

Hiilidioksidin talteenoton ja hyötykäytön mahdollisuudet Suomessa

Tutkimusryhmän päällikkö Lauri Kujanpää

Sampo Mäkikouri, Juha Lehtonen, Niko Heikkinen, Kati Koponen,
Onni Linjala, Matti Reinikainen, Eveliina Jutila

27/01/2025 VTT – beyond the obvious

Ilmasto- ja muut
ympäristö-
vaikutukset?

Investointien
suuruus?

Teknologian
kypsyys ja
uudet
innovaatiot?

Kannattaako hiilidioksidin hyötykäyttö?

Vaikutukset
työllisyyteen ja
teollisuuden
uudistumiseen?

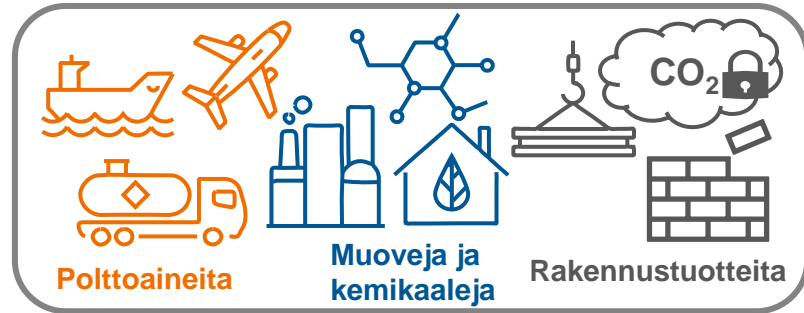
Kuinka suuret
markkinat ja
mille
tuotteille?

Hiilidioksidin
saatavuus?

Mitä regulaatio
mahdollistaa?

Hiilidioksidin hyötykäyttöön tarvitsemme paljon puhdasta energiaa – mitä me hyödyimme siitä?

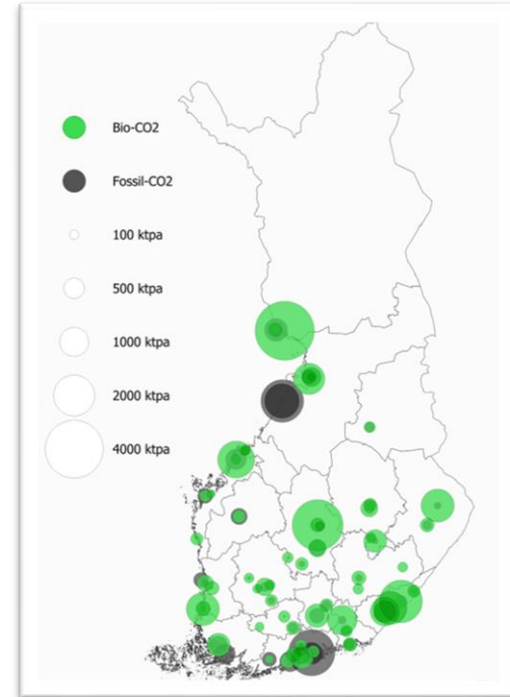
- Hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö (CCU) tuotteiksi vaatii paljon vähäpäästöistä energiaa, mutta näin voimme luoda **korvaajia fossiilisista raaka-aineista valmistetuille tuotteille**. Osa tuotteista voi toimia myös eri ikäisinä varastoina hiilidioksidille.
- Tämä tarkoittaa suurta uudistumista monelle teollisuudenalalle, mikä puolestaan luo **uusia liiketoimintamahdollisuuksia**.
- TT-säätiön rahoittamassa VTT:n projektissa (2024) selvitettiin **hiilidioksidin hyötykäytön vaikutuksia** koko Suomen tasolla, keskittyen **liiketoimintamahdollisuuksiin, markkinoihin ja ohjausekeinoihin**.



