

# Energian siirtoverkot vetytalouden ja puhtaan energiajärjestelmän mahdollistajina – Skenaariot

Fingridin ja Gasgrid Finlandin yhteishankkeen skenaariot

23.05.2023

## Esipuhe

Fingridin ja Gasgrid Finlandin yhteishankkeessa selvitetään vetytalouden mahdollisia kehityskulkuja ja niiden vaikutuksia energiajärjestelmään. Yhteishanke on osa laajempaa Business Finlandin rahoittamaa HYGCEL (Hydrogen and Carbon Value Chains in Green Electrification) -hankekokonaisuutta, jonka julkisessa hankeosuudessa yliopistot ja yritykset tutkivat yhdessä energiamurroksen, energiajärjestelmän ja vetytalouden systeemitason vaikutuksia.

Tämä skenaarioreportti on jatkumoa viime vuonna toteutetulle [väliraportille](#) ja [skenaariokonsultaatiolle](#). Haluamme kiittää asiakkaita ja sidosryhmiä arvokkaasta palautteesta, jota saimme skenaariokonsultaatiossa. Tämä raportti kuvaa palautteen ja yhteishankkeen tutkimusten perusteella viimeistellyt skenaariot, joissa kuvataan ylätasolla, miten vetytalous voisi toteutua energiajärjestelmän kannalta. Näiden skenaarioiden perusteella teimme alustavia energiajärjestelmämallinnuksia, joiden avulla arvioitiin erilaisten infrastruktuuriratkaisujen merkitystä.

Skenaarioiden pohjalta lähdemme jatkamaan yhteistyössä selvityksiä siitä, mitä mallinnustulokset tarkoittavat Suomen energiainfrastruktuurin ja koko vetytalouden arvoketjun kannalta. Tavoitteena on löytää kustannustehokkaimmat infrastruktuurin kehityspotit Suomen energiajärjestelmälle erilaisissa tulevaisuuden skenaarioissa. Lisäksi keskiössä ovat vetyinfrastruktuurin erilaiset kehitysvaihtoehdot sekä energiainfrastruktuurien välinen sektori-integraatio.

Hankkeen loppuraportti valmistuu syksyllä 2023.

23.05.2023

## Sisältö

Esipuhe.....	2
1 Johdanto.....	4
Toimintaympäristö on merkittävän muutoksen keskellä.....	4
2 Skenaarioiden ajurina merkittävän uuden vientiteollisuuden syntyminen.....	7
2.1 Suomen vetytalouden kehityksen suuntaviivat – kolme skenaariota.....	7
2.1.1 Vahvaa alueellista vetytaloutta.....	9
2.1.2 Tehokas eurooppalainen vetymarkkina.....	10
2.1.3 Vetytalouden kärkimaa Suomi.....	10
2.2 Skenaarioiden mallinnus ja taustaoletukset.....	11
3 Skenaarioiden keskeiset mallinnustulokset.....	13
3.1 Vedyn tuotantomäärät, elektrolyyserikapasiteetit ja käyttö eri skenaarioissa – Puhdasta vetyä kotimaan käyttöön ja vientiin.....	13
3.1.1 Puhdasta vetyä kotimaiseen teollisuuteen ja P2X-vientituotteisiin.....	14
3.1.2 Vedyn vientimäärät vetykaasuna eri skenaarioissa.....	15
3.2 Sähköntuotannon kasvu eri skenaarioissa - Suomen edullinen tuulisähkö kilpailukyvyyn ajurina.....	16
3.3 Vetyvarastojen rooli eri skenaarioissa - Vedyn varastoinnilla joustoa energiajärjestelmään.....	17
4 Vetytalouden investoinnit ja markkinat.....	19
4.1 Valtavilla investoinneilla kohti puhdasta energiajärjestelmää.....	19
4.2 Investoinneilla kiinni miljardien arvoiseen vetymarkkinaan.....	20
5 Siirtoinfrastruktuuri mahdollistaa investoinnit Suomeen.....	22
5.1 Energian siirtotarve moninkertaistuu nykyisestä.....	22
5.1.1 Vedyn kulutuksen ja uusiutuvan sähkön tuotannon sijainti Suomessa.....	23
5.1.2 Arvio skenaarioissa tarvittavasta energiansiirrosta Suomessa.....	25
6 Johtopäätökset.....	28

23.05.2023

# 1 Johdanto

Suomella on hyvät edellytykset olla vetytalouden edelläkävijä, sillä meiltä löytyy muun muassa vahva energiainfrastruktuuri sekä kilpailukykyiset uusiutuvan energian resurssit puhtaan vedyn kustannustehokkaaseen tuottamiseen. Puhtaalla vedyllä sekä sen jatkojalosteilla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita teollisuudessa ja liikenteessä, mikä edesauttaa fossiilitaloudesta irti pääsemistä. Teollisuuden investoinnit vihreään talouteen tuovat Suomelle kasvua ja edesauttavat Suomen hiilineutraaliuden saavuttamista.

Syksyn 2021 ja kevään 2022 aikana Gasgrid ja Fingrid ovat hahmotelleet vetytalouden kehitykseen liittyviä skenaarioita. Skenaariotyötä varten haastattelimme syksyllä 2021 useita suomalaisia yrityksiä selvittääksemme heidän näkemyksiään vetytaloudesta. Yritysten näkemyksissä korostui tarve kehittää sähkö- ja vetyinfrastruktuuria yhtäaikaista ja kokonaisuus huomioiden. Suomalaiset yritykset näkivät vetyverkolla useita mahdollisia rooleja Suomen teollisuudessa. Toimijat toivat esiin laajan yhteistyön merkitystä sekä infrastruktuurin kehityksessä että teollisuuden arvoketjujen muodostamisessa.

Kesäkuussa 2022 esittelimme asiakkaille ja sidosryhmille hankkeen skenaarioluonnokset ja keräsimme niistä palautetta konsultaatiossa, joka jatkui elokuuhun saakka. Saimme konsultaatioon keskeisiltä alan toimijoilta erittäin hyvää palautetta, jota hyödynnettiin skenaarioiden kehittämisessä. Tässä raportissa esittelemme viimeistellyt skenaariot sekä järjestelmämallinnusten keskeiset tulokset. Viimeistelyjen skenaarioiden pohjalta lähdemme jatkamaan yhteistyössä selvityksiä siitä, mitä mallinnustulokset tarkoittavat Suomen energiainfrastruktuurin ja koko vetytalouden arvoketjun kannalta. Julkaisemme yhteishankkeen loppuraportin syksyllä 2023.

## Toimintaympäristö on merkittävän muutoksen keskellä

Yhteishankkeen skenaarioiden tarkoituksena on löytää kustannustehokkaimmat infrastruktuurin kehityspolut Suomen energiajärjestelmälle erilaisissa tulevaisuuden skenaarioissa. Skenaarioiden keskiössä ovat vetyinfrastruktuurin erilaiset kehitysvaihtoehdot sekä vety-, kaasu- ja sähkönsiirtoinfrastruktuurien välinen sektori-integraatio. Infrastruktuurin kehitystarpeiden kokonaisvaltainen analysointi on tärkeää, jotta tulevaisuuden energiajärjestelmästä saadaan kustannustehokas ja jotta se tukisi kansallista kilpailukykyä parhaalla mahdollisella tavalla.

Hankkeen käynnistymisen jälkeen näkymä vedyn roolista tulevaisuuden energiajärjestelmässä on voimistunut jatkuvasti, ja vedystä on tullut laajasti hyväksytty perusoletus energia-alan skenaarioissa. Vetyteollisuuden kasvumahdollisuudet perustuvat siihen, että uusiutuvalla sähköllä tuotettu vety mahdollistaa fossiilisten raaka-aineiden ja polttoaineiden käytön lopettamisen monilla teollisuuden ja liikenteen sektoreilla. Tähän perustuu myös Euroopan komission toukokuussa 2022 julkaisema REPowerEU-suunnitelma<sup>1</sup>, jonka tavoitteena on vähentää fossiilisen venäläisen energian tuontia sekä lisätä merkittävästi uusiutuvaa energiantuotantoa ja nopeuttaa uusiutuvan vedyn käyttöönottoa EU:ssa.

---

<sup>1</sup> REPowerEU (europa.eu)

23.05.2023

REPowerEU-suunnitelmassa on asetettu tavoitteeksi, että EU-maat tuottavat 10 Mt (333 TWh) puhdasta vetyä ja lisäksi tuovat 10 Mt vetyä unionin ulkopuolelta vuoteen 2030 mennessä. Yhteenlaskettuna tämä tarkoittaisi noin 670 TWh suuruista Euroopan vetymarkkinaa. Tässä muutoksessa on kyse energiaomavaraisuuden parantamisesta, kauppavirtojen muutoksista sekä tavoitteesta lopettaa Euroopan riippuvuus Venäjän fossiilisista polttoaineista. Siirtymä fossiilisesta uusiutuvaan energiaan vaatii syvää sektori-integraatiota, joka asettaa vaatimuksia sekä vedyn että sähkön siirtoinfrastruktuurin kehitykselle.

Gasgrid on osallistunut aktiivisesti European Hydrogen Backbone (EHB) -ryhmän eli 31 eurooppalaisen energiainfrastruktuuriyhtiön aloitteeseen. EHB-ryhmä edistää visiota yhtenäisestä vedyn siirtoinfrastruktuurin ja markkinan kehityksestä. EHB-analyysissä on havaittu, että Pohjoismaissa ja Baltiassa on paitsi erinomaiset edellytykset vetyä käyttävän teollisuuden syntyymiseen, myös mittava tuulivoiman lisärakentamispotentiaali. Alueella voitaisiin tulevaisuudessa tuottaa merkittävä määrä vetyä kotimaisen teollisuuden tarpeisiin sekä viedä huomattavia määriä vetyä ja sähköpolttoaineita sekä muita vetyjalosteita Euroopan ja maailman markkinoille.

EHB-ryhmä on toukokuussa 2022 julkaissut vision viidestä suuren kokoluokan vedyn siirtokäytävästä, jotka vastaavat RePowerEU -suunnitelman tavoitteisiin. Analyysin mukaan Pohjoismaiden ja Baltian vedyntuotantopotentiaali on jopa 127 TWh vuodessa jo vuonna 2030. Tämä on noin 20 % REPowerEU 2030:n kokonaistavoitteesta ja noin 38 % EU:ssa tuotettavan vedyn tavoitteesta.<sup>2</sup> Toisaalta Suomen uusiutuvan energian resursseilla ja meneillään olevilla uusiutuvan energian hankkeilla puhdasta vetyä voitaisiin tuottaa kotimaassa jopa yli 300 TWh<sup>3</sup>, mikä vastaisi noin 45 % osuutta arvioidusta Euroopan markkinasta vuonna 2030.

Valtioneuvoston vedyn periaatepäätöksessä on arvioitu, että markkinaolosuhteiden kehittyessä suotuisasti Suomella on edellytykset tuottaa vähintään kymmenen prosenttia EU:n päästöttömästä vedystä vuonna 2030.<sup>4</sup> Suomen etuna uusiutuvan vedyn tuotannossa on aurinko- ja tuulivoiman kilpailukyky, kuten alla olevissa kuvaajissa esitetty Bloombergin toteuttama pitkäaikaisten sähkönostosopimusten hintavertailu osoittaa. Vertailun mukaan hinnat ovatkin Euroopassa kolmen edullisimman maan joukossa (Kuva 1). PPA-sopimushinnat ovat todennäköisesti nousseet kaikissa maissa kevään 2022 jälkeen, mutta oletettavasti Suomen suhteellinen asema muihin maihin verrattuna on säilynyt samankaltaisena.

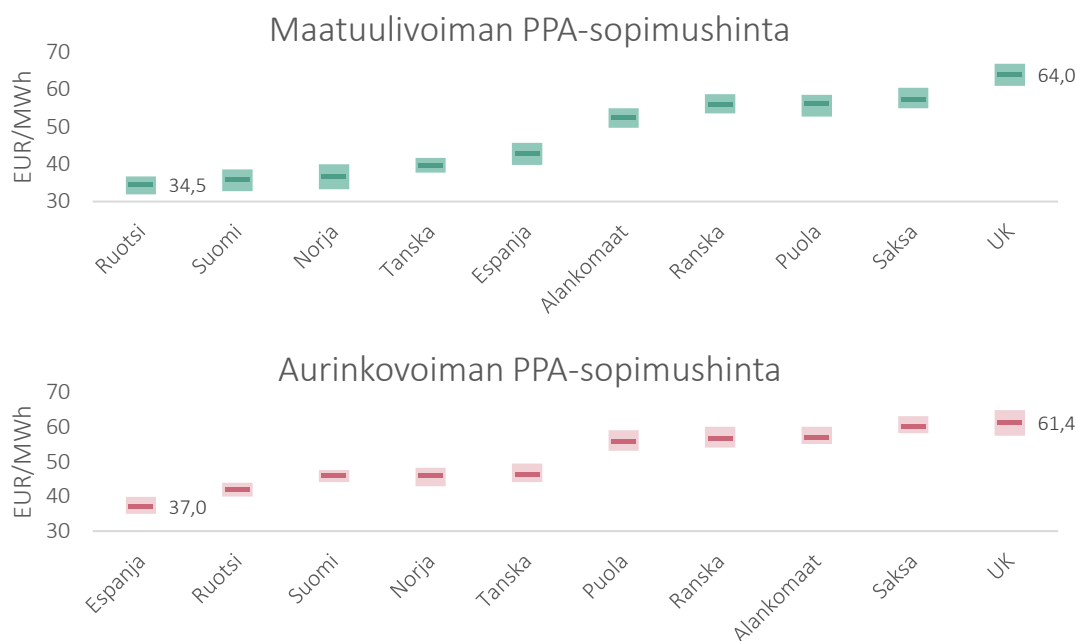
---

<sup>2</sup> [Five hydrogen supply corridors for Europe in 2030](#). (EHB, 2022).

