



LAND OF THE CURIOUS



VETYÄ, VIRTAA KAAKKOON LOPPUSEMINAARI 5.3.2024

PAIKALLISEN JALOSTUKSEN JA MUUALLE VIEMISEN EROT

Satu Lipiäinen, tutkijatohtori LUT Yliopisto



AINEIDEN SIIRTO VETYTALOUDESSA

- » Tarve siirtää raaka-aineita (sähkö, hiilidioksidi), (väli)tuotteita (vety), sivuvirtoja (happi) ja/tai lopputuotteita (esimerkiksi metanoli)
- » Maantie-, rautatie- tai putkikuljetus, pidemmille matkoille laivaus
- » Aineiden ominaisuudet voivat olla siirron kannalta haasteellisia
 - » Esimerkiksi vedyn pieni tiheys ja matala kiehumispiste sekä materiaaleja haurastuttava vaikutus
- » Jossain määrin vaaditaan uusia ratkaisuja, jotkin käytännöt olemassa olevaa tekniikkaa
 - » Esimerkiksi olemassa olevia hiilidioksidiputkia 8000 km ja vetyputkia 5000 km



TAVOITTEET

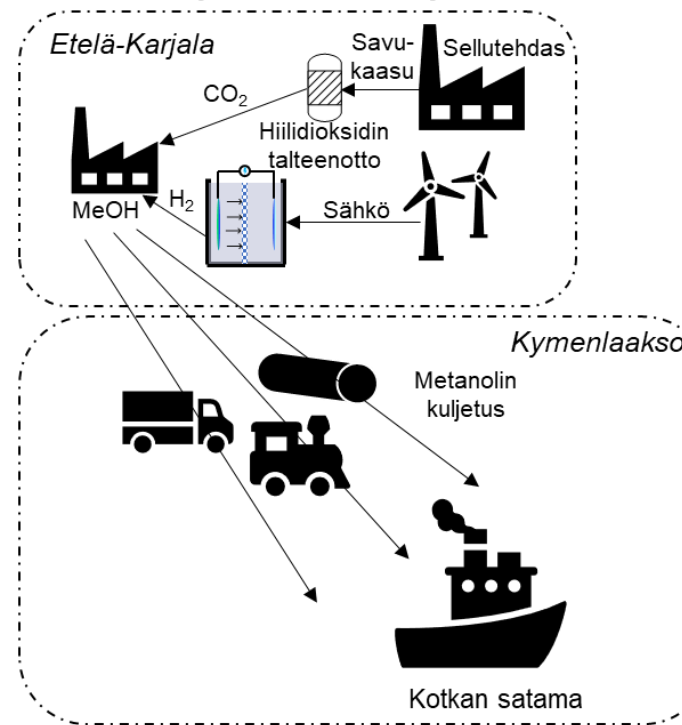
- » Tarkastellaan paikallisen jalostuksen ja raaka-aineiden muualle viemisen eroja
- » Selvitetään, mitkä syyt saavat jalostuksen syntymään energian tuotannon luo ja mitkä aikaansaavat siirron, jolloin paikallinen jalostus ei toteudu
- » Kerätään kuljetukseen liittyviä kustannuksia



