

# VIHREÄN SIIRTYMÄN TUOTEKEHITYS

## - Vety vihreässä energiamurroksessa



# Vety vihreässä energiamurroksessa

## Vetytalouden historiaa

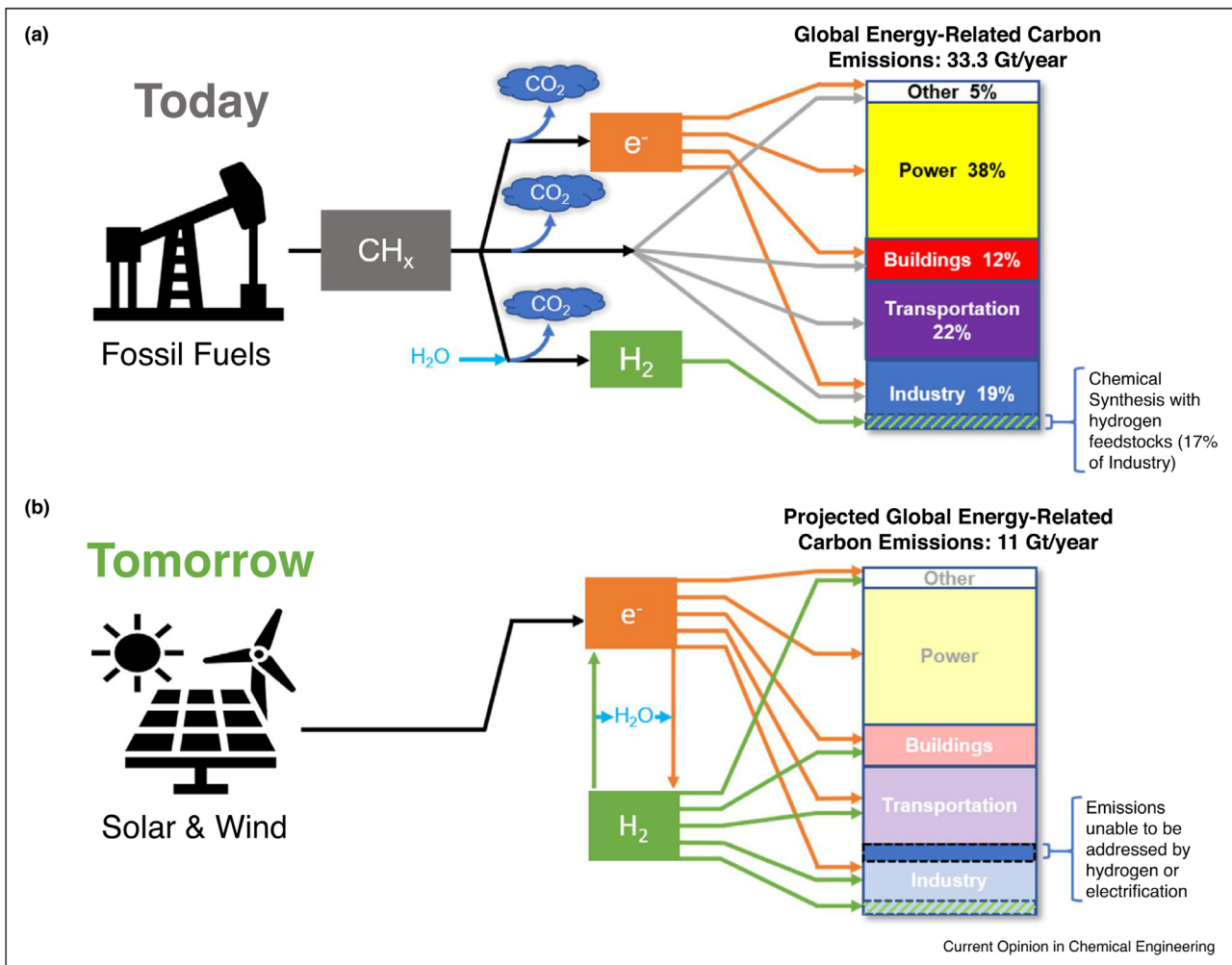
Termiä *vetytalous* on käytetty viime vuosina laajasti vihreään energiamurrokseen liittyvissä keskusteluissa tiedotusvälineissä, liike-elämässä ja tieteellisissä artikkeleissa.

Käsitteenä vetytalous ei kuitenkaan ole uusi, vaan sen esitteli ensimmäisen kerran jo 1970-luvun alussa sähkökemisti John Bockris Yhdysvalloissa General Motorsin Technical Centerissä pitämässään esitelmässä. 1970-luvun energia(öljy)kriisit lisäsivät halua kehittää energiaomavaraisuutta ja vähentää haitallisia kasvihuonepäästöjä. Vuosikymmenten kuluessa vetyyn liittyvät teknologiat ovat kehittyneet, mutta siitä huolimatta varsinaista *vetyyn perustuvaa talousjärjestelmää* ei kuitenkaan ole syntynyt. Tämä johtuu siitä, että perinteiset fossiiliset energialähteet ovat olleet merkittävästi vetyä edullisempia (fossiilitalous).

