

HELMIKUU 2026

LUT PTX-ARVOKETJU

Selvitys

Johdanto

Käsitteet

1 NYKYTILA

- PtX-ekosysteemin nykytila Etelä-Karjalassa
- Etelä-Karjalan PtX-arvoverkon sijaintiperusteisia ominaisuuksia
- PtX-arvoverkko
- Etelä-Karjalan PtX-arvoketju

2 TEKNOLOGIAT

- PtX-arvoketjun teknologiat
- Vedyn tuotanto
- Hiilidioksidin talteenotto
- Polttoainesynteesi
- Logistiikka

3 TULEVAISUUS JA MARKKINAPOTENTIAALI

- PtX-arvoketjun tulevaisuus ja markkinat
- Esimerkkilaskelma e-metanolin arvoketjusta
- Nostoja markkinoiden muodostumisesta EU:ssa
- Hiilidioksidipohjaisten tuotteiden globaali markkinapotentiaali
- CCU-tuotteiden tuotantopotentiaali kansallisesti ja Suomen vetystrategia
- Alueellinen markkinapotentiaali
- Skaalautuvuus ja investointitarpeet
- Sivutuotteiden mahdollisuudet
- SWOT- ja PESTEL-analysit Etelä-Karjalan PtX-arvoketjusta

4 Yhteenveto ja suositukset

Lähteet

Liitteet

1. PESTEL
2. SWOT
3. Alihankintaketju

JOHDANTO

- » Etelä-Karjalan PtX-arvoketjuanalyysi selventää Etelä-Karjalan tilannetta osana PtX-arvoketjua. PtX (power-to-x) tarkoittaa tässä yhteydessä teknologioita, joilla sähkö muunnetaan eri tuotteiksi.
- » Tässä työssä keskityttiin erityisesti biogeeniseen hiilidioksidiin pohjautuviin e-polttoaineisiin, sillä Etelä-Karjalassa on merkittäviä hiilidioksidilähteitä ja kestävien polttoaineiden kysyntä kasvaa jo lähivuosina lakisääteisten velvoitteiden seurauksena. Vaikka tarkastelun pääpaino on volyymituotteissa, eli e-polttoaineissa, työssä ei suljeta pois myöskään pienemmässä mittakaavassa valmistettavia korkean jalostusarvon tuotteita.
- » Analyysissä käydään läpi PtX-arvoketjun osia ja toimijoita, eri teknologioita sekä laajemman arverkon kehitysnäkymiä. Työn tuotokset perustuvat asiantuntijahaastatteluihin, kattavaan kirjallisuusanalyysiin ja asiantuntijatyöskentelyyn. Työssä esitetyt laskelmat ja arviot perustuvat valikoituihin numeerisiin lähtötietoihin eri hankkeista sekä yleisesti käytettyihin ajantasaisiin kertoiimiin.
- » Analyysin perusteella Etelä-Karjalassa on merkittäviä mahdollisuuksia PtX-arvoketjussa paikallisen vahvuuden eli biogeenisen hiilidioksidin hyödyntämisessä. Keskeistä kehityksen käynnistymisen kannalta on löytää arvoketjun alullepanija, eli hankekehittäjä, sekä solmia pitkäaikaisia sopimuksia hiilidioksidin käytöstä. Arvoketjuun halutaan kytkeä mahdollisimman paljon paikallisia toimijoita, mikä vaatii panostuksia yhteistyön kehittämiseen.

KÄSITTEET

BECCU | Bioenergy with Carbon Capture and Utilisation. Bioenergiaan perustuva hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntäminen, jossa biomassan käytöstä syntyvä biogeeninen hiilidioksidi otetaan talteen ja hyödynnetään esimerkiksi polttoaineiden, kemikaalien tai materiaalien tuotannossa.

BECCS | Bioenergy with Carbon Capture and Storage. Bioenergiaan perustuva hiilidioksidin talteenotto ja varastointi, jossa biogeeninen CO₂ otetaan talteen ja varastoidaan pysyvästi esimerkiksi geologisiin muodostumiin.

Biogeeninen CO₂ | Hiilidioksidi, joka on peräisin biomassasta tai muista uusiutuvista biologisista lähteistä, kuten sellu- ja paperiteollisuuden prosesseista. Biogeeninen CO₂ kuuluu lyhyeen hiilenkiertoon ja sen hyödyntäminen voi vähentää fossiilisen hiilen käyttöä.

CAPEX | Capital Expenditure. CAPEX tarkoittaa yrityksen pitkäaikaisia investointeja fyysisen omaisuuden kuten kiinteistöjen, laitteiden ja teknologian hankintaan, parantamiseen tai ylläpitoon, tukien liiketoiminnan kasvua ja tehokkuutta vuosien ajan.

CCU | Carbon Capture and Utilisation, hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntäminen

CCS | Carbon Capture and Storage, hiilidioksidin talteenotto ja varastointi pysyvästi esimerkiksi geologisiin muodostumiin

CO₂ | Hiilidioksidi

DACCS | Direct Air Carbon Capture and Storage. DACCS tarkoittaa hiilidioksidin suoraa talteenottoa ilmastasta sen pysyvää varastointia.

Elektrolyysi | Sähkökemiallinen prosessi, jossa vettä hajotetaan vedyksi ja hapeksi sähköenergian avulla. Elektrolyysi on PtX-ketjun keskeinen teknologia.

EPC, EPCM | Engineering, Procurement and Construction (and Management). EPC projektintoteutus on urakointimalli, jossa urakoitsija tekee kaiken avaimet käteen periaatteella ja asiakkaan kanssa solmitaan yksi hankintasopimus. EPCM on projektinjohtopalvelumalli, jossa palveluntuottaja tekee kaiken työn asiakkaan puolesta, mutta kaikki hankinnat tehdään suoraan asiakkaan nimiin.

e- (etuliite) | Etuliite, joka viittaa sähköperäisiin tuotteisiin (electricity). Esimerkiksi e-metanoli tai e-kerosiini on tuotettu uusiutuvalla sähköllä, vedyn ja hiilidioksidin avulla.

e-SAF | Electro Sustainable Aviation Fuel. Sähköperäinen kestävä lentopolttoaine, joka valmistetaan PtX-prosesseilla ja täyttää kestäväntä lentopolttoainetta (SAF) vaatimukset.

H₂ | Vety, keskeinen raaka-ainee PtX-prosesseissa. Vety tuotetaan tyypillisesti veden elektrolyysillä uusiutuvaa sähköä hyödyntäen.

Mt | Megatonni, miljoona tonnia

OES | Owner's Engineer Services. Tilaaajan asiantuntijapalvelut, joissa ulkopuolinen asiantuntija tukee hankkeen teknistä, taloudellista ja aikataulullista hallintaa tilaajan näkökulmasta.

Offtake-sopimus | Pitkäaikainen ostosopimus, jossa tuotantohankkeen ja tuotteen ostajan välillä sovitaan tietyn tuotemäärän myynnistä tietyllä sopimuskaudella.

OPEX | Operating Expenditure. OPEX tarkoittaa yrityksen juoksevia, päivittäisiä kuluja, kuten palkkoja, vuokria, sähköä, markkinointia ja tarvikkeita.

PPA | Power Purchase Agreement. Pitkäaikainen sähkönhankintasopimus, jossa sähköntuottaja ja sähkönkäyttäjä sopivat sähkön toimituksesta, hinnasta ja ehdoista. PPA-sopimukset ovat keskeisiä PtX-hankkeiden investointivarmuuden kannalta.

PtX | Power-to-X, P2X. Teknologiat, joissa sähkö muunnetaan muiksi energiamuodoiksi tai tuotteiksi, kuten vedeksi, polttoaineiksi, kemikaaleiksi tai lämmöksi.

RED III | Renewable Energy Directive IIIEU:n uusiutuvan energian direktiivin kolmas versio, joka asettaa sitovia tavoitteita uusiutuvan energian käytölle eri sektoreilla, mukaan lukien liikenne ja teollisuus.

RFNBO | Renewable Fuels of Non-Biological Origin. Uusiutuvat polttoaineet, jotka eivät ole biologista alkuperää, kuten uusiutuvalla sähköllä tuotetut e-polttoaineet. RFNBO-luokitus on keskeinen EU-sääntelyssä.



1 NYKYTILA



PTX-EKOSYSTEEMIN NYKYTILA ETELÄ-KARJALASSA

» Etelä-Karjalassa on panostettu useiden hankkeiden kautta vihreän sähköistymisen ja vetytalouden edistämiseen.

Alla tällä hetkellä käynnissä olevia hankkeita:

- » Etelä-Karjala-ohjelma 2026-2029 nostaa vihreä sähköistymisen ja vetytalouden innovaatiostrategian painopisteiksi ja vihreän siirtymän investointien edistämisen kärkihankkeiksi¹.
- » Etelä-Karjalassa on käynnissä PtX-ekosysteemin kehityshanke, jonka tavoitteena on kartoittaa nykytila, keskeiset toimijat, arvoketju ja kehitystarpeet sekä luoda toimintamalli PtX-hankeyhtiölle².
- » Investointeja ja elinvoimaa Etelä-Karjalaan –hankkeessa haetaan innovaatiokeskittymän teemaan liittyviä yrityksiä täydentämään alueen ekosysteemiä ja hyödyntämään alueen erikoisosaamista vihreän sähköistymisen saralla³.

¹ Etelä-Karjala-ohjelma 2026-2029 ja sen ympäristöselostus

² Etelä-Karjalan PtX-hankeyhtiön ja -ekosysteemin rahoitusmahdollisuuksien selvitys

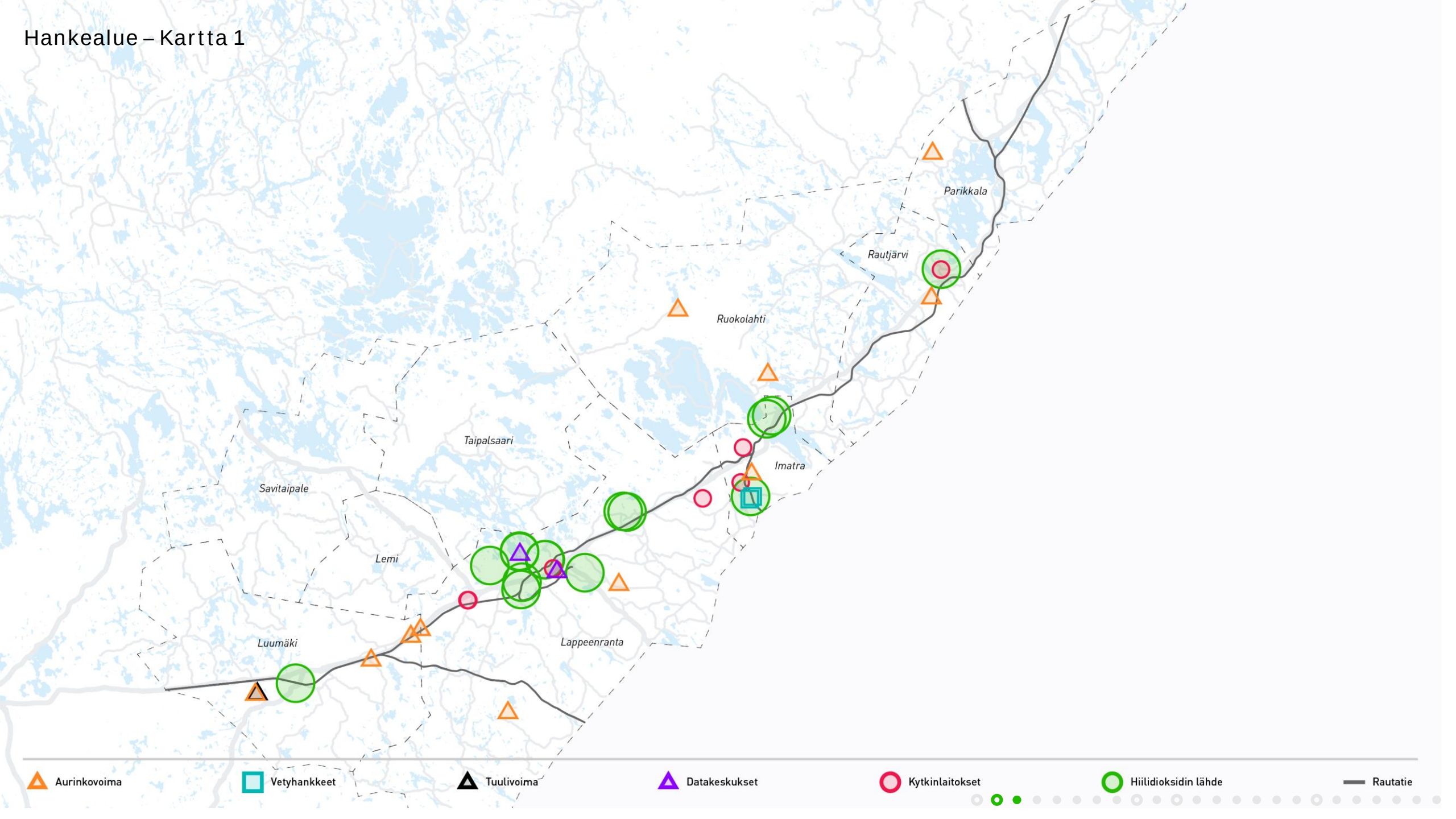
³ Investointeja ja elinvoimaa Etelä-Karjalaan