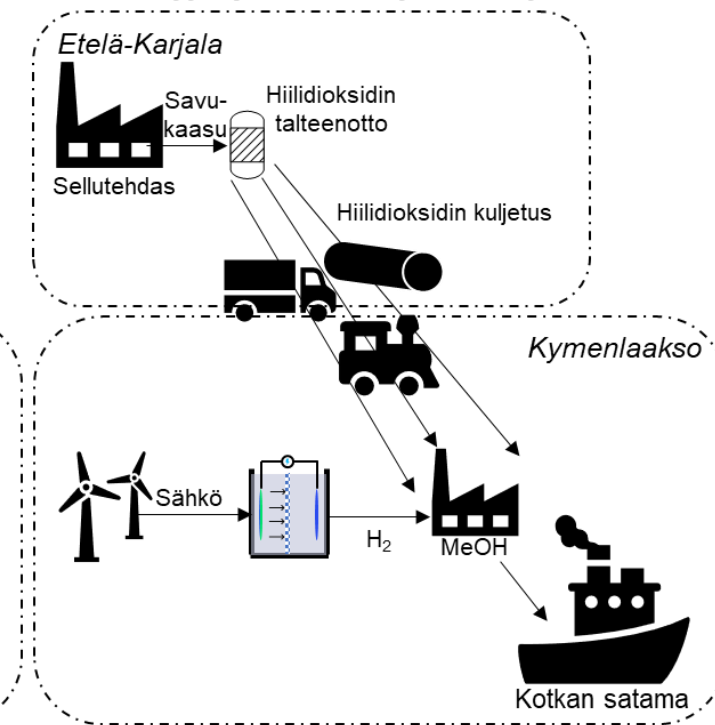
TOTEUTUS

- » Case-tarkastelu
- » Metanoli esimerkkituotteena
 - » $CO_2(g) + 3H_2(g) \leftrightarrow CH_3OH + H_2O$
- » Kuljetuskustannukset kuljetusmenetelmien osalta laskettu Etelä-Karjalan (Imatra) ja Kymenlaakson (Kotkan satama) välille
- » Kolme suuruusluokkaa elektrolyysin tehon mukaan; Case 1: 100 MW, Case 2: 500 MW ja Case 3: 1000 MW
- » Ainevirrat laskettu 8000 h/a tuotannon mukaan
- » Kuljetuskustannuksien lisäksi vertaillaan tuotetun metanolin kustannuksia

A: Hiilidioksidin talteenotto, elektrolyysi ja metanolisynteesi Etelä-Karjalassa



B: Hiilidioksidin talteenotto Etelä-Karjalassa, elektrolyysi ja metanolisynteesi Kymenlaaksossa

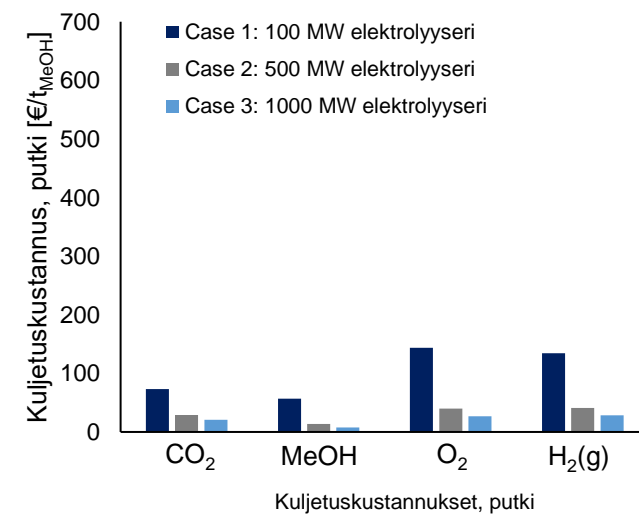
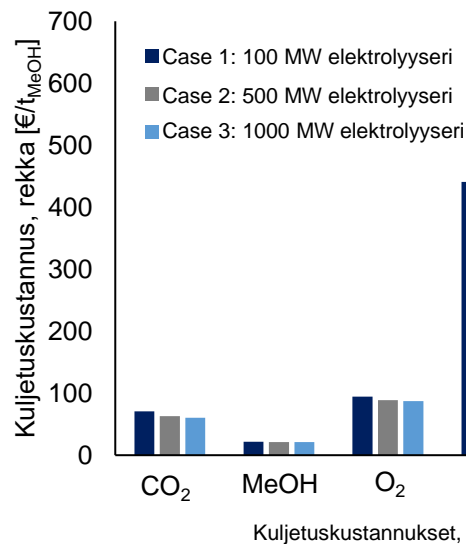
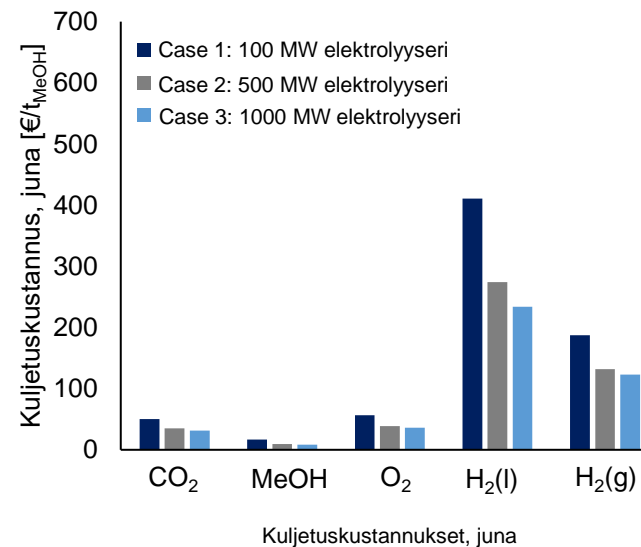