## Vety vihreässä energiamurroksessa

YK:n järjestämässä [Pariisin ilmastokokouksessa](#) vuonna 2015 hyväksyttiin ilmastosopimus, joka oli jäsenvaltioiden välinen yhteissitimus tavoitteenaan pysäyttää ilmastonmuutos. Sopimuksen edellyttämien radikaalien päästövähennystavoitteiden myötä vedyn potentiaali nousi jälleen esiin ja viime vuosina tiedotusvälineissä on puhuttu jopa [vetyhypestä](#). Globaalin energiankulutuksen jatkuvan kasvun myötä kuitenkin erityisesti hiilidioksidin määrä on jatkanut kasvuaan. Useissa ilmastoskenaarioissa on sittemmin esitetty, että pelkästään päästöjen neutralisoiminen ja hiilineutraaliuteen pyrkiminen ei enää riitä, vaan ilmastonmuutoksen pysäyttämiseen tähtäävien tavoitteiden saavuttaminen edellyttää, että hiilidioksidia olisi sidottava ilmakehästä pois enemmän kuin sitä sinne lisätään. Osaltaan tämän seurauksena YK:n ilmastokokouksessa ([COP28](#)) joulukuussa 2023 päädyttiin historialliseen ratkaisuun [fossiilisten polttoaineiden alasajosta](#).

Globaalin energiajärjestelmän päivittäminen päästövähennystavoitteiden edellyttämällä tavalla on monella tavalla haastava tehtävä. Fossiilisiin polttoaineisiin perustuvien prosessien korvaaminen vaihtoehtoisilla tavoilla, kuten uusiutuvan energian tuottamalla sähköllä on yleistynyt, mutta useille sektoreille se ei vielä ole ollut varsinkaan taloudellisesti kannattavaa. Tässä vaiheessa vety astuu kokonaiskuvaan laajemmin, sillä se nähdään potentiaalisena vaihtoehtona uusiutuvan sähköntuotannon rinnalla fossiilisista polttoaineista luopumisen tuomiin haasteisiin. Vedyllä voidaan korvata fossiilisten raaka-aineiden käyttöä esimerkiksi epäsuoran sähköistämisen kautta: uusiutuvalla sähköllä tuotettua vetyä jalostetaan muiksi hyödykkeiksi tai hyödynnetään uusiutuvan sähkön välivarastoinnissa (Power-to-X, Power-to-Hydrogen, Power-to-Transport yms.) ja tarvittaessa vety muutetaan takaisin sähköksi (Hydrogen-to-Power).



Kuva 1. Nykypäivän (a) ja tulevaisuuden (b) energiasektoreiden hiilidioksidipäästöjen jakautuminen ([A green hydrogen economy for a renewable energy society](https://doi.org/10.1016/j.coche.2021.100701) <https://doi.org/10.1016/j.coche.2021.100701>)

Vetyä on tuotettu ja käytetty teollisuudessa toista sataa vuotta, joten monet sen ominaisuudet on tiedetty pitkään. Vety itsessään on *puhdas* energiankantaja, mutta päästöjen vähentämisen nimissä olennaista on se, miten puhtaasti vety on tuotettu. Vedyn tuotanto on erittäin energiaintensiivistä ja tuotantoprosessista riippuen vedyn yhteydessä mainitaankin tuotantotavan puhtautta kuvaava käsitteellinen termi, kuten esimerkiksi puhdas, vähähiilinen, sininen tai harmaa. Uusiutuvan ja vihreän vedyn nimellä kulkevassa teknologiassa vetyä saadaan veden elektrolyysiprosessissa uusiutuvasti tuotetun sähköenergian avulla ilman hiilidioksidipäästöjä.

Lisääntynyt kiinnostus vihreän/puhtaan/uusiutuvan vedyn hyödyntämiseen on seurausta kestävästä kehityksestä ja päästövähennystavoitteiden lisäksi uusiutuvan sähkön tuotantokustannusten laskusta sekä vedyn tuotantoprosesseissa käytetyn teknologian yleistymisestä ja siten hintatason asteittaisesta alentumisesta.

