

# Pohjois-Pohjanmaan tuulivoimaosaamisen kehittäminen -selvitys

Hankkeen loppuraportti

Käännekohta t & k Oy





# Sisällysluettelo

<b>1. Johdanto</b>	
Tiivistelmä	5
<b>2. Tuulivoimakehittämisen toimintamalli ja osaamisklusteri</b>	
Tuulivoimasektorin toimijaverkoston kokoaminen	8
Tuulivoimasektorin kehittämisen tiekartta	10
Vihreän siirtymän osaamiskeskus	13
Jatkotoimet ja rahoitusmallit	19
<b>3. Sähköverkon ja tuulivoiman nykytila ja kehitysnäkymät</b>	
Sähkömarkkinoiden kehityssuunta	21
Tuulivoimasektorin nykytila ja kehityssuunta	29
Yhteiskunnan sopeutuminen tuulivoiman tuotantoon	39
Tuulivoima ja vetytalous	47
<b>4. Tuulivoiman talous- ja työllisyysvaikutukset</b>	
Tuulivoimasektorin toteutuneet aluetalous- ja työllisyysvaikutukset	56
<b>5. Tuulivoimaosaamisen kehittäminen</b>	
Osaamisen ja koulutuksen kehittämistarpeet	67
Talousvaikutukset ja tuulivoiman sosiaalinen hyväksyttävyys	72
Mahdollistava maankäytön suunnittelu ja aluekehitys	74
<b>6. Tuulivoiman toimitus- ja huoltovarmuus sekä jatkuvuudenhallinta</b>	
Tuulivoiman toimitus- ja huoltovarmuus sekä alueelliset energiasaarekkeet	77
Vihreän siirtymän riskien ja mahdollisuuksien hallinta (työpajan tulosten esittely)	81
<b>Lähteet</b>	86
<b>Liitteet</b>	
Käännekohta t & k Oy:n diaesitys	
Spring Advisor Oy:n diaesitys	

# Hankkeen työryhmä

Hankkeen päätoteuttajana toimi Käännekohta t&k Oy / Antti Majava

Tuulivoiman aluetalousvaikutusten sekä tuulivoimasektorin kehittämismallin tuottamisesta on vastannut Spring Advisor Oy yhteistyössä Antti Majavan kanssa

Riskien ja mahdollisuuksien hallinnan työpajan toteuttamisesta ja vastausten analysoinnista on vastannut Inclus Oy / Mikaeli Langinvainio

Huoltovarmuus- ja saareketarkasteluista vastaavat yhteistyössä Antti Majava ja Hydetek Oy / Mika Hyytiäinen

Lukuisat asiantuntijat ovat tarjonneet hankkeen aikana näkemyksiään ja kommentoineet tuotettuja sisältöjä. Lämmin kiitos heille kaikille.

## Tilaaja

Pohjois-Pohjanmaan maakuntaohjelman 2022–2025 yksi kehittämisteema on Kestävä, tehokas ja vähäpäästöinen energiantuotanto. Pohjois-Pohjanmaan liitto edistää omalta osaltaan teeman tavoitteita ja niiden toteutusta. Pohjois-Pohjanmaa kävi aluekehityskeskustelut ministeriöiden kanssa helmikuussa 2022 ja yhtenä keskusteluteemana oli teollisen mittaluokan tuulivoimarakentamisen mahdollisuudet. Teemaa vietiin keskusteluissa eteenpäin ja sitä kautta saadulla rahoituksella tuulivoimaan liittyvät asiat nostettiin vahvasti ja monipuolisesti maakunnan kehittämisen keskiöön. Sopimus pohjaista AKKE rahoitusta kohdennettiin tuulivoiman aluetaloudelliset vaikutukset kokonaisuuteen. Toimeenpano alkoi kevään 2022 aikana.

Tiekartta Pohjois-Pohjanmaan tuulivoimaosaamisen kehittämiseksi -hankkeessa on tuotettu ostopalveluna Pohjois-Pohjanmaan tuulivoimaosaamisen kehittäminen -asiantuntijaselvitys, jonka keskeinen sisältö on koottu tähän hankkeen loppuraporttiin.

Asiantuntijaselvityksen toteuttamisesta on vastannut Käännekohta tutkimus ja kehitys Oy yhteistyössä alihankkijoiden kanssa. Pohjois-Pohjanmaan liitossa hankkeen ohjauksesta vastasi hankkeen seurantaryhmä, johon kuuluivat kuuluivat maakuntajohtaja Pauli Harju, strategiapäällikkö Ilpo Tapaninen, erityisasiantuntija Ritva Isomäki, ympäristöpäällikkö Erika Kylmänen ja maankäyttöpäällikkö Rauno Malinen. Seurantaryhmän puheenjohtajana toimi suunnittelujohtaja Markus Erkkilä.

Hanke ja siihen kuuluva selvitystyö tuottavat edellytykset jatkoaskelille tuulivoiman ja vihreän siirtymän osaamisen kehittämiseksi maakunnassa.

# 1. Johdanto

## Tiivistelmä

Selvitystyön tavoitteena oli tunnistaa aiempaa tarkemmin Pohjois-Pohjanmaan maakuntaan kohdistuvan tuulivoimabuumin tarjoamat aluetalous- ja työllisyyspotentiaalit sekä löytää keinoja tuulivoimasektoria ja maakuntaa hyödyttävän osaamisen kehittämiseksi.

Hankkeessa selvitettiin tuulivoiman talous- ja työllisyysvaikutusten alueellista kohdentumista ja analysoitiin kattavasti tuulivoiman roolia osana laajempaa energiamurrosta ja vihreää siirtymää. Tuulivoiman lisäksi tuotettiin katsaukset pohjoismaisen sähkömarkkinan kehitykseen, vetytalouteen sekä yhteiskunnan keinoihin sopeutua yhä voimakkaammin vaihtelevaan sähköntuotantoon.

Tuulivoiman talous- ja työllisyysvaikutusten suhde sosiaaliseen hyväksyttävyyteen sekä aluesuunnittelun ja aluekehityksen rooli tuulivoimainvestointien jatkuvuuden ja sosiaalisen kestävyuden turvaajana nousivat vahvasti esiin. Euroopan turvallisuusympäristön muutoksen myötä hankkeessa luodattiin myös tuulivoiman ja vihreän siirtymän riskienhallinnan sekä huoltovarmuuden kysymyksiä.

Selvitystyön tärkein tulos on, että panostamalla nyt vahvasti tuulivoiman ja vihreän siirtymän laajalaiseen osaamiseen luodaan win-win-win-tilanne, jossa maakuntaan jäävät hyödyt kasvavat, tuulivoima-

sektorin toimintaedellytykset vahvistuvat ja vihreän siirtymän eteneminen vauhdittuu. Alan osaajista on tällä hetkellä huutava pula ja erityisesti sähköasentajakoulutuksen aloituspaikkojen lisäämiselle olisi tarvetta.

Tuulivoiman elinkaariset kokonaisinvestoinnit ovat selvityksen mukaan noin 2,2 miljoonaa euroa/MW, eli noin 13 miljoonaa euroa yhtä uutta tuulivoimalaa kohden. Maakunnan tuulivoimakapasiteetin arvioidaan kasvavan noin 9 000 MW:n tasolle vuoteen 2030 mennessä. Tuulivoiman kokonaisinvestoinnit olisivat siten 20 miljardin euron luokkaa, joista maakuntaan jäävä osuus riippuu keskeisesti siitä, millaisia kehittämistoimia alan osaamisen ja yritystoiminnan vahvistamiseksi tehdään.

Nykytilanteessa maakuntaan jää vain noin 20 %:n osuus tuulivoiman kokonaisinvestoinnista, mitä voi pitää alhaisena tasona huomioiden maakunnan korkean koulutustason ja teollisen osaamisen. Ilman kehittämistoimia maakunnalla onkin riski ajautua pelkäksi edullisen tuulivoiman tuotantoalueeksi, jolle ei muodostu potentiaaliaan vastaavaa roolia globaalin energiamurroksen TKI-toimijana ja teknologiavalmistajana.

Oikein kohdennetuilla osaamista yhteennivovilla kehittämistoimilla maakuntaan voisi muodostua kansainvälistä kärkeä edustava vihreän siirtymän

**Taulukko 1. Tuulivoiman kokonaisinvestoinnista eri aluetasolle jäävä osuus**

Alue	Osuus ilman kehittämistoimia	Osuus aktiivisilla kehittämistoimenpiteillä
Suomi	alle 30 % (suunnittelu 80 %, rakentaminen 10 %, käyttö 30 %)	yli 60 %
Pohjois-Pohjanmaa	20 %	30–50 %
keskimääräinen kunta	alle 10 %	yli 20 %

osaamisklusteri. Aktiivinen rooli tuulivoiman, yhteiskunnan sähköistymisen ja vetytalouden vaatimien ratkaisujen tuottajana voisi tuoda maakunnalle useiden miljardien eurojen tulonlisän.

Tuuli- ja aurinkovoima ja niiden varastoinnin ratkaisut tarjoavat merkittävän potentiaalin myös pienille ja kaukana kasvukeskuksista sijaitseville kunnille. Potentiaalin hyödyntäminen vaatii kuitenkin myös kuntatasolla vahvaa kehittämisotetta ja tiivistä yhteistyötä maakunnallisten ja valtakunnallisten TKI-toimijoiden ja yritysten kanssa.

Kuntatoimijat katsovat taloudellisten vaikutusten olevan keskeisin peruste tuulivoiman rakentamiselle. Tuulivoimahankkeiden toteutuneista talousvaikutuksista ei kuitenkaan ole Suomessa käytettävissä tietoja tai muuta luotettavaa tietoa. Satojen miljoonien eurojen tuulivoimainvestointeja koskevien kaavoitus- ja lupapäätösten tekeminen puutteellisin tiedoin voi vaarantaa tuulivoiman sosiaalista hyväksyttävyyttä. Tuulivoiman talous- ja työllisyysvaikutusten johdonmukainen kerääminen olisikin jatkossa erittäin tärkeää.

Sosiaalisen hyväksyttävyyden ylläpitäminen kunnissa voi jatkossa edellyttää tuulivoiman työllistävän potentiaalin hyödyntämistä. Aluesuunnittelulla ja kuntien kaavoituksella on tärkeä rooli paitsi tuulivoiman haittojen minimoijana, myös positiivisten vaikutusten mahdollistajana. Tuuli- ja aurinkovoiman paikallisen hyödyntämisen mallit ovat tärkeitä monille kunnille ja helpottaisivat myös energian siirtoon liittyviä haasteita. Lainsäädäntöä ja kaavoitusta tulisikin kehittää siten, että myös itsenäiset alueelliset energiaverkot mahdollistuvat.

Tuulivoima on nopeasti noussut nimelliskapasiteetiltaan suurimmaksi sähköntuotannon muodoksi Suomessa. Voimakkaasti vaihtelevan tuotannon kasvu haastaa niin sähköjärjestelmää kuin sähkömarkkinoitakin. Samaan aikaan tapahtunut jatkuvasti käytettävissä olevan sähkötehon väheneminen on

huolestuttanut asiantuntijoita jo pitkään. Talvella 2022–2023 energijärjestelmää kuormittavat vielä Venäjän hyökkäyssota Ukrainassa ja EU:n asettamat vastatoimet, joiden myötä energiasta on tullut sodankäynnin väline.

Suomi on perinteisesti paikannut sähkön tehovajetta tuomalla sähköä Ruotsista. Pohjoismaisen sähkömarkkinan kehitystä kannattaa kuitenkin Suomessa seurata tarkoin, sillä Pohjois-Ruotsin SE1-hintaluokalle suunnitellut sähköintensiiviset teolliset investoinnit voivat muuttaa alueen sähkötaseen huomattavan alijäämäiseksi, jolloin alueella ei ole enää mahdollisuutta kattaa Suomen tarpeita.

Mikäli uutta sähkökapasiteettia rakennetaan jatkosakin vain tuulivoimaan, on olemassa riski, että vielä Olkiluoto 3 -ydinvoimalan valmistumisen jälkeenkin Suomessa kärsitään tehovajeesta ja erittäin korkeista sähkön hinnoista vähätuulisina ajankohtina. Sähköverkkoa on suunniteltu tasapainotettavan lähinnä teollisuuden ja rakennusten lämmityksen joustoilla. Vaadittavien joustojen mittakaava on valtaisa ja suurimman osan uusista sähköä kuluttavista investoinneista täytyisi kyetä joustamaan yli 90 % kulutuksestaan jopa vuorokauden ajan.

Tuulivoiman nopea kasvu vaatii yhteiskunnan energiankäyttöön laajamittaisia sopeutumistoimia. Oulun yliopisto ja ICT-klusteri ovat jo pitkään kehittäneet älykkäitä kulutuksen ohjauksen ratkaisuja, joille voi ennakoita jatkuvasti kasvavaa kysyntää niin Suomessa kuin globaaleilla markkinoilla.

Tuulivoimaa hyödyntävä vihreä vetytalous tarjoaa Pohjois-Pohjanmaalle huikaisevia näkymiä. Vedyn tuotannosta on kuitenkin muodostumassa erittäin kilpailtu toimiala ja Pohjois-Pohjanmaan edellytyksiä kilpailussa menestymiseksi on syytä vahvistaa. Sähkön hinta on tärkein kustannustekijä vetytaloudessa ja maakunnan täytyisikin pyrkiä varmistamaan joko edullinen verkkosähkö tai mahdollisuus tuuli- tai aurinkovoiman suoraan laajamittaiseen

hyödyntämiseen vedyn tuotannossa. Myös sujuva hallinto ja luvitus ovat tärkeä kilpailuetu, joihin kannattaa panostaa.

Vedyn tuotantoa ei synny ilman kysyntää. Hiilivapaaseen vetypelkistykseen perustuvan terästuotannon saaminen maakuntaan on keskeinen prioriteetti. Nykytilan silloittaminen tulevaisuuden tavoitetilään vaatii vahvaa kehittämisotetta. Pienempiä pilottiluonteisia vetyhankkeita kannattaa tehdä jo ennen isojen investointien varmistumista, jotta tarvittavaa osaamista ja kokemusta kertyy maakuntaan. Kaukolämpöjärjestelmien sähköistäminen ja isot lämpövarastot tasaisivat tuulisähkön tuotantoa ja loisivat sähkölle kysyntää tuulisina tunteina. Lämpösektorilla voikin olla keskeinen mahdollistava rooli niin tuulivoiman kasvun kuin vetytaloudenkin kannalta.

Ruotsissa toivotaan Pohjois-Suomen tuulivoiman kattavan jatkossa sinne syntyvän massiivisen vedyn tuotannon ja teollisuuden tarpeita. Suomen kokonaisedun kannalta olisi tärkeää jalostaa tuulisähköä korkeamman lisäarvon tuotteiksi, kuten vedyksi, sähköpolttoaineiksi tai vähähiiliseksi teollisuustuotteiksi.

Pohjois-Pohjanmaan ja koko Suomen on tärkeää huolehtia vihreän siirtymän osaamisen kehittämisestä ja vähähiilisen tuotannon kilpailukyvyyn säilymisestä nopeasti muuttuvassa toimintaympäristössä. Energiamurros ja vihreä siirtymä tuovat tullessaan sekä suuria mahdollisuuksia että huomattavia riskejä. Sekä mahdollisuuksiin tarttuminen että riskien välttäminen vaativat vahvaa panostusta siirtymätoimien suunnitteluun ja koordinointiin.

Euroopan uudessa turvallisuuspoliittisessa tilanteessa uuden energiajärjestelmän huoltovarmuus ja kriisinkestävyys on huomioitava painotetusti. Energiamurroksen pitää vahvistaa eikä heikentää sähköjärjestelmää. Laajalle maantieteelliselle alueelle hajautettu tuotanto tarjoaa monia etuja k eskitettyyn tuotantoon nähden. Alueellista tuuli- tai aurinkosähkön tuotantoa hyödyntävien ja valtakunnanverkon häiriötilanteissa

toimintakykyisinä säilyvien energiahuollon saarekkeiden toteuttaminen voisi tuottaa lisäarvoa myös normaalitilanteessa.

Hankeraportin alussa esitetään toimeksiannon mukaisesti näkemys tuulivoimasektorin kehittämistoimista. Hankkeen aikana käydyissä keskusteluissa keskeiseksi nousi näkemys siitä, että tuulivoimaa ei kannata käsitellä omana irrallisena kysymyksenään, vaan se tulee sitoa tiiviisti muun energiajärjestelmän, teollisuuden ja yhteiskunnan sähkönkäytön kehitykseen.

Asiantuntijoilta saatujen arvokkaiden näkemysten pohjalta esitetäänkin Pohjois-Pohjanmaalle perustettavaksi laaja-alainen vihreän siirtymän osaamisklusteri, joka kokoaa yhteen maakunnan vahvan olemassa olevan osaamisen ja tuottaa ylisektoriaalisen yhteistyön kautta uusia luovia ja kokonaisvaltaisia näkökulmia ja ratkaisuja globaalin kestävyyskriisin pysäyttämiseksi. Osaamiskeskus voi toimia keihäänkärkenä laajan vähähiilisen teollisen ekosysteemin ja investointialustan toteuttamisessa Pohjois-Pohjanmaalle.

### Hankkeen keskeiset viestit

- Pohjois-Pohjanmaalle ja lähialueelle on tulossa kymmenien miljardien investoinnit vähähiiliseen energiantuotantoon, -jalostukseen ja -teollisuuteen.
- Nykykehityksellä pystytään hyödyntämään vain osa investointiaallon positiivisista potentiaaleista.
- Investointiaallosta maakuntaan jäävää osuutta voidaan nostaa kymmenillä prosenteilla kehittämällä aktiivisesti tuulivoiman ja vihreän siirtymän osaamista.

## 2. Tuulivoimakehittämisen toimintamalli ja osaamisklusteri

### Tuulivoimasektorin toimijaverkoston kokoaminen

Pohjois-Pohjanmaa tunnetaan vahvasta ICT-klusterista, metalli- ja konepajateollisuudesta ja biotaloudesta sekä huipputasoisesta yliopistosta, ammattikorkeakouluista ja tuloksekkaasta TKI-toiminnasta.

Alueella on myös monipuolista tuulivoimaosaamista. Kokoamalla olemassa olevat voimavarat samaan klusteriin voidaan tuottaa uutta osaamista, jolla voidaan vastata tuulivoiman ja vihreän siirtymän tuotteiden ja palveluiden kysynnän globaaliin kasvuun.

#### Taulukko 2. Menestyviä klustereita

	Suomen peliklusteri	Oulun ICT-klusteri
<b>Menestyksen mittarit</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Toimialan muutamien miljoonien eurojen liikevaihdosta miljardiluokkaan ja satojen miljoonien tulokseen 20 vuodessa</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Nokian menestyksen jälkeen syntynyt itsenäisiä ICT-alan yrityksiä. Aluksi fokuksena oli valmistava teollisuus ja myöhemmin ohjelmisto ja palvelut</li></ul>
<b>Keihäänkärjet</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Tarinankerronta yhdistettynä ICT- ja kaupalliseen osaamiseen</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Huippuosaamisalueet, esim. radioteknologia</li><li>Vahva yrityskehitys (ICT ja valmistava teollisuus)</li></ul>
<b>Maantiede</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Yritykset luonnostaan kansainvälisiä – ansainta globaalien pelialustojen kautta</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Globaalit kytkennät ankkuriyritysten kautta</li></ul>
<b>Ankkuriyritykset</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Rovio, Supercell, Remedy, RedLynx, Housemark, Small Giant Games + useita muita</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Globaalit alan johtajayritykset: Nokia</li><li>Merkittävä teknologiateollisuus, joka toimi alkuun alihankkijoina ja myöhemmin menestyneinä itsenäisinä yrityksinä</li></ul>
<b>Julkisen sektorin rooli</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Klusterihankkeen koordinaattori</li><li>Alkuvaiheen T&amp;K-rahoitustuki</li><li>ICT-alan koulutus</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Yliopisto, VTT, Teknologiaakylä</li><li>Korkean tason klusteria tukeva koulutus</li><li>T&amp;K-rahoitustuki</li></ul>
<b>Rahoitus ja palvelut</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Omarahoitus</li><li>Tekes</li><li>Pääomasijoittajat</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Globaalit teknologiayritykset</li><li>Omarahoitus ja pankit</li></ul>

- ➔
- ✓ Menestyneissä klustereissa on vahvat ankkuritoimijat ja globaalit kytkennät, ja ne pohjautuvat olemassa oleviin vahvuuksiin
  - ✓ Yritykset tekevät klusterin, mutta julkisella sektorilla voi olla merkittävä fasilitoiva rooli sen kehittämisessä



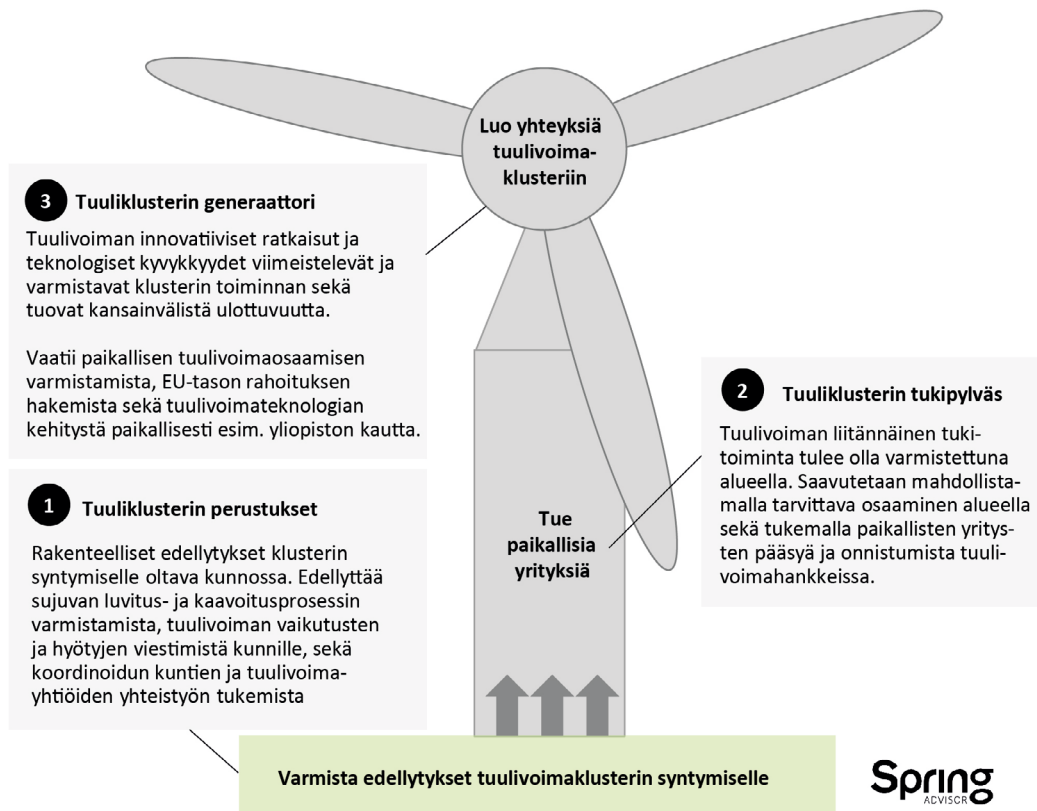
### Taulukko 3.

### Pohjois-Pohjanmaa tuuliteollisuuden resurssista toimintaa johtavaksi klusteriksi

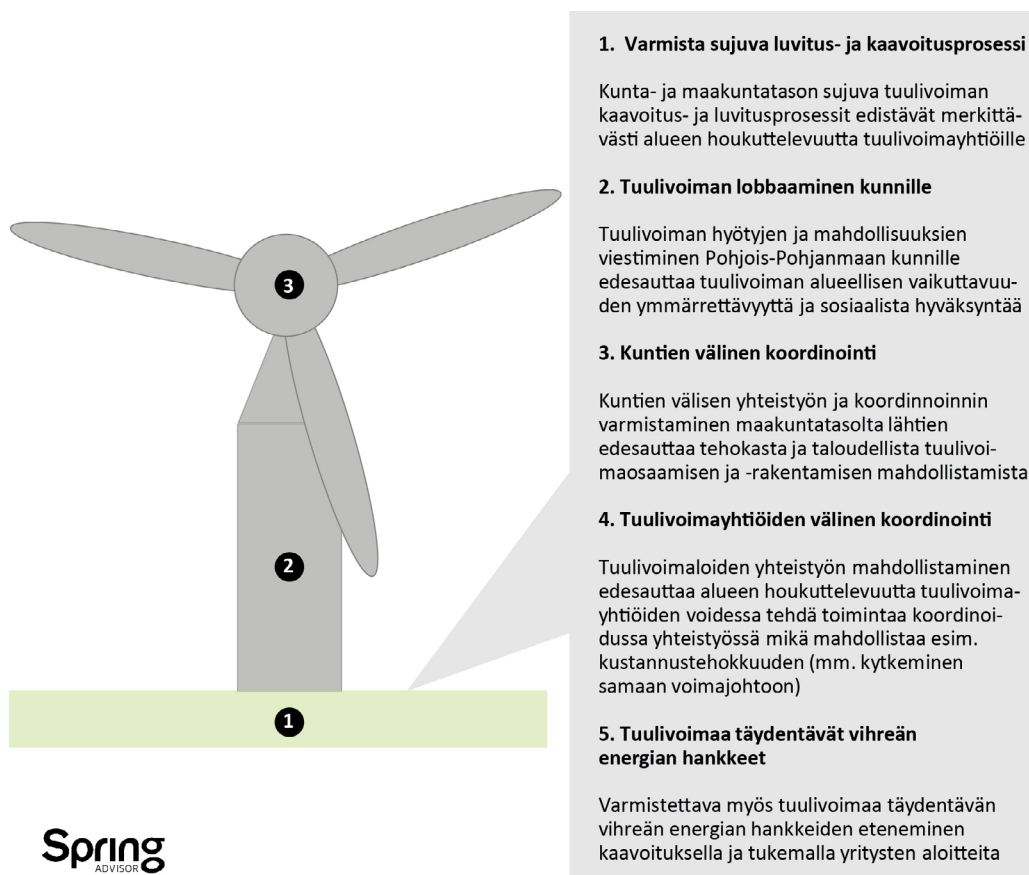
	Pohjois-Pohjanmaan tuulisektori 2022	Pohjois-Pohjanmaan tuuliklusteri 2030
 <b>Keihäänkärjet</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Merkittävä investointikohde, mutta alueen rooli arvoketjussa vähäinen (mm. maanvuokra, osa rakennustöistä)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Globaalisti tunnettu osaamiskeskus, jossa yhdistetty tuulivoimaa sitä tukeviin uusiutuvan energian tuotanto-, ohjaus- ja varastointiratkaisuihin</li><li>• Merkittävä osa suunnitelluista tuulipuistoista on saatu toteutettua. Toteutuksessa ja ylläpidossa paikallisilla yrityksillä on ollut merkittävä rooli</li></ul>
 <b>Maantiede</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Erillisiä aluetasolla kilpailevia hankkeita</li><li>• Osana kansallista ja pohjoiseurooppalaista sähkömarkkinaa</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vahvat yhteydet kansallisiin uusiutuvan energian klustereihin (esim. Perämerenkaaren vetytoimijat)</li><li>• Kytännät globaalisti johtaviin toimijoihin ja muihin klustereihin</li></ul>
 <b>Ankkuri-yritykset</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ei kotimaisia merkittäviä</li><li>• Suuret ulkomaiset toimittajina ohittavat paikallisen arvoketjun</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Globaaleilla valmistajilla alueella merkittävää toimintaa (tutkimusta ja sopimusvalmistusta)</li><li>• Alueen yritykset ovat tunnistaneet mahdollisuudet ja alueelta on kasvanut kansainvälisesti johtavia suuren mittakaavan yrityksiä</li><li>• Globaalit alan yritykset haluavat sijoittua ja ovat sijoittuneet alueelle</li><li>• Arktisen tuulivoiman testausympäristö ja osaamiskeskus</li><li>• Tukevat palvelut (huoltotilat, suuret nosturit, jne.)</li></ul>
 <b>Julkisen sektorin rooli</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Perustason kaavoitus</li><li>• Kunnilla kilpailevia irrallisia hankkeita</li><li>• Kansallisen tason infrahankkeita (vedyn- ja sähkönsiirto) suunnitteilla</li><li>• Tuulivoimaosaajien koulutusta ei alueella riittävästi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pohjois-Pohjanmaan liitto toiminut klusterihankkeen koordinaattorina, mikä on osaltaan varmistanut tavoitteiden täyttymisen</li><li>• Koulutusta on suunnattu riittävästi operatiiviseen ja huippututkimuksen osaamiseen</li><li>• Lupaprosessit ovat toimineet sujuvasti ja alueelle on toteutunut merkittävä osuus suunnitelluista hankkeista (tuulivoima + tukevat vihreän siirtymän mahdollisuudet)</li></ul>
 <b>Rahoitus ja palvelut</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kansalliset ja kv. sijoitusrahastot ja suurimmat energiayhtiöt</li><li>• Palvelut pääosin kansallisen ja kansainvälisten toimijoiden varassa, alueelta suorittavan tason tukevaa työtä</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Suuret teolliset toimijat (energian käyttäjät ja kansallisen tason tuottajat) ovat mukana miljardiluokan investoinneilla</li><li>• Alueelliset toimijat myös omistajina hankkeissa</li><li>• On oltu ja ollaan mukana projektien vastuullisina toteuttajina (rakennus ja huolto)</li></ul>

# Tuulivoimasektorin kehittämisen tiekartta

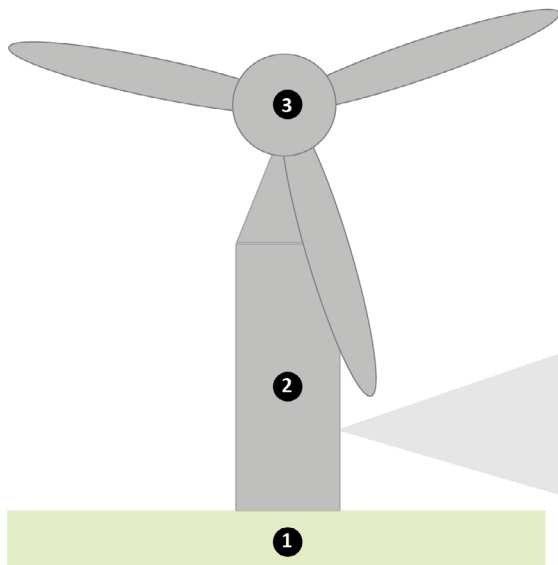
Kuvio 1. Tuuliklusterin syntyminen varmistetaan vahvalla perustuksella ja tukitoiminnalla