TULOKSET

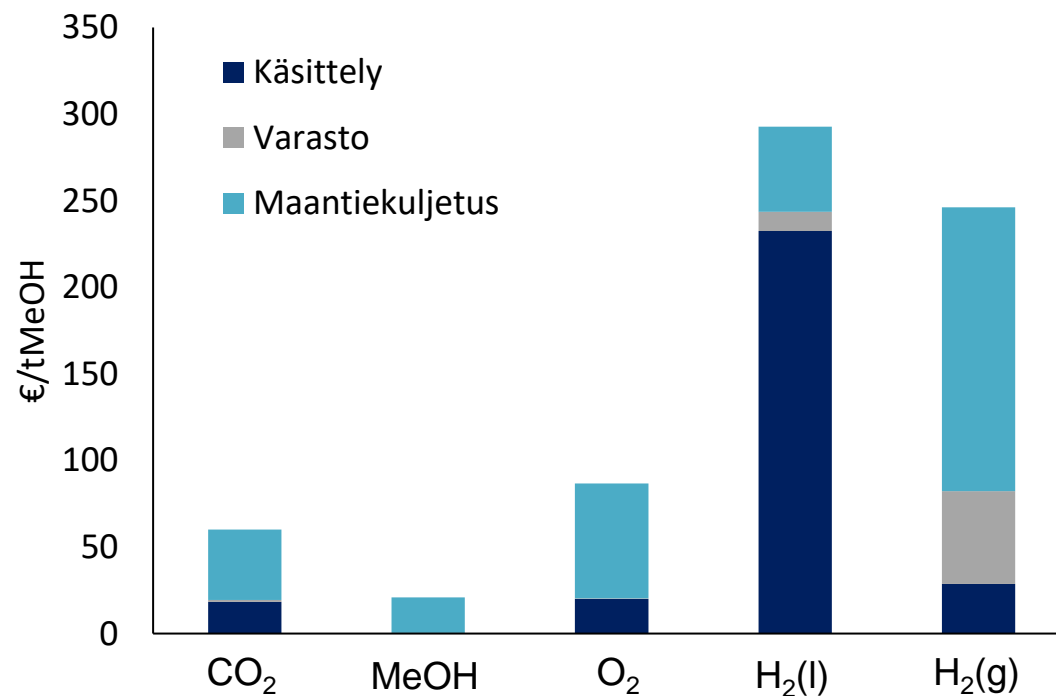
KULJETUSKUSTANNUKSET

- Kustannukset esitetty tuotettua metanolitonnia kohti
- Kuljetettavien aineiden sekä kuljetustapojen välillä on merkittäviä eroja; putkikuljetus edullisin, kun kuljetetaan suuria määriä
- Metanolin kuljettaminen edullista ja vakiintunutta
 - Puoltaa integroitua jalostusta ja lopputuotteen kuljettamista
- Vedyn siirtäminen etenkin maanteitse tai rautateitse kallista
- Vaikka putkikuljetukselle saadaan laskennallisesti edullisia kustannuksia, joitain haasteita on vielä ratkaistava