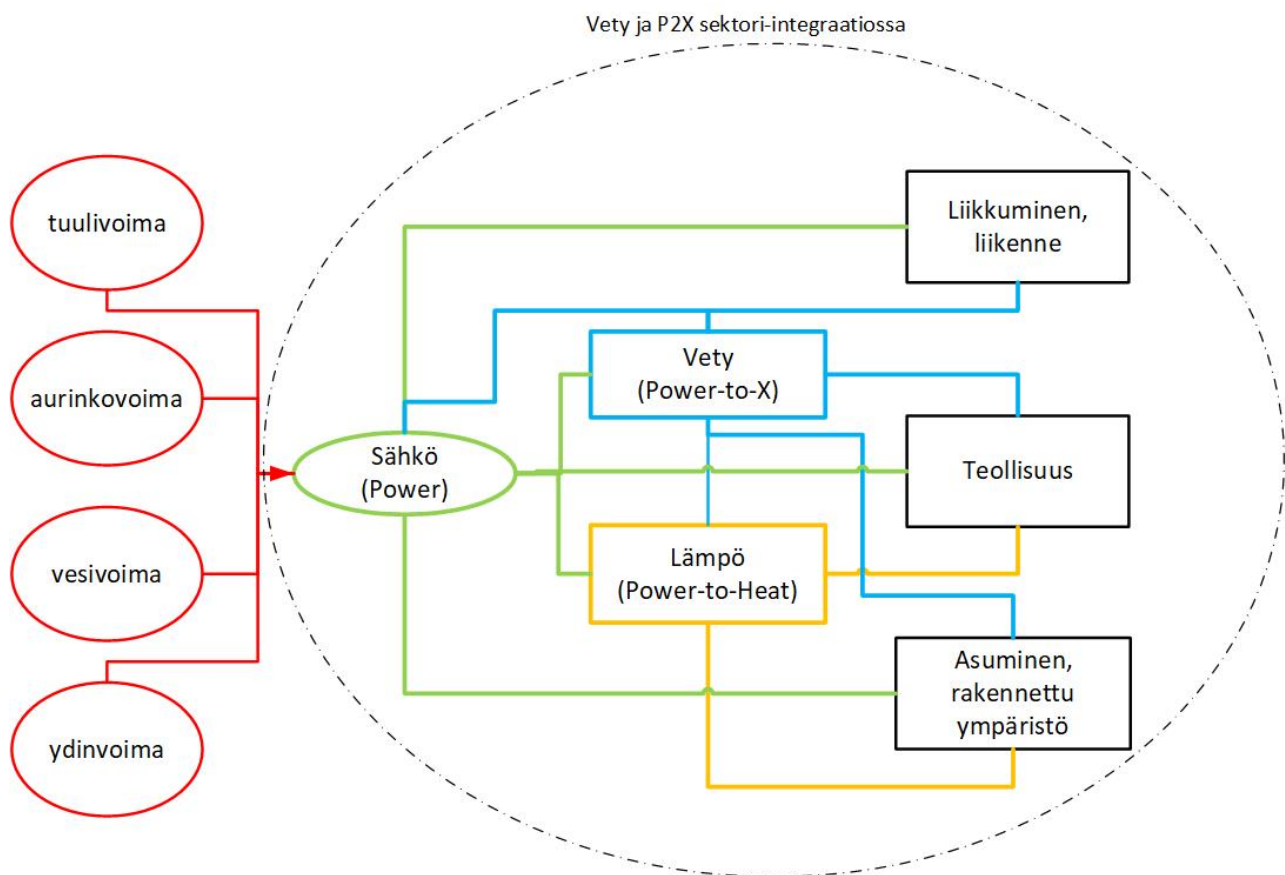
Nykyään vetytaloudesta puhuttaessa viitataan vedyn laajamittaiseen käyttöön osana vihreän siirtymän edellyttämän energiajärjestelmän muutosta. Varsinainen vetytalous on siis edelleen hypoteettinen tulevaisuuden talousjärjestelmä, mutta puhtaan uusiutuvan vedyn tuotanto käyttösovelluksineen on kuitenkin kehittymässä globaalien energiajärjestelmän ja -talouden kehittämisen ohessa.

Lue Aalto-yliopiston artikkeli [Näin maailman pienin molekyyli mullistaa energiemarkkinat ja auttaa ilmastokriisin ratkaisemisessa - Aalto-yliopiston artikkeli](https://www.aalto.fi/fi/uutiset/nain-maailman-pienin-molekyyli-mullistaa-energiamarkkinat-ja-auttaa-ilmastokriisin-ratkaisemisessa) <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/nain-maailman-pienin-molekyyli-mullistaa-energiamarkkinat-ja-auttaa-ilmastokriisin-ratkaisemisessa>.

## Vety ja sektori-integraatio

Tulevaisuuden energiajärjestelmän tavoitteellaan olevan joustava, energia- ja kustannustehokas sekä vähintään hiilineutraali. Olennainen osa järjestelmää on *sektori-integraatio*. Sen avulla tehostetaan energian tuotanto- ja kulutussektoreiden yhteistoimintaa, lisätään jousto- ja varastointimahdollisuuksia sekä tiivistetään eri sektoreiden toimijoiden yhteistyötä.

On tärkeää, että tällaisessa energiajärjestelmässä hyödynnetään useita eri energiankantajia, kuten esimerkiksi vetyä, sähköä ja lämpöä. Sektori-integraatiossa energiajärjestelmän eri tasoilla tapahtuu siirtymiä eri energiankantajien välillä, jotka mahdollistavat joustavuuden ja energian varastoinnin yli sektorirajojen.



Kuva 3. Periaatekuva sektori-integraatiosta (VTT - Sektori-integraatio: kohti hiilineutraalia energiajärjestelmää 2022).

Vedyn suunnitellaan olevan olennainen osa sektori-integraatiota, sillä se toisi joustoa energiajärjestelmään mahdollistamalla uusiutuvan sähkön varastoinnin ja siirron. Vedyn avulla sektori-integraatioon voisi olla mahdollista kytkeä sellaisia sektoreita, jotka eivät muuten pystyisi hyötymään energiamurroksesta. Tällaisia ovat esimerkiksi energiaintensiivinen teollisuus sekä raskas liikenne/kuljetusala (maantie-, meri- ja lentoliikenne). Teollisuuden ja liikenteen hiilineutraaliustavoitteiden edistämiseksi vedyn hyödyntäminen käyttövoimana on hyvä esimerkki

sektori-integraation mahdollisuuksista kestävämmän energiantuotannon edistämisestä kustannustehokkailla tavoilla.

Lue **Energiategollisuuden sivulta [Sektori-integraatiosta](#)**.

