

VIHREÄN SIIRTYMÄN TUOTEKEHITYS

- mitä on P2X?



P2X-teknologiat - perusteet

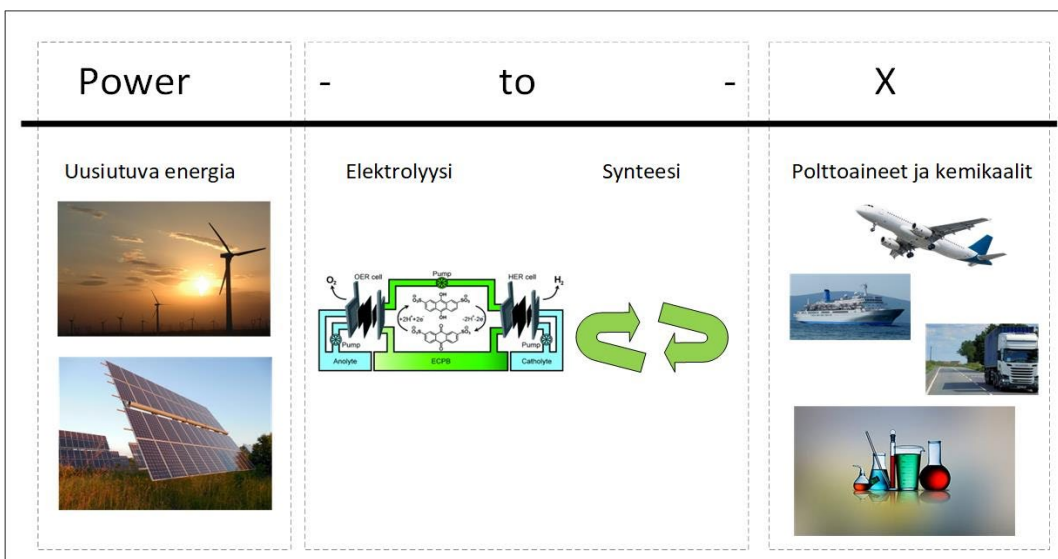
Uusiutuvaa energiaa tuottavilla järjestelmillä pyritään korvaamaan fossiilisiin energialähteisiin perustuvat järjestelmät ja ne tuovat mukanaan paljon uusia mahdollisuuksia mutta myös haasteita.

Esimerkiksi auringon ja tuulen energia on mahdollista valjastaa jopa primäärienergalähteiksi, mutta niiden vaihteleva sähköntuotanto edellyttää sekä säätövoimaratkaisuja että kysyntäjoustoratkaisuja sähköverkon stabiiliuden ylläpitämiseksi.

P2X-teknologiat lisäävät mahdollisuuksia vaihtelevan energiantuotannon hyödyntämiseksi. Esimerkiksi tilanteessa, jossa tuulivoima tuottaa enemmän sähköä mitä markkinat kuluttavat, voidaan ylijäämäenergiaa käyttää P2X-prosesseihin. Näissä prosesseissa yleisesti saatavilla olevia molekyylilyhdisteitä muutetaan kemiallisen energian kantajiksi, kuten esimerkiksi

- vettä vedyksi
- hiilidioksidia ja vettä metaaniksi ja synteetikaasuksi
- ilmaa ja vettä vetyperoksidiksi ja ammoniakiksi.

P2X on johdettu englanninkielisistä sanoista ”Power-to-X” (PtX), jossa ”X” edustaa erilaisia energiamuotoja ja -sovelluksia. P2X siis on *yleiskäsite* erilaisille teknologioille, joissa sähköenergiaa (Power) muutetaan muodosta toiseen. PtX-teknologiat koostuvat osaprosesseista, joiden määrä ja järjestys riippuvat halutusta loppuratkaisusta. Vihreän siirtymän kannalta on olennaista, että P2X-teknologiat saavat käyttöenergiansa nimenomaan uusiutuvista energialähteistä.



Kuva 2. P2X periaate




P2X-teknologioita voidaan nimetä laaja-alaisesti, esim.