Hiilidioksidia hyödyntäen voidaan valmistaa mm. polttoaineita, muoveja, kemikaaleja ja rakennustuotteita. Rakennuksiin käytettävät muovit ja eristeet voivat varastoida hiilidioksidia vuosikymmeniksi, mineraaliset tuotteet jopa pysyvästi.

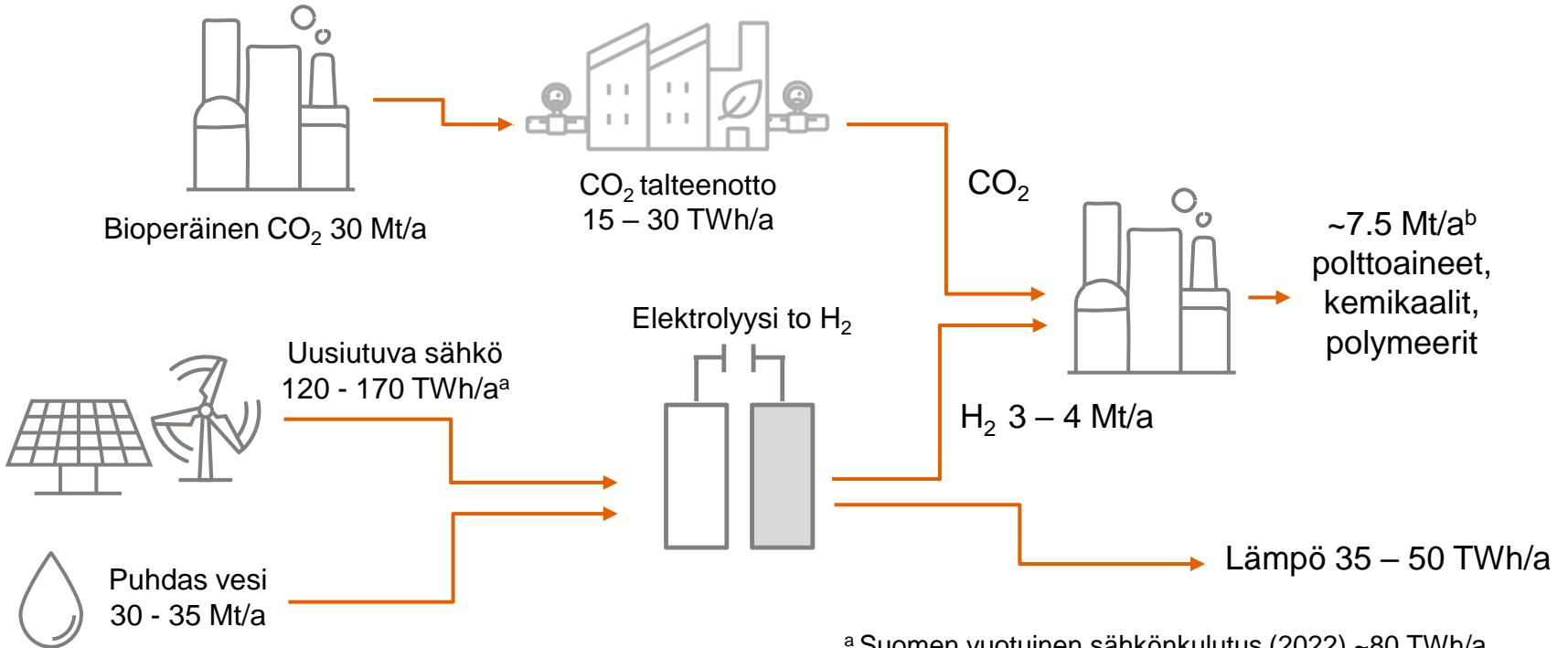
Suomen lähtökohdat hiilidioksidin hyötykäyttöön ja varastointiin

