

GREEN ELECTRIFICATION – KANSALLISEN EKOSYSTEEMIN JOHTAMINEN LOPPURAPORTTI



SISÄLTÖ

1. Johdanto	<u>3</u>
2. Tiivistelmä	<u>4</u>
2.1 Green Electrification – Kansallisen ekosysteemin johtaminen	<u>4</u>
2.2 Tulosten yhteenveto	<u>5</u>
3. Työpakettien tulokset	<u>6</u>
3.1 Tavoitteet	<u>6</u>
3.2 Tieteentekijöiden tiekartta	<u>7</u>
3.2.1 Suomen vetytalouden tutkimuksen kartoitus	<u>7</u>
3.2.2 Kansallisen strategisen vetytutkimuksen tarpeet	<u>9</u>
3.3 Tieteestä käytäntöön	<u>10</u>
3.3.1 Kemianteollisuuden rooli ja fossiiliton siirtymä Suomessa	<u>10</u>
3.3.2 Sijoittajat ja Power-to-X – keskeiset havainnot ja johtopäätökset	<u>12</u>
3.3.3 Regulaatio ja markkinat	<u>13</u>
3.3.4 Alueet ja kärkihankkeet	<u>14</u>
4. Vihreän sähköistämisen ekosysteemi	<u>15</u>

Lähteet ja julkaisut

Lisätietoja:

Eeva Lähdesmäki, KTM, DI, projektipäällikkö, LUT-yliopisto
Sähköposti: eeva.lahdesmaki@lut.fi

Teemu Tuomisalo, KTT, tutkija, LUT-yliopisto
Sähköposti: teemu.tuomisalo@lut.fi

Jenna Ruokonen, DI, projektitutkija, LUT-yliopisto
Sähköposti: jenna.ruokonen@lut.fi

Petteri Laaksonen, TkT, tutkimusjohtaja, LUT-Yliopisto
Sähköposti: petteri.laaksonen@lut.fi

Timo Fabritius, TkT, professori, Oulun Yliopisto
Sähköposti: timo.fabritius@oulu.fi

Petri Sulasalmi, TkT, tutkijatohtori, Oulun Yliopisto
Sähköposti: petri.sulasalmi@oulu.fi

Samuli Urpelainen, TkT, tutkija, Oulun Yliopisto
Sähköposti: samuli.urpelainen@oulu.fi



innocities



1. Johdanto

Green Electrification – Kansallisen ekosysteemin johtaminen -hanke kuului kansalliseen vetovastuuhankkeiden kokonaisuuteen, joka perustui kaupunkien välisiin ekosysteemisopimuksiin ja niiden karkiosaamisalueisiin.

Hankkeen toteuttajana toimi LUT-yliopisto ja Oulun yliopisto toimi osatoteuttajana. Toteutusaika oli LUT-yliopistolla 1.1.2023–30.9.2025 ja Oulun yliopistolla 1.1.2023–30.6.2025. Hanke sijoittui toimintalinjaan ”Innovatiivinen Suomi”, erityistavoitteeseen ”Tutkimus- ja innovointivalmiuksien ja kehittyneiden teknologioiden käyttöönoton parantaminen”.

LUT-yliopiston kokonaisbudjetti oli 582 892 euroa ja Oulun yliopiston 85 002 euroa. Hanke on saanut rahoitusta Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR) osana Innovatiiviset kaupungit ja yhteisöt -ohjelmaa (InnoCities).

Tämä loppuraportti kokoaa yhteen hankkeen keskeiset tulokset, yksittäisten työpakettien raportit sekä niihin liittyvät julkaisut. Projektin tulokset ja oheismateriaalit ovat saatavilla Green electrification kansallinen ekosysteemi –projektin kotisivuilta [1].

Verkkosivuilta löytyvät hankkeessa tuotetut materiaalit, julkaisut, tieteelliset artikkelit sekä tapahtumamateriaalit, jotka täydentävät tämän loppuraportin sisältöä ja tarjoavat syventävää tietoa eri teemoista.

Tämä loppuraportti koostuu seuraavista osista:

- Johdanto ja tiivistelmä: Hankkeen tavoitteet, kokonaiskuva ja päätulokset.
- Tulokset ja julkaisut: Työpakettien keskeiset löydökset sekä hankkeen aikana tuotetut tieteelliset ja soveltavat julkaisut.
- Johtopäätökset: Vihreän sähköistämisen ekosysteemi
- Lähteet ja julkaisut: Työpakettien yksityiskohtaiset osaraportit ja täydentävät aineistot.

Tämä rakenne varmistaa, että projektin tulokset sekä niiden käytännön sovellukset ovat helposti saavutettavissa eri kohderyhmille – tutkijoille, päätöksentekijöille, teollisuudelle ja yleisölle. Kiitämme hankkeen ohjausryhmää heidän aktiivisesta osallistumisestaan ja arvokkaasta tuestaan hankkeen toteutuksessa.

Lappeenranta
Tammikuu 2026

2. Tiivistelmä

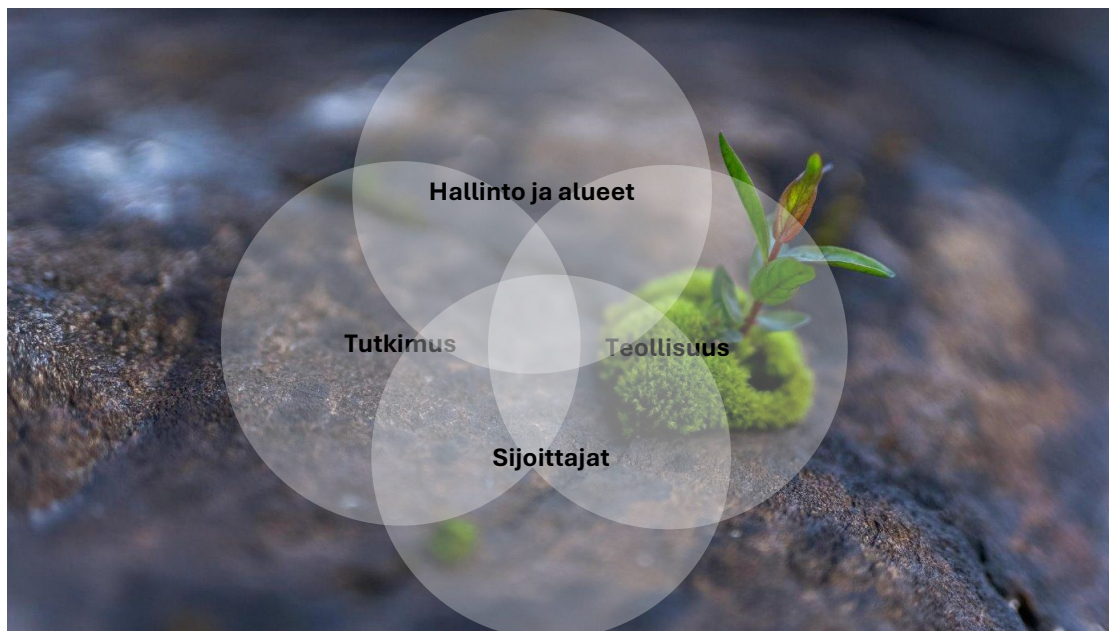
2.1 Green Electrification – Kansallisen ekosysteemin johtaminen

Hanke Green Electrification – Kansallisen ekosysteemin johtaminen toteutettiin vuosina 2023–2025 LUT-yliopiston johdolla, Oulun yliopiston toimiessa osatoteuttajana. Hankkeen tarkoituksena oli vahvistaa Suomen asemaa vihreän sähköistämisen ja vetytalouden kärkimaana sekä rakentaa pysyviä yhteistyörakenteita tutkimuksen, teollisuuden, sijoittajien ja julkisen hallinnon välille.

