

Skenaariot: Energian siirtoverkot vetytalouden ja puhtaan energiajärjestelmän mahdollistajina

Sidosryhmäkonsultaatio Fingridin ja Gasgrid Finlandin yhteishankkeen skenaarioluonnoksista

17.06.2022

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 konsultaatioraportti on jatkumoa aiemmin tekemillemme sidosryhmähaastatteluille ja maaliskuussa [julkaisemallemme väliraportille](#). Olemme luonnostelleet erilaisia skenaarioita, joissa kuvataan ylätasolla, kuinka vetytalous voisi toteutua energiajärjestelmän kannalta. Näiden skenaarioluonnosten perusteella olemme tehneet alustavia energiajärjestelmämallinnuksia, joiden tarkoituksena on arvioida erilaisten infrastruktuuriratkaisujen merkitystä eri tilanteissa.

Tämän konsultaatioraportin perusteella pyydämme sidosryhmiä kertomaan näkemyksistään ja odotuksistaan liittyen luonnosteltuihin skenaarioihin, jotta voimme huomioida ne lopullisissa skenaarioissa ja mallinuksissa. Pyydämme sidosryhmiä antamaan palautetta 19.8.2022 mennessä. Tarkemmat ohjeet palautteen antamiseen löytyvät raportin lopusta luvusta 6 Palautteen antaminen.

17.06.2022

Sisältö

Esipuhe.....	2
1 Johdanto.....	4
Toimintaympäristö on merkittävän muutoksen keskellä.....	4
2 Skenaarioiden kuvaukset – Skenaarioiden ajurina merkittävän uuden vientiteollisuuden syntyminen.....	6
2.1 Suomen vetytalouden kehityksen suuntaviivat – kolme skenaariota	6
2.1.1 Vahvaa alueellista vetytaloutta -skenaario	8
2.1.2 Tehokas eurooppalainen vetymarkkina -skenaario.....	8
2.1.3 Vetytalouden kärkimaa Suomi -skenaario	9
2.2 Skenaarioiden mallinnus ja taustaoletukset	9
3 Skenaarioluonnosten keskeiset mallinnustulokset	11
3.1 Vedyn tuotantomäärät, elektrolyyserikapasiteetit ja käyttö eri skenaarioissa – Puhdasta vetyä kotimaan käyttöön ja vientiin	11
3.1.1 Puhdasta vetyä kotimaiseen teollisuuteen ja P2X-vientituotteisiin	12
3.1.2 Vedyn vientimäärät vetykaasuna eri skenaarioissa.....	13
3.2 Sähköntuotannon kasvu eri skenaarioissa - Suomen edullinen tuulisähkö kilpailukyyn ajurina....	14
3.3 Vetyvarastojen rooli eri skenaarioissa - Vedyn varastoinnilla joustoa energiajärjestelmään	15
4 Vetytalouden investoinnit ja markkinat	17
4.1 Valtavilla investoinneilla kohti puhdasta energiajärjestelmää	17
4.2 Investoinneilla kiinni miljardien arvoiseen vetymarkkinaan	18
5 Siirtoinfrastruktuuri mahdollistaa investoinnit Suomeen	20
5.1 Energian siirtotarve moninkertaistuu nykyisestä	20
5.1.1 Vedyn kulutuksen ja uusiutuvan sähkön tuotannon sijainti Suomessa.....	21
5.1.2 Arvio skenaarioissa tarvittavasta energiansiirrosta Suomen sisällä	22
6 Palautteen antaminen	24

17.06.2022

1 Johdanto

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 yhtäaikaisesti 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. Haastatteluissa esitettyjä näkemyksiä on hyödynnetty skenaarioluonnosten muodostamisessa.

Suomella on hyvät edellytykset olla vetytalouden edelläkävijä, sillä meiltä löytyy muun muassa vahva energiainfrastruktuuri sekä kustannustehokkaat uusiutuvan energian resurssit puhtaan vedyn kilpailukykyiseen tuottamiseen. Yhteishankkeen skenaarioiden tarkoituksena on löytää kustannustehokkaimmat infrastruktuurin kehityspotut 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 se tukisi kansallista kilpailukykyä parhaalla mahdollisella tavalla.

Toimintaympäristö on merkittävän muutoksen keskellä

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 julkaisema REPowerEU-suunnitelma, jonka tavoitteena on vähentää fossiilisen venäläisen energian tuontia sekä lisätä merkittävästi uusiutuvaa energiantuotantoa ja nopeuttaa uusiutuvan vedyn käyttöönottoa EU:ssa.

Suunnitelmissa on, että EU tuottaa puhdasta vetyä 10 Mt (333 TWh) ja lisäksi tuo 10 Mt vetyä unionin ulkopuolelta jo vuoteen 2030 mennessä. Yhteenlaskettuna tämä tarkoittaisi noin 670 TWh suuruista Euroopan vetymarkkinaa.¹ Tässä muutoksessa on kyse energiaomavaraisuuden parantamisesta, kauppavirtojen muutoksista sekä Euroopan vastauksesta Venäjän aloittamiin sotatoimiin Ukrainaa kohtaan. Muutos vaatii syvää sektori-integraatiota, joka asettaa vaatimuksia sekä vedyn että sähkön siirtoinfrastruktuurin kehitykselle.

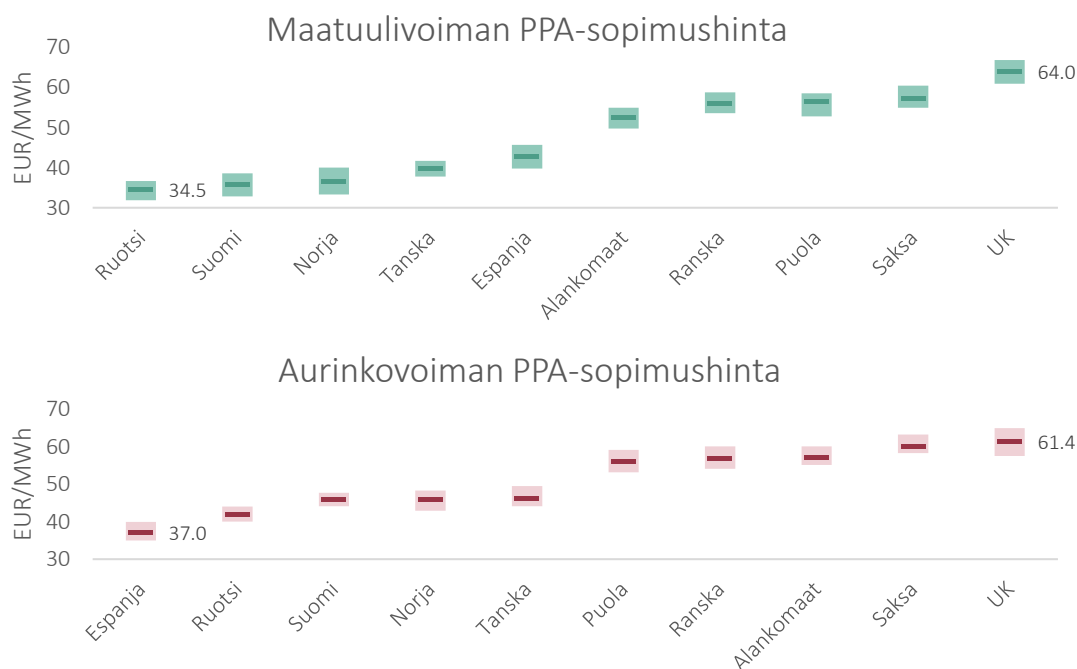
Gasgrid on osallistunut aktiivisesti European Hydrogen Backbone (EHB) -ryhmän eli 31 eurooppalaisen energiainfrastruktuuriyhtiön aloitteeseen. EHB-ryhmä edistää visiota yhtenäisestä vedyn siirtoinfrastruktuurin ja markkinan kehityksestä. EHB-analyyseissä on havaittu, että Pohjoismaissa ja Baltiassa on paitsi erinomaiset edellytykset vetyä käyttävän teollisuuden syntymiseen, 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.

¹ REPowerEU (europa.eu)

17.06.2022

EHB-ryhmän viimeisin julkaisu on visio 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.² Toisaalta Suomen uusiutuvan energian resursseilla ja meneillään olevilla uusiutuvan energian hankkeilla puhdasta vetyä voitaisiin tuottaa kotimaassa jopa yli 300 TWh³, mikä vastaisi noin 45 % osuutta arvioidusta Euroopan markkinasta vuonna 2030.

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).