- Suomella on Euroopassa erityisluontoinen asema **merkittävänä bioperäisen hiilidioksidin lähteenä** ja toisaalta maana, jolla ei ole hiilidioksidin varastointiin sopivia geologisia muodostumia. Lisäksi uusi teknologia voi mahdollista hiilidioksidin varastoinnin kaivosjätteisiin.
- **Suomessa syntyy teollisuuden CO₂-päästölähteistä (>0,1 Mt/vuosi) n. 30,1 Mt/vuosi bioperäistä ja n. 15,2 Mt/vuosi fossiilista hiilidioksidia.** Jätteenpoltosta hiilidioksidipäästöjä syntyy n. 1,4 Mt/vuosi (fossiilista ja bioperäistä sekaisin). Tulevaisuudessa CO₂-päästöt voivat olla laskemassa materiaalihyötykäytön lisääntyessä (esim. ligniinin talteenotto, muovin kierrätys) ja vastaavasti polton osuuden pienentyessä.
- **Hiilidioksidia on saatavilla Suomessa ympäri vuoden.** Vaikka esimerkiksi kaukolämmön tuotanto ja päästöt vaihtelevat kausittain, on valmistavassa teollisuudessa ja jätteenpoltossa vaihtelu selvästi vähäisempää.
- Suomen **hiilidioksidipäästöt ovat suuria verrattuna moniin kotimaisiin materiaalivirtoihin;** jos suuri osa tästä halutaan jalostaa korkean arvon tuotteiksi, on tähdättävä **myös Euroopan markkinoille.**
- **Suomessa sähköntuotannon CO₂-päästöt ovat alhaiset, keskimäärin n. 70 gCO₂/kWh** (2020-2022 ka. [Tilastokeskus, 2024](#).), mikä on keskeinen edellytys päästövähennyksille hiilidioksidin hyötykäytön avulla. Vastaava 2020-2022 ka. EU-tasolla on n. 240 gCO₂/kWh. ([EEA, 2023](#)) Hyötykäyttö vaatii lisäksi investointeja puhtaaseen energiantuotantoon.



Kuva 2. Hiilidioksidin pistemäiset päästölähteet Suomessa, >100 kt/a eli > 0,1 Mt/a.

Suomen bioperäiset hiilidioksidipäästöt – uusi merkittävä raaka-aine?

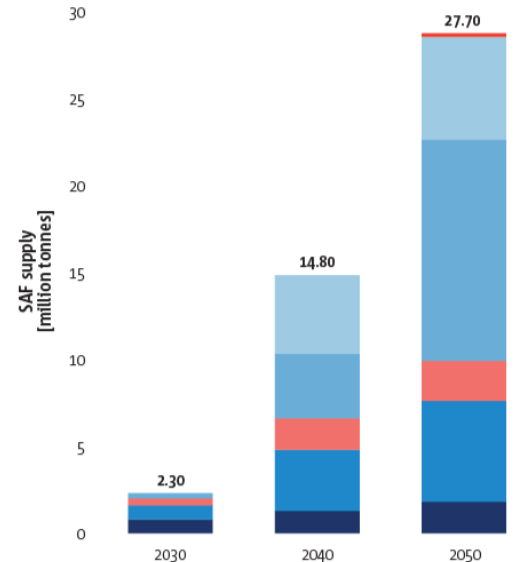
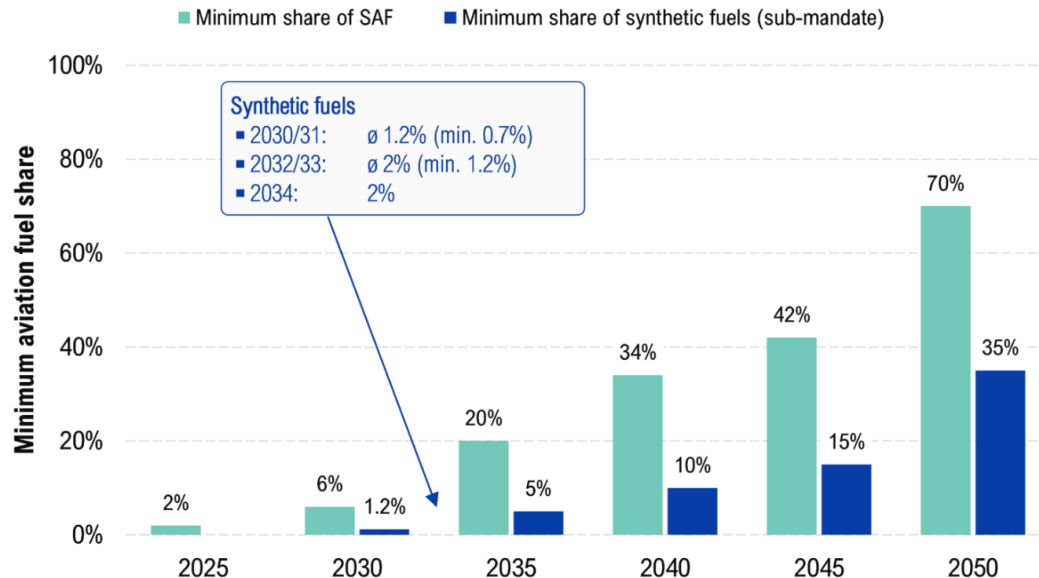