Hankkeen päätavoitteena oli vähentää vihreään sähköistämiseen liittyviä investointiriskejä ja nopeuttaa siirtymää kohti kestävää, sähköön perustuvaa taloutta parantamalla tutkimuksen, teollisuuden, sijoittajien ja julkisen sektorin tiedonsiirtoa ja yhteistyötä.

Hankkeen kokonaisuus jakautui kolmeen työpakettiin:

- TP1 – Tieteentekijöiden tiekartta: kartoitti Suomen Power-to-X (PtX)-talouden - tutkimuskentän, sen vahvuudet, tutkimusaukot ja kehitystarpeet. Tulosten perusteella laadittiin kansallinen strateginen vetytutkimuksen tiekartta yhteistyössä Vetytutkimusfoorumin kanssa.
- TP2 – Tieteestä käytäntöön: yhdisti tutkimuksen tuloksia teollisiin sovelluksiin, sijoittajaprosesseihin ja aluekehittämiseen. Työpaketti tarkasteli teollisuuden vihreän siirtymän kehitystä, EU-regulaation vaikutuksia, sijoittajien näkemyksiä Suomen kilpailukyvyistä sekä vihreän sähköistämisen aluekehittämiseen liittyviä kysymyksiä.
- TP3 – Tiedon jakaminen: vahvisti kansallisen ekosysteemin verkostoja ja tiedonvaihtoa tutkimuslaitosten, yritysten ja hallinnon välillä. Tuloksena syntyi uusia pysyviä yhteistyömuotoja kuten Suomen Vetytutkimusfoorumi ja alueelliset Power-to-X -verkostot.



2.2 Tulosten yhteenveto

Hankkeen tulokset osoittavat, että Suomella on erinomaiset lähtökohdat hyödyntää vihreän sähköistämisen, vetytalouden ja Power-to-X-teknologioiden tuomat mahdollisuudet. Keskeiset ekosysteemin osat – tutkimus, teollinen kysyntä, infrastruktuuri, rahoitus, sääntely ja alueellinen kehitystyö – ovat olemassa, mutta kokonaisuuden skaalautuminen edellyttää koordinoitua ja investointien ennakoitavuuden parantamista.

Työpaketti 1 tulos liittyi kansallisen tutkimuskentän kartoitukseen ja strategiseen linjaamiseen, joka tunnisti Suomen vahvuudet energia- ja järjestelmätutkimuksessa sekä elektrolyysiin, CO₂ talteenottoon ja synteettisiin polttoaineisiin liittyvissä ratkaisuissa. Samalla tunnistettiin tutkimusaukkoja mm. CO₂ logistiikan, vedyn varastoinnin, markkinamallien, sääntelyn ja PtX-sovellusten alueella. Näiden pohjalta laadittiin kansallinen strateginen vetytutkimuksen tiekartta, joka tukee tulevaa tutkimusta, rahoitusta ja teollista soveltamista.

Työpaketti 2 tulos koski tutkimuksen, teollisuuden, sijoittajien ja regulaation yhdistämistä. Selvitykset osoittivat, että teollisuuden sähköistyminen ja PtX-ratkaisut ovat potentiaalisia, mutta edellyttävät merkittäviä toimia regulaatiossa ja kansallisessa päätöksenteossa. EU-regulaatio (ReFuelEU Aviation & FuelEU Maritime) ja IMO:n sekä IATA:n strategiat luovat kysyntää etenkin synteettisille polttoaineille, mutta kemianteollisuuden siirtymä edellyttää lisätoimia. Sijoittajahaastattelut puolestaan osoittivat, että kiinnostus on olemassa, mutta arvoketju on vielä liian kehittymätön ja kysyntä epävarmaa PtX-investointien toteutumiselle.

Kolmas keskeinen tulos korosti tiedon jakamisen roolia ja johtamista ekosysteemissä, jossa tarvitaan ekosysteemin kokoamista ja yhteistyörakenteiden vahvistamista. Hanke tiivistä kolmikantayhteistyötä tutkimuksen (Vetytutkimusfoorumi), teollisuuden (Suomen Vetyklusteri) ja hallinnon (BF, TEM) välillä.

Alueellinen tarkastelu osoitti, että kaupungit ja teollisuusalueet toimivat investointien toteuttajina, ja niiden valmiudet vaihtelevat energia- ja CO₂-infran, logistiikan, teollisen perustan ja osaamisen perusteella. Projektin selvitykset toivat esiin aluekohtaisia vahvuuksia ja kehityspolkuja.

Kokonaisuutena voidaan todeta, että Suomen vihreän sähköistämisen ekosysteemi sisältää keskeiset edellytykset kasvavalle PtX-taloudelle. Seuraava kehitysvaihe edellyttää kuitenkin ekosysteemin eri sidosryhmien tiiviimpää yhteistyötä, johdonmukaista politiikkaa, selkeämpiä markkina- ja kysyntärakenteita, ekosysteemin kansainvälistä integraatiota ja sijoittajien sekä laajennetun arvoketjutoimijoiden kuten kasvuyritysten osallistamista ekosysteemiin.

3. Työpakettien tulokset

3.1 Tavoitteet

Hankkeen tavoitteena oli nopeuttaa vihreän sähköistämisen kansallista kehitystä ja sitä kautta vahvistaa Suomen kilpailukykyä. Tavoitteen saavuttamiseksi hankkeessa vahvistettiin tutkimuksen ja elinkeinoelämän yhteistyötä, vähennettiin investointiriskejä sekä tuettiin kansallista ja alueellista päätöksentekoa vihreän sähköistämisen ekosysteemin kehittämiseksi.

