

A close-up photograph of a forest floor covered in lush green moss and several small, cup-shaped lichen (Climacium) growing from the moss. The lighting is soft, highlighting the textures of the vegetation.

SUOMEN VIHREÄN SÄHKÖISTÄMISEN EKOSYSTEEMI EUROOPASSA – TILANNEKUVA FINGEE

SISÄLTÖ

1. Johdanto	<u>3</u>
2. Suomen vihreän sähköistämisen ekosysteemin tilannekuva	<u>4</u>
2.1 Vihreän sähköistämisen kansainvälinen tutkimuskartoitus	<u>5</u>
2.1.1 Taustaa: Suomen vetytalouden tutkimuksen kartoitus ja SRA	<u>5</u>
2.1.2 Kansainvälinen tutkimuskartoitus: tavoitteet ja tutkimusmenetelmä	<u>6</u>
2.1.3 Kansainvälinen tutkimuskartoitus: tuloksia	<u>7</u>
2.1.3.1 Suomen PtX-tutkimus suhteessa valittuihin eurooppalaisiin verrokkimaihin	<u>9</u>
2.1.4 Kansainvälinen tutkimuskartoitus: jatkotutkimuksen tarpeet	<u>11</u>
2.2. Eurooppalaisten vetystrategioiden vertailu	<u>12</u>
2.2.1 Strategiset ajurit	<u>13</u>
2.2.1.1 Ilmasto ja ympäristö	<u>13</u>
2.2.1.2 Talous ja kilpailukyky	<u>15</u>
2.2.1.3 Turvallisuus ja resilienssi	<u>17</u>
2.2.1.4 Energiajärjestelmän integraatio	<u>18</u>
2.2.1.5 Innovaatiot ja teknologia	<u>20</u>
2.2.2 Strategiset tavoitteet ja painopisteet	<u>23</u>
2.2.3 Strategioissa mainitut toimenpiteet	<u>26</u>
2.2.3.1 Infrastruktuuuri	<u>27</u>
2.2.3.2 Kysyntä- ja käyttökohteet	<u>34</u>
2.2.3.3 Kansainvälinen yhteistyö	<u>36</u>
2.2.4 Strategia-analyysi: tiivistelmä	<u>38</u>
2.3 Vihreän sähköistämisen arvoketju	<u>39</u>
2.3.1 Systemaattinen esiselvitys	<u>39</u>
2.3.2 Systemaattinen esiselvitys: tuloksia	<u>39</u>
2.3.3 Systemaattinen esiselvitys: tiivistelmä ja jatkotutkimus	<u>40</u>
3. Suomen vihreän sähköistämisen ekosysteemi Euroopassa	<u>41</u>
Analysoidut kansalliset strategiadokumentit	
Lähteet	

Lisätietoja:

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

Teemu Tuomisaalo, KTT, tutkija, LUT-yliopisto
Sähköposti: teemu.tuomisaalo@lut.fi





1. Johdanto

Vihreä sähköistäminen, vetytalous ja Power-to-X (PtX) -teknologiat ovat keskeisessä asemassa Euroopan energia- ja teollisuusjärjestelmän murroksessa. Teollisuuden päästövähennystavoitteet sekä pyrkimykset vahvistaa Euroopan energiaomavaraisuutta ja kilpailukykyä luovat uusia mahdollisuuksia suomalaiselle tutkimukselle, teknologiaosaamiselle ja teollisille arvoketjuille.

Tässä tilannekuvassa vihreällä sähköistämisellä tarkoitetaan puhtaan sähkön hyödyntämistä suoraan sekä vedyn ja Power-to-X (PtX) -teknologioiden kautta fossiilisten energialähteiden ja raaka-aineiden korvaamisessa. PtX-teknologioissa sähköä muunnetaan vedyn kautta esimerkiksi synteettisiksi polttoaineiksi, kemikaaleiksi ja muiksi tuotteiksi.

Suomella on hyvät lähtökohdat vihreän sähköistämisen ja PtX-talouden kehittämiseen. Keskeisiä vahvuuksia ovat uusiutuvan energian tuotantopotentiaali, biogeenisen hiilidioksidin saatavuus sekä korkeatasoinen tutkimus- ja teknologiaosaaminen. Ekosysteemi on kuitenkin edelleen kehittymässä: toiminta on osin hajanaista, markkinat ovat muodostumassa ja investointeihin liittyy epävarmuuksia.

Suomen vihreän sähköistämisen ekosysteemi Euroopassa – tilannekuva (FinGEE) -hanke toteutettiin osana Innokaupunkien yhteistyötä. Hankkeen tavoitteena oli muodostaa ajantasainen tilannekuva Suomen vihreän sähköistämisen ekosysteemistä eurooppalaisessa toimintaympäristössä ja valmistella toteutussuunnitelma laajemmalle jatkohankkeelle. FinGEE jatkoi aiemmassa Green Electrification Ecosystem (GEE) -hankkeessa tehtyä työtä [1]. Hankkeen kokonaisbudjetti oli 50 000 euroa.

Tilannekuvassa ekosysteemiä tarkastellaan kolmesta toisiaan täydentävästä näkökulmasta:

- Kansainvälinen PtX-tutkimus: analysoitiin kansainvälistä PtX-tutkimusta sekä Suomen tutkimuksellista asemaa, vahvuuksia ja kansainvälistä yhteistyötä.
- Eurooppalaiset vetystrategiat: vertailtiin Suomen ja keskeisten eurooppalaisten verrokkimaiden vetystrategioita sekä tarkasteltiin Suomen asemaa osana eurooppalaista vetytaloutta.
- Vihreän sähköistämisen arvoketju: kartoitettiin vihreän sähköistämisen ja PtX-arvoketjun suomalaisia toimijoita ja niiden rooleja.

Tilannekuvan tavoitteena on nykytilan kuvaamisen lisäksi tuottaa tietopohjaa ekosysteemin seuraavan kehitysvaiheen suunnittelulle. Tulosten pohjalta tunnistetaan Suomen vahvuuksia, kehittämiskohteita ja yhteistyömahdollisuuksia sekä tuetaan jatkohankkeen toteutussuunnitelman ja konsortion valmistelua.

Lappeenranta
Elokuu 2026

2. Suomen vihreän sähköistämisen ekosysteemin tilannekuva

Tässä luvussa muodostetaan tilannekuva Suomen vihreän sähköistämisen ekosysteemistä ja tämän asemasta eurooppalaisessa toimintaympäristössä. Tarkastelu etenee kansainvälisestä tutkimusympäristöstä ja eurooppalaisista strategisista kehityssuunnista kohti Suomen vihreän sähköistämisen arvoketjua ja ekosysteemiä.

Luvussa 2.1 tarkastellaan kansainvälisen Power-to-X-tutkimuksen kehitystä, tutkimuksen temaattisia painopisteitä sekä Suomen tutkimuksellista asemaa ja kansainvälisiä yhteistyöverkostoja. Luvussa 2.2 vertaillaan Suomen ja keskeisten eurooppalaisten verrokkimaiden vetystrategioita, näiden tavoitteita, painopisteitä ja maiden tavoiteltuja rooleja osana eurooppalaista vetytaloutta. Luvussa 2.3 tarkastelu kohdistuu Suomen vihreän sähköistämisen arvoketjuun ja ekosysteemiin, tämän toimijoihin, osaamiseen ja teollisiin arvoketjuihin (Kuva 1).

Näiden tarkastelujen avulla tunnistetaan Suomen vahvuuksia ja kehittämistarpeita sekä muodostetaan pohja raportin johtopäätöksille ja yhteistyömahdollisuuksien arvioinnille.



Kuva 1: Suomen vihreän sähköistämisen ekosysteemin tilannekuvan muodostuminen.

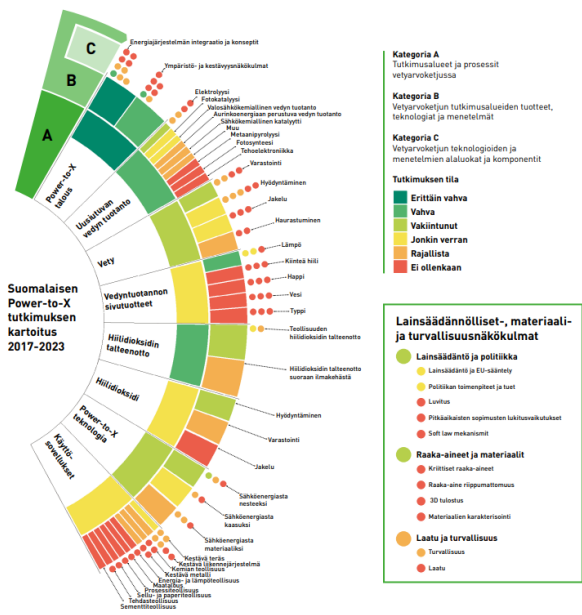
2.1 Kansainvälinen tutkimuskartoitus

2.1.1 Taustaa: Suomen vetytalouden tutkimuksen kartoitus ja SRA

Työpaketin kannustimena toimi Green Electrification Ecosystems (GEE) hankkeessa tehty kartoitus suomalaisesta PtX-tutkimuksesta [2][3]. Tässä nousi esille monia keskeisiä havaintoja kotimaisen tutkimuksen tilanteesta ja myös jatkotutkimuksen tarpeista.

GEE kartoituksen perusteella Suomen PtX-tutkimus on keskittynyt energiajärjestelmän, ympäristö- ja ilmastovaikutusten tutkimukseen. Muita teknologiatason tutkimusaiheita olivat hiilidioksidin talteenotto, uusiutuvan vedyn tuotanto, PtX-teknologiat, vedyn varastointi, hiilidioksidin hyödyntäminen sekä vedyntuotannon sivutuotteet. Kartoituksessa havaittiin myös, että suomalaisessa PtX-tutkimuksessa on lukuisia tutkimusaukkoja (Kuva 2).

Kartoituksessa selvitettiin myös suomalaisen PtX-tutkimuksen kansainvälinen yhteistyö. Tässä selvisi, että kolmasosassa tutkimuksesta (37.1%) tehtiin kansainvälisessä yhteistyössä. Lisäksi tulokset osoittivat, että kansainvälinen yhteistyö nosti kotimaisen PtX-tutkimuksen vaikuttavuutta.



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

Kartoituksessa ei kuitenkaan analysoitu syvällisesti kansainvälisen tutkimuksen sisältöä tai niiden yhteyttä tutkimuksen vaikuttavuuteen. Selvittämättä jäi, esimerkiksi, miten suomalainen tutkimus vertautuu kansainväliseen PtX-tutkimukseen ja miten muut maat vaikuttavat PtX-tutkimuksessa sekä mikä on eri instituutioiden, tutkimusryhmien ja tutkijoiden asema kansainvälisessä mittakaavassa.

PtX-kartoituksen pohjalta tehtiin myös raportti kansallisen strategisen vetytutkimuksen tarpeista. Tässä suomalaiset yliopistot ja tutkimuslaitokset arvioivat mitkä tutkimusaiheet olivat merkittävimpiä kotimaisen kilpailukyyn kannalta, joka kattoi koko vedyn arvoketjun. Tässä korostuivat etenkin vedyn synteettiset lisäarvotuotteet, hiilidioksidi, vedyn suora käyttö sekä ympäristö- ja kestävyysvaikutukset. Muita keskeisiä osa-alueita olivat vedyn varastointi ja siirto, energia- ja sähköjärjestelmä, uusiutuvan vedyn tuotanto, markkinat ja yhteiskunta sekä EU-sääntely ja politiikka [4].

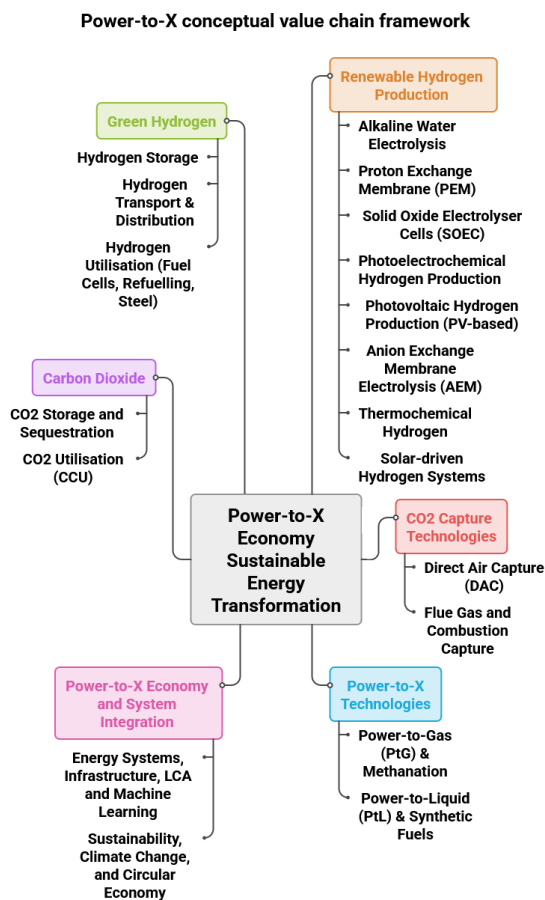
2.1.2 Kansainvälinen tutkimuskartoitus: tavoitteet ja tutkimusmenetelmä

Kansainvälisen PtX-tutkimuksen kartoitus toteutettiin bibliometrisenä analyysinä, jossa kartoitettiin tieteelliset artikkelit viimeisen vuosikymmenen (2015-2025) ajalta. Tässä kartoitettiin PtX-tutkimuksen kehitys sekä kansainvälisen tutkimuksen tilanne eri maiden, instituutioiden, tutkimusryhmien ja yhteistyön osalta, jotka ovat olennaisia Suomen ekosysteemien vahvistamiselle.

Tutkimuskartoituksen aineisto kerättiin Scopus-tietokannasta. Lisäksi kartoituksessa hyödynnettiin tekoälyä relevanttien artikkelien tunnistamiseen ja epäolennaisten karsimiseen.

Analyysissa hyödynnettiin koodausta, jonka avulla otoksen artikkelit voitiin kategorisoida viitekehysten mukaisesti.

Tutkimuskartoituksessa oli mukana yhteensä 11098 artikkelia. Artikkelit jakaantuivat viitekehysten pääaihealueisiin niin, että uusiutuvan vedyn tuotannossa oli 2949, vihreässä vedyssä 2296, hiilidioksidin varastoinnissa ja hyödyntämisessä 1875, Power-to-X-taloudessa ja integroinnissa 1591, hiilidioksidin talteenoton teknologioissa 1297 ja PtX-teknologioissa 1090 artikkelia.

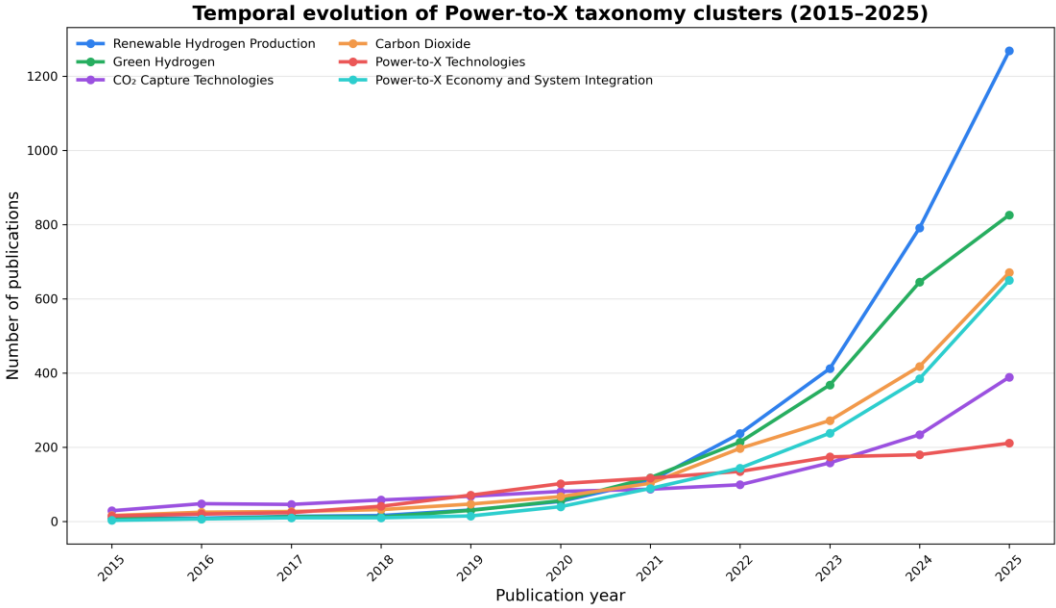


Kuva 3: Kansainvälisen tutkimuskartoituksen viitekehys.

Tutkimuskartoituksen lisäksi tehtiin syventävä tarkastelu Suomen kannalta keskeisten maiden PtX-strategioista, joihin kuuluivat Saksa, Ranska, Tanska, Espanja, Alankomaat ja Portugali. Tässä selvitettiin näiden maiden tutkimusteemoja ja teknologisia painotuksia, tutkimusaktiivisuutta suhteessa niiden strategiisiin prioriteetteihin sekä keskeisiä organisaatioita jotka ovat Suomelle potentiaalisia uusia kumppaneita. Samalla muodostettiin vertailu Suomen asemasta suhteessa näihin maihin ja niiden tutkimusverkostoihin. Osana kansainvälisen kokonaiskuvan vahvistamista hankkeessa hyödynnettiin myös osallistumista World Hydrogen Summit –tapahtumaan Rotterdammassa toukokuussa 2026. Tapahtuma tarjosi mahdollisuuden tarkentaa bibliometrisen ja strategia-analyysien tuloksia, tavata vertailumaihin kuuluvia keskeisiä toimijoita sekä vahvistaa kansainvälisten kumppanuuksien kartoitusta. Tapahtumasta kertynyt aineisto ja keskustelut integroitiin osaksi tilannekuvaraportin kansainvälistä osuutta.