- lopputuotteen olomuotona, mm.
 - Power-to-Gas - kaasu
 - Power-to-Liquid - neste
- lopputuotteen käyttötarkoituksen tai käyttöympäristön mukaan, mm.
 - Power-to-Fuel - polttoaineet
 - Power-to-Chemicals - kemianteollisuus

- Power-to-Heat - lämmitys
- yksittäisenä tuotteena, mm.
 - Power-to-Hydrogen - vety
 - Power-to-Methane - metaani

Vetyyn perustuvat P2X-teknologiat

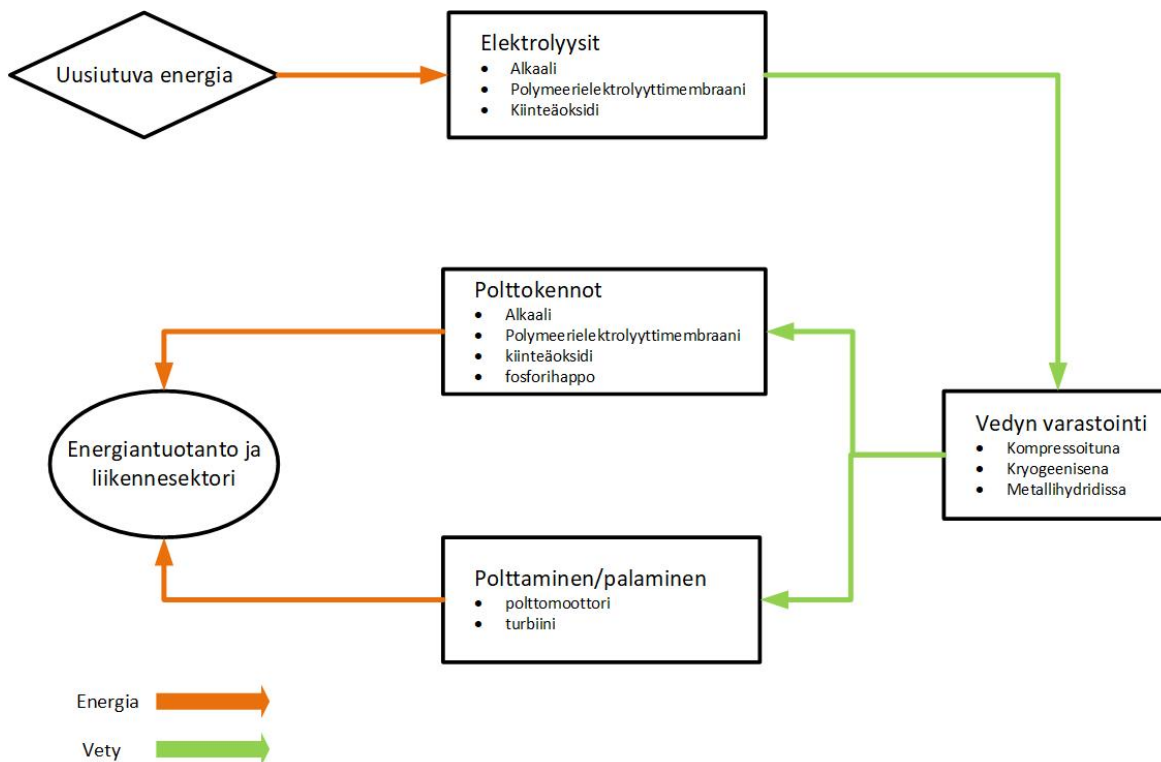
P2X-teknologiat, joissa sähköenergia muunnetaan kaasuksi tai nesteeksi, perustuvat pitkälti vetyyn. Vetyyn liittyvistä teknologioista kaikkia voidaan käyttää energian uudelleen konvertointiin eri muotoihin. Tästä syystä esimerkiksi Power-to-Heat sekä Power-to-Power-teknologiat voidaan nähdä joko osana vedyn teknologioita tai omina kokonaisuuksinaan.