KULJETUSKUSTANNUKSET

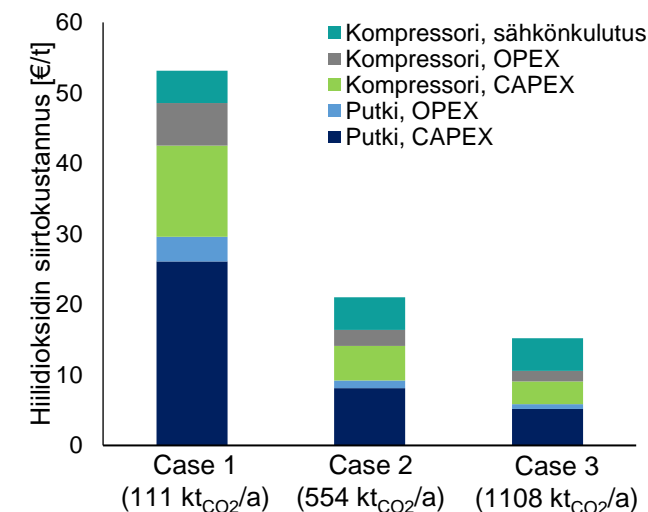
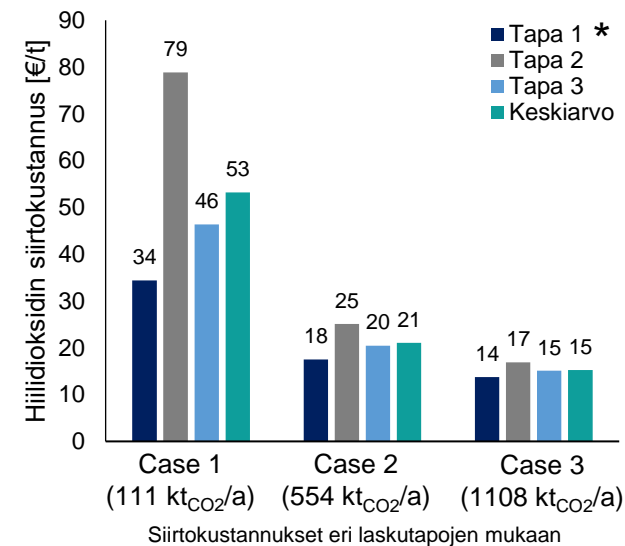
- » Varastointi ja käsittely muodostavat merkittävän osan kuljetuskustannuksista
- » Kohtalaisen lyhyen matkan kuljetuksessa (~200 km) nesteytys muodostaa suuren osan kustannuksista
- » Metanoli ei vaadi merkittävää käsittelyä



Esimerkki kuljetuskustannusten muodostumisesta, maantiekuljetus 1000 MW elektrolyysin tapauksessa

HIILIDIOKSIDIN PUTKIKULJETUS

- » Mikäli suuren kokoluokan jalostus tapahtuu sataman läheisyydessä (Kotka), hiilidioksidia tuotava muualta riittävien pistelähteiden puuttuessa
 - » Hiilidioksidin putkikuljetusta (200km) tarkasteltiin muita kuljetusmuotoja tarkemmin hyödyntäen kolmea eri aiemmissa julkaisuissa esitettyä laskutapaa*
- » Hiilidioksidia siirretään tyypillisesti korkeassa paineessa (~129 bar) (superkriittinen tai "dense phase")
- » Kuljetuskustannukseksi saatiin noin 15–53 €/t_{CO2} eli noin 21–73 € tuotettua metanolitonnia kohden
 - » Kustannukset riippuvat voimakkaasti siirrettävän aineen määrästä sekä siirtomatka
- » Putken rakentaminen kallis ja aikaa vievä investointi. Kompressointi merkittävin käyttökustannus
 - » Putki-investoinnin kannalta olisi tärkeää saada useita tuottajia ja kuluttajia saman putken varrelle



*1) Gao L, Fang M, Li H, Hetland J. Cost analysis of CO₂ transportation: Case study in China. Energy Procedia 2011;4:5974–81.

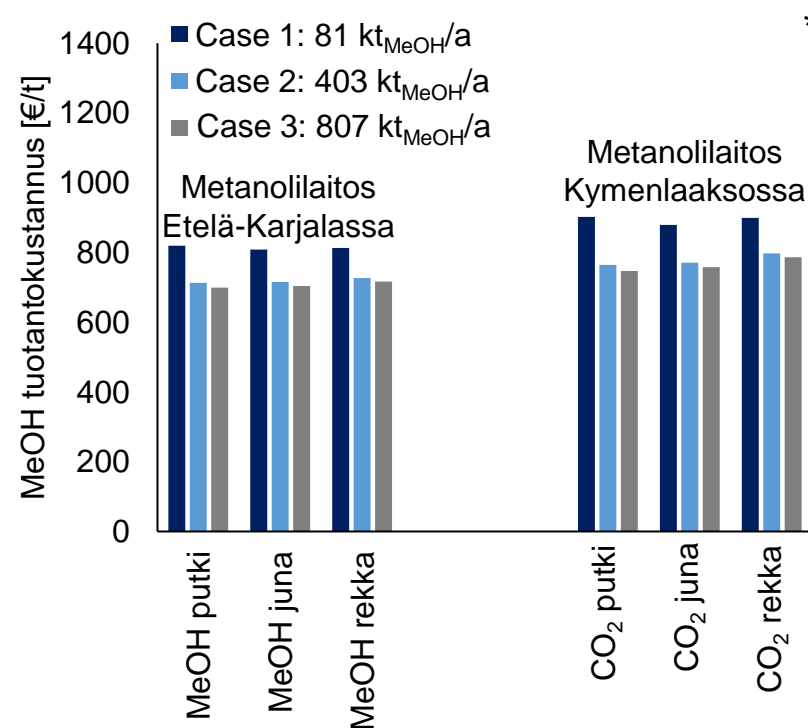
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.02.600>