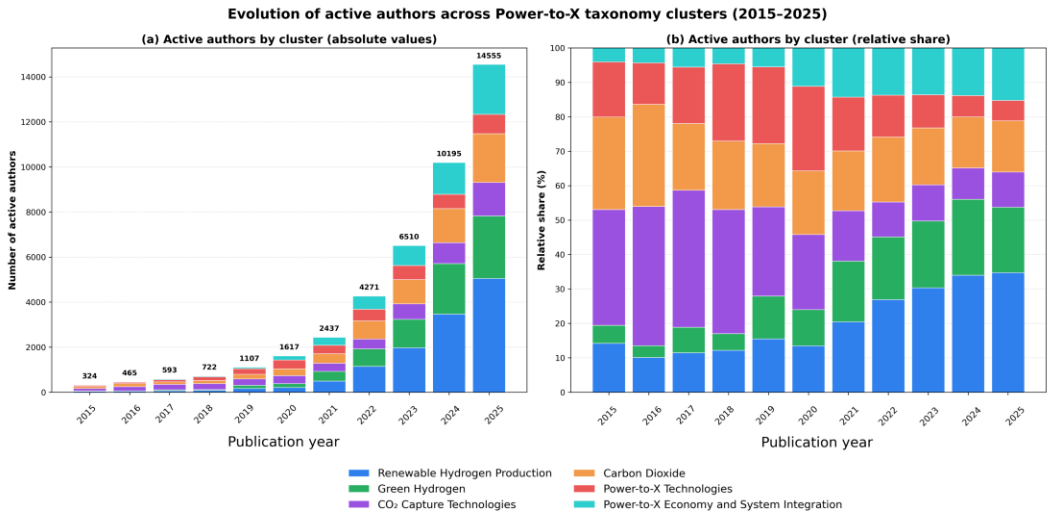
2.1.3 Kansainvälinen tutkimuskartoitus: tuloksia

Tutkimuskartoituksen analyysissä selvitettiin ensin julkaisuiden ja tutkijoiden määriä. Tässä havaittiin, että artikkelien määrä on kasvanut merkittävästi vuodesta 2022 eteenpäin. Kasvua on tapahtunut etenkin uusiutuvan vedyn sekä vihreän vedyn tutkimuksessa. Myös hiilidioksidin ja PtX-talouden ja integraation tutkimusalueet ovat kasvaneet merkittävästi vuosina 2022-2025.



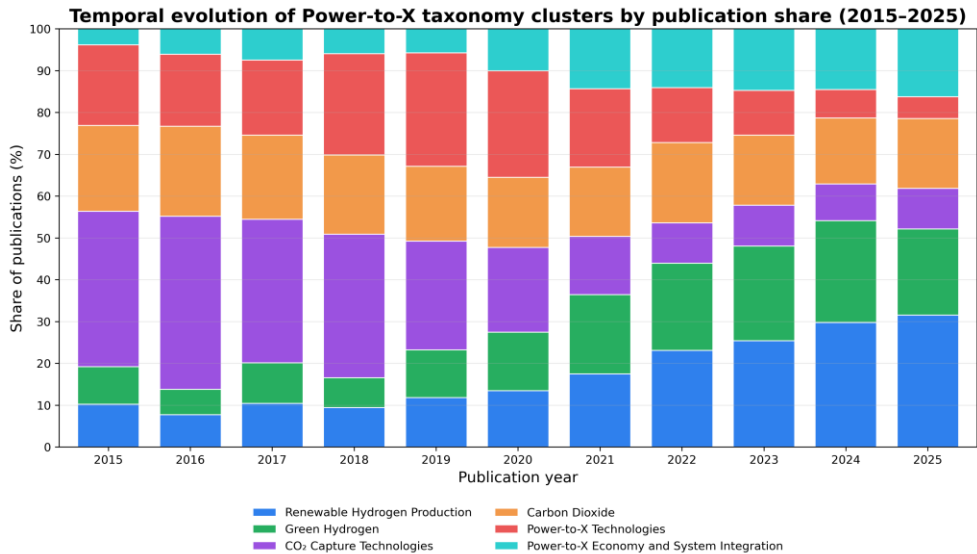
Kuva 4: tutkimuksen määrän kehitys eri osa-alueilla 2015-2025.

Tutkijoiden määrä on kasvanut merkittävästi vuodesta 2022 lähtien. Kehitys on linjassa tutkimusalueiden kehityksen kanssa, jossa tutkijoiden kiinnostus on tällä hetkellä etenkin uusiutuvan vedyn tuotannossa, vihreässä vedyssä, hiilidioksidissa ja PtX-talouden ja integraation tutkimuksessa.



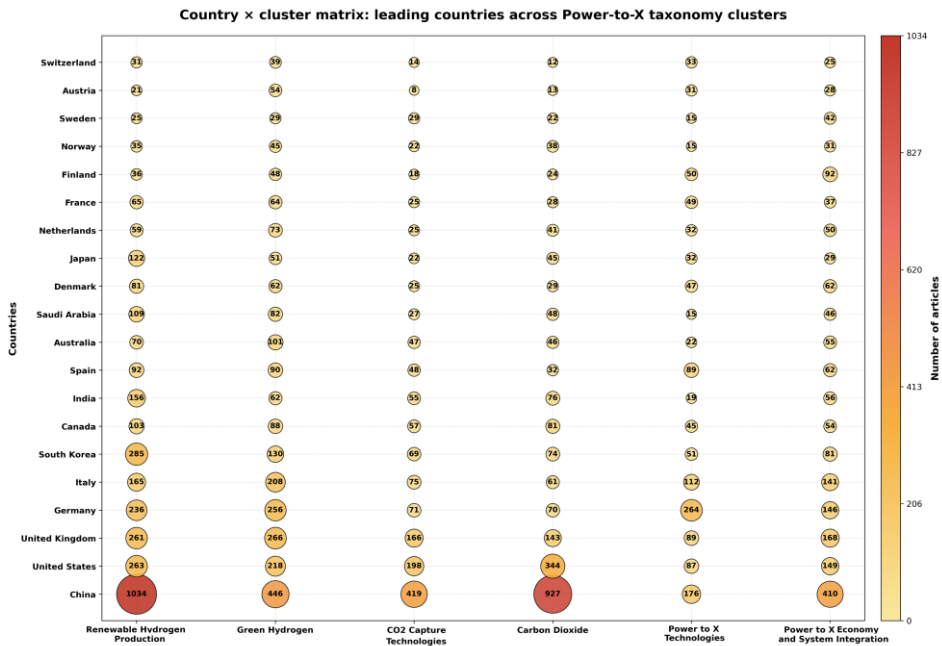
Kuva 5: tutkijoiden määrän kehitys eri osa-alueilla 2015-2025.

Pitkittäinen analyysi paljasti, että tutkimuksen painopiste on muuttunut merkittävästi. Kasvua on tapahtunut etenkin vihreän vedyn sekä uusiutuvan vedyn tuotannossa. Myös PtX-talouden ja integraation tutkimus on kasvanut viimeisen viiden vuoden aikana. Laskua on tapahtunut hiilidioksidin talteenottoteknologioiden ja PtX-teknologioiden tutkimuksessa.



Kuva 6: tutkimusalueiden muutos 2015-2025.

Kansainvälinen tarkastelu paljasti, että Kiinalla on tutkimuksen määrän perusteella johtava asema kaikissa tutkimusalueissa paitsi PtX-teknologioissa, jossa Saksalla on eniten julkaisuja. Muita määrällisesti paljon tutkimusta tekeviä maita olivat Yhdysvallat, Iso-Britannia, Etelä-Korea ja Italia. Suomi sijoittui analyysissä 20 parhaan joukkoon, ennen Norjaa ja Ruotsia. Vastaavasti Espanjassa, Tanskassa, Alankomaissa ja Ranskassa oli lukumäärällisesti enemmän tutkimusta kuin Suomessa, eurooppalaisessa kontekstissa.



Kuva 7: kansainvälisen PtX-tutkimuksen jakaantuminen maittain.



Kansainvälisen tutkimusyhteistyön analyysissa havaittiin, että Kiina oli määrällisesti suurin yksittäinen yhteistyömaa. Muita globaalisti merkittäviä maita olivat Yhdysvallat, Iso-Britannia, Saksa ja Italia. Suomen kannalta keskeisimmät yhteistyömaat olivat Kiinan lisäksi Italia, Saksa, Tanska, Espanja ja Alankomaat. Kansainvälisen tutkimuksen analyysi tarvitsee kuitenkin tarkempaa jatkotutkimusta ja tehokkaampaa työkalua tarkempia tuloksia varten.

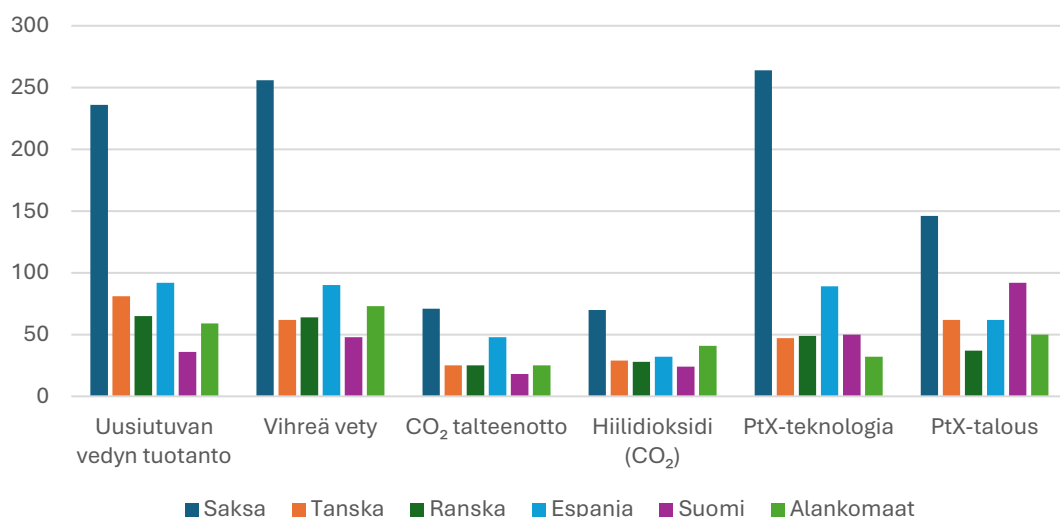
2.1.3.1 Suomen PtX-tutkimus suhteessa valittuihin eurooppalaisiin verrokkimaihin

Suomen asemaa eurooppalaisessa PtX-tutkimuksessa tarkasteltiin suhteessa strategia-analyysiin valittuihin verrokkimaihin. Tarkempaan tutkimusvertailuun sisällytettiin Saksa, Tanska, Ranska, Espanja, Suomi ja Alankomaat, jotka kaikki sijoittuivat kansainvälisessä tutkimuskartoituksessa 20 eniten julkaisevan maan joukkoon. Eurooppalaisista maista myös Italia sijoittui tutkimusalueilla korkealle. Lisäksi Ruotsi, Norja, Itävalta ja Sveitsi nousivat 20 aktiivisimman maan joukkoon, mutta niiden julkaisumäärät jäivät pääosin valittuja verrokkimaita pienemmiksi. Strategia-analyysissa mukana ollut Portugali ei sijoittunut 20 aktiivisimman julkaisumaan joukkoon, minkä vuoksi sitä ei sisällytetty tähän tutkimusvertailuun.

Valittujen verrokkimaiden tutkimusaktiivisuutta tarkasteltiin samoilla kuudella PtX-tutkimuksen osa-alueella kuin edellä esitetyssä kansainvälisessä vertailussa. Maiden välisiä eroja tarkasteltiin ensin absoluuttisten julkaisumäärien perusteella ja tämän jälkeen suhteuttamalla julkaisumäärät maiden vuosien 2016–2025 keskimääräiseen bruttokansantuotteeseen. BKT:hen suhteuttaminen täydentää absoluuttista tarkastelua tuomalla esiin tutkimusaktiivisuuden suhteessa kansantalouden kokoon.

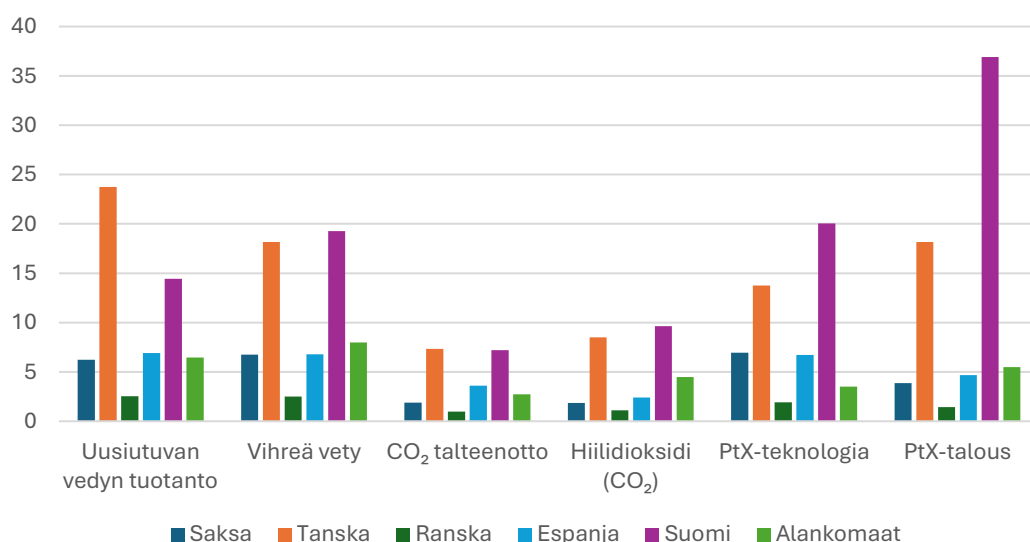
BKT:hen suhteutettu tarkastelu täydentää absoluuttisiin julkaisumääriin perustuvaa vertailua tuomalla esiin maiden suhteellisen tutkimusaktiivisuuden. Näin voidaan arvioida, missä määrin PtX-tutkimus korostuu maan tutkimustoiminnassa suhteessa sen talouden kokoon, ja tunnistaa Suomen suhteellisia tutkimusvahvuuksia eurooppalaisiin verrokkimaihin nähden.

Absoluuttisilla julkaisumäärillä tarkasteltuna Saksa on verrokkimaista selvästi suurin PtX-tutkimuksen tuottaja ja johtaa lähes kaikilla tarkastelluilla tutkimusalueilla. Espanja erottuu seuraavana erityisesti uusiutuvan vedyn tuotannossa, vihreässä vedyssä ja PtX-teknologioissa. Suomen absoluuttiset julkaisumäärät ovat useimmilla tutkimusalueilla verrokkimaita pienempiä, mutta PtX-talouden ja integraation tutkimuksessa Suomi erottuu selvästi: 92 julkaisulla Suomi sijoittuu verrokkimaista toiseksi Saksan jälkeen.



Kuva 8: PtX-tutkimuksen julkaisumäärät valituissa eurooppalaisissa verrokkimaissa tutkimusalueittain vuosina 2015–2025.

BKT:hen suhteuttaminen muuttaa maiden välistä asetelmaa huomattavasti. Tanska ja Suomi nousevat suhteellisesti tutkimusaktiivisimmiksi maiksi, kun taas Saksan suuri absoluuttinen tutkimusvolyymi pienenee suhteessa maan talouden kokoon. BKT:hen suhteutetussa tarkastelussa Suomi ja Tanska erottuvat verrokkimaista korkealla PtX-tutkimusaktiivisuudellaan, mutta maiden tutkimusprofiileissa on eroja.



Kuva 9: PtX-tutkimuksen julkaisumäärät valituissa eurooppalaisissa verrokkimaissa suhteutettuna maiden keskimääräiseen bruttokansantuotteeseen vuosina 2016–2025 (julkaisua / 100 mrd. € BKT[6])



Yhteenvetona verrokkimaavertailu osoittaa, että Suomen PtX-tutkimuksen kokonaisvolyymi jää suurempia tutkimusmaita, erityisesti Saksaa, pienemmäksi, mutta tutkimusprofiilissa on selkeitä vahvuusalueita. Erityisesti PtX-talouden ja integraation tutkimuksessa Suomi sijoittuu korkealle jo absoluuttisilla julkaisumäärillä tarkasteltuna, ja myös PtX-teknologioissa Suomen julkaisumäärä on useiden verrokkimaiden tasolla.

BKT:hen suhteutettu tarkastelu vahvistaa kuvaa Suomen suhteellisesta tutkimusvahvuudesta. Suomen tutkimusaktiivisuus nousee useilla PtX-tutkimuksen osa-alueilla verrokkimaiden kärkijoukkoon ja korostuu erityisesti PtX-teknologioissa sekä PtX-talouden ja integraation tutkimuksessa. Tulokset viittaavat siten siihen, että Suomen tutkimuksellinen profiili painottuu vahvasti PtX-ratkaisujen teknologiseen kehitykseen sekä niiden laajempaan taloudelliseen ja systeemiseen integraatioon.

2.1.4 Kansainvälinen tutkimuskartoitus: jatkotutkimuksen tarpeet

Tässä hankkeessa tehty analyysi nosti esille lukuisia havaintoja kansainvälisen PtX-tutkimuksen tilanteesta. Analyysia tehdessä havaittiin myös, että tässä tarvitaan jatkotutkimusta tarkemman kuvauksen luomiseksi.

- **Tutkimusalueiden selvittämiseksi** tarvitaan tarkempi analyysi kaikissa kuudessa osa-alueessa. Esimerkiksi minkälaisia PtX-teknologioita on tutkittu ja kenenkin toimesta.
- **Tutkimuksen vaikuttavuudessa** pitää analysoida viittausten lukumäärän lisäksi normalisoitu viittauskattavuus, joka poistaa ns. aikavaikutuksen. Lisäksi tässä pitää mennä tarkemmin eri tutkimusalueisiin ja tehdä tarkempi analyysi mitkä ovat kaikista vaikuttavimmat organisaatiot, tutkimusryhmät ja tutkijat.
- **Kansainvälisessä vertailussa** pitää mennä syvemmälle näihin tutkimusalueisiin ja selvittää yksityiskohtaisesti aihealueet mitä eri maissa, organisaatioissa ja tutkimusryhmissä on tutkittu. Lisäksi tässä pitää muodostaa kokonaisvaltainen kuvaus eri maiden vahvuuksista ja heikkouksista.
- **Kansainvälisen tutkimusyhteistyön selvittämisessä** on paljon tehtävää. Tämän projektin yhteydessä syntyi vasta alustava ymmärrys, jota pitää tarkentaa. Ensinnäkin tässä pitää analysoida tarkemmin mikä on kansainvälisen tutkimuksen volyymi eri maiden välillä ja ennen kaikkea minkä tutkimusaiheiden parissa tätä yhteistyötä tehdään. Lisäksi tarvitaan tarkempaa tietoa mitkä organisaatiot, tutkimusryhmät ja tutkijat tekevät kansainvälistä yhteistyötä ja nouseeko esille selkeästi sellaisia tahoja mitkä nostavat tutkimuksen vaikuttavuutta.
- **Kaiken tämän yhteensovittaminen Suomen PtX-tutkimuksen ja tutkimusstrategian kanssa.** Eli mitkä ovat ne tahot, joiden kautta kotimaista tutkimusta ja kilpailukykyä voidaan vahvistaa kaikista tehokkaimmin.