Kategoria		Lyhenne	Määritelmä
Power-to-Hydrogen		PtH	Vedyn tuotanto (ja varastointi tarvittaessa) vähähiilisellä tai puhtaalla sähköllä sähköverkosta tai verkon ulkopuolelta.
Hydrogen-to-Power		HtP	Sähkön tuotanto verkkoon vetypolttokennoilla tai kaasuturbiinilla.
Hydrogen-to-Gas		HtG-H2	Vedyn injektointi maakaasuverkkoon.
		HtG-M	Synteettisen metaanin injektointi maakaasuverkkoon, synteettinen metaani tehdään vedyn avulla, joka on tehty PtH ja metanointiprosessilla.
Hydrogen-to-Fuel		HtF-H2	Vedyn käyttö polttokennoissa.
		HtF-S	Vedystä johdetut synteettiset polttoaineet (nesteet).
		HtF-G	Vedystä johdetut kaasumaiset polttoaineet.
Hydrogen-to-Industry		HtI	PtH prosessilla tuotettu vety teollisissa sovelluksissa (esim. jalostus)
Hydrogen-to-Heat		HtQ	Vety lämmöksi esim. vetyboilereilla.
Hydrogen-to-Chemicals		HtCh	Muita mainittavia vedystä johdettuja kemikaaleja: 1. Vety metanoliksi ja sitten olefiineiksi. 2. Vety synteetikaasuksi ja sitten olefiineiksi. 3. Metanoli/synteetikaasu hiilivedyiksi ja alkoholeiksi 4. Vety ammoniakiksi ja muurahaishapoksi

Kuva 3. Power-to-Hydrogen-to-Power, sähkön ja vedyn konversioita [<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.260>].

Power-to-Hydrogen

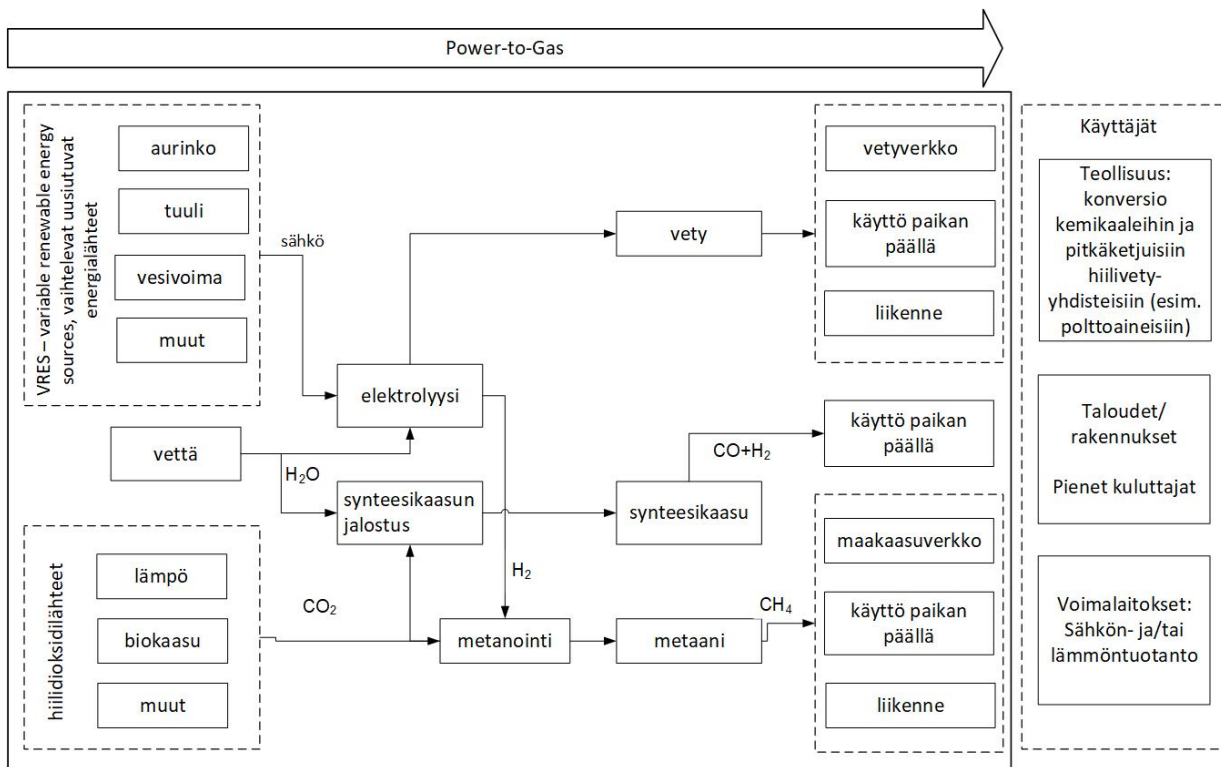
Vetykaasua tuotetaan elektrolyysiprosessissa, jossa vesi hajotetaan alkuaineisiinsa eli vedyksi ja hapeksi uusiutuvasti tuotetun sähköenergian avulla. Lopputuotteena syntyy vetyä, happea ja lämpöä. Tällaista vetyä kutsutaan uusiutuvaksi, vihreäksi ja puhtaaksi.



