

# Vety vihreässä siirtymässä

## TIEDEISKU

Tutkijoiden asiantuntemukseen perustuva tilannekuva ilmiöstä ja sen yhteiskunnallisesta merkityksestä päätöksentekijöitä varten



SUOMALAINEN TIEDEAKATEMIA  
FINNISH ACADEMY OF SCIENCE AND LETTERS  
ACADEMIA SCIENTARIUM FENNICA

TIEDEISKU on tutkijoiden asiantuntemukseen perustuva tilannekuva ilmiöstä ja sen yhteiskunnallisesta merkityksestä päätöksentekijöitä varten.

Tämä tiedeisku on laadittu Jane ja Aatos Erkon säätiön rahoittamassa Tieteelliset ilmiökartat -hankkeessa Suomalaisessa Tiedekatemiassa. Työtä johti professori **Riitta Keiski** (Oulun yliopisto) ja sisällön toimittamisesta vastasivat **Joakim Westrén-Doll** ja **Linda Lammensalo**.

Tiedeiskun sisällöt perustuvat seuraavien tutkijoiden kanssa käytyihin keskusteluihin:

**Jero Ahola**  
Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto

**Antti Arasto**  
Teknologian tutkimuskeskus VTT

**Eeva-Lotta Apajalahti**  
Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto

**Pasi Eilu**  
Geologian tutkimuskeskus

**Timo Fabritius**  
Oulun yliopisto

**Olli Himanen**  
Teknologian tutkimuskeskus VTT

**Marko Huttula**  
Oulun yliopisto

**Tanja Kallio**  
Aalto-yliopisto

**Jari Kiviaho**  
Teknologian tutkimuskeskus VTT

**Petteri Laaksonen**  
Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto

**Seppo Niemi**  
Vaasan yliopisto

**Annukka Santasalo-Aarnio**  
Aalto-yliopisto

Tiedeiskussa on lisäksi hyödynnetty lopussa listattujen toimijoiden julkaisuja.

Tiedeisku on julkaistu kesäkuussa 2023, ja sisällöt perustuvat sen hetkiseen tilanteeseen.

Taitto: Renja Nurmi | Paino: Picaset.  
Kannen kuva: iStock.com / Asia Tsyhankova

## 1. MITÄ ON VETY?

Vety on maailmankaikkeuden yleisin ja kevyin alkuaine. Muualla universumissa vety on usein kaasua, mutta maapallolla sitä esiintyy nestemäisissä ja kiinteissä olomuodoissa lähinnä sidottuna muihin alkuaineisiin kuten happeen ja hiileen.

Vedyssä on massaansa nähden paljon energiaa, joka vapautuu palaessa eli vedyn reagoidessa hapen kanssa. Lisäksi reaktiossa syntyy vettä, muttei hiilidioksidipäästöjä. Erityisesti vedyn keveys ja sen päästöttömät tuotanto- ja käyttömahdollisuudet avaavat uusia näkömiä vihreän siirtymän ja energiamurroksen yhteyteen.

Vedyn erottaminen vetyä sisältävistä yhdisteistä on kuitenkin työläästä. Vety ei siis itsessään ole energian lähde, vaan myös vedyntuotanto vaatii energiaa. Vedyn ilmastovaikutus riippuu erityisesti siitä, millä energialla vety tuotetaan.

### Miten vetyä tuotetaan?

Nykyisin vetyä tuotetaan sekä Suomessa että globaalisti pitkälti fossiilisilla ja fossiilisista lähteistä tuotetuilla polttoaineilla, mutta kasvavissa määrin myös tuuli- ja aurinkovoimalla, jolloin on kyse puhtaasta vedystä.

Suomessa vetyä tuotetaan pääosin maakaasusta. Maakaasulla tuotettu vety voi olla vähäpäästöistä, mikäli tuotannossa syntyvää hiilidioksidia otetaan riittävästi talteen ja tuotanto- ja toimitusketjut ovat vähäpäästöisiä.

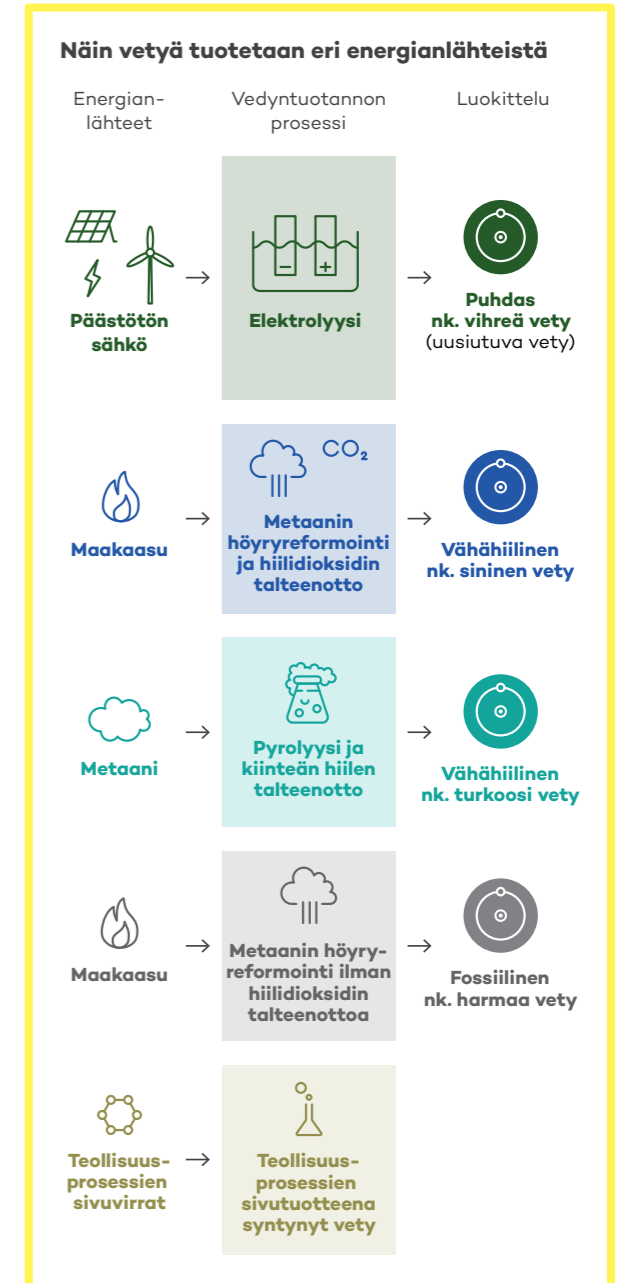
Tulevaisuudessa vetyä voidaan tuottaa pienempiä määriä myös muista raaka-aineista, kuten biomassasta ja teollisuuden sivuvirroista.