Kuvio 2. Luodaan edellytykset investointien houkuttelemiselle ja toteuttamiselle



**Kuvio 3. Maksimoidaan paikallisten yritysten ja osajien hyödyt klusterista**



**Spring**  
ADVISOR

**1. Varmista paikallinen osaaminen kaikilla tasoilla**

Tuulivoimaliitännäisen osaaminen varmistaminen kaikilla tasoilla (esim. rakennusosaaminen, tuulivoiman huolto-osaaminen) mahdollistaa paikallisten toimijoiden osallistumisen tuulivoimaliitännäiseen toimintaan

Korkeimman tason yliopisto- ja ammattikorkeakouluosaaminen on edellytys globaalien yritysten tuotekehitystason investoinneille alueella

**2. Viesti tuulivoimaliitännäisen yritystoiminnan mahdollisuuksista**

Yrityksille viestiminen tuulivoimaliitännäisistä mahdollisuuksista varmistaa paikallisten toimijoiden tietoisuuden liiketoimintamahdollisuuksista sekä takaa mahdollisuuden osallistua toimintaan

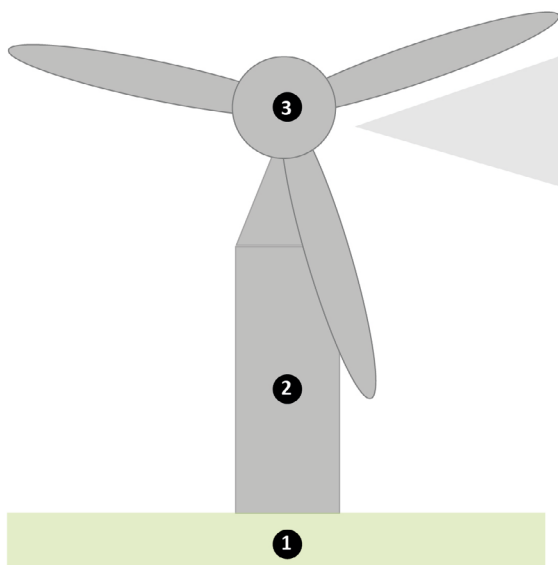
**3. Organisoï yritystoimintaa tukevia tapahtumia**

Tuulivoimaliitännäisen tapahtuman järjestäminen tuulivoimahankkeiden valmistuttua mahdollistaa koordinoitun paikallisen toiminnan osallistamisen

**4. Selvitä paikallisten investointimahdollisuudet**

Selvitä mahdollisuudet, joilla paikalliset yksityishenkilöt, yritykset ja kunnat voivat parhaiten osallistua alueen tuulivoima ja uusiutuvan energian toimintaan sijoittajina

**Kuvio 4. Luodaan ja vahvistetaan yhteyksiä sekä klusterin sisällä että sen ulkopuolelle**



**Spring**  
ADVISOR

**1. Luo paikallinen tuulivoiman osaamiskeskus**

Paikallisen osaamiskeskuksen luominen yhdistää paikallisia tuulivoimatoimijoita (esim. kunnat, kehittäjät, käyttäjät) sekä luo edellytykset paikallisen osaamisen ja toiminnan hyödyntämiselle tuulivoimahankkeissa

**2. Hae EU-tason rahoitusta tuulivoimahankkeiden kehittämiseen**

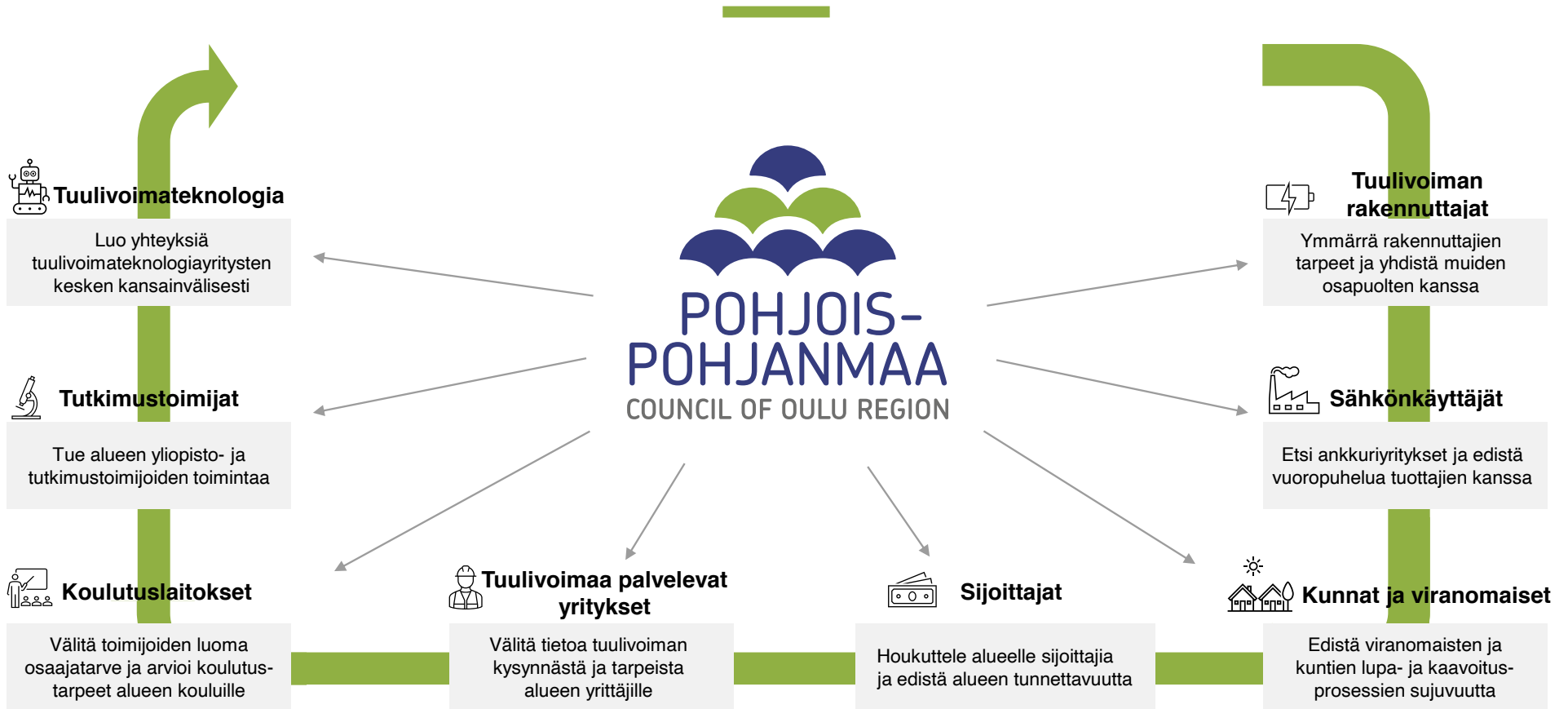
Tuulivoimahankkeiden ja siihen liitännäisen toiminnan (esim. osaamiskeskus) tukeminen EU-rahoituksella edesauttaa edellytyksiä tuulivoimahankkeiden syntymiselle alueelle

**3. Tue tuulivoimaliitännäisen teknologian kehitystä**

Tuulivoimateknologian kehityksen tukeminen (esim. Oulun yliopiston kautta, ulkomaalaisten teknologiayritysten houkuttelemisella alueelle) mahdollistaa merkittävän osan tuulihankkeiden aluetaloudellisista vaikutuksista siirtymisen paikallisesta/globaalista toiminnasta alueelle paikalliseen toimintaan

Kuvio 5.

# POHJOIS-POHJANMAAN LIITOLLA JOHTAVA ROOLI KLUSTERIN KEHITTÄMISEN TUKIJANA



# Vihreän siirtymän osaamiskeskus

Hankkeen aikana on haastateltu yhteensä yli 50:ä Pohjois-Pohjanmaan keskeistä toimijaa (yrityksiä, kuntia, Oulun yliopistoa ja muita oppilaitoksia, TKI-toimijoita ym.) energiamurroksen aluetalous- ja työllisyysvaikutusten kohdentumisesta, osaamisen nykytilasta ja kehittämistarpeista sekä siirtymään liittyvistä tieto- ja koordinaatiotarpeista. Samoista teemoista on käyty keskustelut myös valtakunnallisten toimijoiden (keskeiset yritykset, vastuuministeriöt, Energiavirasto, Huoltovarmuuskeskus, Fingrid, yliopistot ja tutkimuslaitokset) kanssa.

Tehdyn selvitystyön ja keskustelujen pohjalta voidaan todeta, että tuulivoimasektorin kasvu sekä laajempi energiamurroksen ja vihreän siirtymän viitekehys tuottavat samaan aikaan huomattavia positiivisia potentiaaleja ja merkittäviä riskejä. Vallitsevassa tilanteessa, jossa energiaa käytetään myös sotilaallisen vaihtamisen välineenä, on tärkeää kehittää vähähiilistä energijärjestelmää siten, että energian toimitus- ja huoltovarmuus eivät heikkene vaan vahvistuvat.

Vähähiilisen sähkön saatavuus ja hinta ovat elintärkeitä kysymyksiä Suomen hyvinvoinnin ja vihreän siirtymän edistymisen kannalta. Päästöjen vähentäminen nopeasti siten, että teollisuuden toimintaedellytykset Suomessa säilyvät, vaatii markkinoiden ja julkishallinnon eri sektoreiden saumatonta yhteistyötä.

## Nykytila

Vähähiilisten energiamuotojen tuotantokustannusten lasku, päästöoikeuksien hintojen nopea nousu sekä Venäjän hyökkäyssota ja sen vastatoimet ovat muokanneet voimakkaasti energiasektorin toimintaympäristöä.

Monet energijärjestelmään liittyvät kehityspolut, joiden on aiemmin ennakoitu tulevan ajankohtaisiksi vuoden 2030 aikoihin, ovatkin jo toteutuneet tai toteutuvat lähivuosien aikana. Vastaavasti eri skenaarioiden

näkymä vuodesta 2040 näyttää aikaistuvan vuoden 2030 tienoilta. Sekä vihreän siirtymän positiivisiin mahdollisuuksiin tarttumisen että akuuttiin tilanteeseen sisältyvien riskien hallinta vaativat nopeita ja laajamittaisia toimenpiteitä.

Suomessa ja EU:ssa fossiiliset energiajakeet on suunniteltu korvattavan pääosin EU:n alueella tuotetulla uusiutuvalla tuuli- ja aurinkovoimalla. Etenkin EU:n ja Suomen nykyisellään fossiilienergiasta riippuvainen teollisuus tarvitsee nopeasti korvaavia raaka-aine- ja energialähteitä.

Vaihtelevan tuuli- ja aurinkosähkön tuotannon muodostuminen yhteiskunnan tärkeimmäksi energialähteeksi edellyttää teollisuusprosessien, lämmityksen ja liikenteen nopeaa sähköistämistä sekä laajamittaista kulutusjoustojen ja energiavarastojen käyttöönottoa. Mikäli näin ei tapahdu, on vaarana, että tuuli- ja aurinkosähköinvestointien kannattavuus heikkenee selvästi.

Alla on kuvattu haasteita ja kehittämistarpeita valtakunnallisella tasolla (poimittu toimijoiden kanssa käytyistä keskusteluista):

- energijärjestelmää uudistetaan ilman selviä suuntaviivoja ja periaatteita (“vanha puretaan pois, kun uusi on vasta suunnittelupöydällä”)
- siirtymäsuunnitteluun on varsin rajalliset resurssit eri viranomaisilla
- maakunnat ja kunnat kokevat jäävänsä valtaisten haasteiden päätösten äärellä usein “markkinavoimien armoille”
- kokoavaa tietoa murroksen etenemisestä ja parhaista käytänteistä puuttuu
- uuden energiantuotannon toimitus- ja huoltovarmuustekijöihin on kiinnitetty hyvin vähän huomiota (vaikka tuulivoimasta tulee muutamassa vuodessa suurin sähköntuotannon muoto)
- päättäjillä ei aina tuntumaa tai kokonaiskuvaa siirtymästä
- lainsäädäntö tai verotus voi estää systeemitasolla parhaiden vaihtoehtojen toteutumisen

Valtioneuvoston asettaman Vihreän siirtymän rahoituksen työryhmän loppuraportissa<sup>1</sup> todetaan Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamisen edellyttävän jopa noin 240 miljardin euron investointeja vuoteen 2050 mennessä. Lisäinvestoinneista arviolta 59 % kohdistuu sähkön ja lämmön tuotantoon, 19 % rakennusten ja 10 % liikenteen päästöjen vähentämiseen, sekä 10 % teollisuuden prosessipäästöjen vähentämiseen.

## Pohjois-Pohjanmaan nykytila

Tuulivoimaosaamisen kehittäminen -hankkeen aikana on Pohjois-Pohjanmaan alueella tunnistettu huomattavaa potentiaalia omaavia osaamistihentymiä ja teollisia keskittymiä. Maakunnan toimijoilla ei kuitenkaan nykytilanteessa ole potentiaaliaan vastaavaa roolia vihreän siirtymän keihäänkärkinä, vaikka alueelle on jo toteutunut miljarditason investoinnit tuulivoiman tuotantoon.

Tuulivoiman osalta maakunnalla onkin selkeä riski ajautua alan aktiivisen kehittäjän sijasta alhaisen jalostusarvon sähköntuotantoalueeksi. Vastaava riski on nähtävissä myös energiasiirtymän seuraavien aaltojen (yhteiskunnan toimintojen ja teollisuuden sähköistyminen, vetytalous) osalta. Riskit eivät rajoitu vain Pohjois-Pohjanmaalle, vaan koskevat koko Suomea, vaikkapa suhteessa nopeita askelia kohti vetytaloutta ottavaan Ruotsiin.

Tunnistetut haasteet Pohjois-Pohjanmaalla:

- maakunnasta uhkaa muodostua tuulivoiman ja muun vihreän siirtymän tuotantoalue, jonne ei juurru merkittävää alan teknologiatuotantoa ja TKI-toimintaa
- osaamista on, mutta se on hajanaista ja siiloutunutta
- työvoimapula monilla kärkialoilla
- alueelle kohdistuvat tuulivoiman talous- ja työllisyysvaikutukset jäävät alhaisemmiksi kuin esimerkiksi Saksassa

- alueellinen omistus vähähiilisessä energiantuotannossa jäämässä alhaiseksi
- yhteinen koordinaatio vähäistä, voi johtaa osioptimointeihin isoissakin energiahankkeissa
- sähkön hintakehitys Suomessa ja lähialueilla sisältää huomattavia epävarmuuksia
- tuulivoiman kannibalisaatio (tuottavuus tuulisilla tunneilla on jo selvästi heikentynyt volyymin kasvun myötä)
- energian siirron haasteet kasvavat
- toimenpiteiden sosiaalinen hyväksyttävyyys on paikoin heikentynyt
- käytettävissä ei ole kokoavaa energiamurroksen tai vihreän siirtymän toimijuutta tai visiota kunnat- tai maakuntatasolla

## Visio 2030: Pohjois-Pohjanmaasta tuulivoiman/vihreän siirtymän globaali osaamiskeskittymä

Vision mukaan Pohjois-Pohjanmaa on rakentanut vuodesta 2023 klusteria, jonka avulla tuulivoimaan suunnitellut massiiviset investoinnit ovat toteutuneet ja ne on myös hyödynnetty täysimääräisesti vipuvartena uusien vähähiilisten teknologioiden kehittämisessä ja markkinoille viennissä.

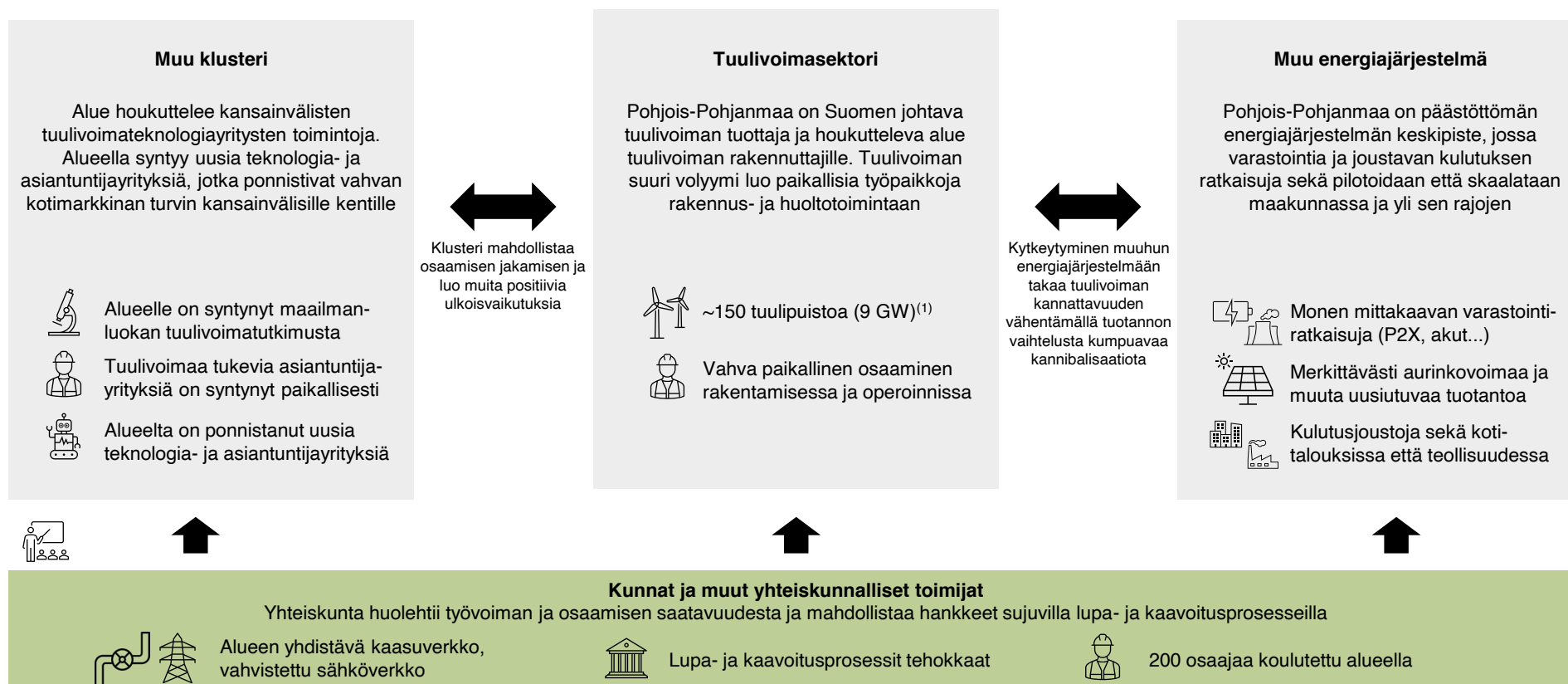
Vuonna 2030 Pohjois-Pohjanmaa on vähähiilisen teollisuuden veturi Suomessa ja maakunnan vihreän siirtymän klusteri edustaa globaalia kärkeä monilla keskeisillä vihreän siirtymän osa-alueilla, kuten:

- ICT- ja energiasektorien osaamista yhteennivovat älykkäät energijärjestelmät, kuten teollisuuden ja kaukolämmön kysyntäjoustopuutaratkaisut
- uudet energiatehokkaat vedyn valmistuksen teknologiat
- hiilivapaasta teräksestä valmistetut energiarakenteet
- arktiset merituulivoimarakenteet
- raskaan teollisuuden vetyratkaisut
- laajamittainen vedyn varastointi ja siirto
- bio- ja sähköpolttoaineiden tuotanto
- teknistaloudellisesti optimoidut ja resilientit alueelliset energijärjestelmät

<sup>1</sup> Vihreän siirtymän rahoituksen työryhmä -loppuraportti. Valtioneuvosto 2022.

Kuvio 6. Visio tuuliklusterista

# VISIO: POHJOIS-POHJANMAAN TUULIVOIMA- KLUSTERIN RAKENNE JA TOIMIJAT VUONNA 2030



(1) Pohjois-Pohjanmaan osuus, Suomen kokonaistuulivoimakapasiteetin ennuste 18 GW vuonna 2030, Pohjois-Pohjanmaan osuudeksi oletettu 50 %  
Lähde: Spring-analyysi

Tuulivoimainvestoinnit tuottavat maakuntaan vuonna 2030 noin 75 miljoonaa euroa vuodessa. Vähähiilisen sähkön ympärille rakentunut, koko maakunnan kattava, teollinen ekosysteemi on noussut jo vuonna 2026 tuulivoimaa merkittävämmäksi tulonlähteeksi ja työllistäjäksi. Alueelle on sijoittunut myös uusia merkittäviä teollisia toimijoita. Vuonna 2030 vähähiilisen energiantuotannon ja jalostuksen, teollisuuden, palveluiden ja TKI-toiminnan yhteenlaskettu liikevaihto on noin kolme miljardia euroa. Koska globaali kysyntä vähähiiliselle tuotannolle ja energiasiirtymän vaatimille ratkaisuille on lähes rajaton, kasvaa Pohjois-Pohjanmaan vihreän siirtymän ekosysteemin liikevaihto yli 20 % vuodessa aikavälillä 2030–2040.

Alueen työllisyysaste on korkea, ja alue on houkutelut myös merkittävän määrän uutta työvoimaa muilta alueilta. Iso osa vihreän siirtymän investoinneista ja työpaikoista sijaitsee hajautetusti eri puolilla maakuntaa, mikä vahvistaa oleellisesti pienten paikkakuntien elinvoimaa. Sektori-integraation sekä hyvän aluesuunnittelun ja -kehityksen myötä vihreä siirtymä tukee vahvasti myös maa- ja metsätaloutta sekä matkailua.

## Polku nykytilasta tavoitetilaan

Pohjois-Pohjanmaan keskeisimmät vetovoimatekijät vihreän siirtymän näkökulmasta ovat:

- korkea osaaminen
- vähähiilisen sähkön tarjonta
- hyvä investointiympäristö

Näiden vetovoimatekijöiden vaaliminen ja vahvistaminen on edellytys tavoitetilan saavuttamiselle. Vihreän siirtymän osaamisen kehittämiseen TKI-toiminnassa ja kaikilla koulutusasteilla sekä yrityksissä on syytä panostaa vahvasti. Tuulivoimainvestointien pitkän aikavälin kannattavuuden turvaaminen on myöskin keskeistä. Tämä edellyttää tuulivoiman kytkemistä tiiviisti muuhun energiajärjestelmään ja teollisuuteen. Luvituksen ja muun viranomaistoiminnan on oltava tehokasta.

Tuuli- ja aurinkosähköllä tuotetun vedyn on nähty muodostuvan keskeiseksi teollisuuden raaka-aineeksi sekä energian varastoinnin ja siirron ratkaisuksi noin kymmenen vuoden aikajänteellä. Laaja vetytalous ei voi kuitenkaan rakentua tyhjästä, ja nykytilanteen silloittaminen toivottuun tulevaisuuteen vaatii määrätietoisia ja mittakaavaltaan erittäin laajoja toimenpiteitä.

Ennen vetytaloutta yhteiskunta tulee läpikäymään laajan sähköistymisen. Sähköautot lisääntyvät nopeasti. Pientalojen lämmityksessä ja myös kaukolämmön tuotannossa siirrytään laajassa mittakaavassa sähköä käyttäviin järjestelmiin, kuten lämpöpumpuihin. Myös merkittävä osa nykyisin fossiilienergiaa käyttävistä teollisuusprosesseista tulee sähköistymään. Sähköistäminen on systeemitasolla suunniteltava siten, että se luo edellytyksiä laajaan vetytalouden siirtymiselle.

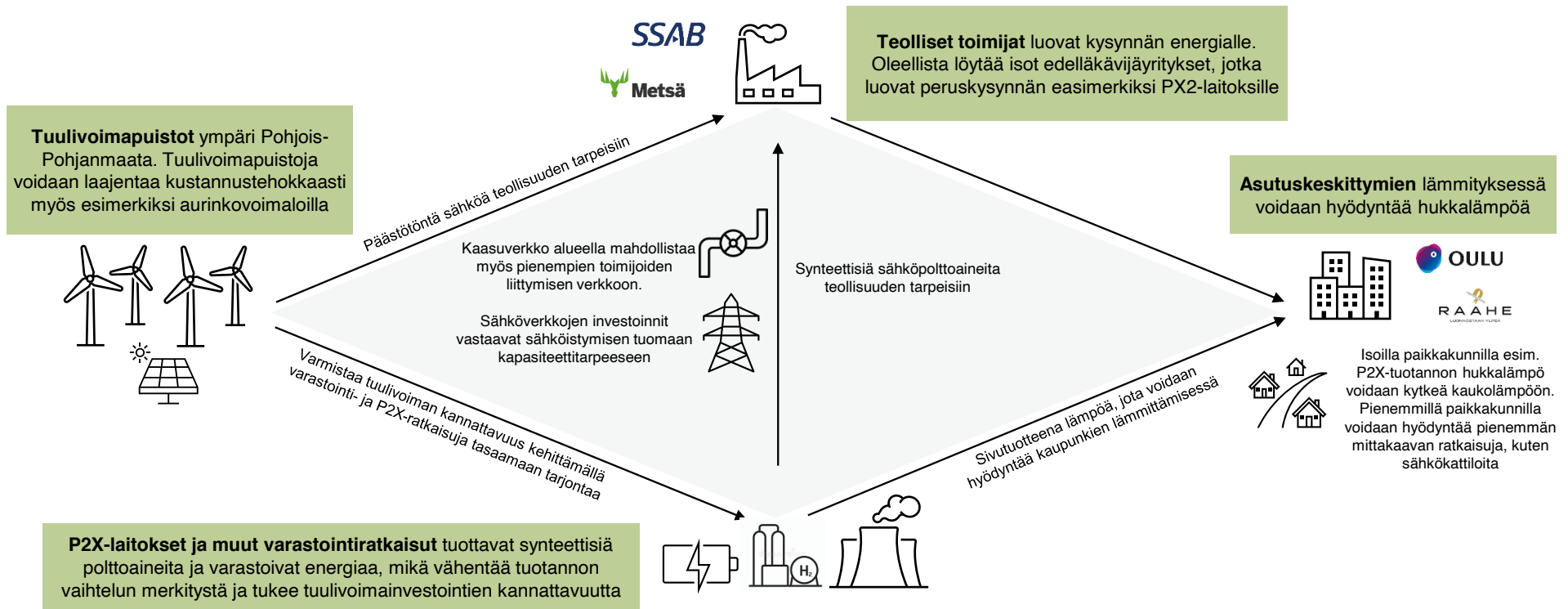
Yhteiskunnan keskeisten toimintojen sähköistäminen vaatii tuulivoimakapasiteetin kasvattamista yli kymmenkertaiseksi nykytasolta. Laajamittainen vetytalous edellyttää jopa 20 kertaa nykyistä suurempaa tuulivoimakapasiteettia sekä merkittävää aurinkosähkön tuotantoa. Tämä tarkoittaa, että suomalaisen maisemaan tulee tuhansittain mittaluokaltaan valtaisia energiantuotantolaitoksia. Hankkeet eivät tule toteutumaan, ellei niillä ole kansalaisten hyväksyntää. Hyväksyntä puolestaan edellyttää huolellista suunnittelua ja riittäviä positiivisia vaikutuksia haittojen rinnalle. Uusien energiainvestointien onkin tuotava työtä ja tuloja erityisesti juuri niiden toteutusalueille.

Ottaen huomioon vihreän siirtymän edellyttämien toimenpiteiden laajuuden ja nopeuden, olisi kehittämistoimia mielekästä kohdentaa isoihin energiantuotannon ja teollisuuden keskittymiin, kuten Ouluun ja Raaheen. Maakunnan energiahuollon ja teollisuuden luoma kysyntä on välttämätön edellytys pienempien alueellisten hankkeiden kannattavuudelle.



Kuvio 7. Tuulivoiman kytketyminen energiajärjestelmään

# KYTKEYTYMINEN MUUHUN ENERGIAJÄRJESTELMÄÄN TAKAA TUULIVOIMAN HOUKUTTELEVUUDEN



**Yksi teollisen mittakaavan hanke vaatii yli 1 miljardin. Työllisyysvaikutukset alueelle ~50–100 FTE käytön aikana ja huomattavat työllisyysvaikutukset rakentamisen aikana. Alueellisesti voidaan pilotoida pienempiä koe- ja pilotointiratkaisuja<sup>(1)</sup>**

(1) Alustava arvio julkistettujen vastaavien hankkeiden investointikustannusten ja työllisyysvaikutuksiin perustuen  
Lähde: Spring-analyysi

Tarvittavien osaajien houkuttelu erityisesti pienemmillä paikkakunnilla on jatkoon kannalta erittäin tärkeää. Vihreän siirtymän kehitys onkin kytkettävä elimellisesti muuhun aluekehitystyöhön. Alueiden elinkeinorakenteen ja palveluiden monipuolisuus on keskeinen vetovoimatekijä perheiden näkökulmasta. Viihtyisien asumisympäristöjen, hyvien sote-palveluiden, koulujen, liikunta- ja virkistysmahdollisuuksien ja kulttuurisisältöjen kehittämiseen on syytä panostaa.

## Vihreän siirtymän osaamiskeskus

Hankkeen aikana tehdyissä haastatteluissa pelkästään tuulivoimaan keskittyvän osaamiskeskuksen ja klusterin perustaminen nähtiin yleisesti huonompana vaihtoehtona kuin laaja-alaisempi vihreän siirtymän osaamiskeskittymä. Näkemystä perusteltiin tarpeella nivoa tuulivoima osaksi muita vähähiilisiä energiamuotoja ja energiatuotteiden jalostusta/vetytaloutta sekä teollisuuden ja muun yhteiskunnan energiankäyttöä.

Pelkästään tuulivoimaan keskittyvä klusteri sisältäisi riskin tuulivoiman siiloutumisesta erilliseksi kehittämisen osa-alueeksi, vaikka vaihtelevan tuotannon hyödyntäminen edellyttää nimenomaisesti laajoja sopeutumistoimia kaikkialla energiaverkossa ja kulutuksen rakenteissa. Haastattelujen ja myös viime vuosina toteutettujen tutkimusten mukaan energiamurroksen edistämisen kannalta keskeistä on sillojen purkamisen ja sektorien välinen integraatio ja yhteistyö. Näitä tavoitteita voidaan parhaiten edistää laaja-alaisemmassa osaamiskeskittymässä.