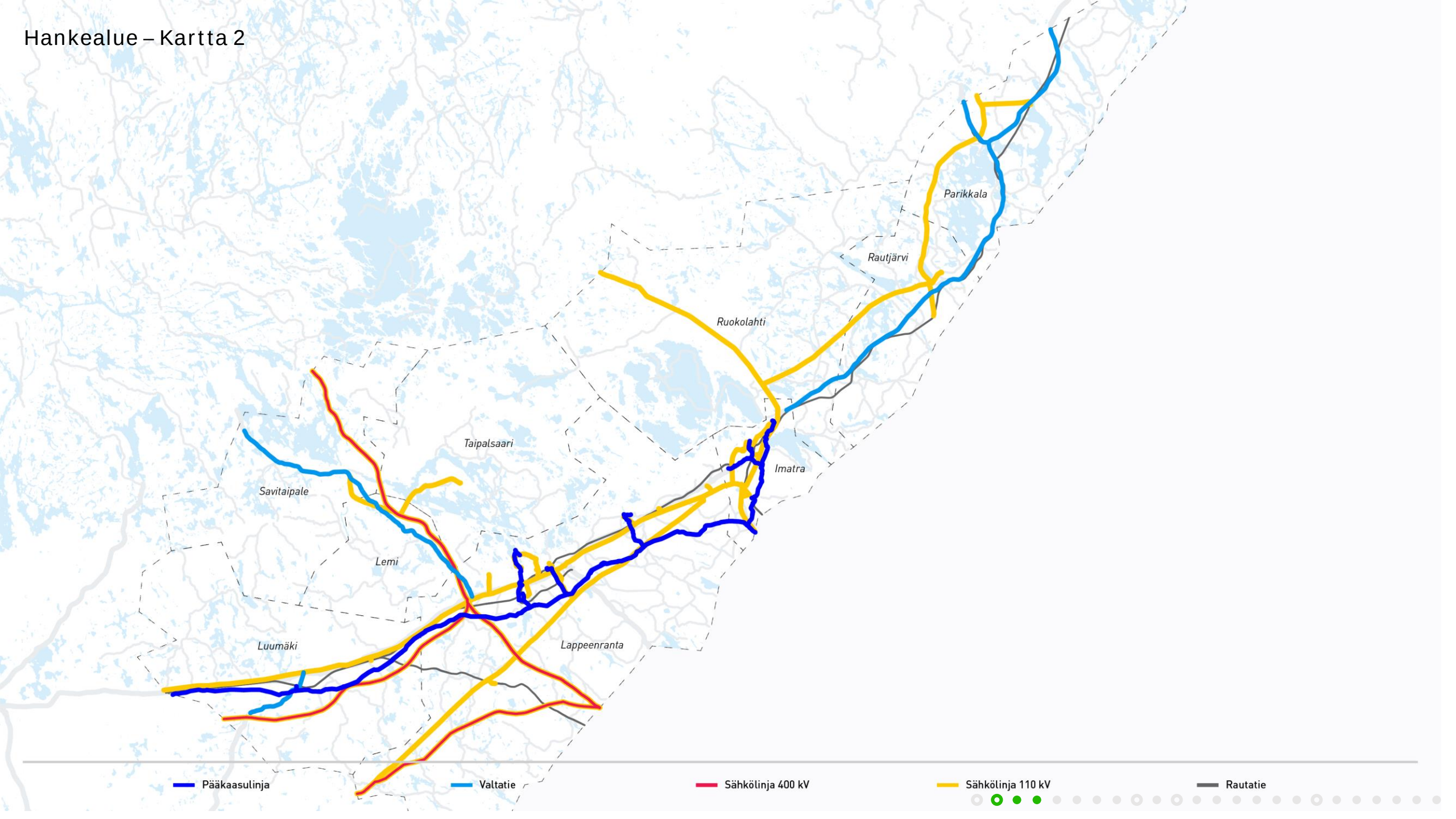
ETELÄ-KARJALAN PTX-ARVOKETJUN SIJAIN T I P E R U S T E I S I A O M I N A I S U U K S I A

- » Seuraavien sivujen karttakuvissa kuvataan PtX-arvoketjun keskeisiä tekijöitä. Ensimmäisessä kartassa on esitetty tunnistettuja uusiutuvan energian hankkeita ja muita hankkeita sekä sähköverkon kytkinlaitokset ja hiilidioksidin lähteitä. Toisessa kartassa puolestaan on esitetty maantie- ja rataverkosto, Fingridin sähkönsiirtoverkko ja Gasgridin kaasuverkko.
- » Karttojen jälkeisillä sivuilla käydään läpi olennaisia sijoittumiseen liittyviä tekijöitä.

Hankealue – Kartta 1



Hankealue – Kartta 2



PTX-ARVOVERKON SIJAIN T I P E R U S T E I S I A O M I N A I S U U K S I A

Sähköverkko

- » Etelä-Karjalassa Fingridin kantaverkkoon kuuluu 110 kV sekä 400 kV voimajohtoja.
- » Kytkinasemilla on Fingridin verkkokiikarin⁴ mukaan vapaana liityntäkapasiteettia seuraavasti:
 - » Imatra 110 kV 100 MW
 - » Konkapelto 110 kV 20 MW
 - » Luukkala 110 kV 50 MW
 - » Tainionkoski 110 kV 100 MW
 - » Vuoksi 110 kV 250 MW
 - » Yllikkälä 400 kV 300 MW ja 110 kV 150 MW.
- » Fingridin Itä-Suomen sähkönverkon kehittäminen suunnitelmassa mainitaan Konkapellon 110 kV sähköaseman perusparannus vuonna 2030 sekä Tainionkosken 110 kV Kytkinlaitoksen uusiminen vuonna 2030, jotka molemmat nostavat liityntäkapasiteettia ⁵.

⁴ Fingridin verkkokiikari

⁵ Itä-Suomen sähköverkon kehittäminen

 PTX-ARVOVERKON SIJAIN T I P E R U S T E I S I A O M I N A I S U U K S I A

Kaasuverkko

- » Imatran ja Lappeenrannan kautta kulkee Gasgridin kaasun siirtoputkisto, mihin on mahdollista liittyä tavanomaisilla liittymisehdoilla ja syöttää tuotannossa syntyvää e-metaania.
- » Kaasun siirtoputkisto mahdollistaa e-metaanin siirtämisen Imatran tehtaille, Joutsenon Pulpille ja Kaukaan tehtaille sekä muille kauempana sijaitseville asiakkaille.
- » Gasgrid voi myöntää verkkoon siirretylle e-metaanille EECS-alkuperätakuun⁶, mikä helpottaa rajat ylittävää kauppaa, lisää läpinäkyvyyttä ja vahvistaa markkinoiden luotettavuutta.

 PTX-ARVOVERKON SIJAIN T I P E R U S T E I S I A O M I N A I S U U K S I A

Investointeja

- » Kevättalvella 2026 Etelä-Karjalaan on suunnitteilla ainakin kolme PtX-hanketta sekä yksi datakeskushanke.
 - » Freija AS Imatra, e-metaani, investointipäätöksen aikataulusta ei tietoa
 - » Norsk E-Fuel Imatra, e-SAF, investointipäätöksen aikataulusta ei tietoa
 - » Solar Foods Oy Lappeenranta, investointipäätös 2026 aikana
 - » Polarnode Oy, Lappeenranta, datakeskus 150 MW, investointipäätös 2026 aikana
- » Maakuntaan on suunnitteilla 13 aurinkosähköhanketta, joista 4 on luvitettu ja loput selvitysvaiheessa⁷. Suurikankaan hankkeen yhteyteen on suunniteltu myös 100 MW tuulivoimaa ja kahteen muuhun hankkeeseen myös akkuinvestoinnit. Kaikkien uusiutuvan energian tuotantohankkeiden suunniteltu kokonaisteho on n. 1,5 GW, mutta hankkeiden toteutumisen tai lopullisen aikataulun suhteen ei ole varmuutta.

 PTX-ARVOVERKON SIJAIN T I P E R U S T E I S I A O M I N A I S U U K S I A

Hiilidioksidin lähteet

- » Etelä-Karjalan maakunnan vuotuiset biogeenisen hiilidioksidin päästöt ovat n. 6 Mt⁸. Suurin osa päästöistä syntyy metsäteollisuuden tuotantolaitoksilla, Stora Enson Imatran tehtaiden ollessa suurin yksittäinen päästölähde.
- » Lämpölaitosten biogeeninen hiilidioksidipäästö on yhteensä n. 70 kt/v, Virasojan biolämpökeskuksen kattaessa puolet. Kaukolämmön tuotannon kausiluontoisuuden vuoksi kesällä päästöjä ei juurikaan tule.
- » Muiden tunnettujen biogeenisen hiilidioksidin lähteiden päästöt ovat korkeintaan muutamia kilotonneja vuodessa ja kertymä on yhteensä n. 8 kt/v.
- » Biogeenisten hiilidioksidin lähteiden lisäksi maakunnassa on myös fossiilisen hiilidioksidin lähteitä, joista suurin on Finnsementti Oy:n Lappeenrannan sementtitehdas n. 0,3 Mt vuotuisella päästöllä⁹.

⁸ Vetytalous ja tuotannon sivuvirtojen hyödyntäminen Kaakkois-Suomessa

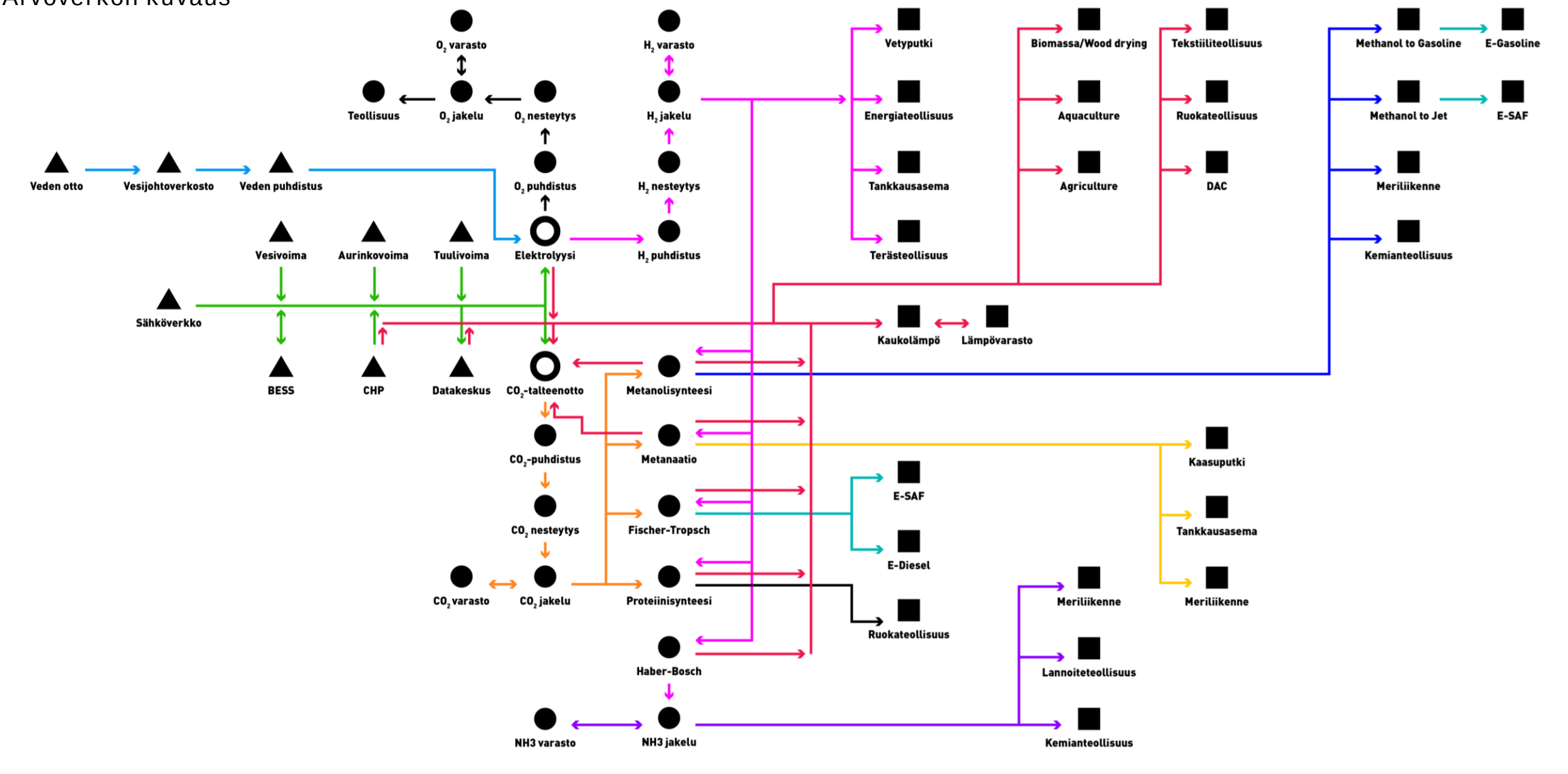
⁹ FinPRTR



PTX-ARVOVERKKO

- » Etelä-Karjalan PtX-arvoverkon kuvaus laadittiin ydinprosessien selvittämiseksi, aine- ja energiavirtojen mallintamiseksi sekä keskinäisten riippuvuussuhteiden havaitsemiseksi. Arvoverkon toimivuus nojaa erityisesti seuraaviin kulmakiviin:
 - » Uusiutuvan sähkön tuotanto ja sähkön sekä siirtokapasiteetin riittävyys
 - » Elektrolyysi ja vedyn jakelu
 - » Hiilidioksidin talteenotto ja jakelu
- » PtX-arvoverkko voi muodostua hyvin paikalliseksi, mikäli tuotanto, syötteet ja loppumarkkinat ovat lähellä toisiaan. Se voi olla myös hyvin laaja-alainen, jos syötteet ja lopputuotteiden markkinat ovat hajallaan.
- » Logistiikalla, ja erityisesti logistiikkakustannuksilla, on keskeinen rooli vedyn, hiilidioksidin sekä PtX-tuotteiden ja sivuvirtojen hyödyntämisessä sekä tuotannon sijoittumisessa.
- » Elektrolyysin ja synteesiprosessien tuottaman hukkalämmön hyödyntämismahdollisuudet ovat monipuoliset ja syntyvät lämpövolyymit voivat olla merkittäviä suhteessa paikalliseen energiankäyttöön. Hukkalämpöjen hyödyntämistä tulee tarkastella osana arvoverkon kokonaiskannattavuutta ja energiatehokkuutta.