Puhdasta, ei-fossiilista vetyä voidaan valmistaa vedestä, joka koostuu vety- ja happiatomeista. Elektrolyysilaitteessa vesi voidaan sähköenergian avulla hajottaa alkuaineiksi eli vedyksi ja hapeksi.

Maailman energiajärjestö IEA arvioi, että vuonna 2050 noin kolme neljännestä kaikesta puhtaasta ja vähäpäästöisestä vedystä tuotetaan elektrolyysillä.

Elektrolyysin keskeinen haaste on se, että siihen tarvitaan runsaasti sähköenergiaa. Vesi-vety-konversion hyötysuhde on yli 65 prosenttia. Luku kuvaa, kuinka paljon hyödynnettävää energiaa saadaan aikaiseksi verrattuna siihen energiaan, joka käytetään vedyn tuottamiseen.

Vaikka elektrolyysin perusajatus ei ole uusi, nähdään elektrolyysilaitteiden teknisessä kehityksessä merkittävää potentiaalia. Odotukset kohdistuvat erityisesti



laitteiden voimistuvaan massatuotantoon, mikä voisi laskea merkittävästi vedyntuotannon investointikustannuksia. Tämä on vedyntuotannon taloudellisen toteutuksen kannalta ratkaisevaa.

Vedyn tuottaminen elektrolyysillä on tärkeä osaprosessi silloin, kun sähköenergian avulla tuotetaan erilaisia kemiallisia yhdisteitä, esimerkiksi synteettisiä polttoaineita. Tuotantomenetelmästä käytetään yleisnimitystä power-to-x-teknologia, sillä siinä sähköenergiaa muutetaan toiseen muotoon x. Esimerkiksi yhdistämällä vetyä ja hiilidioksidia synteetissä tuotetaan synteettistä metanolia, jota voidaan käyttää liikenteessä tai teollisuuden raaka-aineena. Tämä synteetiprozessi heikentää edelleen energiankäytön hyötysuhdetta.

## 2. MITÄ VETYTALOUS TARKOITTAJA JA MIKSI SIITÄ PUHUTAAN NYT?

Kun puhutaan vetytaloudesta, viitataan vedyn laajamittaiseen käyttöön osana energiajärjestelmän murrosta. Uusiutuvan sähkön tuotantokustannusten lasku ja tarve irtautua fossiilitaloudesta ovat lisänneet kiinnostusta puhtaasta vedyn hyödyntämiseen.

Energiatuotannosta ja -käytöstä syntyviä hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää korvaamalla fossiilisia polttoaineita sähköllä. Ilmastokenaarioissa (IPCC, IEA) vety katsotaan yhdeksi keinoksi vähentää hiilidioksidipäästöjä 2030-luvulta alkaen, jolloin elektrolyysillä tapahtuvan puhtaan vedyn globaalin tuotannon odotetaan kasvavan merkittävästi.

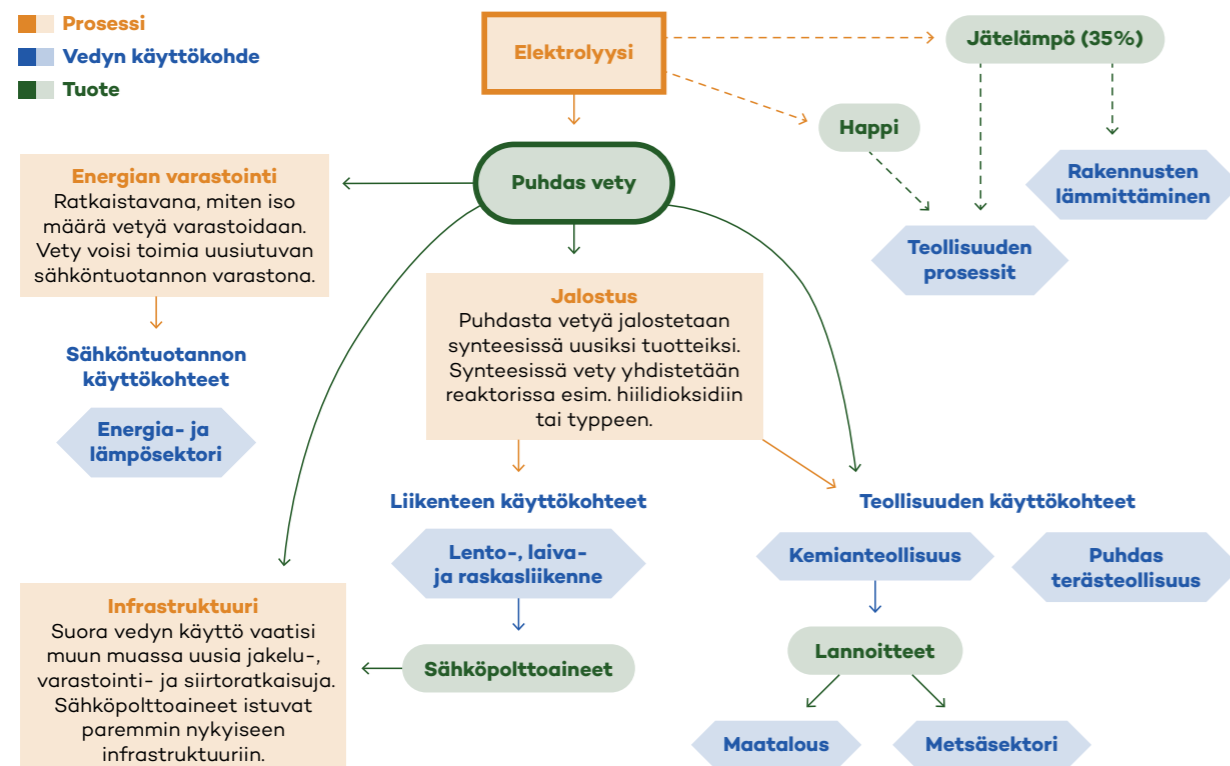
Vedyllä voidaan korvata fossiilisten raaka-aineiden käyttöä epäsuoran sähköistämisen kautta. Tällä tarkoitetaan sitä, että uusiutuvalla sähköllä tuotettua vetyä jalostetaan muiksi hyödykkeiksi tai hyödynnetään sähkön varastoimisessa.