Kuva 4. Uusiutuvan vihreän vedyn tuotanto elektrolyysiprosesseissa ja vedyn käyttöä energiantuotannossa.

Power-to-Gas, Power-to-Liquid

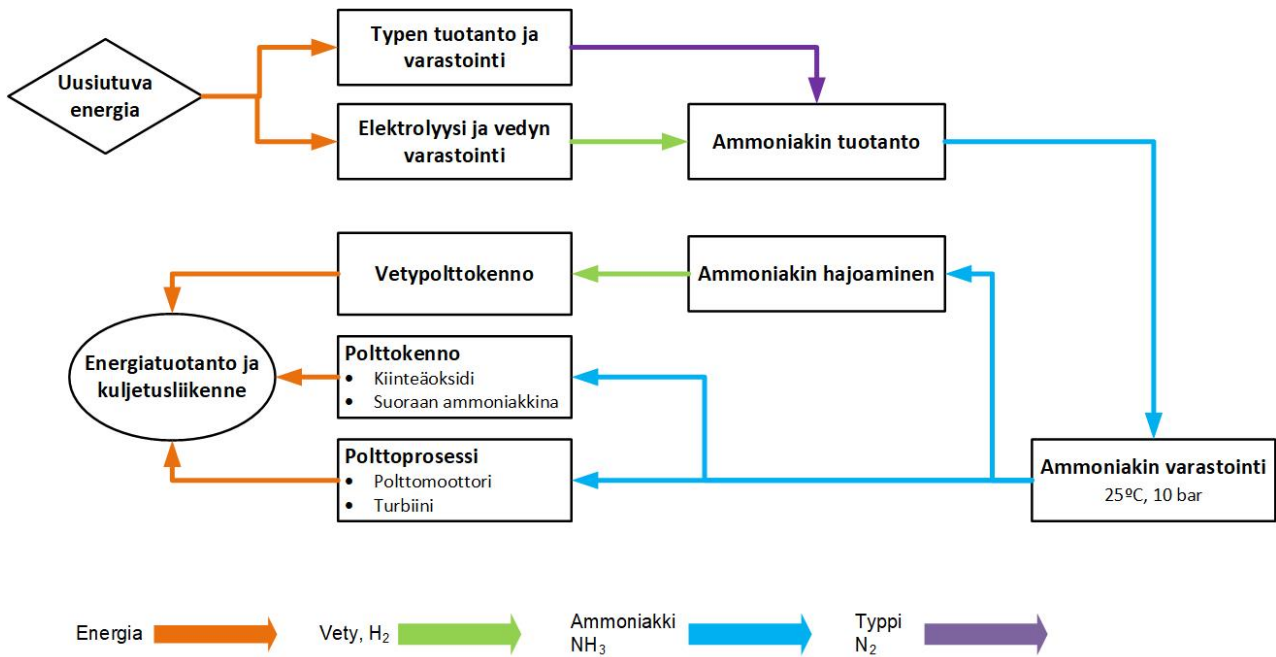
P2G ja PtL-teknologiat muodostuvat prosessiketjuista, joissa uusiutuvien energialähteiden tuottama sähköenergia muutetaan kaasuksi tai nesteeksi. Molemmat teknologiaosa-alueet ovat usein vedyntuotannosta johdettuja jatkoprosesseja. Hiilidioksidi ja sen hyödyntäminen on olennainen osa näitä teknologioita. Hiilidioksidia otetaan talteen erilaisilla prosesseilla ilmasta tai esimerkiksi hiilivetyjä polttavan voimalan savukaasuista.



