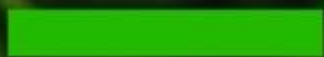




# LAND OF THE CURIOUS



■ KOHTI FOSSIILIVAPAATA PROSESSITEOLLISUUTTA, 17.3.2026

# METSÄ- JA KEMIANTEOLLISUUDEN KOHTALON YHTEYS

Tero Tynjälä

Professori, teknillinen termodynamiikka

LUT yliopisto

[tero.tynjala@lut.fi](mailto:tero.tynjala@lut.fi)



Kohti fossiilivapaata prosessiteollisuutta, 17.3.2026

# TERVANPOLTOSTA TIKKUVIINAAN JA KEMIKAALEIKSI 1500-1900



Aaltonen, E. Korteniemen tervamiilu ja ulkoilmapaja Tammelan Letkun kylässä.

Kansatieteen kuvakokoelma



Rehnstöm, Fredrik. Suomen ensimmäinen paperitehdas vuonna 1847.

Lähde:

[https://fi.wikipedia.org/wiki/Frenckellin\\_aperitehdas#/media/Tiedosto:Tammerkoski\\_Frenckell.jpg](https://fi.wikipedia.org/wiki/Frenckellin_aperitehdas#/media/Tiedosto:Tammerkoski_Frenckell.jpg)



1900 luvun alkupuolella sulfittiselluloosatehtaiden ylijäämäsokeista valmistettiin metanolipohjaista sulfiittispiitä ja edelleen etyylialkoholia.

Lähde: Kari Jokinen, CC BY-SA

3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=37154642>



Yli-Vakkuri, Yrjö, 1943. Armeijan kuorma-auto häkäpönttöineen. Kansatieteen kuvakokoelma



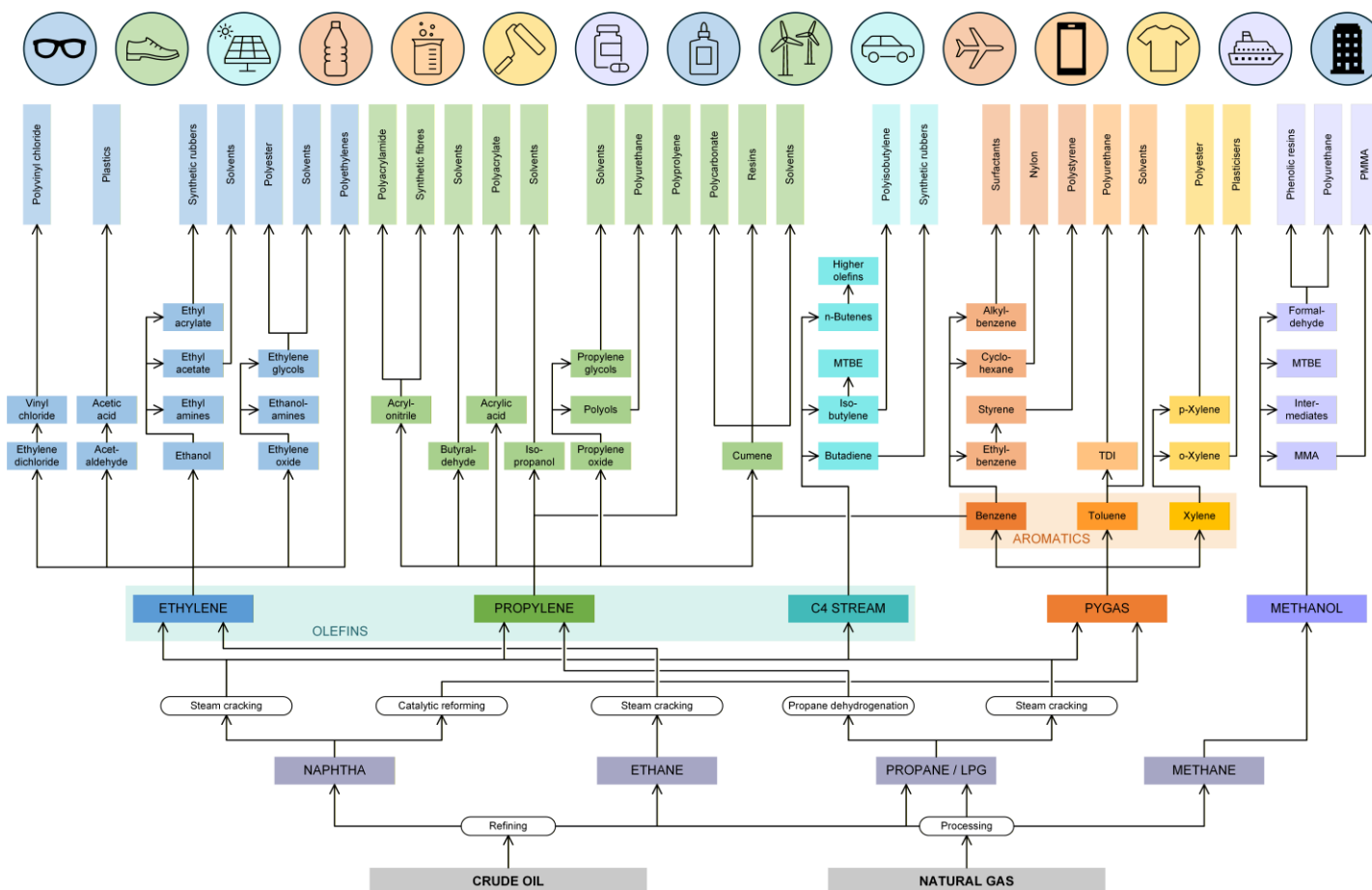
Typpi Oy:n tehdas Oulussa, 1952. Käytti alkuvaiheessa vedyn tuotantoon puukaasutusta ja jatkojalostus ammoniakiksi.