### Vetytalous vai vetyratkaisut?

- Vedyn käyttö on osa laajempaa energiamurrosta. Puhdas vety on yksi vihreän energiasiirtymän mahdollistajista.
- Vetytaloudesta puhuminen voi sisältää riskin, että vedyn käyttömahdollisuudet nähdään sen potentiaalia laajempina.
- Vedyllä on monia, toisistaan poikkeavia konkreettisia sovelluksia, joista voidaan puhua myös vetyratkaisuina.

### Puhtaan vedyn käyttökohteet

Elektrolyysillä\* tuotettu puhdas vety tarjoaa erilaisia ratkaisuja monelle sektorille. Lisäksi pitää huomioida tuotannossa syntyvät sivuvirrat.



\*Suomessa kehitetään elektrolyysille vaihtoehtoisia tapoja tuottaa puhdasta vetyä. Yksi näistä on vedyn tuottaminen vedestä valokatalyyysin avulla, jonka käyttöönotto edellyttää pitkäjänteistä tutkimus- ja kehitystyötä.

Vedyn käyttö teollisuuden lähtö- tai polttoaineena kiinnostaa erityisesti sektoreita, joilla fossiilisista energianlähteistä irtautuminen on vaikeaa. Tulevaisuuskenaarioissa vedyn ja siitä tehtävien johdannaisten käyttökohteina korostetaan teollisuutta, raskasta tieliikennettä, meriliikennettä ja lentoliikennettä.

Teollisuudessa vedyltä odotetaan ratkaisuja, joiden avulla metalleja ja erilaisia kemiallisia yhdisteitä, kuten metanolia ja ammoniakkia, voidaan tuottaa vähäpäästöisemmin. Niitä käytetään esimerkiksi muovien ja lannoitteiden tuotannossa tai polttoaineina.

Kysyntäpotentiaali vetyjohdannaisten liikennekäytölle on suurin lento- ja meriliikenteessä. Nämä käyttökohteet edellyttävät vedyn varastointia suuressa mittakaavassa, mihin ei ole olemassa valmiita teknologioita.

Energiajärjestelmän murros edellyttää energiankäytön sektoreiden tiiviimpää kytkettyneisyyttä toisiinsa. Vedyn kohdalla sektori-integraatio voisi tarkoittaa esimerkiksi seuraavia asioita:

- Elektrolyysissä syntyvän jätelämmön hyödyntämistä lämmöntuotannossa
- Vedyntuotannossa syntyvän hapen hyödyntämistä esimerkiksi teollisuuskaasuna tai selluteollisuuden valkaisu kemikaalina
- Vedyntuotannon hyödyntämistä uusiutuvan sähköntuotannon säätövoimana: sähkön väliaikaista ylituotantoa voitaisiin varastoida vetyä tai sen kantajissa.

### Puhtaan vedyn tuotanto on käynnistymässä Suomessa

Suomi tavoittelee edelläkävijän asemaa puhtaassa vedyntuotannossa. Valtioneuvoston periaatepäätöksen mukaan Suomella on edellytykset tuottaa vähintään kymmenen prosenttia Euroopan unionin päästötörmästä vedystä vuoteen 2030 mennessä.

Tällä hetkellä noin 99 prosenttia Suomessa valmistetusta vedystä tuotetaan maakaasusta eli metaanista, mikä tekee hiilidioksidin päästölähteen. Puhtaan vedyn tuotannon lisääminen tarkoittaa Suomessa siis pyrkimystä korvata vedyn maakaasutuotanto hiilineutraaleilla tuotantotavoilla, kuten tuuli- ja aurinkovoimalla.

Suomessa on suunnitteilla useita vedyntuotantohankkeita. Osa hankkeista on vielä suunnitteluvaiheessa, kun taas osassa on tehty investointipäätös. Vireillä olevien hankkeiden näkökulmasta Suomen vetytalous on edennyt nopeasti, vaikka konkreettisesti puhtaan vedyn tuotanto on vasta käynnistymässä.

### Vedystä vahvuutta energiaomavaraisuuteen?

Puhtaan vedyn tuotannon ja käyttöönoton nopeuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten fossiilisten polttoaineiden ja sähkön hinta, vähäpäästöisen sähkön saanti, poliittiset ratkaisut maailmalla sekä välillisesti esimerkiksi Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan.