2.2. Eurooppalaisten vetystrategioiden vertailu

Eurooppalaisten vetystrategioiden analyysin tavoitteena oli muodostaa kokonaiskuva Suomen asemasta kehittyvässä eurooppalaisessa vetytaloudessa sekä tunnistaa Suomen kannalta keskeisiä yhteistyömahdollisuuksia. Tarkasteluun valittiin Suomen lisäksi Saksa, Ranska, Espanja, Portugali, Alankomaat ja Tanska. Vertailumaiden valintaa ohjasivat hankkeen yhteydessä käydyt asiantuntijakeskustelut sekä pyrkimys sisällyttää tarkasteluun eurooppalaisen vetytalouden kehityksen kannalta keskeisiä maita, joilla on merkittäviä tavoitteita vedyn tuotannon ja vetytalouden kehittämisessä.

Energiajärjestelmän murros perustuu yhä vahvemmin uusiutuvaan sähköntuotantoon sekä yhteiskunnan ja teollisuuden sähköistymiseen. Vedyllä ja sen johdannaisilla on tässä kehityksessä täydentävä rooli erityisesti sektoreilla, joilla suora sähköistäminen on haastavaa. Useat Euroopan maat ovat julkaisseet kansallisia vetystrategioita, joissa linjataan vetytalouden kehittämisen tavoitteita, painopisteitä ja toimenpiteitä. Strategiat tarjoavat siten yhteisen lähtökohdan maiden lähestymistapojen vertailulle, vaikka niiden sisältö, laajuus ja painotukset vaihtelevat maittain.

Maiden kansallisia vetystrategioita ja niitä täydentäviä strategisia asiakirjoja analysoitiin systemaattisesti. Aineiston läpikäynnissä ja alustavassa jäsentämisessä hyödynnettiin tekoälyavusteista analyysia, jota täydennettiin ja tarkennettiin manuaalisella analyysillä. Strategia-aineistosta tunnistetut havainnot luokiteltiin temaattisesti, minkä avulla tunnistettiin strategioissa toistuvia teemoja sekä maiden välisiä yhtäläisyyksiä ja eroja. Analyysin pohjalta muodostettiin viitekehys, joka kokoaa tunnistetut teemat ja jäsentää niiden välisiä yhteyksiä (kuva 10). Vertailu jäsennettiin kolmeen eri tasoon: **strategisiin ajureihin, kansallisiin tavoitteisiin** sekä **tavoitteiden toimeenpanoon**. Soveltuvien osien strategisia linjauksia peilattiin myös niiden jälkeen edenneisiin hankkeisiin ja muuhun toteutuneeseen kehitykseen, erityisesti vetyinfrastruktuuriin osalta.



Kuva 10: Eurooppalaisten vetystrategioiden analyysin viitekehys.



Tavoitteiden toimeenpanossa tarkastelu kohdistui **infrastruktuuriin**, kuten putkistoihin ja siirtoyhteyksiin, satamiin, varastointiin ja vetylaaksoihin; **kysyntään ja käyttökohteisiin**, kuten teollisuuteen, liikenteeseen, sähköjärjestelmään, rakennussektoriin ja vetyjohdannaisiin; sekä **kansainväliseen yhteistyöhön**, jossa tarkasteltiin strategioissa tunnistettuja tuontiyhteyksiä, vientimarkkinoita ja teknologiakumppanuuksia.

2.2.2 Strategiset ajurit

Strategioiden vertailussa tunnistettiin viisi keskeistä vetytalouden kehitystä ohjaavaa ajuria: ympäristö ja ilmastotavoitteet, talous ja kilpailukyky, turvallisuus, energiajärjestelmän integraatio sekä teknologia ja innovaatiot. Ajureilla tarkoitetaan tässä strategioissa esitettyjä perusteita ja tavoitteita, joilla vedyn kehittämisen tarvetta ja merkitystä perustellaan.

Vety- ja energiapolitiikassa on havaittavissa laajempi paradigman muutos. Aiemmin erityisesti ilmasto- ja ympäristötavoitteiden kautta perusteltu energiasiirtymä ja vedyn rooli siinä ovat kytkeytyneet yhä vahvemmin myös teolliseen kilpailukykyyn, energia- ja huoltovarmuuteen sekä strategiseen autonomiaan [6]. Tämä laajempi kehitys näkyy myös tarkasteltujen maiden vetystrategioissa, joskin eri ajureiden painoarvo vaihtelee kansallisten lähtökohtien mukaan.

2.2.2.1 Ilmasto- ja ympäristö

Ilmasto- ja ympäristötavoitteet muodostavat kaikissa vertailumaissa keskeisen vetytalouden kehittämistä ohjaavan ajurin. Kansallisissa vetystrategioissa vety kytketään ilmastoneutraalius- ja päästövähennystavoitteiden saavuttamiseen erityisesti nykyisen fossiilipohjaisen vedyn korvaamisen sekä teollisuuden ja liikenteen dekarbonisoinnin kautta. Maiden keskeiset ilmastotavoitteet sekä vedylle niiden saavuttamisessa määritellyt keskeiset roolit on koottu taulukoihin yksi ja kaksi.

Taulukoissa esitetyt ilmastotavoitteet perustuvat uusimpiin saatavilla oleviin kansallisiin ja EU-tason lähteisiin, sillä useiden maiden tavoitteita on päivitetty vetystrategioiden julkaisemisen jälkeen. Vedyn roolia ja merkitystä koskeva tarkastelu perustuu puolestaan ensisijaisesti kansallisiin vetystrategioihin ja niitä täydentäviin politiikka-asiakirjoihin.



Taulukko 1: Vertailumaiden keskeiset ilmastotavoitteet.

Maa	Kasvihuonepäästöjen vähentäminen 2030 mennessä (2005-tasosta) [7]	Ilmastoneutraalius [8]
Saksa	–50 %	2045
Tanska	–50 %	2050
Ranska	–47,5 %	2050
Espanja	–37,7 %	2050
Portugali	–28,7 %	2045 [9]
Suomi	–50 %	2035
Alankomaat	–48 %	2050

Vetystrategioissa vedyn ilmasto- ja ympäristöpoliittinen rooli voidaan jäsentää kolmeen keskeiseen kokonaisuuteen: nykyisen fossiilipohjaisen vedyn korvaamiseen sekä vaikeasti sähköistettävän teollisuuden ja liikenteen dekarbonisointiin. Teollisuudessa vetyä ja sen johdannaisia hyödynnetään erityisesti esimerkiksi teräs- ja kemianteollisuudessa, kun taas liikenteessä niiden rooli korostuu raskaassa liikenteessä sekä meri- ja lentoliikenteessä. Tarkastelu kattaa vedyn suoran käytön lisäksi sen hyödyntämisen välituotteena vedyn johdannaisien, kuten ammoniakkin, metanolin ja synteettisten polttoaineiden, tuotannossa.

Taulukko 2: Vedyn keskeiset roolit ilmasto- ja päästövähennystavoitteiden saavuttamisessa.

Maa	Fossiilipohjaisen vedyn korvaaminen	Vaikeasti sähköistettävän teollisuuden dekarbonisointi	Vaikeasti sähköistettävän liikenteen dekarbonisointi
Saksa	•	•	•
Tanska		•	•
Ranska	•	•	•
Espanja	•	•	•
Portugali		•	•
Suomi		•	•
Alankomaat	•	•	•

[7] European Commission. *National energy and climate plans*.

[8] European Commission (2023). Assessment of the draft updated National Energy and Climate Plan of Portugal. Commission Staff Working Document, SWD(2023)

[9] Government of Portugal (2025). Portugal underpins national climate ambition and commitment to global action.

2.2.2.2 Talous ja kilpailukyky

Talous ja kilpailukyky muodostavat ilmasto- ja ympäristötavoitteiden rinnalla keskeisen vetytalouden kehittämistä ohjaavan ajurin. Vertailumaiden strategioissa vetytalous nähdään paitsi päästövähennysten välineenä myös mahdollisuutena vahvistaa teollisuuden kilpailukykyä, synnyttää uutta teollista toimintaa ja arvonluontia sekä rakentaa asemaa kansainvälisillä vetymarkkinoilla.

Strategioissa talous- ja kilpailukykyajuri voidaan jäsentää kolmeen kokonaisuuteen. Ensimmäinen on nykyisen teollisuuden kilpailukyvyn vahvistaminen, jossa vety ja tämän johdannaiset tukevat olemassa olevien teollisten prosessien uudistamista vähähiiliseksi ja teollisen tuotannon säilymistä toimintaympäristössä, jossa päästöjen vähentämisen merkitys kasvaa.

Toinen kokonaisuus on uuden teollisuuden ja arvonluonnin synnyttäminen. Vetytalouden kehittäminen kytkeytyy uusiin investointeihin, vedyn ja PtX-tuotteiden tuotantoon sekä niitä tukevaan teknologia- ja laitevalmistukseen. Tavoitteena on rakentaa uusia arvoketjuja, yritystoimintaa ja työpaikkoja.

Kolmas kokonaisuus liittyy kansainvälisiin markkinoihin ja vientiin. Osa maista tavoittelee vedyn ja sen johdannaisten vientiä, osa painottaa teknologioiden ja osaamisen vientiä, kun taas suuret kysyntäkeskittymät asemoituvat samalla myös vedyn ja johdannaisten tuojiksi.

Näiden tavoitteiden toteuttamisen edellytykset poikkeavat kuitenkin maiden välillä. Vetytalouden kilpailukykyä tukevat erityisesti uusiutuvan ja vähähiilisen sähkön saatavuus ja kustannus, teollinen kysyntä ja osaaminen, infrastruktuuri ja logistinen asema sekä PtX-tuotteiden tapauksessa tarvittavien raaka-aineiden, kuten biogeenisen hiilidioksidin, saatavuus.

01 Nykyisen teollisuuden kilpailukyvyn vahvistaminen

- Teollisuuden uudistuminen
- Vähähiiliseen tuotantoon siirtyminen
- Teollisen perustan säilyminen

02 Uuden teollisuuden ja arvonluonnin synnyttäminen

- Vety- ja PtX-tuotanto
- Uudet investoinnit ja arvoketjut
- Yritystoiminta, työpaikat ja arvonlisä

03 Kansainväliset markkinat ja vienti

- Vety ja PtX-johdannaiset
- Teknologiat ja osaaminen
- Kansainväliset arvoketjut ja vientimarkkinat

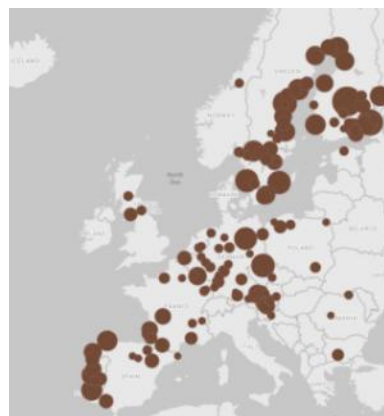
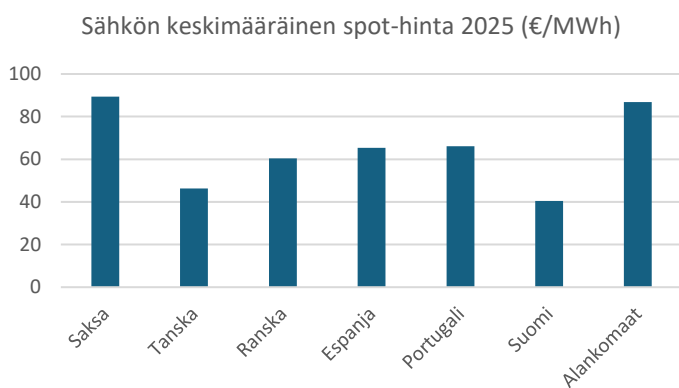
Kuva 11: Talous- ja kilpailukykyajuri jäsentyy kolmeen toisiaan täydentävään kokonaisuuteen.

Strategioissa tunnistetut talous- ja kilpailukykytavoitteet rakentuvat maiden erilaisille kansallisille lähtökohdille. PtX-tuotannon näkökulmasta keskeisiä eroja muodostavat erityisesti uusiutuvan ja vähähiilisen sähkön saatavuus ja kustannus, teollinen kysyntä ja osaaminen, infrastruktuuri sekä hiilipohjaisten PtX-tuotteiden tuotannossa tarvittavan biogeenisen hiilidioksidin saatavuus.

Espanjan ja Portugalin kilpailukyky perustuu erityisesti runsaisiin uusiutuviin energiavaroihin ja niiden mahdollistamaan uusiutuvan vedyn tuotantoon, kun taas Tanskassa vastaavaan resurssiperustaan yhdistyvät vahva offshore-tuulivoima- ja PtX-osaaminen. Saksassa kilpailukyky rakentuu puolestaan vahvan teollisen kysynnän, teknologiaosaamisen ja valmistavan teollisuuden ympärille, ja maa on samalla merkittävä tuleva vedyn ja sen johdannaisten tuontimarkkina. Ranskassa keskeisen lähtökohdan muodostavat vähähiilinen sähköntuotanto sekä vahva teollinen ja teknologinen osaaminen. Alankomaiden asemaa vahvistavat puolestaan suuret teollisuusklusterit, satama- ja energiainfrastruktuuri sekä keskeinen logistinen sijainti Euroopan tulevissa vedyn ja johdannaisten tuontivirroissa.

Suomen potentiaalinen kilpailuetu muodostuu useiden toisiaan täydentävien tekijöiden yhdistelmästä. Vähähiilinen sähköjärjestelmä ja kilpailukykyisen sähkön saatavuus tukevat elektrolyysipohjaisen vedyn tuotantoa, kun taas metsäteollisuuden merkittävät biogeeniset hiilidioksidivirrat tarjoavat erityisen lähtökohdan hiilipohjaisten PtX-tuotteiden, kuten metanolin ja synteettisten polttoaineiden, valmistukselle. Näitä täydentävät energia- ja prosessiteollisuuden osaaminen sekä kehittyvä vety- ja energiainfrastruktuuri. Suomen kilpailuasema ei siten perustu yksittäiseen kustannus- tai resurssitekijään, vaan mahdollisuuteen yhdistää puhdas sähkö, biogeeninen hiilidioksidi ja teollinen osaaminen korkeamman jalostusarvon PtX-tuotannoksi.

Sellu- ja paperitehtaiden biogeeniset CO₂-päästöt Euroopassa.



Kuva 12: PtX-tuotannon keskeisiä resurssipohjaisia kilpailuedellytyksiä: sähkön hinta vertailumaissa ja biogeenisen CO₂:n saatavuus Euroopassa. [10] [11]

[10] Fraunhofer ISE (2025). Energy-Charts: Average day-ahead electricity prices in Europe, 2025.

[11] Endrava. CaptureMap – Carbon Capture and Storage Infrastructure.



2.2.2.3 Turvallisuus ja resilienssi

Turvallisuus ja resilienssi muodostavat vetystrategioissa yhden vetytalouden kehittämistä ohjaavan ajurin. Vertailussa ajuri jäsentyy neljään toisiinsa liittyvään ulottuvuuteen: energiariippuvuuteen ja omavaraisuuteen, energian toimitusvarmuuteen, energiajärjestelmän resilienssiin sekä teolliseen ja teknologiseen resilienssiin (Kuva 13). Näiden painotus vaihtelee maiden energioresurssien, energiajärjestelmien ja tuontiriippuvuuden mukaan.

Suomessa, Portugalissa ja Ranskassa korostuu kotimaisten energioresurssien merkitys. Portugalissa uusiutuvan vedyn tuotannon nähdään vähentävän energiariippuvuutta, Suomessa painotetaan energiaomavaraisuutta sekä monipuolista ja hajautettua energiajärjestelmää ja Ranskassa kotimainen vähähiilinen vedyn tuotanto kytkeytyy energiariippumattomuuteen ja teolliseen suvereniteettiin.

Saksassa lähtökohta on erilainen, sillä vedyn kysynnän arvioidaan ylittävän kotimaisen tuotannon. Toimitusvarmuutta pyritään siksi vahvistamaan kotimaisen tuotannon lisäksi hajauttamalla toimittajamaita, kuljetusreittejä ja tuontikanavia. Alankomaissa vastaavasti kansainväliset energiavirrat, satamat ja energiainfrastruktuuri muodostavat keskeisen lähtökohdan toimitusvarmuudelle.

Resilienssi ulottuu energian saatavuutta laajemmalle energiajärjestelmän ja teollisten arvoketjujen toimintavarmuuteen. Portugalissa korostuvat vedyn varastointi ja energiajärjestelmän joustavuus, kun taas Ranskassa resilienssi liittyy myös kotimaisen teknologisen ja teollisen kapasiteetin vahvistamiseen. Tanskan ja Espanjan strategioissa turvallisuus ei puolestaan nouse yhtä itsenäiseksi vedyn kehittämisen ajuriksi.

Vertailu osoittaa siten kaksi erilaista lähtökohtaa energian turvallisuudelle: kotimaisiin energioresursseihin nojaavissa maissa painottuvat omavaraisuus ja tuontiriippuvuuden vähentäminen, kun taas suuren tuontitarpeen maissa toimitusvarmuutta rakennetaan hankintalähteiden, kuljetusreittien ja kumppanuuksien hajauttamisen kautta. Resilienssi laajentaa näkökulman edelleen energiajärjestelmän joustavuuteen sekä teknologisten ja teollisten arvoketjujen toimintavarmuuteen.