Kuva 1 Suomen maatuulivoiman PPA-sopimushinta (power purchase agreement) on vuoden 2022 alkupuoliskolla ollut Euroopan toiseksi edullisin ja aurinkovoiman kolmanneksi edullisin⁴

Edullisesta ja puhtaasta vedystä sekä siitä jatkojalostetuista tuotteista voi kasvaa Suomelle merkittävä vientiteollisuus. Suomesta löytyy resursseja uusiutuvan sähkön tuotantoon, vahva sähkön kantaverkko, osaavaa työvoimaa, sekä useita yrityksiä toimimaan osana vetytalouden arvoketjua. Siten Suomella on mahdollisuus kehittyä vetytalouden saralla kokoaan suuremmaksi. Suomen kilpailukykyyn säilyttämiseksi on kuitenkin tärkeää, että energiainfrastruktuuria kehitetään kokonaisvaltaisesti tulevaisuuden energiansiirtotarpeet huomioiden. Mahdollistamalla kilpailukyky ja edistämällä vetytalouteen liittyvien investointien sijoittumista Suomeen, voi Suomi saavuttaa merkittävän markkinaosuuden Euroopan vetyteollisuudesta, esimerkiksi sähköpolttoaineiden tuotannossa.

² Five hydrogen supply corridors for Europe in 2030. (EHB, 2022).

³ Väliraportti: Energian siirtoverkot vetytalouden ja puhtaan energiajärjestelmän mahdollistajina. (Fingrid, Gasgrid, 2022)

⁴ <https://about.bnef.com/blog/wind-and-solar-corporate-ppa-prices-rise-up-to-16-7-across-europe/>

17.06.2022

2 Skenaarioiden kuvaukset – Skenaarioiden ajurina merkittävän uuden vientiteollisuuden syntyminen

Tässä luvussa esitellään Fingridin ja Gasgridin skenaarioluonnosten kuvaukset. Skenaarioiden luonnostelussa on tarkoituksellisesti valittu kunnianhimoiset perusoletukset vetytalouden kehityksestä, koska ne haastavat energiajärjestelmän kehitystä voimakkaasti. Ne myös tuovat esiin vetytalouden laajempia yhteiskunnallisia vaikutuksia paremmin kuin varovaisemmat skenaariot.

2.1 Suomen vetytalouden kehityksen suuntaviivat – kolme skenaariota

Taulukossa 1 kuvataan Gasgridin ja Fingridin kolmen skenaarioluonnoksen suuntaviivat Suomen vetytalouden kehityksestä. Skenaarioissa tutkitaan Suomen energiajärjestelmän kannalta erilaisia kehitysvaihtoehtoja energiansiirtoinfrastruktuurille.

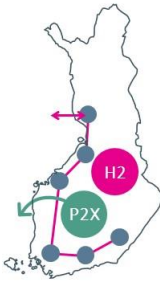

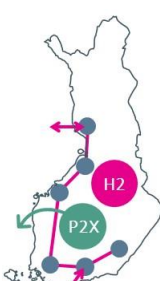
Perusoletuksena skenaarioissa on, että Suomi saavuttaa kaikissa skenaarioissa hiilineutraalisuustavoitteen ja puhtaan vedyn tuotanto Suomessa kasvaa voimakkaasti. Vedyntuotantoon ja P2X-tuotteisiin käytettävän sähkön kysynnän kasvun lisäksi myös muun sähkön kysynnän arvioidaan kasvavan. Kysyntä kasvaa liikenteessä, lämmityksessä ja nykyisessä teollisuudessa, kun fossiilisia polttoaineita korvataan sähköllä. Lisäksi Suomeen oletetaan syntyvän uutta sähköintensiivistä teollisuutta, kuten akkujen valmistusta ja datakeskuksia. Näiden on oletettu kehittyvän samalla tavalla kaikissa skenaarioissa. Sähkön kulutus (pois lukien vedyn tuotantoon käytettävä sähkö) kasvaa noin 30 % vuoteen 2030 mennessä ja noin 50 % vuoteen 2040 mennessä.

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

Skenaarioissa keskeisenä muuttujana on oletus Suomen roolista vetymarkkinan arvoketjussa: Kehittykö 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. Vetyinfrastruktuurin muodostuminen vaikuttaa laajasti myös muuhun energiajärjestelmään (kts. esim. Luku 3.3).

17.06.2022

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

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

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

17.06.2022

2.1.1 Vahvaa alueellista vetytaloutta -skenaario

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:n selvityksessä, jossa rajat ylittävän putken kooksi on visioitu 7.2 GW (vetyä)⁵. Perämeren alueella on Gasgrid Finlandin ja Nordion Energian yhteinen Nordic Hydrogen Route – hanke, jossa on meneillään selvitystyö Perämeren alueen rajat ylittävästä vetyinfrastruktuurista⁶ ja siirtokapasiteetin tarpeesta.

Koska tässä skenaariossa Suomen vetyjärjestelmä on yhdistettynä vain Pohjois-Ruotsiin putkiyhteyttä pitkin, on kotimaisen vetyvarastoinnin tarve suuri, jotta vedyn tuotantoa voidaan ohjata joustavasti vaihtelevan uusiutuvan tuotannon mukaan. Toisaalta myös kotimaisen varastoinnin kannattavuus paranee ilman kilpailua muiden vetyjärjestelmien varastojen kanssa. Siksi Suomeen rakennetaan suuri määrä vetyvarastoja.

2.1.2 Tehokas eurooppalainen vetymarkkina -skenaario

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 vuonna 2030 vienti pohjoisen rajansiirtoyhteyden kautta Ruotsiin toimii Suomen vetytalouden kasvun nopeuttajana. Vienti Ruotsiin mahdollistaa nopeamman uusiutuvan sähkön ja vedyn tuotantokapasiteetin kasvun, kun Itämeren alueen vedyn siirtoyhteydet ovat vielä rakenteilla.

Itämeren alueen läpi rakennetaan suuri, kooltaan n. 13 GW:n, putkiyhteys Keski-Eurooppaan 2030-luvulla. Sen myötä vientimäärät kasvavat huomattavasti. Suomen vetytalouden ajurina toimii siten pitkällä aikavälillä 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

⁵ Bothnian Bay Hydrogen Valley – Research report. LUT Scientific and Expertise Publications 134. (Karjunen, et al., 2021)

⁶ <https://nordichydrogenroute.com/fi/hanke/>

17.06.2022

varastointiin hyvin alhaisella kustannuksella, ja Itämeren putkiyhteyden avulla niiden tarjoamaa joustavuutta saadaan hyödynnettyä myös Suomessa. Tämä vähentää kotimaisen varastoinnin tarvetta ja kannattavuutta, ja siten Suomeen ei rakenneta yhtä suurta määrää kotimaista varastokapasiteettia kuin *Vahvaa alueellista vetytaloutta* -skenaariossa.

2.1.3 Vetytalouden kärkimaa Suomi -skenaario

Tässä 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. Kotimaisen varastokapasiteetin tarve on samalla tasolla kuin *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* -skenaariossa huolimatta suuremmasta vedyn tuotannosta.

Skenaariossa Suomessa tuotetaan erittäin paljon puhdasta vetyä, mikä vaatii vastaavasti paljon puhdasta sähköntuotantoa. Tuotannon kasvua rajoittaa oletus, että tuulivoimaa 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 maatuulivoimakapasiteetti ja sen lisäksi merituuli- ja aurinkovoimaa. Mikäli maatuulivoiman rakennusvauhtia nostettaisiin yli 4 GW:iin vuodessa ja kokonaispotentiaalia olisi hyödyntämättä, Suomi voisi vastata vielä suuremmissa määrin Euroopan vedyn kysyntään (kts. Luku 3.2).

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 sähkömarkkinamallilla, jonka avulla analysoidaan markkinan toimintaa sekä tuntitasolla että erilaisten tuotanto- ja kulutuslaitosten investointihorisonttien tasolla. Mallinnustyökaluna käytetään AFry:n BID3-sähkömarkkinamallia⁷, joka on käytössä Fingridillä myös laajemmin. 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. Energiforsk⁸ ja Fossilfritt Sverige⁹ -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 skenaarioon¹⁰. ENTSO-E:n skenaariossa ei ole huomioitu viimeaikaisia toimintaympäristön muutoksia,

⁷ <https://afry.com/en/service/bid3-power-market-modelling>

⁸ [The role of gas and gas infrastructure in Swedish decarbonisation pathways 2020-2045](#). (Energiforsk, 2021)

⁹ [Strategy for fossil free competitiveness – Hydrogen](#). (Fossil Free Sweden, 2021)

¹⁰ [Ten Year Network Development Plan 2022 – Scenario report](#) (ENTSO-E, 2022)

17.06.2022

jonka vuoksi lopullisiin skenaarioihin pyritään päivittämään mm. RePowerEU-ohjelman vaikutukset puhtaan vedyn ja uusiutuvien määriin.

Sähkön tuotantokapasiteetin kehityksen lähtökohtana on skenaarioissa pyritty huomioimaan uusiutuvalle sähköntuotannolle asetetut kansalliset minimitalvitteet 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, 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.

Markkinaehtoiset investoinnit tuuli- ja aurinkovoimaan, elektrolyysereihin sekä vetyvarastoihin on määritetty siten, että investointien saama käyttökate tukkumarkkinoilta kattaisi tasoitettujen investointikustannukset sekä pääoman tuottovaatimuksen¹¹. Sähkön ja vedyn tuotannon, kulutuksen ja 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 alkalinen (ALK), polymeerimembraani (PEM) sekä kiinteäoksidikenno (SOEC). Mallinnuksissa elektrolyysille on valittu 70 % hyötysuhde ja kustannuskehitys alkali-elektrolyysin mukaan. Arvio kustannuskehityksestä on koottu mm. Suomen vetytiekartassa käytetystä IEA:n selvityksestä¹² sekä muista lähteistä^{13,14}.

