



Vakaan energiajärjestelmän rakennuspalikat

Me Gasgridilla haluamme kehittää yhteiskuntaan erinomaista ja tulevaisuuden kestävää energiajärjestelmää. Sen ominaisuuksia ovat kilpailukyky, kestävyys sekä toimitus- ja huoltovarmuus. Uskomme asiakaslähtöiseen, markkinaehtoiseen ja teknologianeutraaliin lähestymistapaan. Pyrimme parhaaseen mahdolliseen objektiiviseen tilannekuvaan tulevaisuudesta.

Tätä vasten, taustamme huomioiden, peilaamme kaasujen roolia osana kokonaisuutta. Tällä hetkellä näyttää, että kaasuilla on ja tulee olemaan keskeinen merkitys tulevaisuudessa niin huoltovarmuuden, omavaraisuuden,

kustannustehokkuuden kuin fossiilittomuuden kannalta. Kaasujen avulla varmistamme kestävä ja vakaan energiajärjestelmän edellytykset: säätövoiman, jouston sekä vakaan perustan.

Monikäyttöisyys tekee kaasuista houkuttelevan vaihtoehdon teollisuudelle, liikenteelle, sähköntuotannolle ja rakennusten lämmitykselle. Kaasun siirron toimitusvarmuus on yksi toimintamme päätavoitteista, ja tarjoamme asiakkaillemme turvallista ja luotettavaa kaasujen siirtoa vuoden jokaisena päivänä. Kaasujen siirtoalustaan on liitetty kaksi LNG-terminaalia ja viisi biokaasulaitosta. Kokonaisuuteen kuuluva Balticconnector-meriputki mahdollistaa kaasunsiirron Suomen ja Viron välillä. Suunnitteilla oleva vetyinfrastruktuuri osana monikaasualustaa laajentaa osaltaan verkostoa tulevaisuudessa.

Tämän materiaalin tavoitteena on koostaa lukijalle teknologisia ja muita energiajärjestelmän rakennuspalikoita. Käynnissä on globaali murros, joka tarjoaa mahdollisuuksia, mutta myös riskejä. Toivon, että tämä kooste auttaa lukijaa jäsentämään tilannetta ja luomaan kanssamme erinomaista energiajärjestelmää myös jatkossa.

Olli Sipilä
toimitusjohtaja
GASGRID

Muuttuva energiajärjestelmä mahdollistaa paikallista hyvinvointia

Globaali energiajärjestelmä on ennennäkemättömän muutoksen äärellä. Tämän dokumentin tavoitteena on kuvata näkökulmia tästä muutoksesta Suomen kannalta, kun paikalliset energiajärjestelmät etsivät uutta tasapainoa.

Kysymys on toisaalta, mitkä teknologiat korvaavat öljyn, hiilen ja maakaasun eri käyttökohteissa. Toisaalta kysymys on, mikä on paras energiajärjestelmän uusi tasapaino vaihtelevan uusiutuvan sähköntuotannon, puhtaan tasaisen tai joustavan sähköntuotannon, varastointi- ja siirtoteknologioiden sekä kysynnän joustotekijöiden välillä. Tämä dokumentti ei yritä tarjota vastauksia näihin haastaviin kysymyksiin, mutta esittää kuvauksen vaihtoehtoista keskustelun pohjaksi.

Edullisen energian saatavuus on historiallisesti tukenut talouksien kehittymistä, kasvu ja teollistumista. Viimeisen vuosisadan aikana hiilivedyt (öljy, maakaasu) ovat luoneet jalostus- ja kemianteollisuutta, kun taas energiaintensiivisiä muita teollisuudenaloja, kuten teräksenvalmistusta, on rakentunut esimerkiksi paikallisen vesivoiman ja kivihiilen varaan.

Sähköntuotannon päästöjen vähentäminen kohti hiilivapautta on merkittävä askel myös teollisuuden ja laajemman energiajärjestelmän päästövähennyksille. Uusiutuvat energialähteet – erityisesti maatuulivoima ja aurinkosähkö – ovat nykyään näillä soveltuvimmilla alueilla edullisimpia saatavilla olevia energialähteitä ja syrjäyttävät fossiilisia polttoaineita (ks. kaavio 3).