01

Energia riippuvuus ja omavaraisuus

- Kotimaisten energiaressurssien hyödyntäminen
- Tuontiriippuvuuden vähentäminen
- Energiaomavaraisuuden vahvistaminen

Korostuu: Suomi · Portugali · Ranska

02

Energian toimitusvarmuus

- Tuotanto- ja hankintalähteiden monipuolistaminen
- Vaihtoehtoiset kuljetusreitit ja tuontikanavat
- Kansainväliset kumppanuudet

Korostuu: Saksa · Alankomaat

03

Energiajärjestelmän resilienssi

- Joustavuus ja varastointi
- Uusiutuvan energian integrointi
- Järjestelmän toimintavarmuus

Korostuu: Portugali · Suomi

04

Teollinen ja teknologinen resilienssi

- Kotimainen teknologinen ja teollinen kapasiteetti
- Infrastruktuurien ja arvoketjujen toimintavarmuus
- Strategisten riippuvuuksien vähentäminen

Korostuu: Ranska · Saksa

Kuva 13: Turvallisuuden ja resilienssin ulottuvuudet kansallisissa vetystrategioissa.

2.2.2.4 Energiajärjestelmän integraatio

Vedyn rooli osana energiajärjestelmää muodostaa vetystrategioissa oman strategisen ajurinsa. Vetyä ei tarkastella ainoastaan energian loppukäyttömuotona tai teollisuuden raaka-aineena, vaan sähkö-, kaasu-, lämpö- ja polttoainejärjestelmiä yhdistävänä energiantantajana. Vertailussa vedyn energiajärjestelmärooli jäsentyy kolmeen toisiaan täydentävään tehtävään: uusiutuvan ja vähähiilisen sähköntuotannon hyödyntämiseen, energiajärjestelmän joustavuuden ja varastoinnin lisäämiseen sekä eri energiasektoreiden yhdistämiseen (Kuva 13). Erityisesti suuren tuuli- ja aurinkovoimapotentialin maissa vedyn tuotanto nähdään keinona hyödyntää kasvavaa vaihtelevaa sähköntuotantoa. Elektrolyysin avulla sähköä voidaan muuntaa vedyksi ja edelleen PtX-johdannaisiksi, jolloin uusiutuvaa energiaa voidaan hyödyntää myös vaikeasti suoraan sähköistettävissä käyttökohteissa. Samalla elektrolyysin joustava käyttö ja vedyn varastoitavuus voivat tasapainottaa tuotannon ja kulutuksen ajallisia eroja.

Espanjan strategiassa uusiutuva vety yhdistetään erityisesti uusiutuvan sähköntuotannon integrointiin ja varastointiin. Vastaava sektorikytkentää korostava näkökulma näkyy Portugalissa ja Tanskassa.

Maiden painotukset heijastavat näiden energiajärjestelmien erilaisia lähtökohtia. Tanskassa, Espanjassa ja Portugalissa korostuvat kasvavan uusiutuvan sähköntuotannon hyödyntäminen ja sektorikytkentä, kun taas Ranskassa lähtökohtana on suuri vähähiilisen sähköntuotannon kapasiteetti. Saksassa integraatio liittyy laajempaan energiajärjestelmän muutokseen, jossa kotimaisen tuotannon rinnalle tarvitaan tuontivetyä, johdannaisia ja näitä yhdistävää infrastruktuuria. Suomessa vedyn ja sähköpolttoaineiden tuotanto kytkeytyy teollisuuden ja liikenteen lisäksi energiajärjestelmän tarpeisiin, kun taas Alankomaissa olemassa olevat kaasuverkot, varastointimahdollisuudet, teollisuusklusterit ja kansainväliset energiayhteydet muodostavat keskeisen lähtökohdan integraatiolle.

Vertailu osoittaa, että vedyn energiajärjestelmärooli määräytyy pitkälti kansallisen energiajärjestelmän lähtökohdista. Suuren uusiutuvan energian potentiaalin maissa korostuu vaihtelevan sähköntuotannon hyödyntäminen, kun taas vahvan energia- ja teollisuusinfrastruktuurin maissa vedyn rooli liittyy laajemmin energiasektoreiden ja teollisuuden yhdistämiseen (Kuva 14).

01

Uusiutuvan ja vähähiilisen sähköntuotannon hyödyntäminen

- Vaihtelevan sähköntuotannon hyödyntäminen
- Sähkön muuntaminen vedyksi ja PtX-johdannaisiksi
- Uusiutuvan energian hyödyntäminen vaikeasti sähköistettävissä käyttökohteissa

Korostuu: Tanska · Espanja · Portugali · Suomi (vähähiilinen sähkö: Ranska)

02 Energiajärjestelmän joustavuus ja varastointi

- Elektrolyysin joustava käyttö
- Tuotannon ja kulutuksen ajallinen yhteensovittaminen
- Energian pitkäaikainen varastointi
- Sähköjärjestelmän tasapainottamisen tukeminen

Korostuu: Portugali · Espanja · Tanska

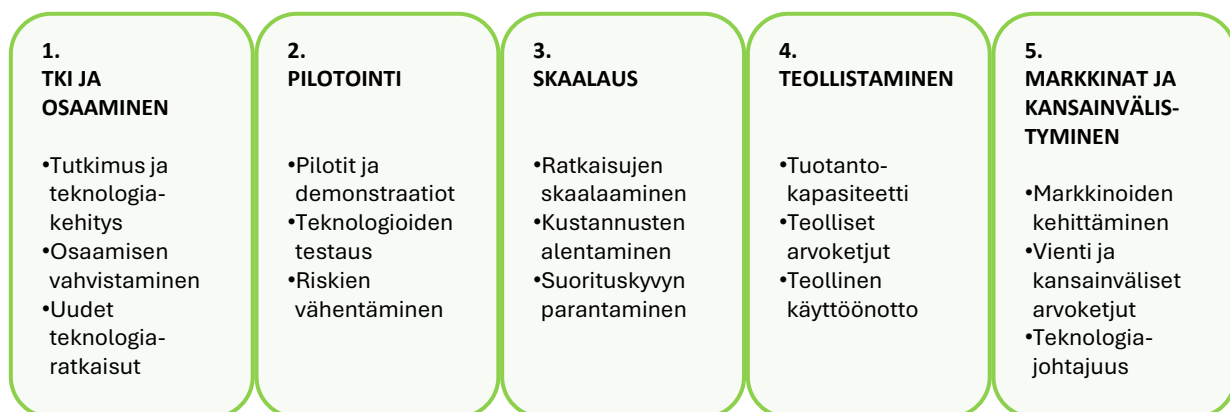
03 Energiasektoreiden yhdistäminen (sektorikytkentä)

- Sähkö → vety ja PtX
- Kytkentä teollisuuteen ja liikenteeseen
- Kytkentä kaasuverkkoihin ja lämpösektoriin
- Energia- ja teollisuusjärjestelmien yhdistäminen
- **Korostuu: Tanska · Alankomaat · Saksa · Suomi**

Kuva 14: Vedyn keskeiset tehtävät energiajärjestelmässä ja kansalliset painotukset.

2.2.2.5 Teknologia ja innovaatiot

Teknologia ja innovaatiot muodostavat yhden vertailussa tunnistetuista vetytalouden strategisista ajureista. Maiden strategioiden vertailussa ajurin sisältä voidaan tunnistaa yhteinen kehityspolku, joka ulottuu tutkimuksesta ja osaamisen kehittämisestä teknologioiden pilotointiin, skaalaamiseen ja teollistamiseen sekä edelleen kaupallistamiseen ja kansainvälistymiseen. Maiden välillä on kuitenkin eroja siinä, mitä kehityspolun vaiheita ja teknologisia kyvykkyyksiä strategioissa erityisesti painotetaan.



Kuva 15. Teknologia- ja innovaatioajurin keskeiset kehitysvaiheet tarkasteltujen maiden vetystrategioissa.

Teknologia- ja innovaatioajurin merkitystä tukee myös edellä esitetty kansainvälinen tutkimuskartoitus. Saksaa, Tanskaa, Ranskaa, Espanjaa, Suomea ja Alankomaita yhdistää sijoittuminen 20 tutkimusaktiivisimman maan joukkoon, kun taas Portugali ei noussut tarkastelussa kärkimaiden joukkoon. Seuraavassa tarkastellaan, miten tämä teknologia- ja innovaatiopainotus ilmenee maiden strategisissa valinnoissa ja miten tutkimusta ja teknologiakehitystä pyritään viemään kohti pilotointia, skaalaamista, teollistamista ja markkinoita.

Saksassa teknologia- ja innovaatioajuri ulottuu tutkimuksesta ja demonstraatioista teknologioiden skaalaamiseen ja teollistamiseen. H2Mare-, H2Giga- ja TransHyDE-lippulaivahankkeet kohdistuvat keskeisiin teknologiakokonaisuuksiin offshore-vedystä elektrolyysereiden teolliseen tuotantoon sekä vedyn siirto- ja varastointiratkaisuihin. Tätä täydentää Hydrogen Innovation and Technology Center (ITZ-H₂) -verkosto, joka tarjoaa erityisesti liikennesektorin vetyteknologioille tutkimus-, testaus-, demonstraatio- ja sertifiointiympäristöjä. Erityisesti elektrolyysiteknologiassa tavoitteena on kasvattaa tuotantomääriä, automatisoida valmistusta ja alentaa kustannuksia. Saksan teknologia- ja innovaatiopainotuksessa yhdistyvät siten laaja-alainen teknologiakehitys ja demonstraatiotoiminta sekä niiden vieminen kohti teollista skaalaa ja kotimaista teknologiavalmistusta.



Tanskassa teknologia- ja innovaatioajuri painottuu PtX-teknologioiden kehittämiseen, pilotointiin, skaalaamiseen ja kaupallistamiseen. Teknologisen kehityksen ja tuotannon skaalaamisen tavoitteena on alentaa PtX-ratkaisujen kustannuksia sekä vahvistaa tanskalaisten teknologioiden kaupallista kehitystä ja vientiä.

GreenLab Skiven kaltaiset testaus- ja demonstraatioympäristöt tukevat teknologioiden kehittämistä ja skaalaamista, kun taas Kassøn Power-to-X-kokonaisuus havainnollistaa etenemistä kohti kaupallisen mittakaavan PtX-tuotantoa. Tanskan teknologia- ja innovaatiopainotuksessa korostuu siten demonstraatioiden ja teknologiakehityksen kytkeminen skaalaukseen, kaupallistamiseen ja vientiin.

Ranskassa teknologia- ja innovaatioajuri muodostaa tutkimuksesta demonstraatioiden kautta teollistamiseen ulottuvan kokonaisuuden. PEPR-ohjelma tukee koko vetyarvoketjun tutkimusta, Technological Building Blocks and Demonstrators -ohjelma teknologioiden demonstraatioita ja IPCEI-hankkeet niiden etenemistä kohti teollista tuotantoa. Erityinen painotus kohdistuu elektrolyysiteknologioihin, joissa Ranska kehittää rinnakkain useita teknologisia vaihtoehtoja ja tukee kotimaisen valmistuskapasiteetin rakentamista. Teknologia- ja innovaatiotoiminta kytkeytyy näin tutkimusosaamisen lisäksi kotimaisen tuotantokapasiteetin ja teollisen suvereniteetin vahvistamiseen.

Espanjassa teknologia- ja innovaatioajuri painottuu uusiutuvan vedyn teknologioiden pilotointiin ja demonstraatioihin sekä niiden skaalaamiseen osana alueellisia teollisia ekosysteemejä. Strategiassa Espanja tavoittelee asemaa uusiutuvan vedyn tuotannon ja käytön teknologisenä edelläkävijänä, ja tätä edistetään teknologiaklustereilla, alueellisilla pilottihankkeilla ja teollisella innovaatiolla. Basque Hydrogen Corridor yhdistää vedyn tuotantoa, infrastruktuuria sekä teollisuuden ja liikenteen käyttökohteita, ja Huelvan ja Algecirasin ympärille rakentuvat keskittymät vievät kehitystä kohti suurempaa teollista mittakaavaa. Teknologia- ja innovaatiopainotus kytkeytyy siten vahvasti alueellisten vetyekosysteemien ja integroitujen teollisten arvoketjujen rakentamiseen.

Suomessa teknologia- ja innovaatioajuri rakentuu olemassa olevan teollisen ja teknologisen osaamisen hyödyntämiseen sekä uusien vety- ja PtX-ratkaisujen kehittämiseen, pilotointiin ja kaupallistamiseen. Keskeisiä vahvuuksia ovat energia- ja teollisuusjärjestelmien osaaminen, suuret teolliset prosessit, digitalisaatio ja energiatehokkuus. Hydrogen Research Forum Finland kokoaa kansallista tutkimusosaamista, kun taas Business Finlandin Hydrogen & Batteries – Dual Helix of Decarbonization -ohjelma tukee yritysten ja tutkimusorganisaatioiden yhteistyötä, teknologiakehitystä ja kansainvälistymistä. Suomen teknologia- ja innovaatiopainotuksessa korostuu siten tutkimus- ja osaamis pohjan kytkeminen yritysvetoiseen kehitykseen, kaupallistamiseen ja kansainväliseen kasvuun.



Portugalissa teknologia- ja innovaatioajuri kytkeytyy vihreän vedyn ja PtX:n ympärille rakennettavan uuden teollisen arvoketjun kehittämiseen. Teknologiakehityksessä painottuvat uusiutuvan energian ja elektrolyysin yhdistäminen, suuren mittakaavan demonstraatiohankkeet sekä kansainvälinen yritysysteistyö. Sinesin ympärille rakentuvassa kokonaisuudessa pyritään yhdistämään vedyn tuotanto, varastointi, käyttö ja vienti teollisessa mittakaavassa, ja kansainväliset PtX-hankkeet tukevat teknologioiden kehittämistä ja skaalaamista. Portugalissa teknologia- ja innovaatiotoiminta kytkeytyy näin vahvasti uuden teollisen ekosysteemin ja kansainvälisten PtX-arvoketjujen rakentamiseen.

Alankomaissa teknologia- ja innovaatioajuri ulottuu tutkimuksesta ja teknologiakehityksestä pilotointiin, demonstraatioihin ja teolliseen skaalaamiseen. Tutkimus-, kehitys- ja demonstraatiotoimintaa toteutetaan muun muassa GroenvermogenNL-ohjelmassa ja TNO:n hankkeissa, ja keskeisiä kehityskohteita ovat elektrolyysi, offshore-vety, infrastruktuuri ja varastointi. Offshore-ympäristöjä hyödynnetään vedyn tuotannon pilotoinnissa ja integroinnissa energiajärjestelmään, ja erityisesti elektrolyysereiden ja elektrolyysipinojen kotimaista valmistusta pyritään viemään demonstraatioista kohti teollista tuotantoa. Alankomaiden teknologia- ja innovaatiopainotuksessa yhdistyvät siten tutkimus- ja demonstraatiotoiminta, offshore-osaaminen sekä kotimaisen vetyteknologiateollisuuden kehittäminen.

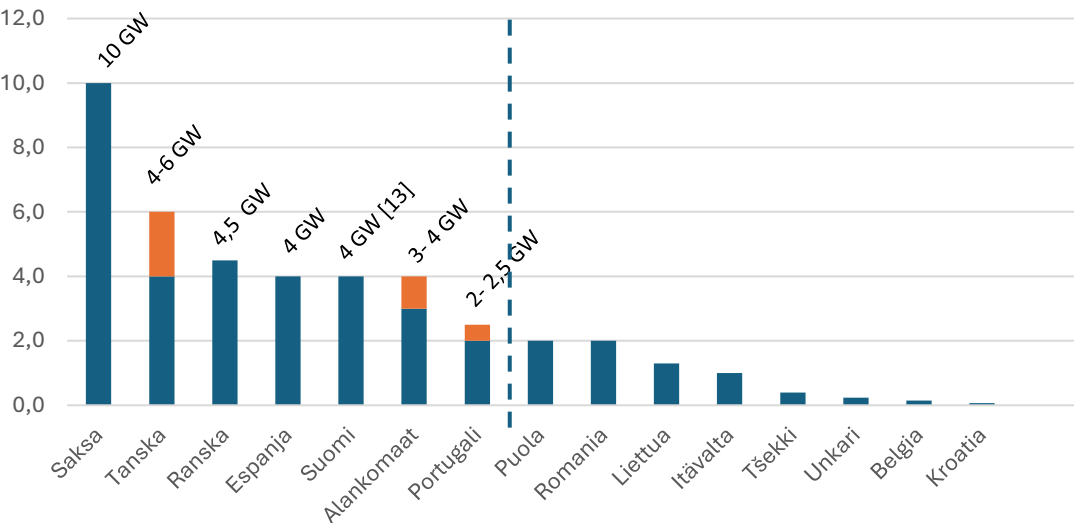
Taulukko 3: Tarkasteltujen maiden teknologia- ja innovaatiopainotuksissa korostuvat teknologia-alueet.

Maa	Strategioissa korostuvat teknologia-alueet
Saksa	Elektrolyysiteknologia ja -valmistus, offshore-vety, vedyn siirto ja varastointi, polttokenno- ja PtX-teknologiat
Tanska	Elektrolyysiteknologia, PtX-teknologiat, e-polttoaineet ja e-metanoli, vedyn varastointi ja joustava PtX-tuotanto
Ranska	Elektrolyysiteknologiat (alkali-, PEM-, korkean lämpötilan ja AEM-elektrolyysi), polttokennot, vedyn varastointi
Espanja	Uusiutuvan vedyn tuotantoteknologiat, elektrolyysiteknologia, teolliset vety- ja PtX-ratkaisut, integroidut vetyekosysteemit
Suomi	Elektrolyysiteknologia, PtX-teknologiat, teolliset prosessit ja sektorikytkentä, digitalisaatio ja energiatehokkuus
Alankomaat	Elektrolyysiteknologia ja skaalaus; offshore-vety ja offshore-konversio; polttokennot; vedyn tuotanto- ja varastointiratkaisut
Portugali	Elektrolyysiteknologia, uusiutuvan vedyn tuotanto, PtX- ja PtL-teknologiat, vedyn varastointi ja kuljetus

2.2.2 Strategiset tavoitteet ja painopisteet

Strategioissa asetetut tavoitteet kuvaavat sekä vetytalouden tavoiteltua mittakaavaa että tämän kansallista suuntaa ja painopisteitä. Maiden strategisia tavoitteita ja painopisteitä tarkasteltiin vedyn tavoitellun tuotantomäärän, tuotantotapojen sekä vedyn arvoketjussa tavoitellun roolin näkökulmista.