Arvoverkon kuvaus

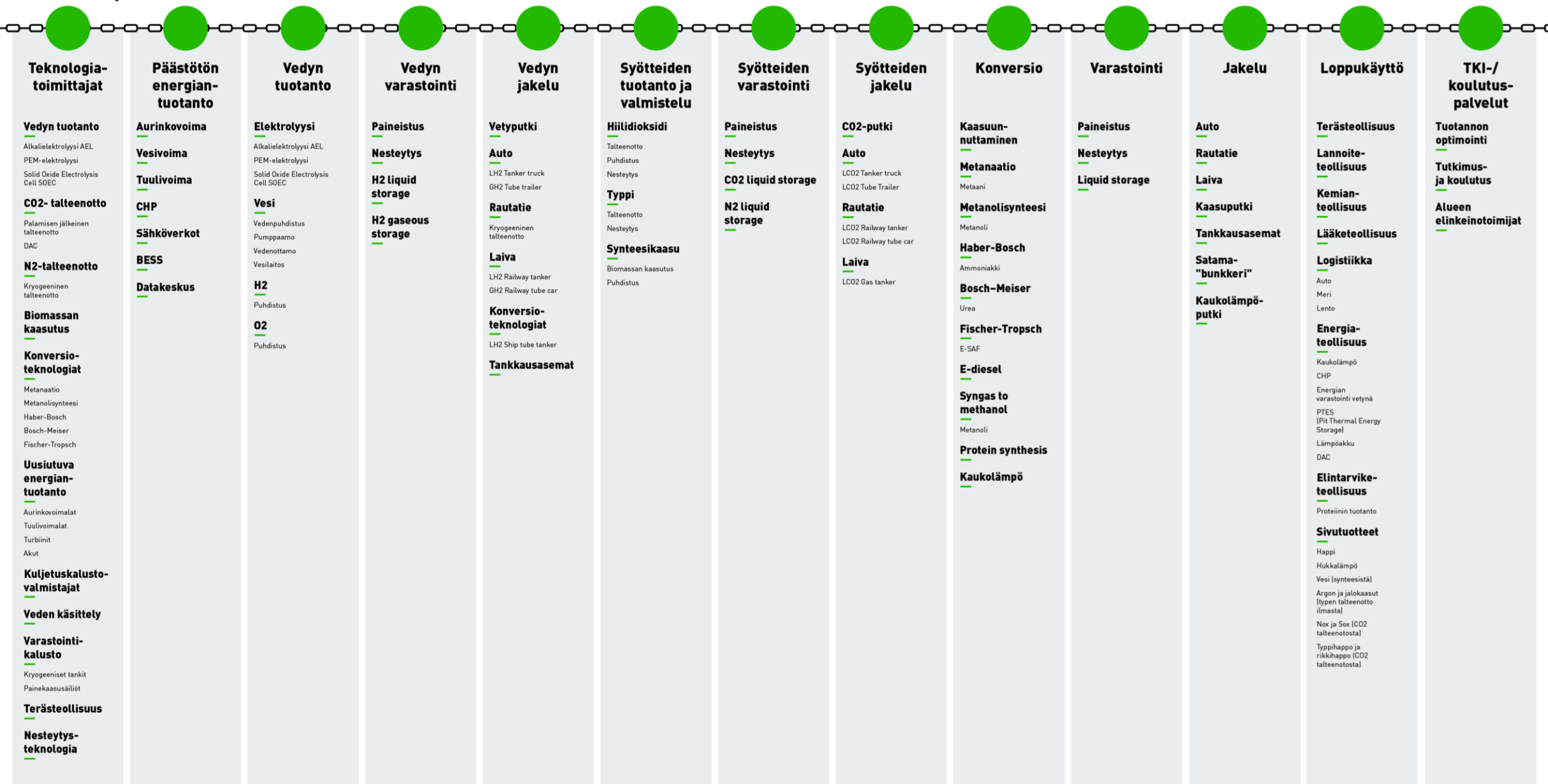




ETELÄ-KARJALAN PTX-ARVOKETJU

- » Etelä-Karjalan PtX-arvoketju kuvattiin kokonaisuutena, joka etenee laitevalmistuksesta lopputuotteiden käyttöön. Arvoketjun eri vaiheisiin tunnistettiin keskeiset teknologiat ja prosessit, joiden avulla voidaan hahmottaa, mitkä toiminnot ovat jo edustettuina alueella ja mitkä puolestaan puuttuvat. Tämä auttaa suuntaamaan kehitystoimia ja tunnistamaan, missä kohdin Etelä-Karjalalla on parhaat edellytykset luoda uutta liiketoimintaa.
- » PtX-arvoketju on lähtökohtaisesti globaali, sillä kaikkia tarvittavia teknologiavalmistajia ei ole Suomessa ja monien lopputuotteiden markkinat ovat Euroopassa. Näkökulma laajenisi entisestään, jos mukaan otettaisiin myös laitteiden valmistuksessa käytettävät materiaalit ja niiden raaka-aineiden tuotanto. Arvoketjun systemaattinen kuvaaminen tarjoaa kuitenkin hyvän perustan arvioida alueellisia osaamistarpeita, yhteistyömahdollisuuksia ja yritysekosysteemin kehittämistä, mikä tukee PtX-hankkeiden sijoittumista ja skaalautuvaa kasvua.

Arvoketju



Arvoketju + yritykset

Teknologiatoimittajat

Vedyn tuotanto /
elektrolyysi

Alkalinen
elektrolyysi AEL

German Sunfire GmbH
Thyssenkrupp Nucera
HyGear
Green Hydrogen
Systems
HydrogenPro
Enapter
LONGi Hydrogen
Technology Co., Ltd.
Hygreen energy
McPhy

PEM-elektrolyysi

Nel Hydrogen
ITM Power
Plug Power
Elogen
Giner Inc
Ohmium
Siemens Energy
Quest One
Solid Oxide Electrolysis
Cell SOEC
Bloom Energy Corporation
Convion Oy
Topsoe
Elcogen Oy

C02- talteenotto

Solelair Power
Fyysiset (Selexol,
Rectisol)

Adsorptio (PSA/VSA)
(Pre-combustion)

Membranit

Amine (MEA)

Andritz
Air Liquide Engineering
& constructions
Aker Solutions
Ionada
Kanfa
Mitsubishi Heavy Industries
Shell CanSolv Co2
GE Vernova

Hot Potassium Carbonate
HPC

Sumitomo SHI FW
Capsol Technologies

Ammoniakkipohjaiset CAP

Solid sorbent

Svante

Absorptio

Cryogenic separation
(Post-combustion,
fysikaalinen)

Air Liquide Engineering &
constructions
(Post-combustion, muut)

Water scrubbing

Carbon ReUse

Oxy+

Sumitomo SHI FW

N2-talteenotto

Biomassan
kaasutus

HYCO 1
Clariant
XyloGas Oy
Q Power Oy
Sumitomo SHI FW
Valmet
Thyssenkrupp
Andritz

C0₂-käsittely
ja kuljetus

Puristus (superkriittinen)
putkikuljetukseen

Nesteytys (cryogenic)
laivakuljetukseen
ja varastointiin

Konversio-
teknologiat

Metanaatio

Q Power Oy
Everllence
Electrochaea GmbH

Etyleeni

Giner inc

C02 -> Metanoli
(Cu/ZnO katalyytti)

Andritz
Carbon Recycling
International
Topsoe

Everllence

Icodos

Clariant

Air Liquide Engineering &
constructions
Johnson Matthey

Syngas -> methanol
(RWGS/CPOX)

Sumitomo SHI FW

Topsoe

HYCO 1

Clariant

Air Liquide
Engineering & constructions

Mitsubishi Gas
Chemical

—

Methanol to gasoline MTG

ExxonMobil

Topsoe

—

MT0-M06D

—

Fischer-Tropsch

—

Syngas -> Methane

Q Power Oy

—

E-SAF

Topsoe

Everllence

Shell

Johnson Matthey

Axens group

—

E-ammoniakki

Topsoe

Andritz

Uusiutuva
energiantuotanto

Tukiteknologiat

Valmet

Kuljetuskalusto-
valmistajat

Veden käsittely

Veolia Water Technologies

Terästeollisuus

Stegra

Hitachi Energy

Päästötön
sähkö

Aurinkovoima

Ruokolahden
Aurinkovoima Oy
Mäen Aurinko Oy
Ilmatar Energy Oy

Vesivoima

Fortum

Tuulivoima

Exilion Tuuli Ky
Suurikankaan
Tuulivoima Oy

Sähköverkot

Fingrid

BESS

Neoen
Mertaniemen
sähkövarasto Oy

Syötteiden
tuotanto ja
valmistelu

Vesi

Vedenpuhdistus
Pumppaamo
Vedenottamo

—

Vesilaitos

Imatran Vesi
Lappeenrannan
Energia Oy
Rautjärven Vesi

Hiilidioksidi

Stora Enson
Imatran tehtaat
UPM Kaukaan tehtaat
Metsä Fibre Joutseno
Finnsementti Oy
Lappeenrannan Energia
Etelä-Karjalan
Jätehuolto Oy
Metsä Board Simpele
Imatran Lämpö Oy
Adven Oy
Oy Linde Gas Ab

Typpi

Talteenotto
Nesteytys

Vety

Elektrolyysi

Konversio

Vety

Paineistettu
—
Nesteytetty

Metaani

Paineistettu
Nesteytetty
Freija AS Imatra

Metanoli

Ammoniakki

Vedyn kantajana
Raaka-aineena

E-SAF

Norsk e-Fuel Imatra

Kaukolämpö

Imatran Lämpö Oy
Kaukaan Voima Oy
Lappeenrannan
Energia Oy
Simpeleen Lämpö Oy
Metsä Board Simpele

Varastointi

Paineistus

Nesteytys

H2 liquid storage

H2 gaseous
storage

C02 liquid
storage

Jakelu

Vetyputki

Gasgrid

Kaasuputki

Gasgrid

Autokuljetus

Kiitosimeon Oy
Freja Finland Oy
Kuljetusliike
Ilkka Huttunen Oy

Rautatie

VR Transpoint

Laiva

LH2 Ship tube tanker
LC02 Gas tanker

Tankkausasemat

P2X
Vireon
H2 Mobility
Hydac Oy

Satamabunkkeri

Loppukäyttö

Terästeollisuus

Ovako

Lannoite-
teollisuus

Yara

Kemian-
teollisuus

Kemira

Energia-
teollisuus

Elintarvike-
teollisuus

Solar Foods Oy

TKI/
tukipalvelut

Tuotannon
optimointi

Neovolt Oy

Tutkimus-
ja koulutus

Lappeenrannan
teknillinen yliopisto
LAB
Saimaan ammattiopisto,
Sampo

Alueen
elinkeino-
toimijat

Business Lappeenranta
Business Imatra Region



Suomessa sijaitseva tai toimiva yritys/organisaatio



Etelä-Karjalassa sijaitseva tai toimiva yritys/organisaatio



 ETELÄ-KARJALAN PTX-ARVOKETJU

Tunnistettuja osia ja toimijoita

- » Tunnistimme PtX-arvoverkon osia ja toimijoita, jotka sijaitsevat Etelä-Karjalassa ja Suomessa.
- » Etelä-Karjalan arvoverkossa parhaiten edustettuina ovat syötteiden tuotantoon ja valmisteluun osallistuvat toimijat kuten metsäteollisuuden tuotantolaitokset sekä vesilaitokset. Linde Gas Oy:llä on käytössä DAC hiilidioksidin talteenotto Ovakon tehtaalla. Uusiutuvan energian tuotannossa löytyy useita eri toimijoita, joista aurinkovoiman tuottajat ja hankekehittäjät ovat monilukuisimmat.
- » Teknologiaoimittajien osalta puutteet ovat merkittävät. Soletair Power on maakunnan ainoa teknologiaoimittaja, eikä koko Suomesta löydy montaa toimittajaa. Ainoa tunnistettu syötteiden tai lopputuotteiden varsinainen jakelija on Gasgrid. Vaarallisten aineiden kuljetukseen erikoistuneita yrityksiä maakunnassa toimii muutamia.

ETELÄ-KARJALAN PTX-ARVOKETJU

Toimittajien tunnistaminen ja luokittelu 1/2

- » PtX-toimitusketju luokiteltiin neliportaisesti:
 - » Tier 0 Strateginen ja projektitason hallinta
 - » Tier 1 Ydinprosessit ja pääteknologiat
 - » Tier 2 Prosessikomponentit ja tukirakenteet
 - » Tier 3 Palvelut, logistiikka ja tukitoiminnot
- » Tier 0 on hankeyhtiö tai EPC/EPCM-toimittaja, joka on toimitusketjun loppuasiakas. Alemman tier-tason toimittaja on alihankkija ylemmän tason toimittajalle.
- » Toimitusketjuun kuuluvia yrityksiä tunnistettiin haastatteluiden ja yrityslistojen avulla sekä verkkohauulla.