PÄÄTAVOITE	
Vauhdittaa vihreän sähköistämisen kehitystä vähentämällä investointiriskejä ja lisäämällä tutkimuksen ja elinkeinoelämän yhteistyötä ekosysteemissä, mikä vahvistaa Suomen kilpailukykyä.	
TP1- TIEENTEKIJÖIDEN TIEKARTTA	TP2- TIETEESTÄ KÄYTÄNTÖÖN
- Vahvistaa elinkeinoelämän ja tutkimuksen yhteistyötä sekä soveltavan tutkimuksen hyödyntämistä yrityksissä. - Laatia kansallinen tutkimuskartoitus, joka tukee tutkimusrahoituksen strategista suuntaamista ja merkittävien tutkimusaihioiden tunnistamista	- Hyödyntää tutkimustietoa edistämään PtX-talouden kehitystä - Arvioida EU-regulaatioiden ja kansallisten strategioiden vaikutuksia Suomen kilpailukykyyn. - Tukea hallintoa, teollisuutta ja sijoittajia vihreän sähköistämisen saralla kartoittamalla ekosysteemin tarpeet ja tuottamalla tietoa riskien vähentämiseksi.
TP3 – TIEDON JAKAMINEN	
Vahvistaa tutkimuksen, yritysten, sijoittajien ja hallinnon välistä yhteistyötä sekä pysyviä tiedonvaihtorakenteita. Lisätä osaamista, vuorovaikutusta ja päätöksentekoa kansallisella ja alueellisella tasolla sekä tukea Suomen verkostoitumista kansainväliseen vihreän sähköistämisen tutkimukseen.	

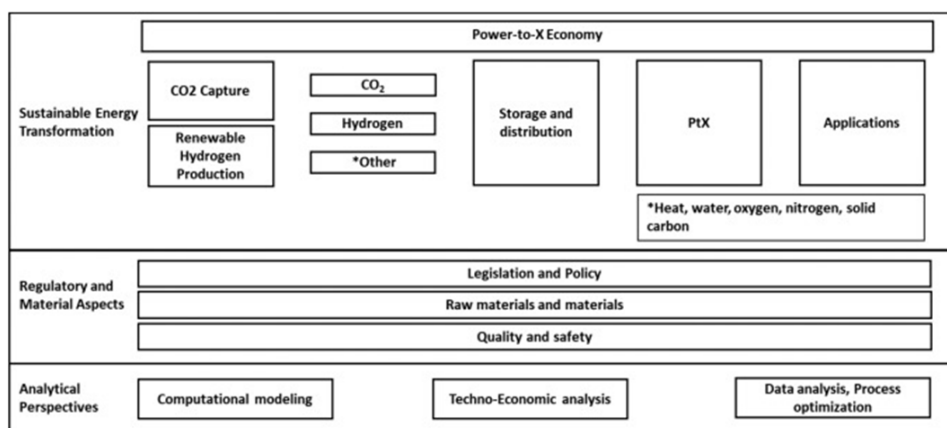
Näiden tavoitteiden kautta hanke pyrki rakentamaan **pysyvän yhteistyöekosysteemin**, joka yhdistää tutkimuksen, teollisuuden ja hallinnon vihreän siirtymän vauhdittamiseksi.

3.2 Tieteentekijöiden tiekartta

3.2.1 Suomen vetytalouden tutkimuksen kartoitus

Suomen vetytalouden ja Power-to-X (PtX)-tutkimuksen kartoitus [2] perustui bibliometriseen analyysiin ja tutkimusorganisaatioille tehtyihin kyselyihin. Analyysi kattoi suomalaiset PtX-tutkimuksen julkaisut vuosilta 2017–2023 sekä tutkimuslaitosten ilmoittamat tutkimuksen painopisteet ja infrastruktuurit.

Kartoitusta varten luotiin uusi PtX-tutkimuksen viitekehys, jonka tarkoituksena oli jäsentää suomalaisen tutkimuksen rakennetta. Viitekehys toimi perustana bibliometriselle analyysille, jossa kartoitettiin kotimaisen PtX-tutkimuksen tilaa.



Kuva 1: Power-to-X-tutkimuksen viitekehys

Keskeisimmät tulokset

Tulokset osoittivat, että Suomessa on kansainvälisesti merkittävä määrä PtX-tutkimusta. Tutkimuksen painopisteet ovat erityisesti energiajärjestelmissä sekä ympäristö- ja ilmastovaikutuksissa. Muita paljon tutkittuja aiheita olivat hiilidioksidin talteenotto, uusiutuvan vedyn tuotanto, sekä PtX-teknologioissa vedyn varastointi, hiilidioksidin hyödyntäminen ja vedyntuotannon sivutuotteet. Myös sääntely ja politiikka sekä materiaalitutkimus olivat vahvasti esillä.

Kotimaisessa PtX-tutkimuksessa on myös lukuisia merkittäviä tutkimusaukkoja, joihin on kiinnitettävä huomiota tulevaisuudessa.

Suomalaisen PtX-tutkimuksen kansainvälinen yhteistyö on vahvaa, mutta kotimainen yhteistyö oli vähäistä. Suomalaiset tutkimuslaitokset voisivat tiivistää yhteistyötä erityisesti strategisesti merkittävässä tutkimusaiheissa, joka vahvistaisi kotimaisen tutkimuksen vaikuttavuutta ja tukisi ekosysteemien kehitystä.

[2] [Assessment of Finnish Power-to-X Economy research 2017–2023: Scientific articles and research activities](#)

[3] [Yhteenveto Suomen vetytalouden tutkimuksen kartoitus](#)

Suomalaisen PtX-tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

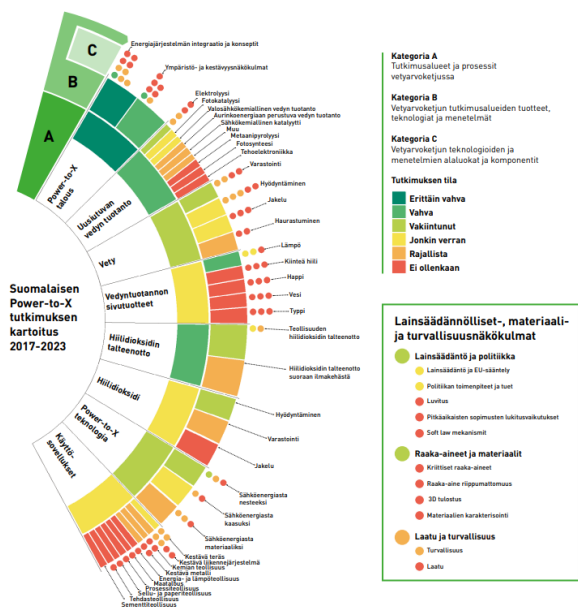
Suomalaisen PtX-tutkimuksen keskeiset vahvuudet ovat energiajärjestelmissä ja PtX-teknologioissa. Suomella on erittäin vahva energiajärjestelmätason tutkimus, jossa mallinnus, järjestelmäintegraatio ja skenaariotarkastelut muodostavat vakiintuneen osaamisalueen. Näissä teemoissa suomalaiset tutkimusryhmät tuottavat kansainvälisesti merkittäviä tuloksia. Myös ympäristö- ja ilmastovaikutukset nousivat esille, joita tutkitaan usein yhdessä energiajärjestelmiin liittyvissä tutkimuksissa. Teknologiaetasolla vahvuuksia olivat hiilidioksidin talteenotto (teollisuuden pistelähteet), uusiutuvan vedyn tuotanto (elektrolyysi), PtX-ratkaisut (PtL & e-metanoli sekä tämän johdannaiset), vedyn varastointi, hiilidioksidin hyödyntäminen sekä vedyntuotannon sivutuotteet (lämpö).