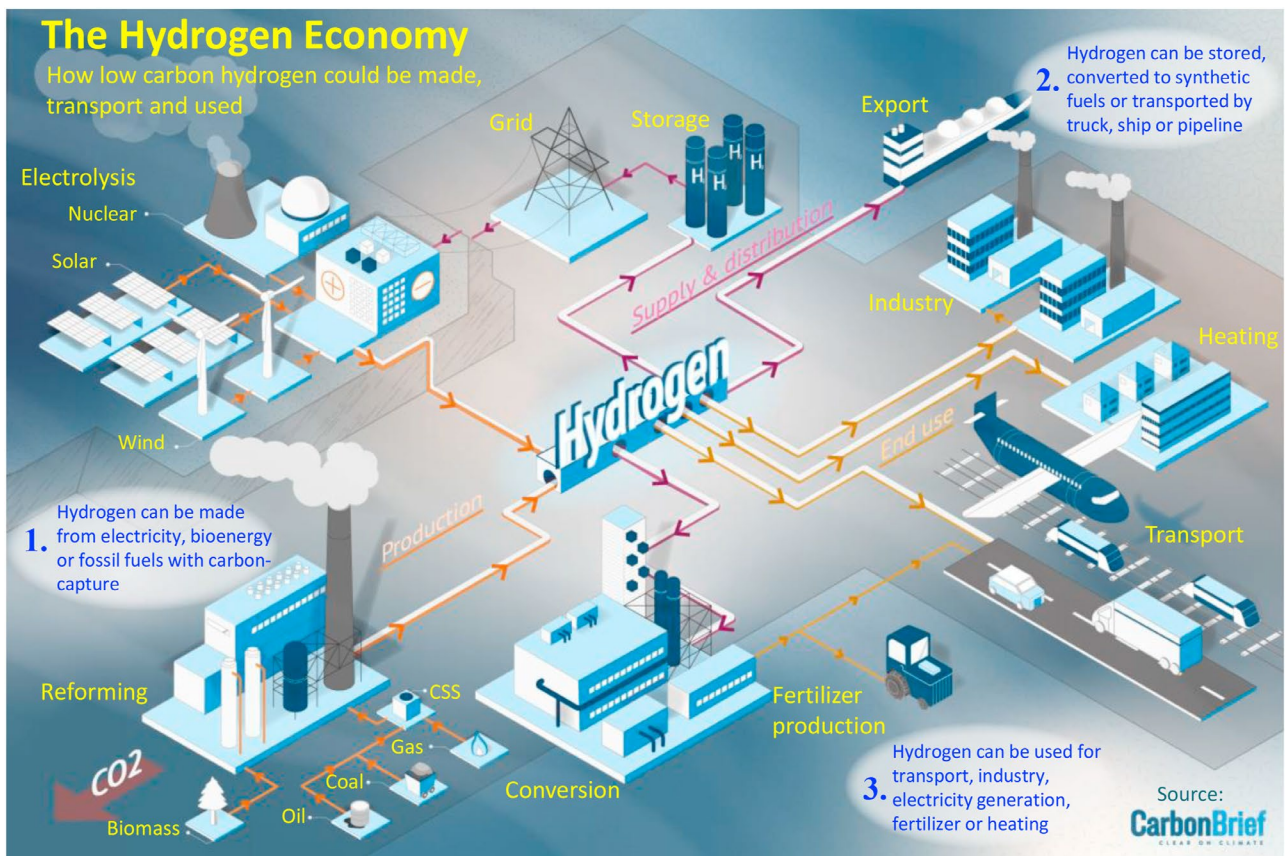
<https://energia.fi/energiapolitiikka/vahahiilisyiden-tiekartta/uusi-energiajarjestelma/sektori-integraatio/>

Lue lisää VTT:n sivulta **[Opas sektori-integraation hyödyntämiseen](#)**.

<https://www.vttresearch.com/fi/syvenny-aiheeseen/opas-sektori-integraation-hyodyntamiseen>

## **Vedyn arvoketjut, ekosysteemit ja klusterit**

Puhtaan ja uusiutuvan vedyn ympärille rakentuvan talousjärjestelmän katsotaan koostuvan useista toisiinsa limittyneistä osakokonaisuuksista. Painotuksesta riippuen näitä kuvataan erilaisilla käsitteillä, joita ovat esimerkiksi arvoketju, ekosysteemi tai klusteri.



Kuva 4. Vähähiilinen vetytalous ([Hydrogen economy for sustainable development in GCC countries: A SWOT analysis considering current situation, challenges, and prospects](#)

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.12.033>), jonka voi nähdä ekosysteeminä, jossa on erilaisia arvoketjuja.