 ETELÄ-KARJALAN PTX-ARVOKETJU

Toimittajien tunnistaminen ja luokittelu 2/2

- » Tunnistimme jokaiselta Tier-tasolta Etelä-Karjalassa toimivia yrityksiä. Toimitusketjusta on laadittu erillinen taulukko (liite 3)
- » Tier 0-tason yrityksiä maakunnassa ovat hankeyhtiöt Solar Foods Oy, Norsk E-fuel ja Freija AS. EPC-, EPCM- tai OES-toimittajia on Suomessa muutamia kuten AFRY, Andritz, Elomatic ja Sweco.
- » Tier 1-tason ydinteknologiatoimittajien osalta Etelä-Karjalasta löytyy vain hiilidioksidin talteenotto-ratkaisua tarjoava Soletair Power Oy ja merkittäviä toimittajia Suomessa ovat vain Andritz ja Sumitomo SHI FW.
- » Tier 2-tasolta tunnistimme erityisesti konepajapalveluja tarjoavia yrityksiä.
- » Tier 3-tasolla toimivista yrityksistä tunnistimme huolto- ja kunnossapito- sekä ICT-palveluntarjoajia.

 ETELÄ-KARJALAN PTX-ARVOKETJU

Mahdollisuudet

PtX-arvoketjun toimittajiin liittyviä mahdollisuuksia on koottu tälle sivulle. Kokonaisvaltainen PtX-arvoketjun mahdollisuuksien SWOT-analyysi (strengths, weaknesses, opportunities and threats) on esitetty tämän raportin sivulla 52 ja liitteessä 2.

- » Tier 0-tason yritykset kuten hankeyhtiöt ja EPC-, EPCM- ja OES-toimittajat tarvitsevat osaavia ja laadukkaita teknologiatoimittajia sekä alihankkijoita investointiprojektien toteutukseen. Alihankintaketju tarjoaa globaaleja mahdollisuuksia teknologia- ja komponentti-innovaatioille sekä paikallisia mahdollisuuksia rakentamiseen, asennuksiin, huoltoon ja logistiikkaan.
- » Haastatteluiden mukaan tärkeitä alihankintaketjun osaamisalueita ovat:
 - » Hiilidioksidin talteenotto- ja puhdistusteknologia
 - » Paineilmaratkaisut
 - » Elektrolyysit
 - » Ilmalämpöpumput ja lämmön siirto
 - » Sähkö ja automaatio
 - » Logistiikka
- » Alihankintaketjun yrityksiltä edellytetään vahvaa ja kilpailukykyistä tuotetta tai palvelua, kasvupalukkuutta, korkeaa laatua sekä toimitusvarmuutta. Pääsy toimitusketjuun tapahtuu käytännössä seuraavan tason toimijoiden kautta, mutta Tier 0 -yritykset toimivat portinvartijoina. Siksi aktiivinen vuoropuhelu ja ratkaisujen markkinointi Tier 0 -toimijoille on välttämätöntä mukaan pääsemiseksi.

 TOIMINTAYMPÄRISTÖN TILANNE

Reunaehdot 1

- » PtX-hankkeiden investointipäätökset muodostuvat monimutkaisista kokonaisuuksista, joissa useiden kriittisten tekijöiden on toteuduttava samanaikaisesti. Keskeisin edellytys on varmistettu markkina lopputuotteille, koska ilman pitkäaikaisia ja sitovia offtake-sopimuksia sähköpolttoaineiden tuotantoon ei synny investointeja. Samanaikaisesti regulaation tulee olla vakaata ja ennustettavaa, sillä PtX-tuotteet kuten e-metanoli, e-SAF ja e-metaani ovat toistaiseksi selvästi kalliimpia kuin fossiiliset vaihtoehdot, ja markkina syntyy pääosin lainsäädännön luomien velvoitteiden kautta. Tämän vuoksi tuotannon taloudellinen kannattavuus ja investointiriskin minimoiminen vaatii matalan sähkön hinnan lisäksi riittäviä CAPEX- ja OPEX-tukimekanismeja.
- » Uusiutuvan sähkön saatavuus ja riittävän matala hinta ovat koko PtX-arvoketjun kriittisimpiä reunaehdot. RFNBO-polttoaineiden tuotanto edellyttää uusiutuvalla sähköllä tuotettua vetyä, mikä tekee pitkäaikaisista PPA-sopimuksista välttämättömiä. Etelä-Karjalassa sähkönsiirtokapasiteetti aiheuttaa epävarmuutta erityisesti tilanteessa, jossa useat teolliset hankkeet etenevät samanaikaisesti. Lappeenranta–Imatra-välin siirtokyvyn nosto 400 kV -tasolle on edellytys suurille investoinneille, ja mahdolliset datakeskushankkeet lisäävät kilpailua liityntätehosta. Alueen aurinkovoimapotentiaalia on mahdollista kasvattaa merkittävästi, mutta tuulivoimainvestointien toteutuminen riippuu maanpuolustuksellisten haasteiden ratkaisujen mallista sekä aikataulusta.

 TOIMINTAYMPÄRISTÖN TILANNE

Reunaehdot 2

- » Vetyinfrastruktuurin puuttuessa alueelta vety on tuotettava paikallisesti. Tämä rajoittaa suurten keskitettyjen tuotantolaitosten syntyä ja korostaa paikallisten uusiutuvan sähkön investointien merkitystä. Sähkölaitteiden tuotanto edellyttää ratkaisua biogeenisen hiilidioksidin talteenottoon ja jakeluun. Koska hiilidioksidin kuljettaminen pitkien matkojen takaa korkeiden kustannusten vuoksi on epätodennäköistä, alueen omien hiilidioksidilähteiden hyödyntäminen on välttämätöntä. Mikäli suuria pistelähteitä ei saada hyödynnettyä, biogeeninen hiilidioksidipotentiaali ei pitkällä aikavälillä riitä kuin vähäiseen tuotantoon, mikä lisää tarvetta hyödyntää teollisia pistepäästöjä tai mahdollisesti DAC-ratkaisuja. Fossiilisen hiilen käyttö ei kuitenkaan ole pitkän aikavälin ekologisesti tai taloudellisesti kestävä vaihtoehto.
- » PtX-arvoketjua suunniteltaessa on ratkaisevaa, miten eri tuotantovaiheet sijoittuvat suhteessa toisiinsa, kytkeytyen energia- ja materiaalivirtoihin sekä logistisiin edellytyksiin. Erittäin merkitystä alueen arvonluonnin kannalta on hiilidioksidivirtojen tehokkaalla ja korkeaa jalostusastetta painottavalla käytöllä. Tärkeää on myös huomioida hukkalämmön potentiaali osana alueellista energiajärjestelmää ja sen mahdollisuudet hiilidioksidintalteenoton energianlähteenä.

TOIMINTAYMPÄRISTÖN TILANNE

Sääntely

- » EU-sääntely luo kysynnän kestäville ja synteettisille polttoaineille velvoitteiden kautta sekä raamit polttoaineiden tuotantoon esim. RFNBO-kriteerien myötä.
 - » RED III
 - Vuonna 2030 RED III edellyttää, että polttoainetoimittajat korvaavat fossiilisia polttoaineita uusiutuvilla vaihtoehdoilla, joista vähintään 1 % on RFNBO:ita. Tämä luo noin 1,1 miljoonan tonnin vedyn kysynnän liikenteessä EU-tasolla.
 - RFNBO-polttoaineiden osuus teollisuuden vedyn kokonaiskäytöstä nousee vähintään 42 prosenttiin vuoteen 2030 ja 60 prosenttiin vuoteen 2035 mennessä. Tämä luo jopa 1,3 miljoonan tonnin vedyn kysynnän teollisuudessa EU-tasolla.¹⁰
 - » Ilmailu – ReFuelEU Aviation (EU 2023/2405)
 - EU-lentokentillä tankattavaan polttoaineeseen synteettisen SAF:n (RFNBO-e-fuel) alavelvoite kasvaa seuraavasti: 1,2 % (2030) → 2 % (2035) → 35 % (2050).
 - » Meriliikenne – FuelEU Maritime (EU 2023/1805)
 - Vuonna 2030 meriliikenteessä 1 % meriliikenteen polttoaineista täytyy olla RFNBO-pohjaisia vastaten 0,1 Mt vetyä. Vuodelle 2035 tavoite nousee 2 prosenttiin.
 - » EU:n päästökauppa
 - Päästöoikeuksien ilmaisjakelu päättyy vuonna 2034. Päästöoikeuden hinta on ollut viime aikoina noin 80 €/t CO₂. Tämä nostaa hiilen hinnoittelun merkitystä ja vauhdittaa CCUS-ratkaisuja.
 - » EU:n uusi suunnitelma hiilidioksidin kuljetusinfrastruktuurille ja markkinoille tulossa vuonna 2026.
- » Erilaisia kansallisia ja kansainvälisiä hankkeita on listattu sivulla 27 ja 28. Kansallisesti liikkeellä on esimerkiksi 90 M€ käänteinen huutokauppa biogeenisen hiilidioksidin talteenotolle (2026–2032).

 TOIMINTAYMPÄRISTÖN TILANNE

Selvitykset

Taustalla on lukuisia alueellisia selvityksiä ja tutkimuksia, joista tähän on nostettu kolme.

- » Vuonna 2025 valmistuneessa LUT-yliopiston tutkijan Tansu Galimovan väitöskirjassa *Renewable electricity-based fuels and chemicals: demand, trading, and transportation* tunnistetaan alueen potentiaali e-polttoaineiden ja e-kemikaalien valmistamiseen. Alueen kannalta keskeistä on, miten arvoketjun palaset sijoittuvat logistisesti. Selvityksen mukaan Suomen tapauksessa e-metanolin tuotantokustannukset olisivat alhaisemmat, jos hiilidioksidia kuljetettaisiin päästölähteestä uusiutuvan sähkön tuotantopaikoille, kuin jos sähköä tai vetyä kuljetettaisiin jalostettavaksi hiilidioksidin lähteille.¹¹
- » Lappeenrannan keskusta-alueen lähellä sijaitsevalle Mustolan teollisuusalueelle on laadittu tekninen raportti hankekehityksen pohjaksi.¹²
- » Joutsenon P2X-hankkeessa (LUT 2021) tutkittiin biogeenisen hiilidioksidin ja teollisen sivuvedyn hyödyntämistä synteettisten polttoaineiden tuotannossa. Hankkeen tavoite oli arvioida teollisen kokoluokan pilotin tekninen ja taloudellinen toteutettavuus. Selvityksen ytimessä oli Finnsementin savukaasuista talteenotettava hiilidioksidi ja Kemiran kloraattituotannon ylijäämävyt, jotka yhdistyvät suoraan e-polttoaineiden valmistukseen.¹³

¹¹ Galimova (2025)

¹² Mustola Energy Transition Technical Report

¹³ Feasibility Study for Industrial Pilot of Carbon-Neutral Fuel Production

 TOIMINTAYMPÄRISTÖN TILANNE

Kansallisia esimerkkejä

- » Joensuu – P2X Solutions. Teollisen mittakaavan e-metanolilaitos 40 MW uusiutuvan vedyn elektrolyysillä tuottaa metanolia 33 000 tonnin vuosituotantokapasiteetilla. Prosessissa syntyvä lämpö on tarkoitus hyödyntää Joensuun kaukolämpöverkossa. P2X Solutions hyödyntää Joensuun hankkeessa saksalaisen elektrolyysiasiantuntijan teollista paineistettua alkaliteknologiaa.
- » Rauma – Metsä Group & Andritz. Rauman sellutehtaalla pilotoidaan amiiniabsorptiota (MEA tai sen johdannaiset) hiilidioksidin talteenottoon. Pilotti käynnistyi vuonna 2025 ja tukee BECCS-konseptin kehitystä. Kohteena ovat korkean hiilidioksidipitoisuuden savukaasut, ja ratkaisu hyödyntää osittain laitoksen nykyisiä lämpövirtoja.
- » Vantaa – Vantaan Energia. Vantaan jätteenpolttolaitokselle suunnitellaan jälkipolton kemiallista pesuprosessia hiilidioksidin talteenottoon. Teknologia tarkentuu myöhemmin.
- » Tampere – Naistenlahti 3. Naistenlahti 3 -voimalaitoksella selvitetään hiilidioksidin talteenottoa amiiniabsorptiolla tai vesiabsorptiolla. Kohteena on biomassaa polttava CHP-laitos.
- » Feasibility study, Lappeenranta. Joutsenon hankkeessa tutkittiin talteenotetun hiilidioksidin hyödyntämistä synteettisissä polttoaineissa. Hiilidioksidin talteenottoon valittiin MEA-pohjainen absorptioteknologia.