Kuva 6. Power-to-Gas vaiheita

Esimerkiksi synteettistä metaania valmistetaan metanointiprosessissa, jossa vedystä ja talteen otetusta hiilidioksidista tehdään [Sabatier-reaktiolla](#) metaanikaasua. Vedystä ja hiilidioksidin hiilestä voidaan rakentaa erilaisten prosessiketjujen avulla lukuisia synteettisiä hiilivety-yhdisteitä korvaamaan fossiilisia yhdisteitä. Näitä ovat mm. erilaiset polttoaineet sekä polymeerit. Synteettinen hiilivety on määrätynlaisesti tuotettuna hiilineutraali ratkaisu, sillä siitä vapautuu hiiltä sama määrä, mitä sen valmistukseen on käytetty. Tästä syystä synteettisiä hiilivetyjä on esitetty siirtymäkauden vaihtoehtoisena polttoaineena kohti nollapäästöistä energiajärjestelmää.

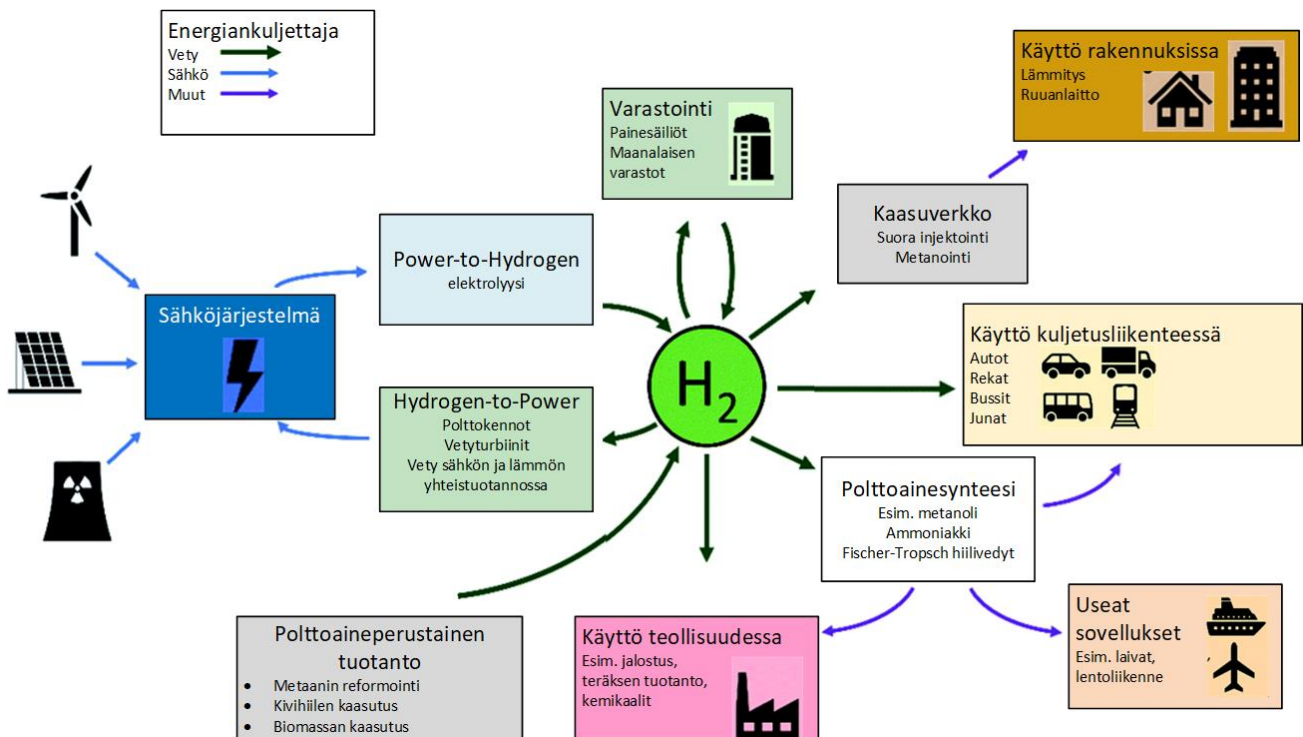
Vedystä ja ympäröivän ilman tyypestä voidaan valmistaa ammoniakkaa. Ammoniakista jatkojalostetaan esimerkiksi lannoitteita, mutta sitä pidetään myös vaihtoehtoisena polttoaineena esimerkiksi laivoihin -> ammoniakissa ei ole hiiltä, joten hiilipäästöjä ei synny.