Osaamisen kehittäminen on yleisesti varmin tapa nostaa alueille tai Suomeen jääviä tulo- ja työllisyysvaikutuksia. Alueiden parempi osaamistaso ja palvelut tukevat vahvasti niin paikallisia kuin kansainvälisiä vihreän siirtymän yrityksiä. Osaamiskeskus pyrkii tuottamaan win-win-tilanteita, joissa alueet sekä investorit ja yritykset hyötyvät tasapuolisesti. Osaamiskeskus toimii tiiviissä vuorovaikutuksessa alueen muiden kehittämishankkeiden kanssa ja kokoaa sekä viestii edelleen niissä tuotettua tietoa.

Pohjois-Pohjanmaan osaamiskeskus kokoaa tietoa ja hyviä käytänteitä niin kuntien, maakunnan kuin valtakunnallisen siirtymäohjauksen tarpeisiin. Klusterin maantieteellisen rajauksen ei välttämättä ole mielekästä seurata tiukasti maakuntarajoja, vaan mukaan kannattaa kutsua myös lähimaakuntien keskeisiä toimijoita.

Keskeiseksi toimintaperiaatteeksi esitetään yritysten, TKI-toimijoiden ja hallinnon mahdollisimman tiivistä yhteistyötä. Yritysten näkökulma ja tarpeet toimivat TKI-toiminnan ja hallinnon kehittämisen ohjeuorina. Toisaalta TKI-toiminnalle pyritään takaamaan myös vapaus etsiä täysin uudenlaisia näkökulmia ja ratkaisuja. Hyvän hallinnon merkitys tunnustetaan, vain reilut yhteiset pelisäännöt ja niiden noudattaminen takaavat vihreän siirtymän investointien toteutumisen.

Koska osaamiskeskuksen ja klusterin on tarkoitus edistää mahdollisimman suoraviivaisesti innovatiivisia vähähiilisen teollisuuden hankkeita, tulisi uudelle toimijuudelle muodostaa mahdollisimman tehokkaasti toimiva PPP-malli (Public-Private Partnership).

# Jatkotoimet ja rahoitusmallit

Osaamiskeskuksen/klusterin toiminnan käynnistyttyä on tärkeää saada mukaan mahdollisimman laajasti alueen toimijoita. Käynnistämävaiheessa puolestaan alueen keskeisillä veturiorganisaatioilla ja toimialoilla on keskeinen rooli. Mukaan tarvitaan heti alusta alkaen vihreän siirtymän parhaat osaajat, avainyritykset ja laajasti Pohjois-Pohjanmaan etua ajava toimijuus.

Potentiaalisia käynnistämävaiheen avaintoimijoita voivat olla:

- Pohjois-Pohjanmaan liitto
- keskeisten teollisuuskeskittymien kehitysorganisaatiot (esim. Raahen seudun kehitys)
- edelläkävijäkunnat
- energiayhtiöt
- ICT-sektori
- teollisuusyritykset
- Elinkeinoelämän edustajat (Oulun kauppakamari, Business Oulu jne.)
- Oulun yliopisto
- Oulun ammattikorkeakoulu
- koulutuskuntayhtymä OSAO

Ottaen huomioon osaamiskeskuksen käynnistämiseen soveltuvan hankerahoituksen hakuakataulut esitetään, että avaintoimijat aloittaisivat hankesuunnittelun ja hankehakemuksen työstämisen mahdollisimman pian. Toimijoiden välisissä keskusteluissa voidaan myös päättää vastuiden jakautuminen toimijuuksien välillä.

Pohjois-Pohjanmaalle ja sen lähialueille tulee suuntautumaan merkittävä osa erityisesti vähähiilisen sähköntuotannon investoinneista. Maakunnassa on uudella EU-rahoituskaudella haettavissa ennätysellinen tukipotti, joka on nimenomaisesti kohdennettu vihreän siirtymän edistämiseen ja fossiilisten tuontipolttoaineiden käytöstä luopumisen nopeuttamiseen.

## Taulukko 4. Vihreän siirtymän klusterin/osaamiskeskuksen keskeisiä tavoitteita toimijoiden kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta

Vahvistaa vihreän siirtymän edellytyksiä Pohjois-Pohjanmaan ja koko Suomen tasolla

Etsiä keinoja vähähiilisen sähkön riittävän saatavuuden ja kohtuullisen hinnan turvaamiseksi

Tukea siirtymässä haittoja kärsiviä tahoja, kuten turvetuottajia ja tasaisesta sähkön saatavuudesta ja hinnoittelusta riippuvaisia toimijoita

Varmistaa uusien vihreän siirtymän investointien sosiaalinen hyväksyttävyyys

Vahvistaa vihreän siirtymän investointien aluetalous- ja työllisyysvaikutuksia

Turvata tuulivoimainvestointien jatkuminen hakemalla ratkaisuja sähkön kysynnän kohdistamiseen tuulisille tunneille

Vahvistaa edellytyksiä älykkäiden kulutusjoustoratkaisujen sekä energiavarastojen laajamittaiselle käytölle teollisuudessa, lämmityssektorilla ja liikenteessä

Silloittaa energiasektorin nykytilanne toivottuun tulevaisuusnäkymään tuottamalla tarkka näkemys tarvittavista toimenpiteistä

Silloittaa energiasektorin toimenpiteet muihin vihreän siirtymän toimenpiteisiin, kuten metsä- ja maatalouteen

Laatia tarkat laskelmat eri toimenpiteiden teknistaloudellista priorisointia varten

Koota yhteen Pohjois-Pohjanmaan olemassa oleva vihreän siirtymän osaaminen

Tuottaa uutta kansainvälisen tason tutkimusta ja valmistusteknologiaa

Tukea ja taustoittaa uusia vihreän siirtymän investointeja

Toteuttaa vihreää siirtymää vauhdittavia pilottihankkeita

Suunnitella kustannustehokkaita ja kriisinkestäviä paikallisia energiahuollon saarekkeitä

Kiinnostava rahoitusinstrumentti on Just Transition Fund (JTF), jolla pyritään erityisesti lievittämään turpeen käytön päättymisen aiheuttamia menetyksiä. Pohjois-Pohjanmaan omassa JTF-suunnitelmassa on määritelty, että merkittävä osa maakunnalle kohdistetusta noin 115 miljoonan euron rahoitusosuudesta tulisi käyttää uuden vihreää siirtymää tukevan osaamisen kehittämiseen ja tätä tukevien osaamiskeskitymien toteuttamiseen. Siten JTF-rahoitus (toki muutkin EU-rahoitukset) sopisivat erinomaisesti Vihreän siirtymän osaamisklusteri/-keskus -hankkeen toteuttamiseen.

Keskusteluissa eri toimijoiden kanssa on nähty tärkeäksi taata perustettavalle osaamiskeskukselle riittävät resurssit ajatellen sen työmäärää, vastuita sekä alueellista ja valtakunnallista roolia. On huomattava, että vihreä siirtymä etenee ympäröivissä maakunnissa ja maissa valtaisalla nopeudella, ja kehityksessä mukana pysyminen vaatii vahvaa panostusta juuri nyt.

Lisäksi on esitetty, että osaamiskeskus voisi hakea rahoitusta erilaisten tutkimuksellisia elementtejä sisältävien energiasektorin investointien ja muidenkin vihreän siirtymän ratkaisujen pilotointiin. Osaamiskeskuksella olisi asiantuntemusta valikoida toteutettavaksi koko systeemisen muutoksen ja osaamisen kehittämisen kannalta keskeisiä ratkaisuja ja näin so-optimoinnilta vältyttäisiin.

Hankkeen kokoluokaksi on esitetty noin 20–30 miljoonaa euroa. Hanke vastaa laajamittaiseen ja kriittiseksi koettuun tarpeeseen, ja siten iso tukisumma olisi perusteltu.

Nyt haettavan hankkeen kesto voisi olla 3–5 vuotta sisältäen osaamiskeskuksen perustamisen ja toiminnan vakiinnuttamisen. Jatkossa osaamiskeskus voisi hakea työnsä rahoittamiseen ja hankkeiden toteuttamiseen rahoitusta kaikista potentiaalisista lähteistä. Tavoitteena on pysyvä organisaatio, joka pystyy jatkossa kanavoimaan merkittäviä julkisia rahoituksia ja yksityisiä investointeja alueelle.

## Osion pääviestit

- Pohjois-Pohjanmaalla on vahvaa tuulivoiman ja vihreän siirtymän osaamista.
- Maakunnalla on realistiset mahdollisuudet nousta vihreän siirtymän osaamisen kansainväliseen kärkeen.
- Osaamista kannattaa nivota yhteen ja kehittää myös uutta osaamista.
- Vähähiilisen sähköntuotannon, -jalostuksen ja -kulutuksen ekosysteemit yhteennivova sektori-integraatio on menestyksen edellytys.
- Maakuntaan tarvitaan vahva vähähiilisen teollisuuden veturi-alue, joka luo kysynnän maakunnan sähkön ja energiatuotteiden jalostukselle.
- Kehittämistoimien hankkeistus kannattaa aloittaa välittömästi.

# 3. Sähköverkon ja tuulivoiman nykytila ja kehitysnäkymät

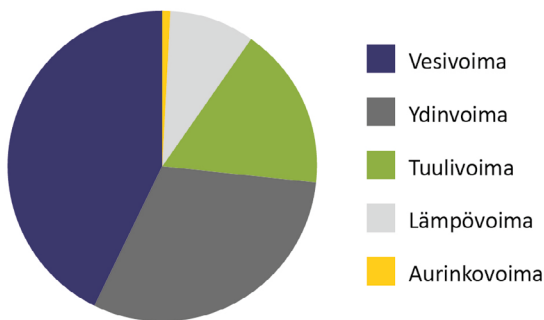
## Sähkömarkkinoiden kehityssuunta

Seuraavassa tarkastellaan sähkömarkkinoiden ja tuulivoimasektorin näkymiä Pohjoismaissa. Islanti on jätetty tarkastelun ulkopuolelle, koska maan energiantuotannon olosuhteet eivät ole vertailukelpoisia muiden Pohjoismaiden kanssa.

Ruotsin 166 TWh:n sähköntuotannosta katettiin vuonna 2021 vesivoimalla 70,6 TWh, ydinvoimalla 51 TWh, tuulivoimalla 27,4 TWh ja polttamiseen perustuvilla lähteillä 15,5 TWh.<sup>2</sup> Sähköntuotantoa pyritään kasvattamaan jopa 208 TWh:n tasolle vuoteen 2030 mennessä.<sup>3</sup>

### Ruotsi

Kuvio 8. Ruotsin sähköntuotanto 2021



Tuulivoimakapasiteetin ennakoidaan kasvavan vuoden 2022 14 GW:n tasolta vuoteen 2025 mennessä tasolle 18 GW ja vuoteen 2040 mennessä tasolle 33 GW.<sup>4,5</sup> Ruotsin sähkötase (vienti-tuonti) on ollut noin 20–30 TWh ylijäämäinen, mutta ylijäämän ennakoidaan kutistuvan vain 6 TWh:n tasolle vuoteen 2027 mennessä.

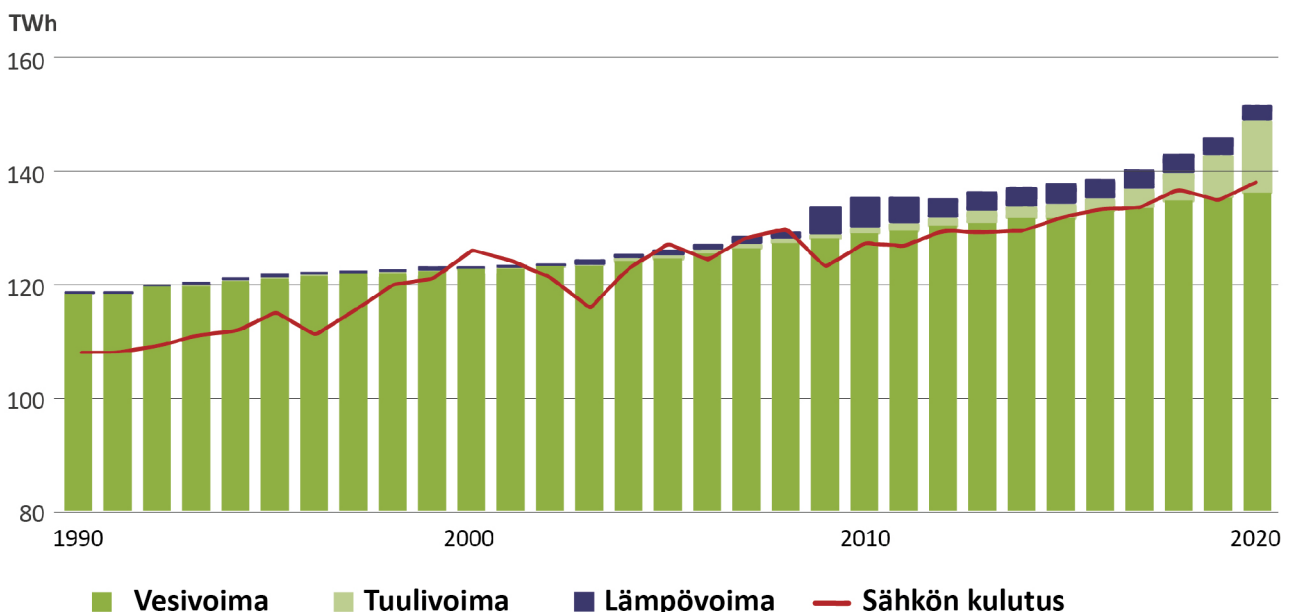
2 Electricity supply and use 2001–2021 (GWh). Tilastotietoa sähkön kysynnästä ja tarjonnasta Ruotsissa vuosina 2001–2021. SCB.

3 Buli, N. 2022. Onshore wind to become Sweden's largest power source by 2030 - Rystad. Reuters.

4 Quarterly statistics. Tilastotietoa Ruotsin tuulivoiman kehityksestä vuosina 2020–2022. Swedish Wind Energy Association.

5 Roadmap 2040. Wind power: combating climate change and improving competitiveness. 2020. Swedish Wind Energy Association

Kuvio 9. Norjan sähkön tuotannon kehitys 1990–2020



## Norja

Norjan sähköntuotannosta vuonna 2020 vesivoiman osuus oli noin 90 %, tuulivoiman noin 7 % ja polttamiseen perustuvien (bio- ja fossiilijakeet) noin 3 %.<sup>6</sup>

Norjan tuulivoimakapasiteettia tullaan kasvattamaan vuoden 2021 4 929 MW:n tasolta vuoteen 2030 mennessä vain muutamilla kymmenillä megawateilla.<sup>7</sup> Vuoden 2030 jälkeen on kuitenkin suunnitelmissa rakentaa merituulivoimakapasiteettia merkittävästi, jopa noin 30 GW:lla.<sup>8</sup>

Norjan tase (vienti–tuonti) 2021 on noin 17,6 TWh ylijäämäinen (kuvaaja 8.). Ylijäämän voi arvioida kasvavan merkittävästi vasta vuoden 2030 jälkeen.<sup>9</sup>

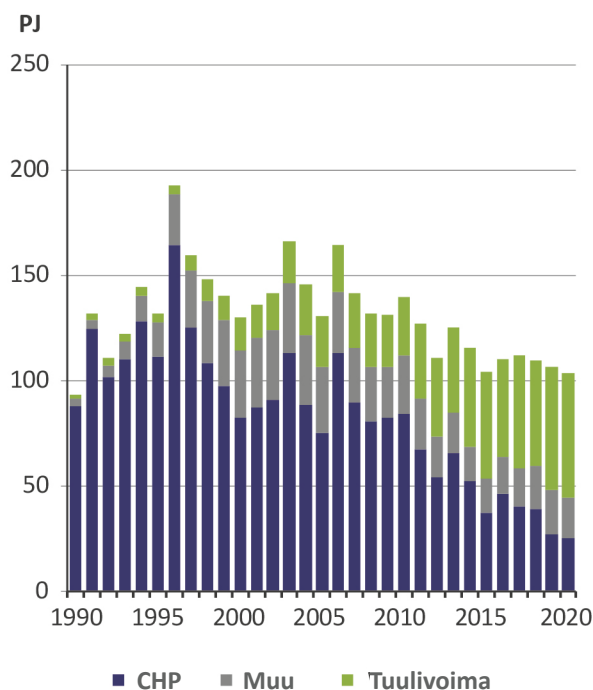
## Tanska

Tanskan sähköntuotannosta vuonna 2020 tuulivoimaa oli noin 50 %, fossiilisilla energialähteillä kattua tuotantoa noin 30 % ja bioenergiaa noin 20 %. Tuulivoimakapasiteettia oli vuonna 2020 6 259 MW ja aurinkosähkökapasiteettia 1 300 MW.<sup>10</sup>

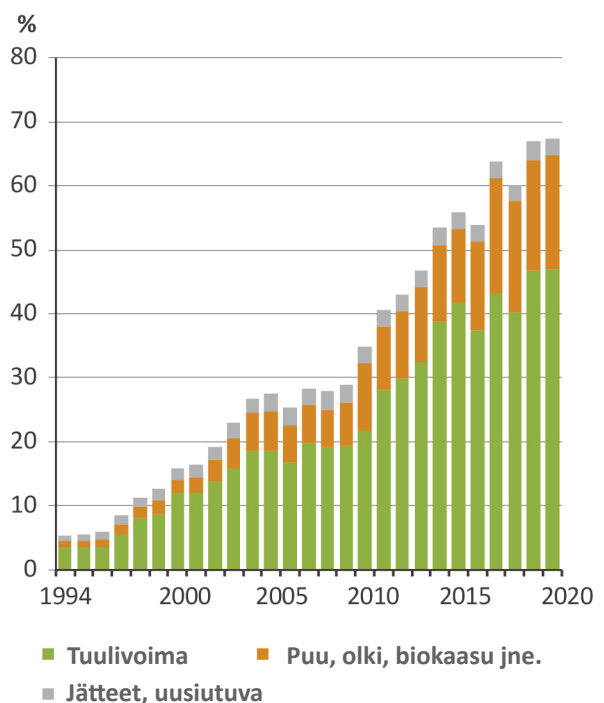
Tanskan tavoitteena on irtautua kokonaisuudessaan fossiilisten polttoaineiden käytöstä sähköntuotannossa vuoteen 2030 mennessä. Merituulivoiman kapasiteettia pyritään kasvattamaan vuoteen 2030 mennessä noin 10 GW:n tasolta 12,9 GW:n tasolle, jolloin maatuulivoima mukaan lukien tuulivoimakapasiteetti olisi noin 17 GW.<sup>11</sup>

Tanskan sähkötase oli vuonna 2020 noin 6,9 TWh alijäämäinen, mikä katettiin sähkön tuonnilla Norjasta (7,4 TWh) ja Ruotsista (3,8 TWh).

**Kuvio 10. Tanskan sähköntuotannon kehitys**



**Kuvio 11. Uusiutuvien energialähteiden osuus Tanskan sähköntuotannosta**



6 Electricity production. Energifakta Norge.

7 Norway 2022 Energy Policy Review. 2022. International Energy Agency.

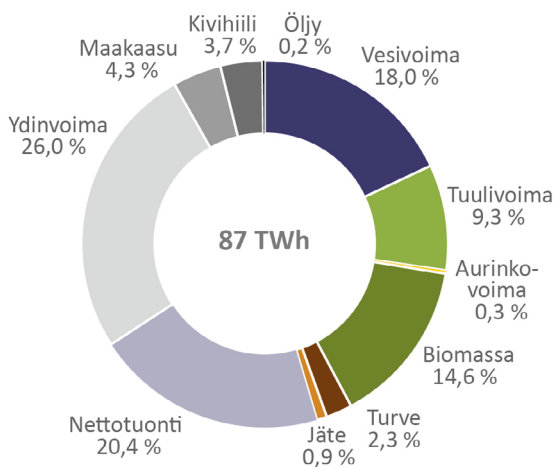
8 Norway announces big new offshore wind targets. Wind Europe 2.6.2022

9 Electricity. Statistisk sentralbyrå.

10 Energy in Denmark, 2020. 2022. Danish Energy Agency..

11 Denmark aims to raise its 2030 offshore wind target by 45% to 12,9 GW. Enerdata.

**Kuvio 12. Suomen sähköntuotanto energialähteittäin ja nettotuonti 2021**



## Suomi

Suomessa vuositasolla suurimmat sähköntuotannon muodot ovat ydinvoima, vesivoima, biomassat, tuuli ja fossiiliset energiamuodot. Fossiilisten ja turpeen osuus sähköntuotannosta on 10,5 %.<sup>12</sup>

Suomen sähkötaseen alijäämä on muihin Pohjoismaihin verrattuna selvästi suurin 17,8 TWh:n sähkön tuonnin osuuden ollessa noin 20,4 % sähkön kulutuksesta. Sähkön tuonti Venäjältä on päätynyt vuonna 2022, ja sähköä tuodaan pääosin Ruotsista sekä talven kulutushuippujen aikana myös Baltiasta.

Vuonna 2029 voimaan astuva kivihiilen energiakäytön kieltolaki, maakaasun tuonnin päättyminen Venäjältä sekä päästöoikeuksien hinnan huomattava nousu tulevat vähentämään fossiilisten osuuden sähköntuotannossa vain prosentin paikkeille vuonna 2030.

Suomi on lisäämässä huomattavasti sähköntuotantoaan. Ydinsähkön kapasiteetti nousee Olkiluoto 3-ydinvoimalan käynnistyttyä 1 600 MW/12 TWh:in vuodessa ja tuulisähkön tuotannon nimellisteho vuoteen 2030 mennessä tasolle 18 000 MW/60 TWh. Suomi tulee olemaan jatkossa vuositasolla sähköntuotannossaan yliomavarainen, mutta kovien vähätuulisten pakkaskausien aikana Suomi on edelleen

vahvasti riippuvainen sähkön tuonnista tai kulutuksen huomattavasta joustosta.

Seuraavaksi tarkastellaan tarkemmin Suomen ja Pohjois-Pohjanmaan sähkömarkkinoiden kehittymisen kannalta oleellista aluetta eli Pohjois-Ruotsia, josta Suomi tuo suurimman osan tarvitsemastaan tuontisähköstä.

## Luulajan (SE1) alueen kehitys

Ruotsin sähköverkko on jaettu kaikkiaan neljään hintavyöhykkeeseen, joissa normaalitilanteessa vallitsee voimakkaastikin toisistaan poikkeava hintataso. Erot hinnassa johtuvat pääosin siitä, että Pohjois-Ruotsin SE1 ja SE2 -hinta-alueilla on paljon vesi- ja tuulivoimaa, mutta eteläisiä maakuntia vähemmän kulutusta. Hintavyöhykkeiden suurimpana syynä on puutteellinen siirtokapasiteetti maan eri osien välillä. Toisaalta Ruotsissa on katsottu aluepoliittisesti ja teollisten investointien kannalta hyväksi nostaa syrjäisten pohjoisten maakuntien houkuttelevuutta mahdollistamalla erittäin edullisen sähkön saatavuus.

Suurimmalle osalle vihreän siirtymän teollisista investoinneista vähähiilisen sähkön saatavuus ja hinta ovat kriittinen kilpailukykytekijä. Pohjois-Pohjanmaa ja Luulajan alue kilpailevat samantyyppisistä teollisista investoinneista, kuten vedyn tuotannosta, terästeollisuudesta ja mahdollisesti akkujen valmistuksesta. Osaamisen ja teknologian sekä työvoimakustannusten, raaka-aineiden sekä logistiikan osalta alueet ovat melko samassa asemassa ja siten sähkön hinnan merkitys alueiden välisessä kilpailussa korostuu.

SE1-hinta-alueen sähköntuotannon kokonaisteho on noin 7 300 MW (vesivoima noin 5 300 MW ja tuulivoima noin 2 000 MW).<sup>13</sup> Lisäksi alueelle tulee siirtolinja Pohjois-Norjan hintavyöhykkeeltä 4, jossa vesivoiman hinta on yleensä erittäin edullinen. Alueen vesivoimalla voidaankin tasapainottaa huomattava määrä tuulivoimaa. SE1-alueen tuulivoimatuotannon arvioidaan kasvavan vuoteen 2025 mennessä 3 500 MW:n tasolle.

12 Energiavuosi 2021 Sähkö. 2022. Energiategollisuus

13 SE1. Electricity Maps.

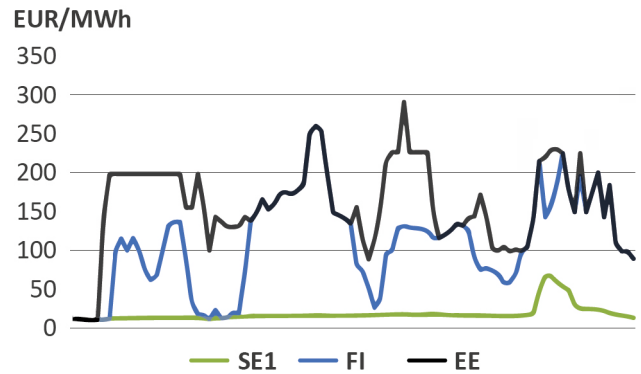
**Taulukko 5. Sähkönkulutus ja tuotanto Ruotsin hintavyöhykkeillä**

Hintavyöhyke	Sähkön tuotanto	Sähkön kulutus
SE1	21 TWh	10 TWh
SE2	41 TWh	16 TWh
SE3	88 TWh	88 TWh
SE4	7 TWh	24 TWh
yhteensä	157 TWh	138 TWh

Kuten ylläolevasta taulukosta voidaan nähdä, SE1-alueen sähkön vuosituotanto on nykytilanteessa noin 21 TWh ja kulutus noin 10 TWh, eli alue on keskimäärin 11 TWh ylijäämäinen. SE2-alueen ylijäämä on vieläkin suurempi, noin 25 TWh. Kun SE3- ja SE4-alueiden yhteenlaskettu alijäämä on 17 TWh, voidaan SE2-alueen ylijäämän ajatella riittävän helposti Ruotsin nykyisen sähkön tarpeen kattamiseen sekä myös vientiin Tanskaan ja Keski-Eurooppaan.<sup>14</sup>

14 Fälth, H.E. 2019. The Swedish Electricity System. Challenges to achieve a 100% renewable power system. Swedish Energy Agency.

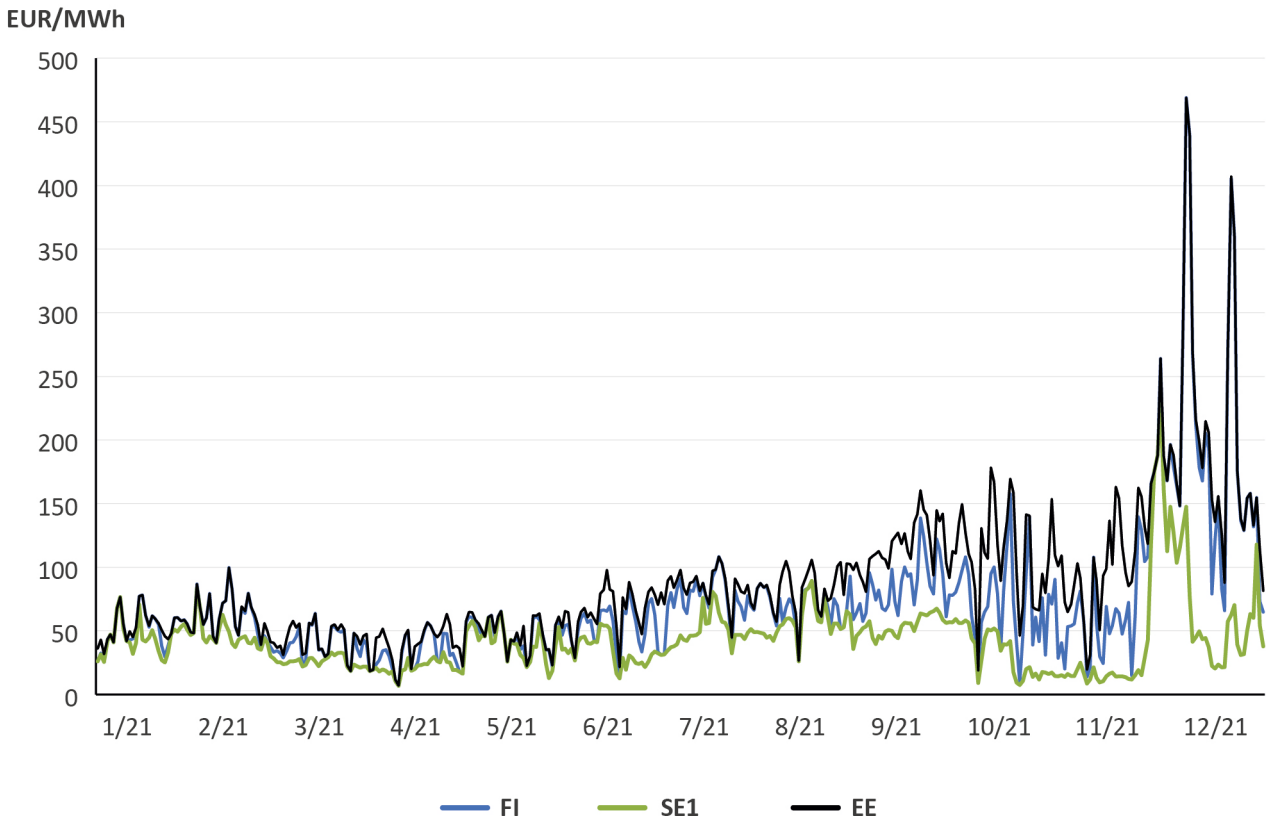
**Kuvio 13. Sähkön hinnan vaihtelua tammikuun puolivälissä 2022**



Sivun diagrammeista alempi kuvaa sähkön viikkohintoja Suomessa, Virossa ja Ruotsin SE1-alueella vuonna 2021. Ylhäällä oleva diagrammi puolestaan kuvaa vastaavia hintoja kuuden päivän jaksolla tammikuun puolivälissä 2022.<sup>15</sup> Alemmasta kuvasta voidaan nähdä, että sähkön hinta on SE1-alueella ollut vuonna 2021 Suomen aluehintaa edullisempi. Suomen keskimääräinen aluehinta on ollut vuonna 2021 reilusti yli

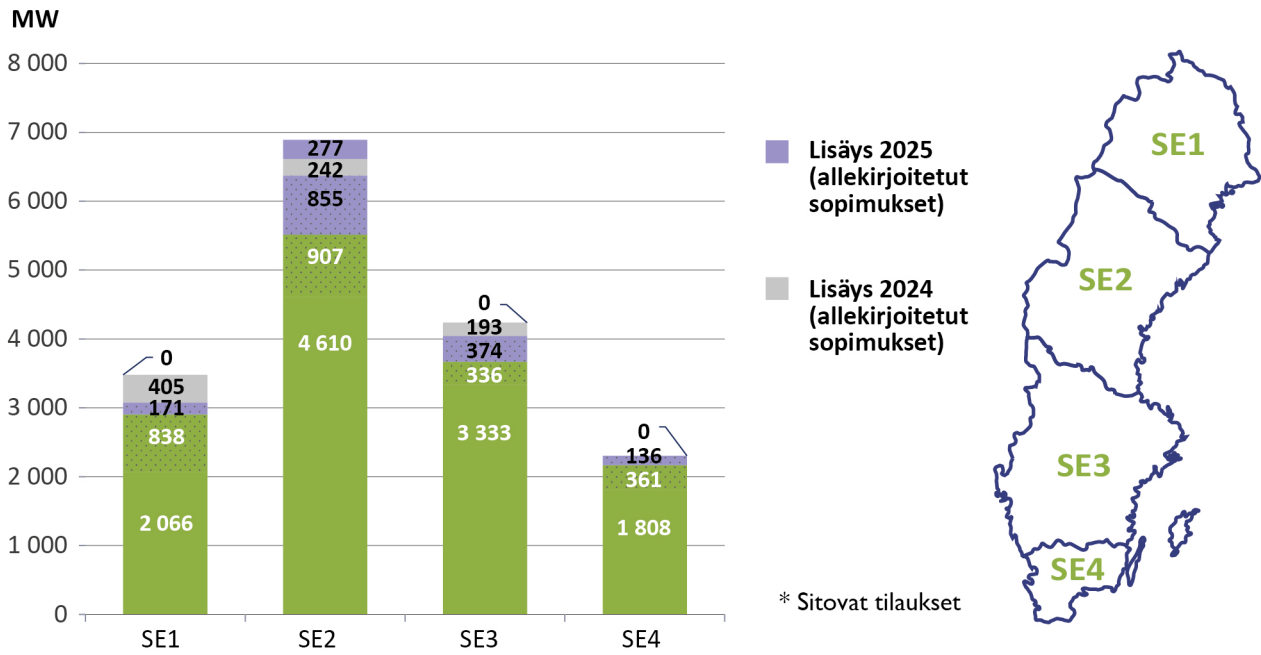
15 Jääskeläinen, J., Huhta, K., Syri, S. 2022. The Anatomy of Unaffordable Electricity in Northern Europe in 2021

**Kuvio 14. Päivittäiset spot-hinnat Suomessa, Virossa ja SE1-alueella vuonna 2021**





**Kuvio 15. Tuulivoiman lisäys Ruotsin hintavyöhykkeillä**



50 €/MWh, kun SE1-alueen hinta on pysynyt kumpakin vuonna reilusti alle 50 €/MWh:n tasolla. Edellisen sivun yläreunan kuva osoittaa, että myös kovimmat hintapiikit ovat SE1-alueella huomattavasti matalampia kuin Suomessa. On myös tärkeää huomata Suomen aluehintojen seuraavan voimakkaasti Viron hintakehitystä. SE1-alueelle on houkuteltu huomattavia teollisia investointeja lupaamalla niille Euroopan halvinta sähköä.<sup>16</sup>

Pohjois-Ruotsin kuntien yhteisen energiatoimiston (Energikontor Norr) mukaan teollisuuden kokonaisenergiankulutus Norrbottenissa oli vuonna 2018 noin 22 TWh, josta suurin osa kului kaivannais- ja terästeollisuudessa ja katettiin fossiilisilla energialähteillä.<sup>17</sup> Alueen merkittävimmät nykyiset toimijat SSAB ja LKAB ovat ilmoittaneet pyrkivänsä korvaamaan nykyisin pääosin fossiilisiin energialähteisiin pohjaavan tuotantonsa vähähiiliseen sähköön ja vetyyn (vesi- ja tuulisähkö) perustuvilla prosesseilla jo vuoden 2026 jälkeen. Lisäksi alueelle on tuolloin tulossa mahdollisesti uutta terästeollisuutta ja muuta energiaintensivistä teollisuutta.