 TOIMINTAYMPÄRISTÖN TILANNE

Kansainvälisiä esimerkkejä

- » Ruotsi - Stora Enso – Skutskär Mill. Skutskärin sellutehtaalla pilotoidaan HPC-prosessia (Hot Potassium Carbonate) käyttämällä tavallista alhaisempaa lämpötilaa osana ACCSESS-hanketta. Tämä mahdollistaa hukkalämmön käytön energianlähteenä. Teknologia hyödyntää biologisia katalyyttejä ja tarjoaa energiatehokkaamman vaihtoehdon perinteiselle amiiniabsorptiolle.
- » Ruotsi - Stockholm Exergi. Stockholm Exergi toteuttaa BECCS-hanketta HPC-teknologialla (Hot Potassium Carbonate, CATACARB). Projektin on yksi Pohjoismaiden edelläkävijöistä BECCS-ratkaisuissa.
- » Ruotsi – Liquid Wind (Örnsköldsvik). Liquid Wind rakentaa teollisen mittakaavan e-metanolilaitosta, joka on edistynyt sääntelyn ja kaupallisten sopimusten kautta. Talteenotto perustuu Carbon Cleanin Advanced MEA -teknologiaan.
- » Ruotsi – Piteå (Chemrec BLG pilot). Piteån Chemrec-pilotti osoitti mustalipeän kaasutuksen teknistä toimivuutta synteettisten polttoaineiden tuotannossa. Prosessi perustuu pre-combustion-polkuun, mutta kaupallistaminen on ollut haasteellista.
- » Saksa – Elektrolyyserihankkeet. Saksassa on käynnissä useita 100 MW:n elektrolyyserihankkeita, jotka osoittavat vedyn tuotannon kustannus- ja käyttöaika-asteet. Vaikka hankkeet eivät sisällä hiilidioksidin talteenottoa, ne tarjoavat arvokasta tietoa suurten PtX-projektien taloudesta ja skaalautuvuudesta.

A close-up photograph of a pine branch with several water droplets hanging from its needles. The background is a soft, out-of-focus blue and green.

 2 TEKNOLOGIAT



YLEISTÄ TEKNOLOGIOISTA

- » PtX-arvoketjun teknologiat ovat luonteeltaan monimutkaisia, ja osa niistä on edelleen kehitysvaiheessa. Tässä työssä tarkasteltiin erityisesti polttoaineiden tuotantoon liittyviä teknologioita ja tuotteita:
 - » Vedyn elektrolyysi
 - » Hiilidioksidin talteenotto
 - » Polttoainesynteesi
 - » Hiilidioksidin kuljetus

- » Teknologioiden kytkeytymistä eri tuotantovaiheisiin voi tarkastella arvoverkkokuvasta sivulta 17.



YLEISTÄ VEDYN TUOTANNOSTA

TEKNOLOGIAN VALINTA RIIPPUU KUSTANNUKSISTA JA KYPSYYDESTÄ

- » Vetyputkea ei toistaiseksi ole suunnitteilla Etelä-Karjalaan, ja alueen vetytalous lähtee liikenteeseen paikallisten keskittymien kautta.
- » Puhtaan vedyn tarve kasvaa erityisesti liikenteessä sekä teollisuudessa RFNBO-velvoitteiden myötä ¹⁰
- » Vedyn elektrolyysi vaatii valtavia määriä sähköä. Esimerkiksi jos 2 Mt CO₂ päästävän laitoksen hiilidioksidi valjastettaisiin vedyn tuotantoon, tarvittaisiin vähintään 2 GW uutta sähkökapasiteettia. Tämä on valtava määrä, huomioiden että Suomen sähkön tuotantokapasiteetti on korkeimmillaan n. 15 GW ja parhaimmillaan aurinko- ja tuulisähkön tuotantokapasiteetti Etelä-Karjalassa voisi kasvaa n. 1,5 GW:iin, mikäli kaikki tällä hetkellä suunnitellut hankkeet toteutuvat.
- » Seuraavalla sivulla on tarkasteltu tarkemmin vedyn tuotannon teknologioita ja niiden potentiaalia.

- Vihreä - Käyttökelpoinen
- Oranssi - Epävarma
- Punainen - Ei käyttökelpoinen

Kypsyy	Kustannukset	Mahdollinen mittakaava	Soveltuu alueelle	
●	●	●	●	Alkaline (AEL)
●	●	●	●	PEM
●	●	●	●	SOEC

Alkaline Water Electrolysis (AEL)

AEL käyttää nestemäistä alkalista elektrolyyttiä (yleensä KOH) ja on vakiintunein sekä kustannustehokkain teknologia suurivolyymiseen vedyn tuotantoon. Se toimii maltillisissa lämpötiloissa ja on nykyisistä vaihtoehtoista edullisin. ¹⁴ AEL soveltuu hyvin isoihin laitoksiin. Teknologian haittapuolena on korkea dynaamisten vaihteluiden tehollisuuskustannus, jos sähköprofiili vaihtelee nopeissa sykleissä ¹⁵.

Polymer Electrolyte Membrane (PEM)

PEM-elektrolyserit käyttävät kiinteää polymerikalvoa ja ovat tunnettuja nopeista käynnistyksistä: 5–10 minuuttia, kun AEL:llä käynnistys kestää tyypillisesti 1–2 tuntia. ¹⁴ Teknologia soveltuu sähköprofiiltaan vaihtelevaan tuulivoiman tuotantoon. Teknologia on kuitenkin riippuvainen kalliista materiaaleista, kuten platinaryhmän metalleista ja fluoratusta membraanista, mikä nostaa tuotannon kustannuksia ja rajoittaa skaalautuvuutta. ¹⁴ Lisäksi EU:n PFSA/PTFE-kemikaalirajoitukset luovat regulaatioriskin ¹⁶. PEM soveltuu kemikaaliteollisuuteen, jossa korkea H₂-puhtaus on tärkeää.

Solid Oxide Electrolysis Cell (SOEC).

SOEC toimii korkeissa lämpötiloissa (800–1000 °C) ja käyttää nestemäisen veden sijasta vesihöyryä, mikä mahdollistaa AEL- ja PEM-tekniikoita korkeamman hyötysuhteen, kun lämpöä on saatavilla. Teknologia on kuitenkin yhä kehitysvaiheessa, ja siihen liittyy haasteita erityisesti komponenttien kestävyudessa kuormitus- ja lämpösykleissä. ¹⁴ SOEC hyötyy korkean lämpötilan teollisesta hukkalämmöstä (esim. teräs- ja kemianteollisuus). Mikäli hukkalämpöjä on paljon saatavilla, teknologian pilotointi Etelä-Karjalassa voitaisiin harkita.

¹⁴ Dahiru (2025)
¹⁵ Järvinen (2025)
¹⁶ Tikkanen (2025)



YLEISTÄ HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTOSTA

TEKNOLOGIAN VALINTA RIIPPUU HIILIDIOKSIDIPITOISUUDESTA, LAITOKSEN KOOSTA JA LÄMMÖN SAATAVUUDESTA

- » Hiilidioksidin talteenotto tarkoittaa hiilidioksidin erottamista savukaasuista tai prosessivirroista. Talteenotettu hiilidioksidi voidaan joko hyötykäyttää raaka-aineeksi esim. polttoaineille, kemikaaleille, materiaaleille (CCU) tai varastoida pysyvästi meren pohjaan tai mineraaleihin (CCS).
- » Tyypilliset hiilidioksidipitoisuudet ovat metsäteollisuuden savukaasuille n. 15–20 vol-%, kiinteän polttoaineen poltolle n. 8–20 vol-%, kaasupoltolle n. 3–10 vol-% ja kalkki- ja sementtiuuneille n.15–25 vol-% ja biokaasureaktorien suorassa erotuksessa 30-50 %. ¹⁷ Korkeampi hiilidioksidipitoisuus tyypillisesti alentaa talteenoton kustannuksia ja tekee lähteestä houkuttelevamman.
- » Useimmat jatkojalostusprosessit edellyttävät tiivistettyä ja puhdistettua hiilidioksidia, joten tarvitaan erotusteknologiaa, kuten amiinipesua. Prosessin sähköistäminen (esim. sähköinen kalkkiuuni) tai happipoltto voisi tehdä erotusprosessista tarpeettoman, mutta nämä teknologiat ovat vasta kehitysvaiheessa. ¹⁷
- » Biogeenisen hiilidioksidin talteenotto (esim. sellutehtaalta) voidaan nähdä ilmastollisesti kestävä ratkaisuna. Haasteita fossiilisiin lähteisiin verrattuna ovat savukaasujen korkea kosteus sekä SO_x- ja NO_x-päästöt, sillä pesut ja kuivaukset ennen varsinaista talteenottoa lisäävät kustannuksia. Lisäksi integraatiohyödyt voivat jäädä rajallisiksi, sillä prosessihöyry on usein arvokasta tehtaan omassa käytössä.
- » Teknologiaavalinnassa on huomioitava myös hiilidioksidin puhtaus, erityisesti elintarvike-, kemikaali- ja biopohjaisissa sovelluksissa.
- » Seuraavalla sivulla on tarkasteltu tarkemmin hiilidioksidin talteenoton teknologioita ja niiden potentiaalia.

- ## Hiilidioksidin lähteet

Sellutehdas

CHP biomass
Jätteen poltto

Biokaasun jalostus



YLEISTÄ POLTTOAINESYNTESISISTÄ

LOPPUTUOTTEEN JA TEKNOLOGIAN VALINTA RIIPPUU KYSYNNÄSTÄ JA TUOTANNONTEKIJÖIDEN SAATAVUUDESTA

- » Polttoainesynteesi perustuu vedyn ja hiilidioksidin (tai typen) kemialliseen muuntamiseen energiatiheämmiksi tuotteiksi, kuten metanoliksi, ammoniakiksi ja hiilivedyiksi, joita voidaan käyttää polttoaineina tai teollisuuden raaka-aineina.¹⁸ Synteesipolttoaineiden rinnalla alueella voidaan tuottaa myös biogeenistä metaania liikennekäyttöön.
- » Metanoli näyttäytyy monissa Power-to-X-ratkaisuissa keskeisenä välituotteena, josta voidaan jatkojalostaa sekä nestemäisiä polttoaineita että kemianteollisuuden tuotteita. Ilmailun lainsäädännön kiristyessä e-kerosiinin kysyntä kasvaa, ja sitä voidaan jatkojalostaa metanolipohjaisten synteesiketjujen kautta.
- » E-metanoli, e-kerosiini ja e-metaani hyödyntävät hiilidioksidia, jota alueella on runsaasti, ja lisäksi näille polttoaineille ennakoidaan tarvetta isossa mittakaavassa. Vaikka ammoniakkia ei valmisteta hiilidioksidista vaan vedystä ja typestä, sen käytölle on potentiaalia teollisuudessa ja liikenteessä.
- » Synteesiketjut ovat monivaiheisia ja edellyttävät raaka-aineiden korkeaa puhtautta ja merkittäviä energiavirtoja. Prosessien tekninen toteutettavuus on pääosin kaupallisella tasolla, mutta taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat esimerkiksi vedyn hinta, sähkön saatavuus sekä tuotantovolyyymi.
- » Seuraavalla sivulla on tarkasteltu tarkemmin polttoainesynteesistä valmistuvia tuotteita ja niiden potentiaalia.

- Vihreä - Käyttökelpoinen
- Oranssi - Epävarma
- Punainen - Ei käyttökelpoinen

Kypsyy	Kustannukset	Mahdollinen mittakaava	Soveltuu alueelle	
●	●	●	●	E-ammoniakki
●	●	●	●	E-metaani
●	●	●	●	E-metanoli
●	●	●	●	E-kerosiini/e-diesel

E-metanoli
E-kerosiini/E-diesel

Metanolia voidaan käyttää suoraan polttoaineena tai jatkojalostaa muihin tuotteisiin. Metanolia voi pitää potentiaalisena synteettisenä polttoaineena, sillä se on hyvä kompromissi: se on suhteellisen yksinkertainen kemialliselta rakenteeltaan, eikä kanna kaasumaisten polttoaineiden haittapuolia, kuten matalaa tiheyttä ilmanpaineessa.¹⁹

E-kerosiinille ja e-dieselille on kysyntää erityisesti lentoliikenteeseen ja meriliikenteeseen, mutta niiden valmistus edellyttää suurta mittakaavaa ja monivaiheista prosessiketjua.

E-ammoniakki
E-metaani

E-metaania tuotetaan uusiutuvalla sähköllä tuotetusta vedystä ja talteenotetusta hiilidioksidista. Perinteisesti metaania tuotetaan jätekaasusta, eikä se ole varsinaisesti PtX-polttoaine. E-metaania voidaan tuottaa pienessä mittakaavassa esimerkiksi biokaasulaitoksilta talteenotetusta hiilidioksidista tai suuremmassa mittakaavassa, mikäli vedyn ja hiilidioksidin jalostaminen e-metaaniksi on taloudellisesti kilpailukykyistä suhteessa nestemäisiin synteettisiin polttoaineisiin. Tuottamalla synteettisiä polttoaineita lähellä raaka-aineiden lähteitä vältetään kalliilta siirtoverkkojen rakentamisilta ja huoltovarmuuden kannalta hajautettu tuotanto on keskitettyä riskittömämpi vaihtoehto²¹.

Ammoniakki on vakiintunut kemianteollisuuden raaka-aine, mutta suora polttoainekäyttö vaatii uusia ratkaisuja. Lisäksi ammoniakkin tuotanto ei hyödynnä alueen biogeenistä hiilidioksidia.