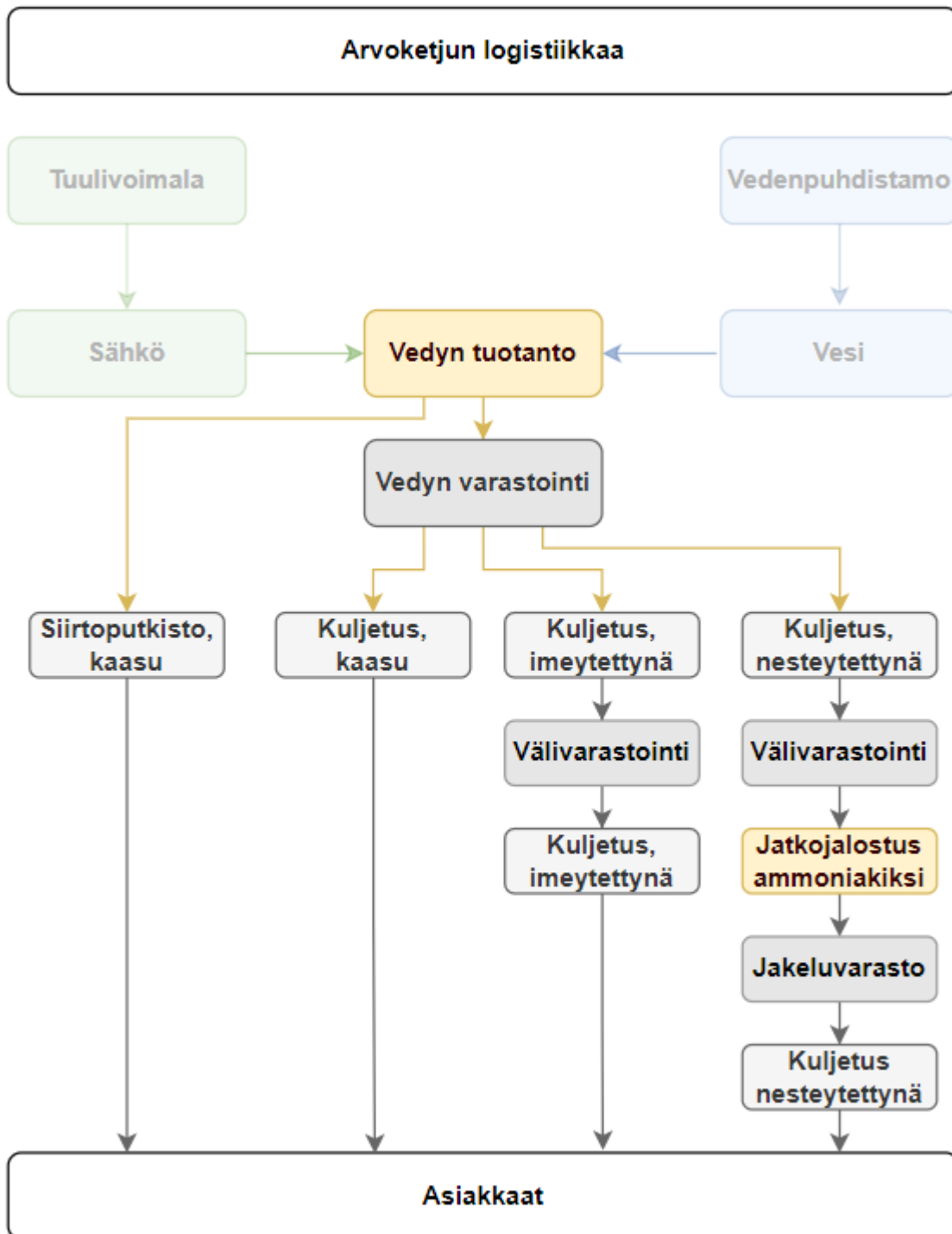
**1. Vedyn tuotanto** - uusiutuvan sähkön (uusiutuva vety) tai ydinenergian tuottaman sähkön (puhdas/pinkki vety) avulla, biomassasta (vihreä vety), fossiilista polttoaineista höyryreformoinnilla tai pyrolyysillä hiilidioksidin talteenottoa ja uusiokäyttöä (sininen/turkoosi vety) hyödyntäen.

**2. Vedyn varastointi ja kuljetus** - varastointi kaasuna, nesteytettynä ja ilmeytettynä, kuljetus maanteitse, meriteitse, rautateitse tai siirtoputkistossa.

**3. Vedyn käyttö** - teollisuuden eri sektoreilla raaka- ja väliaineena sekä sähköntuotannossa, lämmityksessä ja liikenteessä energiankantajana.

Arvoketju on malli yrityksen [arvonmuodostusprosessista](#). Se siis kuvaa jonkin hyödykkeen vaiheittaista jalostumista raaka-aineesta valmiiksi tuotteeksi. Jokainen arvoketjun vaiheista eli prosesseista nostaa tuotteen arvoa. Käänteisesti (karkea yleistys), jos lopputuotteen arvon halutaan olevan tietyn suuruinen, osaprosessien kulujen summan on oltava sitä pienempi.

*Vetytalouden arvoketju* muodostuu osaprosesseista, joiden tarkoitus on nostaa vedyn ja sen jatkojalosteiden arvoa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että arvoketju koostuu useista eri toimijoiden hallitsemista osaprosesseista. Esimerkiksi yksinkertaistettu vetykaasuun lopputuotteena perustuva arvoketju voisi sisältää vedyn tuotannon, siirron sekä lopputuotteena myytävän vedyn. Laajempi arvoketju voisi sisältää vedyn tuotannon, varastoinnin, siirron ja jatkojalostuksen myytäviksi tuotteiksi, kuten esimerkiksi ammoniakiksi ja siitä valmistetuiksi lannoitteiksi. Tulevaisuuden uusiutuvaan vetyyn perustuvan vetytalouden arvoketjuun voisi periaatteessa katsoa kuuluvan myös veden elektrolyysillä tuotetun uusiutuvan vedyn tuotannon tarvitseman sähköenergian tuotannon ja siirron vedyn tuotantolaitokseen.