^a Suomen vuotuinen sähkönkulutus (2022) ~80 TWh/a

^b Suomen vuotuinen dieselpolttoaineen kulutus (2023) 2.4 Mt/a

^b Suomen vuotuinen lentopolttoaineen kulutus (2019) 1.0 Mt/a

ReFuelEU Aviation – Lentopolttoaineet ensimmäinen merkittävä kaupallistuva CCU-tuote?



| | 2030 | 2040 | 2050 |
|-----------------|------|------|-------|
| Electricity | 0.00 | 0.00 | 0.20 |
| Gasification+FT | 0.00 | 4.50 | 5.90 |
| PTL | 0.30 | 3.70 | 12.70 |
| Imports | 0.40 | 1.80 | 2.30 |
| ATJ | 0.80 | 3.50 | 5.80 |
| HEFA | 0.80 | 1.30 | 1.80 |

Synthetic fuels = e-fuels = e-polttoaineet

[ReFuelEU aviation - \(sustainable-aviation.net\)](https://sustainable-aviation.net) (Accessed 05/2024)
[Current landscape and future of SAF industry | EASA Eco \(europa.eu\)](https://www.easa.europa.eu/en/industry-concerns/topics/aviation-fuel-supply)

Keskeisimmät tulokset

- **Hiilidioksidista valmistetuille tuotteille tulee kysyntää Euroopassa** matkalla kohti hiilineutraaliutta. Teollisuuden uudistamisen edellytyksinä ovat uusiutuvan energian lisäksi suuret investoinnit ja teknologiakehitys.
- Keskeisimpien CCU-tuotteiden globaalin markkinan odotetaan olevan vuoteen 2050 mennessä suuruudeltaan yhteensä **\$1000 – 3400 Mrd/vuodessa**.
- CCU on tunnustettu keskeiseksi teknologiaksi EU:n ilmastonmuutoksen hillintäkeinojen joukossa, mutta **CCU-regulaatiota on toistaiseksi kehitetty pääasiassa liikennepolttoaineiden osalta**, ja on jäänyt vielä vaillinnaiseksi muiden tuotteiden kannalta.
- **Mahdollinen CCU-skenaario voisi toteutuessaan tarkoittaa Suomelle vuoteen 2040 mennessä:**
 - Tarvittaisiin ~50 TWh/a lisää vähäpäästöistä sähköä. Koko sähköntuotanto Suomessa oli ~78 TWh vuonna 2023. ([Energiateollisuus ry, 2024](#)).
 - CCU-tuotteiden valmistamiseen tarvittaisiin ~1,2 Mt/a vetyä, josta pääosa menisi sähköpolttoaineisiin.
 - Kokonaisinvestointien suuruus olisi yhteensä ~11 000 milj. €
 - CCU-tuotteiden tuotannon arvo liki ~7 000 milj. €/a
 - Hiilidioksidipäästöt vähenisivät Suomessa ~2,5 MtCO₂/a, josta ~1,9 MtCO₂/a sähköpolttoaineiden korvattaessa fossiilisia polttoaineita. Lisäksi vientituotteet vähentäisivät päästöjä merkittävästi muissa maissa.
 - Raakaöljyn tarve pienenesi ~2 Mt/a, ja ~0,7 Mt/a fossiilisiin raaka-aineisiin pohjautuvia tuotteita korvattaisiin CCU-tuotteilla. Mineralliset rakennustuotteet voisivat sitoa pysyvästi ~0,2 MtCO₂/a.
 - CCU-tuotantolaitokset voisivat työllistää suoraan ~1 100 henkilöä.