Euroopassa kiinnostusta puhtaaseen vetyyn on lisännyt erityisesti tarve irtautua venäläisestä fossiilisesta energiasta.

Vedyn hyödyntäminen nähdäänkin mahdollisuutena kasvattaa energiaomavaraisuutta.

Tulevaisuuden energiajärjestelmän rakentaminen vedyn varaan voi kuitenkin synnyttää uusia riippuvuussuhteita, liittyen esimerkiksi uusiutuvan sähkön tuotannon alati kasvavaan tarpeeseen ja kriittisten raaka-aineiden saantiin.

## Suomelta puuttuu kansallinen vetystrategia

Suomessa on vähemmän puhtaan vedyn tuotantoa ja investointeja kuin verrokkimaissa Ruotsissa ja Tanskassa. Toisin kuin Suomessa, muualla Euroopassa rakentuu jo vetylaaksoja. Tällä tarkoitetaan projekteja, joissa useat vetysovellukset yhdistetään vedyn koko arvo- ketjun kattavaksi, integroiduksi vetykosysteemiksi.

Euroopan maissa puhtaan vedyntuotannon kehitystä ohjaa vahva julkinen tuki. Muun muassa Saksassa, Ranskassa ja Italiassa julkiset investoinnit ovat monin- kertaisia verrattuna EU:n mittaviin panostuksiin.

Vetyteknologian osalta Suomi on pitkälti tuonnin varassa. Kansantalouden näkökulmasta Suomi ei hyödy vedyntuotannosta niin paljon kuin olisi mahdollista, jos vetyarvoketjun jokaisessa lohkossa olisi suomalaisia toimijoita. Korkean jalostusasteen tuotteiden kuten fossiilivapaan teräksen ja metanolin vienti sekä elektro- lyysilaitteiden valmistustoiminta voisivat edistää suomalaisen vetyteollisuuden kilpailukykyä.

Suomesta löytyy kuitenkin vahvaa vetyosaamista. Vetyosaajien kysyntä energia-alalla kasvaa edelleen, ja asiantuntijoista on pulaa korkeakouluissa ja tutkimus- laitoksissa. Esimerkiksi AMK-tason suorittavalle sovellus- ja asennusosaamiselle on tunnistettu suuri tarve elektrolyysituotannon kehittämisessä.

## Miten Euroopan unioni edistää vetytaloutta?

- EU:n vetystrategian tavoitteena on saavuttaa vuoteen 2030 mennessä 10 miljoonan tonnin uusiutuvan vedyn vuosituotanto.
- Vetytalouden kehitystä ohjaa EU- maissa miljardituki, jota kanavoidaan erityisesti elpymis- ja palautumis- tukiväline NextGenerationEU:n kautta.
- Vetyratkaisut sisältyvät Euroopan unionin vihreän kehityksen ohjelmaan sekä Fit for 55 -säädösehdotuspakettiin, jolla pyritään kirkittämään ilmastotoimia.
- RePowerEU-energiasuunnitelma tähtää riippuvuuden nopeaan vähentämiseen Venäjän fossiilisista polttoaineista sekä hiilineutraalin energiasiirtymän vauhdittamiseen.
- EU kaavailee lisäinvestointeja vety- markkinoiden luomiseen valmistelussa olevan Euroopan vetypankin kautta.

## Suomen vahvuudet puhtaan vedyn tuotannossa

### ◆ Uusiutuvan energian ja puhtaan veden saatavuus hyvällä tasolla

Erityisesti maatuulivoima on Suomessa kustannustehokasta ja kasvupotentiaa- liltaan suurta. Vedyn valmistamiseen elektrolyysimenetelmällä tarvitaan puhdasta makeaa vettä, jonka varannot hyödyttävät Suomea.

### ◆ Tutkimuskentässä ja yrityksissä vankkaa asiantuntemusta

Suomalaisissa yliopistoissa ja tutkimus- laitoksissa on tehty pitkään vedyn tuotantoon ja käyttöön liittyvää tutkimusta. Myös yrityksistä löytyy vahvaa vedyntuotannon ja -jalostuksen asiantuntemusta, liittyen esimerkiksi elektrolyysilaitteiden valmistus- teknologiaan.

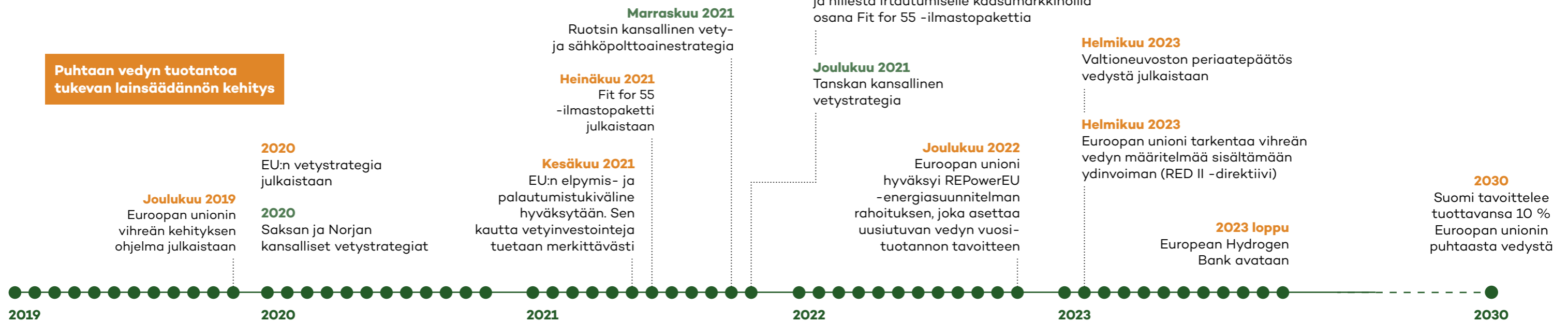
### ◆ Toimiva ja sääntöpohjainen luvitusjärjestelmä

Suomessa otettiin käyttöön vuoden 2023 alusta etusijamenettely, joka vauhdittaa vetyinvestointien lupa- prosessia tarjoamalla niille määrä- ajaksi etusijan lupakäsittelyssä.