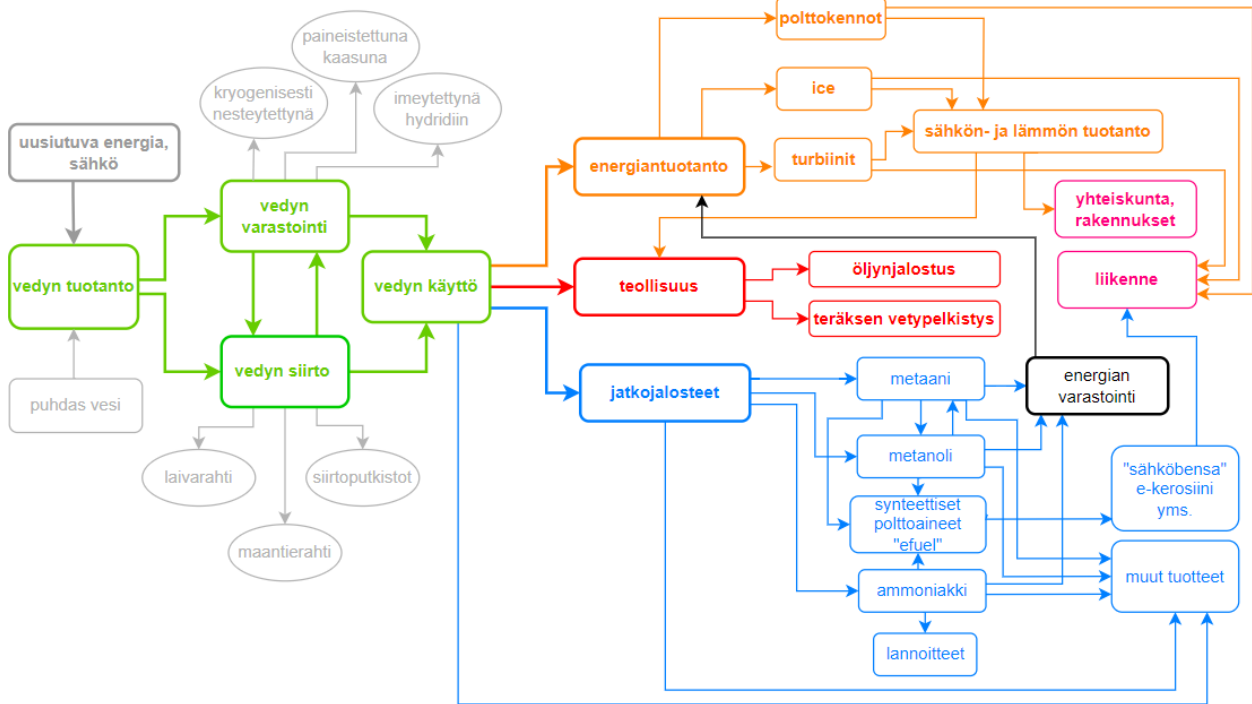


Kuva 5. Arvoketjun logistiikkaa.

Vedyn ja jatkojalosteiden materiaalivirta tuotannosta asiakkaalle sisältää useita logistisia välivaiheita ja prosesseja. Mitä vähemmän välivaiheita on, sitä vähemmän energiaa hukataan ja sitä enemmän arvoa vedyllä lopputuotteena on. Jokainen välivaihe lisää kustannuksia ja siten lopputuotteen hintaa, joten on selvää, että lopputuotteen arvon on oltava enemmän kuin prosessit ovat kuluttaneet.

Vetytaloutta voidaan tarkastella kokonaisuutena, joka sisältää useita erillisiä arvoketjuja. Esimerkiksi tiettyyn prosessiin erikoistuneen yrityksen arvoketju muodostuu yrityksen sisäisistä toiminnoista. Eli esimerkiksi miten yrityksessä toimitaan erottautuakseen kilpailijoista ja

saadakse kilpailuetua. Esimerkkinä voisi olla vedyn kuljetus; turvallisemmin, nopeammin, luotettavammin ja halvemmin mitä kilpailijat.



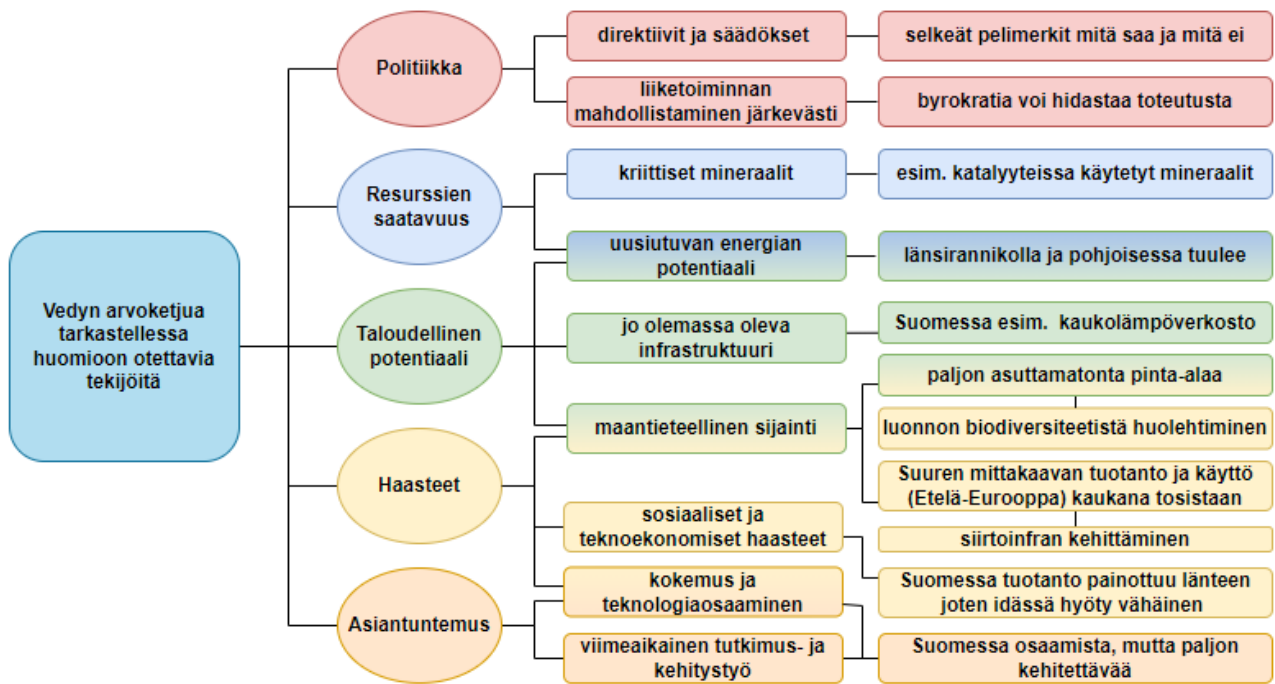
Kuva 6. Hypoteettinen vetytalous.