Vahvuuksista huolimatta suomalaisessa PtX-tutkimuksessa on lukuisia merkittäviä tutkimusaukkoja. Näitä on kaikissa viitekehyksen osa-alueissa. Energiajärjestelmissä (liiketoimintamallit, elinkaaritutkimus, huoltovarmuus, infrastruktuuri, vetylaaksot, koneoppiminen/tekoäly ja informaatiojärjestelmät), ympäristö- ja ilmastovaikutuksissa (tulojen jakaantuminen, kiertotalous, maankäyttö, biodiversiteetti ja kestävyysnäkökulmat), uusiutuvan vedyn tuotannossa (metaanipyrolyysi, fotosynteesi, tehoelektroniikka, alkalinen elektrolyysi, PEM, fotosähköinen elektrolyysi, SOEC, AEM), hiilidioksidin talteenotossa (DAC ja teollisuuslähteet ml. biogeeninen hiilidioksidi), vedyn hyödyntämisessä (muut kuin lämpö), vedyn varastoinnissa (kaasu, neste, metalli, kompressio), PtX-teknologioissa (e-metaani, e-polttoaineet, e-etanoli, e-proteiini, e-betoni ja e-muovi).

Myös lainsäädännön ja regulaation sekä materiaalitutkimuksen parissa on merkittäviä tutkimusaukkoja. Materiaalitutkimuksessa voitaisiin tutkia hiilidioksidin talteenottoa tai vedyn käyttöön liittyviä aiheita.

Lainsäädännön ja regulaation tutkimuksessa voitaisiin myös tehdä enemmän tutkimusta, etenkin Suomen kilpailukyyn kannalta tärkeiden aiheiden parissa. Turvallisuus ja laatu- ja ympäristökuorma puuttuu käytännössä kokonaan kotimaisesta PtX-tutkimuksesta, joka vaatii myös tutkimusta tulevaisuudessa.

Suomalaisen tutkimuksen yksi keskeisimmistä haasteista liittyy kotimaisen yhteistyön vähäisyyteen erityisesti julkaisujen osalta, millä voi olla vaikutusta strategisten osaamiskeskittymien muodostumiseen.



Kuva 2: Suomen Power-to-X-tutkimuksen tila 2017-2023 [3]

[2] [Assessment of Finnish Power-to-X Economy research 2017–2023: Scientific articles and research activities](#)

[3] [Yhteenveto Suomen vetytalon tutkimuksen kartoitus](#)

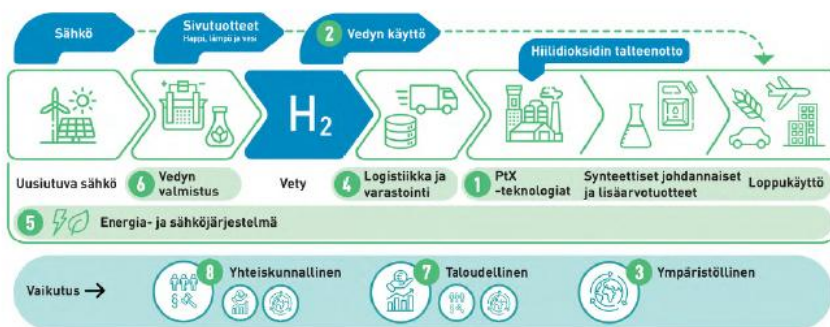
3.2.2 Kansallisen strategisen vetytutkimuksen tarpeet

Suomen vetytalouden tulevaisuuden tutkimustarpeita analysoitiin laajassa yliopistojen ja tutkimuslaitosten tekemässä selvityksessä. Tähän osallistui Aalto-yliopisto, Helsingin yliopisto, Itä-Suomen yliopisto, Jyväskylän yliopisto, LUT-yliopisto, Oulun yliopisto, Tampereen yliopisto, Turun yliopisto, Vaasan yliopisto, Åbo Akademi, VTT ja Luonnonvarakeskus (Luke). Yhdessä tutkimusorganisaatioiden asiantuntijoiden kanssa arvioitiin 24 Suomen kilpailukyvyn kannalta keskeisintä tutkimusaiheita. Tarkastelu kattoi koko vedyn arvoketjun (Kuva 3) tuotannosta loppukäyttöön sekä energia-, yhteiskunta- ja sääntelynäkökulmat. [4][5][6]



Kuva 3: Kansallisen strategisen vetytutkimuksen tarpeet

Tutkimustarpeet jaoteltiin lyhyen, keskipitkän ja pitkän aikavälin kokonaisuuksiin ja ne myös priorisoitiin niiden strategisen merkityksen perusteella. Kolme korkeimman prioriteetin kategoriaa ovat vedyn synteettiset lisäarvotuotteet ja hiilidioksidi, vedyn suora käyttö sekä ympäristö- ja kestävyysvaikutukset. Lisäksi tunnistettiin useita muita arvoketjun kannalta keskeisiä osa-alueita, kuten vedyn varastointi ja siirto, energia- ja sähköjärjestelmä, puhtaan vedyn tuotanto, markkinat ja yhteiskunta sekä EU-sääntely ja politiikka.



Kuva 4: Kansallisen strategisen vetytutkimuksen tarpeet arvoketjussa

Suomen kilpailukyvyn kannalta tärkein prioriteetti — synteettisiin lisäarvotuotteisiin ulottuvan PtX-arvoketjun kehittäminen — edellyttää, että tutkimus kattaa tasapainoisesti kaikki arvoketjun osat. Teknologiat, markkinat, energiajärjestelmät ja sääntely muodostavat toisiinsa kytkeytyvän kokonaisuuden, ja niiden yhteinen tarkastelu on välttämätöntä vetytalouden skaalautumiselle (Kuva 4).