Kuva 7. Uusiutuvan vihreän ammoniakin valmistus (Power-to-Ammonium) ja mahdolliset käyttökohteet energiana

Vetyä ja vedystä jalostettuja yhdisteitä on siis mahdollista käyttää laaja-alaisesti energiavarastona, energiantuotannossa, teollisuuden prosesseissa sekä raaka-aineina.

Eri asia onkin, ovatko edellä mainitut prosessit taloudellisesti kannattavia. Toistaiseksi suurin osa Power-to-X käsitteen yhteydessä esitetyistä mahdollisista sovelluksista ovat vielä kehitysvaiheessa ja niiden kaupallista kannattavuutta tutkitaan esim. erilaisissa pilotointiprojekteissa.

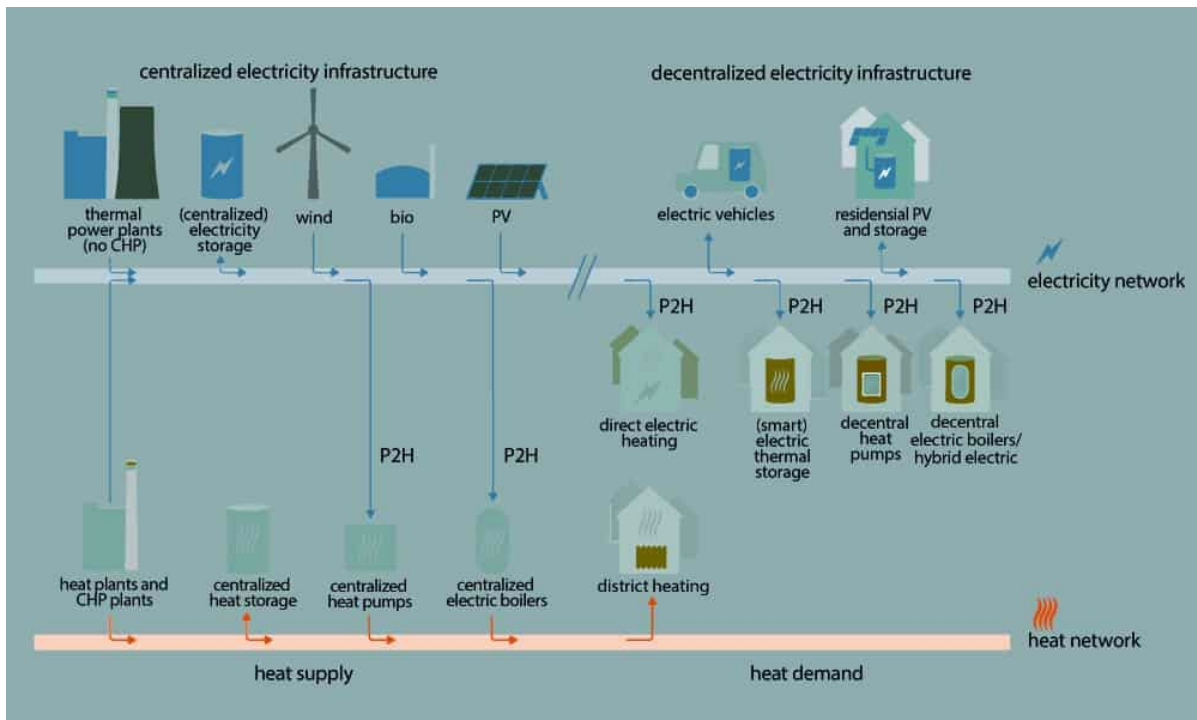


Kuva 5. Yleiskatsaus tärkeimpiin vedyn tuotanto- ja käyttötapoihin [The Royal Society of

Chemistry [The curious case of the conflicting roles of hydrogen in global energy scenarios](https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/se/c9se00833k) <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/se/c9se00833k>].

P2X lämpöenergia

Power-to-Heat-tekniologiassa sähköä käytetään lämmön tuottamiseen esimerkiksi sähkökattiloiden ja lämpöpumppujen avulla. Power-to-Heat-ratkaisut ovat hyödyllisiä kysyntäjoustosovelluksissa, kuten huippujen tasaamisessa ja kuormituksen siirtämisessä.



Kuva 8. Power-to-Heat ratkaisut [[Schneider Power to X solutions](#)].