Kun merkittävä osa Norrbottenin teollisuudesta, lämmityksestä ja mahdollisesti liikenteestäkin sähköistyy, ja lisäksi tulee uusia erittäin merkittäviä sähköä kuluttavia investointeja, voi SE1-alueen oman sähkönkulutuksen arvioida nousevan vuoden 2026 jälkeen yli 30 TWh:n luokkaan. Vesivoimakapasiteettia ei olla merkittävästi lisäämässä, ja tuulivoimakapasiteettia on vuoteen 2025 mennessä käytettävissä noin 3 500 MW (ylläoleva kuvaaja).<sup>18</sup>

Pohjoismaisten kantaverkko-operaattoreiden verkko-visiossa vuodelle 2040 SE1-alueesta tulee sähkön viejän sijasta sähkön tuoja SE2-alueelta. Alueen rooli sähkön tuojana Suomeen muuttuu ja Suomessa olisi pohdittava, onko SE1-alueella jatkossa mahdollisuutta balansoida nykyisellä tavalla Suomen tehovajeita.<sup>19</sup>

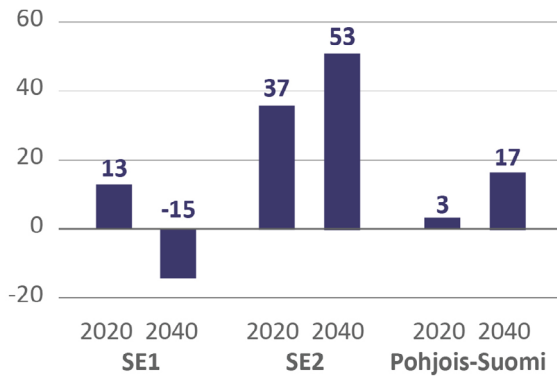
16 The case for northern Sweden. Invest in Norrbotten.

17 Energi- och klimatöversikt för Norrbottens län år 2020. 2020. Energikontor Norr, Länsstyrelsen i Norrbottens län.

18 Statistics and forecast – Q3 2022. 2022. Swedish Wind Energy Association.

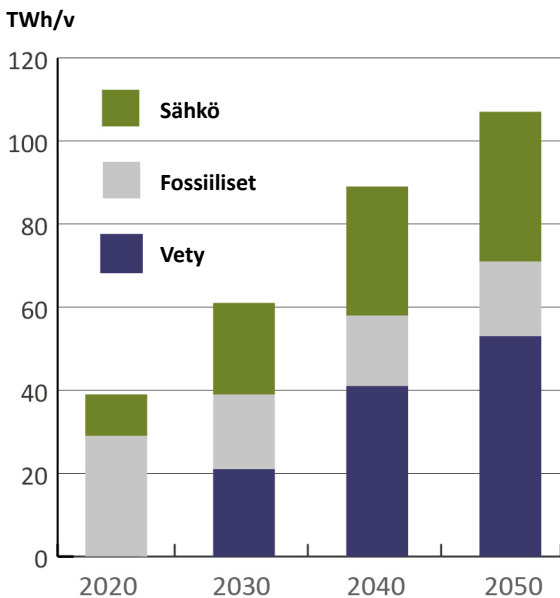
19 Nordic grid development perspective 2021. 2021. Energinet, Fingrid, Statnett, Svenska kraftnät.

**Kuvio 16. Sähkön tuotannon vuositasen kehitys**



Luulajan yliopiston vetytaloustarkastelussa SE1-alueen teollisuuden ja vedyntuotannon yhteenlaskettu sähkön tarve nousisi jo vuonna 2030 tasolle 43 TWh, eli 15 TWh alijäämäiseksi (alla oleva kuvaaja). Aihetta käsitellään tarkemmin vetytaloutta koskevassa osiossa.<sup>20</sup>

**Kuvio 17. Sähkön, vedyn ja muiden molekyylien (pääosin fossiiliset) tarpeen kehitys SE1 alueella**



<sup>20</sup> Vendt, M., Wallmark, C. 2022. Prestudy H2ESIN: Hydrogen, energy system and infrastructure in Northern Scandinavia and Finland. RISE Research Institute of Sweden, Luleå University of Technology.

Ruotsin kantaverkkoyhtiö Svenska Kraftnät julkaisi 20.12.2022 markkina-analyysin Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden kehityksestä vuoteen 2027 mennessä.<sup>21</sup> Analyysin mukaan sähkön vuositasen keskihinta Suomessa voisi vuonna 2023 laskea tasolle 66 €/MWh ja vuoteen 2026 mennessä edelleen tasolle 50 €/MWh. Sähkön hinnan arvioidaan kuitenkin nousevan vuonna 2027 jälleen tasolle 65 €/MWh. Sähkön hinnan laskua selittää pääosin Olkiluoto 3 -ydinvoimalan valmistuminen sekä tuulivoimatuotannon nopea kasvu.

Tuulisähkön tuotannon kasvu on analyysissä arvioitu huomattavasti nopeammaksi kuin tämän raportin pohjana toimivassa Fingridin arviossa. Lisäksi CHP-sähkön tuotantoa arvioidaan olevan käytettävissä enemmän kuin Energiaviraston arviossa jatkuvasti käytettävissä olevasta kapasiteetista.

Analyysissä arvioidaan Ruotsin sähkölijäämän kutistuvan jo vuoteen 2027 mennessä noin 6 TWh:n tasolle ja sähkön nettoviennin Suomeen käytännössä päättyvän. Suomen sähkökulutuksen arvioidaan kasvavan tasolle 100 TWh/vuosi.

Koska uutta jatkuvasti käytettävissä olevaa kapasiteettia ei Olkiluoto 3 -ydinvoimalan jälkeen ole Suomen verkkoon tulossa, vanhaa CHP-kapasiteettia puretaan ja mahdollisuus sähköverkon tasaamiseen vähätuulisilla kelillä Ruotsin tuonnilla heikkenee, tulisi sähkökulutuksen kasvu Suomessa olla vahvasti tuulivoiman tuotannon mukaan joustavaa. Mikäli sähkökulutus ei jouta riittävästi, on todennäköistä, että talvella 2022 koetun tehovajeen kaltaisia tilanteita koetaan myös jatkossa. Svenska Kraftnätin raportissa todetaan, että tehovaje aiheuttamat sähkökatkokset tulevat olemaan erittäin todennäköisiä Ruotsissa vuodesta 2027 eteenpäin. Raportissa ei huomioitu Viron ja Baltian sähköverkon kehitystä, eikä arvioitu tehovajeen riskiä Suomessa. Koska Suomen aluehinta seuraa vahvasti Viron hintaa, voi Viron pyrkimys korvata nykyinen, pitkälti fossiilisiin energialähteisiin perustuva sähkön tuotanto vähäpäästöisillä energialähteillä vaikuttaa sähkön hintaan ja saatavuuteen myös Suomessa.

<sup>21</sup> Korsigtid Marknadanalysis 2022, Svenska Kraftnät.

Mikäli jatkuvasti käytettävissä olevaa tai joustavaa sähkötehoa ei lisätä Suomeen tai naapurimaihin eikä kulutusjoustoja pystytä nopeasti kasvattamaan, on sähköpulan ja erittäin korkeiden hintapiikkien todennäköisyys suuri.

## Pohjois-Pohjanmaa

Suomen sähköverkko on yhtenäinen koko maan kattava hinta-alue, eikä Pohjois-Suomea tai Pohjois-Pohjanmaata voida eriyttää tarkasteltavaksi samaan tapaan kuin SE1-hinta-alue. Kuten yllä on jo todettu, Suomen aluehinta on viime vuosina ollut huomattavasti SE1-alueita korkeampi. Korkea sähkön aluehinta voi vaikuttaa merkittävästi uusien sähköintensiivisten teollisuusinvestointien toteutumiseen.

Vuonna 2021 Pohjois-Pohjanmaan sähköntuotanto oli noin 8,5 TWh ja kulutus noin 5,9 TWh. Tuulivoimalla tuotettiin noin 3 TWh, vesivoimalla noin 3,8 TWh ja lämpövoimalla (pääosin turpeella ja metsäbiomassoilta) 1,8 TWh.<sup>22</sup>

Mikäli Hanhikiven ydinvoimalaitosta ei rakenneta, tulee sähköntuotantoon lisäkapasiteettia lähinnä vain tuulivoiman lisärakentamisen kautta. Nykytiedon valossa on todennäköistä, että Pohjois-Pohjanmaan tuulivoimakapasiteetti vuonna 2030 olisi noin 9 GW/30 TWh ja sähkön tuotannon kokonaismäärä noin 32 TWh, eli tuulivoiman osuus kaikesta sähköntuotannosta olisi noin 80 %. Kemiin rakenteilla oleva Metsä-Groupin sellutehdasinvestointi tuottaa vuositasolla noin 2 TWh ylijäämäsähköä, mutta tuotanto riippuu tehtaan tuotantoprosesseista eikä siten ole välttämättä kaikissa tilanteissa käytettävissä.

Raahan terästehtaan prosessien sähköistäminen lisäisi Pohjois-Pohjanmaan sähkönkulutusta noin 3 TWh, energiasektorin ja liikenteen sähköistäminen mahdollisesti 1–4 TWh ja mahdollinen vedyn tuotanto 9 TWh vuoteen 2030 mennessä. Yhteensä sähkönkulutus voisi Pohjois-Pohjanmaalla nousta siis 10–15 TWh:iin riippuen oleellisesti siitä, katsotaanko alue

houkuttelevaksi kohteeksi sähköä kuluttaville teollisille investoinneille.

Pohjois-Pohjanmaan ja Norbottenin sähköntuotannon ja -kulutuksen skenaariot poikkeavat huomattavasti toisistaan. Lähtötilanteessa Norbottenin sähköntase on noin 15 TWh ylijäämäinen, perustuen pääosin vesivoimaan, kun taas Pohjois-Pohjanmaan ylijäämä oli vain noin 2,6 TWh perustuen pääosin tuulivoimaan.

Pohjois-Pohjanmaalla tuulivoiman tuotannon vahva kasvu tekee maakunnasta reilusti energiaylijäämäisen tuulisilla keleillä, jolloin tuulivoimaa siirretään huomattavia määriä muualle Suomeen sekä mahdollisesti myös Ruotsiin SE1-alueelle. Toisaalta vähätuulisilla keleillä maakunta tarvitsee huomattavasti sähköä muualta Suomesta tai Ruotsista, etenkin jos sähkönkulutus merkittävästi nousee.

Tuulivoiman tuotannon tasaaminen nouseekin Pohjois-Pohjanmaan osalta väistämättä merkittäväksi kysymykseksi. Ilman tasaavaa energiantuotantoa tuulivoiman nopea kasvu nostaa alueen kiinnostavuutta investointikohteena vain sellaisen teollisuuden näkökulmasta, jolla on kyky kohdistaa energiankulutuksensa tuulisille tunneille. Toisaalta, koska tuulivoimainvestointienkin on maksettava itsensä takaisin, ei tuulisähkön kokonaishinta voi painua alle investointikustannusten.

## Sähkön hintavyöhykkeet

Pohjois-Pohjanmaalla on herännyt keskustelua Suomen jakamisesta erillisiin hintavyöhykkeisiin Ruotsin mallin mukaisesti. Keskeisenä tavoitteena olisi helpottaa sähkön siirron haastetta pohjoisilta tuotantoalueilta eteläisen Suomen kulutuskohteisiin houkuttelemalla sähköintensiivistä teollisuutta lähelle tuulivoiman tuotantoa.

Jos vaikkapa SSAB:n terästehtaan ja vedyntuotannon suunnitelmat toteutuisivat ja pohjoisen alueen

22 Sähkön käyttö maakunnittain 2021, Energiateollisuus ry.

sähköistyminen etenisi koko maata koskevien skenaarioiden mukaisesti, voisi sähkönkulutuksen arvioida nousevan maakunnassa noin 15 TWh:n tasolle, jolloin alueen kulutushuippu olisi noin 5 200 MW.

Mikäli merkittävää uutta vähätuulisilla keleillä käytävissä olevaa sähkötehoa ei alueelle rakenneta, on sähköä tuotava vähätuulisina kovan kulutuksen aikoina muualta noin 1 500 MW:n teholla tai vaihtoehtoisesti toteutettava vastaava kulutusjousto teollisuuteen ja muuhun kulutukseen.

Jos pohjoiisiin maakuntiin harkitaan perustettavaksi oma muusta Suomesta erillinen hinta-alue, jonka tehtävänä on houkutelua uusia merkittäviä edulliseen vähähiilisen sähkөөn pohjaavia teollisia investointeja, tulisi jatkoselvityksissä kiinnittää huomioita ainakin siihen, miten Pohjois-Suomi kattaa tuulettomien ajanjaksojen tehovajeen ja onko sillä mahdollisuus tuoda silloin kohtuuhintaista sähköä naapurialueilta.

Tuulivoiman tasaaminen ja hyödyntäminen mahdollisimman lähellä tuotantopaikkaa vähentää oleellisesti sähköverkkoon kohdistuvaa rasitusta ja kohtuullistaa sähkönsiirron vaatimia investointeja. Myös sähkön jatkojalostusta energia- ja teollisuustuotteiksi olisi siirtohaasteen kannalta järkevää sijoittaa lähelle tuulivoiman tuotantoa. Mahdollinen uusi hintavyöhyke voisi ainakin periaatteen tasolla suojata Viron korkealta aluehinnalta ja siten mahdollistaa muuta Suomea edullisemmat sähkön keskihinnat.

Sähköjärjestelmän ja teollisuustuotannon kannalta maakuntien hallinnollisia rajoja seuraavat systeemiset rajaukset eivät välttämättä tuota optimaalista lopputulosta. Uuden energiajärjestelmän teknistaloudelliset sekä resilienssiin ja huoltovarmuuteen liittyvät tavoitteet saattavat toteutua myös sähköntuotanto- ja jalostusta sekä teollista käyttöä yhteennivovissa seudullisissa ekosysteemeissä.

Kuten vetytaloutta käsittelevässä osiossa todetaan, on mahdollista, ettei vetyä kannata jatkossa tuottaa

ainakaan Suomessa pörssisähkөөllä, vaan suoran sähkön tuottajan kanssa tehdyillä Mankala- tai PPA-sopimuksilla tai teollisissa sisäverkoissa. Useat hankkeessa haastatellut toimijat ovatkin esittäneet, että nykyistä laajempien alueellisten sisäverkkojen mahdollistaminen lainsäädännössä ja aluesuunnittelussa olisi tärkeää. Valtakunnanverkosta erillisissä teollisuuden sisäverkoissa siirretään nykyisellään noin 7 % kaikesta sähköstä muun muassa Kilpilahden jalostamoalueella ja Tornion terästehtaalla. Mikäli lainsäädäntö mahdollistaisi nykyistä laajemmin lähikuntien alueelle sijoittuvan tuulivoiman kytkemisen suoraan teollisiin keskittymiin, voitaisiin edullisen sähkön saataavuus turvata nykyistä paremmin.

## EU-taso

Sähkömarkkinoiden kehitystä pyritään EU:ssa ohjaamaan siten, että EU:n sähköntuotanto muodostaisi mahdollisimman yhtenäisen tarjontapoolin, jossa sähkö virtaa mahdollisimman pidäkkeettömästi jäsenvaltioiden välillä. Ajattelutapa sallii sähkön voimakkaankin hintavaihtelun, sillä sen nähdään kuvastavan aitoa niukkuutta sähkön saatavuudessa, ja korkeiden hintojen nähdään kannustavan kysyntää ja tarjontaa markkinaehtoisesti tasapainottavien ratkaisujen kehittymiseen. Sähkömarkkinoiden ja niihin vahvasti vaikuttavien päästöoikeusmarkkinoiden toimintaperiaatteiden on tarkoitus olla logiikaltaan yhteneväiset ja toisiaan tukevat. Markkinaehtoisesti saatavien kustannustehokkaiden ratkaisujen edellytyksenä on, että markkinoihin ei vaikuteta EU-tason tai kansallisilla tuilla tai poliittisella ohjauksella.

Sähköjärjestelmän tasapaino vaatii, että sähkön kysynnän ja tarjonnan on joka hetki vastattava toisiaan. Koska yhä suurempi osa tuotannosta on vaihtelevaa tuuli- ja aurinkovoimaa, on kysynnän joustettava sääoloja vastaavasti ja jatkuvasti käytettävissä olevasta sähkötehosta vallitsee yhä suurempi niukkuus. Koska EU:n, Pohjoismaiden ja kansallisten sähkömarkkinoiden ohjaus pohjaa sähkön hintainformaatioon, olisi mahdollisimman suuren osuuden sähkön kulutuksesta perustuttava tuntitasolla muuttuvaan spot-

hinnoitteluun. Suurin osa yhteiskunnan sähkön kulutuksesta on kuitenkin edelleen suojattu kiinteähintaisin sopimuksin. Tästä johtuen korkea sähkön hinta ei johda vielä tehokkaasti kokonaiskulutuksen alenemiseen, mikä puolestaan altistaa järjestelmää epätasapainolle ja sähkökatkoille.

Suomen sähkömarkkinoilla vaikuttaa lisäksi metsäteollisuuden puupohjaisiin virtoihin perustuva sähkön tuotanto ja kulutus, jonka osuus on yli puolet kaikesta teollisuuden sähkön kulutuksesta ja yli 20 % sähkön kokonaiskulutuksesta. Metsäteollisuuden tuotanto ei nykyisellään suurimmalta osaltaan seuraa vaihtelevia spot -hintoja, eikä puuraaka-aineen energiakäytön nettopäästövaikutuksia ole hinnoiteltu päästöoikeusmarkkinoita vastaavalla tavalla.

Sähköntuotannon markkinaehtoisuutta ei ole katsottu ongelmaksi EU:ssa tai Suomessa sähkön hinnan ollessa alhaalla. Sähkön hinnan rajua nousua vuodesta 2021 alkaen on kuitenkin pyritty hillitsemään ja kompensoimaan huomattavilla julkisilla interventioilla, ja koko sähkömarkkinan on katsottu kriisiytyneen. Sähkön hankinnan voimakkaasti nousseita kustannuksia kompensoivat euromääräiset tuet voivat etenkin pitemmällä aikavälillä heikentää edelleen sähkömarkkinoiden toimintaa ja sähkön saatavuutta, sillä ne peittävät näkyvistä markkinahintojen sisältämän informaation sähkön niukkuudesta.

Kuten myöhemmissä kappaleissa kuvataan, vaatii vaihtelevan sähköntuotannon ja -kysynnän tasapainottaminen joko kulutuksen joustoja tai säätyvää sähkötehoa. Mikäli EU-maiden sähköjärjestelmän integraatio syvenee edelleen ja Pohjoismaat yhdistetään yhä vahvemmin siirtoyhteyksin Keski-Eurooppaan, eivät merkittävätkään Suomen alueella tehtävät ratkaisut suojaa Suomen ulkopuolella tapahtuvilta tuotanto-, siirto- tai hintahäiriöiltä.

On mahdollista, että Ukrainan sodan myötä yksittäisille EU-maille sallitaan teho-omavaraisuutta vahvistavia toimia. Valtio- tai hinta-alueen rinnalla kiinnostavaksi voivat nousta myös pienemmät

kaupunki- tai teollisuusalueen sähköntuotantoa ja -kulutusta suoraan yhteenlasketut kokonaisuudet, joilla voitaisiin samaan aikaan turvata edullisen sähkön saatavuus sekä toimintakyky erilaisissa sähköverkon häiriötilanteissa.

Mikäli EU:n sähkömarkkinoiden kehittämisen markkinalogiikka säilyy myös jatkossa, voi energia-/sähköintensiivisen heikosti joustavan teollisuuden kilpailukyky vaarantua. EU onkin suunnannut merkittäviä tukia (kuten REPower EU) haittaa kärsivien alojen energianhankinnan helpottamiseen. Näitä huomattavia tukiresursseja voitaisiin hyödyntää esimerkiksi vähähiilisen sähkön ja vedyn tuotannon investointeihin Pohjois-Pohjanmaalla.

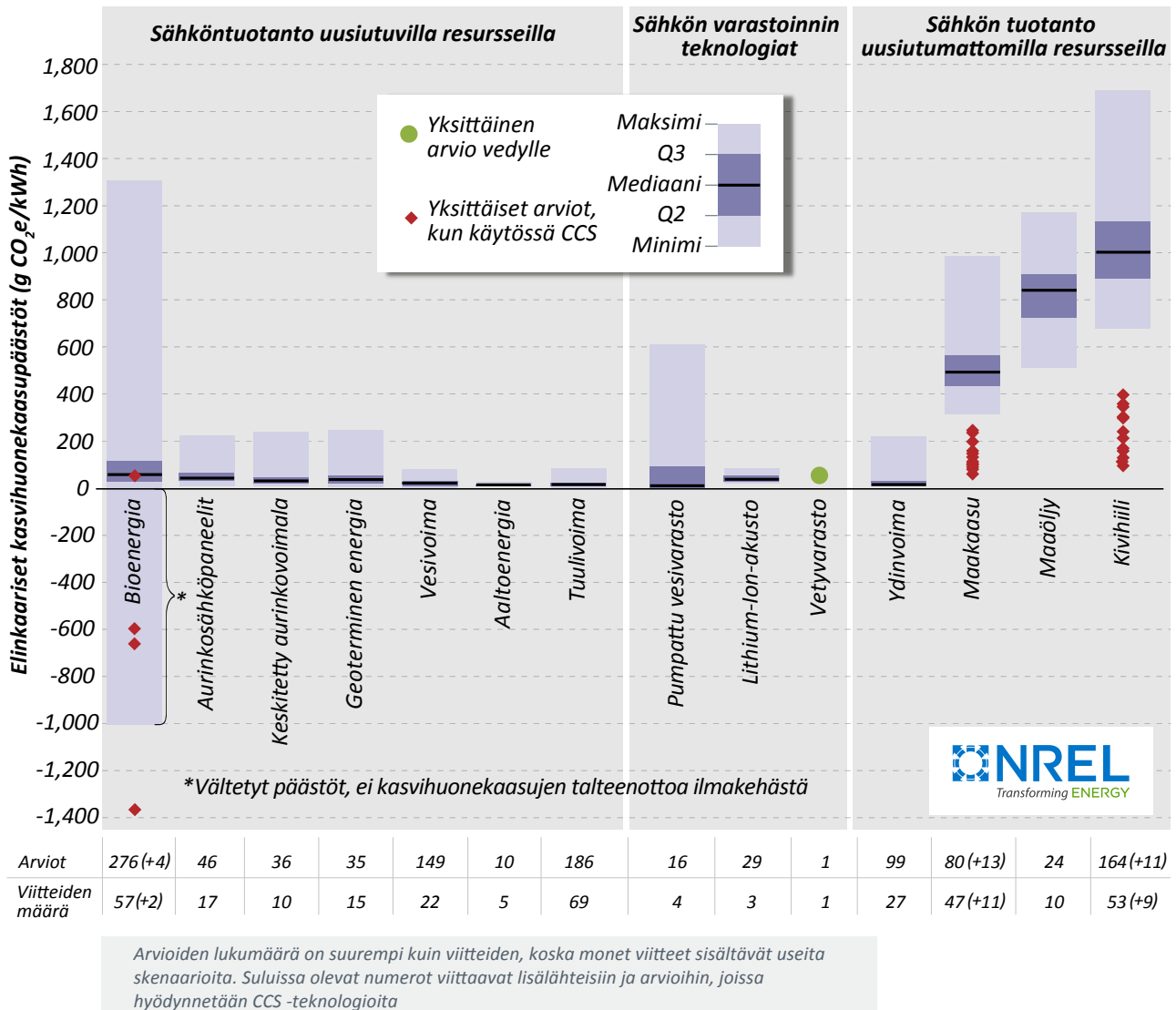
## Tuulivoimasektorin nykytila ja kehityssuunta

Käytettävissä olevien tietojen valossa (kyselyt, haastattelut, kirjalliset lähteet) voidaan tuulivoimasektorin ja laajemminkin vihreän siirtymän kehitysnäkymiä hahmottaa suhteellisen selvästi vuoteen 2030 saakka. Vuodesta 2030 eteenpäin tuulivoimasektorin näkymät riippuvat suuresti lähivuosien teknologisen kehityksen ja poliittisten päätösten myötä muotoutuvista tulevaisuuspoluista. Vuosien 2030–2040 kehityksen suuntaviivoja haarukoidaan tämän osion lopussa kahden eri skenaarion avulla.

### Tuulivoimasektorin nykytila

Maatuulivoiman tuotanto on ollut Suomessa markkinaehtoisesti kannattavaa jo noin viiden vuoden ajan. Tuulivoima on samalla muodostunut houkuttelevimmaksi investointikohteeksi energiasektorilla. Koska myös rakennuslupia on myönnetty runsaasti, on tuulivoiman tuotanto erittäin voimakkaassa kasvussa ja kokonaiskapasiteetti tulee ylittämään vuoden 2023 alussa 5 000 MW:n rajan. Tuulivoimasta onkin jo tullut nimelliskapasiteetiltaan suurin sähköntuotannon muoto Suomessa.

**Kuvio 18. Arvioita eri sähköntuotannon ja -varastoinnin sekä hiilidioksidin takaisinoton teknologioiden elinkaarista päästövaikutuksista**



Lähde: National Renewable Energy Laboratory

Tähän mennessä rakennettu tuulivoimakapasiteetti painottuu vahvasti Suomen länsirannikolle, Pohjois-Pohjanmaalle ja Meri-Lappiin. Toisaalta isoja yksittäisiä puistohankkeita on toteutettu myös Pohjois-Pohjanmaan itäosiin ja Kainuuseen.

Aiemmin tuulivoiman sijoittumiseen vaikuttivat vahvasti tuuliolosuhteet, mutta uudet korkeammat, isommat ja tehokkaammat voimalat mahdollistavat kannattavan tuotannon lähes kaikkialla Suomessa. Tuuli-

voimaloiden teho ja koko on kaksinkertaistunut vuoden 2017 tyypillisestä 3–4 MW:n kokoluokasta. Korkeimmat maatuulivoimat yltyvät jo lähes 300 metrin korkeuteen.

Korkealla myös tuuliolot ovat vakaammat ja täysin tuulettomat ajat lyhyempiä. Myös generaattoritekniologia, aerodynamiikka ja esimerkiksi jäänestön kehittyminen vaikuttavat tuulivoimaloiden keskimääräiseen kapasiteettikertoimeen. Nykyisin yleinen 0,4:n

kapasiteettikerroin tarkoittaa noin 3 500 tunnin huipunkäyttöaikaa, eli laitos tuottaa yhden vuoden aikana energiamäärän, jonka se tuottaisi toimiessaan nimellistehollaan 3 500 tuntia.

Tuulivoimaa on ollut käytössä laajassa mittakaavassa jo 1980-luvulta lähtien. Ulospäin näkyvät rakenteelliset ratkaisut ovat pitkälti vakiintuneet, eikä eri valmistajien voimaloita ole kovin helppo erottaa päällisin puolin toisistaan. Turbiiniteknologia, tornit, siivet ja ohjausjärjestelmät kehittyvät kuitenkin jatkuvasti. Myös perustukset ja pystytysmenetelmät ovat kehittyneet nopeasti.