Konkreettisimmin maiden tavoitteita voidaan vertailla vuodelle 2030 asetettujen elektrolyysikapasiteettitavoitteiden perusteella (Kuva 16). EU:n vetystrategiassa asetettiin tavoitteeksi vähintään 40 GW uusiutuvan vedyn elektrolyysikapasiteettia vuoteen 2030 mennessä. Tarkasteltujen seitsemän maan yhteenlasketut kansalliset tavoitteet ovat noin 31,5–35 GW, mikä vastaa noin 79–88 prosenttia EU:n tavoitteesta. Vertailuun valitut maat muodostavat siten merkittävän osan Euroopan suunnitellusta vedyn tuotantokapasiteetista. Kuvassa mukana olevien 15 maan yhteenlasketut tavoitteet ovat 38,7–42,2 GW, eli ne ovat jo kokonaisuutena EU:n tavoitteen tasolla tai ylittävät sen. Muissa EU-maissa ei tarkastellun aineiston perusteella ollut asetettu vastaavaa määrällistä elektrolyysikapasiteettitavoitetta vuodelle 2030. [12][13]



Kuva 16: Maiden elektrolyysikapasiteettitavoitteet vuodelle 2030 (GW).

Pelkkä tuotantokapasiteetti ei kuitenkaan kuvaa strategioissa tavoiteltua vetytalouden rakennetta. Strategioiden painotuksia tarkasteltiin lisäksi vedyn tuotantotavan sekä maan tavoitteleman arvoketjuroolin kautta. Uusiutuva vety muodostaa vertailumaiden yhteisen painopisteen, mutta maiden strategiset profiilit eroavat toisistaan. Ranskassa vähähiilisen, erityisesti ydinvoimaan perustuvan vedyn rooli on muita vertailumaita näkyvämpi, kun taas Espanjan ja Portugalin tavoitteissa korostuu uusiutuvan vedyn tuotanto. Suomessa vedyn tuotannon lähtökohtana on laajasti vähähiilinen sähköjärjestelmä, joka mahdollistaa sekä uusiutuvaan että muuhun vähähiiliseen sähköön perustuvan vedyn tuotannon.

[12] [European Hydrogen Observatory. National Strategies. Clean Hydrogen Partnership.](#)

[13] [Valtioneuvosto \(2023\). Valtioneuvoston periaatepäätös vedystä. 9.2.2023.](#)

Taulukko 4: Vedyn tuotannon painopisteet.

Maa	Uusiutuva vety	Muu vety	Tuotantostrategian painotus
Saksa	Pääpaino	Siirtymävaihe	Uusiutuvan vedyn kotimaisen tuotannon voimakas kasvattaminen; vähähiiliset tuotantoreitit mahdollisia markkinan kehitysvaiheessa
Tanska	Pääpaino	Ei keskeinen	Uusiutuvaan sähköön perustuvan vihreän vedyn ja PtX-tuotteiden tuotannon kasvattaminen.
Ranska	Keskeinen	Pääpaino	Vähähiilisen vedyn tuotannon kasvattaminen hyödyntäen uusiutuvaa ja muuta vähähiilistä sähköntuotantoa; ydinvoima keskeinen erityispiirre.
Espanja	Pääpaino	Ei keskeinen	Runsaisiin uusiutuviin energiavaroihin perustuva uusiutuvan vedyn tuotanto
Suomi	Pääpaino	Mahdollinen	Uusiutuvan ja vähähiilisen vedyn tuotannon kasvattaminen hyödyntäen vähähiilistä sähköjärjestelmää.
Alankomaat	Pääpaino	Siirtymävaihe	Uusiutuvan vedyn tuotannon nopea skaalaus; vähähiilinen vety mukana siirtymävaiheen tuotantoratkaisuna
Portugali	Pääpaino	Ei keskeinen	Runsaisiin uusiutuviin energiavaroihin perustuva uusiutuvan vedyn tuotanto

Maiden lähtökohdat vetytalouden arvoketjussa eroavat toisistaan. Osassa maista strategiat rakentuvat merkittävän nykyisen teollisen vedyn kysynnän uudistamisen ja uuden kysynnän kasvattamisen ympärille, kun taas osa maista asemoituu erityisesti kilpailukykyisen uusiutuvan vedyn ja sen johdannaisten tuottajiksi. Lisäksi strategioissa korostuvat vaihtelevasti infrastruktuurin kehittäminen, teknologiaosaaminen ja kansainvälisten vetyvirtojen mahdollistaminen. Yksittäinen maa voi siten toimia samanaikaisesti useassa roolissa.



Maa	Nykyinen vedyn käyttäjä[6]	Tuottaja	Infrastruktuurin mahdollistaja	Innovaattori
Saksa	•	•	•	•
Tanska		•	•	•
Ranska	•	•	•	•
Espanja	•	•	•	•
Suomi		•	•	•
Alankomaat	•	•	•	•
Portugali		•	•	•

Kuva 17: Maiden roolit eurooppalaisessa vetyarvoketjussa.

Nykyisen vedyn käytön näkökulmasta Saksa, Ranska, Espanja ja Alankomaat muodostavat vertailumaiden joukossa niin sanotun *incumbent*-ryhmän. Ryhmään luokitellaan maat, joissa vedyn kysyntä ylittää 0,5 Mt vuodessa (2022). Vedyn käyttö keskittyy erityisesti jalostamoihin sekä kemian- ja petrokemianteollisuuteen, ja käytetty vety on nykyisin pääosin fossiilipohjaista. Näissä maissa yksi keskeinen lähtökohtana on siten olemassa olevan vedyn käytön dekarbonisointi korvaamalla fossiilipohjaista vetyä uusiutuvalla tai vähähiilisellä vedyllä. [6]

Kaikki seitsemän vertailumaata sijoittuvat tuottajarooliin. Tämä heijastaa osaltaan vertailumaiden valintaa, sillä tarkasteluun valittiin Euroopan vetytalouden keskeisiä maita, joilla on merkittäviä tavoitteita kotimaisen vedyn tuotannon ja tuotantokapasiteetin kasvattamiseksi. Maiden välillä on kuitenkin eroja tuotannon tavoittelussa mittakaavassa ja tuotantotavoissa, kuten edellä on kuvattu.

Infrastruktuurin mahdollistajan rooli kuvaa maita, joissa vedyn siirto- ja jakeluinfrastruktuurin kehittäminen muodostaa keskeisen osan vetytalouden kehitystä. Tarkastelussa huomioitiin erityisesti EU:n Projects of Common Interest (PCI) -hankkeet eli Euroopan yhteistä etua palvelevat rajat ylittävät energiainfrastruktuurihankkeet. PCI-hankkeisiin sisältyy vedyn osalta muun muassa kansallisia ja rajat ylittäviä vetyputkia, vetykäytäviä sekä muuta Euroopan vetyverkoston muodostumista tukevaa infrastruktuuria.



Lisäksi tarkastelussa huomioitiin vedyn ja sen johdannaisten merikuljetuksia mahdollistavia satama- ja terminaalihankkeita. Infrastruktuuri yhdistää tuotanto- ja kysyntäalueita sekä mahdollistaa maiden välisen vedyn kaupan ja laajemman eurooppalaisen vetymarkkinan muodostumisen.

Innovaattorin rooli kuvaa maita, joissa teknologian kehittäminen, TKI-toiminta ja kotimaisen vetyteknologiateollisuuden vahvistaminen muodostavat keskeisen osan strategista asemoitumista. Innovaatiotoiminnan painotukset vaihtelevat maittain. Saksassa korostuvat teknologinen johtajuus, teollinen skaalaus ja valmistus, Tanskassa PtX-teknologioiden kaupallistaminen ja teknologiavienti, Ranskassa teknologisen ja teollisen osaamisen vahvistaminen, Suomessa korkean lisäarvon teknologiat ja kansainväliset markkinat sekä Alankomaissa erityisesti elektrolyyseriteknologia, valmistus ja kaupallistaminen. Espanjassa ja Portugalissa TKI-toiminta tukee vahvasti vetytalouden kehittämistä, mutta painottuu enemmän uusiutuvan vedyn tuotannon, pilotoinnin ja uuden teollisen toiminnan mahdollistamiseen.

Roolien vertailu osoittaa, etteivät tunnistetut roolit muodosta toisensa poissulkevia maaryhmiä, vaan ne kasautuvat suurelta osin samoille maille. Kaikki vertailumaat tavoittelevat merkittävää kotimaista vedyn tuotantoa, minkä rinnalla infrastruktuurin kehittäminen ja teknologia- ja innovaatiotoiminta muodostuvat luonteviksi edellytyksiksi vetytalouden skaalaamiselle. Tästä syystä erityisesti tuottajan, infrastruktuurin mahdollistajan ja innovaattorin roolit erottelevat vertailumaita toisistaan vain rajallisesti. Selvempää vaihtelua esiintyy nykyisen vedyn käyttäjän roolissa, joka liittyy maiden olemassa olevaan teolliseen rakenteeseen ja fossiilipohjaisen vedyn nykyiseen kysyntään.

Roolien samankaltaisuutta voidaan osaltaan selittää myös vertailumaiden valinnalla. Tarkasteluun on valittu Euroopan vetytalouden keskeisiä ja aktiivisesti sitä kehittäviä maita, joilla on merkittäviä tavoitteita vedyn tuotannon, infrastruktuurin ja teknologisen kehityksen kasvattamiseksi. Tuloksia ei siten tule tulkita koko EU:n jäsenmaiden roolijakaumaksi. Laajempi maajoukko voisi tuoda näkyviin eriytyneempiä rooleja esimerkiksi maissa, joissa kotimainen tuotantopotentiaali, teollinen vedyn kysyntä, infrastruktuuriasema tai teknologinen kapasiteetti on vähäisempi.

2.2.3 Strategioissa mainitut toimenpiteet

Strategisten ajureiden ja tavoitteiden lisäksi vertailussa tarkasteltiin keinoja, joilla maat pyrkivät edistämään vetytalouden käytännön toteutumista. Strategioissa tunnistetut toimenpiteet jäsennettiin kolmeen toisiaan täydentävään kokonaisuuteen: infrastruktuuriin, kysyntään ja käyttökohteisiin sekä kansainväliseen yhteistyöhön. Infrastruktuurin osalta tarkastelu kohdistui vedyn tuotantoa, siirtoa, varastointia ja jakelua mahdollistaviin ratkaisuihin, kuten putkistoihin ja siirtoyhteyksiin, satamiin, varastoihin ja vetylaaksoihin.



Kysynnän ja käyttökohteiden tarkastelussa huomioitiin erityisesti teollisuus, liikenne, energiajärjestelmä, rakennussektori sekä vetyjohdannaiset. Kansainvälisessä yhteistyössä tarkasteltiin puolestaan strategioissa tunnistettuja tuontiyhteyksiä, vientimarkkinoita ja teknologiakumppanuuksia.

Näiden kokonaisuuksien avulla tarkastelu siirtyy siitä, miksi vetytaloutta kehitetään ja mitä sillä tavoitellaan, siihen, millaisin käytännön toimenpitein tavoitteita pyritään toteuttamaan. Toimenpiteet ovat samalla vahvasti yhteydessä toisiinsa: infrastruktuurin kehittäminen edellyttää riittävää kysyntää, kysynnän kasvu toimivaa tuotanto- ja jakeluinfrastruktuuria, ja kansainväliset yhteydet täydentävät kansallisia arvoketjuja sekä mahdollistavat vedyn ja sen johdannaisten kaupan.

2.2.3.1 Infrastruktuuri

Vetytalouden infrastruktuuri mahdollistaa vedyn tuotannon, käytön ja markkinoiden laajentumisen sekä kansallisten järjestelmien kytkeytymisen osaksi eurooppalaista vetymarkkinaa. Tässä tarkastelussa infrastruktuuri kattaa putkistot ja siirtoyhteydet, satamat ja terminaalit, varastoinnin sekä alueelliset vetylaaksot ja teolliset keskittymät.

Maiden infrastruktuuritarpeet ja painotukset vaihtelevat maantieteellisen sijainnin, olemassa olevan energia- ja kaasuinfrastruktuurin, teollisten kysyntäkeskittymien sekä odotettujen tuonti- ja vientivirtojen mukaan. Strategioissa tunnistettujen toimenpiteiden lisäksi tarkastelua täydennettiin keskeisillä strategioiden julkaisemisen jälkeen edenneillä infrastruktuurihankkeilla. Putkistojen ja rajat ylittävien yhteyksien osalta huomioitiin erityisesti EU:n PCI/PMI-hankkeet sekä kansallisten siirtoverkonhaltijoiden suunnittelemat vetyverkot. Tarkastelu kuvaa siten sekä strategisia infrastruktuuripainotuksia että niiden konkretisoitumista kehittyvässä eurooppalaisessa vetyinfrastruktuurissa.

Putkistot ja siirtoyhteydet

Putkistot ja rajat ylittävät siirtoyhteydet muodostavat keskeisen osan kehittyvää eurooppalaista vetyinfrastruktuuria. Näiden tehtävänä on yhdistää vedyn tuotantoalueita teollisiin kysyntäkeskittymiin sekä mahdollistaa vedyn siirto maiden välillä. Vertailumaissa kansallisten runkoverkkojen kehittäminen kytkeytyykin vahvasti rajat ylittäviin yhteyksiin ja laajemman eurooppalaisen vetymarkkinan muodostumiseen.

Taulukkoon 5 on koottu vertailumaiden keskeiset suunnitellut vetyputki- ja runkoverkkohankkeet sekä niiden kansainväliset yhteydet. Strategia-aineistoa on täydennetty erityisesti EU:n PCI/PMI-hankkeilla ja kansallisten siirtoverkonhaltijoiden ajantasaisilla verkkosuunnitelmilla, jotta tarkastelu kuvaa myös infrastruktuurin konkretisoitumista strategioiden julkaisemisen jälkeen.

Taulukko 5: Vertailumaiden keskeiset vetyputki- ja runkoverkkohankkeet sekä kansainväliset yhteydet.

Maa	Keskeiset vetyputki- /runkoverkkohankkeet	Kansainvälinen yhteys / merkitys
Saksa	Hydrogen Core Network (Wasserstoff-Kernnetz), Hyperlink, H2ercules sekä useita kansainvälisiä liityntöjä	Saksan hyväksytty runkoverkko on noin 9 040 km ja yhdistää tuotanto-, tuonti-, varastointi- ja kysyntäkeskuksia sekä naapurimaita. Saksa toimii useiden eurooppalaisten käytävien päätepisteenä/solmuna.
Tanska	Danish Hydrogen Backbone / Danish Backbone West, Denmark–Germany interconnector	Länsi-Tanskan tuotantoalueet yhdistetään Saksan vetyverkkoon. Tavoitteena on mahdollistaa Tanskassa tuotetun uusiutuvan vedyn vienti Saksaan.
Ranska	BarMar, HY-FEN, HySoW, HYNframed, MosaHYc, RHYN sekä muita alueellisia yhteyksiä	Ranska muodostaa keskeisen Iberian niemimaan ja Keski-Euroopan välisen transit-reitin. BarMar tuo H2med-yhteyden Barcelonasta Marseillen ja HY-FEN jatkaa kohti Saksan rajaa.
Espanja	Spanish Hydrogen Backbone, H2med (CelZa + BarMar)	CelZa yhdistää Espanjan Portugaliin ja BarMar Ranskaan. H2med muodostaa Iberian niemimaalta Keski-Eurooppaan suuntautuvan vientikäytävän.
Suomi	Nordic Hydrogen Route (NHR), Nordic-Baltic Hydrogen Corridor (NBHC), Baltic Sea Hydrogen Collector (BHC), kansallinen vetyverkko	NHR yhdistää Suomen ja Ruotsin; NBHC Suomen Baltian ja Puolan kautta Saksaan; BHC suunnittelee merellistä yhteyttä Suomesta Saksaan.
Alankomaat	Hydrogen Network Netherlands, rajayhteydet Saksaan ja Belgiaan, Delta Rhine Corridor -yhteys	Kansallinen verkko yhdistää teollisuusklusterit, tuontipisteet ja varastot sekä rakentaa yhteydet Saksaan ja Belgiaan. Suunnitelmassa mm. Angerlo–Zevenaar-yhteys Saksan rajalle ja myöhempiä lisäyhteyksiä Saksaan ja Belgiaan.
Portugali	Portuguese Hydrogen Backbone, CelZa (H2med)	CelZa yhdistää Portugalin Espanjan runkoverkkoon ja edelleen H2medin kautta Ranskaan ja Keski-Eurooppaan. Portugalin kansallisen backbone-verkon suunniteltu pituus on noin 405 km.

Kansalliset vetyverkot muodostavat laajemman rajat ylittävän infrastruktuurin. Keski-Euroopassa Saksa toimii keskeisenä kysyntä- ja verkostosolmuna, johon kytkeytyy suunniteltuja yhteyksiä muun muassa Tanskasta, Ranskasta ja Alankomaista. Iberian niemimaan verkot puolestaan kytkeytyvät H2med-kokonaisuuden kautta Ranskaan ja edelleen Keski-Eurooppaan. Suomen suunnitellut yhteydet suuntautuvat Ruotsin ja Baltian kautta kohti Keski-Euroopan markkinoita.

Satamat ja terminaalit

Satamat ja terminaalit muodostavat keskeisen osan vedyn ja tämän johdannaisten kansainvälisestä logistiikasta. Näiden merkitys korostuu erityisesti silloin, kun vetyä kuljetetaan meritse ammoniakkina, metanolina, nesteytettynä vetynä tai muina johdannaisina. Satamat voivat toimia tuonti- ja vientikeskuksina sekä yhdistävät merikuljetukset kansallisiin vetyverkkoihin ja teollisiin kysyntäkeskitymiin.

Taulukko 6: Vertailumaiden keskeiset satamat ja niiden roolit vetytaloudessa.