CCU-tuotteiden tuotantoskenaariot Suomessa 2030 - 2040

- Oletus: 30-40 % Suomen bioperäisistä päästöistä hyödynnetty CCU-tuotantoon 2040 mennessä
- Skenaarioihin valitut tuotesegmentit
 - Liikennepolttoaineet
 - Lento-, meri ja tieliikenne
 - Pitkän elinkaaren materiaalit:
 - Orgaaniset polymeeri (muovit)
 - Epäorgaaniset mineraalituotteet
- Polttoaineiden tuotanto (erityisesti lento- ja meriliikenne) kaupallistuu ensin EU-regulaatioihin perustuen
- Muiden tuotteiden (kemikaalit ja materiaalit) tuotantovolyyymien arvioiminen haastavampaa kehittymättömän regulaatioympäristön vuoksi

| | 2030 | 2035 | 2040 |
|----------------------------------|------------|------------|------------|
| | Mton/a | Mton/a | Mton/a |
| <i>Polttoaineet</i> | | | |
| e-kerosiini | 0 | 0,1 | 1 |
| e-metanoli | 0,05 | 0,2 | 0,6 |
| Tieliikenne dieselmoottorit | 0,05 | 0,1 | 0,2 |
| Tieliikenne Otto-moottorit | 0,05 | 0,1 | 0,1 |
| <i>Kemikaalit ja materiaalit</i> | | | |
| Polymeerit | 0 | 0,05 | 0,2 |
| Epäorgaaniset materiaalit | 0,1 | 0,2 | 0,5 |
| | 0,3 | 0,8 | 2,6 |

~45 TWh/a
lisää vähäpäästöistä
sähköä tarvitaan.

Suomen sähköntuotanto
2023 oli 78 TWh.
([Energiateollisuus ry,
2024](#))

~1,9

MtCO₂/a

Päästövähennyksiä Suomessa
- korvaamalla fossiilisia
polttoaineita tie-, meri- ja
lentoliikenteessä vuoteen 2040
mennessä.

Bio-CO₂

Regulaatio kannustaa
bioperäisen
hiilidioksidin käyttöön
lyhytikäisiin tuotteisiin.

Polttoaineet



~11 Mrd. €

Hiilidioksidin
hyötykäyttölaitosten
rakentaminen Suomeen
voisi tarkoittaa yhteensä yli
11 Mrd. € investointeja 2040
mennessä (sis. vedyn-, ei
sähköntuotantoa).

~20-2000

Mrd.\$/a

E-polttoaineiden
maailmanmarkkinakoko
2050. Suomessa voitaisiin
tuottaa n. 2 Mt/a e-
polttoaineita vientiin ja
kotimaahan.

~230-370

Mrd.\$/a

CCU-polymeerien ja
kemikaalien
maailmanmarkkina
vuonna 2050.

Yhteiset tekijät

Yli 1000
työpaikkaa

Suomeen hiilidioksidin
hyötykäyttölaitoksiin voisi
työllistyä pysyvästi vuonna
2040 suoraan yli 1000
henkilöä.