Vetyä voidaan varastoida esimerkiksi suolakiviluolissa, kalliokiviluolissa ja vetyputken tapaisissa terästankeissa. 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 kustannussyistä¹⁵. Kustannustehokkaimmaksi vedyn varastointimuodoksi Suomessa on oletettu kalliokiviluolavarastot.

Fingrid ja Gasgrid pyrkivät tarkentamaan kustannusarvioita lopullisiin skenaarioihin.

¹¹ Oletuksena pääoman tuottovaatimukselle 5 % reaalisesti

¹² Business Finland, National Hydrogen Roadmap for Finland: (Laurikko, et al., 2020)

¹³ https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_for_renewable_fuels.pdf

¹⁴ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2018_06_27_technology_pathways_-_finalreportmain2.pdf

¹⁵ https://gasgrid.fi/wp-content/uploads/Gasgrid_Study-on-the-Potential-of-Hydrogen-Economy-in-Finland_ENG-FINAL.pdf

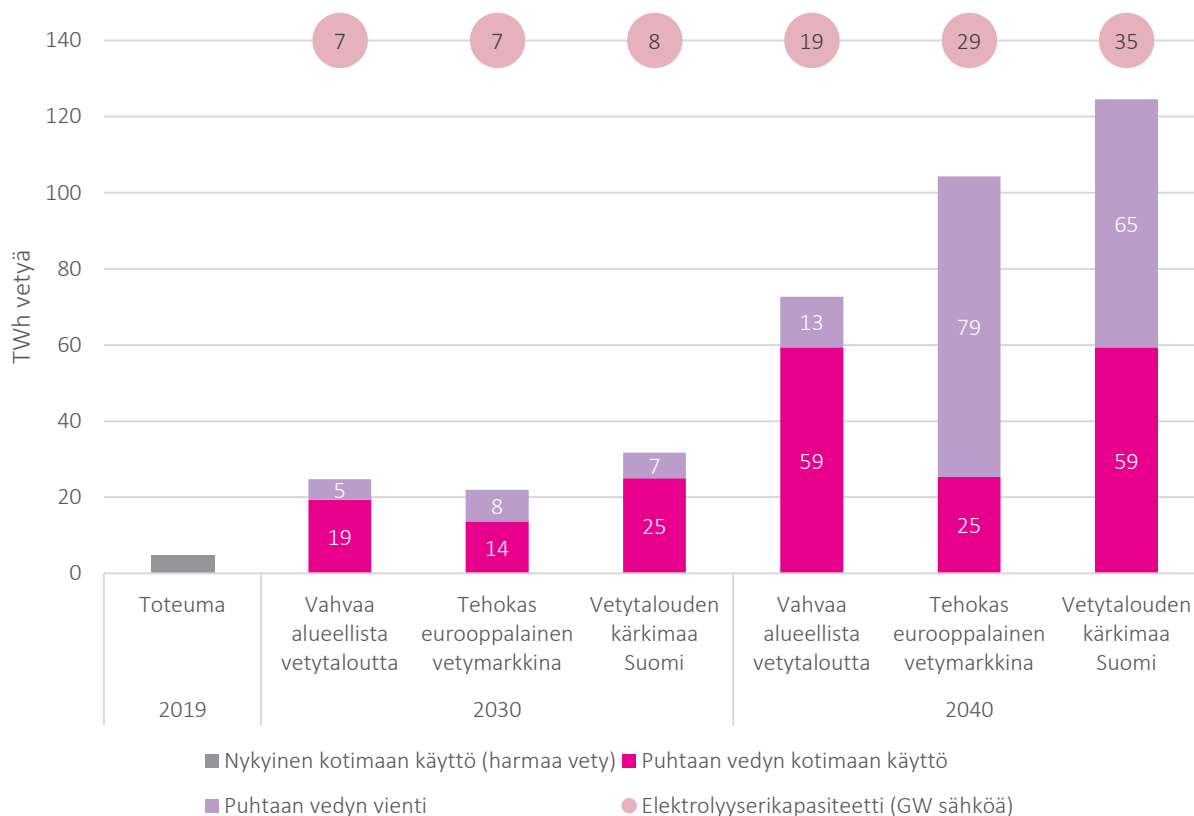
17.06.2022

3 Skenaarioluonnosten keskeiset mallinnustulokset

Tässä luvussa esitellään skenaarioluonnosten 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, elektrolyyserikapasiteetit 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 tuotannosta ja vedyn tuottamiseen käytettävästä elektrolyyserikapasiteetista.



Kuva 2 Suomen harmaan vedyn käyttö ja skenaariot puhtaan vedyn tuotannosta sekä elektrolyyserikapasiteetista

Skenaarioissa puhdasta vetyä tuotetaan Suomessa noin 20–35 TWh vuonna 2030 ja 70–125 TWh vuonna 2040. Näiden määrien tuottamiseksi Suomessa on asennettuna 7–8 GW elektrolyyserikapasiteettia jo vuoteen 2030 mennessä, ja kapasiteetti moninkertaistuu noin 20–35 GW tasolle vuoteen 2040 mennessä.

17.06.2022

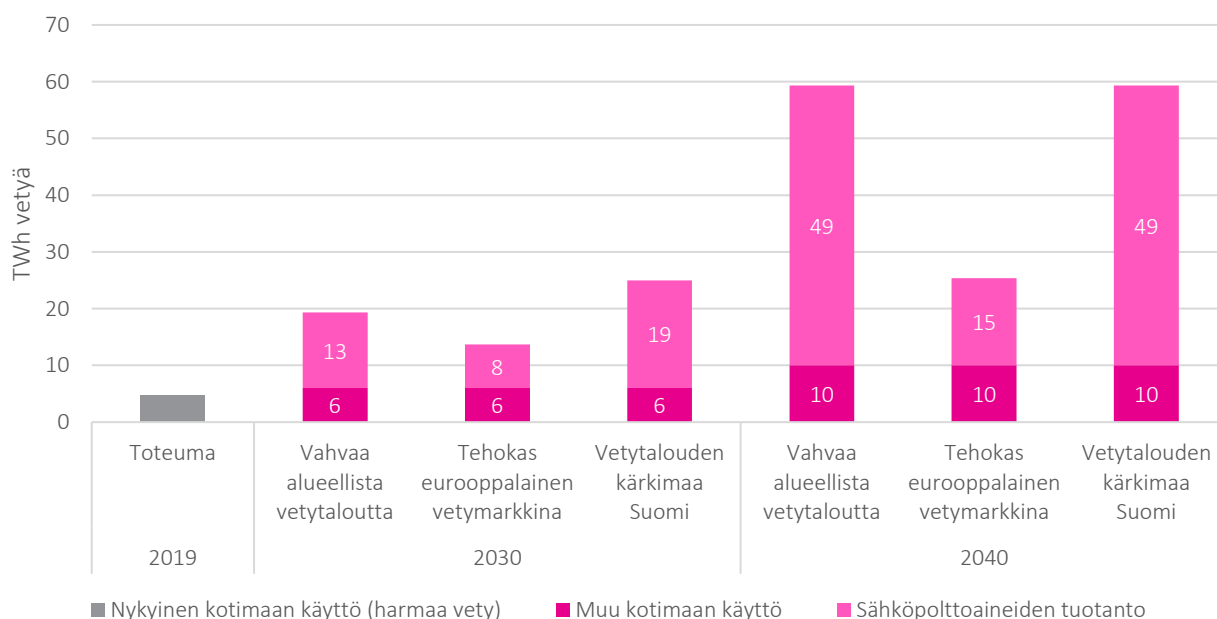
3.1.1

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^{16,17,18}, 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 -skenaariossa sähköpolttoaineiden valmistukseen käytettäisiin 13 TWh vetyä vuonna 2030 ja 19 TWh vuonna 2040. *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* -skenaariossa vastaava kysyntä olisi 8 TWh vuonna 2030 ja 15 TWh vuonna 2040 ja *Vetytalouden kärkimaa Suomi* -skenaariossa vedyn kysyntä kotimaisten sähköpolttoaineiden valmistuksen olisi 19 TWh vuonna 2030 ja 49 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 vedyn kysynnän kasvua, mikäli kasvu ajoittuisi pääosin vuosille 2025–2030.