Uusiutuvat, edulliset energianlähteet mahdollistavat kustannustehokkaan hiilidioksidipäästöjen vähentämisen sekä tuovat energiaomavaraisuutta. Puhdas sähkö mahdollistaa kustannustehokkaan CO₂-päästöjen vähentämisen jopa 60–80 prosentilla¹. Lisäksi maat, joissa on riittävä uusiutuvien energialähteiden saatavuus,



hyötyvät joustavuuden ja omavaraisuuden tuomasta energiaturvallisuudesta².

Kohtuuhintaisen uusiutuvan energian saata-
vuus ja potentiaali on kuitenkin jakautunut
epätasaisesti maailman mittakaavassa.
Alueilla, joilla on hyvä uusiutuvan energian
tuotantopotentiaali, on mahdollisuus kasvat-
taa suhteellista kilpailukykyä, tukea talous-
kasvua ja parantaa energiaturvallisuutta.

EU:n parhaiten positioituneet alueet edullisen
uusiutuvan energian tuotantoon ovat Iberian
niemimaa (pääasiassa aurinkovoima), sekä
Suomi/Ruotsi (pääasiassa maatuulivoima)
(ks. kaavio 1).

Suomen, Ruotsin ja Iberian uusiutuvien
energiälähteiden potentiaali ylittää näiden
talouksien nykyiset tarpeet. Tämä luo mah-
dollisuuksia energian vientiin elektroneina tai
energiantantajina (esim. vety, ammoniakki),
sekä uusiin energiantensiivisiin teollisuus-
investointeihin.

Samaan aikaan Keski- ja Länsi-Euroopan
maissa uusiutuvien energialähteiden

kustannuskilpailukyky on heikompaa ja
mahdollisuudet tuotannon laajentamiseen
ovat rajatumpia esimerkiksi maankäytön
tai infrastruktuurirajoitteiden vuoksi. Näillä
mailla on kuitenkin huomattavaa energian
kysyntää sekä teollisuutta, jonka on löydet-
tävä tapoja vähentää hiilidioksidipäästöjään
merkittävästi.

Keski- ja Länsi-Euroopan taloudet tutkivat
mahdollisuuksia puhtaan energian tuomiseen
muilta alueilta³. Nykyisten raaka-aineiden
jatkojalostusta tekevien teollisuuslaitosten
uudelleensijoittaminen tai sulkeminen on
haastavaa monista syistä: huomattavat
toisiinsa linkittyneet teollisuuskompleksit
ovat jo olemassa, niiden investointien poistot
on jo tehty, ja paikallisen työvoiman tieto-
taito on kertynyt vuosikymmenten aikana.
Nämä ekosysteemit ovat maksukykyisimpiä
ja todennäköisimpiä puhtaiden energian-
lähteiden ensikäyttäjiä.

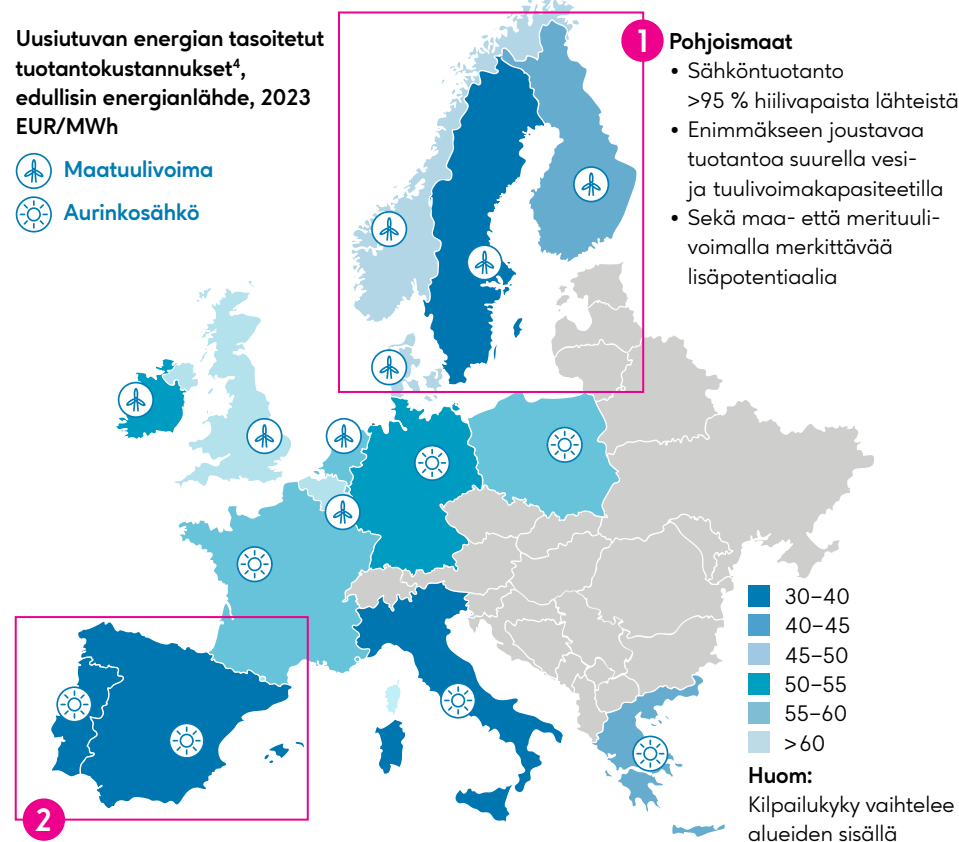
Samaan aikaan uusille energiantensiivisille
tuotantolaitoksille etsitään optimaalisia
sijoituskohteita. Tämä dynamiikka voi tarjota
mahdollisuuksia Suomelle.