2) Parker NC. Using Natural Gas Transmission Pipeline Costs to Estimate Hydrogen Pipeline Costs. 2003

3) Dahowski RT, Li X, Davidson CL, Wei N, Dooley JJ. Regional Opportunities for Carbon Dioxide Capture and Storage in China 2009:85

LAITOKSEN SIJAINNIN VAIKUTUS METANOLIN TUOTANTOKUSTANNUKSIIN

- Metanolin hinta noin 7–9% edullisempaa paikallisen tuotannon tapauksessa, mikäli sähkön hinnassa ei ole eroja
 - Hiilidioksidin kuljetuskustannus, mahdollisuus hiilidioksidin talteenoton lämpöintegrointiin
- Mikäli sähköntuotanto voidaan järjestää toisaalla edullisemmin, tarkasteltavassa tapauksessa jo noin 5–10 €/MWh hintaero voi tehdä hiilidioksidin siirron kannattavaksi
 - Merkittävänä tekijänä myös sähkönsiirtoinfrastruktuurin rakentamiseen liittyvät kustannukset, joita ei tarkasteltu
- Tarkasteltavissa tapauksissa alueelliset erot sivutuotelämmön ja hapen hyödyntämisen suhteen verrattain pieniä

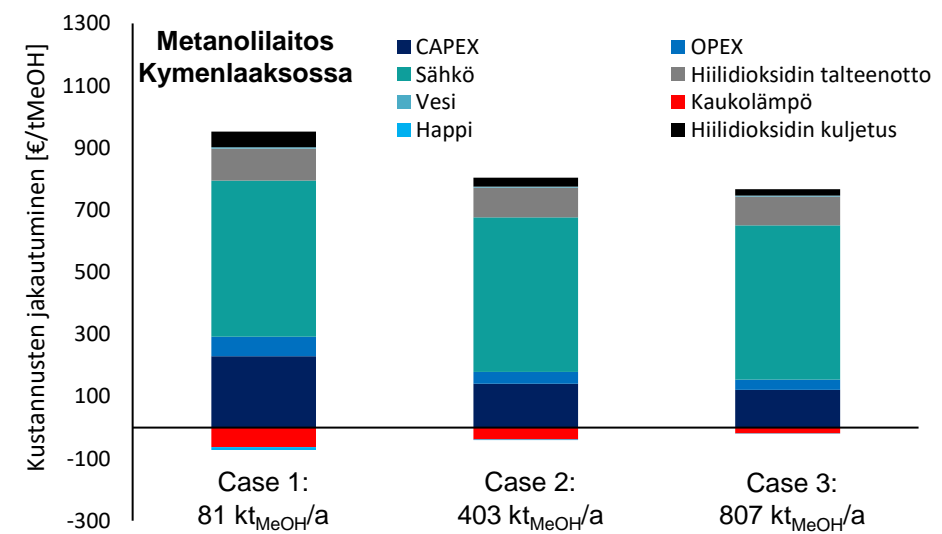
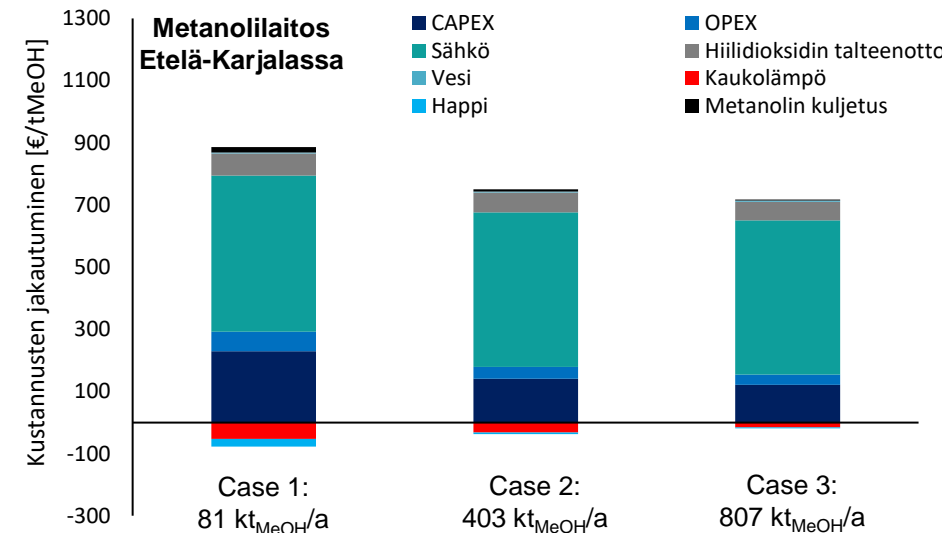