Power-to Heat ratkaisut voivat olla keskitettyjä tai hajautettuja. Keskitetyissä eli kaukolämpöjärjestelmissä lämpöä siirretään putkiverkon kautta rakennuksiin. Hajautetut järjestelmät koostuvat yksittäisten rakennusten tai asuntojen lämmöntuottajista.

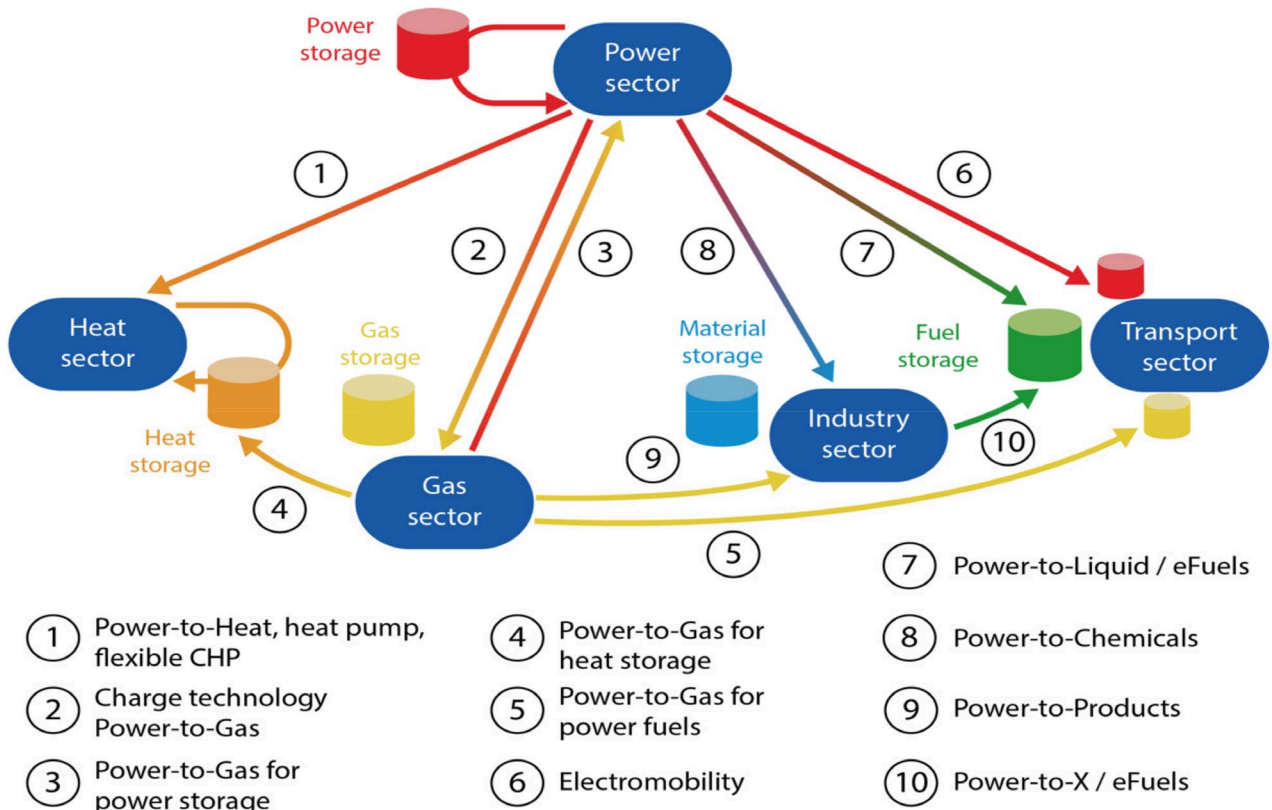
Power-to-Heat-ratkaisuilla on suuri potentiaali vaihtelevan uusiutuvan energiantuotannon kuten aurinko- ja tuulivoiman joustavuuden lisäämisessä. Lämpöä voidaan varastoida esimerkiksi suuriin nestevarastoihin tukemaan kausittaista kysyntää.

Yhteenveto

P2X-tekniologiat voivat mahdollistaa

- vaihtelevan uusiutuvan energian integroimisen perinteisiin sähköverkkoihin tasapainottamalla kysyntää ja tarjontaa
- uusiutuvaa energiaa polttoaineen muodossa sektoreille, jotka eivät ole suoraan yhteydessä sähköverkkoon
 - kuljetus ja liikenne

- lämmitys ja jäädytys
- energian siirron kemiallisessa muodossa tuotantopaikalta käyttöpaikalle
- kemiallisten yhdisteiden valmistuksen ilman fossiilista alkuperää sisältäviä energialähteitä.