Yllä kuvan 6. kuvassa on useita arvoketjuja mahdollisine lopputuotteineen ja käyttökohteineen. Vihreällä värillä kuvatut vaiheet muodostavat ydinarvoketjun. Samankaltainen arvoketju voidaan katsoa olleen käytössä jo fossiilisesti tuotetun vedyn yhteydessä vuosikymmeniä. Kuvassa vedyn käyttö on jaettu karkeasti kolmeen eri segmenttiin, joissa osa on tulevaisuuden sovelluksia ja osa jo olemassa olevia. Fossiilisesti tuotettua vetyä on käytetty esimerkiksi ammoniakkin tuotannossa ja öljynjalostuksessa vuosikymmeniä. Tulevaisuuden sovelluksia ovat esimerkiksi mahdolliset synteettiset polttoaineet sekä hiilineutraalin energian varastointi ja uudelleen käyttö laajemmin (Power-to-X, Power-to-Fuel/Transport, Power-to-Chemicals, etc.).

Lue vedyn arvokejuista lisää [European Hydrogen Observatory : Hydrogen Basics Factsheets - Hydrogen value chains](https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/sites/default/files/2023-09/Factsheets-Hydrogen%20value%20chain%20.pdf) <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/sites/default/files/2023-09/Factsheets-Hydrogen%20value%20chain%20.pdf>

### Vedyn arvoketjuja Suomen näkökulmasta

Arvoketjuja tarkasteltaessa on huomioitava siihen vaikuttavia tekijöitä laajasti.



Kuva 7. Kaaviossa esimerkkejä huomioon otettavista osatekijöistä.

Lue Suomen elinkeino ja työministeriön raportti - [Vety mahdollistaa puhtaan siirtymän - ja edellyttää suuria investointeja](https://tem.fi/-/vety-mahdollistaa-puhtaan-siirtymän-ja-edellyttää-suuria-investointeja) <https://tem.fi/-/vety-mahdollistaa-puhtaan-siirtymän-ja-edellyttää-suuria-investointeja>

### Vedyn tuotantoon tarvittavan energian tuotanto ja siirto

Veden elektrolyysiin perustuvan vedyntuotannon sähköntarve on merkittävä. Lisäksi prosessiin tarvitaan luonnollisesti vettä (vesi muutetaan vedyksi ja hapeksi). Suomella on potentiaalia puhtaan veden ja vahvan kantaverkon lisäksi uusiutuvan sähköntuotannon (tuuli-/aurinko-) lisäämiselle. Sähköä tuottavat sekä siirtoverkkoja ylläpitävät toimijat ovat merkittävässä roolissa. Vedyn tuotanto ei ole kannattavaa, jos sähkö on liian kallista tai sitä ei ole riittävästi saatavilla.

Käänteisesti, vetyä voidaan käyttää sähköjärjestelmän tasapainottamiseen säätövoimana.

Uusiutuvan sähköntuotannon vaihtelevuutta voidaan kompensoida käyttämällä sähkön ylijäämä vedyn valmistukseen ja varastointiin ja alijäämätilanteessa vety takaisin sähköksi. Tämä teknologia on vielä kehitysvaiheessa.

Politiikka vaikuttaa uusiutuvan sähköntuotannon lisäämismahdollisuuksiin yhteiskunta (mm. talous, sosioekonomia) ja ympäristö (mm. biodiversiteetistä huolehtiminen) huomioon ottaen.

### Vedyn tuotanto

Valtaosa Suomessa tuotetusta vedystä on perustunut fossiilisen maakaasun höyryreformointiprosessiin, mutta sen haittana ovat kasvihuonepäästöt. Höyryreformointiprosessin vähähiilistämiseksi prosessista vapautuva hiilidioksidi on talteenotettava ja varastoitava tai vaihtoehtoisesti uusiokäytettävä. Vaihtoehtona höyryreformoinnille on pyrolyysi, jossa maakaasusta eli metaanista, synteettisestä metaanista tai biomassasta vapautuvasta metaanista tuotetaan vetyä.

Tässäkin vapautuva hiilidioksidi on talteenotettava ja varastoitava tai uusiokäytettävä. Nykyään Suomessakin paljon media-arvoa saanut vedyn tuotantotapa on uusiutuvan ja vihreän vedyn nimellä kulkeva teknologia, jossa vetyä saadaan veden elektrolyysiprosessissa uusiutuvasti tuotetun sähköenergian avulla ilman hiilidioksidipäästöjä. Elektrolyysiprosessin ison mittakaavan teknologiakypsyys on vielä kehitysasteella, joten tästä syystä laajamittaista käyttöä vasta suunnitellaan.

Suomen kannalta uusiutuvan vedyn teknologiassa on hyödynnettävä mahdollisuus, joka perustuu elektrolyysin huonohkoon hyötysuhteeseen. Noin 30 % käytetystä energiasta muuttuu lämmöksi. Tätä hukkalämpöä voitaisiin hyötykäyttää esim. kaukolämpöverkoston lisänä, jolloin elektrolyysiprosessin kokonaisyötysuhde parantuisi. Lisäksi vedyntuotannossa syntyvään happea voisi hyödyntää esimerkiksi teollisuuskaasuna sekä selluteollisuuden valkaisuKemikaalina.