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

¹⁶ Ren-Gas: 2,5 TWh uusiutuvia kaasupolttoaineita raskaan liikenteen käyttöön. (Yhtiön nettisivut, luettu 27.5.2022)

¹⁷ P2X Solutions: 1000 MW elektrolyysitehoa seuraavan kymmenen vuoden aikana. (P2X Solutions, 2022)

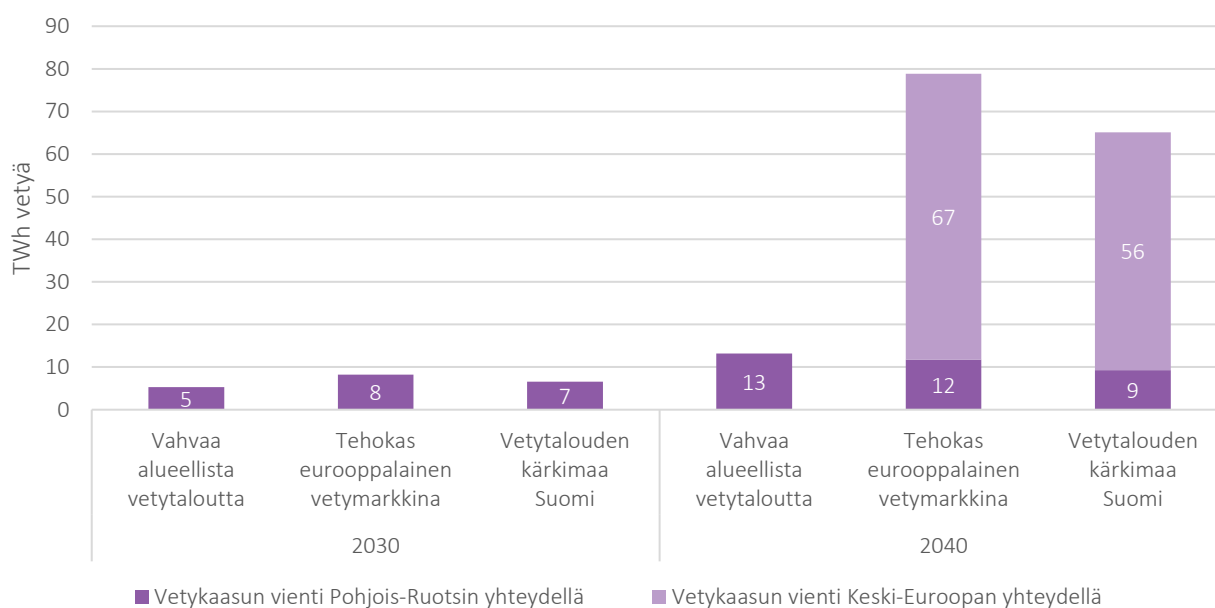
¹⁸ Business Finland, National Hydrogen Roadmap for Finland: noin 170 kt/a (~6 TWh) vedynkäytön kasvua etenkin öljynjalostus- ja terästeollisuudessa (Laurikko, et al., 2020)

17.06.2022

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 vetytalousselvityksen¹⁹ korkeimman skenaarion kysyntätasoon, jota on käytetty edellä mainittujen skenaarioiden mallintamisessa. Tähän kysyntätasoon päästäisiin jo siten, että 2020-luvun loppupuolen puhtaan vedyn kysynnän vuotuinen kasvu jatkuisi samalla tasolla 2030-luvun läpi. *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* -skenaarion kotimaan kysyntä jää 25 TWh:iin, sillä tässä skenaariossa Suomen vetytalouden kasvu perustuu 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. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty, minkälaisia määriä puhdasta vetyä viedään kaasuna Itämeren alueen maihin. Laskelmien perusteella Suomesta tulee ensin 2030-luvulla vedyn viejä Pohjois-Ruotsiin Nordic Hydrogen Routen mahdollistamana. Tämän jälkeen vientiä on erityisesti Keski-Euroopan suuntaan, mikäli sen mahdollistavat putkiyhteydet rakennetaan.



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

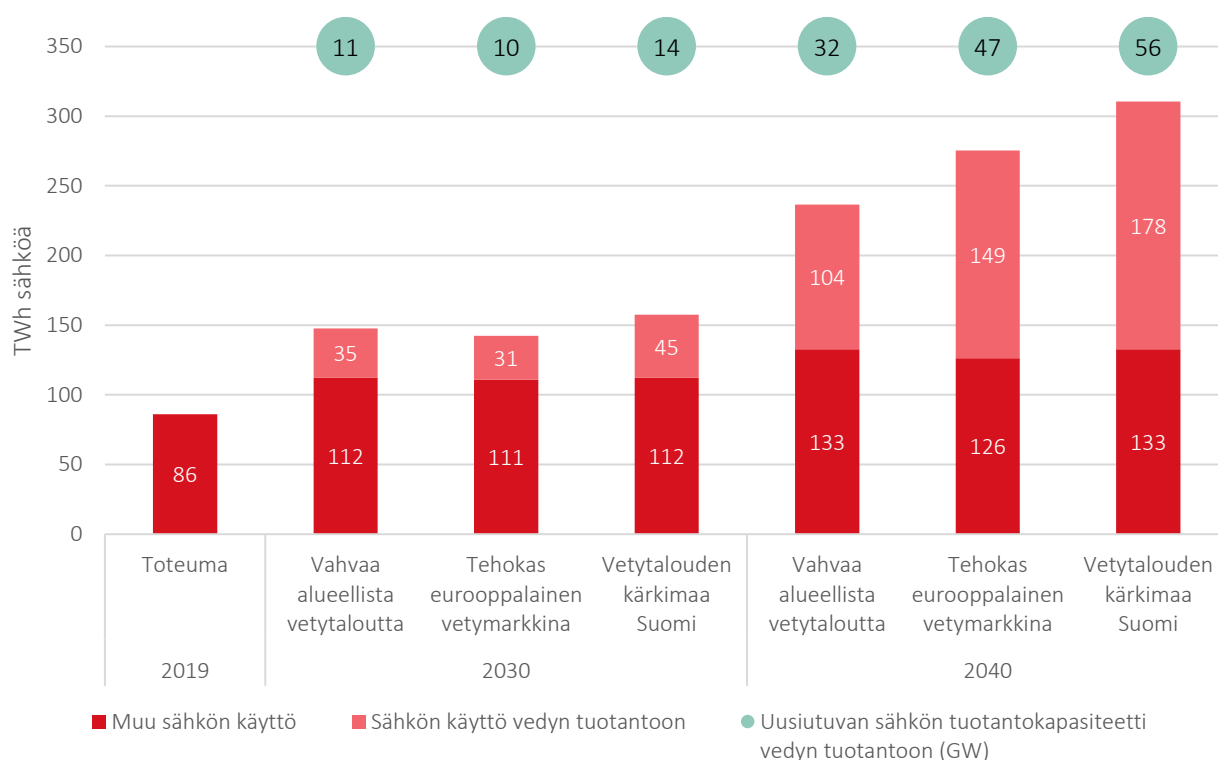
Vuonna 2030 vetyä viedään nettomääräisesti noin 5–8 TWh Pohjois-Ruotsin teollisuuden tarpeisiin putkiyhteyttä pitkin. Vuoteen 2040 mentäessä viennin määrä Pohjois-Ruotsiin nousee noin 9–13 terawattituntiin. Muissa skenaarioissa vedyn viennin määrä kasvaa Keski-Eurooppaan rakennettavan putkiyhteyden ansiosta, etenkin *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* -skenaariossa, jossa vienti nousee noin 70 TWh tasolle. *Vetytalouden kärkimaa Suomi* -skenaariossa vedyn vienti vetykaasuna jää hieman alhaisemmalle tasolle johtuen asetetuista rajoituksista maatuulivoiman rakentamisessa (kts. Luku 3.2), sillä jo erittäin korkea kotimaan kysyntä sitoo suuren osan saatavilla olevista resursseista.

¹⁹ Valtioneuvoston kanslia, Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet, s. 162 (Sivill, et al., 2022)

17.06.2022

3.2 Sähköntuotannon kasvu eri skenaarioissa - Suomen edullinen tuulisähkö kilpailukyyn 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 30–45 TWh, ja vuoteen 2040 mentäessä 100–180 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 datakeskuksien myötä.



Kuva 5 Suomen sähkön käyttö sekä puhtaan vedyn tuottamiseen tarvittava uusiutuva kapasiteetti^{20,21}

Puhtaan sähkön tuottamiseksi tarvitaan hyvin merkittäviä investointeja puhtaaseen uusiutuvaan sähköntuotantoon. Maa- ja merituulivoiman sekä aurinkovoiman määrät kasvavat huomattavasti kysyntään vastaamiseksi. Kuvassa on esitetty arvio tarvittavasta uusiutuvan sähkön tuotantokapasiteetista 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.

²⁰ Lähde Suomen sähkön käytölle vuonna 2019: Suomen virallinen tilasto (SVT, 2019): Energian hankinta ja kulutus

²¹ Uusiutuvalla sähkön tuotantokapasiteetilla viitataan tässä yhteydessä maa- ja merituulivoimaan sekä aurinkovoimaan. Kapasiteetti arvioitu keskimääräisellä 3200 tunnin huipunkäyttöajalla.

17.06.2022

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. Maatuulivoiman kasvunopeus onkin yksi keskeinen epävarmuustekijä skenaarioissa.

