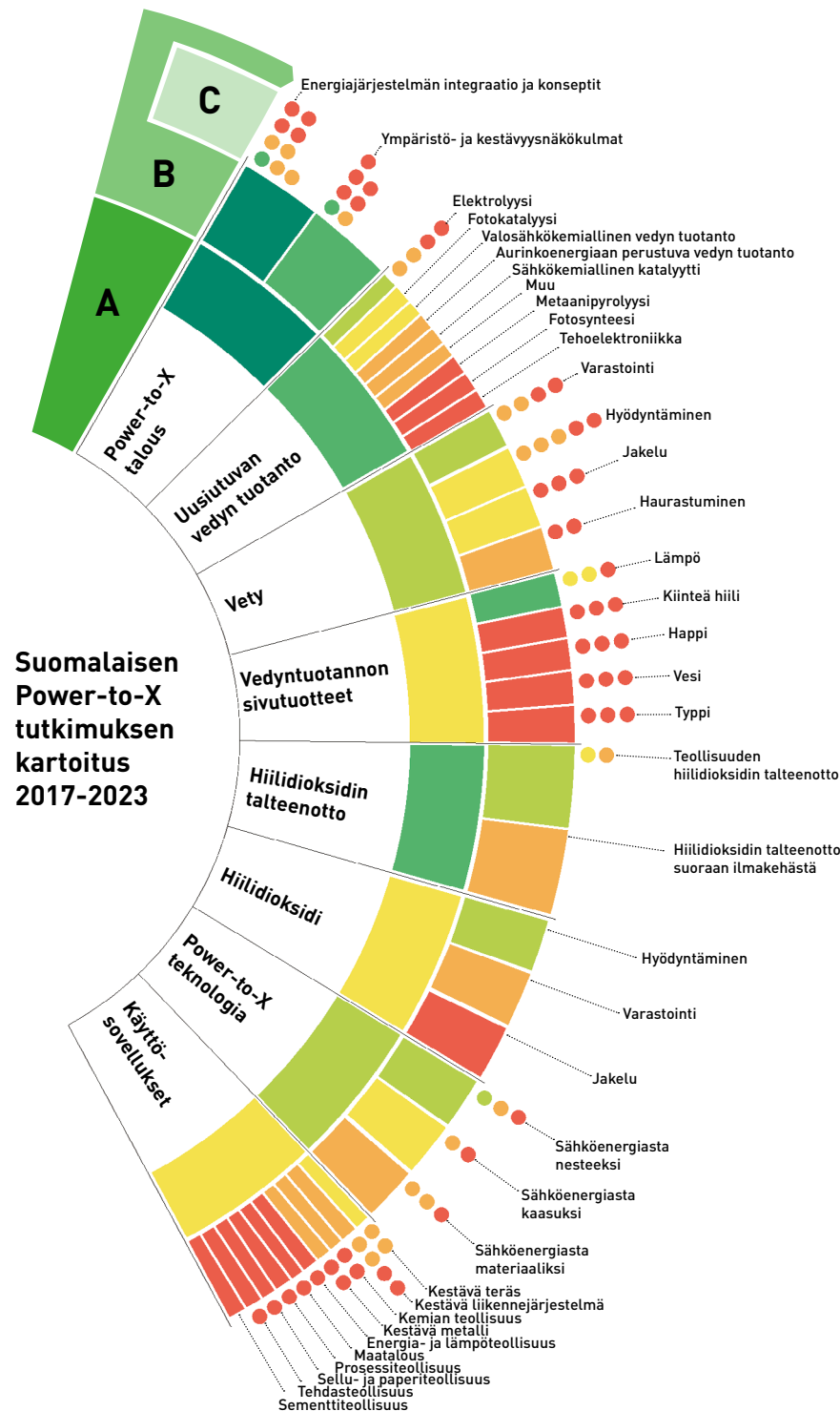


SUOMEN VETYTALOUDEN TUTKIMUKSEN KARTOITUS

Power-to-X (PtX) -teknologiat ovat keskeisiä ilmastomuutoksen torjunnassa ja energian omavaraisuuden lisäämisessä. Tämä yhteenveto tarjoaa katsauksen Suomen PtX-tutkimukseen viime vuosina. Tutkimus perustui bibliometrisen analyysiin ja kyselyyn suomalaisille tutkimuslaitoksille.