Wikimedia Commons

<https://picryl.com/media/typpi-oulu-1950s-9a6ffa>

Kohti fossiilivapaata prosessiteollisuutta, 17.3.2026

# FOSSIILISTEN NOUSU JA PETROKEMIAN 1900-LUKU



Petrokemikaaleja sisältyy 95 prosenttiin kaikista maailman tuotteista!

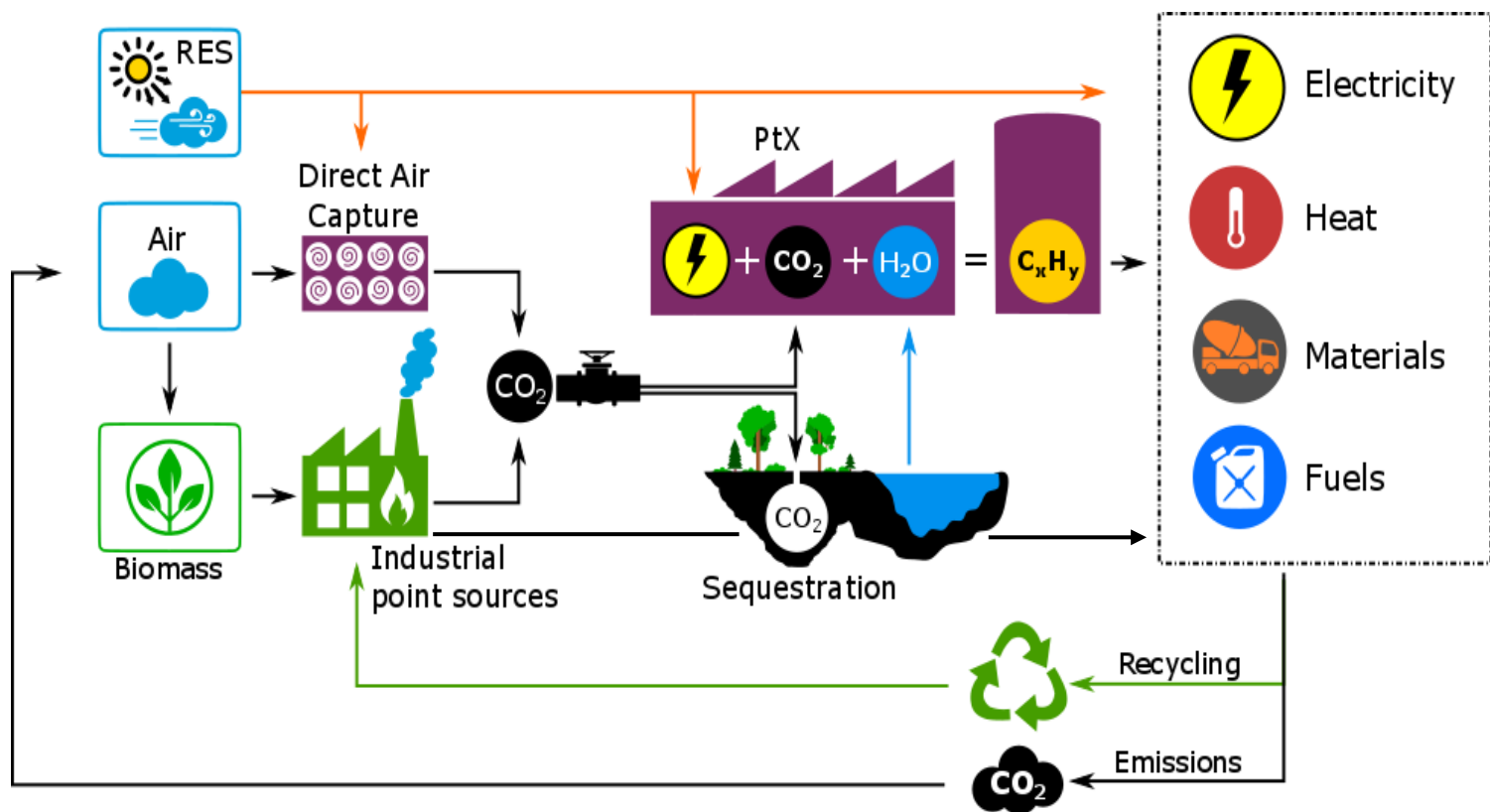
Bio- tai e-Metanoli voivat toimia peruskemikaalina kaikille nykyään fossiilisesta kaasusta ja öljystä tuotetuille petrokemian tuotteille, joko suoraan tai metanolista olefiineiksi (MTO) ja metanolista aromaateiksi (MTA) prosessireittien kautta.