Maa	Keskeiset satamat / hankkeet	Rooli vetytaloudessa
Saksa	Hampuri, Wilhelmshaven, Rostock	Hampuriin kehitetään ammoniakin tuontiterminaalia. Wilhelmshaveniin suunnitellaan ammoniakin tuontia ja krakkausta vedyksi sekä yhteyttä Saksan vety-runkoverkkoon. Rostockia kehitetään vedyn ja uusiutuvan ammoniakin tuonti- ja energiakeskittymäksi.
Tanska	Esbjerg	Esbjergissä kehitetään satamapohjaista Hydrogen Valley -kokonaisuutta, jossa yhdistyvät vedyn tuotanto, jakelu, bunkraus ja merelliset käyttökohteet.
Ranska	Marseille-Fos / Fos-sur-Mer, Brest	Fos-sur-Meriin suunnitellaan noin 200 000 t/v vähähiilisen ammoniakin tuontia. Marseille-Fosin H4-hankkeeseen sisältyy 300 MW elektrolyysikapasiteettia sekä e-metanolin ja e-kerosiinin tuotantoa. Brest osallistuu satamapohjaisten Hydrogen Valley -ratkaisujen kehittämiseen.
Espanja	Algeciras, Huelva	Algecirasin ja Rotterdamin välille kehitetään uusiutuvan vedyn vientiketjua, jossa vetyä voidaan kuljettaa ammoniakin tai metanolin muodossa. Vastaavaa toimitusketjua on suunniteltu Huelvasta.
Suomi	Kokkola, HaminaKotka, Helsinki	Kokkolaan on suunniteltu suuren mittakaavan uusiutuvan vedyn ja ammoniakin tuotantoa, jossa satama mahdollistaa myös viennin. HaminaKotka ja Helsinki ovat mukana vihreiden merikäytävien ja vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin kehittämisessä.
Alankomaat	Rotterdam	Rotterdamia kehitetään Euroopan keskeiseksi vedyn ja sen johdannaisten tuonti- ja kauttakulkukeskukseksi. Satamassa kehitetään infrastruktuuria muun muassa ammoniakin, metanolin, LOHC-yhdisteiden ja nestemäisen vedyn tuontiin sekä vedyn välittämiseen Luoteis-Euroopan markkinoille.
Portugali	Sines	Sinesiä kehitetään uusiutuvan vedyn ja sen johdannaisten tuotanto- ja vientikeskittymänä. Sines–Rotterdam H2Sines.Rdam -hankkeessa suunniteltiin nestemäisen vedyn vientiketjua Rotterdamiin, mutta hanke lopetettiin vuonna 2024.

Varastointi

Vedyn varastointi on keskeinen osa vetytalouden fyysistä infrastruktuuria. Se mahdollistaa tuotannon ja käytön ajallisen erottamisen ja tukee siten:

- energijärjestelmän joustavuutta ja vaihtelevan uusiutuvan sähköntuotannon hyödyntämistä.
- toimitusvarmuutta tasaamalla vedyn tuotannon ja kysynnän vaihteluita.
- vetymarkkinoiden muodostumista lisäämällä tarjonnan joustavuutta ja saatavuutta sekä vähentämällä tuottajien ja käyttäjien toimitus- ja kysyntäriskejä.

Käytettävissä olevat varastointiratkaisut riippuvat erityisesti maiden geologisista olosuhteista, olemassa olevasta kaasuinfrastruktuurista ja kehittyvän vetyverkon rakenteesta. Strategioissa tunnistetut fyysiset H₂-varastointiratkaisut voidaan jakaa geologiseen ja maanpäälliseen varastointiin (Kuva 18). Geologisia ratkaisuja ovat muun muassa suolakavernit, tyhjentyneet kaasu- ja öljykentät sekä akviferit, kun taas maanpäällinen varastointi käsittää esimerkiksi paineistetun ja nestemäisen vedyn säiliöitä.

Suomen vuoden 2023 periaatepäätös ei yksilöi vastaavia fyysisiä varastointiratkaisuja, mutta Gasgridin myöhemmässä vetyverkon suunnittelussa linepack tunnistetaan lyhytaikaisen varastoinnin ja verkon joustavuuden keinoksi. Lisäksi tarkastelussa huomioidaan strategioissa tunnistettu CO₂:n pysyvä geologinen varastointi osana CCS-infrastruktuuria. CO₂:n hyödyntäminen esimerkiksi metanolin ja synteettisten polttoaineiden tuotannossa rajataan varastoinnin ulkopuolelle ja käsitellään osana PtX-arvoketjuja.

01

Maanalainen / geologinen H₂-varastointi

- Suolakavernit
 - Tyhjentyneet kaasu- ja öljykentät
 - Akviferit
- Mainittu: Espanja · Alankomaat
Suuren mittakaavan maanalainen varastointi: Tanska

02

Maanpäällinen H₂-varastointi

- Korkeapainesäiliöt
 - Kaasumaisen vedyn varastointi
 - Nestemäisen vedyn varastointi
 - Kiinteisiin materiaaleihin perustuva varastointi
- Mainittu: Espanja · Alankomaat
TKI-näkökulma: Ranska

03

CO₂:n geologinen varastointi

- Talteen otetun CO₂:n pysyvä maanalainen varastointi
 - Osa CCS-arvoketjua
- Mainittu: Saksa
CCS/CO₂-infrastruktuuri tunnistettu: Alankomaat

Kuva 18: Strategioissa tunnistetut H₂:n ja CO₂:n fyysiset varastointiratkaisut vertailumaissa.

Keskeiset varastointihankkeet

Strategioissa tunnistettujen varastointiratkaisujen lisäksi tarkastelua täydennettiin vertailumaissa käynnissä olevilla ja suunnitelluilla fyysisen vedyn varastointihankkeilla. Hankkeissa korostuu erityisesti suolakavernien hyödyntäminen suuren mittakaavan vetyvarastointiin. Taulukkoon 7 on koottu keskeisiä hankkeita, joissa vedyn varastointia demonstroidaan tai kehitetään osaksi tulevaa vetyinfrastruktuuria.

Taulukko 7: Vertailumaiden keskeiset varastointihankkeet.

Maa	Keskeinen hanke / sijainti	Varastointiratkaisu	Merkitys / vaihe
Saksa	H2CAST Etzel, Ala-Saksi; SaltHy, Harsefeld	Suolakaverni	H2CAST Etzelissä demonstroidaan olemassa olevien suolakavernien käyttöä vedyn varastointiin; kaksi pilottikavernia on täytetty vedyllä. SaltHyssä suunnitellaan kahta uutta vetykavernia, joiden tavoitteena on suuren mittakaavan kaupallinen varastointi 2030-luvulla.
Tanska	Green Hydrogen Hub Denmark	Suolakaverni	Selvityksessä suuren mittakaavan vedyn maanalaisen varastoinnin kehittäminen osaksi integroitua vetyjärjestelmää.
Ranska	HyPSTER, Étrez FrHyGe, Manosque	Suolakaverni	HyPSTERissä on demonstroitu vedyn syklistä varastointia olemassa olevassa suolakavernissa. FrHyGe vie kehitystä kohti teollista mittakaavaa muuntamalla kaksi olemassa olevaa kavernia vetyvarastointiin
Espanja	H2 Storage North-1, Polanco Cantabria	Suolakaverni	Suunnitteluvaiheessa olevat suuren mittakaavan maanalaiset vetyvarastot, jotka on tarkoitus integroida Espanjan tulevaan vetyverkkoon
Suomi	HUG – Hydrogen UnderGround	Maanalainen kallioperävarastointi (LRC)	VTT-vetoinen tutkimushanke, joka tutkii kallioluolien käyttöä vetyvarastona
Alankomaat	HyStock, Zuidwending	Suolakaverni	Suuren mittakaavan varastointikapasiteettia suunnitellaan liitettäväksi kansalliseen vetyverkkoon.
Portugali	Carriço	Suolakaverni	Olemassa oleva maanalainen kaasuväylä on sertifioitu enintään 10 %:n vety-maakaasuseoksille. REN valmistelee infrastruktuurin asteittaista muuntamista 100 % vedylle

Vetylaaksot ja teolliset keskittymät

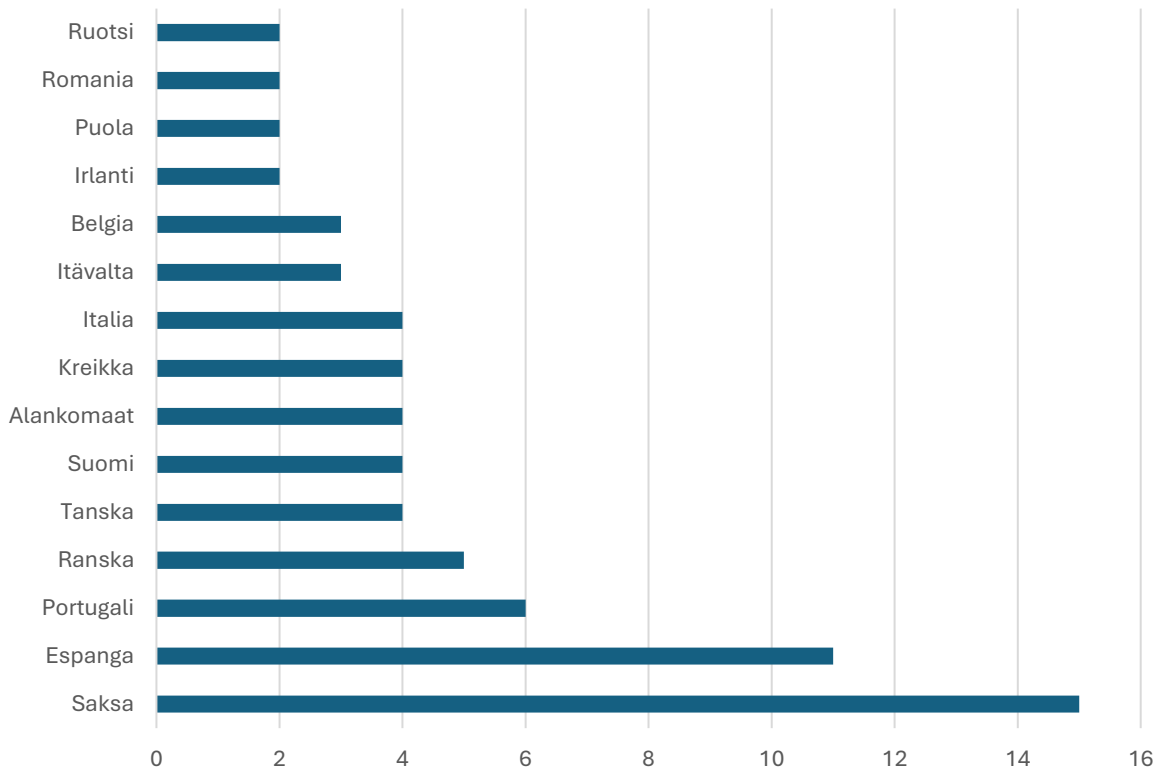
Vetylaaksot, vetyhubit ja teolliset keskittymät nousevat esiin useiden vertailumaiden vetystrategioissa. Strategioissa mainitaan sekä nimettyjä vetylaaksoja ja hubeja että olemassa oleviin teollisuuskeskittymiin kytkeytyviä vedyn tuotanto- ja käyttökohteita. Maiden välillä vaihtelee, millaisia keskittymiä strategioissa tunnistetaan ja mikä rooli näille asetetaan vetytalouden kehityksessä.

Taulukko 8: Vertailumaiden strategioissa mainitut vetylaaksot ja teollisuuskeskittymät.

Maa	Strategiassa mainitut vetylaaksot / keskittymät	Mitä strategiassa linjataan
Saksa	HyLand – Hydrogen Regions in Germany; vetyhubit; teolliset keskittymät ja satamat	HyLand tukee alueellisten vetyekosysteemien kehittämistä. Vetyhubien ja infrastruktuurin avulla yhdistetään tuotanto-, tuonti- ja varastointikeskuksia kulutukseen; satamilla on rooli energiantuonnin hubeina. Yksittäisiä Hydrogen Valley -alueita ei nimetä.
Tanska	South Jutland green energy and sector-coupling commercial beacon; satamat vihreän liikenteen hubeina	Strategia tukee alueellisia PtX-keskittymiä, erityisesti Etelä-Jyllannin vihreän energian ja sektorikytkennän keskittymää. Satamia tarkastellaan vihreän liikenteen hubeina. Varsinaisia Hydrogen Valley -alueita ei nimetä.
Ranska	Fos-Marseille / Fos-sur-Mer; Dunkirk; Le Havre–Estuaire de la Seine; Vallée de la Chimie (Lyon)	Priorisoituja teollisia vetyhuboja, joissa vedyn tuotanto sijoitetaan lähelle teollista kysyntää ja yhdistetään paikalliseen putki- ja varastointinfrastruktuuriin.
Espanja	Andalusia (Huelva–Campo de Gibraltar); Asturias; Basque Country; Castilla y León; Catalonia; Galicia; Murcia; Valencia	Alueellisia vetylaaksoja ja teollisia keskittymiä, joissa yhdistyvät uusiutuvan vedyn tuotanto, teollinen kysyntä ja infrastruktuuri.
Suomi	Vetylaaksot – yksittäisiä vetylaaksoja tai alueita ei nimetä	Strategia linjaa useiden alueellisiin vahvuuksiin perustuvien vetylaaksojen kehittämistä. Niihin kootaan arvoketjun toimijoita, hankkeita ja infrastruktuuria sekä edistetään laaksojen välistä yhteistyötä.
Alankomaat	Northern Netherlands – Hydrogen Valley; Zeeland; Zuid-Holland; Noord-Holland / Amsterdam; teollisuusklusterit	Northern Netherlands tunnistetaan Hydrogen Valleyksi, ja vastaavia integroituja vetykeskittymiä kehitetään muissa teollisuusklustereissa. Tavoitteena on yhdistää klusterit kansalliseen ja Luoteis-Euroopan vetyverkkoon.
Portugali	Sines – vihreän vedyn teollinen klusteri	Sinesiin suunnitellaan suuren mittakaavan vihreän vedyn tuotanto-, käyttö- ja vientikeskittymää, joka hyödyntää uusiutuvan energian resursseja ja satamainfrastruktuuria.

Strategia-aineiston tarkastelua täydennettiin H2V Platformin tiedoilla, jotta strategioissa tunnistettuja vetylaaksoja, hubeja ja teollisia keskittymiä voitiin verrata toteutuneeseen alueelliseen vetykehitykseen. H2V Platform kokoaa eri maihin muodostuneita Hydrogen Valley -kokonaisuuksia, joissa vedyn tuotanto, käyttö ja muut arvoketjun toiminnot kytkeytyvät alueellisesti toisiinsa. Kuvassa 19 esitetään listattujen Hydrogen Valley -kokonaisuuksien määrä EU-maissa, joissa niitä on vähintään kaksi.

Hydrogen Valley -kokonaisuudet EU-maissa



Kuva 19. H2V Platformilla listattujen Hydrogen Valley -kokonaisuuksien määrä EU-maissa. Kuvassa esitetään maat, joissa on vähintään kaksi listattua kokonaisuutta. [14]

Vertailuun valitut maat sijoittuvat Hydrogen Valley -kokonaisuuksien määrässä EU-maiden kärkeen. Saksassa (15) ja Espanjassa (11) listattuja kokonaisuuksia on selvästi eniten, ja myös Portugalissa (6), Ranskassa (5) sekä Suomessa, Tanskassa ja Alankomaissa (4) niitä on useita. Vertailu osoittaa samalla, ettei alueellinen vetykehitys rajoitu maihin, joissa vetylaaksot tai teolliset keskittymät korostuvat kansallisissa strategioissa: esimerkiksi Italiassa ja Kreikassa on kummassakin neljä H2V Platformilla listattua kokonaisuutta.

[14] [Hydrogen Valleys. \(2026\). Hydrogen Valleys at a Glance. Hydrogen Valley Platform. Viitattu 27.8.2026.](#) 33



2.2.2.2 Kysyntä ja käyttökohteet

Vedyn kysynnän muodostuminen on keskeinen edellytys vetymarkkinoiden kehittymiselle ja tuotantoinvestointien toteutumiselle. Kansallisissa strategioissa kysyntää koskevat tavoitteet ovat kuitenkin tuotantotavoitteita hajanaisempia. Osa maista esittää vedyn tulevalle kysynnälle kokonaisarvioita, kun taas toisissa tavoitteet kohdistuvat yksittäisiin sektoreihin, käyttökohteisiin tai vedyn osuuteen energiankulutuksesta. Myös mittarit ja tavoitevuodet vaihtelevat, mikä vaikeuttaa maiden suoraa määrällistä vertailua.

Strategioissa vedyn kysyntää suunnataan erityisesti teollisuuteen ja liikenteeseen, mutta käyttökohteita tunnistetaan myös energia- ja sähköjärjestelmässä, rakennuksissa sekä vedyn johdannaisissa. Tässä tarkastelussa strategioissa tunnistetut kysyntä- ja käyttökohteet jaetaan viiteen ryhmään: teollisuus, liikenne, energiajärjestelmä, rakennukset sekä vedyn johdannaiset.

Strategioissa teollinen vetykysyntä kohdistuu erityisesti teräs- ja kemianteollisuuteen sekä jalostamoihin ja petrokemiaan. Lisäksi vetyä suunnataan korkean lämpötilan prosesseihin ja yleisemmin vaikeasti sähköistettävään teollisuuteen. Strategioiden tarkkuustaso kuitenkin vaihtelee: osa maista nimeää yksittäisiä teollisuudenaloja ja prosesseja, kun taas esimerkiksi Tanska määrittelee teollisuuden käyttökohteet yleisemmin vaikeasti sähköistettäviksi kohteiksi.

Strategioissa liikenteen käyttökohteet painottuvat raskaaseen tieliikenteeseen sekä meri- ja lentoliikenteeseen. Meri- ja lentoliikenne tunnistetaan kaikissa tarkastelluissa maissa, kun taas raskas tieliikenne mainitaan kaikissa paitsi Suomessa. Lisäksi yksittäisissä strategioissa tunnistetaan muita käyttökohteita, kuten raideliikenne Espanjassa ja sisävesiliikenne Alankomaissa. Erityisesti meri- ja lentoliikenteessä vedyn käyttö kytkeytyy vahvasti vedystä valmistettaviin polttoaineisiin.