Tuulisähkön tuotannossa ei synny käytännössä lainkaan päästöjä. Tuulivoiman elinkaariset päästövaikutukset ovat laajasti käytössä olevista sähköntuotantomuodoista alhaisimmat.<sup>23</sup>

Tuulivoiman päästövaikutukset vaihtelevat jossain määrin voimaloiden valmistusteknologian ja valmistukseen käytettävän energian mukaan. Optimaalista olisi, jos esimerkiksi tuulivoiman kookkaat teräsrakenteet voitaisiin valmistaa hiilivapaasta teräksestä käyttämällä tuuli- tai aurinkosähköä. Vaikutuksia luontoon vähentää myös se, että tuulivoiman suora maankäyttövaikutus on selvästi bio- ja aurinkoenergiaa alhaisempi.

Tuulivoimaloiden turbiinien toimintaa on tehostettu käyttämällä harvinaisia maametalleja ja supermagneetteja. Kiina on tällä hetkellä merkittävin tuulivoimaloissa käytettävien maametallien ja magneettien tuottaja, ja olisi toivottavaa, että tuotantoa syntyisi myös EU:n alueelle tai Suomeen.

Eri energiamuotojen tuotantokustannuksia vertailaan usein termillä LCOE (levelized cost of energy), jolla kuvataan alinta kannattavaa tuotantohintaa. Vaikka LCOE:n laskentatapoihin liittyy monia haasteita, voidaan sen avulla hahmottaa ainakin suunta-

viivoja kunkin energiamuodon kannattavuudesta. Jos LCOE on korkea ja tuotanto synnyttää päästöjä, on kyseisen energiamuodon vaikea kilpailla matalan LCOE:n vähäpäästöisen teknologian kanssa.

Suomessa rakennetun maatuulivoiman LCOE on laskenut alimmillaan 25 €/MWh:n tienoille, mikä teki siitä ylivoimaisesti edullisimman tavan tuottaa sähköä, mikäli tuotannolle ei aseteta vastaavia toimitusvarmuusvaatimuksia kuin muulle sähköntuotannolle.

Koronapandemian ja Ukrainan sodan myötä raaka-aineiden ja energian, ja siten myös tuulivoimaloiden valmistuksen ja pystytyksen kustannukset ovat nousseet. Uusissa tuulivoimahankkeissa LCOE on jo yleisesti yli 40 €/MWh.

On mahdollista, että tuulivoiman LCOE pysyy 40 €/MWh:n tasolla lähivuosina, sillä energian ja raaka-aineiden saatavuusongelmiin ei ole näköpiirissä nopeaa ratkaisua. Mikäli keskeisten tuotantotekijöiden hinnat jatkossa laskevat ja tuulivoiman oppimiskäyrä laskee tuotantokustannuksia, voi tuulivoiman LCOE laskea 2020-luvun loppupuolella noin 20 €/MWh:n tasolle. Kun huomioidaan siirtokulut, verot ja häviöt, asiakkaan on maksettava tuulivoimasta 30–50 €/MWh, jotta tuuli-investoinnit kannattaisivat.

Tuulivoimaa voidaan myydä joko pohjoismaisen sähköpörssin kautta tai pitkäaikaisilla kiinteähintaisilla ostosopimuksilla (PPA eli Power Purchase Agreement). Jos tuulisähkön käyttäjä omistaa myös tuulisähköä tuottavan yhtiön, voidaan sähköä toimittaa käyttäjälle omakustannushintaan ns. Mankala-periaatteella. Näissäkin sopimuksissa tuulivoiman myyjän on saatava tuotannolle vähintään tuotantokustannukset kattava hinta.

Tuulivoimahankkeiden välillä vallitsee usein kova kilpailu ja hankkeet on toteutettava mahdollisimman kustannustehokkaasti. Tuulivoimaloiden valmistaminen on varsin erikoistunutta toimintaa ja vaatii vahvaa osaamista.

23 Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation: Update. 2021. National Renewable Energy Laboratory.

Tähän mennessä tuulivoimaa on rakennettu Suomessa lähinnä maa-alueille. Jatkossa merituulivoiman arvioidaan kuitenkin yleistyvän. Nykyisellään merituulivoiman LCOE on noin 80 €/MWh, ja on vielä epävarmaa, tuleeko se saavuttamaan maatuulivoiman kanssa kilpailukykyisen tason. Merialueille voidaan logistisista syistä toteuttaa huomattavasti isompia voimaloita kuin maantiekuljetuksista riippuvaisille maa-alueille. Lisäksi merellä tuotannolle saavutetaan parempi, noin 0,5:n kapasiteettikerroin. Merituulivoimaa voidaan myös sijoittaa kauas asutuskeskuksista.

Suomi on aiemmin ollut varsin merkittävä tuulivoimateknologian valmistaja, mutta tällä hetkellä maassamme ei valmisteta tuuliturbiineja tai tuulivoimaloiden siipiä. Pohjois-Pohjanmaalla ollaan kuitenkin aloittamassa betonia ja terästä yhdistävien hybriditornien betoniosien valmistusta. Suomessa suunnitellaan ja valmistetaan edelleen mm. tuuligeneraattorien magneetteja, sähkökoneita, vaihteistoja, taajuusmuuntajia sekä voimalatornien valmistuslinjoja.

Tuulivoimateknologian suoraksi työllisyysvaikutukseksi on arvioitu noin 2 000 htv/vuosi.<sup>24</sup> Tuulisähkön tuotannon (rakennus ja käyttövaihe) kokonaistyöllisyysvaikutukseksi on arvioitu noin 2,6–3,5 htv /MWh. Tämä tarkoittaisi, että nykyinen noin 4 700 MW:n kapasiteetti tuottaisi noin 14 000 henkilötyövuoden työllisyysvaikutuksen.

## Pohjois-Pohjanmaan tuulivoimasektorin nykytila

Pohjois-Pohjanmaalla sijaitsee noin 40 % koko Suomen tuulivoimakapasiteetista. Maakuntaa voikin hyvällä syyllä pitää tuulivoiman edelläkävijänä Suomessa. Pääosa tuulivoimakapasiteetista on maakunnan länsiosien rannikkoalueilla, mutta sisämaahankin toteutetaan kiihtyvällä tahdilla hankkeita. Kesällä 2022 Pohjois-Pohjanmaalla oli rakennettua tuulivoima-

kapasiteettia noin 1 500 MW, luvittua kapasiteettia on 3 040 MW ja vireillä olevaa 7 163 MW. Tuulivoimarakentamisen voidaankin arvioida jatkuvan vilkkaana.

Pohjois-Pohjanmaalla on ollut myös lupaavaa tuulivoimateknologiateollisuutta. Iissä toiminut turbiinivalmistaja WinWind oli alan edelläkävijöitä, mutta päätyi valitettavasti konkurssiin noin kymmenen vuotta sitten. Entisiä WinWindin huippuosaaajia on kuitenkin edelleen maakunnassa ja osaamisen kerääminen yhteen voisi tuottaa merkittäviä tuloksia toimintaympäristön muututtua tuulivoiman osalta erittäin suotuisaksi.

Entisen WinWindin työntekijät ovat perustaneet maakuntaan menestyviä tuulivoima-alan yrityksiä, kuten tuulivoimaloiden ohjaukseen keskittynyt oululainen Wind Controller, sekä Iissä toimiva tuulivoimaloiden huoltopalveluita laajalle alueelle tuottava JBE-Service Oy. Syksyllä 2022 Lujabetoni ilmoitti perustavansa Kärsämäelle tuulivoimatornien betonielementtejä valmistavan tehtaan. Oululaislähtöinen SkartaNYAB (entinen SkartaGroup) on tuulivoiman pohjatöiden infrarakentamisen alueella vahva toimija Pohjoismaissa. Yhtiö kehittää Vierivoima-konseptissaan kunnille ja yrityksille mahdollisuuksia uusiutuvan energian hyödyntämiseen teollisuusalueiden sisäverkoissa. Oulussa on myös vahvaa tuulivoiman hankekehityksen osaamista. Ylivieskalainen Mastcraft valmistaa tuulimittauksissa käytettäviä mastoja. Myös Pyhäjärven pumppuvesivoimala on merkittävä hanke tuulivoiman tasaamisen kannalta.

Kuten tuulivoiman aluetalous- ja työllisyysvaikutuksia käsittelevässä osiossa kuvataan, Pohjois-Pohjanmaa ei vielä ole pystynyt silloittamaan optimaalisesti omaa osaamistaan tuulivoimateollisuuden tarpeisiin. Esimerkiksi tuulivoimaloiden pystytys- ja huoltotöissä käytetään usein ulkomaista työvoimaa, koska osaaajia ei lähialueelta löydy. Pohjois-Pohjanmaalla olisi kuitenkin kaikki edellytykset nousta vahvaksi tuulivoimateknologian ja muun vihreän siirtymän osaamisen keskuksiksi.

<sup>24</sup> Savikko, H., Hokkanen, J., Alkula, V-P., J., Rautiainen, M., Koutonen, H. 2019. Tuulivoiman aluetalousvaikutukset.



Pohjois-Pohjanmaalla ja laajemmin Suomessa on käyty keskustelua tuulivoiman vaatiman sähkönsiirtokapasiteetin toteuttamisesta. Siirtohaastetta on käsitelty myös Pohjois-Pohjanmaan liiton Tuuli-hankeessa toteutetussa sähkönsiirtoselvityksessä.<sup>25</sup> Sähkönsiirron kapasiteetti ei nykyisellään pysty vastaamaan tuulivoimakapasiteetin kasvuun, ja lisäinvestointeja verkon kehittämiseen tarvitaankin nopeasti.

Hankkeessa tehdyissä kyselyissä tuulivoimakunnat ja yritykset ovat kertoneet useista kiinnostavista kehityshankkeista, kuten tuuli- ja aurinkovoiman yhdistävistä hybridipuistoista, teollisuusalueen kattavista itsenäisistä sähkönjakelun ja aurinkosähkön tuotannon verkostoista sekä vedyn tuotannosta ja tankkausasemista. Kuntien ja yritysten yhteistyö onkin jatkossa erityisen tärkeää uusien teknologioiden ja toteuttamismallien pilotoimiseksi ja tuotannon skaalautumiseksi.

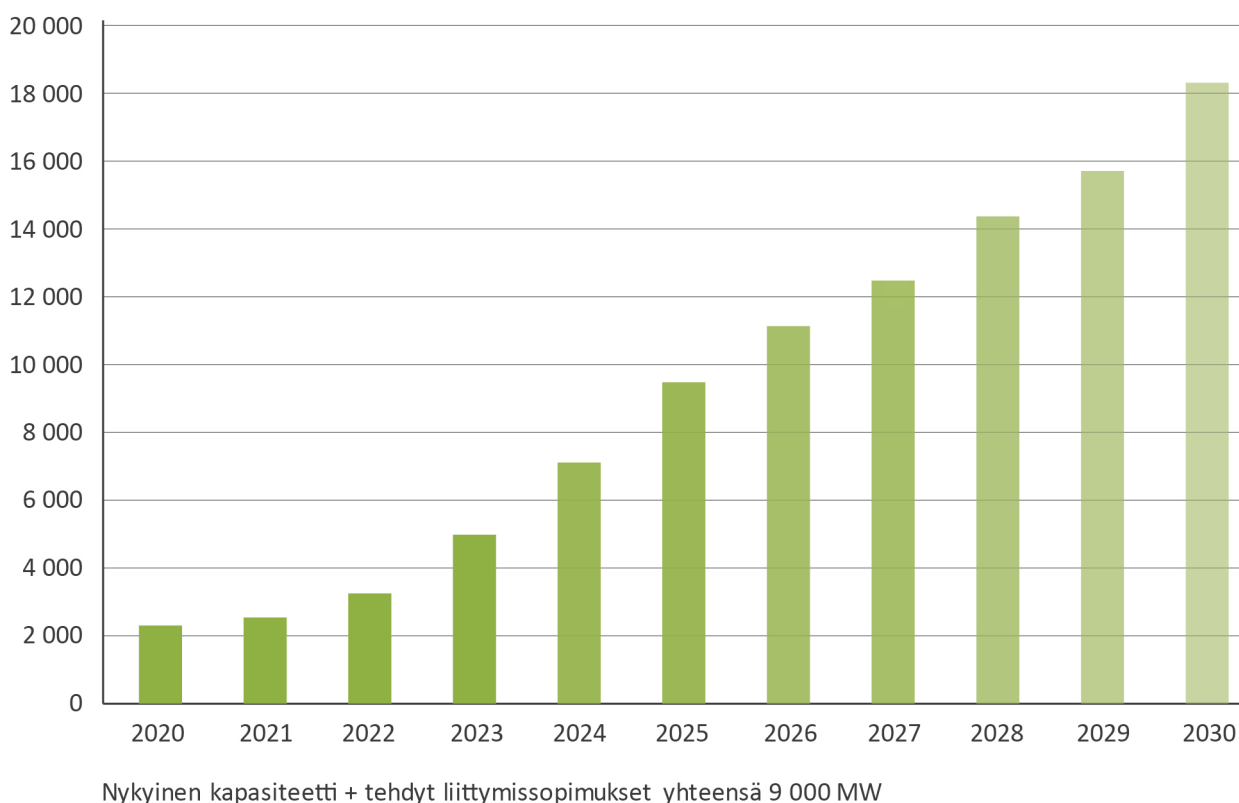
<sup>25</sup> Kestävä tuulivoimarakentaminen Pohjois-Pohjanmaalla TUULI-hanke. Sähkönsiirtoselvitys. 2021. Pohjois-Pohjanmaan liitto.

Tuulivoimayhtiöt olisivat myös erittäin kiinnostuneita mahdollisuudesta käyttää jatkossa hiilivapaasta teräksestä valmistettuja tornielementtejä. Hiilivapaan terästeollisuuden kehittyessä voitaisiinkin pohtia myös maa- ja merituulivoiman vaatimien rakenteiden TKI-toiminnan ja valmistuksen käynnistämistä Pohjois-Pohjanmaalla. Erityisesti Raahen seutukunnalla olisi potentiaalia myös merkittävän merituulivoimasataman, varikon ja teräsosien valmistuksen saralla.

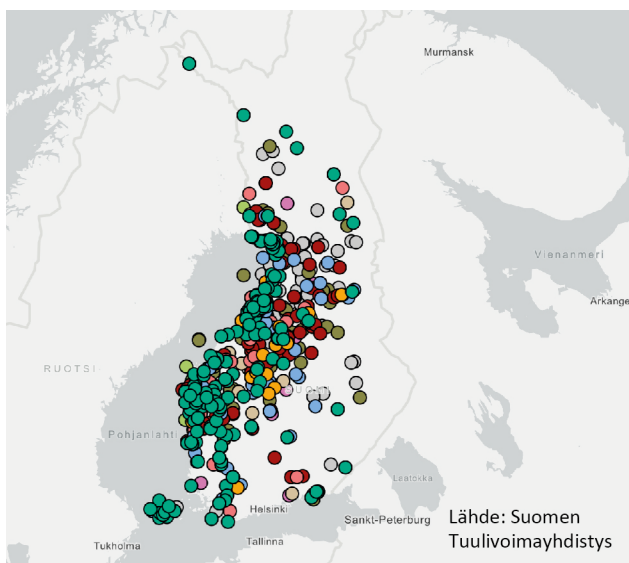
## Tuulivoimasektorin kehitysnäkymät vuoteen 2030 mennessä

Suurin osa käytettävissä olevista tuulivoimasektorin kehityksen skenaarioista on tehty ennen helmikuussa 2022 alkanutta Venäjän hyökkäystä Ukrainaan. Kuten monissa tämän raportin osioissa nousee esiin, EU:n Venäjän hyökkäyksen johdosta aloittamat massiiviset vastatoimet, erityisesti venäläisen fossiilienergiatuotannon päättymisen, vaikuttavat ratkaisevasti myös tuulienergian tuotannon kasvuennusteisiin. Koska muita vaihtoehtoisia nopeasti lisättäviä Venäjän energia-

**Kuvio 19. Fingridin arvio tuulivoimakapasiteetin kehityksestä 2020-luvulla**



## Kuvio 20. Tuulivoimalat ja julkiset hankkeet kartalla



tuontia korvaavia energialähteitä ei laajassa mittakaavassa ole käytettävissä, tullaan merkittävä osa Venäjältä aiemmin tuodusta energiasta korvaamaan tuuli- ja aurinkoenergialla. Akuutissa tehovajeessa on lisätty myös puun ja turpeen energiakäyttöä. Energiapuun saatavuus rajoittaa kuitenkin sen käytön pidempiaikaista lisäämistä, ja turpeella arvioidaan sen päästövaikutusten takia olevan jatkossa lähinnä huoltovarmuuspolttoaineen rooli. Suomen oloissa tuulienergia tuleekin olemaan keskeisin lisättävä energiamuoto aurinkoenergiassa liittyvien kausivaihtelujen ja energian varastointihaasteen takia.

Tuulivoimaa rakennetaan tällä hetkellä ennätysellistä tahtia. Fingridin arvion mukaan vuonna 2026 tuulivoiman nimelliskapasiteetti ja tuotantoteho nousee hyvällä tuulella yli 10 000 MW:n tasolle ja vuonna 2030 ylletään jo 18 000 MW:n tasolle.<sup>26</sup> Tuulivoiman osuus sähkönkulutuksesta tulee vastaavasti olemaan vuonna 2026 lähes 30 % ja vuonna 2030 yli 50 %.

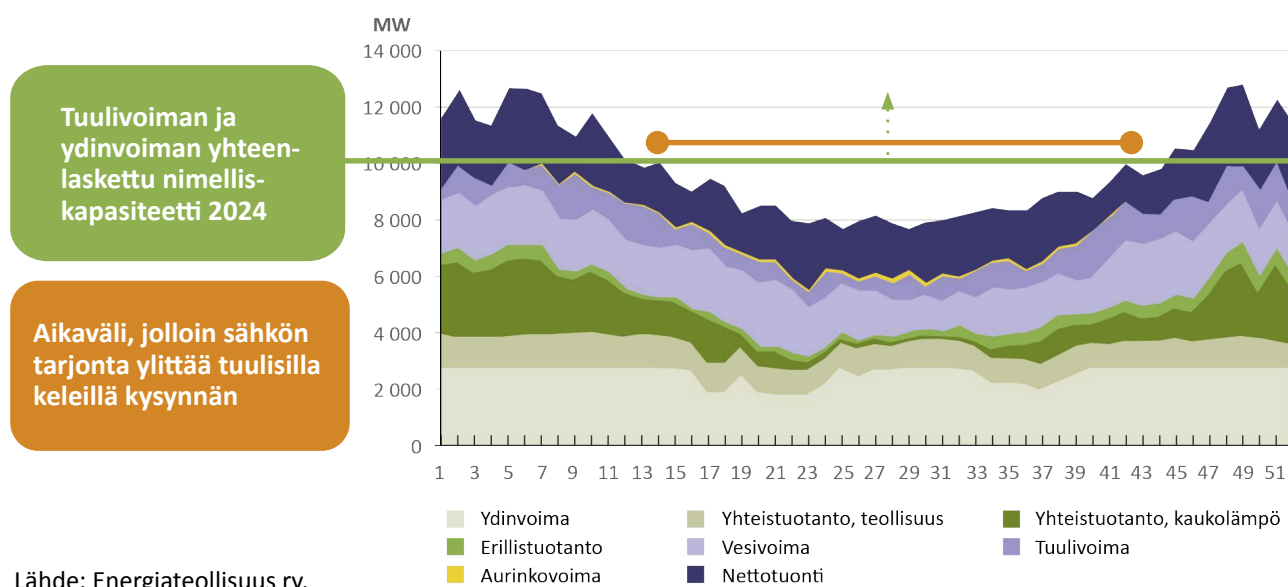
Sitran Suoran sähköistämisen skenaariossa<sup>27</sup> tuulivoimakapasiteettia rakennettaisiin vuoteen 2050 mennessä lähes 50 GW. Sähkön kulutus nousee skenaariossa tasolle 168 TWh/vuosi, eli noin kaksinkertaiseksi nykytasolta. Kulutuksesta 35 TWh suuntautuisi sähköpolttoaineiden (P2X) tuotantoon.

Tuulisilla keleillä säätymätöntä tuuli- ja ydinvoimaa on tarjolla vuodesta 2026 eteenpäin 14 000–24 000 MW. Vuonna 2021 sähkönkulutus kuitenkin ylitti vain hetkellisesti 12 000 MW ja oli suurimman osan vuodesta alle 10 000 MW. Vuonna 2026 sähkön tarjonta ylittää tuulisilla ajanjaksoilla vuoden 2021 kysynnän tason keskimäärin noin 4 000 MW:lla ja vuonna 2030 jo 14 000 MW:lla.

26 Ruusunen, J. 2022. Tuulivoima ja energijärjestelmämme. Puhurin energia- ja talusseminaari 2022. Fingrid Oyj.

27 Sähköistämisen rooli Suomen ilmastotavoitteissa. Sitra muistio 2021.

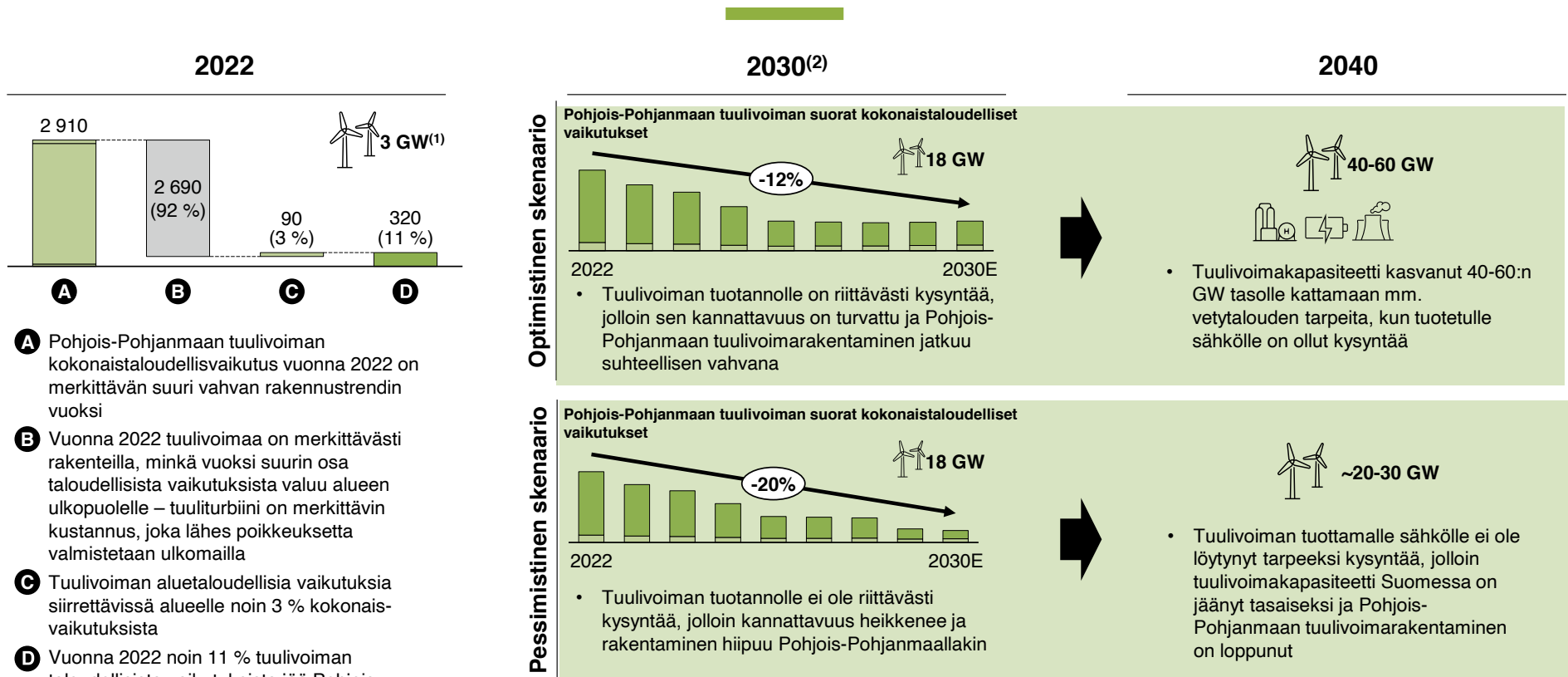
## Kuvio 21. Riittääkö tuulisähkölle kysyntää?



Lähde: Energiateollisuus ry.

Kuvio 22. Tuulivoiman investointinäköymä

# TUULIVOIMAN PITKÄN AIKAVÄLIN INVESTOINTI- NÄKYMÄ RIIPPUU TUOTANNON KYSYNNÄSTÄ



Pohjois-Pohjanmaan tuulivoimaosaamisen kehittäminen

Suomen kokonaistuulivoimakapasiteetti

(1) Tilanne vuonna 2021

(2) Molemmista skenaarioissa Suomen kokonaistuulivoimakapasiteetti 18 GW, optimistisessä skenaariossa rakentaminen jatkuu tasaisena, kun taas pessimistisessä skenaariossa tuulivoimarakentaminen hiipuu

Lähde: Motiva, Sitra, Tekniikka&Talous, Spring-analyysi

Mikäli tuulivoimakapasiteetin kasvu jatkuu voimakkaana, on olemassa selvä riski kannibalisaatiosta, jossa tuulisähköstä tuulisilla keleillä saatava hinta laskee alle kannattavuusrajan. Tuulivoimainvestointien notkahtaminen olisi epätoivottavaa niin vetytalouden, teollisuuden kilpailukyvyyn kuin päästövähennyksenkin kannalta. Nykyhetkeä tulevaisuuteen silloittaville jatkuvuudenhallinnan suunnitelmille onkin selkeä tarve.

Ylijäämäsähköä voidaan siirtää Ruotsiin ja Viroon. Ruotsin Norbottenissa runsaasti sähköä kuluttavat teolliset investoinnit voivat tuoda jo lähivuosina kysyntää Suomessa tuotetulle tuulisähkölle. Toisaalta Ruotsiin on myös valmistumassa huomattavasti tuulivoimaa, joten on mahdollista, ettei suomalaiselle tuulisähkölle ole sielläkään aina riittävää kysyntää. Lisäksi rajoitteita asettaa siirtokapasiteetti, jonka arvioidaan olevan vuonna 2030 noin 1 000 MW Viroon ja 3 600 MW Ruotsiin.

Suurin osa Ruotsiin syntyvästä tuulivoiman kysynnästä kytkeytyy vetytalouteen. Vedyn tuotantoon liittyviä EU:n säädöksiä ja sähkön vientimahdollisuuksiin liittyviä epävarmuuksia käsitellään tarkemmin vetytaloutta kuvaavassa osiossa.

Suomessa vetytalouden arvioidaan luovan merkittävää uutta kysyntää tuulisähkön tuotannolle vasta vuodesta 2030 eteenpäin. Tuulivoiman kannattavuuden näkökulmasta olisikin mietittävä, kuinka esimerkiksi teollisuusprosessien ja rakennusten lämmityksen sähköistäminen voisi tuottaa kysyntää tuulisilla tunneilla ja siten varmistaa tuulivoimainvestointien jatkumisen seuraavien 5–10 vuoden aikavälillä.

Tuulivoimainvestointien voi myös ajatella etenevän vaiheittain siten, että nyt toteutuu ensimmäinen markkinaehtoisesti kannattavien tuulivoimainvestointien aalto. Seuraava aallonharja voi koittaa, kun tuulivoima saavuttaa taloudellisen kannattavuuden myös toimitusvarmuuden osalta ja pystyy tarjoamaan varastointiratkaisujen kautta yhteiskunnalle tasaista

energiavirtaa. Tavoite voi toteutua myös sähkönkulutusta tuulisiin tunteihin kohdistavan teknologian ja kulutusikäytymisen yleistymisen myötä.

Tuotannon tasauksen ja kysynnän jouston ratkaisujen yleistymiseen kuluu väistämättä vielä vuosia ja siten nykyisen tuulivoimabuumin hetkellinen hidastuminen voisi tarjota myös positiivisen mahdollisuuden kehittää yhteiskuntaa kaikilta osin valmiimmaksi toimimaan kokonaan uudella energiaperustalla.

## Skenaariot aikavälille 2030–2040

Energiasektorin kehityksen suunnan hahmottamiseksi vuoden 2030 jälkeen on hankkeessa tuotettu kaksi varsin erilaisiin kehittämisen painopisteisiin pohjautavaa skenaariota. Kummassakin skenaariossa päästään hiilineutraaliuteen vuoteen 2035 mennessä. Skenaarioiden tarkoituksena on havainnollistaa, että ilmasto- ja ympäristötavoitteita voidaan ajaa varsin erilaisista lähtökohdista ja toisistaan poikkeavin toimenpitein.

### *Metsistä turvaa*

Ukrainan aktiivisen sotavaiheen päätyttyä ilmasto- ja ympäristöuhka palaavat päätöksenteon keskiöön. Teknologisiin päästövähennyskeinoihin suhtaudutaan epäileväisesti ja luonnonjärjestelmien hiilensidontakyky korostuu. EU:n hiilinielutavoitteita nostetaan vuonna 2027 tasolle 700 Mt.

Päästökauppaa laajennetaan vuonna 2030 koskemaan kaikkia sektoreita, myös biopohjaista hiiltä ja metsäbiomassojen käyttöä. Niin sanotut hiilivuodot EU:n ulkopuolelle tukitaan tullimaksuilla. Biopohjaiselle tuotannolle sovelletaan samankaltaisia tiukkevia sääntöjä myös globaalisti. Biopohjaisen hiilen hinta päästökaupassa on noin 200 €/tonni, mikä tarkoittaa, että metsänomistajalle maksetaan noin 130 euroa puukuutiolta hiilensidonnasta.

Suomi toteuttaa säätelyn ja hiilinielumarkkinan avulla tiukentuneet EU:n hiilinielutavoitteet kasvattamalla maankäyttösektorin nettonielut 35 Mt:n tasolle.

Monimuotoisuustavoitteet saavutetaan suojelemalla tiukasti 30 % metsäalasta, harjoittamalla jatkuvapeitteistä metsänhoitoa 30 %:lla alasta ja toteuttamalla tehostettua nopeakiertoista metsänviljelyä 40 %:lla alasta. Kun päästöt ilman maankäyttösektoria olivat vuonna 2021 noin 48 Mt, päästään korkean 35 Mt:n nielutason ansiosta hiilineutraaliuteen maltillisella noin 30 %:n päästövähennyksillä jo vuonna 2032.