[4] [Kansallisen strategisen vetytutkimuksen tarpeet- Suomen vetytutkimusfoorumin näkymä](#)

[5] [Yhteenveto kansallisen strategisen vetytutkimuksen tarpeet](#)

[6] [Yhteenveto kansallisen strategisen vetytutkimuksen tarpeet – Suomen vetytalouden tutkimustarpeiden vertailu teollisuuden ja tutkimuksen näkökulmasta](#)

3.3 Tieteestä käytäntöön

3.3.1 Kemianteollisuuden rooli ja vihreä sähköistäminen Suomessa

Kemianteollisuus on Suomen merkittävin vientiala, jonka tuleva kilpailukyky rakentuu sektorin siirtymisestä kestäviin raaka-aineisiin. Kemianteollisuus tulee muodostamaan suurimman kysyntäsegmentin PtX-tuotteille vuosien 2030-2050 välillä, jonka takia sillä on merkittävä rooli fossiilittoman teollisuuden veturina ja uuden investointiaallon mahdollistajana. [7]

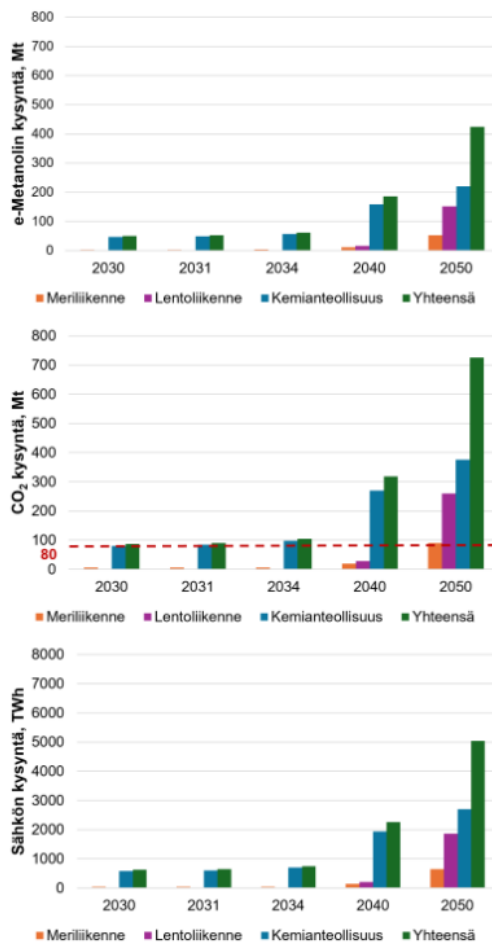
PtX-tuotteiden (mm. e-metanoli) kysyntä kasvaa voimakkaasti erityisesti kemianteollisuudessa sekä lento- ja meriliikenteessä. Tästä johtuen e-metanolin valmistuksessa tarvittavan hiilidioksidin ja uusiutuvan energian tarve nousee jyrkästi. Tämä luo teollisuuden sähköistymiselle ja hiilen talteenottoteknologioille strategisen kysynnän.

Mahdollisuudet kemianteollisuuden sähköistämisessä

Fossiilittomaan kemianteollisuuteen siirtyminen tarjoaa Suomelle useita strategisia mahdollisuuksia:

- Kotimaiset raaka-aineet – biogeenisen CO₂ ja uusiutuvan energian hyödyntäminen synteettisten polttoaineiden ja kemikaalien tuotannossa vähentää tuontiriippuvuutta ja luo kaupallista lisäarvoa
- Uudet teolliset arvoketjut – sähköistetyt PtX-ratkaisut ja fossiiliton kemia voivat muodostaa uusia vientialoja
- Huoltovarmuus ja toimitusvarmuus – kotimainen kemikaali- ja polttoainetuotanto vähentää riippuvuutta fossiilisista tuontiraaka-aineista
- Korkean lisäarvon työpaikat ja osaaminen – siirtymä tukee teknologiaintensiivisen teollisuuden kasvua

Kemianteollisuuden keskeinen rooli johtuu myös siitä, että tämä toimii materiaalitalouden solmukohtana: tuotteet ovat lähtöaineita useille muille teollisuudenaloille (mm. metalli-, sähkö- ja energiateollisuus).



Kuva 5: e-Metanolin ja raaka-aineiden kysyntäennusteet Euroopassa 2030-2050

Keskeiset haasteet kemianteollisuuden sähköistämiseen

- Kilpailukyky – PtX-tuotteet ovat vielä fossiilisia ja biopolttoaineita kalliimpia
- Kysynnän epävarmuus – synteettisille tuotteille ei ole vielä merkittävää kysyntää
- Uusiutuvan energian lisärakentaminen – PtX-tuotteiden valmistus vaatii merkittävää lisäkapasiteettia
- Arvoketjujen keskeneräisyys – eri toimijoiden roolit logistiikassa, CO₂ talteenotossa, varastoinnissa ja jatkojalostuksessa ovat vielä epäselviä
- Sääntely- ja politiikkariskit – PtX-tuotteiden käyttöönotto on erittäin riippuvainen EU-sääntelystä

Toimenpiteet fossiilittoman kemianteollisuuden edistämiseksi

Seuraavat toimenpiteet tukevat kilpailukykyisen ja kestävän kemianteollisuuden arvoketjun rakentamista Suomessa:

- Turvataan uusiutuvan sähkön ja biogeenisen CO₂ saatavuus PtX-tuotteiden valmistamiseksi.
- Kehitetään PtX-pohjaisia teollisia arvoketjuja, jotka mahdollistavat kotimaisen jalostuksen ja viennin kasvun.
- Parannetaan PtX-tuotteiden kilpailukykyä regulaation avulla.
- Vahvistetaan kemianteollisuuden ja muiden teollisuusklustereiden yhteistyötä, jotta koko arvoketju voidaan rakentaa tehokkaasti.
- Käynnistetään pilotit ja demonstraatiot PtX-teknologioiden kypsyyden kasvattamiseksi
- Edistetään yritysten ja sijoittajien välistä yhteistyötä, jotta teolliset investoinnit voidaan toteuttaa pitkäjänteisesti ja markkinaehtoisesti.
- Tuetaan infrastruktuurin kehittämistä (sähkö, vety, CO₂-logistiikka), joka muodostaa edellytyksen laajamittaisille teollisille investoinneille.