Energiajärjestelmässä vedylle tunnistetaan strategioissa laajasti rooli joustavuuden, tasapainotuksen ja energian varastoinnin välineenä. Uusiutuvan sähköntuotannon vaihtelua voidaan tasata muuttamalla sähköä vedyksi ja varastoimalla sitä myöhempää käyttöä varten. Osassa strategioista vetyä voidaan käyttää myös takaisin sähköntuotantoon. Lisäksi useissa maissa vety toimii osana sektorikytkentää ja järjestelmäintegraatiota yhdistäen sähköjärjestelmää muihin energia- ja loppukäyttösektoreihin.

Vetyjohdannaiset ovat kaikissa tarkastelluissa strategioissa keskeinen osa vedyn käyttökohteita. Yhteisiä tuotteita ovat erityisesti ammoniakki, metanoli ja synteettiset lentopolttoaineet. Johdannaisten käyttö kohdistuu etenkin kemian- ja lannoiteteollisuuteen sekä meri- ja lentoliikenteeseen, joissa suora sähköistäminen on vaikeaa.

Rakennukset ja lämmitys jäävät strategioissa selvästi muita käyttökohteita vähäisempään rooliin. Suoraa vedyn käyttöä lämmityksessä tarkastellaan lähinnä Saksassa, Espanjassa ja Alankomaissa, mutta niissäkin rajallisena tai vaihtoehtoisena ratkaisuna. Suomessa ja Alankomaissa tunnistetaan lisäksi elektrolyysin hukkalämmön hyödyntäminen, kun taas Tanskassa, Ranskassa ja Portugalissa rakennukset eivät nouse keskeiseksi vedyn käyttökohteeksi.

Taulukko 9. Kansallisissa vetystrategioissa tunnistetut vedyn kysyntä- ja käyttökohteet.

Käyttökohderyhmä	Strategioissa tunnistetut käyttökohteet ja maat
01 TEOLLISUUS	Teräs – Saksa · Ranska · Suomi · Portugali Kemia – Saksa · Ranska · Espanja · Suomi · Alankomaat · Portugali Jalostamot/petrokemia – Saksa · Ranska · Espanja · Alankomaat · Portugali Korkean lämpötilan prosessit – Saksa · Espanja · Alankomaat Vaikeasti sähköistettävä teollisuus yleisesti – Useiden maiden yhteinen painotus. Tanska käsittelee teollisuuskäyttöä vain yleisellä tasolla eikä nimeä yksittäisiä teollisuudenaloja.
02 LIIKENNE	Raskas tieliikenne – Saksa · Tanska · Ranska · Espanja · Alankomaat · Portugali Meriliikenne – kaikki maat Lentoliikenne – kaikki maat Muut – raideliikenne: Espanja · sisävesiliikenne: Alankomaat
03 ENERGIAJÄRJESTELMÄ	Joustavuus ja tasapainotus – kaikki maat Energian varastointi – kaikki maat Sähköntuotanto vedystä – Saksa · Suomi · Alankomaat · Portugali Sektorikytkentä / järjestelmäintegraatio – Saksa · Tanska · Espanja · Suomi · Alankomaat
04 RAKENNUKSET JA LÄMMITYS	Suora lämmityskäyttö – Saksa · Espanja · Alankomaat – rajallinen / toissijainen rooli Kaukolämpö – Saksa Elektrolyysin hukkalämpö – Suomi · Alankomaat Ei keskeinen käyttökohde – Tanska · Ranska · Portugali
05 VETYJOHDANNAISET	Ammoniakki – kaikki maat · lannoitteet · kemianteollisuus · meriliikenne Metanoli – kaikki maat · kemianteollisuus · meriliikenne e-kerosiini / SAF ja muut synteettiset lentopolttoaineet – kaikki maat · lentoliikenne Synteettinen metaani – kaikki Muut PtX- ja synteettiset polttoaineet – kaikki

2.2.2.3 Kansainvälinen yhteistyö

Kansainvälisellä yhteistyöllä on keskeinen rooli kansallisten vetytalouksien ja Euroopan vetymarkkinoiden kehityksessä. Maiden lähtökohdat vaihtelevat tuotantopotentiaalin, vedyn kysynnän, maantieteellisen sijainnin sekä teollisten ja teknologisten vahvuuksien mukaan. Tämä näkyy erilaisina tuonti- ja vientirooleina sekä kansainvälisen yhteistyön painotuksina.

Kansainvälinen yhteistyö ei rajoitu vedyn fyysisiin kauppavirtoihin, vaan strategioissa tunnistetaan myös teknologiaan, osaamiseen ja vetytalouden arvoketjujen kehittämiseen liittyvää yhteistyötä. Tässä tarkastelussa kansainvälistä yhteistyötä analysoidaan kolmen näkökulman kautta: tuontiyhteydet, vientimarkkinat ja teknologiakumppanuudet.

Taulukko 10. Vedyn tuonti- ja vientiroolit sekä kansainväliset yhteydet.

Maa	Tuontirooli	Tuonnin keskeiset yhteydet	Vientirooli	Viennin keskeiset markkinat / yhteydet
Saksa	Vahva tuontimaa. 2030 noin 50–70 % kysynnästä tuonnilla.	Pohjanmeri: DK · NO · UK · NL · BE Itämeri: FI · Baltia · PL Lounais-Eurooppa: PT · ES · FR · MA* Etelä-Eurooppa: DZ · TN · IT · AT. globaali tuontipotentiaali.	Teknologia- ja ratkaisuvienti	EU / Eurooppa · kehittyvät ja nousevat taloudet · globaalit markkinat.
Tanska	Ei merkittävää tuontiroolia.	Ei nimettyjä.	Vahva vedyn ja PtX-tuotteiden vientirooli; myös teknologia ja osaaminen.	DE · NL · BE; laajemmin Luoteis-Eurooppa / Eurooppa.
Ranska	Kotimainen tuotanto ensisijainen; tuontia ei ennen 2035.	Iberian niemimaa; myöhemmin myös EU:n ulkopuoliset tuottajat.	Teknologia- ja osaamisvienti,	Globaalit markkinat · prioriteettimarkkinat · EU:n ulkopuoliset markkinat.
Espanja	Kotimainen tuotanto ja tuontiriippuvuuden vähentäminen.	Ei nimettyjä.	Potentiaalinen merkittävä uusiutuvan vedyn tuottaja ja viejä.	EU / Eurooppa · kansainväliset markkinat.
Suomi	Ei ensisijaista tuontiroolia; kaksisuuntaiset yhteydet.	SE · Baltia · PL · DE; Itämeren alue / Eurooppa.	Vety, johdannaiset ja korkean lisäarvon tuotteet; myös teknologia ja palvelut.	Keski-Eurooppa · EU / Eurooppa; teknologialle globaalit markkinat.
Alankomaat	Vahva tuonti- ja transit-hubi.	PT · ES; Lähi-itä · Pohjois-Afrikka · Pohjois-Amerikka · Eurooppa; DE · BE.	Transit sekä teknologia- ja palveluvienti.	DE · Luoteis-Eurooppa; globaalit teknologia- ja palvelumarkkinat.
Portugali	Ei merkittävää vedyn tuontiroolia	Ei nimettyjä.	Vihreän vedyn tuotanto ja vienti. Sines vientihubina	Pohjois-Eurooppa · EU / Eurooppa.

Taulukko 11. Teknologiaikumppanuudet ja keskeiset kumppanimaat.

Maa	Teknologiayhteistyön painotus	Mainitut kumppanimaat / -alueet
Saksa	T&K, demonstraatiohankkeet, infrastruktuuri, standardointi ja teknologian kehittäminen	NL · BE · LU · FR · AT · CH; EU/EFTA sekä laajemmat kansainväliset kumppanuudet
Tanska	PtX, CCUS, energiateknologia, innovaatio, sääntely ja tiedonvaihto	DE · UK · NL · US · JP · CN · KR · AU · NO
Ranska	Tekninen ja tieteellinen yhteistyö, T&K, koulutus, standardointi ja sertifiointi	Ei yksittäisiä maita nimetty; EU / Eurooppa ja EU:n ulkopuoliset kumppanit
Espanja	T&K&I, pilotit, teknologiajohtajuus ja standardointi	Ei yksittäisiä maita nimetty; EU / Eurooppa ja kansainväliset vetyfoorumit
Suomi	T&K, investoinnit, vetyteknologiat, osaaminen ja palvelut	Ei yksittäisiä maita nimetty; EU / Eurooppa ja kansainväliset yhteistyöverkostot
Alankomaat	Teknologia, infrastruktuuri, offshore-vety, demonstraatiot ja standardointi	DE · DK · BE · LU · FR · AT · CH; Benelux ja Pohjanmeren alue
Portugali	PtL, T&K ja eurooppalaisen vetyarvoketjun kehittäminen	DE · FR; EU / Eurooppa

Teknologiayhteistyö muodostaa kaikissa tarkastelluissa strategioissa keskeisen osan kansainvälistä yhteistyötä. Yhteistyö painottuu erityisesti tutkimukseen ja innovaatioihin, teknologian kehittämiseen, demonstraatiohankkeisiin, infrastruktuuriin sekä standardointiin. Strategioiden välillä on kuitenkin eroja yhteistyön maantieteellisessä tarkkuudessa. Saksa, Tanska, Alankomaat ja Portugali nimeävät konkreettisia kumppanimaita, kun taas Ranska, Espanja ja Suomi tarkastelevat teknologiayhteistyötä pääasiassa laajempien eurooppalaisten ja kansainvälisten verkostojen kautta. Erityisesti eurooppalaisten maiden väliset yhteydet korostuvat, mutta yhteistyö ulottuu myös Euroopan ulkopuolelle.



2.2.4 Strategia-analyysi: tiivistelmä

Strategiavertailun perusteella Suomen vetytalouden asemaa voidaan tiivistää seuraaviin keskeisiin havaintoihin:

- Suomen strateginen tavoitetaso on korkea: tavoitteena on merkittävä asema Euroopan puhtaan vedyn tuotannossa sekä uuden vety- ja PtX-pohjaisen teollisuuden ja viennin rakentaminen.
- Suomen kilpailuedut tukevat korkean jalostusarvon tuotantoa: puhdas sähkö, biogeeninen CO₂, teollinen perusta sekä vahva TKI-osaaminen mahdollistavat vedyn lisäksi PtX-tuotteiden, johdannaisten ja vähähiilisten teollisuustuotteiden tuotannon.
- TKI on Suomen selkeä vahvuus, mutta teollistamisessa ja kaupallistamisessa vertailumaat tarjoavat vahvoja esimerkkejä: erityisesti Saksa, Ranska, Tanska ja Alankomaat yhdistävät tutkimusta demonstraatioihin, skaalaukseen, valmistukseen ja kaupallistamiseen.
- Vetyvarastoinnissa Suomi on vertailumaita varhaisemmassa vaiheessa. Suolakavernien puuttuessa Suomessa kehitetään omiin geologisiin olosuhteisiin soveltuvia ratkaisuja, jotka ovat vielä pääosin tutkimusvaiheessa.
- Suomen kansainvälinen asema näyttäytyy vertailustrategioissa erityisesti tuotannon, johdannaisten, vedyn ja sen johdannaisten viennin ja infrastruktuurin kautta. Suomen vahva teknologia- ja TKI-profiili ei sen sijaan juuri näy tarkasteltujen maiden strategioissa Suomeen kohdistuvina teknologia- ja innovaatiokumppanuuksina.

2.3 Vihreän sähköistämisen arvoketju

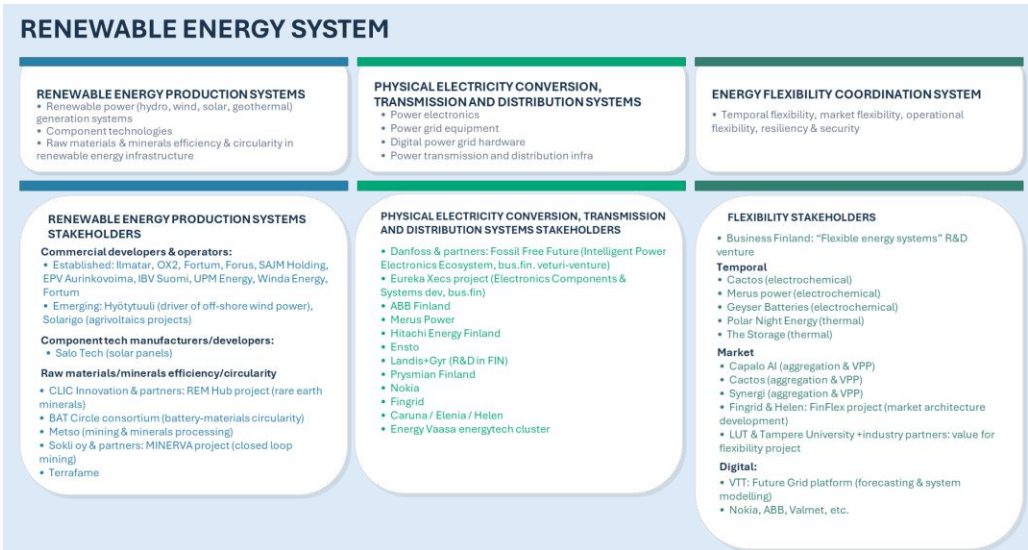
2.3.1 Systemaattinen esiselvitys

Työpaketissa kartoitettiin PtX-arvoketjun toimijoita Suomessa. Aineistossa hyödynnettiin eri ekosysteemien aineistoa sekä julkisesti saatavilla olevaa tietoa PtX-hankkeista ja hankevalmisteluista. Työpaketissa hyödynnettiin myös olemassa olevia verkostoja, kuten vetytutkimusfoorumia, vetyklusteria sekä Green Electrification -projektin verkostoja tutkimuksen, teollisuuden, hallinnon ja alueiden sekä sijoittajien keskuudessa.

Kartoituksessa toimijat jaoteltiin arvoketjun neljään pääprosessiin: uusiutuvan energian tuotantoon, uusiutuvan vedyn tuotantoon, varastointiin ja hyödyntämiseen, hiilidioksidin talteenottoon ja hiilidioksidijärjestelmän ja e-ammoniakin, e-metanolin, e-metaanin sekä synteettisten polttoaineiden tuotantoon. Analyysissa käytiin syventävästi läpi mihin eri toimintoihin arvoketjutoimijat kuuluivat näissä prosesseissa.

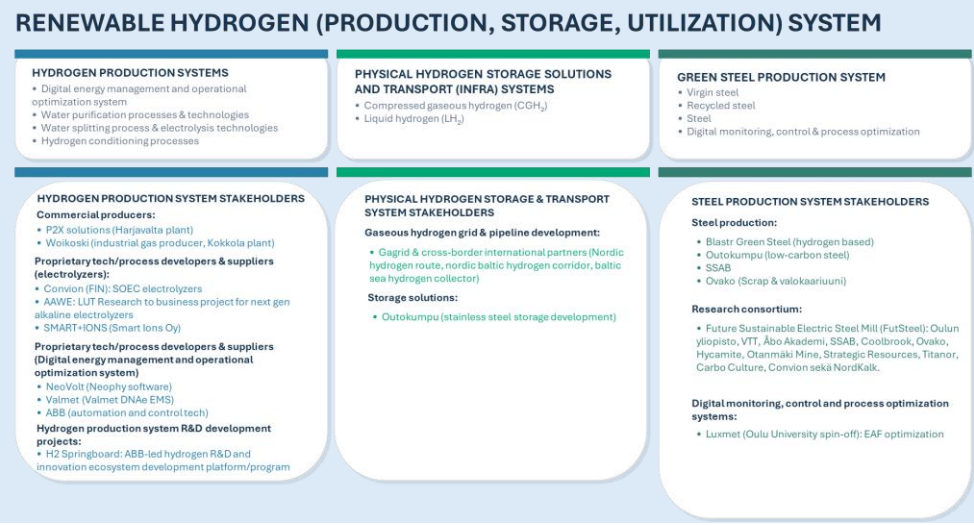
2.3.2 Systemaattinen esiselvitys: tuloksia

Arvoketjuanalyysi aloitettiin uusiutuvasta energiajärjestelmästä, jossa havaittiin kolme päätoimintoa: uusiutuvan energian tuotanto, sähkön muuntaminen, siirto ja jakelu ja energian joustoon liittyvät toiminnot. Uusiutuvan energian järjestelmästä havaittiin lukuisia eri toimijoita, lähes kaikille eri osa-alueilla. Resilienssi ja turvallisuus oli analyysin perusteella toiminto, jossa ei ole yhtään yksityistä toimijaa.



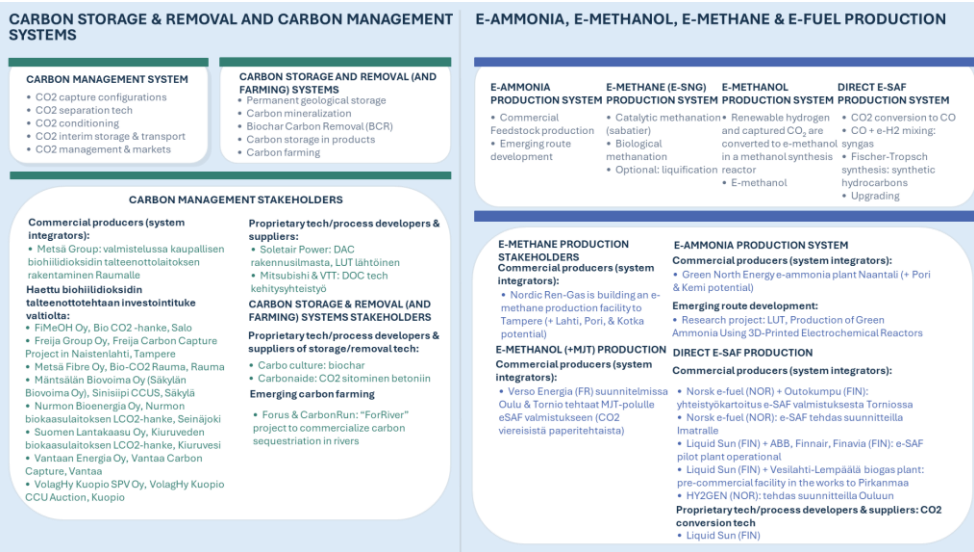
Kuva 20: Uusiutuvan energiajärjestelmän toimijat.