KAAVIO 1 Pohjoismailla ja Iberian niemimaalla on vahva kilpailuetu Euroopassa uusiutuvan energian ja uusiutuvan vedyn tuotannossa

Euroopassa edullisten uusiutuvien energialähteiden tuotannon skaalaus-
potentiaalia on lähinnä Iberian niemimaalla ja Pohjoismaissa.

Uusiutuvan energian tasoitettut
tuotantokustannukset⁴,
edullisin energialähde, 2023
EUR/MWh

 Maatuulivoima
 Aurinkosähkö



Iberia

- Paljon edullista aurinkoenergiaa –
aurinkosähkön tuotantokustannus⁴ ~70 %
alhaisempi Espanjassa vs. Saksassa
- Merkittävää valtion tukea (esim. Espanjassa
valtion rahoitus uusiutuviin energialähteisiin
on >90 miljardia euroa)

Italian ja Kreikan uusiutuvien tuotantokustan-
nukset ovat myös alhaisia, mutta mailla on
 muita haasteita, kuten nykyisen energia-
järjestelmän ja siten sähköverkon suuri CO₂-
intensiteetti, sekä rajallinen määrä uusiutu-
vien energialähteiden hankkeita kehityksessä.

1. Lähde: Bloomberg NEF, Energy transmission factbook 2024 incl. electrification and clean power; 2. Lähde: IRENA – Geopolitics of the energy transition; 3. Saksa julkaisi äskettäin vedyn ja johdannaisen tuontistrategian, jossa 50–70 % vedystä on tarkoitus tuoda ulkomailta vuoteen 2030 mennessä, lähde: Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action of Germany; 4. Uusiutuvan energian tasoitettut tuotantokustannukset (engl. LCOE / levelized cost of electricity), mittaa sähkön tuotannon kokonaiskustannuksia mukaan lukien investoinnit ja käyttökustannukset – Lähde: Wood Mackenzie 2023

Fossilisista energianlähteistä irtautuminen edellyttää uusiutuvan energian rinnalle myös muita teknologioita

Energiajärjestelmä on muutakin kuin sähköä. Fossiliset hiilivedyt ovat luoneet energiajärjestelmän, joka tarjoaa lämpöä, teollisuuden raaka-aineita, kuten vetyä, sekä liikennepolttoaineita (ks. kaavio 2). Elektronit ja sähköistäminen voivat suoraan korvata vain osan nykyisestä energiantarpeesta.

Energiajärjestelmää on suunniteltava, rakennettava ja optimoitava kokonaisuutena, jotta hiilidioksidipäästöjen vähentäminen voidaan saavuttaa kustannustehokkaasti. Tulevaisuuden energiajärjestelmien suunnittelun yhteisiä piirteitä ovat energiaturvallisuus, kohtuuhintaisuus, ennakoitavuus ja vähähiilisyyys.