Mikäli maatuulivoiman lisärakentaminen olisi nopeampaa, puhtaan vedyn tuotantomäärät Suomessa voisivat olla vielä esitettyäkin suurempia. Esimerkiksi jos tuulivoiman lisärakentaminen kasvaisi 6 GW tasolle per vuosi, voitaisiin saavuttaa 80 GW tuulivoimakapasiteetti vuonna 2040, mikä vastaisi 280 TWh/a sähköntuotantoa ja siten myös korkeampaa vedyn tuotantopotentiaalia. Toisaalta, mikäli maatuulivoiman lisärakentaminen olisi hitaampaa, rajoittaisi se myös puhtaan vedyn tuotantoa. Tuulivoiman ja sen vaatiman energiansiirtoinfrastruktuurin nopea luvitus sekä Itä-Suomen tuulivoimapotentialin hyödyntäminen tukisivat siten vetyinvestointien toteutumisedellytyksiä. Maatuulivoiman lisäksi Suomeen rakennetaan kaikissa skenaarioissa 4–9 GW merituulivoimaa ja 7–15 GW aurinkovoimaa vuoteen 2040 mennessä.

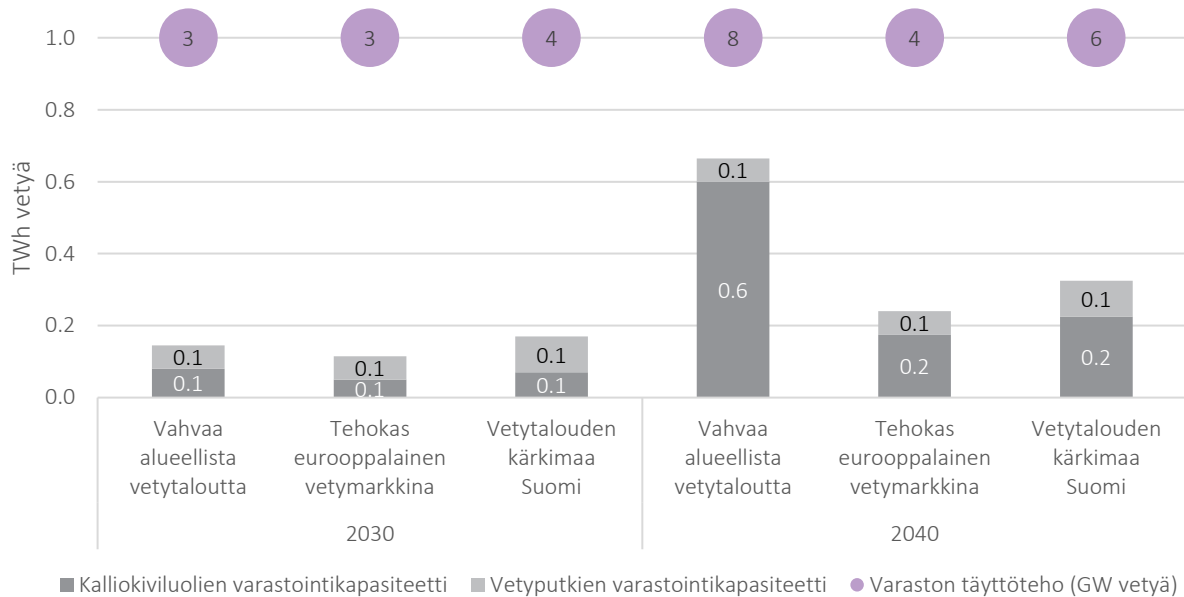
Maa- ja merituulivoiman sekä aurinkovoiman tuotanto ylittää skenaarioissa 85–95 TWh tasolle vuoteen 2030 mennessä ja kasvaa siitä edelleen 195–255 TWh tasolle vuoteen 2040 mennessä. Se tarkoittaa, että valtaosa Suomen tuotannosta vaihtelisi sääolosuhteiden mukaan. Tämä merkitsee valtavaa tarvetta kulutuksen 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 myös merkittävää vedyn varastointia, jotta sään mukaan vaihteleva tuulivoima ja luonteeltaan tasainen 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 varaston täyttötehona.

17.06.2022



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 valtavien suolakiviluolavarastojen kapasiteetti sinne suuntautuvan vetyputken avulla.

Vahvaa alueellista vetytaloutta -skenaariossa kotimaisten vetyvarastojen yhteenlaskettu varastointikapasiteetti vastaa noin 1,5 vuorokauden kotimaista vedynkulutusta vuonna 2030 ja noin 3 vuorokauden kulutusta vuonna 2040. Skenaariossa varastojen täyttöteho vastaa noin kolmasosaa elektrolyyserien vedyn tuotantokapasiteetista. Muissa skenaarioissa kotimaisten vetyvarastojen kapasiteetti on alhaisempi, sillä joustoa vetyjärjestelmään saadaan vedyn viennin ja tuonnin avulla.

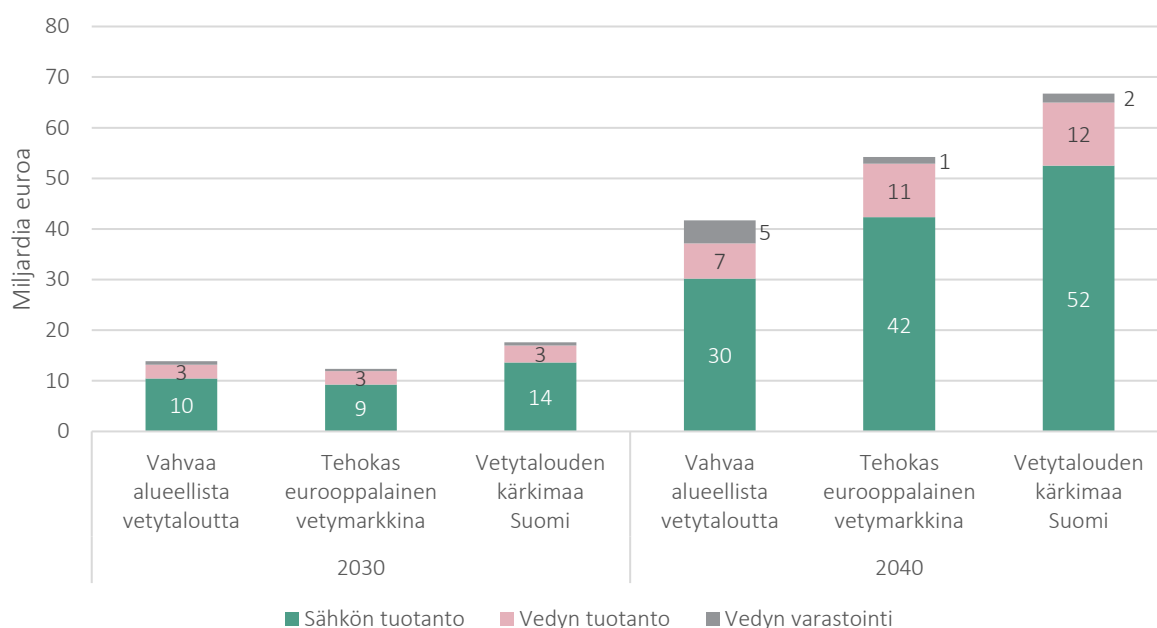
17.06.2022

4 Vetytalouden investoinnit ja markkinat

4.1 Valtavilla investoinneilla kohti puhdasta energiajärjestelmää

Puhtaan vedyn tuottaminen esitetystä mittakaavassa vaatii valtavat investoinnit puhtaan vedyn ja sähkön tuotantoon. Lisäksi tarvitaan investointeja vedyn varastointiin ja energian siirtoon. Laajamittaisten investointien arvioidaan toteutuvan markkinaehtoisesti. Suomen etuna on eurooppalaisessa vertailussa edullinen ja määrältään erittäin suuri puhtaan sähkön tuotantopotentiaali.

Kuva 7 havainnollistaa investointien mittakaavan puhtaan vedyn tuottamiseen vuosiin 2030 ja 2040 mennessä eri skenaarioissa. Sähkön tuotanto uusiutuvilla puhdasta vetyä varten vaatii valtaosan investoinneista, jotka yltyvät vuoteen 2030 mennessä noin 10–15 miljardiin euroon ja vuoteen 2040 mennessä noin 30–50 miljardiin euroon. Sähkön tuotantoinvestoinnit vastaavat elektrolyysiin kuluva sähköä, joka tuotettaisiin pääosin suomalaisella maatuulivoimalla (ks. 3.2, Kuva 5). Investoinnit kotimaiseen energiansiirtoon ovat esitetystä kustannuksista murto-osa. Arvio investoinneista energiansiirtoon täsmentyy yhteishankkeen lopullisten skenaarioiden mallinnoissa.