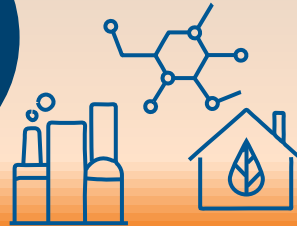
TRL

Teknologian
kypsyytasoa (TRL) on
vielä nostettava usean
reitin osalta, mikä tarjoaa
mahdollisuuden uusille
innovaatioille.

0,2 Mt/a

Pitkäikäisten hiilivetyjen
tuotantoa vuonna 2040 voisi
sitoa hiilidioksidia
vuosikymmeniksi ja korvata
fossiilisia raaka-aineita.

Muovit ja kemikaalit

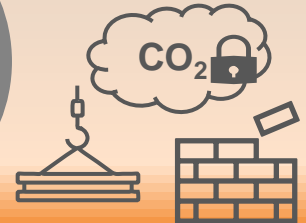


~800-1000

Mrd.\$/a

Hiilidioksidia varastoivien
kiviainesten ja -betonin
maailmanmarkkina vuonna
2050.

Rakennustuotteet

Bio- tai
fossiilinen CO₂

Pysyvään varastointiin on
regulaation tuki
hiilidioksidilähteestä
riippumatta.

0,2 MtCO₂/a

Hiilidioksidia voitaisiin
varastoida pysyvästi
Suomessa
rakennusmateriaaleihin ja
täyteaineisiin vuonna
2040.

Mitä on tehtävä, jotta Suomessa saataisiin toteutettua hiilidioksidin hyötykäytön mahdollisuudet?

- **Korkea jalostusaste ja pysyvät varastot:** Hiilidioksidin hyötykäytössä tulisi panostaa korkean jalostusasteen tuotteisiin sekä pysyviä hiilidioksidivarastoja luoviin tuotteisiin.
- **Puhdas sähkö ja vety – tuotanto ja siirto:** Puhdas sähkö ja vety ovat edellytyksiä hiilidioksidin korkean arvon jatkojalostukselle, joten investoinnit näihin liittyvään tuotantoon ja infrastruktuuriin olisi turvattava hiilidioksidin hyötykäyttöhankkeiden lisäksi.
- **Suuret investoinnit ja juoksevat kulut:** Sähkön- ja vedyntuotannon lisäksi hiilidioksidin talteenotto, kuljetus ja hyötykäyttö vaativat kokonaisuudessaan miljardien eurojen investoinnit. Investointien lisäksi toiminnan juoksevat kulut on katettava CCU-tuotteiden myyntikatteilla tai toimivilla hiilenpoistomarkkinoilla.
- **EU-politiikkaan vaikuttaminen Suomelle suotuisan hiilenpoistomarkkinan luomiseksi:** Markkinat kaipaavat ennakoitavuutta, ja bioperäisen hiilidioksidin varastoinnilta puuttuu vielä vakaa taloudellinen kannustin.
- **Valtion esimerkillä myös yksityistä rahoitusta:** Toistaiseksi yksityistä rahoitusta on kyetty saamaan hiilidioksidin poistoon merkittävässä mittakaavassa vain maissa, joissa on valtioveltoista taloudellista kannustinpolitiikkaa talteenottoon ja varastointiin.
- **Edellytettävä perusteellisia tapauskohtaisia tarkasteluja:** Hiilidioksidin hyötykäyttöhankkeiden kannattavuus talous-, ilmasto-, ympäristö- ja työllisyysnäkökulmista on tapauskohtaista ja hankkeiden vaikutusten perusteellista arviointia kannattaa edellyttää ja tukea.
- **Tahtotila ja yhteiskunnan hyväksyntä:** Yhteiskunnan eri toimijat on otettava mukaan valmisteluun varhaisessa vaiheessa CCU-hankkeita suunniteltaessa erilaisten vaikutusten huomioimiseksi, avoimen keskustelun luomiseksi ja yhteiskunnan edun varmistamiseksi.

bey⁰nd

the obvious

Lauri Kujanpää
Lauri.Kujanpää@vtt.fi