Yhteenveto

Kemianteollisuuden vihreä siirtymä on strategisesti merkittävä kehityspolku Suomen teollisuudelle. Suomi voi rakentaa merkittävän kilpailuedun yhdistämällä uusiutuvan energian, biogeenisen CO₂, tutkimusosaamisen ja teolliset arvoketjut. Siirtymä edellyttää kuitenkin pitkäjänteistä investointiympäristöä, vahvaa teollista yhteistyötä ja toimivaa infrastruktuuria. Oikein toteutettuna fossiiliton kemianteollisuus voi muodostua keskeiseksi osaksi Suomen teollisuusstrategiaa ja elinvoimaa. [7]

3.3.2 Sijoittajien näkemykset Suomen Power-to-X-taloudesta

Sijoittajilla on keskeinen asema PtX-tuotantolaitosten käynnistämisessä ja teollisten arvoketjujen rakentamisessa. Hankkeessa tehdyn selvityksen perusteella Suomi näyttäytyy sijoittajille kansainvälisesti houkuttelevana sijoituskohteena, mutta markkinaan liittyy myös epävarmuuksia, jotka vaikuttavat investointipäätöksiin. [8]

Selvityksen perusteella sijoittajat näkevät Suomen potentiaalisena sijoituskohteena seuraavien kilpailuetujen vuoksi:

- Uusiutuvan energian tarjonta, sekä sen lisärakennuspotentiaali
- Mahdollisuus hyödyntää biogeenistä CO₂ vedyn jatkojalostamiseen
- Poliittinen vakaus ja toimiva regulaatioympäristö

Nämä tekijät muodostavat kilpailuedun suhteessa moniin verrokkimaihin. Samanaikaisesti investointeja hidastavat poliittisen päätöksenteon ja regulaation epävarmuus, kysynnän puute, korkea pääoman tarve, sekä arvoketjujen ja markkinarakenteiden keskeneräisyys.

Keskeiset suositukset investointien vauhdittamiseksi sijoittajien näkökulmasta ovat:

1. Kansallinen poliittinen ennakoitavuus ja faktapohjainen päätöksenteko

2. Johdonmukainen ja kilpailukykyä turvaava EU-regulaatio

3. Uusiutuvan sähkön saatavuuden varmistaminen

4. Kohdennetut ja markkinaehtoiset tukimekanismit

5. Sähkö-, vety- ja satamainfrastruktuurin sekä niiden solmukohtien kehittäminen

6. Pitkäaikaisten kysyntäsopimusten ja markkinoiden syntymisen tukeminen

3.3.3 Regulaatio ja PtX-tuotteiden markkinat

Regulaatiolla on ratkaiseva rooli vihreässä siirtymässä, sillä EU:n päästövähennysvelvoitteet ja sektorikohtaiset säädökset määrittävät PtX-tuotteiden kysynnän kemianteollisuudessa sekä lento- ja meriliikenteessä. Hankkeen keskeinen johtopäätös on, että PtX-markkina ei synny orgaanisesti, vaan tämä rakennetaan sääntelyllä, joka mahdollistaa teollisen mittakaavan pitkäjänteiset investoinnit. [7]

EU:n sääntely ohjaa kemianteollisuuden muutosta

Eurooppalaisen teollisuuden keskeisin ohjausmekanismi on EU:n päästökauppajärjestelmä (EU ETS): teollisuuden ilmaiset päästöoikeudet poistuvat asteittain kokonaan vuoteen 2034 mennessä. Tämä nostaa fossiilisten tuotteiden kustannuksia ja lisää kannustimia siirtyä PtX-tuotteisiin.

- EU ETS laajeni lentoliikenteeseen → ilmaiset päästöoikeudet loppuvat **2026**.
- EU ETS laajeni meriliikenteeseen → ilmaiset päästöoikeudet loppuvat **2027**.
- Vuonna **2030** ilmaisista päästöoikeuksista on jäljellä enää ~50 %.
- Vuonna **2034** ne poistuvat kokonaan → investointipaine sähköistämiseen kasvaa merkittävästi.

ETS:n rinnalla CBAM (hiilirajamekanismi) lisää Euroopan ulkopuolella tuotettujen fossiilisten tuotteiden kustannuksia ja parantaa eurooppalaisen fossiilittoman kemianteollisuuden kilpailuasemaa.

Lisäksi lento- ja meriliikenteessä on omat asetuksensa, jotka lisäävät kestävien polttoaineiden käyttöä näillä sektoreilla. ReFuelEU Aviation nostaa kestävien polttoaineiden osuuden 70 prosenttiin vuoteen 2050 mennessä. FuelEU Maritime edellyttää 80 prosentin päästöjen vähennystä laivaliikenteessä vuoteen 2050 mennessä. Lento- ja meriliikenteellä on myös omat teolliset strategiat, jotka nostavat kestävien polttoaineiden kysyntää.

Teollisuus	Lentoliikenne	Meriliikenne
• Ilmaisten päästövähennysten loppuminen vuonna 2034	• EU ETS → ilmaiset päästöoikeudet loppuvat 2026. • ReFuelEU Aviation määrittää kestäviin lentopolttoaineisiin (SAF) siirtymisen: ○ 2 % vuonna 2025 ○ 6 % vuonna 2030 ○ 70 % vuonna 2050 (35% e-polttoaineita) • IATA edellyttää 65 % kestävien polttoaineiden osuutta vuonna 2050.	• EU ETS → ilmaiset päästöoikeudet loppuvat 2027. • FuelEU Maritime edellyttää päästöjen vähennystä: ○ 2 % vuonna 2025 ○ 80 % vuonna 2050 • Lisäksi IMO edellyttää 70–80 % päästövähennyksiä vuoteen 2040 ja nettonollapäästöjä vuoteen 2050 mennessä.

3.3.4 Alueet ja kärkihankkeet

Projektissa tarkasteltiin seitsemää kaupunkiseutua – **Joensuu, Lappeenranta, Kokkola, Vaasa, Oulu, Raahe ja Jyväskylä** – jotka muodostivat hankkeen yhteistyöverkoston. Kaupungit toivat tarkasteluun omat alueelliset näkökulmansa ja nostivat esiin kärkihankkeet, joita ne pitivät alueensa kannalta merkittävimpinä.

Tavoitteena oli hahmottaa, minkälaisia kehityssuuntia **vihreän sähköistämisen, vetytalouden, teollisuuden uudistumisen ja Power-to-X (PtX)-ratkaisujen** teemoissa on tunnistettu eri puolilla Suomea. Kaupunkien esittämiä kärkihankkeita ei avata tässä raportin päätekstissä yksityiskohtaisesti, vaan niitä hyödynnetään alueellisten kehityspolkujen hahmottamisessa.

Puhtaan energian ja Power-to-x-investoinnit Kaakkois-Suomeen

Projektissa tehtiin LUT-yliopiston FET-asiantuntijamenetelmällä alueellinen selvitys Kaakkois-Suomen teollisuuden ja vihreän sähköistymisen edellytyksistä. Selvityksessä tarkasteltiin alueen potentiaalia puhtaan energian, **biogeenisen CO₂** ja PtX-ratkaisujen näkökulmasta.

Selvitys nosti esille alueellisia havaintoja, kuinka infrastruktuuri, energiaratkaisut, raaka-ainevirrat ja teollinen perusta voivat houkutella PtX-investointeja sekä kehittää uusia arvoketjuja Kaakkois-Suomeen. Samalla FET-lähestymistapa tuotti yleisluontoista ymmärrystä, jota voidaan hyödyntää myös muiden alueiden kehittämisessä.