### **Vedyn varastointi ja siirto**

Suomessa jo pitkään teollisiin prosesseihin käytetty vety on tuotettu pääsääntöisesti paikallisesti, joten tuotantomäärät eivät ole edellyttäneet suuren mittakaavan varastoinnin ja siirron tarpeita palvelevaa infrastruktuuria. Tehokkaat ja turvalliset vedyn varastointi- ja siirtoratkaisut kuuluvat laajamittaisen vetytalouden perusedellytyksiin, joten tulevaisuudessa uusiutuvan puhtaan vedyn tuotannon lisääntymisen myötä infrastruktuurin kehittämiseksi tulee tarvetta kansainvälinen yhteistyö huomioiden.

**Tutustu Gasgrid Finlandin ja Fingridin yhteishankkeen väliraporttiin [Energian siirtoverkot vetytalouden ja puhtaan energiajärjestelmän mahdollistajana](https://gasgrid.fi/wp-content/uploads/Fingrid-Gasgrid_Valiraportti_Energian_siirtoverkot_vetytalouden_ja_puhtaan_energiajarjestelman_mahdollistajana)**

[https://gasgrid.fi/wp-content/uploads/Fingrid-Gasgrid\\_Valiraportti\\_Energian-siirtoverkot-vetytalouden-ja-puhtaan-energiajarjestelman-mahdollistajana.pdf](https://gasgrid.fi/wp-content/uploads/Fingrid-Gasgrid_Valiraportti_Energian_siirtoverkot_vetytalouden_ja_puhtaan_energiajarjestelman_mahdollistajana.pdf)

**Lue Tukesin sivulta kappale [4 Vedyn siirto](https://tukes.fi/vedyn-kasittelyn-ja-varastoinnin-turvallisuus#vedyn-siirto) ja [5 Vedyn varastointi](https://tukes.fi/vedyn-kasittelyn-ja-varastoinnin-turvallisuus#vedyn-varastointi)**  
<https://tukes.fi/vedyn-kasittelyn-ja-varastoinnin-turvallisuus#vedyn-varastointi>.

### **Vedyn käyttö**

Suomessa suurin osa vedystä on käytetty kemianteollisuuden prosesseihin, joista suurimpana vedyn käyttäjänä Nesteen öljynjalostamo. Tulevaisuuden puhtaan uusiutuvan vedyn avulla suunnitellaan jatkojalostettavan korkeamman lisäarvon synteettisiä kemikaaleja, kuten esimerkiksi ns. e-metanoli, e-metaani, e-kerosiini, sähköbenssiini ja e-ammoniakki. Ammoniakki on esimerkiksi lannoiteteollisuuden olennainen raaka-aine ja aiemmin Suomi on ollut täysin tuontiammoniakin varassa. Lisäksi ammoniakin on suunniteltu toimivan meriliikenteessä tulevaisuuden hiilettömänä polttoaineena. Lisäksi suuri potentiaalinen puhtaan vedyn käyttökohde on puhtaan teräksen tuotanto.

**Lue Artikkelin [Pitäisikö biogeeninen hiilidioksidi varastoida vai uusiokäyttää synteettisiin polttoaineisiin?](https://afry.com/fi-fi/artikkeli/pitaisiko-biogeeninen-hiilidioksidi-varastoida-vai-uusiokayttaa-synteettisiin-polttoaineisiin?)** <https://afry.com/fi-fi/artikkeli/pitaisiko-biogeeninen-hiilidioksidi-varastoida-vai-uusiokayttaa-synteettisiin>

## Yhteenveto

- Vety ei ole uusi asia teollisuudessa, sillä sitä on osattu tuottaa ja käyttää reilusti yli sata vuotta. Yksi suuri merkittävä osa-alue on vedyn tuotantoprosessit, jotka ovat muutettava uusiutumattomia energialähteitä käyttävistä kasvihuonekaasujapäästöjä tuottavista uusiutuviin ja puhtaisiin energialähteisiin perustuviin prosesseihin.
- Uusiutumattomia energialähteitä käyttävät prosessit ovat halvempia kuin uusiutuvia käyttävät, johtuen teknologiakypsyydestä - kehityksen nopeutumiseen pyritään vaikuttamaan poliittisilla ja taloudellisilla toimenpiteillä.
- Termi vetytalous on ollut käytössä enemmän ja vähemmän 1970-luvulta asti. Nykyään vetytaloudesta puhuttaessa viitataan vedyn laajamittaiseen käyttöön osana vihreän siirtymän edellyttämän energiajärjestelmän muutosta.
- Vetytalouden peruskysymys on lopputuotteen hinta; milloin uusiutuvasti tuotettu sähkö kannattaa käyttää vedyn tuotantoon ja milloin jonkin muun energiamuodon raaka-aineena.
- Hiilidioksidia olisi otettava ilmakehästä talteen enemmän kuin sitä sinne päästetään.
- Tulevaisuuden energiajärjestelmään kuuluu sektori-integraatio ja tavoitteena on, että uusiutuva puhdas vety on olennainen osa sitä.
- Vetytalouden kehitystä olisi hyvä tarkastella kokonaisvaltaisesti energiasektorin ja loppukäytön koko elinkaaripäästöjen kannalta unohtamatta muita vaihtoehtoja päästöjen vähennyksiin (kuten suorasähköistämistä).

VIHREÄN  
SIIRTYMÄN  
TUOTEKEHITYS