Metanolin tuotantokustannukset Etelä-Karjalassa ja Kymenlaaksossa huomioiden tuotteiden kuljetus

*Sähkön keskihintana käytetty 50 €/MWh ja ajoaikana 8000h/a. Päämääränä tarkastella kuljetuksen vaikutuksia tilanteessa, jossa oletetaan sähkön hinta ja saatavuus kummallakin alueella samoiksi. Tarkoituksena ei ole arvioida tarkasti mahdollisia metanolin tuotantokustannuksia.

METANOLIN TUOTANTOKUSTANNUKSET

- » Vedyn ja metanolin tuotannossa syntyvää hukkalämpöä voidaan hyödyntää kaukolämmityksessä ja hiilidioksidin talteenotossa
 - » Sopivien lämpönielujen saatavuus rajoittaa hyödyntämismahdollisuuksia
 - » Kymenlaakson ja Etelä-Karjalan välillä ei suuria eroja
- » Sivutuotehappi on mielenkiintoinen sivutuote, mutta suurten ostajien löytäminen läheltä haastavaa
 - » Etelä-Karjalan ja Kymenlaakson tapauksessa hapenmyyntimahdollisuus ei vaikuta laitoksen sijoittamispäätökseen
- » Aineiden siirtäminen aiheuttaa kustannuksia ja vaatii infrastruktuurin kehittämistä, mutta kun puhutaan maltillisesta siirtomatkastasta, siirtokustannus on kuitenkin vain pieni osa kokonaiskustannuksista



*Sähkön keskihintana käytetty 50 €/MWh ja ajoaikana 8000h/a. Päämääränä tarkastella kuljetuksen vaikutuksia tilanteessa, jossa oletetaan sähkön hinta ja saatavuus kummallakin alueella samoiksi. Tarkoituksena ei ole arvioida tarkasti mahdollisia metanolin tuotantokustannuksia.

JOHTOPÄÄTÖKSET

- » Monet vedyn jatkojalosteet vaativat hiilidioksidia, ja jalostuksen sijoittaminen hiilidioksidin pistelähteen läheisyyteen vaikuttaa teknillis-taloudellisesti järkevältä. Hiilidioksidin siirtäminen voi kuitenkin tulla kannattavaksi, mikäli sähkönsaanti voidaan järjestää toisaalla edullisemmin
- » Suurien ainevirtojen putkikuljetus on edullista, mutta vaatii suuren kertainvestoinnin. Lisäksi putkella on oltava riittävästi käyttöä
- » Paikallinen vedyn ja metanolin tuotanto Etelä-Karjalassa vaikuttaa taloudellisesti paremmalta vaihtoehdolta kuin hiilidioksidin siirtäminen Kymenlaaksoon jalostettavaksi. Kotkan sataman läheisyyteen sijoitettavan laitoksen etuina puolestaan olisi optio merituuvoimalle, hieman lähempänä sijaitsevat potentiaaliset tuulipuistoalueet ja nykyinen 400 kV sähköverkko





LUT
University