Päästövähennyksistä 70 % toteutetaan sähköistämällä lämpöpumppujen avulla merkittävä osa rakennusten lämmityksestä ja noin puolet henkilöautoliikenteestä. Loput 30 % saadaan kansalaisten kuluttotottumusten muutoksilla ja kohdistamalla kulutusta tuulisiin tunteihin. Sähkönkulutus nousee noin 25 % vuoden 2021 tasoon nähden, mutta samalla kokonaisenergiankulutus laskee energiatehokkuuden ja sähköistymisen myötä noin 25 %, eikä fossiilisia polttoaineita juuri käytetä. Bioenergian käyttö vähenee puoleen nykytasolta. Ydinvoimaa ei enää rakenneta lisää Olkiluoto 3:n jälkeen.

Lisääntyvä sähkön tarve katetaan pääosin tuulivoimalla, jota rakennetaan yhteensä 15 000 MW. Lämpöpumput, tuulivoima ja muut päästöjä vähentävät investoinnit eivät tuota lisää kustannuksia suhteessa vuoden 2021 aikaisen infrastruktuurin ylläpidon ja tuontienergian käytön vaatimiin kustannuksiin.

Teollisuudenaloista suurimman muutoksen kokee metsäteollisuus, jossa raaka-aineen hinta ja toimintalogiikka muuttuvat päästökaupan myötä. Maankäyttösektorin nielutason nostosta 15 Mt saavutetaan muuttamalla maanviljelyn ja metsänhoidon käytänteitä, istuttamalla uutta puustoa, tehostamalla metsien kasvua ja poistamalla turvemaiden päästöt.

Vaikka puun hinta nousee, on merkittävä osa metsäteollisuustuotteiden globaalista kysynnästä suhteellisen joustamatonta, ja globaalin säätelyn ja hiilivuotojen tukkimisen ansiosta suomalaisen metsäteollisuuden toimintaedellytykset säilyvät hyvinä. Metsäteollisuuden puun käyttö on vuosittain noin 70 miljoonaa

kuutiometriä, joka vastaa edellisten vuosikymmenten keskiarvoa. Tuotantoprosesseja sekä raaka-aineen ja energiankäyttöä tehostamalla metsäsektorin liikevaihto on kasvanut noin 20 % vuoden 2021 tasolta ja kannattavuus pysynyt hyvänä. Uudet korkean lisäarvon tuotteet sekä aktiivinen toiminta energiemarkkinoilla (esimerkiksi tuulivoiman tasaamisessa) ja kemianteollisuudessa tuovat liikevaihtoa, vaikka puuraaka-aineen käyttö ei kasva.

Suomessa metsien hiilineutraaliustavoitteet saavutetaan ilman radikaaleja muutoksia, riskejä tai kustannuksia. Energian toimitus- ja huoltovarmuus säilyvät korkealla tasolla, sillä myös vanhaa käytöstä poistuvaa kapasiteettia säilytetään käyttövalmiudessa pahan päivän varalle.

Isoja muutoksia muilla teollisuudenaloilla kuin metsäsektorilla ei tarvita. Energiasektorin investoinnit pysyvät kohtuullisina. Toisaalta Suomi ei myöskään ole ilmastonmuutoksen torjunnassa kokoaan suurempi toimija. Edelläkävijän roolia otetaan lähinnä maanviljelyn ja metsäsektorin toimintojen kehittämisessä. EU:n ja globaalien päästövähennystavoitteiden keskeisimmät ratkaisut ja uuden vähähiilisen energiatalouden merkittävimmät innovaatiot syntyvät Suomen rajojen ulkopuolella.

### **Vedystä vauhtia**

Venäjän hyökkäyssodan vastatoimet johtavat EU-tasolla energiakriisiin, joka halutaan ratkaista ilmaston ja ympäristön kannalta kestäväällä tavalla. Samalla halutaan myös huolehtia talouskasvun jatkumisesta ja erityisesti suomalaisen raskaan teollisuuden kilpailukykyyn säilymisestä. Aiemmin Venäjältä tuotua maa-kaasua ja öljyä sekä kivihiiltä pyritään korvaamaan teollisuudessa, lämmityksessä ja liikenteessä ensisijaisesti vihreään vetyyn perustuvilla energiatuotteilla. Vedyn kysyntä ja tuotanto kasvavat lähes räjähdysmäisesti vuodesta 2026 alkaen.

Sähkömarkkinan volatiliiteetin annetaan 2020-luvulla kasvaa huomattavasti, jotta tasaaville teknologioille

syntyisi kysyntää. Verohelpoituksilla ja kannusteilla kuntien kaukolämpöjärjestelmiin ja myös kotitalouksiin pystytään lyhyessä ajassa rakentamaan huomattava joustokyky, joka takaa myös kasvavalle tuulivoimakapasiteetille riittävän kysynnän.

Suomeen koottu laajapohjainen vetyneuvosto linjaa, että vedyn laajamittaiseen vientiin tähtäävä strategia voi Suomessa toteutua vain riittävän alhaisilla elektrolyysereiden yksikkökustannuksilla. Suomalaisten yritysten ja tutkimuslaitosten konsortio panostaakin vahvasti alkali-elektrolyysin tuotekehitykseen yhteistyössä johtavan kansainvälisen valmistajan kanssa. Lisäksi vihreän sähkön saatavuutta parannetaan investoimalla vahvasti myös aurinkosähkön tuotantoon. Eri energiamuotojen yhteensovittamiseen kehitetään maailman johtavia älyratkaisuja, joilla vedyn tuotantokustannuksia pystytään laskemaan, vaikka sähkön hinta heilahtelee rajusti tuuli- ja aurinkovoiman tuotannon mukaan.

Vuodesta 2030 alkaen Suomi ottaa vahvan roolin EU-alueen vedyn tarpeen kattamisessa. Vetyä kuljetetaan putkella Ruotsin ja Tanskan kautta Keski-Eurooppaan. Suomessa vetyä käytetään laajasti kemian-, teräs- ja metsäteollisuudessa. Vedyllä toimivilla moottorivoimaloilla katetaan myös sähkön kulutuspiikkejä vähätuulisina jaksoina. Vetyä käytetään myös laajassa mittakaavassa sähköpoltoaineiden valmistamiseen yhdistämällä sitä erityisesti biopohjaisessa tuotannossa syntyvään hiilidioksidiin.

Logistisesti vetytalouden kannalta hyvin sijoittuneiden tuulipuistojen ja vetyä käyttävien tuotantolaitosten yhteydessä toimii eri kokoisia alkali-elektrolyysilaitoksia, joiden toiminta seuraa tuulivoiman tuotantoa. Raahessa on iso vedyn tuotannon keskittymä,

joka hyödyntää tuulivoiman lisäksi merkittävän osan Hanhikiveen rakennetun ydinvoimalan sähköntuotannosta.

Älykkäällä yhteensovittamisella pystytään takaamaan eri energiantuotannon ja -varastoinnin muotojen kannattavuus, vaikka tuotanto ylittää Suomen kotoperäisen kulutuksen. Tuulivoiman tuotanto ja vetytalouden rakentuminen etenevät hiukan eri tahtiin, mutta investoinnit pystytään pitämään vauhdissa kohdistamalla sähkönkäyttöä tuulisille tunneille jo ennen vetytalouden skaalautumista. Laajamittainen vetytalous tuottaa huomattavia hukkalämpöjä, joilla voidaan lämmittää kaikki Suomen suurimmat kaupungit.

Älykkäitä digitaalisia työkaluja hyödynnetään myös kaavoituksessa ja muissa viranomaispalveluissa. Suomea pidetäänkin yleisesti maailman parhaana tuulivoiman ja vetytalouden investointikohteena, vaikka sähkö on hiukan kalliimpaa esimerkiksi Ruotsin Norrbotteniin verrattuna. Tärkeä kilpailukykytekijä on myös luotettavasti toimiva sähkön- ja vedynsiirron infrastruktuuri.

Suomessa on vuonna 2035 jo 30 000 MW:n tuulivoimakapasiteetti ja sen ennakoitaan edelleen kaksinkertaistuvan vuoteen 2050 mennessä. Tuulivoimalle on hyvin vaikeaa löytää enää uusia sijoituspaikkoja.

Kuitenkin vuonna 2039 Oulun yliopistossa kehitetty keinotekoiseen yhteyttämiseen perustuva vedyn tuotanto muodostuu alkali-elektrolyysiin pohjaavaa vedyn tuotantoa kannattavammaksi. Sähköön ja elektrolyysiin pohjaava vedyn tuotanto väistyy nopeasti uuden teknologian tieltä. Uutta tuulivoimakapasiteettia ei enää tarvitakaan, ja vanhenevia voimaloita voidaan purkaa ja tuulivoima-alueita ennallistaa.

# Yhteiskunnan sopeutuminen tuulivoiman tuotantoon

Tuulivoima on jo noussut nimelliskapasiteetiltaan selvästi suurimmaksi sähköntuotannon muodoksi. Tuulivoimalle on kuitenkin ominaista merkittävä sähköntuotannon vaihtelu tuuliolojen mukaan. Myös ilman kosteus ja jään kertyminen rakenteisiin vaikuttavat merkittävästi tuulivoiman tuottavuuteen. Vuositasolla tuulivoima tuottaa parhaiten talvella, jolloin myös sähkönkäyttö on suurinta. Alla olevassa kuvaajassa näkyy tuulivoiman tuotannon vaihtelu aikavälillä 1.10.–17.12.2022.<sup>28</sup>

Kuvaajan ylin tasaisesti nouseva viiva kuvaa tuulivoiman asennetun kapasiteetin/nimellistehon kehitystä. Turkoosi käyrä kuvaa tuulivoimaennustetta seuraavalle päivälle, keltainen jatkuvasti päivittyvää tuulivoimaennustetta ja musta tuulivoiman toteutunutta tuotantoa. Kuvaajasta voidaan huomata, että tuulivoiman toteutunut tuotanto ei ole kertaakaan noussut nimellistehon tasolle. Myös tuuliolojen ennustaminen on ollut toisinaan haastavaa.

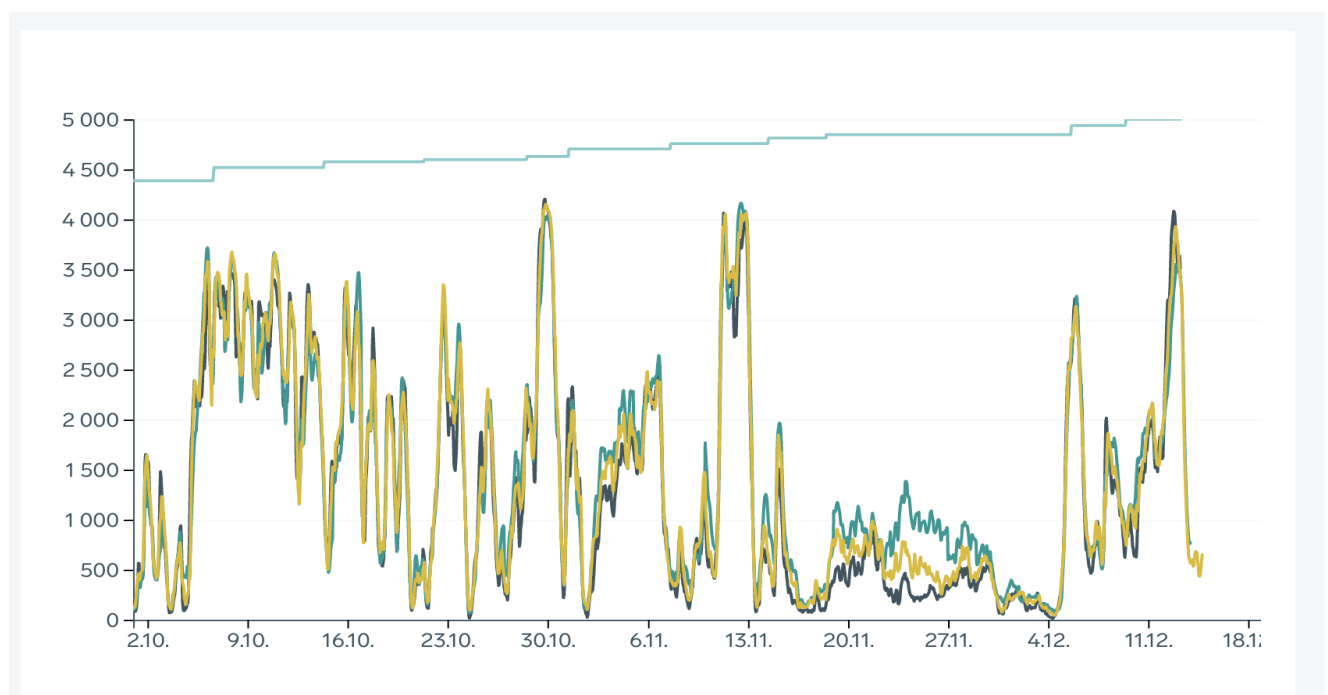
28 Tuulivoiman tuotanto. Fingrid.

Noin 4 700 MW:n kapasiteetilla on syksyn 2022 aikana saavutettu maksimissaan noin 4 000 MW:n tuotantoteho keskimääräisen tuotannon ollessa 1 500 MW:n luokkaa. Aikavälillä 17.11.–4.12.2022 (17 vrk) tuulivoiman tuotanto oli jatkuvasti alle 800 MW osin tuulioloista ja osin siipien jäätymisestä johtuen. Tuulivoiman tuotanto laski tarkastelujaksolla alle 220 MW:n tasolle (alle 5 % nimelliskapasiteetista) yli kymmenen vuorokauden aikana.

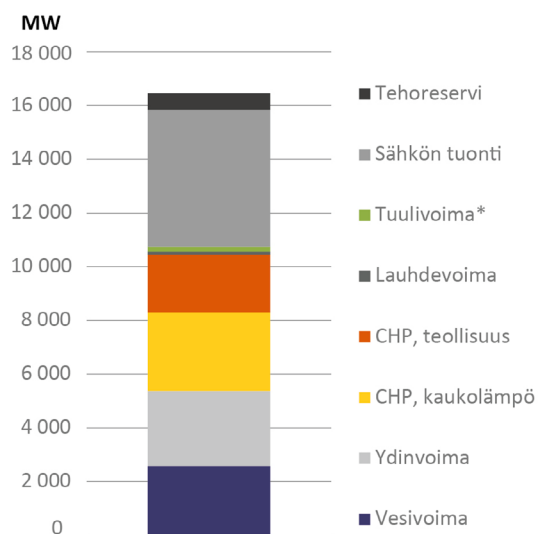
Mikäli tuulivoimateknologiassa ja tuotannon maantieteellisessä sijainnissa ei tapahdu merkittäviä muutoksia vuoteen 2030 mennessä, tuottaisi silloin mahdollisesti toteutunut 18 000 MW:n kapasiteetti (Fingridin arvio) syksyä 2022 vastaavissa sääolosuhteissa parhaimmillaan 14 400 MW:n tehon, noin 6 000 MW:n jatkuvan tehon ja alle 800 MW:n tehon noin 10 % ajasta.

Tuulivoiman tuotannon vaihtelun voikin todeta olevan suurempaa kuin tähän asti on ennakoitu. Virallisissa laskelmissa 6 % tuulivoiman nimelliskapasiteetista katsotaan olevan kaikkina ajankohtina varmuudella käytettävissä.

**Kuvio 23. Tuulivoiman tuotanto Suomessa 1.10.–17.12.2022 (Fingrid)**



**Kuvio 24. Arvioitu kulutushuipun aikana käytettävissä oleva tuotanto- ja tuontikapasiteetti talvikaudella 2021–2022 tuotantomuodoittain**



\* Tuulivoima 6 % nimellistehosta

Lähde: Energiavirasto

Yllä olevassa kuvassa nähdään sähköntuotanto ja -tuontikapasiteetti talvikaudella 2021–2022.<sup>29</sup> Sähköntuotantoon saadaan merkittävä lisäys, kun uusi Olkiluoto 3 -ydinvoimala aloittaa tuotannon (nykyinen arvio aloitusajankohdasta kevät 2023). Toisaalta lähivuosina on poistumassa kapasiteettia CHP-tuotannosta noin 150 MW. Lisäksi keväällä 2022 poistui noin 1 200 MW tuontikapasiteettia sähkön tuonnin päättyessä Venäjältä. Myös sähkön tuontiin Ruotsista liittyy merkittäviä epävarmuuksia, joita on kuvattu tarkemmin sähkömarkkinoita käsittelevässä osiossa.

Suomi pyrkii saavuttamaan päästövähennystavoitteensa sekä korvaamaan noin 100 TWh Venäjältä aiemmin tuotuja energiajakeita pääosin teollisuuden, lämmitysjärjestelmien ja liikenteen sähköistämällä. Sähkönkulutuksen arvioidaan nousevan noin 130–150 TWh:n tasolle vuoteen 2035 mennessä. Kun Suomen oma nykyinen vuotuinen sähköntuotanto on 70 TWh ja uuden rakennettavan tuulivoiman kapasiteetti-kerroin on maksimissaan noin 0,4 (nykyinen keskimäärin 0,33), tarvittaisiin vuositason kulutuksen kattamiseen noin 24 000 MW:n tuulivoimateho.

<sup>29</sup> Sähkön toimitusvarmuus vuonna 2021. 2021. Energiavirasto.

Mikäli uuden kasvavan sähkönkäytön joustokyky olisi nykyistä luokkaa (alle 10 % huipputehon tarpeesta), tarvittaisiin vuonna 2035 jatkuvasti käytettävissä olevaa tuotanto- tai tuontikapasiteettia noin 20 500 MW. Mikäli Suomi pyrkisi teho-omavaraisuuteen, olisi Suomen rakennettava tuulivoiman rinnalle vähintään 9 500 MW jatkuvasti käytettävissä olevaa kapasiteettia.

Suomessa ei kuitenkaan ole tällä hetkellä virallisia suunnitelmia jatkuvasti käytettävissä olevan sähkön-tuotannon kapasiteetin lisäämiseksi vaan sähkön tarjonnan vaihtelu tasapainotetaan markkinahinnon avulla. Talven 2022–2023 aikana onkin nähty sähkön pörssihinnan nousu useina ajankohtina jopa kymmeniä kertoja viime vuosien keskiarvoa korkeammaksi. Myös sähkön keskihinta vuosina 2021 ja 2022 on ollut 3–4 kertaa aiempia vuosia korkeammalla.

Aurinkosähkön tuotannolla pystytään tasaamaan tuulivoiman tuotantoa aurinkoisina vähätuulisina jaksoina. Aurinkovoimaa voidaan hyvin sijoittaa tuulipuistojen yhteyteen. Aurinkosähkön tuotto on Suomessa kuitenkin heikkoa talvikaudella, jolloin energiankulutus on korkeimmillaan. Pyhäsalmen entiselle kaivokselle on suunniteltu 75 MW/530 MWh pumppuvesivoimalaa. Hanke on tärkeä pilotti, ja sillä voidaan tuottaa kattaa noin 1–2 % vaadittavasta tuntitason joustoista.

Hintavaihtelun toivotaan tuottavan kannustimia sähkön säästämiseksi ja kulutuksen ohjaamiseksi tuulille/aurinkoisille tunneille. Vaikka kulutusjoustojen tarpeesta on viestitty jo pitkään ja teknisiä ratkaisujakin on ollut markkinoilla lähes kymmenen vuoden ajan, on keskeisten sähkönkäyttökohteiden joustokapasiteetti edelleen hyvin rajallinen.

Mikäli uutta jatkuvasti käytettävissä olevaa tuotantokapasiteettia ei jatkossakaan sähköverkkoon lisätä, on käytännössä kaikkien uusien sähkönkäyttöä lisäävien investointien, kuten lämmitysjärjestelmien, sähköautojen ja teollisuustuotannon, pystyttävä pudottamaan sähkönkäyttöään noin puoleen tuulen



heiketessä. Noin 10 %:na vuoden tunneista kulutuksen olisi vähennyttävä noin 95 % jopa 1–2 vuorokauden ajaksi.

Tarvittavan joustokapasiteetin olisi rakennuttava lähivuosien aikana, jotta sähkön tuontimahdollisuuksien heikkenemisen mahdollisesti aiheuttamalta tehopulalta ja markkinashokilta vältyttäisiin. Ilman joustojen nopeaa lisäämistä sähkön hinta tulee säilymään korkeana tuulisten tuntien ulkopuolella korkean kysynnän aikana myös Olkiluoto 3:n käyttöönoton jälkeen.

Seuraavissa kappaleissa kuvataan haastetta ja sen mahdollisia ratkaisuja eniten energiaa käyttävien sektoreiden näkökulmasta.

## Lämmöntuotanto

Energian loppukäyttö Suomessa vuonna 2021 oli 305 TWh, josta rakennusten lämmityksen osuus oli noin 27 % (82 TWh). Lämmönkäytöstä kaukolämmön osuus oli 45 %, suorasähkön 19 %, lämpöpumppujen 16 % (lämpöpumppujen sähkönkäytön osuus 6 %), puuenergian 12 %, öljylämmityksen 7 % ja muiden lämmitysmuotojen 1 %.

Kaukolämmön osuus rakennusten lämmityksestä on kasvussa, vaikkakin kiinteistökohtaiset lämpöpumppuratkaisut pystyvät osassa kohteista kilpailemaan hinnalla kaukolämmön kanssa.

Kaukolämmöstä tuotettiin erilaisilla polttoaineilla 86,2 %, josta biomassoilla 52,3 %, hiilellä 14,8 %, maakaasulla 14,2 %, turpeella 11,7 %, öljyllä 2,5 % ja muilla energialähteillä 4,5 %.<sup>30</sup>

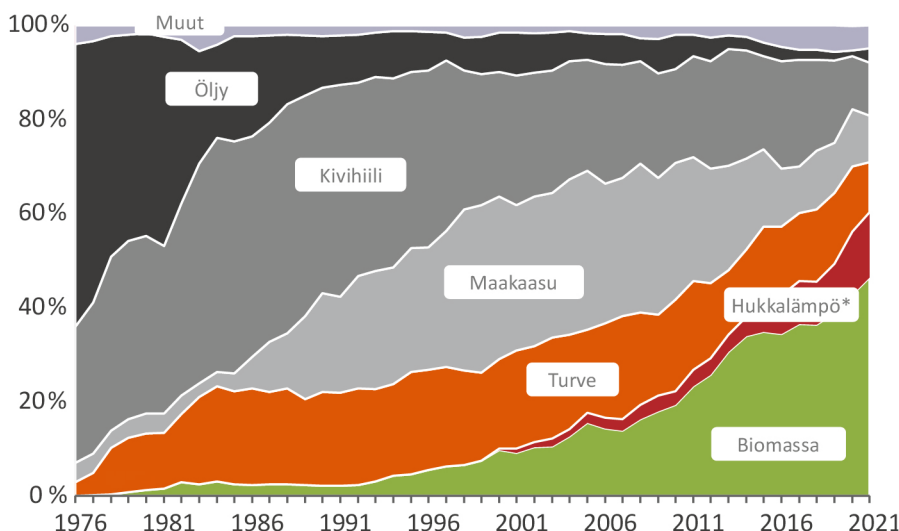
Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, fossiilisia energialähteitä on kaukolämmön tuotannossa korvattu pääosin puuenergialla (jätejakeiden osuus 6,3 %). Kivihiilen käyttö energiantuotannossa on kielletty lailla vuodesta 2029 alkaen ja myös turpeen energiakäyttöä pyritään lähivuosina luopumaan. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käyttöä kaavullaan korvattavan pääosin puubiomassojen käyttöä lisäämällä.

Kotimaisen puun energiakäyttöä ei kuitenkaan voida enää merkittävästi lisätä ilman, että metsäteollisuuden raaka-aineen saatavuus heikkenee. Myös venäläisen energiapuun tuonnin päätyminen heikentää puuenergian saatavuutta.<sup>31</sup> Lisäksi puun käyttöä rajoittavat EU:n hiilinielu- ja monimuotoisuustavoitteet. EU-sääntely edellyttäne jatkossa puun energiakäytön kohdistamista entistä tiukemmin muuhun käyttöön kelpaamattomiin metsäteollisuuden sivuvirtoihin ja jätteisiin. Näiden jakeiden volyymit riippuvat suuresti EU-kirjauksista, teknologisesta kehityksestä

30 Kaukolämpö 2021, Kaukojäähdytysenergian myynti ja asiakasmäärä. 2021. Energiategollisuus. (Kuvio 25.)

31 Majava, A.J., Vaden, T., Toivanen, T.T., Järvensivu, P., Lähde, V., Eronen, J.T. 2022. Sectoral low-carbon roadmaps and the role of forest biomass in Finland's carbon neutrality 2035 target.

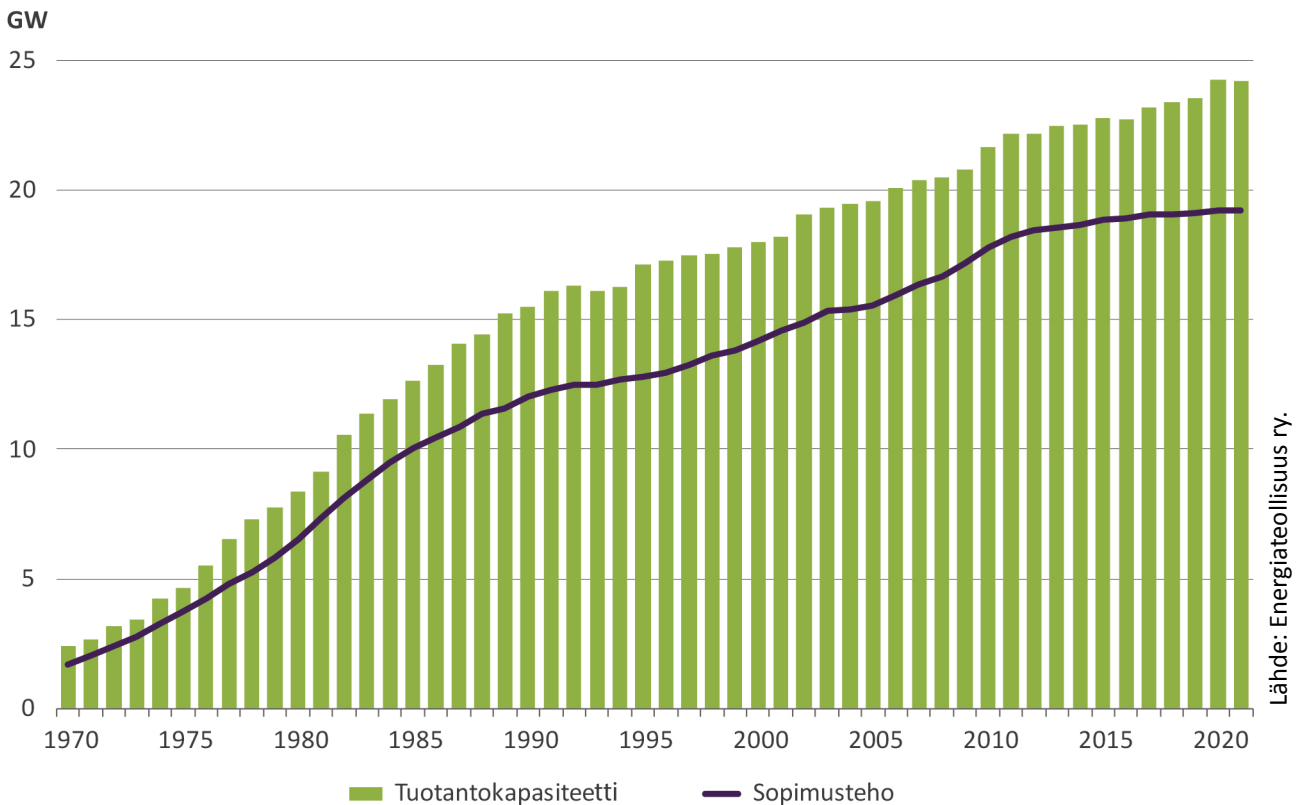
### Kuvio 25. Kaukolämmön hankinnan energialähteet



- Biomassa ja hukkalämmöt ovat korvanneet fossiilisia polttoaineita kaukolämmön tuotannossa.
- Biomassan käyttö on kaksinkertaistunut 2010-luvulla.
- Hukkalämpöjen määrä on yli kolminkertaistunut 2010-luvulla. Hukkalämpöjä hyödyntämällä vältetään polttoaineiden käyttöä.

\*sisältää lämpöpumput ja hukkalämmöt

**Kuvio 26. Kaukolämmön tuotantokapasiteetti ja asiakkaiden sopimusteho**



ja metsäteollisuuden suhdanteista. Nykyisellään metsäteollisuuden tärkeimpien energiapitoisten sivuvirtojen, mustalipeän ja purun, käyttö korkeamman lisäarvon tuotteisiin on teknologisesti mahdollista, jos tuotteille syntyy kysyntää.

Mikäli puun käyttöä ei pystyttäisi nykytasolta merkittävästi lisäämään, on todennäköistä, että hukkalämpöjen keruun ja lämpöpumppujen sekä suoran sähkölämmityksen osuus kaukolämpöjärjestelmissä kasvaa noin 50 %:n tasolle. Hukkalämpöjen teknistaloudelliseksi hyödyntämispotentiaaliksi on arvioitu nykyisen kaltaisissa teollisuuden ja lämmöntuotannon prosesseissa noin 35 TWh. Sähköistämisen ja rakennusteknisten ratkaisujen tuottama energiätehokkuuden kasvu voi kuitenkin oleellisesti vähentää hukkalämpöjen syntymistä niin teollisuudessa kuin lämmityssektorillakin.

Kiinteistökohtaisissa lämmitysjärjestelmissä öljyn osuus tulee edelleenkin laskemaan ja se korvataan pääosin lämpöpumppuratkaisuilla. Myös suora-

sähkölämmitystä korvataan soveltuviissa kohteissa lämpöpumpuilla. Puulämmityksen osuuden voi arvioida pysyvän kutakuinkin ennallaan. Kiinteistökohtaisissa lämmitysjärjestelmissä sähköön perustuvien ratkaisujen osuuden voi jatkossa arvioida olevan vähintään 60 %.

Voidaan arvioida, että kaikesta rakennusten lämmityksestä katetaan todennäköisesti jatkossa noin puolet sähköön pohjaavilla ratkaisuilla, joista noin 70 % olisi lämpöpumppuihin ja hukkalämpöjen talteenottoon liittyviä ratkaisuja ja loput suorasähköä. Eri lämmöntuotantomuotojen osuudet riippuvat kuitenkin vahvasti sähkömarkkinoista ja teknologisesta kehityksestä. Mikäli sähkön hintaheilahtelut ja vuositason hinta ovat jatkossakin nykyisellä tasolla, eikä käytössä ole merkittävää joustokapasiteettia, ei sähköön pohjaavien ratkaisujen kasvu välttämättä jatku nykyisellä tasolla.