Kuva 9. Power-to-X eri sektoreita yhdistävänä tekijänä [[Power-to-Gas and Power-to-X—The History and Results of Developing a New Storage Concept](#)]

Alla informatiivisia aihetta havainnollistavia videoita sekä liittyviä artikkeleita:

Danfossin esittely P2X

[Power-to-X esittely Danfoss \(Youtube\) https://www.youtube.com/watch?v=biwHNb0UQUY](https://www.youtube.com/watch?v=biwHNb0UQUY)

Wärtsilän esittely P2X

[Power-to-X esittely Wärtsilä \(Youtube\) https://www.youtube.com/watch?v=5oYAgZfAhSc](https://www.youtube.com/watch?v=5oYAgZfAhSc)

Kansainvälisen energiajärjestön IEA:n tielkartta nollapäästöihin [A Roadmap for the Global Energy Sector https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050](https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050)

Lähteitä

[Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector. IEA.](#)

[What are Power-to-X solutions? Schneider.](#)

[Matthew J. Palys, Prodromos Daoutidis, Power-to-X: A review and perspective, Computers & Chemical Engineering, Volume 165, 2022.](#)

Alper Can Ince, C. Ozgur Colpan, Anke Hagen, Mustafa Fazıl Serincan, **Modeling and simulation of Power-to-X systems: A review**, Fuel, Volume 304, 2021.

Francisco Vidal Vázquez, Joonas Koponen, Vesa Ruuskanen, Cyril Bajamundi, Antti Kosonen, Pekka Simell, Jero Ahola, Christian Frilund, Jere Elfving, Matti Reinikainen, Niko Heikkinen, Juho Kauppinen, Paolo Piermartini, **Power-to-X technology using renewable electricity and carbon dioxide from ambient air: SOLETAIR proof-of-concept and improved process concept**, Journal of CO2 Utilization, Volume 28, 2018.

Jan Christian Koj, Christina Wulf, Petra Zapp, **Environmental impacts of power-to-X systems - A review of technological and methodological choices in Life Cycle Assessments**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 112, 2019.

Rahman Daiyan, Iain MacGill, and Rose Amal, **Opportunities and Challenges for Renewable Power-to-X**, ACS Energy Letters 2020.

Sebastian Miebling, Sebastian Fendt, Hartmut Spliethoff, **Optimal integration of Power-to-X plants in a future European energy system and the resulting dynamic requirements**, Energy Conversion and Management, Volume 251, 2022.

Ville Uusitalo, Sanni Väisänen, Eero Inkeri, Risto Soukka, **Potential for greenhouse gas emission reductions using surplus electricity in hydrogen, methane and methanol production via electrolysis**, Energy Conversion and Management, Volume 134, 2017.

Wieland Hoppe, Stefan Bringezu, Nadine Wachter, **Economic assessment of CO2-based methane, methanol and polyoxymethylene production**, Journal of CO2 Utilization, Volume 27, 2018.

D. Hidalgo, J.M. Martín-Marroquín, **Power-to-methane, coupling CO2 capture with fuel production: An overview**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 132, 2020.

Review and analysis of demonstration projects on power-to-X pathways in the world

Zaher Chehade, Christine Mansilla, Paul Lucchese, Samantha Hilliard, Joris Proost, **Review and analysis of demonstration projects on power-to-X pathways in the world**, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 44, Issue 51, 2019.

Emanuele Moioli, Anne Wötzel, Tilman Schildhauer, **Feasibility assessment of small-scale methanol production via power-to-X**, Journal of Cleaner Production, Volume 359, 2022.

Sternier, Michael, and Michael Specht. 2021. "**Power-to-Gas and Power-to-X—The History and Results of Developing a New Storage Concept**" Energies 14.

Burre, J., Bongartz, D., Brée, L., Roh, K. and Mitsos, A. (2020). **Power-to-X: Between Electricity Storage, e-Production, and Demand Side Management**, Chemie Ingenieur Technik.

Staying within the global carbon budget. DVGW.

VIHREÄN
SIIRTYMÄN
TUOTEKEHITYS