¹⁹ Heikkilä (2023)

²¹ Ojala (2023)



YLEISTÄ LOGISTIIKASTA

TEKNOLOGIAN VALINTA RIIPPUU VOLYYMISTÄ

- » Logististen ratkaisujen kohdalla kysymys on, kuljetetaanko sähköä, vetyä, hiilidioksidia vai polttoainetta.
 - » Vetyputkea ei toistaiseksi ole suunnitteilla Etelä-Karjalaan, ja alueen vetytalous lähtee liikenteeseen paikallisten keskittymien ja putkien kautta.
 - » Tutkimusten mukaan Suomen tapauksessa e-metanolin tuotantokustannukset olisivat alhaisemmat, jos hiilidioksidia kuljetettaisiin päästölähteestä uusiutuvan sähkön tuotantopaikoille, kuin jos sähköä tai vetyä kuljetettaisiin jalostettavaksi hiilidioksidin lähteille.¹¹
 - » Etelä-Karjalassa sijaitsee Suomen merkittävin hiilidioksidipistekeskittymä (Lappeenranta, Imatra), kun taas uusiutuva sähkö tuotetaan pääosin maakunnan ulkopuolella.
 - » PtX-tuotteet, etenkin metanoli, on helpompi ja halvempi kuljettaa kuin vety. Tuotantovolyymin kasvaessa niitä todennäköisesti kuljetettaisiin esim. rekalla tai junalla HaminaKotkan satamaan.
- » Huoltovarmuuden kannalta on tärkeää rakentaa ainakin osittain kotimaista sähköpolttoaineiden tuotantokapasiteettia.
- » Ulkomaan vienti ja tuonti huomioiden, pitkän matkan vetykuljetukset eivät välttämättä ole kilpailukykyisiä verrattuna paikalliseen tuotantoon ja vetyä tuotetaan ja kuljetetaan todennäköisemmin pienempien alueiden rajoissa. Sen sijaan e-metanolin kuljettaminen voi olla taloudellisesti kannattavaa. Muita polttoaineita kuin vetyä on helpompi kuljettaa laivoilla, ja kauppaa voi käydä pidemmällä etäisyyksillä.¹¹
- » Seuraavalla sivulla on tarkasteltu tarkemmin hiilidioksidin logistiikan eri vaihtoehtoja ja niiden potentiaalia.

¹¹ Galimova (2025)

Hiilidioksidin kuljetus - Yhteenveto

- Vihreä - Käyttökelpoinen
- Oranssi - Epävarma
- Punainen - Ei käyttökelpoinen

Kypsyy	Kustannukset	Mahdollinen mittakaava	Soveltuu alueelle	
●	●	●	●	Putki
●	●	●	●	Rekka
●	●	●	●	Juna

Putkikuljetus

Hiilidioksidi voidaan kuljettaa putkessa kaasuna, nesteenä tai superkriittisenä. Putkilinjat ovat teknisesti kypsiä ja käytössä mm. Norjassa ja USA:ssa. Putkikuljetusta voidaan pitää kannattavana, kun hiilidioksidia kuljetetaan megatonneja vuodessa. ²²

Rekkakuljetus

Hiilidioksidi kuljetetaan rekalla nesteytettynä. Rekkakuljetuksen on arvioitu olevan kannattavaa, kun hiilidioksidin määrä on alle 500 000 tCO₂/a. ²² Rekkakuljetuksien kapasiteetti tulee esteeksi isoissa hankkeissa. Rekka- ja junakuljetus voi olla kilpailukykyinen kohteissa, joissa hiilidioksidin lähteenä olevan voimalaitoksen elinikä on alle 23 vuotta. ²²

Junakuljetus

Hiilidioksidi kuljetetaan junassa nesteytettynä. Junakuljetus sopii rekkakuljetusta suuremmille ja putkikuljetusta pienemmille määriille, mutta vaatii terminaalit ja logistiikan.

²² Q Power (2022)



3 TULEVAISUUS JA MARKKINAPOTENTIAALI



PTX-ARVOKETJUN TULEVAISUUS JA MARKKINAT

PtX-arvoketjun tulevaisuutta ja markkinoita käsittelevä osio koostuu seuraavista alaluvuista:

- » Esimerkkilaskelma e-metanolin arvoketjusta
- » Nostoja markkinoiden muodostumisesta EU:ssa
- » Hiilidioksidipohjaisten tuotteiden markkinapotentiaali globaalisti
- » CCU-tuotteiden tuotantopotentiaali Suomessa ja vetytalouden tiekartta
- » Alueellinen markkinapotentiaali
- » Skaalautuvuus ja investointitarpeet
- » Sivutuotteiden mahdollisuudet
 - Sivutuotehappi
 - Hukkalämmöt
- » PESTEL-analyysin johtopäätökset

Liitteet: PESTEL ja SWOT-analyysit

Esimerkkilaskelma e-metanolin arvoketjusta

- Arvoketjun markkinapotentiaalin arvioimiseksi laadittiin esimerkkilaskelma e-metanolin tuotantoketjusta megatonniluokan vuosituotannolla. Toinen potentiaalinen lopputuote olisi e-kerosiini.
- Laskelma ei sisällä kaikkia kustannuksia, kuten OPEX-kuluja, mutta siitä käy silti ilmi, että erityisesti elektrolyysin sähkönkulutus ja sähkön hinta muodostavat merkittävemmän osuuden kokonaiskustannuksista. Kaikkea prosessissa syntynyttä lämpöä saataisiin todellisuudessa tuskin myytyä. Laskelmissa sähkön hinnaksi on oletettu 53 EUR/MWh. Kirjallisuudessa esitetyt *Levelized cost* –arviot ovat samansuuntaisia tai korkeampia.

Tuotantoketjun osa	CO ₂ talteenotto	CO ₂ kuljetus	Elektrolyysi	Synteesi	Laitteiston CAPEX	Lämmön myynti	Lopputuote
Laskennassa huomioitu	sähkön ja lämmön kulutus	Hiilidioksidin putkikuljetus ml. CAPEX, kuljetusmatka n. 140 km	sähkön kulutus ja veden hinta	sähkön kulutus	hiilidioksidin talteenoton, elektrolyysin ja synteesin laitteisto, kuljetuskustannusten CAPEX sisältyy kuljetusten hinta-arvioon, 20 vuoden maksuaika ja 7 % korko	elektrolyysissä ja synteesissä syntyvä hukkalämpö	ei sisällä kaikkia kustannuksia, kuten OPEX-kuluja
Hinta (€/t)	71	47	724	23	230	-28	1068

Markkinahinta metanolille 400-1700€/t

Nostoja markkinoiden muodostumisesta EU:ssa

- » EU:n päästökaupan laajeneminen liikennesektorille sekä erilliset EU-sääntelyinstrumentit, kuten RED III, ReFuelEU Aviation ja FuelEU Maritime, kasvattavat tarvetta kestäville polttoaineille erityisesti vaikeasti sähköistettävissä segmenteissä, kuten ilmailussa, meriliikenteessä ja raskaassa liikenteessä. Sääntelyn myötä liikenteen polttoaineisiin tulee sekoittaa synteettistä polttoainetta, mikä luo varmaa kysyntää ja mahdollistaa investoinnit, vaikka synteettinen polttoaine tulee aluksi olemaan tavallista polttoainetta kalliimpaa. Lentoliikenteessä virtuaalinen lentopolttoainekauppa (book and claim) voisi mahdollistaa Suomen omaa kulutusta suuremman tuotannon, mikäli Suomi voisi auttaa kansainvälisiä lentoyhtiöitä saavuttamaan jakeluvoitteensa.
- » EU:n biotalousstrategia ennakoi uutta kysyntää bio-pohjaisille materiaaleille kemian- ja materiaaliteollisuudessa
 - » Bio-based Europe Alliance arvioi, että EU:ssa voi syntyä jopa 10 miljardin euron lisäkysyntä biopohjaisille materiaaleille vuoteen 2030 mennessä.
 - » EU:n biotalousstrategian visiona on, että vuoteen 2040 mennessä kestävät, biopohjaiset materiaalit ja tuotteet – kuten rakennusmateriaalit, biokemikaalit, tekstiilit, lannoitteet, kasvinsuojeluaineet ja muovit – ovat laajasti käytössä EU:ssa. Esimerkiksi biopohjaiset muovit ja materiaalit nähdään Euroopan tulevan teollisen perustan strateginen tukipilarina.
 - » Biopohjaiset tuotteet tarjoavat fossiilivapaita vaihtoehtoja, vahvistavat huoltovarmuutta ja luovat uusia, vakaita tulonlähteitä maaseutu-, rannikko- ja teollisuusalueille. Sivuvirtojen ja jäännösmateriaalien strateginen hyödyntäminen tehostaa resurssien käyttöä ja vahvistaa EU:n asemaa maailmanmarkkinoilla.
- » Mahdollisia rahoituskanavia suurille PtX- ja CCU-hankkeille:
 - » EU Hydrogen Bank, Innovation Fund, Business Finlandin vety & CCU RRF-haut (2025–2026) ja kansallinen käänteinen huutokauppa

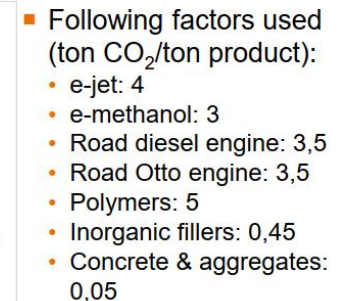
Hiilidioksidipohjaisten tuotteiden markkinapotentiaali globaalisti

- E-polttoaineiden ja e-kemikaalien kysyntä kasvaa tulevaisuudessa merkittävästi. Tutkimustulosten mukaan kysyntä saavuttaa 3 690 TWh_{th} vuonna 2030 ja 43 250 TWh_{th} vuonna 2050 ¹¹. Tästä seuraa, että kysyntä kestäväistä lähteistä olevalle hiilidioksidille kasvaa. E-polttoaineiden laajamittainen tuotanto kuluttaisi vuosittain 6,1 gigatonnia hiilidioksidia vuoteen 2050 mennessä. Noin 40 prosenttia tästä voitaisiin hankkia kestävästi yksittäisistä päästölähteistä, kuten sementti-, sellu- ja paperitehtaista sekä jätteenpolttolaitoksista, ja loput on kerättävä talteen ilmasta. ¹¹
- VTT:n on arvioinut CCU-tuotteiden globaalia markkinapotentiaalia eri tuotteille best case -skenaariossa. CCU-tuotteiden globaali markkina voi kasvaa 38 → 3471 miljardiin dollariin (2030–2050) ja hiilidioksidin hyödyntämispotentiaali 0,031 → 20,2 Gt CO₂ vastaavana aikana. Maailman kasvihuonehuonekaasupäästöt olivat arviolta n. 50 Gt CO₂ vuonna 2022. ¹⁷

¹¹ Galimova (2025)

¹⁷ VTT (2024)

- Pääministeri Petteri Orpon hallitusohjelman mukaan Suomi tähtää vuoteen 2030 mennessä 10 % osuuteen Euroopan Unionin vedyn tuotannosta ja käytöstä. Tämä tarkoittaisi Hydrogen European arvioimien jakeluvelvoitemarkkinoiden osalta Suomelle n. 0,28 → 0,4 Mt/a vedyn tuotantoa vuoteen 2035 mennessä.
- Suomessa yritykset etenevät investointihankkeidensa kanssa: tiekartalla on noin 60 projektia eri vaiheissa, vastaten 1,5 Mt/vuosi vedyn tuotantoa ja 30 miljardin euron investointeja.
- Ensimmäinen markkinoiden luomiseen tähtäävä konkreettinen avaus on kestävän lentopolttoaineen (eSAF) "Lead Market Task Force". Työryhmän tavoitteena on, että 2035 Suomessa tuotetaan 10 % jakeluvelvoitteiden vaatimasta eSAF lentopolttoaineesta eli n. 250 000 tn eSAF vuodessa.



Kuva 1. Lähde: [VTT-projektiraportti Selvitys-hiilidioksidin-talteenoton-
ja-hyoty kayton-potentiaalista.pdf](#) (lähdeluettelon lähde ¹⁷)



Alueellinen markkinapotentiaali

- » Etelä-Karjalan potentiaalin maksimoimiseksi on tärkeää kiinnittää huomiota korkeaan jalostusasteeseen. Alueellisia mahdollisuuksia menetetään, mikäli hiilidioksidi, vety tai sähkö kuljetetaan muualle jalostettavaksi.
- » Markkinapotentiaali syntyy sekä isoista että pienemmistä hankkeista.
 - » Isojen hankkeiden taustalla voivat olla esimerkiksi metsäteollisuuden, kemiateollisuuden tai polttoaineteollisuuden yhtiöt. Esimerkiksi Norsk E-fuel on suunnitellut e-kerosiinin ja Freija AS e-metaanin valmistusta Imatralla.
 - » Pienemmät hankkeet voivat keskittyä ostamaan paikallisia resursseja ja jalostaa niistä korkean katteen tuotteita. Esimerkiksi hiilipohjaista proteiinia valmistava Solar Foods on valinnut seuraavan laitoksensa sijainniksi Lappeenrannan.

Skaalautuvuus ja investointitarpeet 1/2

Skaalautuvuus:

Vaikka biogeeniselle hiilidioksidille on kasvavaa kysyntää, koko kansallisen potentiaalin ($\approx 30 \text{ Mt CO}_2/\text{v}$) tai alueellisen ($\approx 6 \text{ Mt CO}_2/\text{v}$) hyödyntäminen ei ole realistista. Se vaatisi satojen suurten laitosten rakentamista ja merkittävää sähkö- ja lämpöinfraan liittyvää kapasiteetin kasvua. VTT:n arvion mukaan hiilidioksidipohjaisiin tuotteisiin voitaisiin sitoa kansallisesti n. 8 Mt CO_2 vuonna 2040 (kuva 1, lähde ¹⁷).

Etelä-Karjalan skaalautuvuus riippuu sähkönsiirron vahvistamisesta (400 kV linja) ja uusiutuvan sähkön tuotannon kasvusta ($\rightarrow 1,5 \text{ GW}$), Vedyn tuotanto on eniten sähköä kuluttava tuotantoketjun osa. Yksi metanolituantotoni vaatii n. $1,3 \text{ kW}$ elektrolyysikapasiteettia, joten esim. $100\,000 \text{ t/v}$ tuottava laitos vaatii 130 MW elektrolyyseritehoa ja $0,8\text{--}1,2 \text{ TWh}$ sähköä vuodessa vedyn tuotantoon. On huomioitava, että sopimuksien puute ja rajallinen tila esimerkiksi sellutehtaiden ympärillä voi hidastaa tai estää potentiaalin hyödyntämisen.