### ◆ Mahdollisuuksia vedyn jatkojalostukseen

Vahva kemianteollisuus, samoin kuin osaaminen sähkö-, energia- ja kemian tekniikassa sekä kokoonpanoteollisuudes- sa ja sähkökemiassa, edistävät puhtaan vedyn jatkojalostuksen kehittymistä. Energiantuotannosta syntyy runsaasti biogeenistä hiilidioksidia, jota voidaan hyödyntää power-to-x-prosessien raaka-aineena.

## Puhtaan vedyn tuotantoa tukevan lainsäädännön kehitys



## Vetyhankkeita Suomessa

**2021** Suomalaisyritykset perustivat kansallisen vetyklusterin vauhdittamaan vetytalouden ja yritysten kilpailukyyn kehittämistä

**2022** Nesteen puhtaan vedyn tuotanto- projektille myön- netään mittava EU-rahoitus

**Syyskuu 2022** PX2 Solutions aloittaa puhtaan vedyn ja synteet- tisen metaanin tuotanto- laitoksen rakentamisen Harjavaltaan.

**2023** Hycamiten vähähiilisen vedyn pilottilaitoksen arvioitu valmistuminen Kokkolassa.

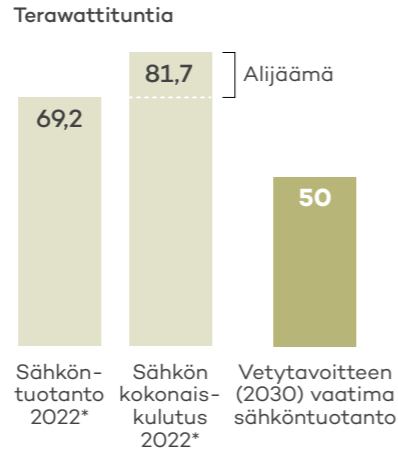
**Kevät 2024** PX2:n puhtaan vedyn tuotantolaitoksen arvioitu käynnistyminen

### 3. PUHTAAN VEDYN NELJÄ KESKEISTÄ TEEMAA SUOMELLE

#### 1 Kansalliset vetytavoitteet edellyttävät uusiutuvan sähköntuotannon nopeaa kasvua

Puhtaan vedyntuotannon kansalliset tavoitteet edellyttävät nopeaa ja voimakasta päästöttömän sähköntuotannon kasvua. Puhtaan vedyn hyödyntäminen esimerkiksi teräksen pelkistyksessä kutistaisi merkittävästi hiilidioksidipäästöjä, mutta samalla sähkön tarve yli kymmenkertaistuisi. Ratkaisupotentiaalia löytyy tuuli- ja aurinkovoiman lisärakentamisesta. Ydinvoiman rakentaminen on vedyntuotannon näkökulmasta kallista ja hidasta.

**Sähkötarpeen mittasuhteet**  
Suomen vetytavoite vaatisi uusiutuvan sähköntuotannon kasvua



\*Ennakkolukuja. Lähde: SVT

**Paljonko tuulivoimaa vetytavoite vaatisi?**  
Suomen 2030-tavoitteen mahdollistaminen tuulivoimalla vaatisi reilusti nykyistä suuremman tuulivoiman kapasiteetin  
**Gigawattia**

Suomen tuulivoiman kapasiteetti 2022

5,7

2030-tavoitteen vaatima sähköenergian määrä (50 TWh) tuulivoiman kapasiteettina

14

wattitunti (Wh) = energian yksikkö, watin teho tunnin ajan  
watti (W) = tehon yksikkö

Lähde: VTT ja Tuulivoimayhdistys

**Kehityssuunta:**

**Jos uusiutuvaa sähkön- tuotantoa halutaan lisätä, ratkaisuja tarvitaan:**

#### ◆ Tuulivoimayksiköiden lisäämiseen

Alueiden käyttötavoitteissa on lain mukaan huomioitava kokonaisturvallisuus, erityisesti maanpuolustuksen ja rajavalvonnan tarpeet. Tuulivoimahankkeita rajoittavat Puolustusvoimien ilmalavontatutkille asettamat laajat vaikutusalueet Suomen itärajan tuntumassa. Ellei tutkaongelmaan löydetä ratkaisua, voidaan maatuulivoimayksiköitä käytännössä lisätä lähinnä maan länsiosiin, millä on vaikutusta tuulivoiman tuotantopotentiaaliin. Merituulivoiman lisärakentaminen edellyttää kustannustason laskua ja teknologista kehitystä, mutta hankkeita on suunnitteilla runsaasti. Uusiutuvan sähköntuotannon lisärakentamista voitaisiin helpottaa selkeyttämällä ja nopeuttamalla lupaprosesseja sekä panostamalla sähkön siirtoyhteyksien rakentamiseen. Kun vaihtelevan energiantuotannon osuus kasvaa, tarvitaan uusia ratkaisuja energian varastointiin sekä riittävästä säätövoimasta huolehtimiseen.

#### ◆ Paikallisyhteisöjen riittävään osallistamiseen

Tuulivoimahankkeiden hyväksyttävyyttä voidaan parantaa vahvistamalla paikallisyhteisöjen osallisuutta. Tuulivoima-investointien lupaprosessien vauhdittamiseksi Suomessa on otettu käyttöön etusijamenettely. Sen riskinä on paikallisyhteisöjen osallisuuden jääminen toissijaiseksi sekä esimerkiksi valitusmahdollisuuksien heikkeneminen.