Kuva 7 Arvio investoinneista puhtaan vedyn tuottamiseen Suomessa vuosiin 2030 ja 2040 mennessä, kumulatiivinen

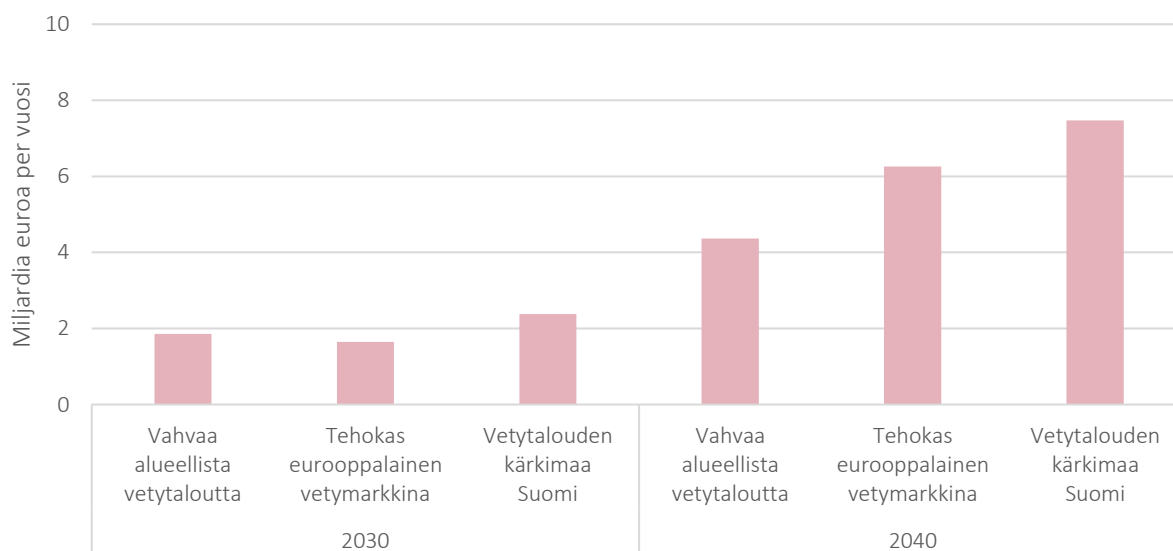
Vedyn tuotannossa ja varastoinnissa investoinnit vuoteen 2030 mennessä ovat 2–3 miljardin euron suuruusluokkaa ja kasvavat vuoteen 2040 mennessä yhteensä noin 10–15 miljardiin. Suurin osa näistä investoinneista suuntautuu elektrolyysereihin (ks. kapasiteetit, Kuva 4), mutta huomattavaa on myös kalliokiviluolien vaatimien investointien kokoluokka (ks. kapasiteetit, Kuva 6). Etenkin *Vahvaa alueellista vetytaloutta* -skenaariossa investoinnit kotimaiseen varastointiin, liki 5 miljardia euroa, ovat merkittävät verrattuna noin 7 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.

17.06.2022

Vetyvarastojen kehitykseen liittyy merkittäviä epävarmuuksia mm. vetyvarastojen rakentamiskustannuksiin ja teknisiin ratkaisuihin. Erilaisia varastointiratkaisuja on rakennettu maakaasua varten, mutta vetyä varten rakennettavat suuren kokoluokan varastot ovat vielä pilottivaiheessa. Esimerkiksi Ruotsissa pilotoidaan kalliokiviluolaa vedyn varastointiin osana HYBRIT-hanketta²². Fingrid ja Gasgrid ovat osana yhteishanketta selvittämässä tarkemmin erilaisten vedyn tuotanto- ja varastointiratkaisujen sekä P2X-jatkojalostusketjun kustannuksia.

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 mennessä²³. Näillä hinnoilla laskettuna Suomen puhtaan vedyn tuotannon arvo on vuosittain 1,5–2,5 miljardia euroa vuonna 2030, nousten jopa 4–8 miljardiin euroon vuoteen 2040 mennessä. Edellä esitetyn arvion lisäksi Suomessa tuotetaan lisäarvoa jatkojalostamalla vetyä P2X-tuotteiksi, kuten sähköpolttoaineiksi, joiden arvo on selvästi pelkän vedyntuotannon arvoa suurempi.



Kuva 8 Arvioitu Suomen puhtaan vedyn tuotannon vuotuinen arvo (ei huomioi P2X-tuotteiden lisäarvoa)

Suomen potentiaalia vedyn viejänä arvioitaessa on tärkeää huomioida EU:n tavoitteet puhtaan vedyn markkinasta. Vuonna 2030 EU:n vetymarkkinan kooksi on arvioitu noin 670 TWh²⁴ ja vastaavasti vuonna 2040 noin 1300 TWh²⁵. Suomen markkinaosuus EU:n puhtaan vedyn ja vetyjalosteiden markkinalla (sis. Suomen) on skenaarioiden mukaan siten 3–5 % vuonna 2030 ja 5–10 % välillä vuonna 2040 (Kuva 9). Suomi on skenaarioissa kokoaan suurempi muihin EU-maihin verrattuna puhtaan ja edullisen sähkön erinomaisen saatavuuden ansiosta.

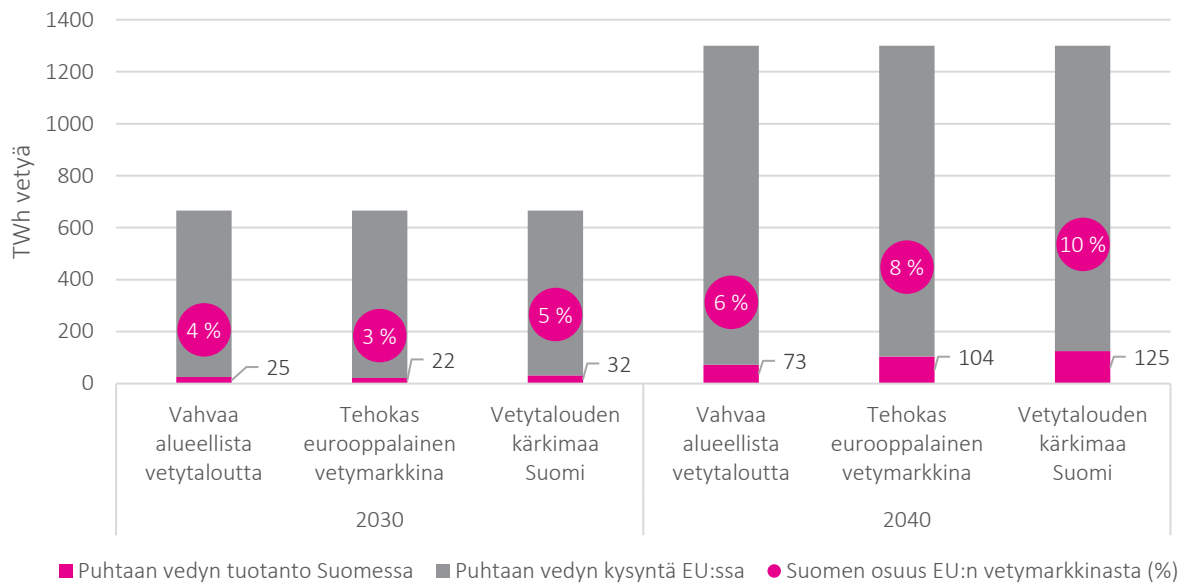
²² <https://fuelcellsworks.com/news/ssab-lkab-and-vattenfall-started-building-a-rock-cavern-storage-facility-for-storing-hydrogen/>

²³ Five Hydrogen supply corridors for Europe in 2030, s. 115 (EHB, 2022)

²⁴ Perustuen EU:n REPowerEU -suunnitelmaan, huomioiden sekä EU:n 10 Mt tuotantotavoitteen että 10 Mt tuontitavoitteen vuoteen 2030 mennessä (Euroopan Komissio, 2022)

²⁵ 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, ENTSOE, Ten Year Network Development Plan 2022)

17.06.2022



Kuva 9 Suomessa tuotetun puhtaan vedyn osuus EU:n vetymarkkinasta skenaarioissa vuonna 2040

17.06.2022

5 Siirtoinfrastruktuuri mahdollistaa investoinnit Suomeen

Skenaarioluonnosten perusteella puhtaan vedyn tuotanto on edullista Suomessa, minkä vuoksi sitä kannattaa tuottaa ja myös viedä vetynä 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 vuoteen 2040 mennessä. Alla olevissa luvuissa on käsitelty tarkemmin siirtoinfrastruktuurin kehitystarvetta Suomen sisällä eri skenaarioissa.

5.1 Energian siirtotarve moninkertaistuu nykyisestä

Suomen sähkönkulutuksesta iso osa sijaitsee etelässä, kun taas merkittävä osa uusiutuvan sähköntuotannon kasvupotentiaalista on pohjoisessa. Fingridin vuonna 2021 julkaistun verkkovision²⁶ skenaarioissa on tunnistettu, että pohjois-eteläsuuntainen sähkön siirtokapasiteetti täytyy moninkertaistaa vaiheittain pitkällä aikavälillä. Fingridin verkkovision skenaarioista energian siirtotarve on vain kasvanut, ja vedyn sekä uusiutuvan sähkön tuotannon sijoittumisella on siirtotarpeeseen erittäin suuri vaikutus.

Suomen nykyisistä tuulivoimaloista suurin osa sijaitsee Pohjanmaalla ja Lapissa, kun taas Etelä- ja Itä-Suomessa tuulivoimaloita ei juurikaan ole. Etelä-Suomessa tuulivoimaresurssien potentiaalia rajoittaa muun muassa tiheämpi asutus. Itä-Suomessa taas rajoitteena on tutkavalvonta, joka rajaa tuulivoiman rakennusalueita ja hankkeiden kokoa, mikä vähentää toimijoiden kiinnostusta niiden kehittämiseen. Rajoitteiden takia valtaosa uusista tuulivoimahankkeista sijaitsee Länsi- ja Pohjois-Suomessa.