Nykyisen energiajärjestelmän, ja laajemmin yhteiskunnan hiilivapaaksi saattaminen kohti EU:n vuoden 2040 90 %:n päästövähennystavoitetta edellyttää useita teknologioita tuulivoiman ja aurinkosähkön rinnalle (ks. kaaviot 3 ja 4).

Uusiutuva sähkö on kilpailukykyisen vähähiilisen energiajärjestelmän selkäranka.

Uusiutuvat energialähteet ovat kuitenkin luonteeltaan ajoittaisia, tuotannon ollessa käynnissä vain auringon paistaessa tai tuulen puhaltaessa.

- Optimaalisten sääolosuhteiden vallitessa potentiaaliset tuotantomäärät ovat suuria ja johtavat yltarjontaan. Sähkön hinta voi laskea nollaan tai sen alle. Tämän seurauksena uusiutuvasta energiasta saadut sähkön hinnat laskevat ja suunniteltujen investointien kannattavuus kyseenalaistuu, ellei sähkön kysyntä ole systeemitasolla tarpeeksi joustavaa ja/tai ellei sähköä myydä kiinteähintaisilla sopimuksilla.

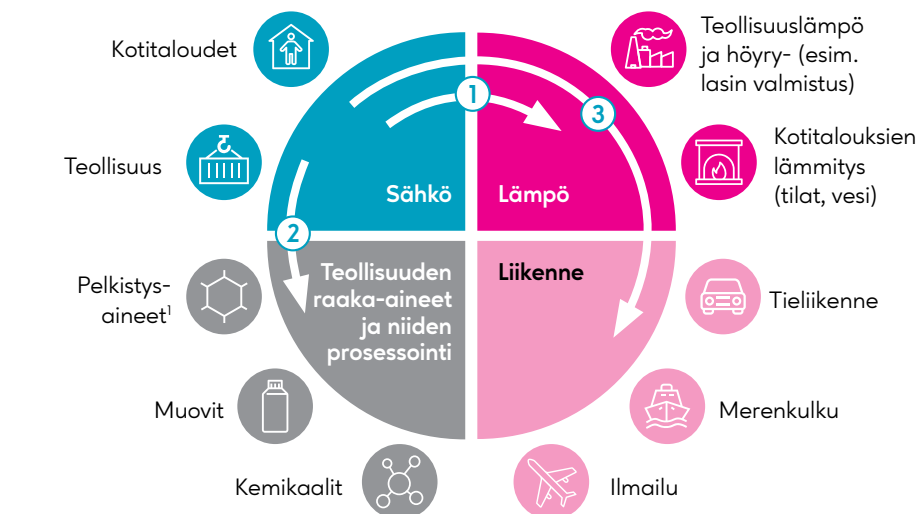
- Mikäli sähkön kysyntä ei jousta ja uusiutuvan energian saatavuus on matala, sähkön tuotantoa ja kysyntää ei pystytä tasapainottamaan. Tällöin saatetaan joutua turvautumaan kalliimpaan joustavaan tuotantoon tai sähkön tuontiin, mikä voivat nostaa hintoja ja rasittaa verkkoa.

Näistä syistä uusiutuvien lähteiden suuri osuus sähköjärjestelmässä edellyttää muita energiamuotoja sekä investointeja, ja/tai kysynnän joustavuutta. Akkuvarastot voivat taloudellisesti pidentää uusiutuvien energialähteiden potentiaalista käyttöaikaa muutamilla tunneilla kerrallaan ja tarjoavat fossiilivapaata joustavuutta verkkoon. Ydinvoima voi tarjota luotettavaa perusenergiatuotantoa ja varmistaa vakauden silloin, kun uusiutuva energia ei riitä. Toisaalta se on uusiutuvia lähteitä kalliimpaa eikä tuo suhteellista kustannuskilpailuetua uusien teollisten investointejen kannalta. Vesivoimavarastot ovat joustavia, mutta mahdollisuudet näiden kapasiteetin lisäämiseen ovat usein rajallisia. Muitakin vähähiilisiä joustavia energiantuotannon vaihtoehtoja on, mutta niiden kustannukset ovat korkeampia. Sähkön teollinen kysyntä, joka pystyy joustamaan uusiutuvan energian tuotannon mukaan, voi myös lisätä järjestelmän vakautta ja kustannustehokkuutta.