Kuvan lähde: Petrochemicals Europe

<https://www.petrochemistry.eu/about-petrochemistry/flowchart/>

Kohti fossiilivapaata prosessiteollisuutta, 17.3.2026

# KESTÄVÄ TULEVAISUUS 2050 -



## Kestävä järjestelmä

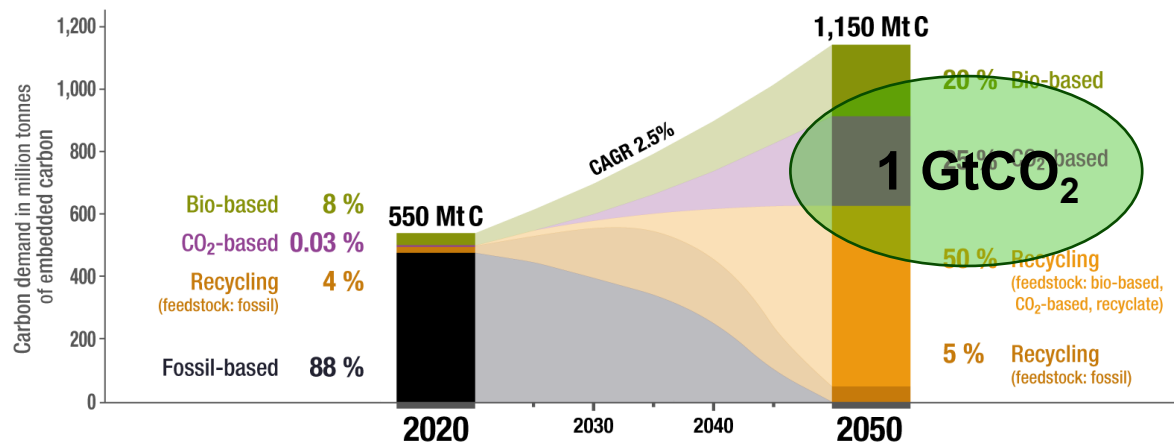
Lopulta ainoa kestävä järjestelmä on suljettu kierto, jossa materiaalit kierrätetään ja prosessien vaatima energia otetaan uusiutuvista lähteistä.