Suomessa vetyä käytetään nykyisin kemianteollisuudessa etenkin Etelä-Suomessa²⁷, ja vedyn tuotanto on keskittynyt pitkälti kulutuskohteiden mukaan. Skenaarioiden tärkeimpinä ajureina ovat uuden teollisuuden syntyminen ja sijoittuminen sekä nykyisen kulutuksen korvautuminen puhtaalla vedyllä. Tähän mennessä julkistetuista kotimaisista vetyprojekteista suuri osa on etelässä²⁸, mm. Vantaalla ja Porvoossa sekä Perämeren rannikolla²⁹. 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 kulutuksen sijoittuminen maantieteellisesti onkin yksi merkittävimmistä skenaarioiden epävarmuustekijöistä.

Puhtaan vedyn tuotantokeskittymät vaativat uusiutuvaa sähköä, joten niiden sijainti suhteessa uusiutuvan sähkön tuotantoon ratkaisee Suomen sisäisen energiansiirron tarpeen. Sähkön siirtotarve korostuu, mikäli elektrolyysi sijaitsee lähellä vedyn loppukulutusta. Suomen sisäinen vedynsiirtoinfrastruktuuri mahdollistaisi elektrolyysin sijoittamisen lähelle uusiutuvaa tuotantoa ja energiansiirron vetynä. Vedyn siirtoinfrastruktuuri mahdollistaisi myös vedyn jatkojalostusprosessien sijoittamisen lähelle CO₂-päästölähteitä, joita käytetään esimerkiksi P2X-tuotteiden raaka-aineena.

²⁶ Verkkovisio (Fingrid, 2021): https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/fingrid_verkkovisio.pdf

²⁷ Business Finland, National Hydrogen Roadmap for Finland: (Laurikko, et al., 2020)

²⁸ Valtioneuvoston kanslia, Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet (Sivill, et al., 2022)

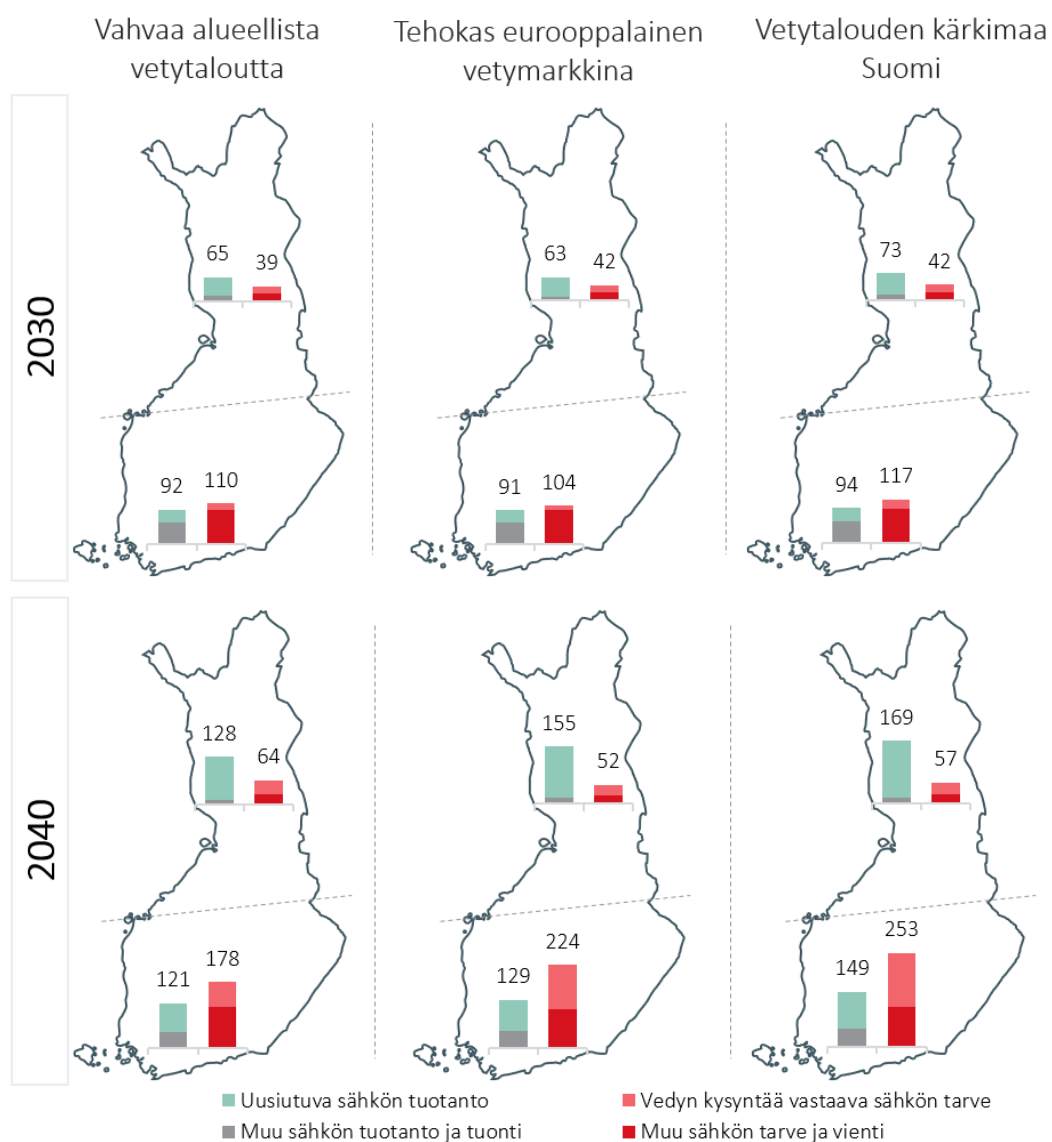
²⁹ <https://www.both2nia.com/fi>

17.06.2022

Vetyinfrastruktuuri voi myös mahdollistaa vedyntuotannon sijoittumisen lähelle kaupunkia, jotka voivat hyödyntää vedyn tuotannossa syntyvän hukkalämmön kaukolämpöverkoissaan. Tämä lisäisi sähkön siirtotarvetta tuulivoiman tuotantokeskittymistä kaupunkien kulutuskeskittymiin.

5.1.1 Vedyn kulutuksen ja uusiutuvan sähkön tuotannon sijainti Suomessa

Kuva 10 näyttää sähkön tuotannon ja kulutuksen jakaantumisen Suomessa vuosina 2030 ja 2040 kaikissa skenaarioissa. Kuvassa Suomi on jaettu pohjoiseen ja eteläiseen osaan Keski-Suomen kohdalta. Poikkileikkauksen avulla kuvataan tarvittava energiansiirto Suomen sisällä. Kuvassa vedyn kysyntää vastaava sähkön tarve on havainnollistettu vedyn kysynnälle oletetun sijainnin mukaan, eli toisin sanoen vety tuotettaisiin elektrolyyysillä lähellä sen käyttöpaikkaa. Vedyn kysynnässä on myös huomioitu vienti pohjoiselta alueelta Ruotsiin ja eteläiseltä alueelta Keski-Eurooppaan. Uusiutuvalla sähkön tuotannolla viitataan tässä yhteydessä maa- ja merituulivoimaan sekä aurinkovoimaan.



Kuva 10 Sähkön tuotannon ja kulutuksen sijainti Suomessa skenaariovuosina 2030 ja 2040

17.06.2022

Vuonna 2030 vedyn kysyntä kasvaa pohjoisen ja etelän välillä melko tasaisesti. Pohjoisessa kasvua ajaa etenkin terästeollisuuden vedynkäyttö ja vienti Pohjois-Ruotsiin, kun taas etelässä kysyntä kasvaa nykyisten teollisuuslaitosten harmaan vedyn korvaamisessa ja sähköpolttoaineiden tuotannossa. *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* -skenaariossa Pohjois-Ruotsin vientiä on enemmän ja kotimaista sähköpolttoaineiden tuotantoa vähemmän, minkä vuoksi kysyntä painottuu Pohjois-Suomeen.

Kaikissa skenaarioissa valtaosa uudesta uusiutuvasta tuotannosta rakennetaan kuitenkin poikkileikkauksen pohjoispuolelle ja alue on ylijäämäinen, kun taas etelä jää alijäämäiseksi suuren sähkön kulutuksen vuoksi. Tämän myötä kaikissa skenaarioissa on energian siirtotarvetta pohjoisesta etelän kulutuskohteisiin.

Vuoteen 2040 mennessä sähköpolttoaineiden tuotanto etelässä sijaitsevilla tuotantolaitoksilla ja/tai vetykaasun vienti etelästä lähtevällä vetyputkella ajaa vedyn kysynnän painopisteen Etelä-Suomeen kaikissa skenaarioissa. Uusiutuvaa maa- ja merituulivoimaa rakennetaan etenkin poikkileikkauksen pohjoispuolelle, mikä lisää alueen ylijäämää. Suuri ylijäämä pohjoisessa ja alijäämä etelässä johtaa erittäin suureen energian siirtotarpeeseen pohjoisesta etelään.