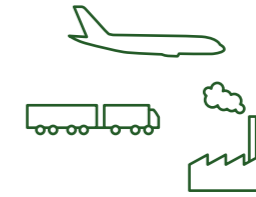
#### ◆ Aurinkovoiman roolin määrittelyyn

Aurinkovoima skaalautuu teoriassa hyvin vastaamaan kasvavaan uusiutuvan sähkön tarpeeseen. Tuotannon voimakas vuositaso vaihtelu tekisi aurinkovoimalla tuotettua vedystä kuitenkin merkittävästi tuulivoimalla tuotettua vetyä kalliimpaa. Tästä syystä puhtaan vedyn teollinen tuotanto ei voi perustua yksin aurinkovoimaan.

#### ◆ Tuotantoketjujen kestävyys

Sekä tuuli- että aurinkovoiman rakentamisessa tulee tarkastella tuotantoketjujen ympäristökuormitusta ja eettisyyttä. Tuulivoimatuotannon lisääntyessä tarvitaan ratkaisuja kriittisten raaka-aineiden saantiin ja kierrätykseen. Aurinkovoiman raaka-ainekomponenttien tuotanto keskittyy tällä hetkellä Kiinaan ja tuotantoprosesseissa on havaittu ihmisoikeusrikkomuksia, kuten pakko työvoimaa.

#### 2 Puhtaan vedyn käyttö vaatii kehitystyötä



Puhtaan vedyn hyödyntäminen uusissa teollisen mittakaavan käyttökohteissa edellyttää ratkaisuja moniin teknisiin ja tuotannollisiin kysymyksiin, jotka vaihtelevat käyttökohteen mukaan. Suomessa puhtaan vedyn keskeisiä uusia käyttökohteita voisivat olla lannoite- ja terästuotanto sekä liikenteen sähköpolttoaineet. Jokaisella käyttökohteella on omat haasteensa ratkaistavana.

**Kehityssuunta:**

**Puhtaan vedyn hyödyntämiseksi liikenteessä ratkaisuja tarvitaan:**

#### ◆ Suoran ja epäsuoran sähköistymisen rinnakkaiseen kehittämiseen

Liikenteen suora sähköistyminen tapahtuu tällä hetkellä vauhdilla. Raskaan henkilö- ja tavarankuljetusliikenteen suorassa sähköistymisessä haasteena on kuitenkin akkuihin tarvittavien kriittisten raaka-aineiden ja mineraalien suuri määrä. Vety ja siitä jatkojalostetut synteettiset polttoaineet voisivat tarjota tähän osaratkaisun, mikä edellyttäisi vedyn kohdalla jakeluverkon kehittämistä sähkölatausjärjestelmän rinnalla. Vedyn liikennekäyttöä voitaisiin rakentaa myös kaupunkikohtaisille kokonaisuuksille.

#### ◆ Vedyn käyttöön lento- ja laivaliikenteessä

Suora puhtaan vedyn käyttö lento- ja laivaliikenteessä vaatisi merkittävää rakenteellista kehitystä vedyn varastoinnissa, kuljetuksessa ja tankkaus-tekniikoissa. Puhtaasta vedystä voitaisiin jatkojalostaa kerosiinia lentoliikenteen poltto-aineksi. Laivaliikenteessä vedystä jalostettua ammoniakkia ja metanolia on myös mahdollista hyödyntää laajasti.

**Kehityssuunta:**

**Puhtaan vedyn hyödyntämiseksi laajasti teollisuudessa ratkaisuja tarvitaan:**

#### ◆ Tuotantoprosessien kehitykseen

Vetytelkistys teräsentuotannossa sekä power-to-x-menetelmät ovat esimerkkejä puhtaan vedyn käyttökohteista, jotka vaativat yhä teknistä kehitystyötä. Tarvitaan teollisia demonstraatiohankkeita, joilla varmistetaan uusien power-to-x-menetelmien toimivuus suuressa kokoluokassa. Metanolin ja ammoniakkin valmistuksessa ainoa ero on siinä, miten prosessissa käytetyt vety ja hiilidioksidi hankitaan. Teräsentuotannon prosessit vaativat merkittäviä muutoksia, jotta puhtaan vedyn hyödyntäminen niissä olisi mahdollista. Uutta teknologiaa olisi mahdollista viedä teollisen mittakaavan sovelluksiin tutkimus-, tuotekehitys- ja demonstraatiohankkeissa, jotka vaativat pitkäjänteistä rahoitusta.

#### ◆ Varastointiongelmiin

Vedyn hyödyntäminen raaka-aineena esimerkiksi teräs- ja kemianteollisuudessa edellyttää vedyn tasaista saantia, minkä vuoksi tarvitaan uusia teknisiä ratkaisuja vedyn siirtämiseen ja varastointiin. Edistyneimmät kokeilut, kuten Ruotsin Hybrit-hanke, ovat kuitenkin yhä pilotteja eivätkä vielä teollisen mittakaavan tuotantoa.

#### ◆ Vetyteollisuutta vahvistavien investointien ja tutkimuksen turvaamiseen

Puhtaan vedyn hyödyntäminen laajasti suomalaisessa teollisuudessa vaatii teollisilta toimijoilta riskinotto-kykyä. Investoinnit arvoketjun loppupäähän, erityisesti korkeamman jalostusasteen toimintaan, loisivat kysyntää vedyntuotantoon ja -jalostukseen. Uudet vedyntuotantoprosessit, kuten vedyn valokatalyyttinen valmistus vedestä, sekä vedyn varastointi ja jatkojalostus vaativat jatkuvaa panostamista tutkimukseen.