<sup>3</sup> [Väliraportti: Energian siirtoverkot vetytalouden ja puhtaan energiajärjestelmän mahdollistajina](#). (Fingrid, Gasgrid, 2022)

<sup>4</sup> [Hallitus hyväksyi periaatepäätöksen vedystä - Suomella edellytykset valmistaa 10 prosenttia EU:n vihreästä vedystä 2030](#). Tiedote. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 9.2.2023)

23.05.2023



Kuva 1 Suomen maatuulivoiman PPA-sopimushinta (power purchase agreement) on vuoden 2022 alkupuoliskolla ollut Euroopan toiseksi edullisin ja aurinkovoiman kolmanneksi edullisin<sup>5</sup>

Uusiutuvalle sähköllä tuotetusta puhtaasta vedystä sekä siitä jatkojalostetuista tuotteista, joihin tässä raportissa viitataan Power-to-X tai P2X-tuotteina, voi kasvaa Suomelle merkittävä vientiteollisuus. Suomesta löytyy resursseja uusiutuvan sähkön tuotantoon, vahva sähkön kantaverkko, osaavaa työvoimaa, sekä useita yrityksiä toimimaan osana vetytalouden arvoketjuja. Siten Suomella on mahdollisuus kehittyä vetytalouden saralla kokoaan suuremmaksi. Suomen kilpailukyvyyn edistämiseksi on kuitenkin tärkeää, että energiainfrastruktuuria kehitetään kokonaisvaltaisesti tulevaisuuden energiansiirtotarpeet huomioiden. Edistämällä vetytalouteen liittyvien investointien sijoittumista Suomeen, voi Suomi saavuttaa merkittävän markkinaosuuden Euroopan vetyteollisuudesta.

<sup>5</sup> Wind and Solar Corporate PPA prices Rise Up To 16.7% Across Europe (BloombergNEF, 28.4.2022)

23.05.2023

## 2 Skenaarioiden ajurina merkittävän uuden vientiteollisuuden syntyminen

Tässä luvussa esitellään Fingridin ja Gasgridin yhteishankkeen skenaariot. Skenaarioihin on pyritty valitsemaan kunnianhimoiset kasvuoletukset vetytalouden kehityksestä, koska ne haastavat energiajärjestelmän kehittämistä voimakkaasti. Haastavat skenaariot auttavat varmistamaan, että siirtoinfrastruktuurin kehittämistarpeita arvioidaan kattavasti ja ajoissa. Varsinaiset investoinnit infrastruktuuriin toteutuvat tunnistetun tarpeen ja konkreettisten hankkeiden kautta. Skenaariot luovat lisäksi kuvaa Suomen suuresta potentiaalista ja roolista osana Euroopan vetytaloutta ja tuovat näin ollen esiin myös vetytalouden laajempia yhteiskunnallisia vaikutuksia.

Jo tämän skenaariotyön yhteydessä on havaittu, että Fingridin saamien liityntäkyselyiden tahti on viimeisen vuoden aikana huomattavasti kiihtynyt<sup>6</sup> ja Suomessa on käynnistetty useita kymmeniä vetyyn keskittyviä hankkeita<sup>7</sup>. Kiihtynyt kehitystahti johtaa siihen, että lyhyelläkin aikavälillä voi tapahtua merkittäviä energiajärjestelmään vaikuttavia muutoksia, joita voi olla hankala ennustaa.

Aiemmin julkaistuihin skenaarioluonnoksiin<sup>8</sup> nähden suurimpina muutoksina ovat Suomen ja Keski-Euroopan suurempi vedyn kysyntä, jonka kiihdyttävänä ajurina toimii tavoite irtautua entistä nopeammin kolmansista maista tuotavasta fossiilienergiasta. Tästä syystä myös vetyputkiyhteyden rakentaminen Suomesta Keski-Eurooppaan mahdollistettiin jo vuoteen 2030 mennessä kahdessa kolmesta skenaarioista.

### 2.1 Suomen vetytalouden kehityksen suuntaviivat – kolme skenaariota

Taulukossa 1 kuvataan Gasgridin ja Fingridin kolmen skenaarion suuntaviivat Suomen vetytalouden kehityksestä. Skenaarioissa tutkitaan Suomen energiajärjestelmän kannalta erilaisia kehitysvaihtoehtoja energiansiirtoinfrastruktuurille. Skenaarioissa keskeisenä muuttujana on oletus Suomen roolista vetymarkkinan arvoketjussa: Kehittyykö Suomesta merkittävä P2X-tuotteiden, vetykaasun, tai niiden molempien viejä Euroopan markkinoiden kasvavaan tarpeeseen? Tämän muuttujan perusteella skenaarioihin on muodostettu ulkomaan vientiin ja tuontiin suuntautuva vetyinfrastruktuuri. Kansallisen ja kansainvälisen vetyinfrastruktuurin muodostuminen vaikuttaa laajasti myös muuhun energiajärjestelmään (kts. Luku 3.3).

Perusoletuksena skenaarioissa on, että Suomi saavuttaa kaikissa skenaarioissa hiilineutraalisuustavoitteensa ja puhtaan vedyn tuotanto Suomessa kasvaa voimakkaasti. Vedyntuotantoon ja P2X-tuotteisiin käytettävän sähkön kysynnän kasvun lisäksi myös muun sähkön kysynnän arvioidaan kasvavan. Kysyntä kasvaa liikenteessä, lämmityksessä ja nykyisessä teollisuudessa, kun fossiilisia polttoaineita korvataan sähköllä. Lisäksi Suomeen oletetaan syntyvän uutta sähköintensiivistä teollisuutta, kuten akkujen valmistusta ja datakeskuksia. Näiden sektorien sähkön käytön on oletettu kehittyvän samalla tavalla kaikissa skenaarioissa.

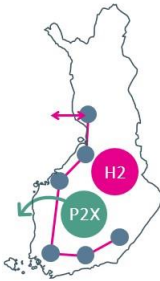

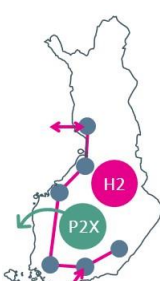
<sup>6</sup> Fingridin sähköjärjestelmävisio 2023 (Fingrid, 2023)

<sup>7</sup> Suomen vihreät investoinnit – päivittyvä dataikkuna (Elinkeinoelämän keskusliitto, 8.5.2023)

<sup>8</sup> Skenaarioluonnokset: Energian siirtoverkot vetytalouden ja puhtaan energiajärjestelmän mahdollistajina (Fingrid, Gasgrid; 2022)

23.05.2023

Taulukko 1. Kuvaus Gasgridin ja Fingridin vetytalouden skenaarioista sekä havainnolliset vedyn alueelliset siirtoyhteydet eri skenaarioissa

SKENAARIO	KUVAUS
<b>Vahvaa alueellista vetytaloutta</b> 	<p><b>Sähkön tuotanto ja siirto</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Suomeen rakennetaan paljon uutta uusiutuvaa sähköntuotantoa, painopiste maatuulivoimassa</li> <li>Suunnitellut sähkön rajasiirtoyhteydet rakennetaan Pohjois-Ruotsiin ja Viroon</li> </ul> <p><b>Vedyn tuotanto ja käyttö</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Suomen nykyinen vetyä käyttävä teollisuus siirtyy puhtaaseen vetyyn</li> <li>Suomesta kehitty merkittävä P2X-tuotteiden viejämaa</li> </ul> <p><b>Vedyn siirtoinfrastruktuuri</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rajat ylittävää vedyn siirtoinfrastruktuuria rakennetaan Pohjois-Ruotsiin</li> </ul> <p><b>Vedyn varastointi</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Suomeen rakennetaan useita vetyvarastoja</li> <li>Suomi ei voi hyödyntää Keski-Euroopan suuria vetyvarastoja, koska tarvittavaa vedynsiirtoinfrastruktuuria ei skenaariossa rakenneta</li> </ul>
<b>Tehokas eurooppalainen vetymarkkina</b> 	<p><b>Sähkön tuotanto ja siirto</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Suomeen rakennetaan paljon uutta uusiutuvaa sähköntuotantoa, painopiste maatuulivoimassa</li> <li>Suunnitellut sähkön rajasiirtoyhteydet rakennetaan Pohjois-Ruotsiin ja Viroon</li> </ul> <p><b>Vedyn tuotanto ja käyttö</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Suomen nykyinen vetyä käyttävä teollisuus siirtyy puhtaaseen vetyyn</li> <li>Suomesta kehitty merkittävä vedyn viejämaa</li> </ul> <p><b>Vedyn siirtoinfrastruktuuri</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Vedyn laajamittaista vientiä varten rakennetaan putkisiirtoinfrastruktuuria sekä Pohjois-Ruotsiin että Keski-Eurooppaan</li> </ul> <p><b>Vedyn varastointi</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Suomeen rakennetaan vetyvarastoja</li> <li>Suomi voi hyödyntää Keski-Euroopan suuria vetyvarastoja vedynsiirtoinfrastruktuurin myötä</li> </ul>
<b>Vetytalouden kärkimaa Suomi</b> 	<p><b>Sähkön tuotanto ja siirto</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Suomeen rakennetaan erittäin paljon uutta uusiutuvaa sähköntuotantoa, painopiste maatuulivoimassa</li> <li>Suunnitellut sähkön rajasiirtoyhteydet rakennetaan Pohjois-Ruotsiin ja Viroon</li> </ul> <p><b>Vedyn tuotanto ja käyttö</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Suomen nykyinen vetyä käyttävä teollisuus siirtyy puhtaaseen vetyyn</li> <li>Suomesta kehitty erittäin merkittävä vedyn ja P2X-tuotteiden viejämaa</li> </ul> <p><b>Vedyn siirtoinfrastruktuuri</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Vedyn laajamittaista vientiä varten rakennetaan putkisiirtoinfrastruktuuria sekä Pohjois-Ruotsiin että Keski-Eurooppaan</li> </ul> <p><b>Vedyn varastointi</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Suomeen rakennetaan vetyvarastoja</li> <li>Suomi voi hyödyntää Keski-Euroopan suuria vetyvarastoja vedynsiirtoinfrastruktuurin myötä</li> </ul>



23.05.2023

Skenaarioissa puhtaalla vedyllä korvataan kotimaisen teollisuuden nykyisin käyttämä harmaa vety, ja lisäksi sitä käytetään esimerkiksi fossiilivapaan teräksen ja sähköpolttoaineiden valmistukseen. Kotimaan kysynnän kattamisen lisäksi Suomesta kehittyy merkittävä tekijä eurooppalaisella vetymarkkinalla ja valtaosaa kysynnästä ajaa lopulta vienti joko jatkojalostettuina tuotteina ja/tai vetykaasuna Euroopan markkinoiden tarpeeseen.

Yhteiskunnan sähköistyminen vaatii sähkön siirtoyhteysien laajaa vahvistamista niin Suomen sisäisen kuin rajat ylittävän kapasiteetin osalta. Kaikissa skenaarioissa rakenteilla oleva Aurora Line rajasiirtoyhteys Pohjois-Ruotsin ja Suomen välillä on käytössä ja 2030-luvulla rakennetaan Aurora Line 2 ja Estlink 3 rajasiirtoyhteydet.

Kaikissa skenaarioissa on oletettu vetyputkiyhteyden olevan käytössä Suomessa pohjois-eteläsuunnassa sekä Suomen ja Ruotsin välillä vuodesta 2030 eteenpäin. Vetyputken siirtokapasiteetiksi on oletettu 13 GW vetyä, mikä vastaa halkaisijaltaan 1,2 metrin putkea. Putkiyhteyden kapasiteetti oli skenaarioluonnoksissa 7,2 GW perustuen Bothnian Bay Hydrogen Valley -selvityksessä<sup>9</sup> käytettyihin putkikokoihin, mutta vedyn kysynnän kasvun myötä suuremmalle putkelle on tarvetta etenkin vuonna 2040. Lisäksi *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* sekä *Vetytalouden kärkimaa Suomi* -skenaarioissa rakennetaan Suomesta Keski-Eurooppaan suuntautuva putkiyhteys vuoteen 2030 mennessä, jonka siirtokapasiteetiksi on asetettu 13 GW vetyä perustuen European Hydrogen Backbone -selvitykseen<sup>10</sup>.

Seuraavissa luvuissa skenaarioita ja niiden oletuksia on kuvattu tarkemmin kunkin skenaarion osalta.

### 2.1.1 Vahvaa alueellista vetytaloutta

*Vahvaa alueellista vetytaloutta* -skenaariossa vedyn kysyntää ajaa etenkin Suomen kehittyminen merkittäväksi P2X-tuotteiden, kuten sähköpolttoaineiden, viejämaaksi. Suomeen syntyy paljon uutta teollisuutta vedyn tuotannon ja jatkojalostamisen ympärille paikallisiin vetyklustereihin. Kotimaan teollisuuden tarpeisiin tuotetaan puhdasta vetyä hyödyntämällä etenkin suomalaista maatuulivoimaa, mikä vähentää Suomen nykyisenkin teollisuuden päästöjä.

Tässä skenaariossa Suomen sisäisen energiansiirtoinfrastruktuurin lisäksi ei rakenneta vedyn putkisiirtoyhteyksiä Keski-Eurooppaan, mutta rakennetaan Perämeren alueelle vedyn putkisiirtoyhteys Pohjois-Ruotsiin. Pohjois-Ruotsissa vedyn kysyntä kasvaa myös merkittävästi, kun vetyä käytetään muun muassa raudan suorapelkistykseen terästeollisuutta varten. Siirtoyhteyden tarvetta on kartoitettu muun muassa LUT-yliopiston selvityksessä, jossa rajat ylittävän putken siirtokyvyyksi on visioitu 7.2 GW vetyä<sup>9</sup>. Perämeren alueella on Gasgrid Finlandin ja Nordion Energien yhteinen Nordic Hydrogen Route – hanke, jossa on meneillään selvitystyö Perämeren alueen rajat ylittävistä vetyinfrastruktuurista<sup>11</sup> ja siirtokapasiteetin tarpeesta.