Lämpöpumppujen laajempi käyttö laskee lämpösektorin kokonaisenergiankulutusta, koska merkittävä

osa lämmöntarpeesta katetaan ympäristöstä (maa, vesi, ilma) kerättävällä lämmöllä tai hukkalämmöllä. Toisaalta lämmityskäyttöön tarvittavan sähkötehon lisääntyminen nostaa myös kulutushuippujen aikaista sähkötehon määrää.

Viereisellä sivulla oleva kuvio näyttää kaukolämmön tuotantokapasiteetin eli maksimitехon.<sup>32</sup> Tämän lisäksi erillislämmityksellä varustetuissa rakennuksissa (osuus noin 55 %) on oltava kutakuinkin saman verran kapasiteettia. Tämä tarkoittaisi, että rakennusten lämmityksen yhteenlaskettu lämpöteho olisi noin 50 GW. Koska lämmitys on Suomessa yleisesti ylimitoitettu riittämään kaikissa kuviteltavissa olevissa tilanteissa, ovat tähän asti toteutuneet kulutushuiput jääneet reilusti maksimikapasiteetin alapuolelle.

Tilanteessa, jossa puolet rakennusten lämmityksestä perustuisi sähköä käyttäviin ratkaisuihin, olisi pelkästään rakennusten lämmityshuipun sähkötehotarve noin 20 GW, eli 20 000 MW. Jos 60 % sähköä käyttävistä lämmitysratkaisuista perustuisi kovalla pakkasellakin lämpöä tuottaviin lämpöpumpputyyppeihin ja pumput tuottaisivat yhdellä yksiköllä sähköä kolme yksikköä lämpöä, olisi lämmitykseen tarvittava sähköteho Suomessa yhteensä noin 10 GW.

Sähköä tuottavia CHP-laitoksia (combined heat and power) tullaan Suomessa sulkemaan lähivuosina, ja toisaalta ydinvoima- ja tuulivoimakapasiteettia tulee lisää. Jatkovasti käytettävissä oleva sähkökapasiteetti näyttää Suomessa jäävän kuitenkin lähivuosina 13 GW:n tasolle. Onkin hyvä huomioda, että ilman merkittäviä joustoja pelkästään rakennusten lämmityksen huippukulutuksen kattamiseen vaaditaan jopa 80 % jatkovasti käytettävissä olevasta sähkötehosta.

Tehovajetta voitaisiin helpottaa jatkamalla joidenkin CHP-laitosten käyttöä ja huolehtimalla, että huippukulutuksen aikaan olisi käytettävissä riittävästi polttamiseen perustuvaa varakapasiteettia. Kuitenkin

esimerkiksi Helen on ilmoittanut sulkevansa Hanaaaren ja Salmisaaren pääosin kivihiihtä käyttävät CHP-voimalat (joiden sähkökapasiteetti on noin 400 MW ja lämpökapasiteetti 720 MW) ja korvaavansa ne Vuosaareen rakennettavalla pelkästään lämpöä tuottavalla 260 MW:n tehoisella biovoimalalla. Pelkästään Helsingistä näyttäisi siis poistuvan 400 MW sähkötehoa ja noin 450 MW lämpötehoa.

Edullisen tuulisähkön tuotannon kasvu ja päästöoikeuksien hinnan nopea nousu on tehnyt fossiilisesta CHP-tuotannosta kannattamatonta ja on osittain vaikuttanut myös muun kaukolämmöntuotannon kannattavuuteen lisäämällä kiinnostusta kiinteistökohtaisiin lämpöpumppuihin. Joissakin kaukolämpöverkoissa on nähty huomattavaakin asiakaskatoa. Kiinteistökohtaisten järjestelmien toteutukseen ja käyttötapaan liittyvät osiooptimoinnit voivat kuitenkin heikentää lämmöntuotannon kokonaistehokkuutta.

Lämmön kulutushuiput kohdistuvat lähes poikkeuksetta vähätuulisiin pakkasjaksoihin. Tämä tarkoittaa, että lämmityksen on näinä ajanjaksoina nojattava muihin energialähteisiin tai lämpövarastoihin. Kiinteistökohtaisissa järjestelmissä sähkön ja lämmön varastointi noin yhden vuorokauden tarpeisiin tapahtuu vielä varsin kivuttomasti sähkön hintaa seuraavan automaation avulla. Vesivaraaja ja rakennusmassa voidaan ylilämmittää edullisemmilla tunneilla, jolloin lämmitystä ei tarvita kalleilla tunneilla. Vuonna 2022 sähkön hinta on kuitenkin ollut jatkovasti niin korkea, että kulutusta on ollut vaikea kohdistaa. Tämä puolestaan on vaikuttanut pörssisähkösopimusten houkuttelevuuteen. Kiinteistökohtaisissa järjestelmissä useiden päivien tarpeen kattavien varastojen toteuttaminen on kallista ja usein jopa mahdotonta tilojen rajallisuuden takia.

Kaukolämpöjärjestelmissä huomattavat volyymit ja tuotantorakenteet mahdollistavat isojen, jopa useiden viikkojen tai kausitason lämmöntarpeet kattavien varastojen toteuttamisen. Optimaalisissa olosuhteissa ja optimaalisilla käyttötaivoilla kaukolämmön varastoinnin kustannukset ovat vain 21 €/MWh

32 Kaukolämpö 2021, Kaukojäähdytysenergian myynti ja asiakasmäärä. 2021. Energiategollisuus.

LCOH (levelized cost of heat), mikä tekee siitä kustannustehokkaimman energian varastoinnin muodon.<sup>33</sup> Kaukolämpösektorilla onkin jatkossa tärkeä rooli energiankulutuksen ja tuulivoiman tuotannon yhteensovittamisessa.

Uutena lupaavana energian varastoinnin teknologiana voidaan mainita hiekka-akut, joihin sähkövastuksilla ladattua satojen asteiden lämpötilaa voidaan ylläpitää useita vuorokausia ja hyödyntää teollisuuden prosessihöyryjen tuotantoon, tai esimerkiksi vesivarastoista purettavan kaukolämmön ”priimaamiseen” riittävän korkeaan jakelulämpötilaan.

Vuoden 2030 jälkeen mahdollisesti isoon mittakaavaan skaalautuva vetytalous tuottaa runsaasti hukkalämpöjä, joita voidaan hyödyntää myös kaukolämmön tuotannossa. Vetytalous vaatii merkittäviä tuotantoalueita ja sopisi siten isojen lämpövoimaloiden yhteyteen. Lämmöntuotantoa ei kuitenkaan voida jatkossakaan pohjata yksinomaan teknisesti herkän ja kysynnästä riippuvaisen vedyn tai muiden teollisuuden hukkalämpöjen varaan, vaan niille tarvitaan aina vastaavan tehoinen varakapasiteetti.

Sähköön pohjaavia lämmitysratkaisuja, lämpöpumpuja ja kapasiteetiltaan huomattavia lämpövarastoja tullaankin tarvitsemaan myös vetytalouteen siirryttäessä. Lähivuosien investoinnit joustavaan sähkönkäyttöön perustuviin lämmitysjärjestelmiin ylläpitävät tuulivoiman kysyntää ja mahdollistavat siten osaltaan tuulikapasiteetin kasvua tasolle, joka voisi mahdollistaa myös laajamittaisen vetytalouden.

Samalla kun rakennetaan uutta, on myös järkevää huolehtia vanhan toimivan kapasiteetin toimintakyvyn säilyttämisestä. Vanhasta laitospöytävoimasta voitaisiin ylläpitää erityisesti sitä osaa, jonka ylläpitokustannukset ovat edullisimmat. Koska vuotuinen käyttötuntimäärä on tarkoitus minimoida, ei varavoimailaitosten polttoaineen käytön päästöillä ole kokonaispäästöjen kannalta juurikaan merkitystä. Tärkeämpää

on polttoaineiden varastoitavuus sekä toimitus- ja huoltovarmuus, joita käsitellään tarkemmin omassa osiossaan.

## Teollisuus

Tuulivoimainvestointeja on Suomessa perusteltu paitsi energiasektorin päästövähennyksillä, myös niiden sähkön hintaa laskevalla vaikutuksella. Nykyisellään tuulivoimakapasiteetin kasvun ja tuulisten tuntien edullisen sähkön hinnan hyöty teollisuudelle on kuitenkin varsin rajallinen, koska teollisuuden sähkönkäyttö ei Suomessa nykyisellään ole laajassa mittakaavassa joustavaa. Vuoden 2022 aikana monien teollisuuslaitosten tuotanto on jouduttu hetkellisesti kokonaan pysäyttämään sähkön hinnan nousun takia ja jotkin yritykset ovat joutuneet lopettamaan tuotantonsa jopa pysyvästi.

### Taulukko 6. Suurimpien teollisuudenalojen nykyinen joustokapasiteetti<sup>34</sup>

Teollisuudenala	Arvioitu tekninen potentiaali	Joustopöytäajallinen kesto
Kemianteollisuus	75–150 MW	tunteja
Metalliteollisuus	200–300 MW	tunteja
Paperiteollisuus	500–600 MW	tunteja
Datakeskukset	10–200 MW	minuutteja

Merkittävimmät teollisuuden sähkönkuluttajat pystyvät nykyisellään maksimissaan noin 1 350 MW:n joustopöytätoihin 0–3 tunnin ajan. Joustopöytätojen kasvattamista jatkossa vaadittavalle vähintään 9 000 MW:n tasolle voi-kin pitää erittäin vaativana tavoitteena.

Riskien- ja jatkuvuudenhallinnan sekä kilpailukykyyn näkökulmasta paljon sähköä käyttävien yritysten kannattaakin investoida päästövähennysten ohella sähkönkäytön vähentämiseen ja ajalliseen kohdistamiseen. Toisaalta teollisuusprosessien muutamien tuntien tasoisten kulutusjoustopöytätojen on arvioitu maksavan 1 500–2 000 €/MWh ja oletettavasti vielä huomattavasti enemmän yli vuorokauden mittaisissa joustopöytätoissa.

33 Anttila, A. 2021. Lämmön kausivarastoinnin teknillistaloudellinen vertailu hiilestä luopumiseksi Espoossa 2025 mennessä.

34 Finnish Energy – Low carbon roadmap. 2020. Raportti. AFRY.

Joustojen teollisuudessa aiheuttamien kustannusten on arvioitu pysyvän samalla tasolla myös jatkossa.

Valitulla tuulivoimaan pohjaavalla sähköjärjestelmän kehityspolulla olisikin tärkeää hakea vaadittavia sähkön kysynnän joustoja sieltä, missä ne ovat edullisimmin toteutettavissa. On myös syytä huomioida, että lähes kaikki kuviteltavissa olevat sähköntuotannon muodot ovat kustannuksiltaan teollisuuden joustojen kustannuksia edullisempia.

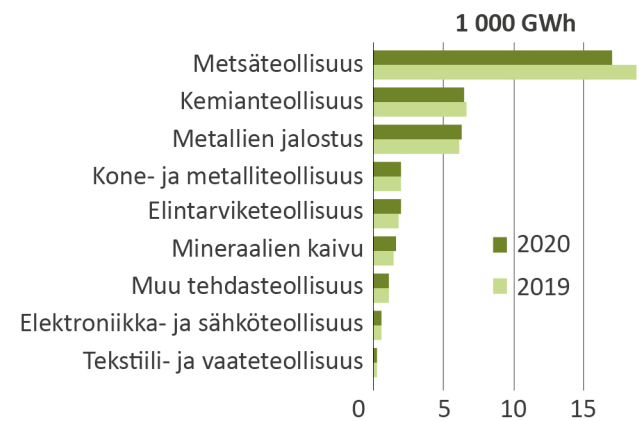
Yritykset ja niiden prosessit eivät ole joustojen osalta tasa-arvoisessa asemassa ja vaadittavien toimenpiteiden kustannukset voivat erota eri yrityksissä ja toimialoilla suuresti toisistaan. Osassa yrityksiä ei ole yksinkertaisesti löydettävissä juurikaan joustomahdollisuuksia ja mikäli joustamattomuuden kustannuksia ei pystytä siirtämään hintoihin, on edessä tuotannon lopettaminen. Tämä tilanne on yleinen esimerkiksi maataloilla, joiden kannattavuus on jo nykytilanteessa alhainen. Joustojen rakentaminen pelkän sähkön hintainformaation varassa voikin johtaa yhteiskunnalle elintärkeiden palveluiden heikkenemiseen.

Kolme eniten sähköä käyttävää teollisuudenalaa ovat metsä-, kemian- ja terästeollisuus ja ne kuluttavat noin 80 % kaikesta teollisuuden käyttämästä sähköstä.<sup>35</sup> Energijärjestelmän ja teollisuustuotannon tulevaisuuden kannalta on kiinnostavaa pohtia, mikä on näiden teollisuudenalojen suhde tuulivoimaan.

Metsäteollisuuden erikoispiirre on, että se kattaa suurimman osan omasta kulutuksestaan puupohjaisista sivuvirroista tuotetulla sähköllä. Sähkömarkkinoiden hintailmiöt koskettavatkin metsäteollisuutta vähemmän kuin kahta muuta edellä mainittua isoa toimialaa. Toisaalta metsäteollisuus voi hyötyä merkittävästikin myymällä tuottamaansa sähköä kalliina tunteina.

Isoista metsäyhtiöistä UPM on aktiivisin sähkömarkkinatoimija. Yhtiö omistaa puupohjaisen sähkön tuotannon lisäksi myös runsaasti vesivoimaa ja jonkin

**Kuvio 27. Sähkön kokonaiskäyttö teollisuusaloittain**



verran osuuksia tuulivoimasta. Yhtiö säättää jatkuvasti omaa sähköntuotantoaan suhteessa pörssisähkön hintaan ja on siten isoista teollisuusyrityksistä mahdollisesti parhaiten sopeutunut sähkömarkkinoiden muutoksiin ja tuulivoimatuotannon lisäämiseen.

Terästeollisuus ja kemianteollisuus ovat läpikäymässä lähivuosien aikana merkittäviä muutosprosesseja fossiilipohjaisten ja huomattavia päästövaikutuksia tuottavien prosessien korvautuessa vähähiilisellä sähköllä, vetyyn ja biojakeisiin pohjaavalla tuotannolla. Molempien toimialojen sähkönkäyttö kasvaa merkittävästi ja on sähköjärjestelmän kannalta erittäin tärkeää, että uudesta tuotannosta tehdään myös aiempaa joustavampaa.

Metsäteollisuudessa voisi olla mahdollista hyödyntää nykyistä enemmän hukkalämpöä, lämpöpumppuja ja tuulisähköä. Merkittävä osa nykyisin syntyvistä sivuvirroista voitaisiin käyttää energian sijasta korkean lisäarvon tuotteisiin, ja muuhun käyttöön kelpaamattomien varastoitavien biojakeiden energiakäyttöä voitaisiin kohdistaa vähätuulisille jaksoille. Metsäteollisuuden sähköntuotannolla voitaisiin kattaa merkittävästi yhteiskunnan sähkön- ja lämmöntarvetta kalliin sähkön tunteina.

Teollisuus on perinteisesti suojautunut sähkön hintavaihtelulta edullisilla hankintasopimuksilla ja sähkömarkkinajohdannaisilla. Teollisuusyritys voi tehdä esimerkiksi tuulivoimayhtiön kanssa kiinteähintaisen

<sup>35</sup> Sähkön kokonaiskäyttö teollisuudenaloittain. Tilastokeskus (Kuvio 27.)

pitkäaikaisen PPA-sopimuksen tuulivoimatuotannon ostamisesta. Samanlaisia sopimuksia voidaan tehdä myös vaikkapa ydinvoiman hankkimisesta. Kiinteähintaisen sopimuksen tarjoaja sitoutuu toimittamaan sähköä tiettyyn hintaan ja mikäli toimittajan omilta laitoksilta ei sähköä saada esimerkiksi vähätuulisen kelin takia, on toimittajan ostettava sähköä sähköpörssistä. Vallitsevassa markkinatilanteessa vain osittain omaa tuotantoaan tarjoavan myyjän voi olla vaikea lukita sähkölle pitkäaikaista kiinteää hankintahintaa. Mikäli yritys omistaa itse sähköntuotantoa, se voi hankkia sitä ns. Mankala-järjestelyllä ohi yleisen sähköpörssin. Jos sähkön hinta nousee erittäin korkeaksi, voi yrityksen olla kuitenkin kannattavampaa myydä osuutensa markkinoille kuin käyttää sitä tuotannossaan.

Teollisuuden pitkät hankintasopimukset ovat vielä suojanneet tuotantoa pörssisähkön hinnannousun vaikutuksilta. Jatkossa sähkömarkkinoiden epävarmuus ja hintaheilahtelut tulevat heijastumaan myös teollisuuden sähkönhankinnan kustannuksiin. Paljon sähköä kuluttavan teollisuuden toimintaedellytysten säilyminen Suomessa edellyttääkin huolellista suunnittelua ja oikein kohdennettuja energijärjestelmän kehittämistoimia.

## Liikenne

Liikenteen osuus energian loppukäytöstä on 15,5 % ja tästä tieliikenteen osuus 93 %. Tuulisähkön tuotanto kytkeytyy liikenteeseen tuottamalla suoraan sähköä raideliikenteeseen ja sähköautoihin (pääosin yksityisautot ja bussit). Sähköisten ajoneuvojen akustoja on suunniteltu käytettävän myös merkittävänä sähkövarastona. Sähköautojen latausta voidaan ajoittaa tuulisähkön tuotannon mukaan, ja jatkossa sähköä on mahdollista myös purkaa autoista muuhun käyttöön (kaksisuuntainen lataus, Vehicle to Grid, Vehicle to Home).

Liikenteen päästövähennykset vaativat ajoneuvokannan nopeaa sähköistämistä ja sähköautojen määrän on arvioitu nousevan jopa 700 000:een vuoteen 2030

mennessä. Mikäli tätä sähköautokapasiteettia ladattaisiin yhtäaikaaisesti kotilatausasemissa yleisellä 11 kW:n teholla, olisi kokonaistehon tarve (häviöt huomioiden) noin 8 000 MW, eli lähes 70 % nykyisestä jatkuvasti käytettävissä olevasta sähköntuotantokapasiteetista. Onkin selvää, että sähköautojen latausta on jatkossa ohjattava tuulisille tunneille.

On myös esitetty, että sähköautojen kaksisuuntaisia latauslaitteita voitaisiin ohjata keskitetysti ja tietty osa (esim. 10 %) sähköautojen akkukapasiteetista voitaisiin hyödyntää sähköverkon tasapainottamisessa. Tällöin sähköverkkoon saataisiin parhaimmillaan useita gigawatteja säätövoimaa muutamien tuntien ajaksi.

Energiaverkon tasapainottaminen sähköautojen akkujen avulla on kuitenkin muihin mahdollisiin ratkaisuihin verrattuna systeemitasolla varsin kallis ja ympäristövaikutuksiltaan raskas keino. Akuston hyödyntäminen säätövoimana kuluttaisi akuston latausyklejä ja aiheuttaisi siten kustannuksia auton omistajalle. Ratkaisua puoltaisi lähinnä kuluttajien tarve hankkia normaalikäyttöön nähden ylisuuren akkukapasiteetin omaavia ajoneuvoja satunnaisia pidempiä ajoja varten.

Yksityisautoissa sähköistymisen ennakoidaan olevan tärkein päästövähennysteknologia. Raskaan maantieliikenteen, lentokoneiden ja laivojen osalta sähköistymisen rinnalla on nähtävissä myös vähähiilisellä sähköllä tuotettujen ns. sähköpolttoaineiden, kuten vedyn, metaanin, metanolin ja ammoniakkin käytön lisääntyminen. Näiden polttoaineiden tuotantoa voitaisiin mahdollisesti jatkossa kohdistaa tuulisille tunneille. Tästä aiheesta kerrotaan lisää vetytaloutta käsittelevässä osiossa.

Koska energiasta tai tuulivoiman tuotantoon soveltuvasta maa-alasta on jatkossakin todennäköisesti niukkuutta, nousevat erilaisten liikennekäytössä tarvittavien energiavarastojen hyötysuhteet tärkeiksi. Tuulisähköllä ladatun sähköauto hyötysuhde sähköstä liikkeeksi on noin 90 %. Tuulisähköllä tuotetulla vedyllä toimivassa autossa hyötysuhde sähköstä vedyksi ja vedystä polttokennon kautta sähköksi ja sitten

liikkeeksi on vain noin 30 %. Mikäli vety muunnetaan välissä hiilivedyksi ja poltetaan polttomoottorissa, laskee kokonaishyötysuhde 15 %:n tienoille. Siten sähköakustoja voidaan ennakoida käytettävän kaikissa soveltuvissa kohteissa ja vetypohjaisia sähköpolttolaitteita vain niissä erityiskohteissa, joissa tarvitaan erityisen tiheitä tai kevyitä energiavarastoja, kuten rekat, laivat ja lentokoneet.

## Tuulivoima ja vetytalous

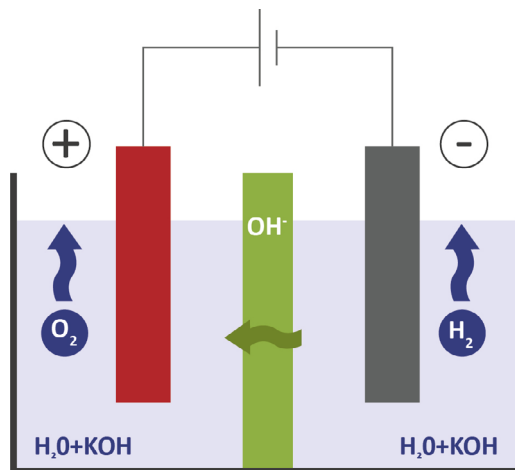
Vedyn tuotanto ja suuren mittakaavan käyttö energian siirrossa, teollisuudessa ja liikenteessä, eli niin sanottu vetytalous, on ollut kuuma keskustelunaihe jo vuosia. Ukrainan sota ja Venäjältä tuoduista fossiilijakeista irrottautuminen ovat lisänneet vettä myllyyn ja vetyinvestointien arvioidaan nousevan EU-alueella satojen miljardien eurojen tasolle jo kymmenen vuoden sisällä.

Vetyä on tuotettu ja käytetty teollisuudessa jo vuosikymmeniä. Tähän asti vetyä on valmistettu lähinnä fossiilisesta maakaasusta varsin energiatehokkailla menetelmillä. Koska nimenomaan maakaasusta on pulaa, ja sen käyttö aiheuttaa ilmastopäästöjä, pyritään vetyä tuottamaan jatkossa pääosin uusiutuvilla, EU-alueella saatavissa olevilla, energialähteillä.

Vety on maailmankaikkeuden yleisin alkuaine ja maapallolla vetyä on erityisesti vedessä. Vihreän vedyn tärkeimmät tuotantotekijät ovatkin makea tai merivesi sekä vähähiilinen sähkö. Vetyä voidaan erottaa vedestä elektrolyysillä. Tällä hetkellä yleisin ja kustannustehokkain vetyelektrolyyserityyppi perustuu alkali-elektrolyysiin.

Vedyn tarpeen arvellaan kasvavan EU:ssa vuoteen 2030 mennessä 20 miljoonan tonnin tasolle. Kannattavan tuotantohinnan arvioidaan olevan noin 2 000–

**Kuvio 28. Alkali-elektrolyysin periaate**



Lähde: [www.awoe.net](http://www.awoe.net)

3 000 €/tonni, joten vetymarkkinan koko vuonna 2030 olisi noin 40–60 miljardia euroa. Aikavälillä 2030–2050 odotettavissa on markkinan moninkertaistuminen. Vetyliiketoiminta ja vetypohjaisten teollisuusprosessien kehittäminen tarjoavatkin valtaisia kasvunäkymiä myös Suomen ja Pohjois-Pohjanmaan teollisuuden näkökulmasta.

Vähähiilisen sähkön tarve lisääntyy nopeasti myös muilla yhteiskunnan sektoreilla kaikissa EU-maissa. Vedyn tuotannon sähkön tarve katettaisiin Suomessa pääosin tuulivoimalla. Vedyn tuotantoon tarvittava tuulivoimakapasiteetti Suomessa olisi vuonna 2040 noin 6 200 voimalaa, ja yhteiskunnan muun vähähiilisen sähkön tarpeen kattamiseen (arviolta noin 150 TWh/vuosi) tarvittaisiin lisäksi vähintään saman verran tuulivoimakapasiteettia.

Vedyn tuotantoon ja käyttöön liittyy vielä monia teknistaloudellisia haasteita. Elektrolyysereiden investointikustannukset ovat vielä suhteellisen korkeat. Vedyn varastointi on hankalaa, sillä molekyyliirakenteestaan johtuen se voi läpäistä teräksiset säiliöt ja putkistot. Joutuessaan kosketuksiin ilman kanssa vety palaa räjähdysmäisesti. Laajamittaisen vedyntuotannon, -jakelun ja -käytön infrastruktuurin vaatimien teknologisten ratkaisujen kehittämisen arvioidaankin kestävän vielä vuosia.

Vedyn tuotannon energieettinen hyötysuhde sähköstä vedyksi on noin 70 %. Kun vetyä hyödynnetään ajoneuvoissa, pystytään sähkö–vety–polttokeino–liikkeen konversiossa noin 35 % sähkönsisällöstä energiasta muuntamaan liikkeeksi. Mikäli tuulivoimaan halutaan varastoida vedystä tehtyä sähköä vähätuulisina jaksoina, olisi tuotannon hyötysuhde tällöinkin maksimissaan noin 35 %. Eri konversioissa syntyvän hukan ja kustannusten takia liikenteen, teollisuuden tai lämmityksen (lämpöpumput) sähköistämistä pidetään ensisijaisena keinona, ja vedyn käyttöä kohdistetaan ainakin lähitulevaisuudessa käyttötarkoituksiin, joita syystä tai toisesta ei voida sähköistää, kuten laivat, voimalaitokset ja raskas teollisuus.

Vihreän vetytalouden kehittymisen aikajänne Suomessa on kirjallisten lähteiden ja hankkeessa tehtyjen haastattelujen pohjalta seuraava:

- 2025– ensimmäiset teollisen mittakaavan investoinnit valmiita
- 2028–2030– laajamittainen tuotanto käyntiin (yli 1 000 MW:n tuotantoteho)
- 2035– tuotanto kattaa kotimaisen teollisuuden ja liikenteen tärkeimmät kohteet
- 2035– vedyn tuotannon sähkön tarve nousee 5 000 MW:n paikkeille, millä merkittävä tuulisähkön kysyntää lisäävä vaikutus
- 2040 vedyn laajamittainen vienti Ruotsiin mahdollista
- 2040– vedyn käyttö laajamittaiseen sähköverkon tasapainottamiseen
- 2045– vedyn vienti EU:n alueelle

Vedyn tuotannon skaalautumisen aikajänteeseen vaikuttavat lukuisat tekijät. On mahdollista, että Ruotsin vedyn kysyntä kasvaa jo aikaisemmassa vaiheessa niin, että suuri osa Suomessa tuotetusta vedystä siirretään Ruotsiin jo vuodesta 2030 alkaen ja Ruotsin kysyntä nopeuttaa vedyn tuotannon skaalautumista Suomessa. Toisaalta vedyn tuotannon kasvua rajoittaa vähähiilisen sähkön niukkuus. Suomen tuulivoima-

kapasiteetin arvioidaan kasvavan 18 MW:n tasolle vuoteen 2030 mennessä, ja tuotanto tarvitaan pääosin muuhun kuin vetytalouden tarpeisiin.

Vetytalouden tarvitseman tuuli- ja aurinkovoiman tuotannon sekä sähkön ja energian siirron infrastruktuurin laajentamisen vaatimat lupa- ja kaavoitusprosessit kestävät pitkään. Yhden 400 kV:n sähkönsiirtolinjan aikajänne tarveharkinnasta valmistumiseen kestää nykytilanteessa yli 10 vuotta. Vetytalouden teknologiat ja siirtomenetelmät ovat vielä suunnitteluasteella, joten merkittävien infrahankkeiden lupahakemusten jättämiseen kuluu arviolta viisi vuotta. Edellä kuvatuista tekijöistä johtuen voidaan arvioida, ettei vihreä vetytalous skaalaudu Suomessa merkittävästi mittakaavaan ennen 2030-luvun alkua.

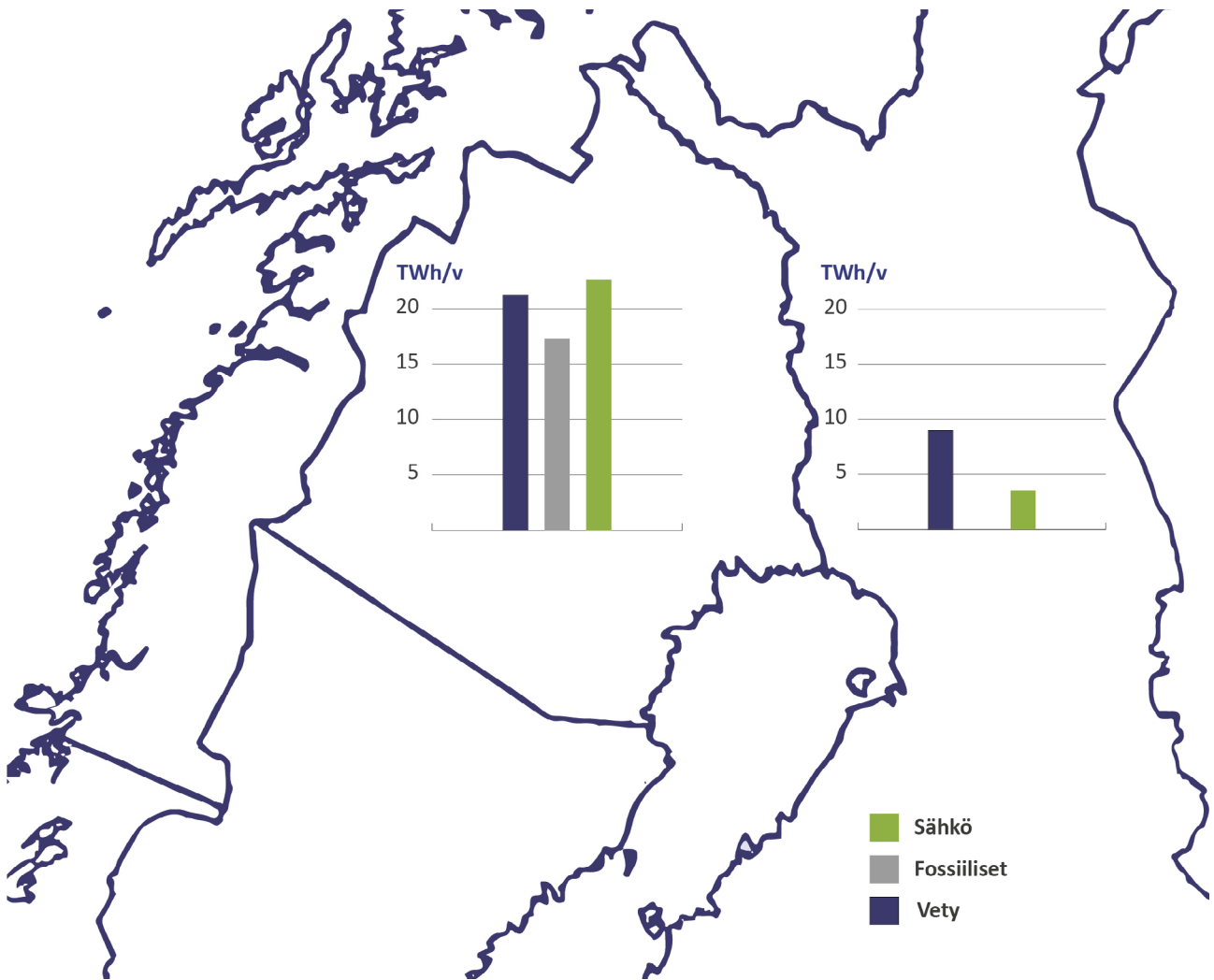
Suomessa on ilmoitettu uusista merkittävistä vihreän vedyn investoinneista mm. Harjavaltaan, Kokkolaan ja Kilpilahden jalostamolle Porvooseen. Laitosten on määrä valmistua 2024–2025 ja vetyä tuotetaan sekä teollisuuden että raskaan liikenteen tarpeisiin.