Investointitarpeet:

Alueella ei vielä ole PtX-tuotannon vaatimuksia vastaavaa hiilidioksidin talteenotto- ja vedyn tuotantoinfraa, ja tarvitaan merkittäviä investointeja elektrolyysereihin, talteenottoon, synteesiin sekä sähkö- ja lämpöverkkoihin. Investoinneissa voi olla mahdollista hyödyntää rahoituslähteitä, kuten EU Hydrogen Bank, Innovation Fund, Business Finlandin vety & CCU RRF-haut (2025–2026) ja kansallinen käänteinen huutokauppa.

Skaalautuvuus ja investointitarpeet 2/2

Biogeenisen hiilidioksidin talteenottoa metsäteollisuuden tuotantolaitoksella olisi mahdollista lähestyä modulaarisesti solmimalla sopimus osapäästön talteenotosta määrääjäksi ja sopia alustavasti miten myöhempiä investointeja tehdään, kuka investoi ja kenellä on omistusoikeus. Naisinta on saada käyntiin hiilidioksidin talteenotto mittakaavassa, mikä mahdollistaa PtX-investointeja. Noin kolmasosakin minkä tahansa Etelä-Karjalan sellutehtaan hiilidioksidipäästöstä riittäisi kahdelle Norsk E-Fuelin Imatralla suunnitteleman e-metanolituotantolaitoksen tarpeisiin. Talteenotetun hiilidioksidin vuotuinen volyymi voi olla useita satoja tuhansia tonneja, jolloin logistiset ratkaisut nousevat merkittäviksi tekijöiksi toimitusvarmuuden sekä kustannusten kautta. Maantiekuljetuksilla on mahdollista säästää investointikustannuksissa sekä saavuttaa joustavuutta, mikäli hiilidioksidia toimitettaisiin eri alueille. Volymien kasvaessa hiilidioksidiputken rakentaminen nousee kannattavimmaksi vaihtoehdoksi.

Hiilidioksidipäästöjen perusteella pienistä biogeenisen hiilidioksidin pistelähteistä Etelä-Karjalan alueella kiinnostava on Imatran Lämpö Oy:n Virasojan biolämpökeskus⁸. Mikäli olisi mahdollista ajaa Virasojan biolämpökeskusta kesäkauden yli ja maksimoida sen lämmöntuotantoa muina aikoina, talteenotettava hiilidioksidipäästö voisi olla lähellä Fast Experts Puhtaan energian ja Power-to-X-investoinnit Kaakkois-Suomeen-raportissa mainitun hankeyhtiön demolaitoksen mittakaavaa²⁴.

⁸ Vetytalous ja tuotannon sivuvirtojen hyödyntäminen Kaakkois-Suomessa

²⁴ Puhtaan energian ja Power-to-X-investoinnit Kaakkois-Suomeen



SIVUTUOTTEIDEN MAHDOLLISUUDET

- » Vedyntuotannossa ja PtX-synteesiprosesseissa syntyy useita sivutuotteita, joista taloudellisesti merkittävimmät ovat happi ja lämpöenergia ²³.
- » Synteesiprosesseissa muodostuva vesi voidaan puhdistaa ja kierrättää takaisin elektrolyysiin, mikä pienentää prosessin vedenkulutusta, prosessiveden hankintatarvetta, vedenkäsittelyn kustannuksia sekä brinen (jätteenä syntyvän suolaliuoksen) määrää.
- » Lisäksi synteesireaktiot tuottavat pieniä määriä muita hiilivetyjä ja happiyhdisteitä, kuten parafiineja, korkeampia alkoholeja ja estereitä. Näiden taloudellinen hyödyntäminen edellyttäisi kuitenkin erittäin suuria tuotantomääriä, jotta talteenotto, puhdistus ja jatkoprosessointi olisivat kannattavia.
- » Hiilidioksidin talteenotossa ei tyypillisesti synny merkittäviä hyödynnettäviä sivutuotteita, mutta talteenoton integrointi PtX-kokonaisuuteen parantaa prosessin energiatehokkuutta ja mahdollistaa hiilidioksidin hyödyntämisen synteesireaktioissa.

 SIVUTUOTTEIDEN MAHDOLLISUUDET

Sivutuotehappi

- » Vedyntuotannon sivutuotteena syntyy n. kahdeksan kertaa enemmän happea kuin vetyä ¹². Sivutuotehapelle on tyypillisesti kysyntää teräs-, kemian-, metsä- ja energiateollisuudessa. Mustolan teollisuusalueen selvityksessä Ovako on tunnistettu potentiaalisimmaksi hapen hyödyntäjäksi ¹².
- » Hapen kaupallistaminen edellyttää asiakaskohtaisten vaatimusten täyttämistä erityisesti puhdistuksen, nesteytyksen ja logistiikan osalta. Tarvittava investointi ja koko toimitusketju tulee mitoittaa kysynnän vaihteluiden, toimitusvarmuuden ja mahdollisten pitkien sopimusten mukaisesti. Mikäli paikallista teollista kysyntää ei ole riittävästi, sivutuotehappi voidaan ohjata muihin sovelluksiin, kuten ympäristönhoidon, vesihuollon tai energiatehokkuutta parantavien prosessien tarpeisiin. Hapen hyödyntäminen paikallisesti vähentää kuljetustarvetta, mikä parantaa kokonaisuuden kustannus- ja ympäristövaikutuksia.

 SIVUTUOTTEIDEN MAHDOLLISUUDET

Hukkalämpö

- » Elektrolyysin ja synteesiprosessien sivutuotteena syntyy merkittäviä määriä hyödynnettävää hukkalämpöä. Sen hyötykäyttömahdollisuudet riippuvat erityisesti lämpötilatasosta, tuotannon tasaisuudesta sekä talteenoton, priimauksen ja siirron teknisistä vaatimuksista²².
- » Yksi suoraviivainen hyödyntämistapa on hukkalämmön syöttäminen kaukolämpöverkkoon¹². Tämä edellyttää kuitenkin sopimista hinnasta, toimitusvarmuudesta ja laadusta sekä riittävän lyhyttä etäisyyttä verkkoon²³. Haasteita tuovat myös kaukolämmön kysynnän kausivaihtelut ja verkon lämpötilatasojen vaihtelu. Kaukolämpöakku voi tasata näitä vaihteluita ja parantaa kokonaisuuden joustavuutta. Suurten hankkeiden hukkalämpö voi olla paikallisesti niin merkittävää, että se voi korvata lähes kokonaan polttamalla tuotetun lämmön. Toisaalta esimerkiksi suuren datakeskuksen sijoittuminen samalle alueelle voi kiristää kilpailua hukkalämmön hyödyntämisessä.
- » Hukkalämpö soveltuu myös hiilidioksidin talteenottoon, joka kuluttaa runsaasti lämpöenergiaa¹². Tämä voi olla järkevää erityisesti silloin, kun lämpö saadaan tuotua lähelle talteenottoa tai vedyntuotannon yhteyteen integroidaan DAC-laitteisto.
- » Lisäksi hukkalämpö tarjoaa mahdollisuuksia erilaisille lämpöintensiivisille toiminnoille, kuten teolliselle tuotannolle, kasvihuonetuotannolle ja kalankasvatukselle.

¹² Mustola Energy Transition Technical Report

²³ Kiviranta ym. (2023)



SWOT- JA PESTEL-ANALYYSIT

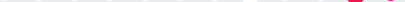
- » SWOT-analyysiä hyödynnettiin Etelä-Karjalan PtX -arvoketjun kokonaiskuvan jäsentämiseen (s. 52 ja liite 2). Menetelmä soveltuu hyvin tilanteeseen, missä arvoketju on vielä kehittymässä ja sen toimintaympäristöön kohdistuu nopeita muutoksia. SWOT-analyysin avulla tarkasteltiin PtX-arvoketjun sisäisiä vahvuuksia ja heikkouksia sekä ulkoisia mahdollisuuksia ja uhkia.
- » Analyysi auttoi tunnistamaan alueellisia erityispiirteitä sekä ulkoisia tekijöitä, joilla on vaikutusta Etelä-Karjalan PtX-arvoketjun muodostumiseen ja investointien toteutumiseen. SWOT-analyysin tuloksia hyödynnettiin sekä arvoketjun tilannekuvan muodostamisessa että suositusten laadinnassa.
- » PESTEL-analyysiä (liite 1) käytettiin PtX-arvoketjun kokonaiskuvan hahmottamisessa ja keskeisten ulkoisten toimintaympäristötekijöiden tunnistamisessa. Analyysillä tunnistettiin arvoketjun kannalta keskeisiä riskejä ja edellytyksiä sekä hahmotettiin, millaisissa olosuhteissa PtX-investoinnit ovat toteuttamiskelpoisia alueella. PESTEL-analyysin keskeisiä johtopäätöksiä on esitetty sivuilla 53-54.

Strengths Vahvuudet

- ## Weaknesses Heikkoudet

- ## Opportunities Mahdollisuudet

- # Threats

- 

 SWOT- JA PESTEL-ANALYYSIT

PESTEL-analyysin johtopäätökset 1/2

- PtX-arvoketjulla on vahva EU-tason tuki, mutta säätelykehikko ei ole vielä valmis, eikä lopullisesti varmistettu. EU:n Green Deal, Fit for 55 ja NZIA luovat selkeän suunnan PtX-teknologioille ja strategisen hankkeen asema voi nopeuttaa lupaprosesseja. Haasteena ovat sääntelyn ja tukipolitiikan ennustettavuus sekä geopoliittiset riippuvuudet.
- PtX-arvoketjun lopputuotteiden kilpailukyky on vielä heikko suhteessa fossiilisiin tuotteisiin ja markkinat perustuvat puhtaasti jakeluvetoisuuteen. Investointien edellytyksenä olevien offtake-sopimusten saanti on vaikeaa hintariskien sekä teknologisen kehityksen epävarmuuden vuoksi. Investoinnit ovat suuria, jolloin rahoituksen saatavuus sekä korkotaso ovat kriittisiä tekijöitä. Uusiutuvan sähkön saatavuus ja hinta ratkaisevat investointien sijoittumisen. Hiilidioksidin talteenoton haasteiden ratkaisu sopimuksellisten asioiden sekä liiketoimintamallin osalta on erittäin tärkeää investointien toteutumisen kannalta.
- Sosiaalista hyväksyttävyyttä koettelevat uusiutuvan energian tuotannon tarvitsemat laajat maa-alueet sekä huoli sähkön hintojen noususta investointien vuoksi. Hankkeiden rakennusvaihe ja operointi voivat työllistää merkittävästi, mutta osaajapula voi suunnata hankkeita alueille, joissa on parhaiten saatavilla työvoimaa.

 SWOT- JA PESTEL-ANALYYSIT

PESTEL-analyysin johtopäätökset 2/2

- » Teknistä kehitystä tarvitaan erityisesti elektrolyysereiden sekä hiilidioksidin talteenoton kustannustehokkuuden parantamiseksi. DAC voi pitkällä aikavälillä muuttaa hiilidioksidin saatavuutta, mutta on vielä kallista. Tuotantolaitokset ovat uniikkeja toimituksia eivätkä toimitusketjut ole vakiintuneet, mistä aiheutuu korkeat riskit. Suuren mittakaavan teollista tuotantoa ei ole harjoiteltu missään, mikä lisää investointien riskitasoa. Hankkeilla on mahdollisuus lisätuloihin sähkön reservimarkkinoista sekä hukkalämmöstä.
- » Ilmastohyötyjen toteutuminen täytyy selvittää koko arvoketjun osalta. Biogeenisen hiilidioksidin suurimittakaavainen hyödyntäminen vaatii uusiutuvan sähköntuotannon moninkertaistamista. Hiilidioksidin talteenoton ympäristövaikutukset (esim. kemikaalit) vaativat hallintaa. Hukkalämpöjen hyödyntäminen voi pienentää kaukolämmön hiilijalanjälkeä ja jossain tapauksissa korvata täysin polttamalla tuotetun energian.
- » Sähköpolttoaineiden markkinan luovat RFNBO-kriteerit, ReFuelEU Aviation ja FuelEU Maritime. CCU-sääntely on puutteellista kemikaalien ja materiaalien osalta. Hiilidioksidi-infrastruktuurilainsäädäntö tulee helpottamaan rajat ylittävää hiilidioksidilogistiikkaa. Uusiutuvan sähköntuotannon vaatimuksenmukaisuus ohjaa vedyn tuotannon sijoittumista.



4 YHTEENVETO JA SUOSITUKSET



YHTEENVETO 1/3

- » Etelä-Karjalalla on mahdollisuudet kehittyä kilpailukykyiseksi PtX-tuotannon keskittymäksi. Maakunnan keskeiset vahvuudet liittyvät suureen biogeenisen hiilidioksidin potentiaaliin, sähköverkon valmiuksiin sekä toimivaan teolliseen toimintaympäristöön, jotka yhdessä luovat uskottavan perustan PtX-investoinneille ja kasvavalle ekosysteemille. On sekä alueellisesti että kansallisesti epätoivottavaa, että maakunnan luontaisiin resursseihin pohjautuva arvonluonti jäisi vajaaksi tai syntyvä lisäarvo valuisi alueen ulkopuolelle.
- » PtX-investointien käynnistyminen ja skaalautuminen Etelä-Karjalassa edellyttää useiden tekijöiden toteutumista samanaikaisesti. Olennaisimpia ovat:
 - » Varmistunut markkina PtX-lopputuotteille
 - » Uusiutuvan sähköön saatavuus sekä riittävän alhainen hinta
 - » Paikallinen vedyn ja biogeenisen hiilidioksidin saatavuus
 - » Riittävä infrastruktuuri energian, hiilidioksidin, vedyn ja lopputuotteiden varastointiin sekä kuljetukseen
 - » Vakaa ja ennustettava regulaatio sekä tukipolitiikka
- » Näiden tekijöiden yhteensovittaminen on ratkaisevaa, jotta alueelle voi muodostua kannattava ja kestävä PtX-arvoketju, joka kestää myös suhdanne- ja markkinavaihtelut.