Pohjoismaisen vetyvarastoinnin tarve on *Vahvaa alueellista vetytaloutta* -skenaariossa suurin, sillä Suomen vetyjärjestelmää ei ole yhdistetty Keski-Euroopan kausiluonteisen varastoinnin mahdollistaviin suolakiviluoliin. Vedyn varastointi on tarpeellista, jotta vedyn tuotantoa elektrolyysillä voidaan ohjata

<sup>9</sup> [Bothnian Bay Hydrogen Valley – Research report](#). LUT Scientific and Expertise Publications 134. (Karjunen, et al., 2021)

<sup>10</sup> [Extending the European Hydrogen Backbone](#) (EHB, 2021)

<sup>11</sup> <https://nordichydrogenroute.com/fi/hanke/>

23.05.2023

joustavasti vaihtelevan uusiutuvan tuotannon ja hinnan mukaan, mutta vedyn käyttö voi pysyä tasaisena ympäri vuoden. Kotimaisia vetyvarastoja rakennetaan skenaariossa suuri määrä tämän mahdollistamiseksi.

## 2.1.2 Tehokas eurooppalainen vetymarkkina

*Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* -skenaariossa korvataan harmaa vety sekä vastataan terästeollisuuden tarpeisiin kotimaassa, mutta P2X-teollisuus ei kehity vedyn tuotannon kasvua vastaavalla tavalla. Vedyntuotannon kasvua ajaa sen sijaan etenkin vetykaasun vientimahdollisuudet putkiyhteyttä pitkin muualle Eurooppaan, etenkin vuoteen 2040 mennessä.

Suomesta rakennetaan vastaava vedyn putkiyhteys Pohjois-Ruotsiin kuin *Vahvaa alueellista vetytaloutta* -skenaariossa. Ruotsissa vedyn kysyntä kasvaa Suomea nopeammin, jolloin vienti pohjoisen rajansiirtoyhteyden kautta Ruotsiin toimii Suomen vetytalouden kasvun nopeuttajana. Itämeren alueen läpi rakennetaan myös suuri putkiyhteys Keski-Eurooppaan vuoteen 2030 mennessä. Sen myötä vientimäärät kasvavat etenkin pidemmällä aikavälillä huomattavasti. Suomen vetytalouden ajurina toimii siten Itämeren alueen ja Keski-Euroopan puhtaan vedyn suuri kysyntä. Tähän kysyntään ei saada vastattua yhtä kustannustehokkaasti Keski-Euroopan uusiutuvan energian resursseilla kuin Suomen edullisella maatuulivoimalla.

Vedyn siirtoinfrastruktuuri Itämeren alueen läpi Keski-Eurooppaan mahdollistaa alueen kaasuväylien hyödyntämisen. Muualla Euroopassa on jo suuria kaasuväylien, kuten suolakiviluolia, käytössä maakaasun varastointiin. Suurten suolakiviluolien oletetaan olevan hyödynnettävissä myös vedyn varastointiin hyvin alhaisella kustannuksella, ja Itämeren putkiyhteyden avulla niiden tarjoamaa joustavuutta saadaan hyödynnettyä myös Suomessa. Tämä vähentää kotimaisen vedyn varastoinnin tarvetta ja kannattavuutta.

## 2.1.3 Vetytalouden kärkimaa Suomi

*Vetytalouden kärkimaa Suomi* -skenaariossa yhdistyvät muiden skenaarioiden kysyntäajurit. Suomeen syntyy vahvaa kotimaan kysyntää kuten *Vahvaa alueellista vetytaloutta* -skenaariossa, minkä lisäksi Suomi vastaa Keski-Euroopan puhtaan vedyn kysyntään viennillä kuten *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* -skenaariossa.

Vientiä varten skenaariossa rakennetaan putkiyhteydet Pohjois-Ruotsiin ja Keski-Eurooppaan, jotka osaltaan myös auttavat energiajärjestelmän joustavuudessa ja vähentävät kotimaisen varastokapasiteetin tarvetta.

Skenaariossa Suomessa tuotetaan erittäin paljon puhdasta vetyä, mikä vaatii vastaavasti paljon puhdasta sähköntuotantoa. Tuotannon kasvua rajoittaa oletus, että maatuulivoimaa voidaan rakentaa Suomeen korkeintaan 4 GW vuodessa, mikä vastaa noin kaksinkertaisesti ennakoitua lähivuosien rakentamisvauhtia. Tämä tarkoittaisi, että Suomen tuulivoimakapasiteetti voisi kasvaa noin 60 gigawattiin vuoteen 2040 mennessä. Skenaariossa hyödynnetään asetettujen rajoitteiden puitteissa kaikki rakennettavissa oleva maatuulivoima ja sen lisäksi rakennetaan merituuli- ja aurinkovoimaa.

23.05.2023

## 2.2 Skenaarioiden mallinnus ja taustaoletukset

Skenaarioiden mallinnuksessa tavoitteena on ennakoida markkinaehtoisesti tehtävät investoinnit sähkön ja vedyn tuotantoon, mikäli toimintaympäristö kehittyisi skenaariossa kuvatulla tavalla. Hankkeen skenaarioiden mallinnus on tehty AFRY:n BID3-sähkömarkkinamallilla<sup>12</sup>, joka on käytössä Fingridillä myös laajemmin. Mallin avulla analysoidaan markkinan toimintaa sekä tuntitasolla että erilaisten tuotanto- ja kulutuslaitosten investointihorisonttien tasolla. Mallinnuksessa on huomioitu Itämeren alue sekä pääosa Keski- ja Länsi-Euroopasta. Siten esimerkiksi vedyn vienti Suomesta edellyttää, että Suomessa tuotettu vety olisi vientihetkellä edullisempaa kuin kohdemaassa tuotettu vety.

Vedyn kotimainen kysyntä on määritetty skenaarioittain edellä Luvussa 2.1 esitettyjen kehityspolkujen mukaan. Ruotsin vedyn kysyntää on arvioitu perustuen mm. Energiforsk<sup>13</sup> ja Fossilfritt Sverige<sup>14</sup> -raportteihin muokattuna siten, että vedyn ja vetyjalosteiden viennin kysyntäajurit olisivat Suomessa ja Ruotsissa samankaltaiset. Muiden Euroopan maiden vedyn kysyntä on määritetty perustuen ENTSO-E:n skenaarioon<sup>15</sup>. ENTSO-E:n skenaariossa ei ole huomioitu viimeaikaisia toimintaympäristön muutoksia, jonka vuoksi skenaarioihin on päivitetty mm. RePowerEU-ohjelman vaikutukset puhtaan vedyn ja uusiutuvien määriin.

Sähkön tuotantokapasiteetin kehityksen lähtökohtana on skenaarioissa pyritty huomioimaan uusiutuvalla sähköntuotannolle asetetut kansalliset minimitalvotteen eri Euroopan maissa. Kansallisten tavoitteiden saavuttamiseen tarvittavia investointeja oletetaan tarvittaessa tuettavan, mikäli ne eivät näyttäydä markkinaehtoisesti kannattavilta. Toisaalta skenaarioissa on määritetty myös enimmäismäärät uusiutuvan sähköntuotannon kapasiteetille ja vuotuiselle rakentamisnopeudelle, johon maiden on oletettu korkeimmillaan pystyvän. Nämä enimmäismäärät tulevat vastaan markkinaehtoisilla investoinneilla etenkin Keski-Euroopassa, mikä heijastaa uusiutuvan sähköntuotannon resurssien riittävyyden haasteita verrattuna korkeaan kysyntään alueella.

Suomessa tuotannon kasvua rajoittaa oletus, että maatuulivoimaa voidaan rakentaa korkeintaan 4 GW vuodessa. Itä-Suomen tutkavalvonnan rajoitteiden on kuitenkin oletettu ratkeavan, jolloin maatuulivoimaa saa rakentaa myös vapaammin Itä-Suomeen. Tämä mahdollistaa Suomen maatuulivoimapotentiaalin maksimaalisen hyödyntämisen. Tuulivoiman maantieteellinen hajauttaminen parantaa myös kannattavuutta, sillä tuulisuuden paikallinen vaihtelu parantaa tuulivoimainvestointien kannattavuutta. Samalla tuulivoiman tuotanto kokonaisuudessaan näyttää tasaisempaa, kun tuotantoa saadaan hajautettua tuuliolosuhteiltaan erilaisille alueille.

Markkinaehtoiset investoinnit tuuli- ja aurinkovoimaan, elektrolyysereihin sekä vetyvarastoihin on määritetty siten, että investointien saama käyttökate tukkumarkkinoilta kattaisi tasoitetut investointikustannukset sekä pääoman tuottovaatimuksen<sup>16</sup>. Sähkön ja vedyn tuotannon, kulutuksen ja

<sup>12</sup> <https://afry.com/en/service/bid3-power-market-modelling>

<sup>13</sup> [The role of gas and gas infrastructure in Swedish decarbonisation pathways 2020-2045](#). (Energiforsk, 2021)

<sup>14</sup> [Strategy for fossil free competitiveness – Hydrogen](#). (Fossil Free Sweden, 2021)

<sup>15</sup> [Ten Year Network Development Plan 2022 – Scenario report](#) (ENTSO-E, 2022)

<sup>16</sup> Oletuksena pääoman tuottovaatimukselle 5 % reaalisesti

23.05.2023

varastoinnin optimointi tapahtuu laskentamallissa alueiden laajuisella yhteismarkkinalla, jonka simuloinneissa on oletettu täydellinen kilpailu sekä 10 päivän aikahorisontilla täydellinen informaatio.

Oletukset sähkön tuotannon investointi- sekä käyttö- ja kunnossapitokustannuksista perustuvat pääosin edellä mainittuun ENTSO-E:n skenaarioon. Uusiutuvien maa- ja merituulivoiman sekä aurinkovoiman investointikustannukset laskevat, mutta näistä kilpailukykyisimpänä pysyy maatuulivoima. Investoinneissa on huomioitu liittymiskustannukset, jotka ovat esimerkiksi merituulivoimalle kalliimmat kuin maatuulivoimalle.

Elektrolyysiteknologioiden pääkategoriat ovat alkali (ALK), polymeerimembraani (PEM) sekä kiinteäoksidikemmo (SOEC). Mallinuksissa elektrolyysille on valittu 70 % hyötysuhde ja kustannuskehitys alkali-elektrolyysin mukaan. Arvio kustannuskehityksestä on koottu mm. Suomen vetytielkartassa käytetystä IEA:n selvityksestä<sup>17</sup> sekä muista lähteistä<sup>18,19</sup>.

Vetyä voidaan varastoida esimerkiksi suolakiviluolissa, kalliokiviluolissa, terästankeissa ja vetyputkissa. Näistä etenkin suuremmat luolaratkaisut voivat olla kustannustehokas ja pidempiaikaiseen energian varastointiin sopiva ratkaisu verrattuna esimerkiksi sähkövarastoihin, joiden kapasiteetti on yleensä rajallinen vastaamaan pidempiaikaiseen jouston tarpeeseen kustannussyistä<sup>20</sup>. Kustannustehokkaimmaksi, suuren mittakaavan vedyn varastointimuodoksi Suomessa on oletettu kalliokiviluolavarastot. Kustannusarvioita tarkennettiin alustavista luvuista LUT-yliopistolta tilatun selvityksen<sup>21</sup> ja HYBRIT-hankkeessa tehtyjen tutkimusten<sup>22</sup> perusteella, mutta ne sisältävät silti suuria epävarmuuksia varastointiteknologioiden uutuuden vuoksi. Kokonaisuudessaan vetyä on kustannustehokkainta varastoida siirtoputkistossa. Vetyvarastoja ja niiden roolia skenaarioissa on käsitelty tarkemmin kappaleessa 3.3.

---

<sup>17</sup> Business Finland, National Hydrogen Roadmap for Finland: (Laurikko, et al., 2020)

<sup>18</sup> [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology\\_data\\_for\\_renewable\\_fuels.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_for_renewable_fuels.pdf)

<sup>19</sup> [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2018\\_06\\_27\\_technology\\_pathways\\_-\\_finalreportmain2.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2018_06_27_technology_pathways_-_finalreportmain2.pdf)

<sup>20</sup> [https://gasgrid.fi/wp-content/uploads/Gasgrid\\_Study-on-the-Potential-of-Hydrogen-Economy-in-Finland\\_ENG-FINAL.pdf](https://gasgrid.fi/wp-content/uploads/Gasgrid_Study-on-the-Potential-of-Hydrogen-Economy-in-Finland_ENG-FINAL.pdf)

<sup>21</sup> Selvitys julkaistaan erillisenä liitteenä

<sup>22</sup> <https://www.hybriddevelopment.se/en/research-project-1/researchlibrary/>

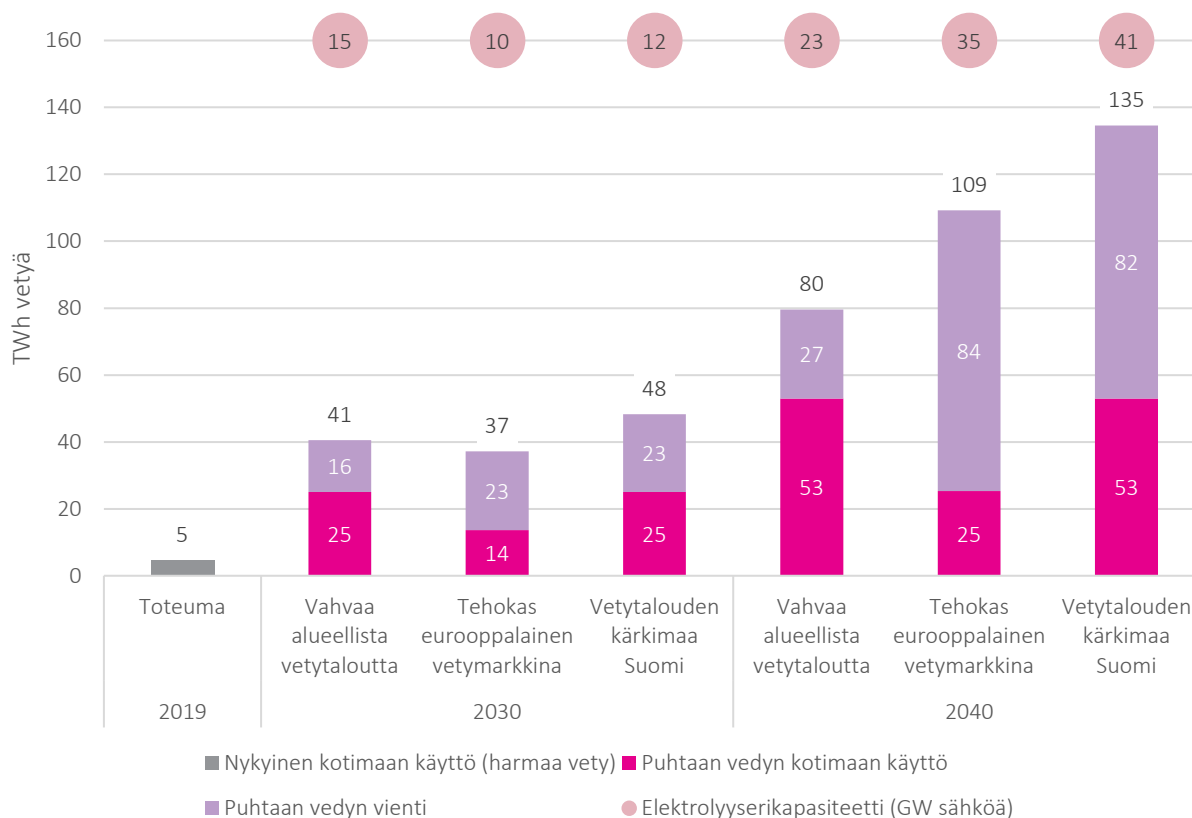
23.05.2023

### 3 Skenaarioiden keskeiset mallinnustulokset

Tässä luvussa esitellään skenaarioiden keskeiset mallinnustulokset. Luvussa 3.1 käydään läpi skenaarioiden puhtaan vedyn tuotanto Suomessa, mikä kattaa kotimaan kysynnän ja viennin. Yhteenveto sähkön ja tuotantokapasiteetin tarpeesta on esitetty luvussa 3.2. Tämän jälkeen luvussa 3.3 käsitellään vedyn varastoinnin roolia energiajärjestelmän tasapainottamisessa.