FET-tulokset — 8 konkreettista toimenpide-ehdotusta ja keskeiset havainnot

FET-raportin tuloksena syntyi kahdeksan toimenpide-ehdotusta, joilla voidaan edistää PtX-investointeja ja teollisuuden vihreää siirtymää Kaakkois-Suomessa:



4. Vihreän sähköistämisen ekosysteemi

Suomen vihreän sähköistämisen siirtymä ja Power-to-X-talouden muodostuminen edellyttävät toimivaa ja integroitunutta ekosysteemiä, joka yhdistää tutkimuksen, teollisuuden, alueellisen kehityksen, markkinat ja sääntelyn. Projektin aikana muodostettiin kokonaiskuva siitä, minkälaiset rakenteelliset ja toiminnalliset edellytykset Suomen ekosysteemillä tällä hetkellä on sekä mitkä tekijät mahdollistavat ekosysteemin vahvistamisen tulevina vuosina. Tämä luku kokoaa yhteen projektin eri työpakettien tulokset ekosysteemin näkökulmasta.

Suomella on erinomaiset edellytykset toimia vihreän sähköistämisen edelläkävijänä ja Power-to-X-taloudessa ja saavuttaa merkittävä yhteiskunnallisia hyötyjä.

Vahvuksiimme ovat erityisesti:

- Edullinen uusiutuva energia ja sen lisärakennuspotentiaali, jota Power-to-X-teollisuus tarvitsee.
- Suuri määrä biogeenistä hiilidioksidia, jota voidaan hyödyntää synteettisten tuotteiden valmistuksessa. Tämä antaa Suomelle kilpailuedun, etenkin jos raaka-aineet jalostetaan kotimaassa.
- Korkeatasoinen teknologiaosaaminen ja koulutettu työvoima, jotka tukevat alan teollisuuden syntyä ja kasvua

Ekosysteemin tarkastelu osoittaa, että vihreän sähköistämisen murros ei toteudu yksittäisten toimien tai toimijoiden kautta, vaan se edellyttää laaja-alaista yhteistyötä, selkeitä sääntelylinjauksia ja pitkäjänteistä investointikykyä. Suomi on monella osa-alueella vahvassa asemassa, mutta ekosysteemissä on myös kohtia, joiden vahvistaminen on välttämätöntä PtX-teknologioiden ja teollisuuden sähköistämisen skaalautumisen kannalta.

Tutkimus ja vetytutkimusfoorumi

Projektin keskeinen tavoite oli vauhdittaa tiedonvaihtoa tutkimuksen, sijoittajien, hallinnon ja teollisuuden välillä. Tutkimuksen osalta voidaan todeta, että Suomen Vetytutkimusfoorumin laajentuminen ja tiivis yhteistyö ovat vahvistaneet tutkimuksen sisäistä ekosysteemiä ja vuoropuhelua. Tämän hankkeen alla tehty tutkimuskartoitus ja kansallinen strategia vetytutkimukselle ovat tukeneet ekosysteemin toimivuutta ja tuoneet näkyviin tutkimuksen painopisteitä.

Projektin yhteydessä tehty tutkimuskartoitus osoitti myös, että Suomessa on jo olemassa merkittävä määrä kansainvälistä tutkimusyhteistyötä. Samalla tulokset auttavat suunnittelemaan strategisesti kenen kanssa yhteistyötä tulisi laajentaa ja millä aihealueilla.

Hallinto, alueet ja kansalliset verkostot

Hallinnon ja alueiden näkökulmasta tunnistettiin useita keskeisiä verkostoja, kuten Suomen Vetylaakso ry ja BotH₂nia, jotka kokoavat alueellisia toimijoita ja vauhdittavat siirtymää kohti vety- ja Power-to-X-taloutta.

BotH₂nia-verkosto on voimistanut etenkin länsirannikon vetykehitystä, ja Euroopan unioni on virallisesti nimennyt alueen Hydrogen Valleyksi. Suomen Vetylaakso ry taas edistää vety- ja power-to-x-kehitystä Itä- ja Kaakkois-Suomessa ja toimii alueellisena verkostona, joka kokoaa toimijoita ja vahvistaa alueen näkyvyyttä kansallisissa ja eurooppalaisissa kokonaisuuksissa.

Alueellinen kehitys on noussut siirtymässä merkittävään asemaan. Projektin kaupunkiverkosto (Joensuu, Lappeenranta, Kokkola, Vaasa, Oulu, Raahe, Jyväskylä) sekä muut aktiiviset kaupungit (mm. Tampere, Turku ja Helsinki) ovat rakentamassa omia PtX-teollisuuden, energiasiirtymän ja investointien kokonaisuuksia ja ovat mukana kansallisissa ja eurooppalaisissa verkostoissa

Business Finlandilla on merkittävä rooli erityisesti tutkimuksen, teollisuuden ja rahoituksen rajapinnoissa. Business Finlandin Akku- ja vetyohjelma, on vahvistanut ekosysteemin rakenteita, edistäneet yritysten ja tutkimusorganisaatioiden yhteistyötä sekä tukenut investointi- ja innovaatioympäristöjen kehittymistä.

Teollisuus, infra ja startupit

Teollisuuden näkökulmasta vetytalouden ja PtX-ratkaisujen kehittäminen keskittyy Suomen vetyklusteriin, joka toimii teollisuuden omana strategisena kokonaisuutena sekä rajapintana tutkimukseen ja hallintoon. Valtion omistamat Fingrid ja Gasgrid muodostavat kriittisen infrastruktuuripohjan sekä sähkö- että kaasunsiirtoon liittyen ja luovat Suomelle kilpailuetua energiainvestointien houkuttelemisessa.

Ekosysteemin kannalta merkittävä puute liittyy startupien ja pk-yritysten asemaan. Nämä toimivat vielä pitkälti ekosysteemin ulkokehällä, eivätkä ole riittävästi kytkeytyneet tutkimuksen, teollisuuden ja rahoituksen rakenteisiin (klusterit, ohjelmat, rahoitusinstrumentit).

Sijoittajat ja rahoitus

Hankkeeseen osallistuneiden sijoittajien kanssa käydyt keskustelut osoittivat selvästi, että sijoittajasektori on kiinnostunut Suomen PtX-investointien potentiaalista. Sijoittajien osallistuminen ekosysteemeihin on vielä vähäistä, jonka lisäksi tarvitaan selkeämpiä rakenteita, joilla yksityistä pääomaa voidaan ohjata teollisiin PtX-hankkeisiin, demonstraatioihin ja uuteen teolliseen tuotantoon.

Kansainvälinen ulottuvuus

Kansainvälinen yhteistyö on aktiivista etenkin tutkimuksessa. Hankkeen puitteissa Suomi on edustanut itseään yhtenäisenä ekosysteeminä mm. European Hydrogen Weekillä ja World Hydrogen Summitissa. Tämä on tärkeä kehityssuunta, mutta strateginen kytkentä kansainvälisiin ohjelmiin ja kumppanuuksiin on vasta alkuvaiheessa.