Kategoria A
Tutkimusalueet ja prosessit vetyarvoketjussa

Kategoria B
Vetyarvoketjun tutkimusalueiden tuotteet, teknologiat ja menetelmät

Kategoria C
Vetyarvoketjun teknologioiden ja menetelmien alaluokat ja komponentit

Tutkimuksen tila

- Erittäin vahva**
- Vahva**
- Vakiintunut**
- Jonkin verran**
- Rajallista**
- Ei ollenkaan**

Lainsäädännölliset-, materiaali- ja turvallisuusnäkökulmat

Lainsäädäntö ja politiikka

- Lainsäädäntö ja EU-sääntely
- Politiikan toimenpiteet ja tuet
- Luvitus
- Pitkäaikaisten sopimusten lukitusvaikutukset
- Soft law mekanismit

Raaka-aineet ja materiaalit

- Kriittiset raaka-aineet
- Raaka-aine riippumattomuus
- 3D tulostus
- Materiaalien karakterisointi

Laatu ja turvallisuus

- Turvallisuus
- Laatu

Suomen vetytalouden tutkimuksen kartoitus

Power-to-X (PtX) -teknologiat ovat keskeisiä ilmastomuutoksen torjunnassa ja energian omavaraisuuden lisäämisessä. Tämä yhteenveto tarjoaa katsuksen Suomen PtX-tutkimukseen viime vuosina. Tutkimus perustui bibliometriseen analyysiin ja kyselyyn suomalaisille tutkimuslaitoksille. Bibliometrinen analyysi kattoi kaikki Scopus-tietokannan avulla tunnistetut suomalaiset PtX-artikkelit vuosilta 2017-2023. Kyselyyn ja haastatteluihin osallistui 12 suomalaista yliopistoa ja tutkimuslaitosta, mukaan lukien Aalto-yliopisto, Helsingin yliopisto, Jyväskylän yliopisto, Luonnonvarakeskus, LUT-yliopisto, Oulun yliopisto, Tampereen yliopisto, Turun yliopisto, Itä-Suomen yliopisto, Vaasan yliopisto, Teknologian tutkimuskeskus VTT ja Åbo Akademi.

Tutkimuksessa luotiin viitekehys, jonka avulla rajattiin PtX-talouteen liittyvä tutkimus ja luotiin rakenne tulevien tutkimusten tutkimustoiminnalle. Viitekehys koostui kolmesta kategoriasta: pääkategoria A kuvasi tutkimusaiheita ja prosesseja vetyarvoketjussa, kategoria B sisälsi vetyarvoketjun tutkimusaiheiden tuotteet, teknologiat ja menetelmät, ja yksityiskohdaisempi kategoria C sisälsi vetyarvoketjun teknologioiden ja menetelmien alaluokat ja komponentit.

Keskeiset löydökset

Suomen PtX-tutkimuksen painopiste on PtX-taloudessa, erityisesti energiajärjestelmien tutkimuksessa. Ympäristö- ja kestävyysnäkökohdat, erityisesti ilmastomuutos, ovat keskeisiä tutkimusaiheita, ja niitä tutkitaan usein yhdessä energiajärjestelmäintegraation ja -konseptien kanssa. Suosituttuja aiheita ovat myös uusiutuvan vedyn tuotanto elektrolyysin avulla sekä hiilidioksidin talteenotto teollisuuslähteistä. Lisäksi PtX-teknologioiden osalta

e-metanoliin liittyvä tutkimus PtL-teknologioissa on vakiintunutta. Myös vedyn varastointi, hiilidioksidin hyödyntäminen ja vedyntuotannon sivuvirtojen tuottama lämpö ovat vakiintuneita tutkimusaiheita. Tulokset osoittavat, että myös lainsäädäntö- ja materiaalitutkimus ovat merkittäviä osa-alueita Suomen PtX-tutkimuksessa. Lainsäädäntötutkimus on keskittynyt PtX-talouteen yleisellä tasolla, ja materiaalitutkimus painottuu erityisesti uusiutuvan vedyn tuotantoon ja elektrolyysiteknologiaan.