#### 3.1 Vedyn tuotantomäärät, elektrolyserikapasiteetit ja käyttö eri skenaarioissa – Puhdasta vetyä kotimaan käyttöön ja vientiin

Skenaarioissa vedyn tuotantokapasiteetti kasvaa merkittävästi mahdollistamaan P2X-tuotteiden ja vedyn viennin Suomesta. Kuva 2 esittää yhteenvedon Suomen nykyisen harmaan vedyn käytöstä sekä eri skenaarioiden puhtaan vedyn kulutuksesta kotimaassa ja viennistä, sekä tämän vedyn tuottamiseen tarvittavasta elektrolyserikapasiteetista.



Kuva 2 Suomen harmaan vedyn toteutunut käyttö ja skenaariot puhtaan vedyn kotimaan käytöstä ja viennistä, sekä puhtaan vedyn tuottamiseen tarvittavasta elektrolyserikapasiteetista

Skenaarioissa puhdasta vetyä tuotetaan Suomessa noin 35–50 TWh vuonna 2030 ja 80–135 TWh vuonna 2040. Näiden määrien tuottamiseksi Suomessa on asennettuna 10–15 GW elektrolyserikapasiteettia jo vuoteen 2030 mennessä, ja kapasiteetti moninkertaistuu noin 25–40 GW tasolle vuoteen 2040 mennessä.

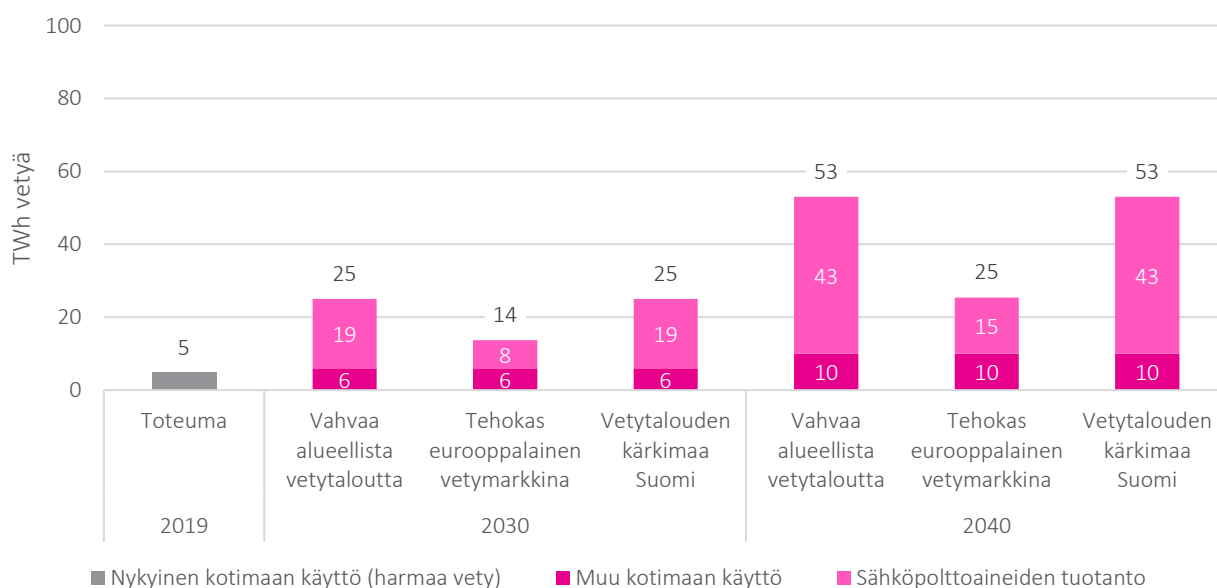
23.05.2023

### 3.1.1 Puhdasta vetyä kotimaiseen teollisuuteen ja P2X-vientituotteisiin

Skenaarioiden vedyn kotimainen kysyntä perustuu nykyisen teollisuuden siirtymiseen puhtaan vedyn käyttöön ja uuden P2X-teollisuuden puhtaan vedyn kysyntään, mutta määrät vaihtelevat skenaariosta riippuen (Kuva 3). Vuoden 2030 kotimaisen kysynnän tason on oletettu perustuvan kaikissa skenaarioissa harmaan vedyn käytön korvaamiseen puhtaalla vedyllä sekä julkisuudessa esitettyihin tavoitteisiin<sup>23,24,25</sup>, joissa puhdasta vetyä hyödynnettäisiin uusissa käyttökohteissa kuten terästeollisuudessa ja polttoaineiden jalostuksessa. Valtaosa kulutuksesta olisi uutta P2X-teollisuutta ja vetyä tuotettaisiin erityisesti sähköpolttoaineiden valmistamiseen.

*Vahvaa alueellista vetytaloutta ja Vetytalouden kärkimaa Suomi* -skenaarioissa sähköpolttoaineiden valmistukseen käytettäisiin 19 TWh vetyä vuonna 2030 ja 43 TWh vuonna 2040. *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* -skenaariossa kotimainen sähköpolttoaineiden tuotanto olisi pienempimuotoista ja vaatisi vetyä 8 TWh vuonna 2030 ja 15 TWh vuonna 2040. Kaikissa skenaarioissa muun kuin sähköpolttoaineiden valmistukseen käytetyn vedyn kysyntä olisi samalla 6 TWh vuotuisella tasolla vuonna 2030 ja kasvaisi maltillisesti 10 TWh tasolle vuoteen 2040 mennessä.

Skenaarioiden perusteella vedyn kokonaiskysyntä kasvaisi vähintään kolminkertaiseksi ja jopa nelinkertaiseksi nykyiseen verrattuna vuoteen 2030 mennessä. Tämä tarkoittaisi noin 3–5 TWh vuotuista puhtaan vedyn kysynnän kasvua, mikäli kasvu ajoittuisi pääosin vuosille 2025–2030.



Kuva 3 Suomen vedyn toteutunut kysyntä 2019 ja puhtaan vedyn kotimainen kysyntä skenaarioissa

<sup>23</sup> Ren-Gas: 2,5 TWh uusiutuvia kaasupolttoaineita raskaan liikenteen käyttöön. (Yhtiön nettisivut, luettu 27.5.2022)

<sup>24</sup> P2X Solutions: 1000 MW elektrolyysitehoa seuraavan kymmenen vuoden aikana. (P2X Solutions, 2022)

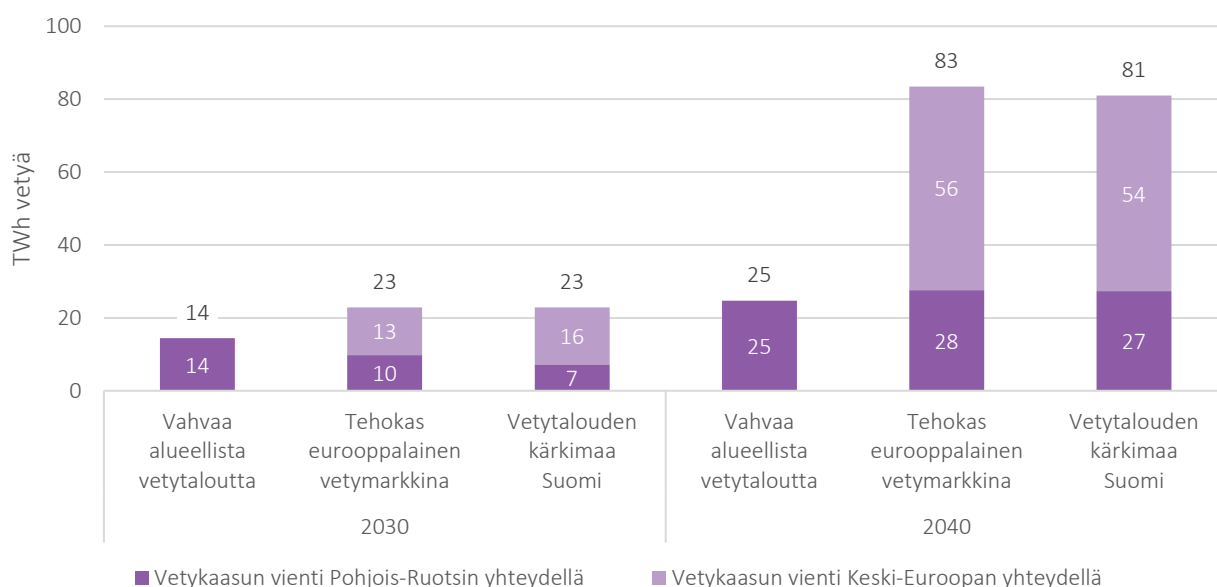
<sup>25</sup> Business Finland, National Hydrogen Roadmap for Finland: noin 170 kt/a (~6 TWh) vedynkäytön kasvua etenkin öljynjalostus- ja terästeollisuudessa (Laurikko, et al., 2020)

23.05.2023

Vuoden 2040 arvio puhtaan vedyn kotimaisesta käytöstä *Vahvaa alueellista vetytaloutta* ja *Vetytalouden kärkimaa Suomi* -skenaarioissa on liki 60 TWh. Tämä arvio perustuu Valtioneuvoston kanslian teettämän vetytalousselvityksen<sup>26</sup> korkeimman skenaarion kysyntätasoon, jota on käytetty edellä mainittujen skenaarioiden mallintamisessa. Tämä tarkoittaisi noin 3 TWh kysynnän vuotuista kasvuvauhtia 2030-luvun aikana. *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* -skenaarion kotimaan kysyntä jää 25 TWh:iin, sillä skenaariossa Suomen vetytalouden kasvu perustuu pääosin vetykaasun vientiin.

### 3.1.2 Vedyn vientimäärät vetykaasuna eri skenaarioissa

Skenaarioissa vedyn siirtoa on mallinnettu perustuen oletettuihin putkiyhteyksiin sekä vedyn kysyntä-tarjontatasapainoon Suomessa ja muissa Itämeren alueen maissa. Kaikissa skenaarioissa rakennetaan putkiyhteys Pohjois-Ruotsiin, minkä lisäksi *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* ja *Vetytalouden kärkimaa Suomi* -skenaarioissa rakennetaan putkiyhteys Keski-Eurooppaan. Kuva 4 esittää minkälaisia määriä puhdasta vetyä viedään kaasuna Itämeren alueen maihin. Laskelmien perusteella Suomesta tulee kilpailukykyinen vedyn tuottajamaa ja kotimaan kysynnän kattamisen lisäksi vetyä viedään sekä Pohjois-Ruotsiin että Keski-Eurooppaan.



Kuva 4 Suomen nettomääräinen vetykaasun vienti Pohjois-Ruotsin ja Keski-Euroopan putkiyhteyksillä

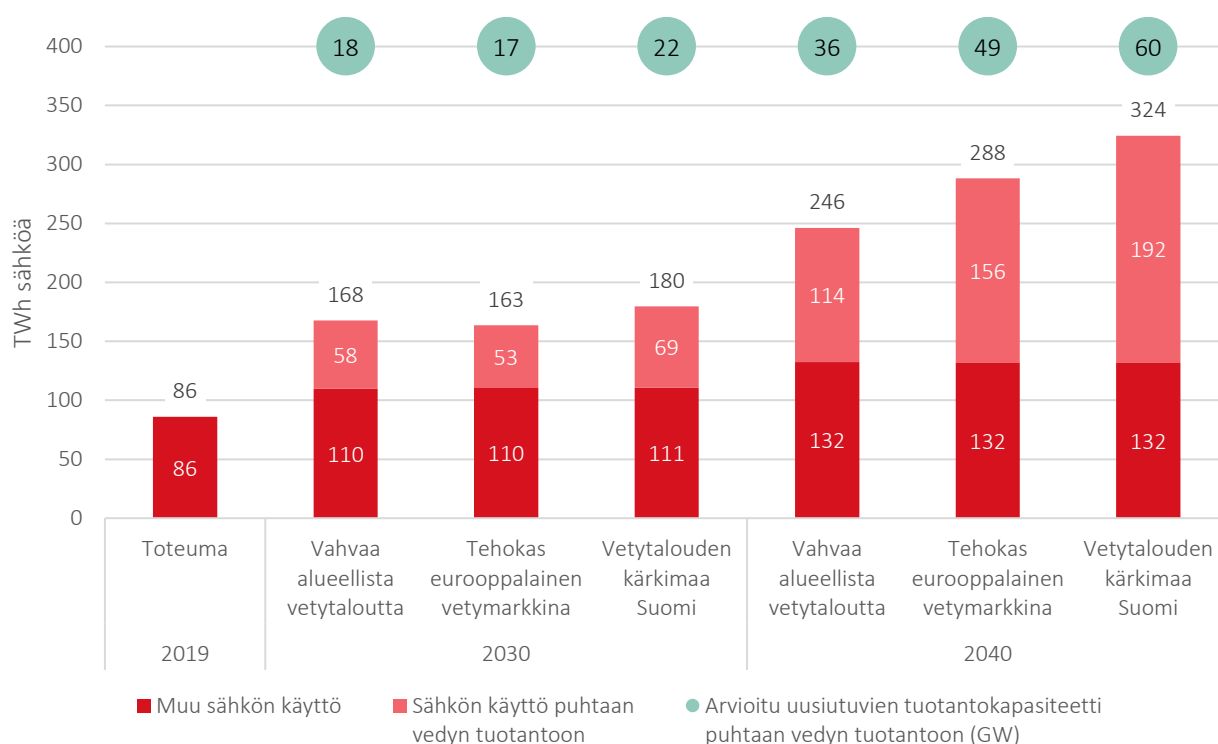
Vuonna 2030 vetyä viedään nettomääräisesti noin 7–14 TWh Pohjois-Ruotsin teollisuuden tarpeisiin putkiyhteyttä pitkin ja lisäksi kahdessa skenaariossa Keski-Euroopan putkiyhteydellä 13–16 TWh muihin Euroopan maihin. Vuoteen 2040 mentäessä viennin määrä Pohjois-Ruotsiin nousee noin 25–27 terawattituntiin. Merkittävimmin vedyn viennin määrä kasvaa Keski-Eurooppaan, etenkin *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* -skenaariossa, jossa vienti nousee noin 80 TWh tasolle. *Vetytalouden kärkimaa Suomi* -skenaariossa vedyn vienti vetykaasuna jää hieman alhaisemmalle tasolle, sillä jo erittäin korkea kotimaan kysyntä sitoo suuren osan saatavilla olevista resursseista ja etenkin uusiutuvasta sähköstä.

