Keski-Suomessa.-Keski-Suomen-liitto-Circwaste-hanke.pdf>

[2] Kinnunen, Viljami (2023). BioTalks: Utilizing biogenic CO2 from biogas plants. Saatavilla: https://www.jamk.fi/sites/default/files/2023-01/Viljami%20Kinnunen%20Gasum%20BioTalksWebinar_Gasum_Hackathon.pdf

[3] Suomen Biokierto ja biokaasu ry, 2023. Biokaasu 2030. Saatavilla: <https://biokierto.fi/biokaasu/biokaasu2030/>

[4] Suomen Biokierto ja biokaasu ry. Biokaasun Käyttö. Saatavilla: <https://biokierto.fi/biokaasu/kaytto/>

[5] Kylmänen & Pakarinen, 2015. Puhdistamaton, raaka biopkaasu ei kelpaa moderniin hyötykäyttöön, mutta sitä voidaan polttaa soihduilla hätätapauksessa. Suomen Biokaasuyhdistys ry. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[6] Patrikainen, 2022. Biokaasun energiakäyttö. Saatavilla: https://www.oamk.fi/images/Hankkeet/BioKaMa/Biokaasun_energiakytt_raportti_2022.pdf

[7] Työterveyslaitos, 2023. Metaani. Saatavilla: <https://ova.ttl.fi/metaani>

[8] Benet Oy (2020). Keski-Suomen energiatase 2019. Saatavilla: <https://keskisuomi.fi/wp-content/uploads/sites/3/2021/01/Keski-Suomen-energiatase-2019.pdf>

[9] Pakarinen, 2015. Biokaasu Keski-Suomessa 2015. Saatavilla: https://keskisuomi.fi/wp-content/uploads/sites/3/2020/10/24560-Biokaasu_Keski-Suomessa.pdf

[10] Suomen biokierto ja biokaasu ry (2023). Tilastot. Saatavilla: <https://biokierto.fi/tilastot/>

[11] Patrikainen, 2022. Biokaasun energiakäyttö. Saatavilla: https://www.oamk.fi/images/Hankkeet/BioKaMa/Biokaasun_energiakytt_raportti_2022.pdf

Lähdeluettelo (7/7)

- [12] Kylmänen & Pakarinen, 2015. Suomen Biokaasuyhdistys ry. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [13] Työterveyslaitos, 2023. Metaani. Saatavilla: <https://ova.ttl.fi/metaani>
- [14] Traficom, 2023. Liikennekäytössä olevat ajoneuvot neljännesvuosittain 2008-2023.
- [15] Gasum, 2023. Tankkausasemakartta. Saatavilla: <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkausasemat/>
- [16] Spooftuomi (2021). Biometaani teollisuuden energia- ja koekäytössä. Saatavilla: <https://www.uwasa.fi/sites/default/files/2021-12/Biometaani%20teollisuuden%20energia-%20ja%20koek%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4%209.12.2021.pdf>
- [17] Perälä (2019). Biokaasun käyttö teollisuudessa - tarvittavat luvat Tukesilta ja esimerkkejä käyttökohteista. Saatavilla: <https://www.ouka.fi/documents/18161254/0/Biokaasutilaisuus+TUKES/00a3e47d-cdf5-4dc4-aecf-bf173f1ab714>
- [18] Suomen Kaasuyhdistys, 2023. Kaasu Suomessa. Saatavilla: <https://www.kaasuyhdistys.fi/kaasu-suomessa%20/kaasun-kaytto/>