Toisaalta, hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ensimmäisen 50–60 % vähennyksen jälkeen edellyttää muitakin keinoja kuin sähköistämistä. Elektrolyysin kaltaiset teknologiat voivat muuttaa sähkön **uusiutuvaksi vedeksi**, jota voidaan käyttää esimerkiksi maakaasusta erotetun fossiilisen vedyn korvaamisessa.

Vety ja sen johdannaiset, yhdessä biopolttoaineiden kanssa, voivat tarjota vähähiilisiä liikennepolttoaineita vaikeasti sähköistettäviin

KAAVIO 2 Kohtuuhintaisen, turvallisen ja kilpailukykyisen energiajärjestelmän kehittäminen edellyttää laajempaa energiajärjestelmän optimointia (esimerkkejä)



1 Lämmön sähköistäminen

- Lämpöpumput rakennusten lämmitykseen
- Sähköuunit korkean lämpötilan teollisuuslämmölle

2 Liikenteen sähköistäminen

- Akkukäyttöiset sähköautot tieliikenteessä
- Uusiutuvalla vedyllä² toimivat polttokennokäyttöiset raskaat ajoneuvot³
- Uusiutuvasta vedystä² tuotettu synteettinen kerosiini (e-SAF) ilmailuun
- Uusiutuvasta vedystä² tuotettu ammoniakki tai metanoli meriliikenteen polttoaineena

3 Sähköllä tuotetut vihreät raaka-aineet

- Uusiutva vety² pelkistysaineena tai prosessikaasuna teräs- tai jalostussalalla
- Uusiutuvasta vedystä² tuotettu ammoniakki tai metanoli kemikaalien raaka-aineena

1. Esimerkiksi koksi rautamalmin pelkistämisessä terästeollisuudessa; 2. Tuotettu uusiutuvalla energialla; 3. Esimerkiksi pitkän matkan raskaat kuorma-autot, kaivosajoneuvot, rakennusajoneuvot

käyttötarkoituksiin tai auttaa maakaasun korvaamisessa huippusähkönlähteenä.

Hiilidioksidin talteenoton avulla voidaan varastoida päästöjä, joita olisi muuten kallista tai haastavaa poistaa, tai tuottaa hiilinieluja, kun hiilen lähde on uusiutuva. Myös muilla sektoreilla on erilaisia teknologioita hiilestä irtautumiseen.

Lopulta, uusiutuva energia yhdessä vedyn kanssa voi vahvistaa energiaturvallisuutta lisäämällä omavaraisuutta. Yhdessä ne voivat korvata fossiilisia energialähteitä ja teollisuuden raaka-aineita, jotka ovat riippuvaisia öljy- ja kaasutuonnista, tukien kustannustehokkaan ja vähähiilisen eurooppalaisen energiajärjestelmän kehitystä.

KAAVIO 3 Fossiilisesta energiasta irtautuminen tapahtuu puhtaalla energialla

- Uusiutuva / puhdas energiantuotanto
- Fossiiliset polttoaineet
- Energian varastointitekniologiat