<sup>26</sup> Valtioneuvoston kanslia, Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet, s. 162 (Sivill, et al., 2022)

23.05.2023

### 3.2 Sähköntuotannon kasvu eri skenaarioissa - Suomen edullinen tuulisähkö kilpailukyvyyn ajurina

Skenaarioissa Suomen sähkön kulutus lähes kaksinkertaistuu nykyisestä vuoteen 2030 mennessä ja kolmin-nelinkertaistuu vuoteen 2040 mennessä, pääosin vedyntuotannon tarvitseman sähkön ajamana (Kuva 5). Vedyn tuotannosta tulee skenaarioissa Suomen suurin sähkön käyttökohde. Vuonna 2030 sähköä käytetään vedyntuotantoon 50–70 TWh, ja vuoteen 2040 mentäessä 110–190 TWh skenaariosta riippuen. Vuonna 2040 vedyn tuotantoon käytetään jopa enemmän sähköä kuin kaikissa muissa kulutuskohteissa yhteensä, huolimatta siitä, että myös muun sähkön käytön nähdään kasvavan mm. teollisuuden, liikenteen ja lämmityksen sähköistämisen sekä uuden teollisuuden ja datakeskusten myötä.



Kuva 5 Suomen sähkön käyttö jaoteltuna sähkön käyttöön puhtaan vedyn tuotantoon sekä muuhun käyttöön, sekä arvio puhtaan vedyn tuottamiseen tarvittavasta uusiutuvasta kapasiteetista<sup>27,28</sup>

Uusiutuvaan sähköntuotantoon tarvitaan hyvin merkittäviä investointeja kasvavaan sähkön kulutukseen vastaamiseksi puhtaalla sähköllä. Maa- ja merituulivoiman sekä aurinkovoiman määrät kasvavat huomattavasti kysyntään vastaamiseksi. Kuva 5 esittää arvion tarvittavasta uusiutuvan sähkön tuotantokapasiteetista puhtaan vedyn tuotantoon. Sen lisäksi uusiutuvilla vastataan myös muuhun kasvaneeseen kysyntään. Suurin osa tästä on maatuulivoimaa, joka on Suomessa kilpailukykyisintä uutta sähköntuotantoa ja johon perustuvia tuotantohankkeita on kehitteillä erittäin paljon.

<sup>27</sup> Lähde Suomen sähkön käytölle vuonna 2019: Suomen virallinen tilasto (SVT, 2019): Energian hankinta ja kulutus

<sup>28</sup> Uusiutuvalla sähkön tuotantokapasiteetilla viitataan tässä yhteydessä maa- ja merituulivoimaan sekä aurinkovoimaan. Kapasiteetti arvioitu keskimääräisellä 3200 tunnin huipunkäyttöajalla.



23.05.2023

Skenaarioissa maatuulivoiman kapasiteetti kasvaa yli 20 gigawattiin vuoteen 2030 mennessä ja 50–60 gigawattiin vuoteen 2040 mennessä. Tämä edellyttää, että maatuulivoiman kapasiteetti kasvaisi noin 3–4 GW vuodessa 2030-luvulla, kun lähivuosien kasvuvauhdin on ennakoitu olevan maksimissaan noin 2 GW vuodessa. Uusiutuvien tuotantomuotojen rakennusvauhti, etenkin maatuulivoiman, onkin yksi keskeinen epävarmuustekijä skenaarioissa.

Mikäli maatuulivoiman lisärakentaminen olisi nopeampaa, puhtaan vedyn tuotantomäärät Suomessa voisivat olla vielä esitettyäkin suurempia. Toisaalta, mikäli maatuulivoiman lisärakentaminen olisi hitaampaa, rajoittaisi se myös puhtaan vedyn tuotantoa. Tuulivoiman ja sen vaatiman energiansiirtoinfrastruktuurin nopea luovitus sekä Itä-Suomen tuulivoimapotentiaalihin hyödyntäminen tukisivat siten vetyinvestointien toteutumisedellytyksiä. Maatuulivoiman lisäksi Suomeen rakennetaan kaikissa skenaarioissa 4–9 GW merituulivoimaa ja 7–15 GW aurinkovoimaa vuoteen 2040 mennessä.

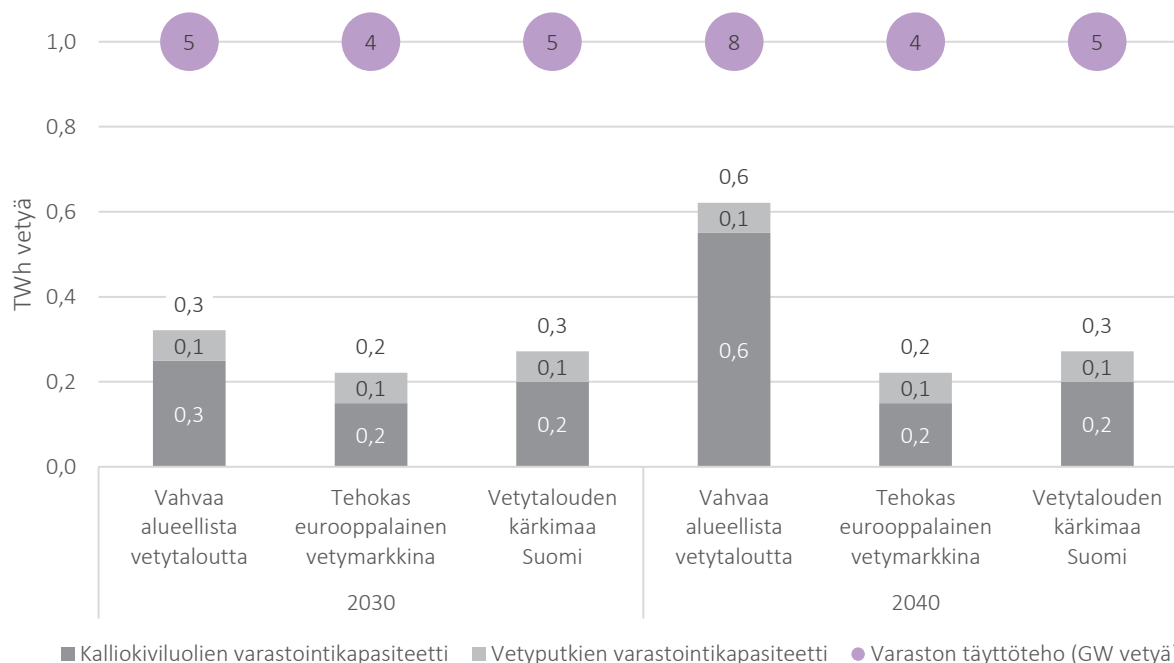
Maa- ja merituulivoiman sekä aurinkovoiman tuotanto ylittää skenaarioissa 100–115 TWh tasolle vuoteen 2030 mennessä ja kasvaa siitä edelleen 215–290 TWh tasolle vuoteen 2040 mennessä. Se tarkoittaa, että valtaosa Suomen tuotannosta vaihtelisi sääolosuhteiden mukaan. Tämä merkitsee valtavaa tarvetta kulutuksen joustolle, jotta sähköjärjestelmä pysyy tasapainossa.

### 3.3 Vetyvarastojen rooli eri skenaarioissa - Vedyn varastoinnilla joustoa energiajärjestelmään

Vedyn varastot voivat mahdollistaa joustoa ja kustannustehokkuutta energiajärjestelmään. Sähkö- ja vetyjärjestelmän sektori-integraation on mahdollista tuottaa valtavia määriä uusiutuvaa sähköä vedyntuotantoon maa- ja merituulivoimalla sekä aurinkovoimalla, vaikka niiden tuotanto vaihtelee sääolosuhteiden mukaan. Energiajärjestelmässä esimerkiksi laaja vetyverkko jo itsessään voi toimia energiapuskurina.

Skenaarioissa hahmoteltu vedyn tuotannon ja kulutuksen voimakas kasvu edellyttää merkittävää vedyn varastointia, jotta sään mukaan vaihteleva tuulivoima ja luonteeltaan tasaiseksi oletettu teollinen vedyn kulutus voidaan tasapainottaa. Siksi skenaarioissa on yhtenä tekijänä mallinnettu vetyvarastojen roolia energiajärjestelmän tasapainotuksen sekä tuotannon ja kulutuksen välisten erojen tasaamisessa. Kuva 6 esittää näiden vetyvarastojen kapasiteetit energiamääränä sekä täyttötehona.

23.05.2023



Kuva 6 Vetyvarastojen kapasiteetti ja täyttöteho skenaarioissa

Varastomäärissä on huomioitu sekä louhittuihin kiviluoliin perustuvat varastot että vedynsiirtoinfrastruktuurin varastointikapasiteetti eli ns. puskurikapasiteetti. Kaikissa skenaarioissa tarve järjestelmän joustolle ja sitä myöten vedyn varastoinnille kasvaa merkittävästi vuoteen 2040 mennessä, mutta skenaariot erkanevat toisistaan. Kotimainen kiviluolavarastointi on merkittävässä roolissa *Vahvaa alueellista vetytaloutta* -skenaariossa, kun taas muiden skenaarioiden kotimainen varastokapasiteetti perustuu valtaosin putkiverkoston varastokapasiteettiin. Näissä skenaarioissa kotimaisen varastokapasiteetin tarve on pienempi, sillä niissä päästään hyödyntämään Keski-Euroopan suolakiviluolavarastojen kapasiteetti sinne suuntautuvan vetyputken avulla.

*Vahvaa alueellista vetytaloutta* -skenaariossa kotimaisten vetyvarastojen yhteenlaskettu varastointikapasiteetti vastaa noin 4–5 vuorokauden kotimaista vedynkulutusta. Skenaariossa varastojen täyttöteho vastaa noin puolta elektrolyyserien vedyn tuotantokapasiteetista. Muissa skenaarioissa kotimaisten vetyvarastojen kapasiteetti on verrattain alhaisempi, sillä joustoa vetyjärjestelmään saadaan hyödyntämällä Keski-Euroopan suuria ja kustannuksiltaan edullisempia suolakiviluolavarastoja vedyn viennin ja tuonnin avulla.

Vedynsiirtoinfrastruktuuri mahdollistaa laajemman vetymarkkinan syntymisen, kun yhteydet ulkomaille rakennetaan. Tämän myötä vedyn toimitusvarmuus paranee, sillä kulutusta ja tuotantoa on tasaamassa useampia toimijoita (tuotanto, kulutus ja varastointi) ja vedyn virtaussuunta voi määräytyä markkinataseen mukaisesti. Huoltovarmuuden näkökulmasta ulkomaisten suolakiviluolavarastojen lisäksi tarvitaan myös kotimaisia vetyvarastoja tasapainottamaan tuotannon vaihtelua. Osa kotimaisesta varastointitarpeesta toteutuu vetyputkiston varastointikapasiteetin kautta, mutta lisäksi skenaarioissa nähdään tarve kalliokiviluolavarastoille.