Esiteollisen ajan  $\text{CO}_2$  pitoisuus voidaan saavuttaa CCS:n avulla.

Kohti fossiilivapaata prosessiteollisuutta, 17.3.2026

# BIOPERÄISEN HIILIDIOKSIDIN TARVE JA SAATAVUUS

**Carbon Embedded in Chemicals and Derived Materials**  
updated nova scenario for a global net-zero chemical industry in 2050



available at [www.renewable-carbon.eu/graphics](http://www.renewable-carbon.eu/graphics)

© NOVA-Institute.eu | 2023

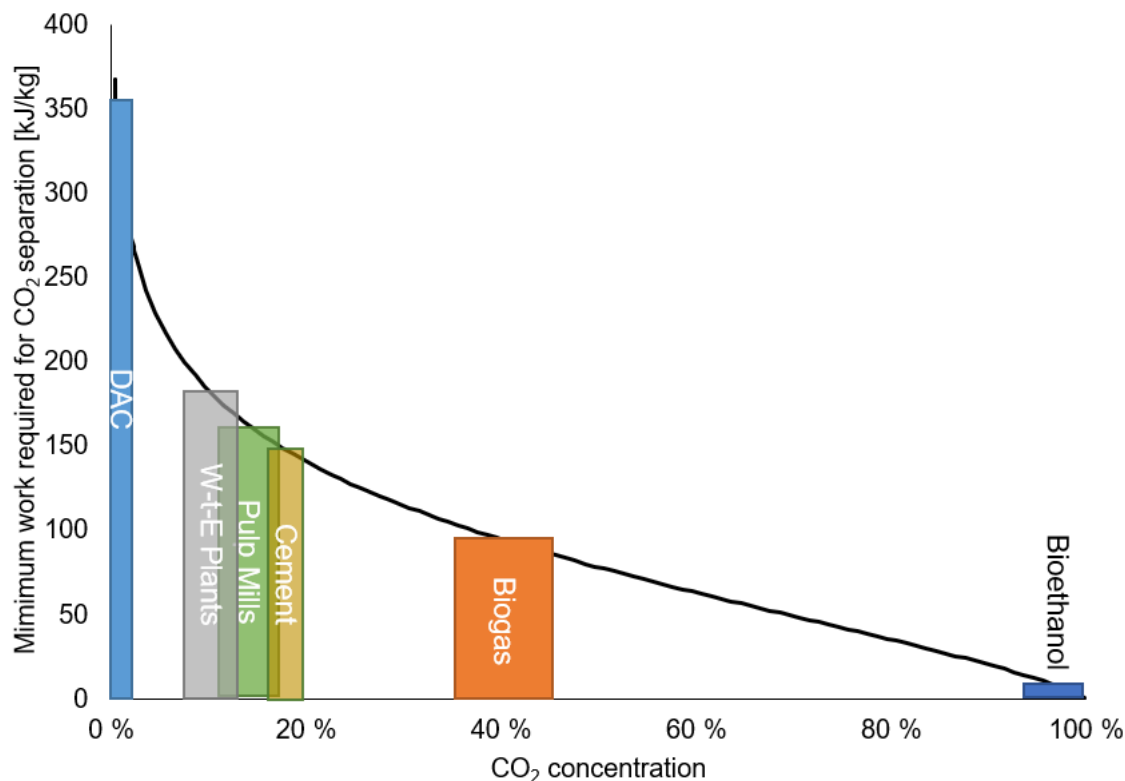
- Globaali CO<sub>2</sub> tarve fossiilisten korvaamiseksi noin 1 GtCO<sub>2</sub>/vuosi vuonna 2050.
- Arvioitu globaali bioCO<sub>2</sub> tarjonta 320-370 MtCO<sub>2</sub>/vuosi pääosin sellu- ja paperiteollisuudesta.<sup>1)</sup>
- Suomen bioCO<sub>2</sub> lähteet (n. 30 MtCO<sub>2</sub>), voisivat kattaa noin 5-10 % globaalista bioCO<sub>2</sub> tarjonnasta.