YHTEENVETO 2/3

- » Aluetaloudelliset vaikutukset voivat olla huomattavat, jos Etelä-Karjalassa toteutuu samanaikaisesti uusiutuvan energian tuotantoinvestointeja ja PtX-tuotantolaitoshankkeita sekä paikallinen alihankintaketju aktivoituu ja pääsee kiinteästi osaksi arvoketjua.
- » Parhaimmillaan Etelä-Karjalan yrityksille voi avautua globaaleja liiketoimintamahdollisuuksia PtX-investointien toimitusketjuissa. Siksi on suositeltavaa kartoittaa maakunnan kasvuhaluiset ja kasvuun kykenevät alihankintayritykset sekä tunnistaa niiden PtX-arvoketjuun sopivat palvelut, teknologiat, tuotteet ja innovaatiopotentiaali. Samanaikaisesti on tärkeää tunnistaa asiakaspotentiaalia omaavat hankeyhtiöt sekä EPC-, EPCM- ja OES-toimittajat ja selvittää niiden tarpeet. Näiden markkinaosapuolien kohtaaminen on varmistettava luomalla alustoja fyysiselle ja digitaaliselle kohtaamiselle. Maakunnan yrityksillä on todellinen mahdollisuus päästä osaksi investointien globaaleja toimitusketjuja vain, jos hankeyhtiöt ja toimittajat ovat tietoisia niiden tuote- ja palveluvalikoimasta, laadusta ja suorituskyvystä.
- » Suurimmat haasteet Etelä-Karjalan PtX-arvoketjussa liittyvät uusiutuvan sähkön rajoitteisiin, logistiikan kehittämistarpeisiin sekä teknologiatoimittajien vähäisyyteen. Pitkän aikavälin riskejä muodostavat erityisesti metsäteollisuuden rakennemuutokset ja geopoliittiset epävarmuudet, jotka voivat vaikuttaa hiilidioksidin saatavuuteen ja investointien riskiin.



YHTEENVETO 3/3

- » Biogeenisen hiilidioksidin saatavuus on PtX-arvoketjulle ensiarvoisen tärkeä. Etelä-Karjalan pienet pistelähteet riittävät käytännössä vain pilotointimittakaavaan, kun taas metsäteollisuuden biogeeniset hiilidioksidipäästöt ovat niin suuria, että jo yhden laitoksen päästövirrasta riittäisi usean PtX-investoinnin tarpeisiin. Koska alueella on samanaikaisesti käytettävissä sähköä ja investoinneille soveltuvaa tilaa sekä hankkeita suunnitteilla, nousee hiilidioksidin talteenoton toteutuminen metsäteollisuuden yhteydessä koko arvoketjun kriittisimmäksi tekijäksi. Tämän vuoksi keskeinen suositus on edistää biogeenisen hiilidioksidin talteenoton toteutumista kehittämällä alueellinen hankekonsepti ja liiketoimintamalli sekä tukemalla toimijoiden välisten neuvotteluiden etenemistä. Suositellaan selvittämään miten voidaan parhaiten edistää hiilidioksidin talteenoton toteutumista metsäteollisuuden tuotantolaitoksen yhteydessä Etelä-Karjalassa.
- » Kannustetaan tutustumaan ja hyödyntämään rahoitusmahdollisuuksia (EU Hydrogen Bank, Innovation Fund, Business Finlandin vety & CCU RRF-haut (2025–2026), kansallinen käänteinen huutokauppa). Hankkeiden suunnittelussa on pohdittava, onko pilotointi välttämätöntä, vai voidaanko suoraan siirtyä isoon kokoluokkaan.
- » Lisäksi suositellaan luomaan kriteerit joiden mukaan Etelä-Karjalan alueelle sijoittumista harkitsevien yritysten ja hankkeiden soveltuvuus voidaan arvioida, jotta resurssit voidaan kohdentaa kaikkein parhaimpiin hankkeisiin.

SUOSITUKSET

1

Tuetaan paikallisia erikokoisia PtX-hankkeita, jotta Etelä-Karjalan sähkö- ja hiilidioksidiresurssit voidaan jalostaa alueella mahdollisimman pitkälle ja maksimoida aluetaloudelliset hyödyt.

2

Edistetään metsäteollisuuden biogeenisen hiilidioksidin talteenottoa ja kehitetään alueellinen hankekonsepti ja liiketoimintamalli sekä vahvistetaan toimijoiden välistä yhteistyötä, jotta metsäteollisuuden yhteyteen sijoittuva talteenotto etenee toteutukseen ja suurten PtX-hankkeiden hiilidioksidin saatavuus voidaan turvata Etelä-Karjalassa.

3

Luodaan selkeät kriteerit Etelä-Karjalaan sijoittumista harkitsevien yritysten ja hankkeiden arviointiin, jotta niiden toteuttamiskelpoisuus, vaikuttavuus ja taloudellinen kannattavuus voidaan vertailla ja resurssit kohdentaa parhaisiin hankkeisiin.

4

Kartoitetaan alueen PtX-kyvykäs alihankintaketju ja kohtautetaan sen toimijat hankeyhtiöihin ja EPC-, EPCM- ja OES-toimittajiin kohdennettujen toimenpiteiden avulla, jotta Etelä-Karjalan yritykset voivat integroitua investointien globaaleihin toimitusketjuihin.



LÄHTEET 1/4

- 1 Etelä-Karjala-ohjelma 2026-2029 ja sen ympäristöselostus. <https://liitto.ekarjala.fi/wp-content/uploads/2025/10/EKO-2026-2029-lausuntoinfo-061025.pdf> (viitattu 26.1.2026)
- 2 Etelä-Karjalan PtX-hankeyhtiön ja -ekosysteemin rahoitusmahdollisuuksien selvitys. <https://www.lut.fi/sites/default/files/media/documents/Etela-Karjalan%20PtX-hankeyhtion%20ja%20ekosysteemin%20rahoituskartoitus%2012.12.2025.pdf> (viitattu 23.1.2026)
- 3 Investointeja ja elinvoimaa Etelä-Karjalaan. [Investointeja ja elinvoimaa Etelä-Karjalaan – Lappeenranta](#) (viitattu 23.1.2026)
- 4 Fingridin verkkokiikari, <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/liitynta-kantaverkkoon/verkkokiikari/> (viitattu 23.1.2026)
- 5 Itä-Suomen sähköverkon kehittäminen, [ita-suomen-verkon-kehittaminen-raportti-8.10.pdf](#) (viitattu 23.1.2026)
- 6 Gasgrid voi myöntää eurooppalaisia EECS-alkuperätaakuita vedylle ja metaanille. [Gasgrid voi myöntää eurooppalaisia EECS-alkuperätaakuita vedylle ja e-metaanille – Gasgrid](#) (viitattu 22.1.2026)
- 7 Suomen uusiutuvat ry. <https://suomenuusiutuvat.fi/aurinkovoima/aurinkovoimahankkeet-ja-voimalat-suomessa/kartta/> (viitattu 21.1.2026)
- 8 Vetytalous ja tuotannon sivuvirtojen hyödyntäminen Kaakkois-Suomessa. [Vetytalous ja tuotannon sivuvirtojen hyödyntäminen Kaakkois-Suomessa](#) (viitattu 21.1.2026)
- 9 FinPRTR. <https://prtr.fi/facilities> (viitattu 26.1.2026)

LÄHTEET 2/4

- 10 Suomen Vetyklusteri ry (2025). Vetytalouden tiekartta Suomelle: Euroopan kilpailukykyisin vetytalous. Helsinki. <https://h2cluster.fi/wp-content/uploads/2026/01/Vetytalouden-tiekartta.pdf> (viitattu 26.1.2026)
- 11 Galimova, Tansu. (2025) Renewable electricity-based fuels and chemicals: Demand, trading, and transportation. Doctoral dissertation, LUT University. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/170645/Tansu%20Galimova_A4.pdf?sequence=1&isAllowed=y (viitattu 26.1.2026)
- 12 Mustola Energy Transition Technical Report (ei julkisesti saatavilla, tilaajan aineistoista).
- 13 Laaksonen, Petteri. et al. (2021) Feasibility study for industrial pilot of carbon-neutral fuel production – P2X: Final report. LUT University. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-668-9>
- 14 Dahiru, A.R. (2025) Sustainability in Power-to-X solutions: Analysis of key performance indicators and feasibility studies. University of Oulu. <https://oulurepo.oulu.fi/handle/10024/58967> (viitattu 26.1.2026)
- 15 Järvinen, Lauri. (2025) Effect of impaired power quality on alkaline water electrolyzer performance and controllability. Väitöskirja, Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/168658/Lauri%20J%C3%A4rvinen_A4.pdf?sequence=1&isAllowed=y (viitattu 26.1.2026)
- 16 Tikkanen, Onni. (2025) Electricity market operation of electrolysis-based hydrogen production. Master's thesis, Aalto University. <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/99014725-901e-417c-baf1-379f18e6bd68/content> (viitattu 26.1.2026)
- 17 VTT. (2024). Selvitys hiilidioksidin talteenoton ja hyötykäytön kansallisesta ilmasto- ja talouspotentiaalista. VTT Technical Research Centre of Finland. https://teknologiateollisuus.fi/wp-content/uploads/2024/09/VTT-projektiraportti_Selvitys-hiilidioksidin-talteenoton-ja-hyotykayton-potentiaalista.pdf (viitattu 26.1.2026)

LÄHTEET 3/4

- 18 Linjala, Onni and Kajolinna, Tuula. (2023) Industrial CO₂ supply pathways for CCU-based electrofuel production in Finland. VTT Technical Research Centre of Finland. https://cris.vtt.fi/files/98747849/E-Fuel_T2.1_Industrial_CO2_supply_pathways_for_CCU-based_electrofuel_production_in_Finland.pdf (viitattu 26.1.2026)
- 19 Heikkilä, Kasper (2023) Towards a carbon negative future of the pulp and paper industry. Diplomityö, Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/165810/Masters_thesis_Kasper_Heikkila.pdf?sequence=1 (viitattu 26.1.2026)
- 20 Valtioneuvosto. (2024). Bioperäisen hiilidioksidin talteenoton miljoonan euron hankehaku käynnistyy. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/bioperaisen-hiilidioksidin-talteenoton-90-miljoonan-euron-hankehaku-kaynnistyy> (viitattu 25.1.2026)
- 21 Ojala, Matti. (2023). Hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntäminen biokaasusta. Diplomityö, Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/165900/diplomityo_Ojala_Matti.pdf?sequence=1&isAllowed=y (viitattu 26.1.2026)
- 22 Q Power (2022) Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi Naistenlahti 3 -voimalaitokselta: Esiselvitys. Q Power Oy. <https://www.tampereenenergia.fi/wp-content/uploads/2023/02/ccus-selvitys.pdf> (viitattu 26.1.2026)
- 23 Paulus Kiviranta, Jaakko Hyypiä, Eero Inkeri, Mika Keski-Luopa, Sirpa Rahiala & Tero Tynjälä (2023) Vetyä, virtaa Kaakkoon – hukkalämmön hyödyntämispotentiaali, XAMK. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/818932/URNISBN9789523445697.pdf?sequence=5&isAllowed=y> (Viitattu 26.1.2026).
- 24 Fast Experts Puhtaan energian ja Power-to-X-investoinnit Kaakkois-Suomeen. [Fast Expert Teams Puhtaan energian ja PtX investoinnit 08 2024_0.pdf](#) (Viitattu 27.1.2026).

LÄHTEET 4/4

Yleisiä muita taustatietoja on poimittu muun muassa seuraavista lähteistä

Biovoima Oy. Kaasun jalostus- ja verkkoliitosratkaisut. Esitysmateriaali. <https://www.proagria.fi/uploads/ProAgria/Etela-Suomi/BIOVOIMA-ESITYS-kaasun-jalostus-ja-verkkoliitosratkaisut.pdf> (viitattu 25.1.2026)

Euroopan komissio (2025). A Strategic Framework for a Competitive and Sustainable EU Bioeconomy. COM(2025) 960 final. Bryssel: https://environment.ec.europa.eu/document/download/dbf8d2ba-9332-4f7a-b336-f356fa4b7236_en?filename=COM_2025_960_1_EN_ACT_part1_v10_0.pdf

Kalliokoski, Simo. (2023). Evaluation of carbon capture with hot potassium carbonate process. Diplomityö, Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/165812/Master's_thesis_Kalliokoski_Simo.pdf?sequence=1 (viitattu 26.1.2026)

Karjunen, Hannu. (2022) Analysis and design of carbon dioxide utilization systems and infrastructures. Doctoral dissertation, LUT University. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/164753/Hannu%20Karjunen_A4.pdf?sequence=4&isAllowed=y (viitattu 26.1.2026)

Karjunen, Hannu; Tynjälä, Tero; Kuparinen, Katja; Vakkilainen, Esa ja Joronen, Tero. (2023). Value creation by converting pulp mill flue gas streams to green fuels. Tappi Journal. Vol. 22 No. 3. <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/23/MAR/23MAR193.aspx> (viitattu 26.1.2026)