Tulevaisuudessa Suomi tarvitsee selkeän strategian kansainvälisten PtX-kumppanuuksien, markkinoiden ja investointien suhteen.

Yhteenveto vihreän sähköistämisen ekosysteemin tilasta:

Hankkeen yhtenä keskeisenä tuloksena voidaan pitää kolmikantayhteistyön aloitusta: Vetytutkimusfoorumi (tutkimus), Vetyklusteri (teollisuus) ja Business Finland (rahoitus ja ohjelmat, hallinnon suunta) osalta. Tämä luo vahvan perustan Suomen vihreän sähköistämisen ekosysteemille. Vuoropuhelu ja yhteistyö ovat jatkuneet myös projektin loputtua, jossa yritetään löytää tapoja edistää Suomen vetytaloutta.

Ekosysteemin kannalta voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

1. Strateginen ohjaus

Tutkimukselle on olemassa kansallinen strategia [Kansallisen strategisen vetytutkimuksen tarpeet- Suomen vetytutkimusfoorumin näkymä](#)

Teollisuudelle on olemassa strategia [Clean hydrogen economy strategy](#) sekä tiekartta [Vetytalouden tiekartta Suomelle: Euroopan kilpailukykyisin vetytalous](#)

Valtiolla ei vielä ole kansallista toimeenpanostrategiaa → ohjaus perustuu periaatepäätökseen vedystä [Valtioneuvoston periaatepäätös vedystä](#)

2. Infrastrukturi

Kotimainen energia- ja vetyinfrastrukturi on vahvaa ja valtion omistuksessa (Fingrid, Gasgrid) -> merkittävä kilpailuetu sijoittajien näkökulmasta.

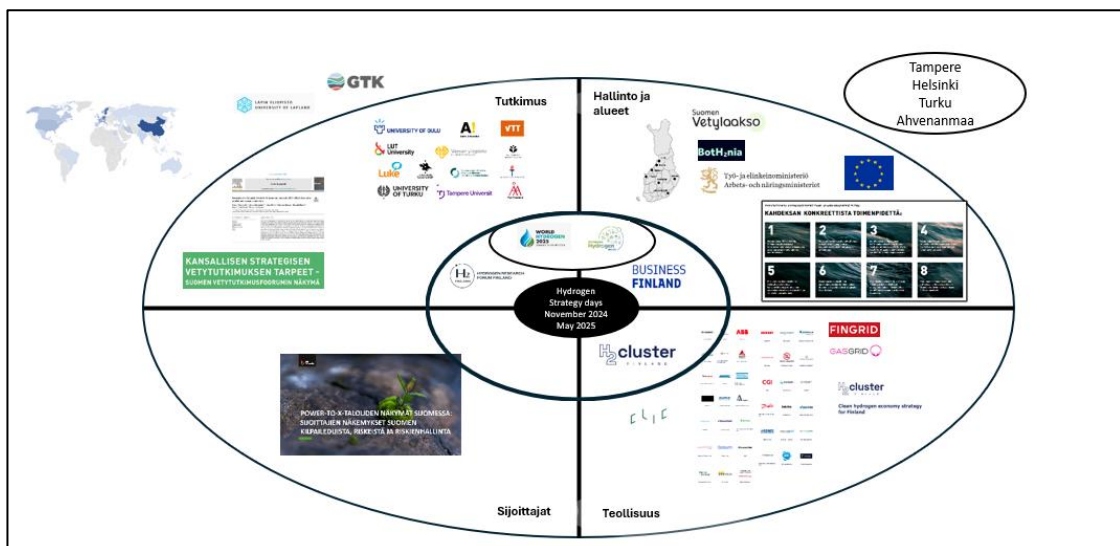
3. Ekosysteemin kehitysalueet

Startupit, pk-yritykset ja sijoittajat ovat vielä ekosysteemin ulkokehällä → innovaatiot- ja investoinnit eivät skaalaudu.

Kansainvälinen yhteistyö on käynnistynyt, mutta vaatii yhtenäistä strategiaa ja pitkäjänteistä fokusta.

4. Kokonaistilanne

Suomen vety- ja PtX-ekosysteemi on vahvuuksia monella osa-alueella ja tätä voidaan kehittää merkittävästi tulevaisuudessa. Tämä edellyttää ekosysteemin sidosryhmien laajentamista sekä kansainvälisten kumppanuuksien integroimista osaksi ekosysteemiä.



Kuva 6: Suomen vihreän sähköistämisen ekosysteemi

Lähteet ja julkaisut:

- [1] [Green electrification kansallinen ekosysteemi –projektin kotisivu](#)
- [2]* [Assessment of Finnish Power-to-X Economy research 2017–2023: Scientific articles and research activities](#)
- [3] [Yhteenveto Suomen vetytalouden tutkimuksen kartoitus](#)
- [4] [Kansallisen strategisen vetytutkimuksen tarpeet- Suomen vetytutkimusfoorumin näkymä](#)
- [5] [Yhteenveto kansallisen strategisen vetytutkimuksen tarpeet](#)
- [6] [Yhteenveto kansallisen strategisen vetytutkimuksen tarpeet – Suomen vetytalouden tutkimustarpeiden vertailu teollisuuden ja tutkimuksen näkökulmasta](#)
- [7]* [Electricity-based methanol-to-X as integral solution in hard-to-abate segments in the energy-industry system in the case of Finnish industry expectations](#)
- [8]** [Power-to-X-talouden näkymät Suomessa: Sijoittajien näkemykset Suomen kilpailueduista, riskeistä ja riskienhallinnasta](#)
- [9] [Puhtaan energian ja Power-to-X-investoinnit Kaakkois-Suomeen](#)

Sources and publications (in English):

- [1] [Green electrification ecosystem project page](#)
- [2] [Assessment of Finnish Power-to-X Economy research 2017–2023: Scientific articles and research activities](#)
- [3] [Summary – The state of Finnish Hydrogen economy research](#)
- [4] [Strategic Research Agenda for Finnish Hydrogen Research - Insights from the Hydrogen Research Forum Finland](#)
- [5] [Summary - Strategic Research Agenda for Finnish Hydrogen Research - Insights from the Hydrogen Research Forum Finland](#)
- [6] [Strategic Research Agenda For Finnish Hydrogen Research - Comparison Of Research Needs In Finland's Hydrogen Economy From The Perspectives Of Industry And Academia](#)
- [7] [Electricity-based methanol-to-X as integral solution in hard-to-abate segments in the energy-industry system in the case of Finnish industry expectations](#)
- [9] [Fast Expert Teams Investments In Clean Energy And Power-to-x In South-east Finland](#)

* Available only in English

** No official English version available