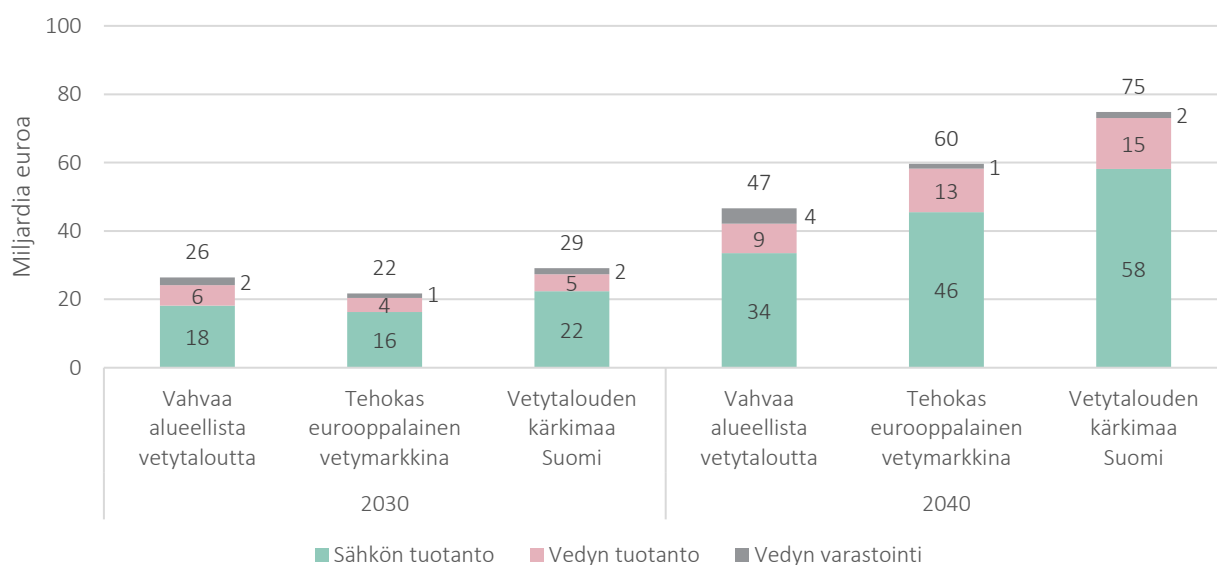
23.05.2023

## 4 Vetytalouden investoinnit ja markkinat

### 4.1 Valtavilla investoinneilla kohti puhdasta energiajärjestelmää

Puhtaan vedyn tuottaminen esitetyssä mittakaavassa vaatii valtavat investoinnit uusiutuvaan sähköntuotantokapasiteettiin, elektrolyysereihin ja vetyvarastoihin. Lisäksi tarvitaan investointeja energian siirtoon sekä vedyn jatkojalostamiseen P2X-tuotteiksi. Laajamittaisten investointien arvioidaan toteutuvan markkinaehtoisesti. Suomen etuna on eurooppalaisessa vertailussa etenkin edullinen ja määrältään erittäin suuri uusiutuvan sähkön tuotantopotentiaali.

Kuva 7 havainnollistaa investointien mittakaavan puhtaan vedyn tuottamiseen vuosiin 2030 ja 2040 mennessä eri skenaarioissa. Uusiutuva sähköntuotanto vaatii valtaosan investoinneista, jotka yltyvät vuoteen 2030 mennessä noin 15–20 miljardiin euroon ja vuoteen 2040 mennessä noin 30–60 miljardiin euroon. Sähkön tuotantoinvestoinnit vastaavat elektrolyysiin kuluva sähköä, joka tuotettaisiin pääosin suomalaisella maatuulivoimalla (ks. 3.2, Kuva 5). Investoinnit kotimaiseen energiansiirtoon ovat esitetyistä kustannuksista murto-osa. Näiden lisäksi mittavia investointeja tarvitaan myös vetyä käyttävään teollisuuteen ja vedyn jatkojalostamiseen. Nykyisten vetytaloushankkeiden arvo on VTT:n selvityksen<sup>29</sup> mukaan noin 10 miljardia euroa, joissa erottuvat etenkin investoinnit vetypelkistykseen fossiilivapaan teräksen tuottamiseksi ja metanointi- ja ammoniakkilaitoksiin sähköpolttoaineiden tuottamiseksi.



Kuva 7 Arvio investoinneista puhtaan vedyn tuottamiseen Suomessa vuosiin 2030 ja 2040 mennessä, kumulatiivinen – ei huomioi investointeja energiansiirtoon ja vedyn käyttöön tai jatkojalostamiseen

Vedyn tuotannossa ja varastoinnissa investoinnit vuoteen 2030 mennessä ovat 5–8 miljardin euron suuruusluokkaa ja kasvavat vuoteen 2040 mennessä yhteensä 13–17 miljardiin. Suurin osa näistä investoinneista suuntautuu elektrolyysereihin (ks. kapasiteetit, Kuva 4), mutta huomattavaa on myös kalliokiviluolien vaatimien investointien kokoluokka (ks. kapasiteetit, Kuva 6). Etenkin *Vahvaa alueellista vetytaloutta* -skenaariossa investoinnit kotimaiseen varastointiin, liki 4 miljardia euroa, ovat merkittävät

<sup>29</sup> Pre-study on transition to hydrogen economy, specifically in Northern Ostrobothnia (Kiviranta et al., 2023)

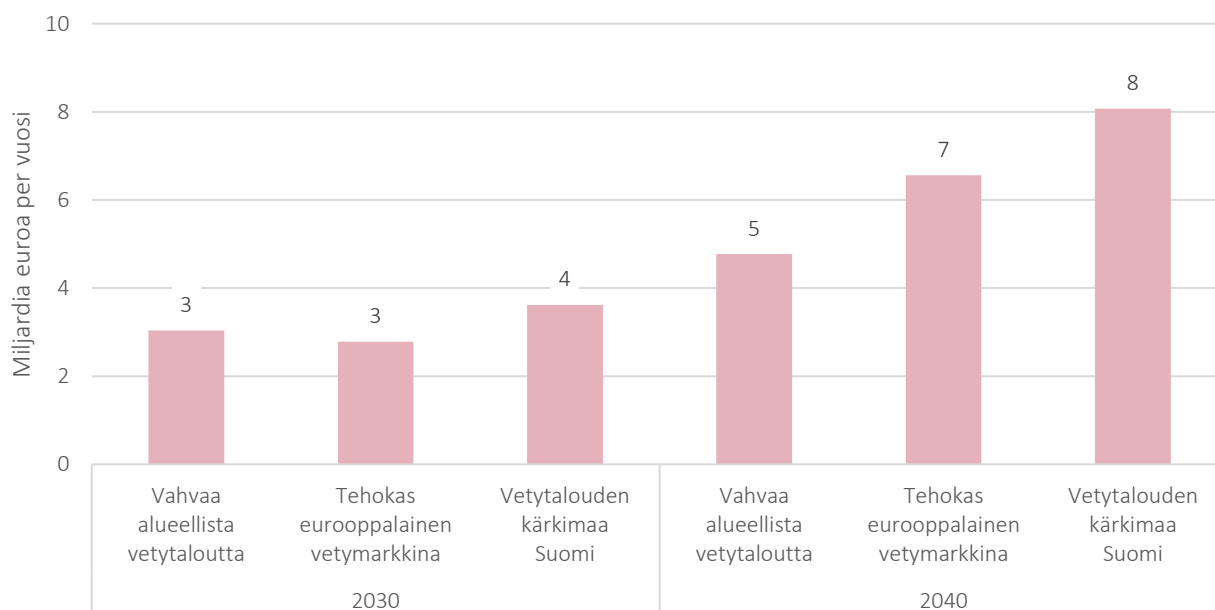
23.05.2023

verrattuna noin 9 miljardin elektrolyyseri-investointeihin. Investointien suuruusluokassa ei ole otettu huomioon vetytalouden arvoketjujen (esimerkiksi P2X-jatkojalostuksen) lisäinvestointeja, jotka edelleen korostavat siirtoinfrastruktuuri-investointien kerrannaisvaikutuksia uuden teollisuuden syntymisessä. Arvoketjujen hyötyjä arvioidaan yhteishankkeen tulevissa vaiheissa.

On huomioitava, että vetyvarastojen investointeihin liittyy merkittäviä epävarmuuksia mm. vetyvarastojen rakentamiskustannuksiin ja teknisiin ratkaisuihin liittyen. Erilaisia varastointiratkaisuja on rakennettu maakaasua varten, mutta vetyä varten rakennettavat suuren kokoluokan varastot ovat vielä pilottivaiheessa. Esimerkiksi Ruotsissa pilotoidaan kalliokiviluolaa vedyn varastointiin osana HYBRIT-hanketta<sup>30</sup>.

## 4.2 Investoinneilla kiinni miljardien arvoiseen vetymarkkinaan

Suurilla investoinneilla puhtaan vedyn tuotantoon mahdollistuu osallistuminen EU:n miljardien eurojen arvoiseen puhtaan vedyn markkinaan (Kuva 8). Kilpailukykyisen puhtaan vedyn hinta on arviolta 2,5 EUR/kg vuonna 2030, laskien noin 2 EUR/kg tasolle vuoteen 2040 mennessä<sup>31</sup>. Näillä hinnoilla laskettuna Suomen puhtaan vedyn tuotannon arvo on vuosittain 3–4 miljardia euroa vuonna 2030, nousten 5–8 miljardiin euroon vuoteen 2040 mennessä. Tämän lisäksi Suomessa tuotetaan lisäarvoa jatkojalostamalla vetyä P2X-tuotteiksi, kuten sähköpolttaineiksi, joiden arvo on selvästi pelkän vedyntuotannon arvoa suurempi. Tätä lisäarvoa ei ole arvioitu tässä raportissa.



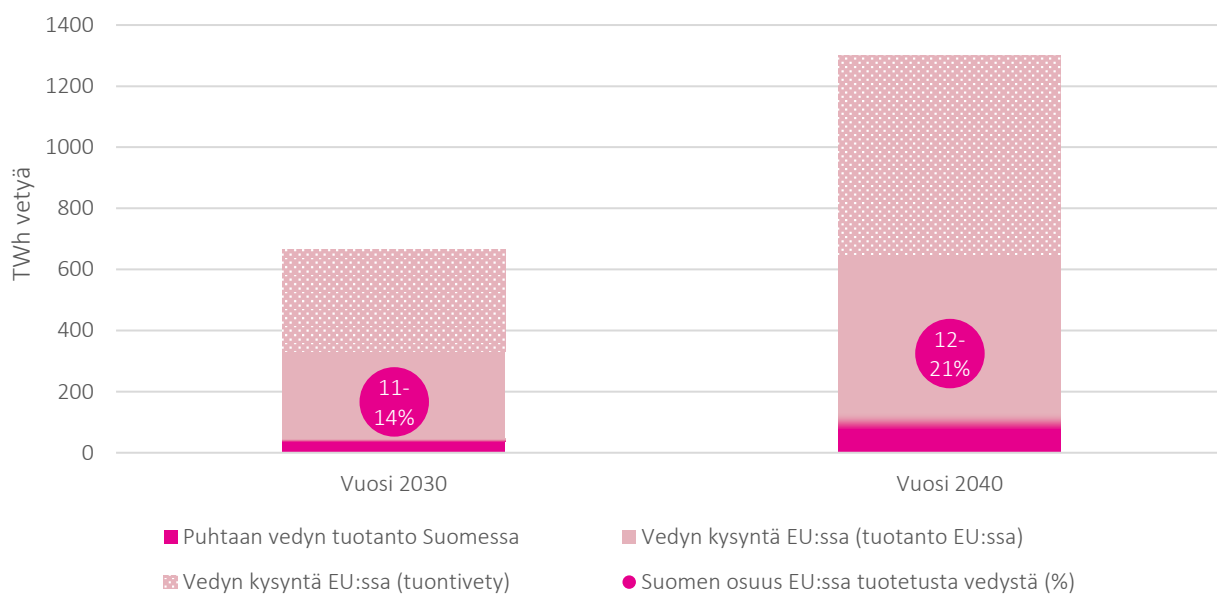
Kuva 8 Arvioitu Suomen puhtaan vedyn tuotannon vuotuinen arvo – huomioi vain arvion vetykaasun arvosta, ei huomioi P2X-tuotteiden lisäarvoa

<sup>30</sup> <https://fuelcellsworks.com/news/ssab-lkab-and-vattenfall-started-building-a-rock-cavern-storage-facility-for-storing-hydrogen/>

<sup>31</sup> Five Hydrogen supply corridors for Europe in 2030, s. 115 (EHB, 2022)

23.05.2023

Suomen potentiaalia vedyn viejänä arvioitaessa on tärkeää huomioida EU:n tavoitteet puhtaan vedyn markkinasta. Vuonna 2030 EU:n vetymarkkinan kooksi on arvioitu noin 670 TWh<sup>32</sup> ja vastaavasti vuonna 2040 noin 1300 TWh<sup>33</sup>. REPowerEU -suunnitelmassa tavoitteeksi vuodelle 2030 on asetettu, että puolet EU:n vedyn kysynnästä katettaisiin vedyn tuotannolla EU:ssa ja puolet tuotaisiin muilta alueilta. Huomioiden nämä tavoitteet ja puhtaan vedyn tuotanto Suomessa skenaarioiden mukaan, Suomen osuus EU:ssa tuotetusta vedystä on 11–14 % vuonna 2030 ja 12–21 % välillä vuonna 2040 (Kuva 9). Skenaariot näyttävät, että Suomella on edellytykset kehittyä kokoaan suuremmaksi, Euroopan johtavaan asemaan vetytaloudessa, ja tuottaa yli 10 % EU:ssa tuotetusta puhtaasta vedystä.



Kuva 9 Arvio Suomessa tuotetun puhtaan vedyn osuudesta EU:ssa tuotetusta vedystä<sup>34</sup>

<sup>32</sup> Perustuen EU:n REPowerEU -suunnitelmaan, huomioiden sekä EU:n 10 Mt tuotantotavoitteen että 10 Mt tuontitavoitteen vuoteen 2030 mennessä (Euroopan Komissio, 2022)

<sup>33</sup> Perustuen Euroopan sähkön ja kaasun verkko-yhtiöiden kehittämissuunnitelman skenaarioihin. Huom. skenaarioissa ei ole huomioitu REPowerEU -suunnitelman vaikutusta, mihin nähden vedyn kysyntäarvio vaikuttaa alhaiselta. (ENTSO-E, ENTSOG, Ten Year Network Development Plan 2022)

<sup>34</sup> Arvio huomioi em. lähteet EU:n vedyn kysynnäksi, ja että puolet kysynnästä katettaisiin tuonnilla EU:n ulkopuolisilta alueilta perustuen REPowerEU -suunnitelman tavoitteisiin vuodelle 2030, mikä tarkoittaa että puolet kysynnästä katettaisiin vedyn tuotannolla EU:ssa. Kuvassa on esitetty tämän selvityksen skenaarioiden vaihteluväli Suomen puhtaan vedyn tuotannossa.

23.05.2023

## 5 Siirtoinfrastruktuuri mahdollistaa investoinnit Suomeen

Skenaarioiden perusteella puhtaan vedyn tuotanto on edullista Suomessa, minkä vuoksi sitä kannattaa tuottaa ja myös viedä vetyä tai P2X-tuotteina muualle Eurooppaan, jossa kysynnän oletetaan kasvavan valtavasti. Kaikissa skenaarioissa vedyn siirtoinfrastruktuuri mahdollistaa vetykaasun putkisiirron Suomen ja Pohjois-Ruotsin välillä vuonna 2030, minkä lisäksi *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* ja *Vetytalouden kärkimaa Suomi* -skenaarioissa oletetaan rakennettavan putkiyhteys Suomen ja Keski-Euroopan välille. Alla olevissa luvuissa on käsitelty tarkemmin skenaarioiden asettamia kehitystarpeita siirtoinfrastruktuurille.