### 3 Vetytalouden hyödyt jakautuvat epätasaisesti

Uusiutuvan sähkön saatavuus ohjaa alueellisia investointeja vetyinfrastruktuuriin ja -teollisuuteen. Suomessa uusiutuva sähköntuotanto keskittyy erityisesti maan länsiosiin ja Lappiin Puolustusvoimien ilmailuvalvontatutuille asettamien vaikutusalueiden vuoksi. Ensimmäiset puhtaan vedyn arvoketjut syntyvät meillä todennäköisesti erityisesti Perämeren alueelle.



Kehityssuunta:  
**Kun vetytalous keskittyy maantieteellisesti, ratkaisuja tarvitaan:**

◆ **Alueiden tasavertaisen kehityksen tukemiseen**  
Puhtaan vedyn arvoketjujen maantieteellinen keskittyminen voi johtaa vetytalouden hyötyjen kasaantumiseen. Kehityksen negatiivisten vaikutusten minimointi edellyttää alueiden erilaisten lähtökohtien ja paikallisten tarpeiden huomioimista kansallisessa päätöksenteossa.

### ◆ Hajautettujen energia- ratkaisujen kehittämiseen

Vedyntuotannon epätasaista keskittymistä voidaan lievittää tukemalla paikallisia energia- ratkaisuja. Joissain osissa Suomea tuotanto voisi perustua esimerkiksi puu- ja muun biomassan tai aurinko- ja pienydinvoimaloiden käytölle. Bioperäisten raaka- aineiden suosiminen saattaa toisaalta lisätä kotimaisen puun kysyntää ja voimistaa metsien hakkuupainetta. Lisäksi bioperäisten raaka-aineiden kustannukset todennäköisesti ohjaavat vedyn tuotantoa aurinko- ja tuulivoimalla tuotetuksi.

### 4 Vedyntuotantoa tarkasteltava luonnonvarojen ja ekologisen kestävyyden näkökulmasta



Vedyntuotanto vaatii nykyisillä menetelmillä runsaasti energiaa. Jotkut puhtaan vedyntuotannon ratkaisut, esimerkiksi liikenteen epäsuora sähköistyminen, ovat energiankäytön hyötysuhteeltaan huonoja. Samalla EU:n energiatehokkuustavoitteet velvoittavat Suomen kutistamaan energian loppukäyttöään tuntuvasti vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi puhdas vedyntuotanto vaatii monia kriittisiä raaka-aineita, joilla on suuri taloudellinen merkitys, mutta joiden saatavuudessa on haasteita.

Kehityssuunta:  
**Kestävyyden näkökulmasta ratkaisuja tarvitaan:**

### ◆ Kriittisten raaka- aineiden riittävyyteen ja saatavuuteen

Vetytalouden teknologioissa käytetään monia kriittisiä ja strategisia raaka-aineita kuten harvinaisia maametalleja. Elektrolyyssimenetelmistä helppokäyttöisin (PEM) perustuu harvinaisten platinaryhmän metallien käytölle, jotka ovat ehtyvä luonnonvara. Kriittisten raaka-aineiden saatavuuteen ja tuotantoketjuihin liittyy geopoliittisia haasteita. Myös tuotantoketjujen ympäristö- ja yhteiskunnallisia vaikutuksia on tarkasteltava kokonaisvaltaisesti.

### ◆ Kiertotalouden liittämiseksi vedyntuotantoon

Vedyntuotannossa käytetystä energiasta noin 20–30 prosenttia menetetään hukkalämpönä, jota voitaisiin hyödyntää kaukolämpöverkossa, muun muassa rakennusten lämmittämässä ja teollisuudessa. Vedyn tuotantoprosessissa syntyvää happea voidaan puolestaan hyödyntää teollisuuden prosesseissa. Vedyntuotantoa lisättäessä onkin tärkeää integroida tuotanto energiajärjestelmän kokonaisuuteen.

### ◆ Vedyntuotannon aiheuttamiin maankäytön muutoksiin

Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen vedyllä ja sen jatkojalosteilla muuttaa maankäyttöä, millä on vaikutuksia paikallisten ekosysteemien toimintaan. Tutkimuksissa on huomattu esimerkiksi kriittisten raaka-aineiden saata- vuudesta vastaavan kaivannais- teollisuuden ja laajojen tuulivoima- puistojen negatiivinen vaikutus luonnon monimuotoisuuteen.

### ◆ Vedyntuotannon oikeaan mitoittamiseen osana energiajärjestelmän murrosta

Vety ja sen jatkojalosteet voivat olla hyödyllinen osa vihreän siirtymän keinovalikoimaa, mutta ne eivät yksin ole riittävä ratkaisu energiajärjestelmän murroksen ja vihreän siirtymän haasteisiin. Liian laajasti mitoitettu vety- talouden tavoittelu voi jopa hidastaa fossiilisten polttoaineista irtautumista, jos vedyn tai sähkö- polttoaineiden saatavuus jää asetettuja tavoitteita pienemmäksi tai mikäli vähäpäästöistä sähköä ei ole saatavilla tarpeeksi.

## 4. VALTION ROOLI VETYTALOUDEEN KEHITYKSESSÄ

Suomi on sitoutunut EU-tasolla moniin vedyn tuotantoa, jalostusta ja käyttöä ohjaaviin sopimuksiin ja säädöksiin, jotka raamittavat vetytalouden kehitystä. Kansallisilla ohjaukeinoilla voidaan puolestaan vahvistaa toimintaympäristön kannustavuutta.

**Puhtaan vedyn tuotantoa sekä markkinoiden kehittämistä voidaan edistää lainsäädännöllä,** joka tukee uusien ratkaisujen kehittämistä ja käyttöö- ottoa sekä takaa hankkeiden turvallisuuden. Esimerkiksi vetyvarastojen sijoittamisen tulevaa sääntelyä kehitettäessä olisi hyvä käydä keskustelua vaikutusalueiden tarkoi- tuksenmukaisesta laajuudesta. Säädöksiin perustuvalla vedyn käytöllä voitaisiin puolestaan pyrkiä turvaamaan investointeja tehneiden yritysten kassavirtaa.