Keskeiset Suomessa käytettävissä olevat sähköntuotantoteknologiat

Sähkön tuotanto / teknologiat	Käyttö-tarkoitukset	Hyödyt	Haasteet	Kustannus ¹ EUR/MWh	Elinkaaren CO ₂ intensiteetti, g / kWh	Tulevaisuuden skaala ja trendi ⁵
 Maatuuli	Ajoittainen sähkö Hajautettu tuotanto	Minimaalinen CO ₂ , alhainen kustannus Modulaarinen ja skaalattava	Ajoittaisuus Hintojen asettaminen lähelle nollaa ylitarjonnan aikana	~40	~10	 
 Merituuli	Ajoittainen sähkö Hajautettu tuotanto	Minimaalinen CO ₂ , korkea tehokkuus Modulaarinen ja skaalattava	Ajoittaisuus Hintojen asettaminen lähelle nollaa ylitarjonnan aikana	~60	~20	 
 Aurinko	Ajoittainen sähkö Hajautettu tuotanto Kattoasennukset	Minimaalinen CO ₂ , alhainen kustannus Modulaarinen ja skaalattava	Ajoittaisuus Hintojen asettaminen lähelle nollaa ylitarjonnan aikana	~40	~40	 
 Vesi	Perustuotanto ja verkon välitasapainotus	Vakaa ja joustava tuotanto Minimaalinen CO ₂ , matalat käyttökulut	Euroopan kehityspotentiaali käytetty Ympäristövaikutukset vesijärjestelmiin	~50	~20	 
 Biomassa	Perustuotanto, verkon välitasapainotus Sähkön ja lämmön yhteistuotanto	Kysyntään vastaava tuotanto Matala CO ₂	Edullisen biomassan rajallinen saatavuus Biomassan käytön kestävyys lähteittäin	~90	~50	 
 Ydinvoima	Perustuotanto Energiaintensiiviset toimialat	Suuri kapasiteetti ja tuotannon vakaus Matala CO ₂	Korkea alkuinvestointi ja pitkät hankeajat (~10 vuotta) Joustavuuden rajoitteet	~100– 200	~10	 
 Biokaasu	Verkon tasapainotus ja huipputasapainotus Teollisuuskäytön ja liikumisen vähähiilistäminen	Kotimaisuus, alhaiset päästöt, edistää kiertotaloutta	Raaka-aineiden rajattu tai hajautunut saatavuus	~ 250*	~70	 
 Hiili	Perustuotanto ja verkon välitasapainotus	Matalat kustannukset, kysyntään vastaava tuotanto	Korkeat CO ₂ / päästökustannukset Ympäristövaikutukset (kaivostoiminta, poltto)	~110	~1000	 
 Maakaasu (sis. LNG)	Perustuotanto, verkon välitasapainotus Verkon huipputasapainotus	Pienemmät päästöt vs. muut fossiiliset lähteet Kysyntään vastaava tuotanto	Keskitasoiset CO ₂ / päästökustannukset Polttoaineen hinnan korkea volatiliiteetti	~150	~500	 
 Akut	Verkon vakauttaminen ja varavoima Uusiutuvien lähteiden integrointi	Joustava tuki uusiutuville lähteille Nopea kehitys teknologiassa	Varastoinnin kesto vain muutamia tunteja Korkea alkuinvestointi + ajallinen heikkeneminen	~200+	~80 ³	 
 Vety / muu pitkäkestoinen varastointi	Verkon välitasapainotus Teollisuuskäytön ja liikumisen vähähiilistäminen	Verkon joustavuuden ja energia- turvallisuuden parantaminen Matala CO ₂	Korkea alkuinvestointi ja säätövoiman kustannus, infrastruktuurin edellytykset	~140– +300 ⁴	~40	 

Lähteet: Lazard LCOE+, IRENA, Wood Mackenzie; NREL; 1. Laskettu tasoitettuna tuotantokustannuksena (eng. LCOE); Euroopan keskiarvo maa- ja merituulivoimalle sekä biovoimalle; Suomi ydinvoimalle; globaali muille; 3. 2025 ennuste Q3/2023; 4. Riippuvainen varastointi-

teknologiasta ja -kestosta; 5. Uusiutuvat ja fossiiliset perustuen Fingridin 2035 ennusteisiin julkaisuissa Prospects for future electricity production and consumption, 10/2024; Preliminary possibilities to connect offshore wind power to Fingrid's main grid in the 2030s, 5/2024
* Kustannus vaihtelee paikallisesti

Uusiutuvan energian potentiaalin skaalautuva hyödyntäminen edellyttää järjestelmätason suunnittelua

Suomen kaltaiselle maalle, jossa kustannuksiltaan kilpailukykyisen maatuulivoiman tuotantopotentiaali on vähintään 2–4-kertainen¹ suhteessa nykyiseen energiakysyntään, uusiutuvan energian laajamittainen tuotanto tarjoaisi merkittäviä taloudellisia kasvumahdollisuuksia. Tämä edellyttää, että energian tuotantopotentiaali pystytään hyödyntämään ja että sitä vasten syntyy suuressa mittakavassa vientiteollisuutta energiankantajien, materiaalien, hyödykkeiden ja mahdollisten palveluiden valmistukseen.