### 5.1 Energian siirtotarve moninkertaistuu nykyisestä

Suomessa suurin osa sähköstä kulutetaan etelässä, kun taas merkittävä osa uusiutuvan sähköntuotannon kasvupotentiaalista on pohjoisessa. Fingridin sähköjärjestelmävisio<sup>35</sup> skenaarioissa on tunnistettu, että pohjois-eteläsuuntainen sähkön siirtokapasiteetti täytyy moninkertaistaa vaiheittain pitkällä aikavälillä. Vedyn sekä uusiutuvan sähkön tuotannon sijoittumisella on siirtotarpeeseen erittäin suuri vaikutus.

Suomen nykyisistä tuulivoimaloista suurin osa sijaitsee Pohjanmaalla, kun taas Etelä- ja Itä-Suomessa tuulivoimaloita ei juurikaan ole. Etelä-Suomessa tuulivoiman potentiaalia rajoittaa muun muassa tiheämpi asutus. Itä-Suomessa rajoitteena on vaikutukset tutkavalvontaan, joka rajaa tuulivoiman rakennusalueita ja hankkeiden kokoa, mikä vähentää toimijoiden kiinnostusta niiden kehittämiseen. Rajoitteiden takia valtaosa uusista tuulivoimahankkeista sijaitsee Länsi- ja Pohjois-Suomessa. Skenaarioissa Itä-Suomen tutkavalvonnan rajoitteiden on kuitenkin oletettu ratkeavan, mitä tukee myös keväällä 2023 julkaistu selvitys<sup>36</sup>, jolloin maatuulivoimaa rakennetaan myös Itä-Suomeen.

Suomessa vetyä käytetään nykyisin kemianteollisuudessa etenkin Etelä-Suomessa<sup>37</sup>, ja vedyn tuotanto on keskittynyt pitkälti vetyä käyttävien teollisuuslaitosten mukaan samalle teollisuusalueelle. Skenaarioissa harmaan vedyn käyttö korvataan puhtaalla vedyllä nykyisillä teollisuuslaitoksilla, minkä lisäksi tärkeänä ajurina on uuden teollisuuden syntyminen. Tähän mennessä julkistetuista kotimaisista vetyprojekteista suuri osa on etelässä<sup>38</sup>, mm. Vantaalla, Porvoossa ja Inkoossa<sup>39</sup>. Tämän lisäksi useita investointeja on Perämeren rannikolla<sup>40</sup> ja kasvunäkymiä on myös Itä-Suomessa<sup>41</sup>.

Nykyisin vety tuotetaan pääosin lähellä käyttökohdetta, mutta tulevaisuuden energiajärjestelmässä vedyn tuotanto ja käyttö voivat sijoittua eri maantieteellisille alueille, mikäli vetyinfrastruktuuri kehittyy mahdollistamaan tarvittavan siirron näiden välillä. Vedyn tuotannon ja käytön sijoittuminen maantieteellisesti onkin skenaarioiden yksi merkittävimmistä kysymyksistä, mikä vaikuttaa hyvin paljon tarvittavaan energiansiirtoinfrastruktuuriin.

<sup>35</sup> Fingridin sähköjärjestelmävisio 2023 (Fingrid, 2023)

<sup>36</sup> Itäisen Suomen tuulivoimarakentamisen tehostaminen (Räty, 2023)

<sup>37</sup> Business Finland, National Hydrogen Roadmap for Finland: (Laurikko, et al., 2020)

<sup>38</sup> Valtioneuvoston kanslia, Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet (Sivill, et al., 2022)

<sup>39</sup> Neljän miljardin euron investointi suunnitteilla Inkooseen – Tiedote (Business Finland, 3.1.2023)

<sup>40</sup> BotH<sub>2</sub>nia-verkosto (lisätietoja: <https://www.both2nia.com/fi/verkosto>)

<sup>41</sup> Suomen Vetylaakso ry perustettu edistämään itäisen Suomen elinvoimaa ja teollisia investointeja (Lappeenranta.fi, 2.2.2023)

23.05.2023

Puhtaan vedyn tuotanto elektrolyysillä vaatii paljon uusiutuvaa sähköä. Sähköä tarvitaan myös vedyn teolliseen jatkojalostamiseen tuotteiksi. Siten vedyn tuotantolaitosten ja käyttökohteiden sijainti suhteessa sähkön tuotantoon ratkaisee Suomen sisäisen energiansiirron tarpeen. Sähkön siirtotarve korostuu, mikäli vedyn tuotantolaitokset ja käyttökohteet sijoittuvat kauas uusiutuvan sähkön tuotannosta. Vedyn siirtotarve taas korostuu, mikäli vedyn tuotantolaitokset sijoittuvat lähelle uusiutuvan sähkön tuotantoa, mutta kauas vedyn käyttökohteista. Energiansiirtotarve on vähäisin, mikäli sekä uusiutuvan sähkön tuotanto ja vedyn tuotanto että käyttö sijoittuvat mahdollisimman lähelle toisiaan. Tätä energiansiirron tarpeen muodostumista Suomen sisällä on kuvattu tarkemmin kappaleessa 5.1.2.

Skenaarioiden näyttämän potentiaalin saavuttamiseksi on tärkeää, että niin uusiutuvan sähkön tuotanto kuin vedyn tuotantolaitokset ja käyttökohteet sijoittuisivat järjestelmän kannalta järkevästi ja joustaisivat tarvittaessa. Markkinan tulisi myös ohjata sähkön ja vedyn siirtoa yhteiskunnan kokonaisuoptimin mukaisesti. Sähkö- ja vetyjärjestelmä voivat toimia hyvin yhteen ja tukea toisiaan, mikä mahdollistaisi skenaarioissa nähtävän kasvun mahdollisimman kustannustehokkaasti.

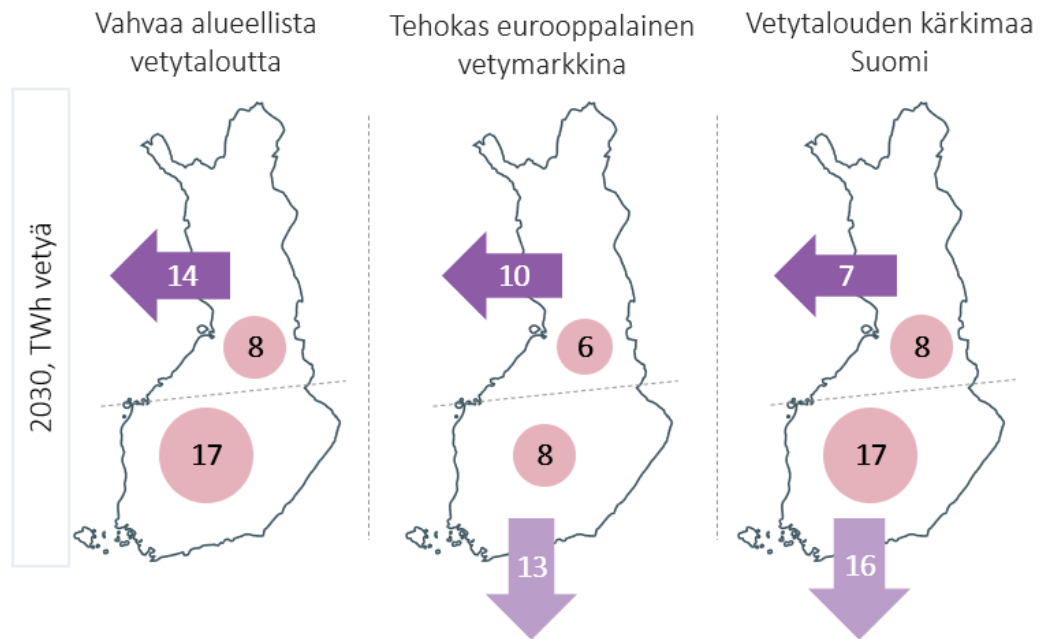
### 5.1.1 Vedyn kulutuksen ja uusiutuvan sähkön tuotannon sijainti Suomessa

Skenaarioissa Suomi on jaettu pohjoiseen ja eteläiseen osaan Keski-Suomen kohdalta. Poikkileikkauksen avulla kuvataan tarvittava energiansiirto Suomen sisällä. Energiansiirtotarpeeseen vaikuttaa suuresti sähkön ja vedyn tuotannon ja kulutuksen sijoittuminen toisiinsa nähden.

Kuva 10 näyttää vedyn kotimaan alueellisen kysynnän ja viennin skenaarioissa vuonna 2030. Pohjoisessa kasvua ajaa etenkin terästeollisuuden vedynkäyttö ja vienti Pohjois-Ruotsiin. Etelässä kysyntä kasvaa nykyisten teollisuuslaitosten harmaan vedyn korvaamisessa ja sähköpolttoaineiden tuotannossa, sekä myös vetykaasun viennissä putkiyhteydellä Keski-Eurooppaan kahdessa skenaariossa.

Skenaarioissa kotimaisen vedyn kysyntä on korkeampi eteläisessä osassa Suomea teollisuuden sijoittumisesta tehtyjen oletusten myötä, joskin *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* skenaariossa kehitys alueiden välillä on melko tasaista vuoteen 2030 mennessä. Vedyn viennin myötä kysyntä painottuu kuitenkin pohjoiseen *Vahvaa alueellista vetytaloutta* skenaariossa, sillä siinä kehittyy vetyputkiyhteyden myötä laaja vetymarkkina Pohjanlahden alueelle. *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* skenaariossa vientikysyntä on hieman suurempi Keski-Euroopan suuntaan ja siten kysyntä painottuu eteläisempään osaan Suomea. *Vetytalouden kärkimaa Suomi* skenaariossa vedyn kysynnän painopiste on vahvasti eteläisessä osassa sekä eteläisen Suomen teollisuuden että Keski-Euroopan viennin myötä.

23.05.2023



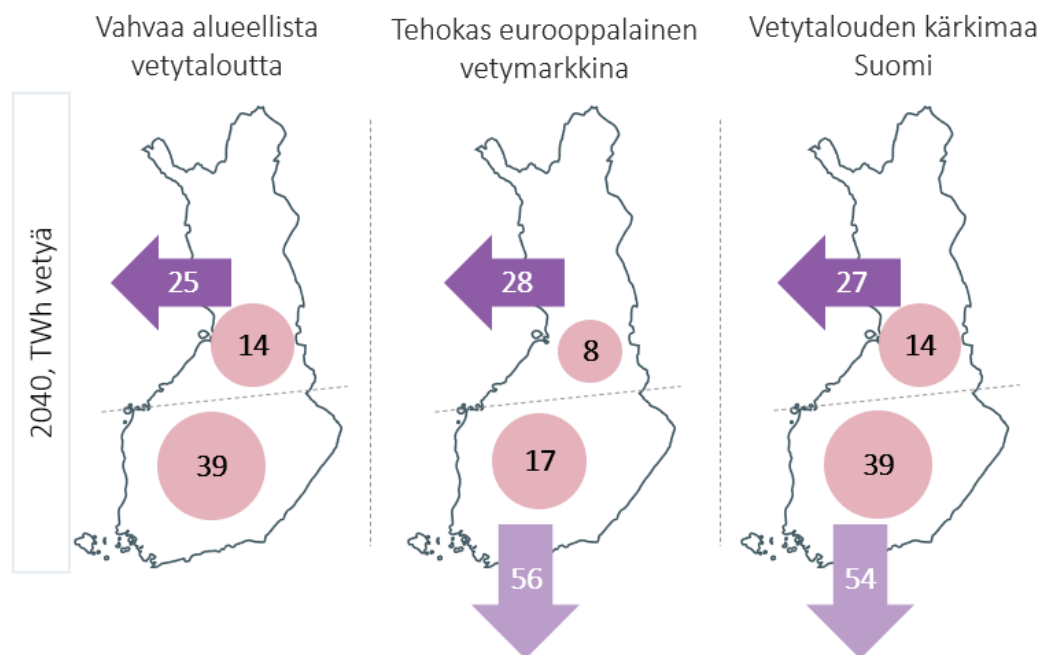
Kuva 10 Vedyn kotimaan alueellinen kysyntä ja vienti skenaarioissa vuonna 2030 (yksikkönä TWh vetyä)

Kaikissa skenaarioissa valtaosa uudesta uusiutuvasta tuotannosta rakennetaan poikkileikkauksen pohjoispuolelle, huolimatta siitä, että Itä-Suomen tuulivoimarakentamiselle ei ole nykyisenkaltaisia esteitä. Koska poikkileikkauksen pohjoispuoleisella alueella on myös alhaisempi sähkön kysyntä, on pohjoisempi alue sähköntuotannon osalta ylijäämäinen, kun taas etelä jää alijäämäiseksi suuremman sähkön kulutuksen vuoksi. Tämän myötä kaikissa skenaarioissa on energian siirtotarvetta pohjoisesta etelän käyttökohteisiin.

Vuoteen 2040 mennessä (Kuva 11) kasvava sähköpolttoaineiden tuotanto etelässä sijaitsevilla tuotantolaitoksilla tasaa vedyn kysynnän alueellisesti *Vahvaa alueellista vetytaloutta* skenaarioissa, kun huomioidaan myös kasvava vedyn vienti Pohjois-Ruotsiin. *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* ja *Vetytalouden kärkimaa Suomi* skenaarioissa kotimaan teollisuuden kehityksen lisäksi vetykaasun kasvanut vienti etelästä lähtevällä vetyputkella ajaa vedyn kysynnän painopisteen Etelä-Suomeen. Uusiutuvaa maa- ja merituulivoimaa rakennetaan kaikissa skenaarioissa etenkin poikkileikkauksen pohjoispuolelle, mikä lisää alueen ylijäämää. Suuri ylijäämä pohjoisessa ja alijäämä etelässä johtaa erittäin suureen energian siirtotarpeeseen pohjoisesta etelään.