**Vetyosaamista voidaan vahvistaa investoimalla jatkuvaan oppimiseen,** erityisesti energia-, sähkö- ja kemian tekniikassa työskentelevien täydennys- koulutukseen. Osaamista voidaan lisätä myös kansallisilla koulutushankkeilla sekä kasvattamalla koulutuspaikkojen määrää ammattikouluissa, ammattikorkeakouluissa ja yliopistoissa. Tutkimukseen sekä kehitys- ja innovaatio toimintaan panostamalla voidaan tukea vahvojen yritys-, yliopisto- ja tutkimus- laitosverkostojen muodostumista sekä edistää puhtaan vedyn käyttö- ja sovelluskohteiden teknologista kehitystä.

### Puhtaan vedyn merkityksestä tarvitaan yhteiskunnallista vuoropuhelua

Vedyntuotannon hyötyihin, riskeihin ja yleisesti yhteis- kunnallisiin vaikutuksiin liittyy monia arvovalintoja, jotka puolestaan liittyvät siihen, millaiseksi valtion rooli kehityksessä muodostuu. Yhteiskunnallista keskustelua olisi hyvä käydä muun muassa seuraavista teemoista:

- Euroopassa suunnataan runsaasti julkista tukea vetytalouteen. Asiantuntijat ovat erimielisiä siitä, onko tämä vihreän siirtymän näkökulmasta tehokasta verrattuna julkisen tuen kohdentamiseen esimerkiksi puhtaan energian yleiseen kehittämiseen ja käyttöönottoon.
- Puhdas vety nostaa pintaan uudenlaisia kysymyksiä kestävyiden näkökulmasta. Vedyntuotannossa ympäristökuormitus kohdistuu toimitusketjujen alkupäähän, todennäköisesti maantieteellisesti etäälle käyttökohteista. Tästä syystä tuotannon kestävyttä ja päästöttömyyttä on arvioitava kokonaisvaltaisesti.

**Puhtaan vedyn roolista osana laajempaa energiajärjestelmän murrosta ja fossiilitaloudesta irrottautumista tarvitaan ylipäänsä laajemmin jaettua ymmärrystä.**

Vuoropuhelun käynnistämiseksi valtio voisi koota keskeiset toimijat yhteen keskustelemaan kehityksen strategisesta suunnasta ja vedyn merkityksestä. Näin luotaisiin mahdollisuus päättäjien, elinkeino- elämän sekä tutkijayhteisön jakaman näkemyksen muodostumiselle puhtaan vedyn merkityksestä suomalaisessa yhteiskunnassa.

## LÄHTEET

- Carrara S, Bobba S, Blagoeva D, Alves Dias P, Cavalli A, Georgitzikis K, Grohol M, Itul A, Kuzov T, Latunussa C, Lyons L, Malano G, Maury T, Prior Arce A, Somers J, Telsnig T, Veeh C, Wittmer D, Black C, Pennington D, Christou M (2023). *Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study*. Office of the European Union: Luxembourg.
- Euroopan komissio (2020). *Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle: Vetystrategia ilmastoneutraalille Euroopalle COM(2020)301 final*. 8 heinäkuuta 2020.
- Euroopan komissio (2023a). *Communication on the European Hydrogen Bank (COM(2023)156)*. 16 maaliskuuta 2023.
- Euroopan komissio (2023b). *Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 and (EU) 2019/1020*. Brussels, 16 maaliskuuta 2023. COM(2023) 160 final, 2023/0079 (COD).
- Huhta R, Heininen A, Mäntynen J & Pajarre M (2023). *Vetylentämisen selvitys. Vedyn käyttömahdollisuudet energialähteenä ilmailussa ja vetylentämisen rooli liikennejärjestelmässä*. Traficomin tutkimuksia ja selvityksiä 2/2023. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2022). 'Summary for Policymakers', Teoksessa Shukla P R, Skea J, Slade R, Al Khouradje A, van

- Diemen R, McCollum D, Pathak M, Some S, Vyas P, Fradera R, Belkacemi M, Hasija A, Lisboa G, Luz S & Malley J, (toim.) *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- International Energy Agency, IEA (2019). *The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities*. OECD: Paris.
- International Energy Agency, IEA (2022). *World Energy Outlook 2022*. International Energy Agency: Paris.
- Räty, A. (2023). *Itäisen Suomen tuulivoimarakentamisen teostaminen*. Selvitysmies Arto Rädyn raportti. 15 maaliskuuta 2023.
- Sivill L, Bröckl M, Semkin N, Ruismäki A, Pilpola H, Laukkanen O, Lehtinen H, Takamäki S, Vasara P, & Patronen J (2022). *Vetytalouden mahdollisuudet ja rajoitteet*. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimus- toiminnan julkaisusarja 2022: 21.
- Suomen virallinen tilasto (SVT). *Energian bankinta ja kulutus*. Helsinki: Tilastokeskus.
- Tuulivoimayhdistys (2023). *Tuulivoimalat Suomessa: Toiminnassa olevat ja puretut voimalat*.
- Ueckerdt F, Bauer C, Dirnmaier A, Everall J, Sacchi R, Luderer G (2021). *Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation*. Nature Climate Change 11, 384–393.
- Valtioneuvosto (2023). *Valtioneuvoston periaatepäätös TEM/2023/14*. 9 helmikuuta 2023.



---

**SUOMALAINEN  
TIEDEAKATEMIA**



JANE JA AATOS  
ERKON SÄÄTIÖ