Tulevaisuuden suuntaukset ja tutkimusaukot

Suomen PtX-tutkimuksessa on lukuisia tutkimusaukkoja. PtX-talouden energiajärjestelmäintegraation ja -konseptien osalta on puutteita energiamuutoksen, arvoketjujen ja liiketoimintamallien, elinkaariarvioinnin, huoltovarmuuden, infrastruktuurin, vetylaaksojen, koneoppimisen ja tekoälyn sekä tietotekniikan tutkimuksessa. Ympäristö- ja kestävyysnäkökohdissa on aukkoja vaurauden luomisessa, kiertotaloudessa, biodiversiteetissä, maankäytössä, kestävyudessa ja yleisessä hyväksyttävyydessä.

Uusiutuvan vedyn tuotannossa on puutteita fotosynteesin, aurinkovedyn, PEM-, AEM- ja SOEC-teknologioiden, tehoelektroniikan ja metaanipyrolyysin tutkimuksessa. Hiilidioksidin talteenotosta sekä suoraan ilmakehästä että teollisista, erityisesti bio-geenisistä, pistelähteistä, on vain vähän tutkimusta. Hiilidioksidin osalta vähemmän tutkittuja aiheita ovat hiilidioksidin varastointi ja siirto.

Vedyn osalta on lukuisia tutkimusaukkoja. Vedyn hyödyntämistä on tutkittu lähinnä lämmöntuotannon osalta, missä vedyn tuotannosta syntyvää lämpöä talteen otetaan ja hyödynnetään. Sen sijaan tutkimusaukkoja on vielä sähkön, polttokennojen, kaasuturbiinien ja polttomootoreiden osalta. Vedyn siirrossa

ei ole lainkaan tutkimusta kompressiosta, putkistoista tai merikuljetuksista. Vedyn varastoinnissa ei ole tutkimusta kaasun, nesteen ja metallin varastoinnista eikä kompressiosta. Vetyhaurastumisen osalta on vain vähän tutkimusta. Vedyntuotannon sivutuotteiden osalta puuttuu tutkimusta kiinteän hiilen, hapen ja typen osalta.

PtX-teknologioiden osalta tutkimus on rajallista. PtL-teknologiassa e-polttoaineiden, PtG-teknologiassa e-ammoniakin ja e-metaanin sekä PtM-teknologiassa e-ruoan ja e-sementin osalta. Käyttösovelluksissa on puutteita kestävässä liikennejärjestelmässä, kestävässä metalleissa, kemianteollisuudessa, maataloudessa, sementtiteollisuudessa, valmistavassa teollisuudessa, prosessiteollisuudessa, paperi- ja selluteollisuudessa sekä sähkö- ja lämpöteollisuudessa.

Lainsäädäntö-, materiaali- ja laatuasioissa on myös merkittäviä tutkimusaukkoja. Lainsäädäntö- ja politiikkatutkimus ei ole käsitellyt PtX-talouden ulkopuolisia aiheita, mikä on merkittävä tutkimusaukko. Lisäksi laatu- ja turvallisuusnäkökohdat puuttuvat Suomen PtX-tutkimuksesta. Materiaali- ja raaka-ainetutkimusta voisi laajentaa uusiutuvan vedyn tuotannosta hiilidioksidin talteenottoon ja vetyyn, kuten haurauteen, siirtoon ja varastointiin.

Yhteenveto

Suomen PtX-tutkimus on kehittynyt vahvasti viime vuosina, vaikkakin haasteita on vielä ratkaistavana. Kansainvälinen yhteistyö on merkittävässä roolissa tutkimuksen vaikuttavuuden lisäämisessä. Lisäksi kotimaisten tutkimusorganisaatioiden yhteistyötä ja eri tiedekuntien välistä yhteistyötä tulisi edistää. Tutkimuksen tulokset voivat toimia pohjana kansallisille ja kansainvälisille vertailuille sekä edistää PtX-teknologian kehitystä ja taloutta globaalisti.

Lisätietoja:

Eeva Lähdesmäki, KM, Projektipäällikkö, LUT Yliopisto, sähköposti: eeva.lahdesmaki@lut.fi
Teemu Tuomisaalo, KTT, Tutkija, LUT Yliopisto, sähköposti: teemu.tuomisaalo@lut.fi