1) Maersk Mc:kinnley Moller Center fo Zero Carbon Shipping, 2024.  
<https://www.zerocarbonshipping.com/publications/global-availability-of-biogenic-co2-and-implications-for-maritime-decarbonization>

Kohti fossiilivapaata prosessiteollisuutta, 17.3.2026

# HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTO

Hiilidioksidin erotuksen vaatima työ/kustannus riippuu hiilidioksidipitoisuudesta



- Rikkaita korkean CO<sub>2</sub> pitoisuuden (40-100 vol%, dry) lähteitä rajallisesti.
- Nykyinen erotuskustannus pistelähteistä (10-20 vol%) ~80-150 €/t.
- Ilmaerotuksen (DAC) kustannus (0,0004 vol%) ~600-1000 €/t
- Pistelähteet eivät riitä kattamaan tulevaisuuden CO<sub>2</sub> tarvetta, tarvitaan myös suoraa ilmaerotusta

⇒ **Tarkoittaa suurempaa kannattavuutta helpommin hyödynnettäville pistelähteille !**

Kohti fossiilivapaata prosessiteollisuutta, 17.3.2026

# JOHTOPÄÄTÖKSET

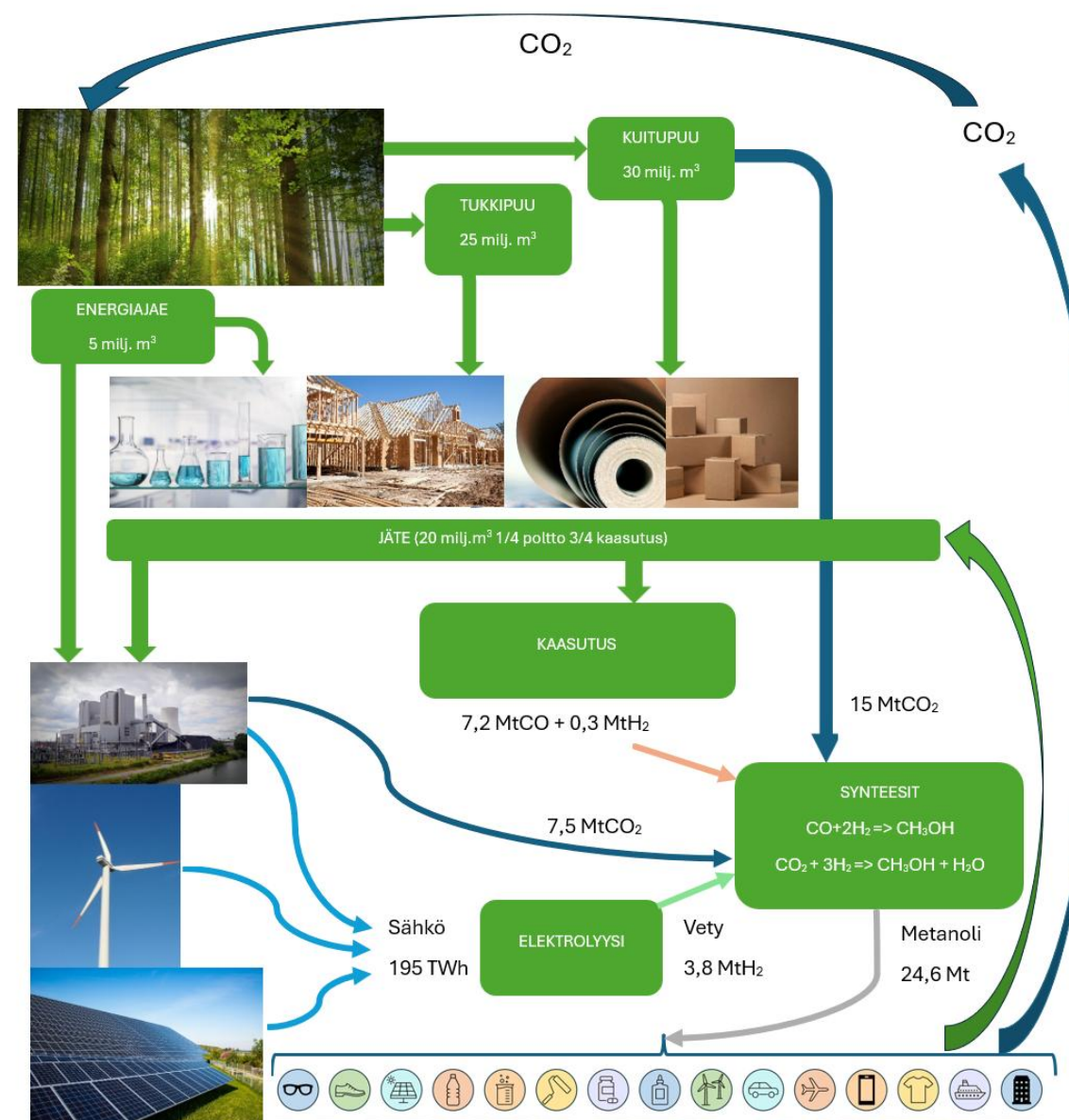
- » **Kaikelle Suomen bioCO<sub>2</sub>:lle riittää markkinoita ja sille on mahdollista saada kilpailukyinen hinta!**
- » Suomen metsäteollisuustuotteiden viennin arvo 12 mrd € (2023).