23.05.2023



Kuva 11 Vedyn kotimaan alueellinen kysyntä ja vienti skenaarioissa vuonna 2040 (yksikkönä TWh vetyä)

### 5.1.2 Arvio skenaarioissa tarvittavasta energiansiirrosta Suomessa

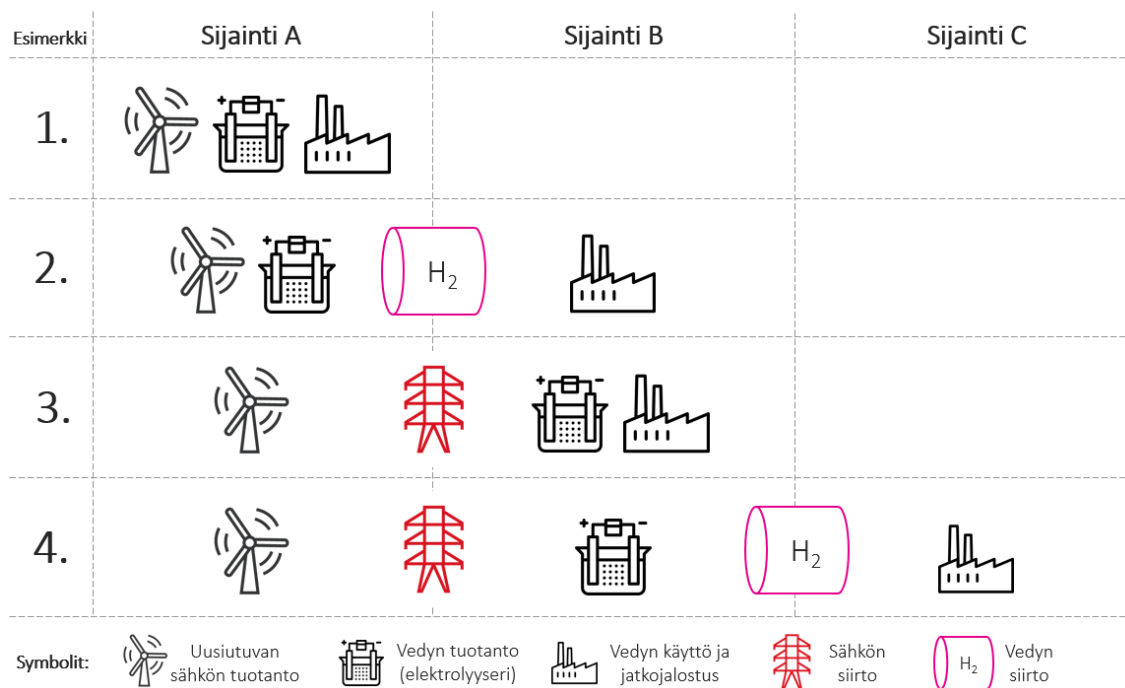
Energiansiirtotarve pohjoisen ja eteläisen Suomen välillä on nykyisin noin 10 TWh, ja se kasvaa yli kaksinkertaiseksi vuoteen 2030 mennessä. Vuoteen 2040 mennessä energiansiirtotarve kasvaa moninkertaiseksi: alimmillaan 60 TWh tasolle ja ylimmillään jopa 100–115 TWh tasolle. Kahden jälkimmäisen skenaarion ylempi siirtotarve kumpuaa suuresta vedyn vientitarpeesta Etelä-Suomesta lähtevästä Keski-Euroopan vetyputkesta.

Energiansiirto voidaan toteuttaa joko sähköinä tai sähköinä ja vetynä. Vedyn tuotantolaitosten sijoittuminen vaikuttaa siihen, siirrettäisiinkö energia sähköinä vai vetynä. Esimerkiksi pohjoisessa tuulipuistossa kiinni olevalla elektrolyysierillä voitaisiin tuottaa puhdasta vetyä, joka siirretään etelän käyttökohteeseen. Vastaavasti elektrolyysieri voi sijaita kulutuskohteen lähellä kaukana sähkön tuotannosta, jolloin siirto toteutetaan sähköinä. Sähköinä energiaa on kuitenkin siirrettävä enemmän saman vetymäärän tuottamiseksi, sillä elektrolyysissä sähköä kuluu häviöihin arviolta noin 30 %. Toisaalta häviöistä suurin osa on hyödynnettävissä hukkalämpönä, mikä voi ajaa elektrolyysierien sijoittamista esimerkiksi lähelle suuria kaupunkeja ja niiden kaukolämpöverkkoja.

Näin ollen energiansiirtotarpeen nähdään määräytyvän Suomen sisällä seuraavalla tavalla. Lisäksi siirtotarpeen määräytymistä on havainnollistettu kuvan 12 avulla.

23.05.2023

- Uusiutuvan sähkön tuotanto, vedyn tuotanto ja vedyn käyttökohde sijaitsevat kaikki sijainnissa A
  - ei laajamittaista kansallista energiansiirtotarvetta
  - sähkö- ja vety hyödynnetään jatkojalostuksessa ja energia sitoutuu tuotteisiin ja siirretään jatkojalosteiden (esim. kemikaalit ja polttoaineet) muodossa
- Uusiutuvan sähkön tuotanto ja vedyn tuotanto sijaitsevat sijainnissa A, käyttökohde sijainnissa B
  - energia siirretään käyttökohteeseen vetynä
- Uusiutuvan sähkön tuotanto sijaitsee sijainnissa A, vedyn tuotanto ja käyttökohde sijainnissa B
  - energia siirretään käyttökohteeseen sähköinä
  - mahdollisuus vedyntuotannossa syntyvän hukkalämmön hyödyntämiseen esim. kaukolämmön tuotannossa lähellä käyttökohdetta
- Uusiutuvan sähkön tuotanto sijainnissa A, vedyn tuotanto sijainnissa B, ja vedyn käyttökohde sijainnissa C
  - energiaa siirretään sekä sähköinä että vetynä: sähkönsiirto vedyntuotantoon ja vedyn siirto käyttökohteeseen



Kuva 12 Energiansiirtotarve määräytyy sen mukaan, kuinka uusiutuvan sähkön tuotanto, vedyn tuotanto ja vedyn käyttö ovat sijoittuneet toisiinsa nähden

Mikäli vedyn tuotanto sijaitsee lähellä uusiutuvan sähkön tuotantoa, vähentää tämä sähkönsiirtotarvetta. Vastaavasti vedyn tuotanto käyttökohteessa vähentää vedynsiirtotarvetta. Vedyn siirtotarpeeseen vaikuttaa myös vienti pohjoiselta alueelta Ruotsiin ja eteläiseltä alueelta Keski-Eurooppaan.

23.05.2023

Skenaarioissa hahmoteltu suuri energiansiirto Suomesta Keski-Eurooppaan (56 TWh vetyä vastaa 80 TWh sähköä) on mahdollista ainoastaan vetyputkia hyödyntäen tai tuotteiden muodossa. Vastaavan nettoenergiamäärän siirto sähkönä samalla huipunkäyttöajalla vaatisi lähes 19 GW sähkönsiirtokapasiteettia eli noin 19 kappaletta nykyisen kaltaista sähkönsiirtoyhteyttä, mikä ei olisi sähköjärjestelmän näkökulmasta tehokasta.

Järjestelmän kehittämisen kannalta Fingridin ja Gasgridin on ensisijaisen tärkeää tunnistaa asiakkaidensa energiansiirtotarpeet ajoissa, ja vastata niihin suunnittelemalla ja rakentamalla tarvittavaa siirtoinfrastruktuuria. Sähkön ja vedyn sektori-integraation edetessä yhtiöiden tulee huomioida suunnittelussa myös toistensa siirtoinfrastruktuurin kehitys, ja pyrkiä yhteissuunnittelulla luomaan Suomeen kokonaisuudessaan mahdollisimman kustannustehokas energiajärjestelmä. Järjestelmän kokonaiskustannusten kannalta on tärkeää kannustaa tuotanto- ja käyttökohteita sijoittumaan tai joustamaan myös siirtoinvestoinnit huomioiden optimaalisella tavalla. Näin mahdollistetaan mahdollisimman suuren kasvupotentiaalin toteutuminen kustannustehokkaasti.

23.05.2023

## 6 Johtopäätökset

Suomella on erittäin hyvät edellytykset kehittyä vetytalouden edelläkävijäksi. Suomen uusiutuvan sähköntuotannon potentiaali on merkittävä ja sitä voidaan hyödyntää sekä yhteiskunnan sähköistämiseen että uusien sähköintensiivisten teollisuudenalojen käyttöön. Uusiutuvan sähkön tuotannon resurssien lisäksi Suomesta löytyy vahva sähkön kantaverkko, osaavaa työvoimaa, sekä useita yrityksiä toimimaan osana vetytalouden arvoketjuja. Puhtaasta sähköstä tuotetusta vedystä sekä siitä jatkojalostetuista P2X-tuotteista voi kasvaa Suomelle merkittävä vientiteollisuus.

Valtioneuvoston periaatepäätöksen mukaan Suomi tavoittelee Euroopan johtavaa asemaa vetytaloudessa läpi koko arvoketjun. Skenaariotyön aikana Suomessa on jatkunut uusiutuvan tuotannon mittava kasvu ja käynnistetty useita kymmeniä vetyyn liittyviä hankkeita. Toimintaympäristö on jatkuvassa muutoksessa ja kehityksen tahti on viime aikoina huomattavasti nopeutunut.

Skenaarioissa esitettiin kolme kehityspolkua Suomen roolista eurooppalaisen vetymarkkinan arvoketjussa. Skenaarioissa Suomesta kehittyy joko P2X-tuotteiden tai vetykaasun tai näiden molempien merkittävä tuottajamaa Euroopan markkinoiden kasvavaan tarpeeseen. Kaikissa skenaarioissa Suomen markkinaosuus kasvaa yli 10 prosenttiin EU:ssa tuotetusta puhtaasta vedystä vuoteen 2030 mennessä. Skenaarioiden kasvuoletukset haastavat energiajärjestelmän kehittämistä voimakkaasti ja auttavat siten varmistamaan, että niin sähkön kuin vedyn siirtoinfrastruktuurin kehittämistarpeita arvioidaan kattavasti ja ajoissa.

Energiansiirto skenaarioissa kasvaa merkittävästi, kun sekä sähkön että vedyn tuotanto ja kulutus jakautuvat eri puolille Suomea. Vetyteollisuuden vaatima energiansiirto voi tapahtua joko sähköä, kuten nykypäivänä, tai tulevaisuudessa osa siirrosta voidaan toteuttaa myös vetynä, kuten skenaarioissa. Tämä edellyttää sähkönsiirto- ja vedynsiirtoinfrastruktuurin kehittämistä vastaamaan asiakkaiden tarpeisiin. Skenaarioissa kehitetään niin kotimaista kuin rajat ylittävää sähkönsiirto- ja vedynsiirtoinfrastruktuuria. Vedynsiirtoinfrastruktuurin muodostuminen mahdollistaa myös skenaarioissa olennaisen puhtaan vetykaasun viennin ja tuonnin, mikä vaikuttaa laajasti myös muuhun energiajärjestelmään.

Gasgrid ja Fingrid näkevät yhteissuunnittelun tärkeänä mahdollisimman kustannustehokkaan energiajärjestelmän kehittämiseksi. Suomen kilpailukyvyyn edistämiseksi on tärkeää, että energiainfrastruktuuria kehitetään kokonaisvaltaisesti tulevaisuuden siirtotarpeet huomioiden. Edistämällä vetytalouden investointeja Suomeen, voimme saavuttaa tavoitellun Euroopan johtavan aseman. Lisäksi kansainvälisten vedynsiirtoyhteyksien rakentaminen laajentaa vetymarkkinaa ja luo toimijoille uusia liiketoimintamahdollisuuksia vedyn arvoketjujen eri vaiheisiin.

Viimeistelyjen skenaarioiden pohjalta lähdemme jatkamaan yhteistyössä selvityksiä siitä, mitä mallinnustulokset tarkoittavat Suomen energiainfrastruktuurin ja koko vetytalouden arvoketjun kannalta. Tavoitteena on löytää kustannustehokkaimmat infrastruktuurin kehityspolut Suomen energiajärjestelmälle erilaisissa tulevaisuuden skenaarioissa. Lisäksi keskiössä ovat vetyinfrastruktuurin erilaiset kehitysvaihtoehdot sekä energiainfrastruktuurien välinen sektori-integraatio.

**Hankkeen loppuraportti valmistuu syksyllä 2023.**

23.05.2023

*Suomen kaasun siirtoverkkoyhtiö Gasgrid Finland ja sähkön kantaverkkoyhtiö Fingrid aloittivat keväällä 2021 yhteistyön, jonka tavoitteena on selvittää vetytalouden mahdollisuuksia Suomessa, sekä energiainfrastruktuurin roolia vetytalouden mahdollistajana. Yhteistyö saa konkreettista jatkoa Gasgridin ja Fingridin yhteisessä tutkimus- ja kehityshankkeessa, joka toteutetaan osana laajempaa, useista suomalaisista yrityksistä ja tutkimuslaitoksista koostuvaa HYGCEL-tutkimushankekonsortiota. Business Finland on 28. lokakuuta 2021 myöntänyt tukea sekä Fingridin ja Gasgridin yhteishankkeelle että laajemmalle kokonaisuudelle.*

*Gasgrid Finland Oy on valtionyhtiö, joka toimii järjestelmävastaavana kaasun siirtoverkonhaltijana Suomessa. Tarjoamme asiakkaillemme turvallista, luotettavaa ja kustannustehokasta kaasujen siirtoa. Kehitämme aktiivisesti ja asiakaslähtöisesti siirtoalustamme, palveluitamme ja kaasumarkkinoita edistääksemme tulevaisuuden hiilineutraalia energia- ja raaka-ainejärjestelmää. Lue lisää: [www.gasgrid.fi](http://www.gasgrid.fi)*

*Fingrid on suomalaisten kantaverkkoyhtiö. Turvaamme asiakkaille ja yhteiskunnalle kustannustehokkaasti varman sähkön ja muovaamme tulevaisuuden puhdasta ja markkinaehtoista sähköjärjestelmää. Fingrid välittää. Varmasti. [www.fingrid.fi](http://www.fingrid.fi)*