Kun uusiutuviin energialähteisiin investoidaan paikallisia energiantarpeita enemmän, haasteena on säilyttää hiilestä irtautuvan energiajärjestelmän vakaus ja kohtuuhintaisuus. Tätä varten muut energiantuotannon ja varastoinnin muodot, kuten akut, puhtaasti kaasut tai ydinvoimapohjainen perustuotanto, ovat mahdollisesti tärkeä osa yhtälöä, vaikkakin yksinään kalliimpia vaihtoehtoja.

Jos sähkön kysyntä on lisäksi joustavaa, energiajärjestelmään voidaan tehokkaasti integroida suurempi määrä uusiutuvaa vaihtelevaa tuotantoa. Tällöin joustavat ja perustuotannon sähkön toimitukset, sekä vankka siirto- ja jakeluinfrastruktuuri ovat ratkaisevan tärkeitä vakauden ja luotettavuuden kannalta.

Vedyn siirto- ja varastointijärjestelmä voi tuoda uuden suuren skaalan optimointielementin energiajärjestelmään. Laajamittaisessa uusiutuvan energian siirrossa on vedyn siirron arvioitu olevan 2–4 kertaa kustannustehokkaampaa kuin energian siirto elektroneina, kun tämä vaatisi uusia sähköverkkojen investointeja^{2,3}.

Tietyissä olosuhteissa vedyn tuotanto voi luoda kysynnän joustoa. Vedyn tuotantoprofilia voidaan optimoida⁴ tuottamalla vetyä eniten silloin, kun uusiutuvaa sähköä on saatavilla, ja vähemmän silloin, kun uusiutuvaa sähköä on vähän. Tämä auttaa vakauttamaan sähköjärjestelmää ja hyödyntämään vaihtelevaa tuotantoprofilia, verrattuna joustamattomampiin energiankäyttöihin kuten datakeskuksiin ja moniin teollisuusprosesseihin, jotka vaativat vakaata perustuotantoa.

Vedyn kannattava tuotanto edellyttää kuitenkin yleensä korkeampaa kapasiteetin käyttöastetta kuin mitä maatuulivoima voi yksinään tarjota. Maatuulivoiman käyttöaste potentiaali on noin 30 %⁵. Koska vedyn tuotantokustannukset ovat riippuvaisia laitteiston käyttöasteesta ja sähkön kustannuksista, vedyn tuotannon suunnittelussa pyritään usein noin 60 % tai korkeampiin käyttöasteisiin. Tämä käyttöastetavoite voi

kuitenkin vähentyä teknologian ja markkinatilanteen kehittyessä. Samanaikaisesti monet vetyä käyttävät teollisuusprosessit edellyttävät vakaata vedyn tarjontaa, mutta myös joustavampia vetyä käyttäviä prosesseja on, kuten metanointi.

Tarpeellinen käyttöaste voidaan saavuttaa uusiutuvalla energialla kohtuullisin kustannuksin hyödyntäen rinnakkaisia toimenpiteitä: mitoittamalla tuulivoimakapasiteetti siten, että sähköä on myös saatavilla vähemmän tuulisina ajankohtina; hyödyntäen myös tuulesta eroavan tuotantoprofilin aurinkosähköä; lisäämällä akkuja tuotannon tasaamiseksi. Vetyä tuottavat yksiköt voivat myös hyödyntää verkon perus- tai joustavaa tuotantoa, mutta tämä voi lisätä järjestelmän volatiiliutta. Vetyvarastot voivat tasoittaa kysyntää päivätasolla, jos niitä ei ole riittävästi tarjolla.

Kun uusiutuvien energialähteiden ja vedyn osuus sähköjärjestelmässä on suuri, huolellisesti koordinoitu järjestelmätason suunnittelu olisi hyödyllistä energiajärjestelmän säilyttämiseksi vakaana ja kohtuuhintaisena. Riittävällä järjestelmän suunnittelulla Suomi voisi vahvistaa edellytyksiä uuteen teollistumiseen ja energian vientimahdollisuuden hyödyntämiseen.

Prosessiteollisuuden käyttöön tai vientiin tehtävän vedyn, ammoniakkin ja teräksen vetypelkistykseen lisäksi Suomen huomattava biogeenisen hiilidioksidin talteenottopotentiaali luo alueelle pitkällä aikavälillä mahdollisuuksia laajamittaiseen sähköpolttoaineiden tuotantoon, mikäli nämä markkinat kehittyvät ja kasvavat huomattaviksi.