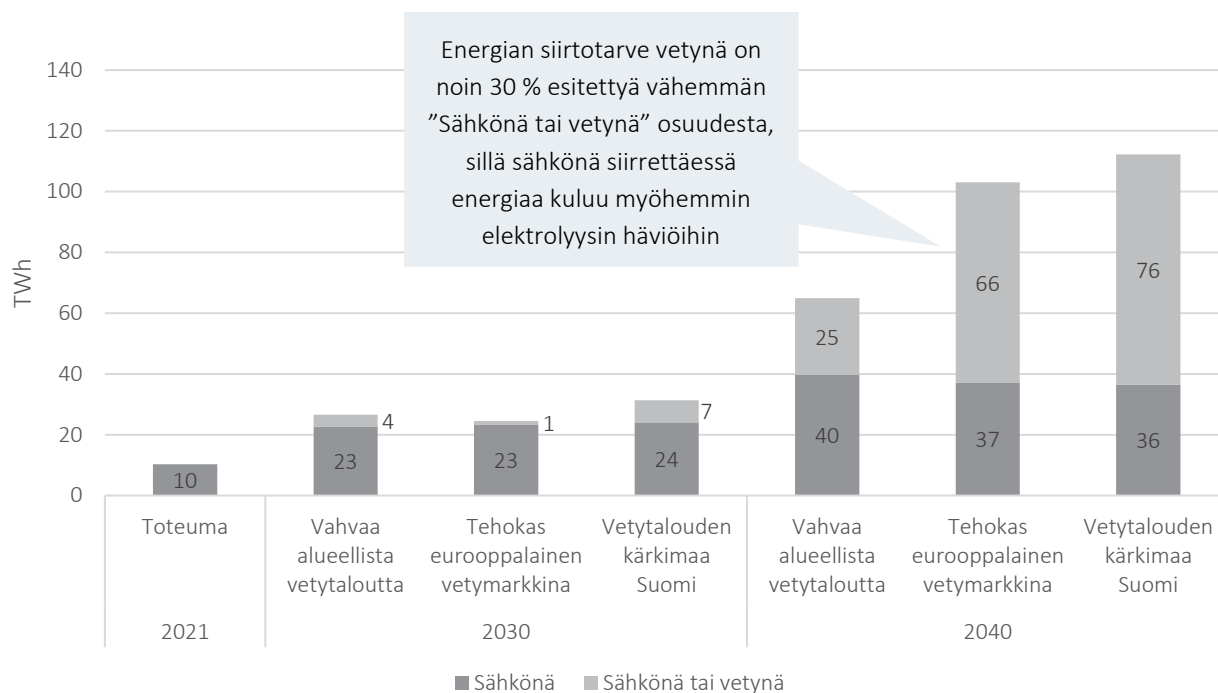
Skenaarioiden lukuja tarkasteltaessa on myös hyvä huomioida, että Itä-Suomen tutkavalvonnan rajoitteiden on oletettu ratkeavan, jolloin maatuulivoimaa saa rakentaa myös vapaammin Itä-Suomeen. Tämä mahdollistaa Suomen maatuulivoimapotentiaalin maksimaalisen hyödyntämisen. Tuulivoiman maantieteellinen hajauttaminen parantaa myös kannattavuutta, sillä tuulisuuden paikallinen vaihtelu parantaa tuulivoimainvestointien kannattavuutta. Samalla tuulivoiman tuotanto kokonaisuudessaan näyttäytyy tasaisempaan, kun tuotantoa saadaan hajautettua tuuliolosuhteiltaan erilaisille alueille.

5.1.2 Arvio skenaarioissa tarvittavasta energiansiirrosta Suomen sisällä

Kuva 11 esittää arvon skenaarioissa tarvittavasta energiansiirrosta pohjoisen ja eteläisen Suomen välillä. Energiansiirtotarve 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.

Energiansiirtotarve voidaan kuvan mukaisesti toteuttaa joko sähkönä ja sähkönä tai vetynä. Osuudet on arvioitu siten, että uusiutuvan vedyn tuotantoon käytettäisiin suhteessa saman verran pohjoiseen ja etelään sijoittuvaa maa- ja merituulivoiman sekä aurinkovoiman tuotantoa. Tällöin vedyn tuotannossa saataisiin irti hyöty tuotannon maantieteellisestä hajautumisesta ja siten tasaisemmasta tuotannosta. Uusiutuvan sähkön siirto vedyn tuotantoa varten näyttäytyy kuvassa energiansiirtona, joka voidaan elektrolyyserien sijoittumisen perusteella siirtää joko sähkönä tai vetynä. Jäljelle jäävä sähköntuotanto käytetään muissa kulutuskohteissa, jolloin se on siirrettävä sähköverkkoa käyttäen.

17.06.2022



Kuva 11 Arvio Suomen sisäisestä energiansiirtotarpeesta (läpi Keski-Suomen poikkileikkauksen³⁰)

Vedyn tuotantolaitosten sijoittuminen vaikuttaa siihen, siirrettäisiinkö energia sähkönä vai vetynä. Esimerkiksi pohjoisessa tuulipuistossa kiinni oleva elektrolyyseriällä voitaisiin tuottaa puhdasta vetyä, joka siirretään etelän kulutuskohteeseen. Vastaavasti elektrolyyseri voi sijaita kulutuskohteen lähellä kaukana sähkön tuotannosta, jolloin siirto toteutetaan sähkönä. Sähkönä 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. Tämä osaltaan tukee vetyinfrastruktuuri rakentamista.

Kaikissa skenaarioissa on oletettu Nordic Hydrogen Route -putkiyhteyden olevan käytössä Suomen ja Ruotsin välillä vuodesta 2030 eteenpäin. Putkiyhteydellä voidaan siirtää 7,2 GW vetyä perustuen Bothnian Bay Hydrogen Valley -selvityksessä³¹ käytettyihin putkikokoihin. Lisäksi *Tehokas eurooppalainen vetymarkkina* -skenaariossa sekä *Vetytalouden kärkimaa Suomi* -skenaariossa rakennetaan Suomesta Keski-Eurooppaan suuntautuva putkiyhteys vuoteen 2040 mennessä, jonka siirtokapasiteetiksi on asetettu 13 GW vetyä perustuen European Hydrogen Backbone³² -selvitykseen.

Skenaarioissa hahmoteltu erittäin suuri energiansiirto Suomesta Keski-Eurooppaan (56–67 TWh vetyä vastaa 80–96 TWh sähköä) on mahdollista ainoastaan vetyputkia hyödyntäen tai tuotteiden muodossa. Vastaavan nettoenergiämäärän siirto sähkönä samalla huipunkäyttöajalla vaatisi lähes 19 GW sähkönsiirtokapasiteettia, mikä ei ole nykyisen kaltaisessa järjestelmässä mahdollista.

³⁰ Keski-Suomen poikkileikkaus on havainnollistettu karttakuvissa edellä

³¹ Bothnian Bay Hydrogen Valley – Research Report (Karjunen et al., 2021)

³² Extending the European Hydrogen Backbone (EHB, 2021)

17.06.2022

6 Palautteen antaminen

Fingrid Oyj ja Gasgrid Finland Oy toivovat saavansa palautetta sidosryhmiltä edellä esitettyihin yhteishankkeen skenaarioluonnoksiin.

Palautetta voi antaa raportin julkaisusta lähtien. Pyydämme antamaan palautetta 19.8.2022 mennessä. Palaute annetaan käyttäen Microsoft Forms lomaketta, joka löytyy seuraavasta osoitteesta:

<https://forms.office.com/r/jaGKz7r0FM>

Lomakkeen alussa on vastaajan taustatietokysely vastauksien käsittelemisen helpottamiseksi. Varsinainen skenaarioluonnoksien palaute annetaan vastaamalla lomakkeeseen määriteltyihin kysymyksiin. Viimeisenä on vielä mahdollisuus antaa avointa palautetta.

Tulemme syksyllä 2022 tarkentamaan skenaarioita saadun palautteen sekä yhteishankkeessa valmistuvien selvitysten lopputulosten perusteella. Lisäksi selvitysten ja skenaarioiden avulla arvioidaan eri vetytalouden arvoketjujen sekä kehityspolkujen vaikutusta kaasun, sähkön sekä mahdollisen vedyn siirtojärjestelmän kehitystarpeisiin. Hankkeen loppuraportti valmistuu vuoden 2022 lopussa ja julkaisun yhteydessä tullaan pitämään yhteinen sidosryhmätilaisuus.

17.06.2022

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

Fingrid on suomalaisten kantaverkkoyhtiö. Turvaamme asiakkaille ja yhteiskunnalle kustannustehokkaasti varman sähkön ja muovaamme tulevaisuuden puhdasta ja markkinaehtoista sähköjärjestelmää. Fingrid välittää. Varmasti. www.fingrid.fi