Uusiutuvan vedyn tuotannon arvoketju painottuu eri tuotantomenetelmiin ja vedyn hyödyntämiseen, etenkin teräksen tuotannossa. Teknologiatoimijoita on kuitenkin rajallisesti, etenkin jos katsotaan pk- ja startup-yritysten määrää. Suurin kehitysalue on vedyn logistiikassa, jossa ei havaittu analyysissa yhtään toimijaa yksityiseltä sektorilta.



Kuva 21: Uusiutuvan vedyn toimijat.

Arvoketjuanalyysissa havaittiin, että mitä pidemmälle arvoketjussa siirryttiin, sitä vähemmän teknologiatoimittajia oli. Esimerkiksi hiilidioksidin talteenotossa pistelähdöistä ei analyysissa havaittu yhtään teknologiatoimittajaa. Sama päti myös synteettisen ammoniakin, metanolin ja metaanin tuotantoon, jossa ei havaittu yhtään suomalaista teknologiatoimittajaa.



Kuva 22: Hiilidioksidin talteenotto ja hiilidioksidin hallintajärjestelmän sekä e-ammoniakin, e-metanolin, e-metaanin sekä synteettisten polttoaineiden tuotannon toimijat



2.3.3 Systemaattinen esiselvitys: tiivistelmä ja jatkotutkimus

Arvoketjuanalyysin perusteella voidaan todeta:

- Mitä pidemmälle PtX-arvoketjussa mennään, sitä vähemmän toimijoita on. Tästä hyvänä esimerkkinä synteettisen ammoniakin, metanolin ja metaanin tuotantoprosessit, joissa ei havaittu yhtään suomalaista teknologiatoimittajaa.
- Vihreän sähköistämisen raaka-aineista etenkin hiilidioksidin ja tämän talteenottoteknologioiden teknologiatoimittajat puuttuvat arvoketjusta.
- Arvoketjun eri toimintojen välinen synergia puuttuu. Esimerkiksi vedyntuotannon sivuvirtojen hyödyntämisen parissa on hyvin rajallinen määrä toimijoita.
- Pienemmät yritykset (pk- ja startup-yritykset) puuttuvat arvoketjusta lähes kokonaan.
- Teknologiatoimittajia on hyvin rajallinen määrä, suurin osa havaituista toimijoista oli hankekehittäjiä.

Jatkotutkimuksen tarpeet:

- Tarvitaan kokonaisvaltainen malli vihreän sähköistämisen innovaatioekosysteemistä, jossa on mukana kaikki näkökulmat alkaen teknologiatoimittajista aina kansalliseen ja EU-tason sääntelyyn saakka.
- Analyysissa tulee kiinnittää erityistä huomioita pk- ja startup-yrityksiin. Tämä tarkoittaa julkisten hankkeiden syventävää analyysia, jossa kartoitetaan kaikki PtX kehittämisessä mukana olevat verkostot ja ekosysteemit sekä niihin kuuluvat toimijat.
- Innovaatioekosysteemin selvittämiseksi tarvitaan myös laadullista aineistoa, esimerkiksi haastattelemalla alan toimijoita, ml. rahoittajia ja yrittäjiä.



3. Suomen vihreän sähköistämisen ekosysteemi Euroopassa

Vihreän sähköistämisen ekosysteemit ovat keskeinen mahdollistaja Power-to-X-talouden kehittämisessä. Nämä yhdistävät eri toimijoiden ja toimintojen synergian ja tukevat sitä kautta merkittävästi vihreää siirtymää. Tässä hankkeessa luotiin kattava tilannekuva Suomen PtX-ekosysteemeistä, jossa oli mukana tutkimuksen, vetystrategioiden ja arvoketjujen näkökulmat. Tilannekuvan pohjalta havaittiin lukuisia vahvuuksia ja kehitysalueita näihin eri näkökulmiin liittyen.

Kansainvälinen tutkimuskartoitus: Suomen asema globaalissa PtX-tutkimuksessa

Tilannekuva osoitti, että globaalilla tasolla PtX-tutkimusta on tehty paljon ja tutkimuksen sekä tutkijoiden määrä on kasvanut merkittävästi vuodesta 2021 lähtien. Pitkällä aikavälillä PtX-tutkimuksen painopiste on siirtynyt hiilidioksidin talteenottoteknologioiden- ja PtX-teknologioiden tutkimuksesta kohti uusiutuvan vedyn tuotannon ja PtX-talouden tutkimusta.

Kansainvälisessä vertailussa Suomi sijoittuu 20 määrällisesti eniten PtX-tutkimusta tekevien maiden joukkoon, jossa vahvuus on etenkin PtX-talouden tutkimuksessa. Verrokkimaiden tapauksessa kaikki maat paitsi Portugali sijoittui 20 eniten tutkimusta tekevien maiden joukkoon. Tutkimuksen määrän perusteella Suomen edelle sijoittui Saksa ja Espanja. Etenkin Saksa sijoittui korkealle kansainvälisessä vertailussa, jossa tehdään eniten PtX-teknologioihin liittyvää tutkimusta.

Tilannekuvan analyysissä tarkasteltiin tutkimuksen määrää suhteutettuna BKT:hen, joka muutti hieman PtX-tutkimuksen asemaa verrokkimaiden välillä. Tässä korostui Suomen ja Tanskan asema tutkimusaktiivisuudellaan ja Suomi erottautui edukseen etenkin PtX-teknologioiden tutkimuksessa.

Kokonaisuudessaan tulokset osoittavat, että Suomen tutkimukselliset vahvuudet ovat etenkin PtX-teknologioiden sekä niiden laajemmassa taloudellisessa ja systeemissä integraatiossa.

Eurooppalaisten vetystrategioiden vertailu

Strategiavertailun perusteella Suomella on vahvat lähtökohdat merkittävään asemaan Euroopan vetytaloudessa. Suomen strategiset vahvuudet perustuvat erityisesti puhtaan sähkön potentiaaliin, biogeenisen hiilidioksidin saatavuuteen, teolliseen perustaan sekä vahvaan tutkimus- ja teknologiaosaamiseen. Tavoitteena on vedyn tuotannon lisäksi rakentaa uutta PtX-pohjaista teollisuutta, johdannaisten tuotantoa ja vientiä sekä kasvattaa Suomessa syntyvää arvonlisää.



Tämä kehityssuunta on jo osin konkretisoitumassa: suomalaisissa e-metaanihakkeissa on solmittu pitkäaikaisia ostosopimuksia Keski-Euroopan ja erityisesti Saksan markkinoille. Tämä tukee Suomen mahdollisuutta asemoitua vedyn raaka-aineviennin sijaan korkeamman jalostusarvon PtX-tuotteiden tuottajaksi ja viejäksi.

Vertailu osoittaa kuitenkin eroja Suomen ja muiden maiden välillä tavoitteiden toimeenpanossa. Suomen TKI-asema on vahva, mutta erityisesti Saksa, Ranska, Tanska ja Alankomaat korostuvat teknologioiden demonstraatioissa, skaalauksessa, teollistamisessa ja kaupallistamisessa. Myös vetyvarastoinnissa Suomi on vertailumaita varhaisemmassa vaiheessa, joskin Suomen geologiset lähtökohdat poikkeavat suolakaverneja hyödyntävistä maista.

Kansainvälisessä vertailussa Suomi näyttäytyy erityisesti potentiaalisena vedyn ja johdannaisten tuotanto-, vienti- ja infrastruktuurikumppanina. Suomen vahva TKI- ja teknologiaosaaminen ei sen sijaan juuri näy tarkasteltujen maiden strategioissa Suomeen kohdistuvina teknologia- ja innovaatiokumppanuuksina.

Vihreän sähköistämisen arvoketju

Arvoketjuanalyysissa havaittiin, että mitä pidemmälle arvoketjussa mennään kohti loppuasiakasta, sitä vähemmän toimijoita oli. Esimerkiksi hiilidioksidin talteenotossa ja synteettisten raaka-aineiden sekä polttoaineiden tuotannossa oli rajallisesti toimijoita. Myös arvoketjun alkupäässä oli kehitysalueita, niin uusiutuvan energiajärjestelmän kuin vedyn tuotannon järjestelmissä. Tulokset osoittavat, että etenkin suomalaiset teknologiatoimittajat puuttuvat arvoketjusta. Lisäksi havaittiin, että pk- ja startup yrityksiä ei noussut esille analyysissa.



Yhteenveto ja suositukset

- **Suomella on vahva PtX-tutkimuspohja, korkea strateginen tavoitetaso ja kehittyvä PtX-arvoketju.** Tavoitteena on merkittävä asema Euroopan puhtaan vedyn tuotannossa sekä uuden vety- ja PtX-pohjaisen teollisuuden ja viennin rakentaminen, mutta toimijakentässä on puutteita ja tämä supistuu arvoketjun loppupäätä kohti.
- **CO₂:n talteenotto muodostaa tutkimusaukon ja mahdollisuuden Suomelle.** Biogeenisen CO₂:n saatavuus tarjoaa perustan talteenottoteknologioiden tutkimukselle ja hyödyntämiselle PtX-tuotannossa.
- **Korkeamman jalostusarvon tuotantoa Suomeen.** Puhdasta sähköä, vetyä ja biogeenistä CO₂:ta voidaan hyödyntää kotimaisissa PtX-arvoketjuissa ja vähähiilisten tuotteiden tuotannossa.
- **Tutkimuksesta vahvemmin teknologiaksi ja liiketoiminnaksi.** Vahva PtX-tutkimus ei näy vastaavalla vahvuudella teknologiakehityksessä ja kaupallistamisessa. Tutkimustulosten hyödyntämistä teknologiakehityksessä, demonstraatioissa ja kaupallistamisessa tulisi edistää, jotta Suomi voisi olla varteenotettava teknologiatoimittaja PtX-taloudessa.
- **PtX-arvoketjun toimijapohjaa on vahvistettava.** Erityisesti kotimaisia teknologiatoimittajia sekä innovatiivisia pk- ja startup-yrityksiä tarvitaan lisää.
- **Vetyvarastoinnissa Suomi on verrokkimaita varhaisemmassa vaiheessa.** Suolakavernien puuttuessa olisi tärkeää selvittää ja kehittää Suomen geologisiin olosuhteisiin soveltuvia ratkaisuja.
- **Kytetään suomalainen tuotanto Euroopan markkinoihin.** Vienti-, satama- ja infrastruktuuriyhteydet sekä pitkäaikaiset markkinakumppanuudet tukevat Suomessa tuotettujen PtX- ja muiden vähähiilisten tuotteiden vientiä.
- **Isossa kuvassa tutkimus, strategiat ja arvoketjuanalyysi tukevat samaa johtopäätöstä:** Suomen vahva PtX-tutkimus ja korkea strateginen tavoitetaso eivät vielä näy vastaavalla vahvuudella teknologiakehityksessä, kaupallistamisessa ja kotimaisen PtX-arvoketjun toimijakentässä.

Yhteistyösuositukset / partnerit

- **Tutkimus – Tanska ja Saksa:** vahva ja laaja PtX-tutkimus.
- **Teknologiakehitys ja skaalaus – Tanska, Saksa ja Alankomaat:** vahvuuksia demonstraatioissa, kaupallistamisessa ja teollisessa skaalauksessa.
- **PtX-tuotteet ja markkinat – Saksa:** keskeinen kysyntämarkkina Suomessa tuotetuille korkeamman jalostusarvon PtX-tuotteille.
- **Teolliset arvoketjut ja vetyvarastointi – Ruotsi:** Perämeren teollinen yhteistyö ja kokemukset kallioluolavarastoinnista.



Analysoidut kansalliset strategiadokumentit

Alankomaat

Government of the Netherlands (2020). *Government Strategy on Hydrogen*.
Nationaal Waterstof Programma (NWP), 2022. *Hydrogen Roadmap for the Netherlands*.

Espanja

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020). *Hydrogen Roadmap: A Commitment to Renewable Hydrogen. Executive Summary*. Government of Spain.
Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020). *Hoja de Ruta del Hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno renovable*. Gobierno de España.

Portugali

Presidência do Conselho de Ministros (2020). *Estratégia Nacional para o Hidrogénio (EN-H2)*. Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2020, de 14 de agosto. Diário da República, 1.ª série, n.º 158.
Government of Portugal (2020). *Portugal National Hydrogen Strategy (EN-H2): A New Ally for the Energy Transition in Portugal*.

Ranska

French Government (2025). *French Decarbonised Hydrogen Strategy 2025*. April 2025.
France Hydrogène (2023). *National Hydrogen Strategy: Harnessing the hydrogen sector's full potential in pursuit of France's decarbonization and reindustrialization*. The Hydrogen Sector's Contribution, June 2023.

Saksa

Federal Government of Germany (2020). *The National Hydrogen Strategy*.
Federal Government of Germany (2023). *The National Hydrogen Strategy Update – NHS 2023*.
Federal Government of Germany (2024). *Import Strategy for Hydrogen and Hydrogen Derivatives*.

Suomi

Valtioneuvosto (2023). Valtioneuvoston periaatepäätös vedystä. 9.2.2023.
Hydrogen Cluster Finland (2023). *A Hydrogen Economy – A Vision and a Roadmap for Finland*.
Suomen vetyklusteri (2026). *Vetytalouden tiekartta Suomelle: Euroopan kilpailukykyisin vetytalous*.

Tanska

The Danish Government (2021). *The Government's Strategy for Power-to-X*.



Lähteet

- [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] Eurostat (2026). GDP and main components (output, expenditure and income) [nama_10_gdp]. Eurostat Data Browser. Viitattu 27.8.2026. [Eurostat: nama 10 gdp](#)
- [6] Kneebone, J., McWilliams, B., Moor, O., & Nuñez-Jimenez, A. (2026). A new European energy policy paradigm revealed by changes in Hydrogen Strategies. *Energy Policy*, 212, 115159. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2026.115159>
- [7] [European Commission. *National energy and climate plans*.](#)
- [8] [European Commission \(2023\). *Assessment of the draft updated National Energy and Climate Plan of Portugal*. Commission Staff Working Document, SWD\(2023\) 646 final. Brussels: European Commission.](#)
- [9] [Government of Portugal \(2025\). *Portugal underpins national climate ambition and commitment to global action*. Portuguese Republic.](#)
- [10] [Fraunhofer ISE \(2025\). *Energy-Charts: Average day-ahead electricity prices in Europe, 2025*.](#)
- [11] [Endrava. CaptureMap – Carbon Capture and Storage Infrastructure.](#)
- [12] [European Hydrogen Observatory. National Strategies. Clean Hydrogen Partnership.](#)
- [13] [Valtioneuvosto \(2023\). Valtioneuvoston periaatepätös vedystä. 9.2.2023.](#)
- [14] [Hydrogen Valleys. \(2026\). *Hydrogen Valleys at a Glance*. Hydrogen Valley Platform. Viitattu 27.8.2026.](#)



Vertailumaiden keskeiset vetyputki- ja runkoverkkohankkeet sekä kansainväliset yhteydet

- [1] [FNB Gas. *Hydrogen Core Network*. Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e.V.](#)
- [2] [Energinet & Gasunie. *Danish-German hydrogen infrastructure / market dialogue report*.](#)
- [3] [NaTran. *H2med – BarMar and HY-FEN*, February 2026.](#)
- [4] [Enagás. *H2med – Green Hydrogen Corridor*.](#)
- [5] [Gasgrid Finland. *H2 Information Package for Market Participants*, September 2025.](#)
- [6] [Hynetwork Services. *Concept proposal for the hydrogen transport network*.](#)
- [7] [REN. *CelZa and the National Hydrogen Transport Backbone*.](#)



Vertailumaiden keskeiset satamahankkeet

- [1] [Free and Hanseatic City of Hamburg \(2026\). *Genehmigung für Ammoniak-Importterminal in Hamburg erteilt.*](#)
- [2] [Uniper \(2026\). *Open Season for the Hydrogen Import Terminal Wilhelmshaven.*](#)
- [3] [Rostock Port. *Hydrogen and green ammonia development at Rostock Port.*](#)
- [4] [Port Esbjerg. *NS H2V Ports.*](#)
- [5] [Elengy \(2024\). *Launch of the Medhyterra project, a low-carbon ammonia import terminal on the Fos Tonkin site.*](#)
- [6] [H4 Marseille Fos. *Projet H4 Marseille Fos.*](#)
- [7] [NS H2V Ports](#)
- [8] [Port of Rotterdam & Cepsa \(2022\). *Cepsa and the Port of Rotterdam join up to create the first green hydrogen corridor between the north and south of Europe.*](#)
- [9] [Kokkolan kaupunki \(2023\). *Plug Power suunnittelee kumppaneidensa kanssa kolmea vihreän vedyn tuotantolaitosta Kokkolaan, Porvooseen ja Kristiinankaupunkiin.*](#)
- [10] [HaminaKotka Satama \(2024\). *X-Press Feeders ja kuusi eurooppalaista satamaa allekirjoittaneet yhteisymmärryspöytäkirjan vihreistä meriväylistä.*](#)
- [11] [Port of Rotterdam. *Import of hydrogen / Hydrogen in Rotterdam.*](#)
- [12] [Port of Rotterdam. *Sines and Rotterdam together in the H2Sines.Rdam project.*](#)
- [13] [pv magazine \(2024\). *Engie confirms termination of H2Sines.Rdam project.*](#) Engie



Vertailumaiden keskeiset varastohankkeet

- [1] [H2CAST Etzel / STORAG ETZEL \(2026\). *H2CAST Etzel – Making energy transition work.*](#)
- [2] [Storengy Deutschland. *SaltHy – Hydrogen storage in salt caverns.*](#)
[Storengy – SaltHy](#)
- [2] [Energinet \(2023\). *Results of the Feasibility Study – Hydrogen Infrastructure in Jutland.*](#)
- [3] [HyPSTER / Storengy. *Hydrogen Pilot Storage for large Ecosystem Replication.*](#)
- [4] [Enagás. *Hydrogen infrastructures in Spain.*](#)
- [5] [HUG Hydrogen UnderGround](#)
- [7] [HyStock / Gasunie. *The HyStock Project.*](#)
- [8] [REN. *Renewable Gases – Hydrogen Storage.*](#)