Suomella on potentiaalia vedyn kilpailukykyiseen tuotantoon. Jatkojalosteiden, kuten polttoaineiden, kansainvälinen merikuljetus on kuitenkin suhteellisesti kustannustehokkaampaa kuin pelkän vedyn alueellinen siirto, ja ne kohtaavat jopa globaalia kilpailua. Näissä Suomen kilpailukyky voi vaihdella. Suomen uusiutuvan energian tuotantopotentiaali on huomattava eikä välttämättä aseta vedyn vientiä ja jalostusta kilpailuasetelmaan. Suurempi uusiutuvien ja vedyn tuotannon mittakaava voisi tukea teknologiateollisuuden kehitystä.

1. Suomessa maatuulivoimahankkeita on valmisteilla yht. +200 TWh (Suomen uusiutuvat ry, 2024) vs. 2023 kulutus yhteensä n. ~80 TWh; 2. Lähde: Gas for climate: Assessing the benefits of a pan-European hydrogen transmission network; 3. Esim. Saksan sähköverkko vaatii ~300 mrd. euron investoinnit 2050 mennessä (Lähde: KfW 2024); 4. Vedyn tuotannon joustavuus edellyttää varastointia siinä todennäköisessä tapauksessa, että jatkojalostusprosessit vaativat vakaata; 5. Lähde: Wood Mackenzie (2024), IEA (2023)

Energiamarkkinoiden optimaalisen ratkaisun luominen vaatii eri teknologioita

Joustava – lähteet voivat nopeasti säätää tuotantoaan kysynnän vaihteluiden mukaan, tasapainottaen verkkoa

Vaihteleva⁵ – läitökset, jotka ovat käytössä suuren osan ajasta, mutta joiden kuormitus vaihtelee

Vaihtelevan tuotannon määrä ja osuus kasvamisessa. Pohdintoja käytään järjestelmän optimaalisesta perustuotannon määrästä.

Perustuotanto – voimalaolaiset toimivat jatkuvasti lähellä maksimikapasiteettaa, taaten tasaisen ja luotettavan sähöntuotannon

klo 06 12 18 24

Nykyiset

Kehittyvät

Muutokset energialähteiden osuudessa



Hiihi-
huippuvoima



Vesi-
varastointi



Varas-
tointi?



Vähihiihlinen
huippuvoima



Vesi-
varastointi

Korkeampi joustotarve, joka on seurausta kasvavasta vaihtelusta uusiutuvissa energialähteissä

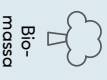
Akkuteknologiat kehittyvät nopeasti



Maakaasu
(sis. LNG)



Bio-
massa



Bio-
massa



Tuuli



Vetä/muu
pitkäkestoinen
varastointi?



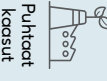
Hiihi



Aurinko



Aurinko



Puhtaat
kaasut

Merkitävä maantuuvoima-
potentiaali sekä hankkeiden
määrä Suomessa – myös
aurinkosähkö kasvaa, mutta
potentiaali on rajoittainen

Kasvava vaihtelevuus
tuuli- ja aurinkoenergiasta
edellyttää pitkäkestoisia
varastointiratkaisuja,
jolla hallitaan vilkkaata
epätasapainoa



Biomassa⁴



Vesi



Biomassa⁴



Vesi



Ydinvoima



Ydinvoima

Perustuotanto Suomessa
pääosassa ydin- ja vesivoima
– tuotanto kalliimpaa vs.
vaihteleva (ks. kaavio 3)

Pitkät hankkeiden alkutavat ja ydin-
voiman kustannukset aiheuttavat
epävarmuutta rakentamisen
suhteen, kun taas vesivoimaa
rajoittavat maantieteelliset ja
ympäristölliset rajoitteet

1. Turbiini, jotka käyttävät 100% biokaasua/veiyä tai muokaasua CCUS:lla (eng. Carbon Capture, Utilization and Storage); 2. Käytetään yhdessä uusiutuvan energian tai muiden energialähteiden kanssa; 3. Pitkäkestoiset sähkövarastot, jotka tasovat vilkkaata ja kuuksuista kuormitusta; esim. vetyturbiini, lämpövarasto; 4. Biomassa; 5. Vaihteleva tuotanto (eng. intermittent power) viittaa tyypillisesti uusiutuvien energialähteisiin