- » Metanoliksi muutettuna 30 Mt bioCO<sub>2</sub> vastaa n. 20 Mt metanolia, markkina-arvo 10-20 mrd € (500 – 1000 €/t).
- » Tuotetun metanolin energiasisältö olisi noin 120 TWh, joka on noin kolme kertaa Suomen tieliikenteen energiankulutus (n. 40 TWh/a).
- » Hiilidioksidin hyötykäytöllä on mahdollista moninkertaistaa nykyinen metsäsektorin viennin arvo ja lisäksi lopettaa nykyinen n. 10 mrd €/a fossiilisten tuonti.



Kohti fossiilivapaata prosessiteollisuutta, 17.3.2026

# TIKKUVIINAA VETYBUUSTAUKSELLA

- ⇒ Metsällä on jatkossakin suuri rooli Suomen taloudessa, hakkuiden määrä asetettava kestäväälle tasolle n. 60 milj.m<sup>3</sup>/a.
- ⇒ Biomassan suora käyttö materiaalina ja jatkojalostus mahdollisimman pitkälle korkean arvon kemikaaleiksi ja materiaaleiksi.
- ⇒ Hiilen kierron sulkeminen kierrätyksellä ja CO<sub>2</sub> talteenotolla sekä pistelähteistä että suoraan ilmakehästä.
- ⇒ Uusiutuva sähkö ja vety korvaavat suoraan fossiilisia siellä missä mahdollista (teliikenne, lämmön tuotanto).
- ⇒ Kulutuksen kohtuullistaminen, energian säästö, energia- ja materiaalitehokkuus.





LUT  
University