Pohjois-Pohjanmaalla vedyn tuotantoa on kaavailtu lähinnä SSAB:n terästehtaan yhteyteen Raahen. Pelkästään Raahen terästehtaan vähähiilisellä sähköllä tuotettuun vetyyn pohjaava vetypelkistys ja teräksen tuotanto kuluttaisivat arviolta 10 TWh sähköä vuodessa (noin 15 % Suomen nykyisestä sähköntuotannosta). Mikäli investointi toteutuisi, tulisi Pohjois-Pohjanmaalle toteuttaa laaja vetyinfrastrukturi sekä huomattava vähähiilisen sähkön lisäkapasiteetti.

Raahen SSAB:n tarpeen lisäksi on Pohjois-Pohjanmaan ja Kemin alueen metsäteollisuus eri selvityksissä arvioitu potentiaaliseksi CO<sub>2</sub>-lähteeksi ajatellen vedyn jatkojalostusta P<sub>2</sub>X-tuotteiksi, lähinnä hiilivedyiksi, kuten metaani ja metanoli. Johtuen vedyn varastoinnin ja kuljetuksen haasteista, on mahdollista, että vetyä varastoidaan, kuljetetaan ja käytetään metaanin, metanolin tai ammoniakkin muodossa.



Kuvio 29. Energian kysyntä 2030



### Luulajan alueen (SE1) vetytalouden kehitys

Ruotsissa vihreän vetytalouden kehitys vaikuttaa etenevän nopeasti, johtuen mahdollisesti nykyteknologialla tapahtuvalle vedyn tuotannolle poikkeuksellisen edullisista olosuhteista. Pohjois-Ruotsin vetyklusterin keskeinen ajuri on rautamalmin ja teräksen tuotanto sekä edullinen vähähiilinen sähkö. Pohjois-Ruotsissa on EU:n suurimmat rautamalminvarannot, merkittävää terästeollisuutta ja esimerkiksi Suomeen verrattuna moninkertainen vesivoimakapasiteetti.

Norrbotnenin alue houkuttelee energiaintensiivistä teollisuutta lupaamalla alle 50 €/MWh:n vuositaso keskihinnan vähähiiliselle sähkölle. Pohjois-Ruotsiin tullaankin tekemään lähivuosien aikana huomattavat,

jopa kymmenien miljardien investoinnit vihreään vetyyn perustuvaan rautamalmin vetytelkistykseen, vähähiiliseen sähköön perustuvaan teräksen tuotantoon, akkuteollisuuteen ja muuhun teollisuuden ja yhteiskunnan sähköistymisen tarvitsemaan tuotantoon.

Pohjoismaiden kantaverkkoyhtiöiden yhteisraportin mukaan pohjoisimman Ruotsin SE1-hinta-alueelle kohdistuvien energiaintensiivisten investointien myötä alueen nykyisen vuositaso 13 TWh:n sähköylijäämä vaihtuu vuoteen 2040 mennessä 15 TWh:n alijäämäksi.<sup>36</sup> Käänteen vaikutuksia hinta-alueiden väliseen sähkön siirtoon arvioidaan tarkemmin sähkömarkkinoita käsittelevässä osiossa.

36 Nordic grid development perspective 2021. 2021. Energinet, Fingrid, Statnett, Svenska kraftnät. (Kuvio 29.)

Luulajan yliopiston katsauksessa puolestaan arvioidaan, että Pohjois-Ruotsin nykyisellään pääosin fossiililla energialähteillä tapahtuva raudan ja teräksen tuotanto korvautuu jo vuoteen 2030 mennessä merkittävässä määrin vähähiilisellä sähköllä ja vihreällä vedyllä.<sup>37</sup> Katsauksesta poimitussa kartassa (kuvio 29) näkyy vuoden 2030 vedyn ja vähähiilisen sähkön tarve ja tuotannon arvioitu sijoittuminen. Pohjois-Suomen alueella merkittävää vedyn tarvetta arvioidaan syntyvän vain Pyhäjoen alueelle (Raahen terästehdas) ja uutta vähähiilisen sähkön tarvetta lähinnä Tornion terästehtaalle. Suomen osalta raportin arviot ovat varsin suurpiirteisiä.

## Suomen ja Pohjois-Pohjanmaan kilpailukyky vetytaloudessa

Vetytaloutta kehitetään lukuisissa EU-maissa ja Norjassa merkittäväillä panostuksilla. Vedyn tuotannosta onkin todennäköisesti tulossa varsin kilpailtu teollisuudenala, ja siksi on tärkeää tarkastella tarkemmin Suomen ja Pohjois-Pohjanmaan kilpailukykytekijöitä vihreän vetytalouden osalta.

Vetyelektrolyysiteknologian oletetaan halpenevan lähivuosina siten, että keskeisimmäksi tuotannon kustannustekijäksi muodostuu vähähiilisen sähkön hinta ja saatavuus. Luulajan yliopiston laskelman mukaan

37 Vendt, M., Wallmark, C. 2022. Prestudy H2ESIN: Hydrogen, energy system and infrastructure in Northern Scandinavia and Finland. RISE Research Institute of Sweden, Luleå University of Technology.

vetyä voitaisiin tuottaa hinnalla 2,05–2,65 €/kg, mikäli elektorilyysereiden CAPEX-kustannukset olisivat noin 400 €/kWe ja sähkön hankintahinta noin 24–36 €/MWh. Tämä edustaisi kansainvälisesti erittäin kilpailukykyistä tasoa ja mahdollistaisi todennäköisesti myös laajamittaisen vedyn viennin.

Luulajan yliopiston laskelmien olettamuksena on, että sähköä olisi saatavilla vähintään puolet vuodesta 24–36 €/MWh (sis. siirtokulut) hinnalla. Lisäksi oletuksena on, että tuulisähkön LCOE tippuisi tällä hetkellä tyypilliseltä 31 €/MWh:n tasolta teknologisen oppimiskäyrän ansiosta noin 21 €/MWh:n tasolle ja tuotannon tasaamiseen tarvittavista, kapasiteetiltaan noin seitsemän vuorokauden tarpeen kattavista vetyvarastoista voitaisiin vähätuulisilla keleillä purkaa sähköä noin 40 €/MWh:n hinnalla. Näin alhaisen tuulivoiman ja vetyvarastoihin perustuvan sähkön kokonaishinnan toteutuminen vaatii vielä merkittäviä uusia teknologisia ratkaisuja ja pitkän kehitystyön.

Nykytilanteessa SE1- ja SE2-hinta-alueilla tuulivoiman tuotantoa voidaan tasapainottaa erittäin edullisella ja kapasiteetiltaan huomattavalla vesivoimalla. Vesivoiman saatavuus mahdollistaa edullisen sähkön saannin suurimmalla osalla vuoden tunneista ja tekee kin mahdolliseksi vedyn kannattavan tuotannon jo nykyisillä investointikustannuksiltaan kalliilla elektorilyysereillä. Tämä on merkittävä mahdollistava tekijä vetytalouden alkuvaiheessa.

### Taulukko 7. Keskeiset vedyn tuotantokustannuslaskennassa käytetyt parametrit<sup>1</sup>

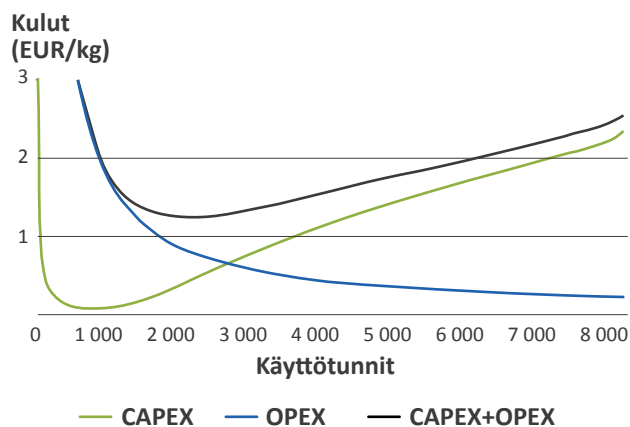
CAPEX-elektrolyysarit	400 €/kWe	(Fraunhofer Institute, 2021; IRENA, 2020)
O&M -elektrolyysarit	3 % CAPEX:ista	(Reuß et al., 2017)
Sähkön kulutus	47,6 kWh <sub>e</sub> /kg H <sub>2</sub>	Hyötösuhde 70 % (IEA, 2019; Reuß et al., 2017)
Sähkön hinta	24–36 €/MWh	Tuulivoiman LCOE, sensitivity range 32 EUR/MWh (Energiforsk, 2021)
Tuulivoiman kapasiteettikerroin	0,376	Vastaa toimintaa täydellä teholla 3 300 tuntia vuodessa
Elinkaari	15 vuotta	(Fraunhofer Institute, 2021; IRENA, 2020)
Korko	5 %	

(1) Vendt, M., Wallmark, C. 2022. Prestudy H2ESIN: Hydrogen, energy system and infrastructure in Northern Scandinavia and Finland. RISE Research Institute of Sweden, Luleå University of Technology.

Pohjois-Ruotsi ja Pohjois-Suomi lähtevät rakentamaan vetytaloutta toisistaan poikkeavista tilanteista. Koko Suomi on yhtä sähkön hinta-aluetta, ja Suomen aluehinta on nykytilanteessa usein huomattavasti Pohjois-Ruotsia korkeampi. Tuulivoimakapasiteetin nopea kasvu alentaa sähkön hintaa tuulisina tunteina, mutta vähätuulisina aikoina sähkö voi olla hyvinkin kallista. Sähkön hinta on Venäjän hyökkäyksen ja sen vastatoimien myötä noussut kaikkialla Euroopassa. Kuitenkin Suomessa sähkön hinta on noussut Pohjois-Ruotsia selvästi enemmän ja erityisesti huippuhinnat ovat selvästi SE1-aluetta korkeampia.

Alla olevassa kuvaajassa näkyy vedyn tuotannon CAPEX- ja OPEX-kustannusten suhde käyttötunteihin.<sup>38</sup>

**Kuvio 30. Elektrolyysin CAPEX ja OPEX (taulukon 7. parametreillä)**



Suomen ja Pohjois-Ruotsin tilannetta vetytalouden kannattavuuden osalta voidaan vertailla yllä olevaa kuvaajaa käyttäen seuraavasti: Jos Suomessa alle 40 €/MWh:n sähkön aluehinta toteutuu jatkossa noin tuhattena tuntina vuodessa ja Ruotsissa noin puolessa vuoden tunneista, on vedyntuotannon kustannus samoilla elektrolyysin CAPEX kustannuksilla vain puolet Suomen kustannuksista. Sähkön hinta-

kehitykseen vaikuttavia tekijöitä on arvioitu tarkemmin sähkömarkkinoita koskevassa osiossa.

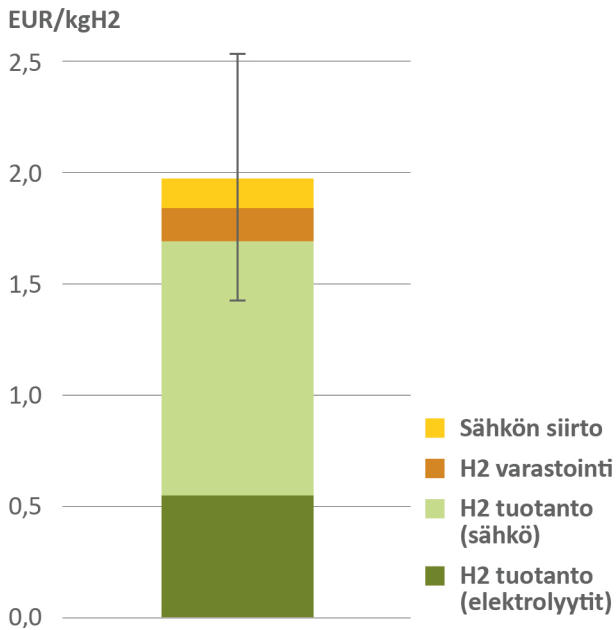
Ilman merkittäviä investointeja kulutusjoustoihin tai joustavaan kapasiteettiin sähkön aluehinta ei Suomessa todennäköisesti laske muiden kuin tuulisten tuntien osalta lähitulevaisuudessa. Suomi ei siten todennäköisesti tule saavuttamaan sähkön osalta hintakilpailukykyä verkkosähköön perustuvassa vedyn tuotannossa Pohjois-Ruotsin kanssa niin pitkään, kun Ruotsin vesivoimavarannot riittävät pitämään sähkön hintaa edullisena ja kelpaavat vihreän vedyn energialähteeksi.

Pohjois-Suomeen rakennettavalla sähköverkkoon kytkeytyllä tuulivoimalla arvioidaan kuitenkin olevan merkittävä rooli Pohjois-Ruotsin vedyntuotannon ja teollisuuden sähköistymisen energianlähteenä, koska SE1-hinta-alue on muodostumassa sähkötaseeltaan huomattavan alijäämäiseksi. Suomesta tarvittaisiin alueen teollisuuteen sähköä jopa 40–50 TWh vuodessa, mikä vaatisi noin 3 000 kpl 6 MW:n tuulivoimaloita pelkästään Pohjois-Ruotsin teollisuuden tarpeisiin. Pohjois-Suomen tuulisähkön tuotanto joutuisi kuitenkin kilpailemaan jatkossakin energiaylijäämäisten SE2-alueen sekä Pohjois-Norjan sähköntuotannon kanssa, jolloin tuotannolle ei olisi aina kysyntää ja siitä saatava hinta saattaisi olla varsin alhainen.

Suomessa on viime aikoina noussut vahvasti keskusteluun Pohjanlahden alueen vedyn tuotannon ja käyttäjien yhdistäminen vetyputkella. Luulajan yliopiston raportissa vertailtiin alustavasti energian siirron kustannuksia alueiden välillä sähköinä ja vetynä. Kuten seuraavalla sivulla olevista kuvaajista ilmenee, energian siirtäminen sähköinä vetyä tuottaville ja kuluttaville laitoksille olisi alustavissa arvioissa vetyputkea edullisempaa.

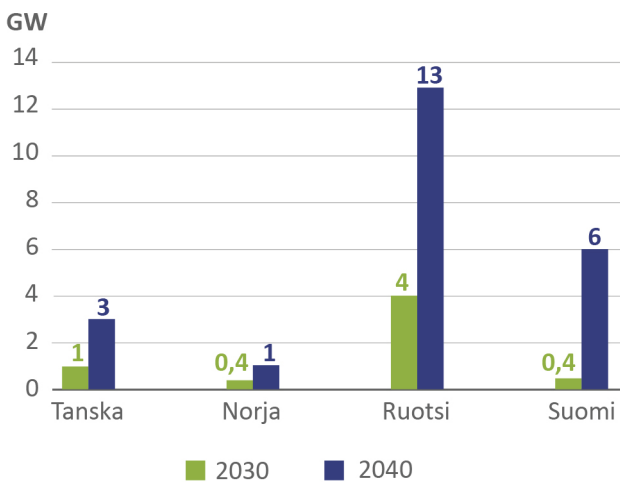
<sup>38</sup> Vendt, M., Wallmark, C. 2022. Prestudy H2ESIN: Hydrogen, energy system and infrastructure in Northern Scandinavia and Finland. RISE Research Institute of Sweden, Luleå University of Technology. (Kuvaajat 31. ja 32.)

**Kuvio 31. Eritelty kokonaiskustannus energian siirrolle sähkönä**



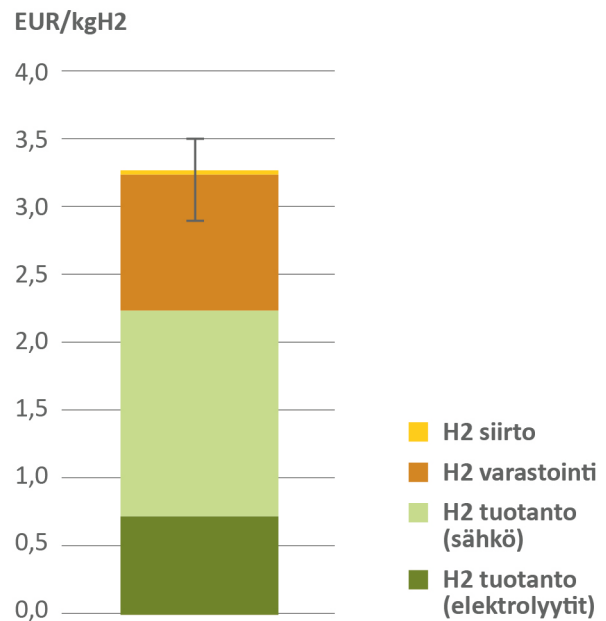
Pohjois-Suomen kannalta vetyputken toteuttaminen olisi kuitenkin huomattavasti parempi vaihtoehto, sillä energian siirto sähköän muodossa sisältää riskin vedyn tuotannon ja sitä hyödyntävän teollisuuden keskittymisestä jatkossa pitkälti Pohjois-Ruotsiin. Pohjois-Suomelle uhkaksi jäädä vain edullisen tuulisähkön tuottajan rooli. Tämän hetken arvioissa Suomeen tulevan vihreän vedyn tuotannon kapasiteetin arvioidaan yleisesti jäävän merkittävästi Pohjois-Ruotsia pienemmäksi.<sup>39</sup>

**Kuvio 33. Elektrolyysikapasiteetti Ilmastoneutraali Pohjola -skenaariossa**



<sup>39</sup> Nordic grid development perspective 2021. 2021. Energinet, Fingrid, Statnett, Svenska kraftnät.

**Kuvio 32. Eritelty kokonaiskustannus energian siirrolle vetynä**



Vetytalon rakentamiseen vaikuttaa oleellisesti myös EU:n näkemys siitä, millainen vedyn tuotanto lasketaan vihreäksi. EU-päätöksenteon väliaikatiotojen mukaan näyttäisi siltä, että vedyn tuotanto tulitaisiin sitomaan uuteen lisäiseen uusiutuvaan energiaan, eli vedyn tuotantoa varten tulisi rakentaa vastaava määrä uutta vähähiilistä tuotantoa, jottei vety kilpailisi jo valmiiksi tehopolusta kärsivillä sähkömarkkinoilla muun tuotannon kanssa. Tämä periaate voi vaikuttaa merkittävästikin vetytalon kehitykseen Ruotsissa, koska esimerkiksi vanhaa vesivoimaa ei silloin voitaisi laajamittaisesti hyödyntää itse vetyelektrolyysiin.

EU:n ehdotuksen mukaan vedyn tuotantoon tarvittavaa sähköä voitaisiin lisäksi ostaa viereiseltä hintavyöhykkeeltä vain, jos hinta on siellä sama tai korkeampi. Sääntöön sallitaan kuitenkin poikkeus, mikäli viereisen alueen sähköstä yli 90 % on uusiutuvaa. Koska Suomessa merkittävä osa sähköstä tuotetaan ydinvoimalla, on mahdollista, ettei suomalainen verkkosähkö kelpaisi vihreän vedyn tuottamiseen. Tilanne voisi johtaa siihen, että SE1-alueen tarvitsema sähkö ostettaisiin pitkälti SE2-alueelta tai Norjasta, missä sähkö on lähes 100 % uusiutuvaa, ja siitä on myöskin merkittävä ylijäämä.

Edellä kuvattujen kustannus- ja säätelytekijöiden näkökulmasta on mahdollista, että kilpailukykyisin vedyn tuotannon tapa Suomessa olisi tuuli-/aurinkosähkön tuotannon suora kytkentä vedyn valmistukseen ja käyttöön ilman valtakunnanverkkoa. Vedylle voitaisiin rakentaa sähköverkosta erillinen tuotannon, siirron, jalostuksen ja käytön infrastruktuuri Pohjanlahden alueelle. Vaikka tämä kaasuputkivaihtoehto näyttäytyi Luulajan yliopiston alustavassa selvityksessä sähkön siirtoa kalliimpana, sen kilpailukyky riippuu EU:n linjauksista ja toisaalta tuuli- ja aurinkosähkön sekä vedyn siirron kustannusten kehityksestä.

Suomen näkökulmasta muille energiaverkoille rinnakkainen vetyverkko voisi olla keskeinen laajaa vetytaloutta mahdollistava tekijä. On merkille pantavaa, että tähän mennessä suurimmat julkistetut vetyhankkeet Suomessa perustuvat toteutustapaan, jossa merituulivoima kytkettäisiin suoraan vedyn tuotantoon.

Erillisen vetyinfrastruktuurin suunnitteluun on pikaisesti suunnattava huomattavia panostuksia, jotta se toteutuisi teknistaloudellisesti, energeettisesti sekä maankäyttövaikutusten ja sosiaalisen hyväksyttävyyden kannalta optimaalisella tavalla ja tarvittavassa aikataulussa. Suomeen kohdistuvien investointien kilpailukykyä voi lisätä mahdollisuus hyödyntää vedyn tuotannossa syntyviä hukkalämpöjä kaukolämpöjärjestelmissä. Myös prosessissa syntyvän hapen teollinen hyödyntäminen on kytkettävä suunnitelmiin. Vedyn hyödyntäminen laajasti erilaisissa teollisuusprosesseissa, kuten metsäteollisuudessa, voi tuottaa korkeita kokonaishyötysuhteita ja lisäarvoa koko energia- ja teollisuusjärjestelmän kannalta. Hyvällä suunnittelulla ja kokonaisoptimoinnilla voi jatkossa olla merkittävä, jopa sähkön hintaa merkittävämpi, vaikutus vetytalousinvestointien kannattavuuteen. Kyse ei olisikaan lopulta vedyn ja sähköverkon eriyttämisestä, vaan niiden toisiaan tukevasta teknistaloudellisesti optimoidusta toteutusmallista.

Laajamittainen vedyn tuotanto elektrolyysiteknologialla vaatii valtaisa tuuli- ja aurinkosähkökapasiteettia. Eri energiamuotojen maankäyttövaikutuksia

tarkastellaan tarkemmin kohdassa “aluesuunnittelu ja aluekehitys”. Ilmastotoimien rinnalla EU:n tavoitteistossa korostuvat myös luontotavoitteet ja “do no significant harm” -periaate, eli ilmastotoimet eivät saisi aiheuttaa merkittävää haittaa muiden kestävyys-tavoitteiden näkökulmasta.

Elektrolyysereiden kehityksen rinnalla olisikin tärkeää panostaa myös muiden, mahdollisesti kohtuullisempaan maan- ja resurssien käyttöön perustuvien vedyn tuotannon teknologioiden kehittämiseen. Muun muassa Oulun yliopistossa tutkitaan keinotekoisien yhteyttämisen kautta tapahtuvaa vedyn tuotantoa, jonka energian- ja maankäytön tarpeet ja mahdollisesti myös investointikustannukset voisivat olla elektrolyysiteknologiaa alhaisemmat. Suomen kannattaakin panostaa vahvasti uusien vedyn tuotannon teknologioiden kehittämiseen.

Vedyn tuotantoa ei voi syntyä ilman näkymää sen kysynnästä. Pohjois-Pohjanmaalla keskeinen vetytalouden ajuri on SSAB:n terästehdas Raahessa. Terästeollisuus on merkittävimpiä fossiilisten tuontienergiajakeiden käyttäjiä ja ilmastopäästölähteitä niin Suomessa kuin Ruotsissakin (Raahen terästehtaan osuus Suomen ilmastopäästöistä on 7 % ja Pohjois-Pohjanmaan päästöistä 70 %). Terästeollisuuden ilmastopäästöjen vähentäminen on siten strateginen intressi ja osin tästä syystä Ruotsin ja Suomen valtiot ovat tulleet merkittäviksi omistajiksi SSAB:ssa. Yritys julkaisi vuonna 2017 suunnitelman hiilivapaan teräksen tuotantoon (HYBRIT) siirtymisestä.

SSAB on kertonut pohtivansa talven ja kevään 2022–2023 aikana toteuttaako se ensimmäisen uuden hiilivapaan tehdasinvestoinnin (arvoltaan noin 4,5 miljardia euroa) Raahen vai Luulajaan. Selvityshankkeessa haastatellut toimijat arvioivat kuitenkin teräksen vetypelkistyksen jäävän todennäköisesti Ruotsiin energian hintaan, logistiikkaan ja muihin tuotannollisiin tekijöihin liittyvien syiden takia.

Pohjois-Pohjanmaan ja koko Suomen vetytalouden kehittymisen kannalta olisi kuitenkin tärkeää etsiä

mahdollisuuksia vedyn tuotannolle myös Raahessa. Vaikka sähkön hinta ja jotkin muutkin tuotannontekijät puoltaisivat tuotantoa Ruotsissa, ei ole täysin mahdotonta, etteikö tuotanto voisi muodostua kannattavaksi myös Suomessa, mikäli sille löytyy optimoitu toteutusmalli.

Osa tuulivoiman tuotannosta on mahdollisesti järkevää kytkeä Pohjois-Pohjanmaallakin suoraan, ilman valtakunnanverkkoa, sähköä käyttävään teollisuuteen ja vedyn tuotantoon. Esimerkiksi Raahessa on suunniteltu isojen merituulivoimapuistojen sähkön suoraa hyödyntämistä SSAB:n tarpeisiin. Sähkön ja vedyn hintaan ja siten tuotannon kannattavuuteen liittyy vielä huomattavia epävarmuustekijöitä. Toisaalta mikäli tällainen toteutusmalli arvioidaan maakunnan ja koko Suomen kannalta kokonaisvaikutuksiltaan parhaaksi, olisi siihen järkevää kohdistaa merkittävä suunnittelu-panos ja myös julkisia subventioita.

Laajamittaisen vetytalouden kehittymisen arvioidaan vaativan mittakaavaltaan riittäviä kysynnän ja tarjonnan ekosysteemejä, ns. vetylaaksoja. Pohjois-Pohjanmaalla Raahen alue on selvästi potentiaalisin vetyekosysteemin kehittämisalusta, jossa yhdistyy monta kannattavuuden kannalta kriittistä tekijää. Potentiaalinen lunastamiseksi vaaditaan kuitenkin pitkäjänteistä kehitystyötä niin yritysten kuin julkishallinnonkin puolella. Oulun metropolialueen ja TKI-keskittymien tiivis kytkeminen Raahen teolliseen infrastruktuuriin vahvistaisi molempien edellytyksiä laajamittaiseen vetytalouteen.

Haastatellut asiantuntijat ovat pitäneet tärkeänä kehittää siirtymävaiheessa myös muun kuin vihreän vedyn tuotantoa. Maakaasusta (tai biokaasusta) voidaan valmistaa niin sanottua sinistä vetyä niin, että tuotannossa syntyvä hiili saadaan puhtaassa (mm. akkuteknologiaan kelpaavassa) muodossa talteen, eikä hiili-

dioksidipäästöjä juuri synny. Ydinsähköllä valmistettava ns. pinkki vety voi puolestaan mahdollistaa vihreää vetytaloutta palvelevan tuotannon ja kysynnän rakentumista ja toimia merkittävänä siltana nykyhetken ja toivotun tulevaisuuden välillä. Silloittavat teknologiat antavat myös lisääikää kokonaan uusien, esimerkiksi keino-tekoiseen yhteyttämiseen perustuvien, vedyn tuotannon teknologioiden kehittämislle. SE1 alueen merkittävimmät vetytalousinvestoinnit ollaan toteuttamassa sähkönkulutukseltaan joustamattomalla tavalla, mikä lisää merkittävästi kysyntäjousten tarvetta ja sähkön hankinnan kustannuksia muilla hintavyöhykkeillä ja teollisuudenaloilla. Uusien sähköä kuluttavien investointien toteuttaminen sähkön niukkuuden mukaan säätyviksi pitäisi nostaa keskeiseksi prioriteetiksi niin Pohjoismaiden kuin EU:n sähkömarkkinoiden kehityksessä.

### Vetytalouden to do -lista:

- varmistaa, että ison mittakaavan vedyn tuotanto toteutetaan joustavasti
- kilpailukykyinen sähkön aluehinta vedyn tuotannolle
- edellytykset kilpailukykyiselle tuuli-/aurinkosähkön ison mittakaavan erillistuotannolle vetyteollisuuden tarpeisiin
- verotus, säätely ja kannustimet vetytaloutta tukeviksi
- isojen vetyä hyödyntävien teollisten symbioosien suunnittelu ja toteutus (Raahen)
- vedyn valmistusta Suomessa tukevien infrahankkeiden edistäminen (Pohjanlahden vetyputki)
- alan huippututkimuksen ja TKI-toiminnan resursointi
- osaavan työvoiman kouluttaminen
- eri teollisuudenalojen sekä energiantuotanto- ja siirtotapojen integrointi optimaaliseksi toisiaan tukevaksi kokonaisuudeksi

## Osion pääviestit

- Pohjoismaiden ja EU:n sähkömarkkinat ovat rajussa muutoksessa.
- Sähkön saatavuuteen ja hintakehitykseen sisältyy huomattavia riskejä.
- Käytettävissä olevissa skenaarioissa ja analyyseissä on huomattavaa hajontaa ja epätarkkuuksia.
- Mahdollisuus sähkön laajamittaiseen tuontiin Ruotsista voi päättyä vuoteen 2027 mennessä.
- Ruotsissa ja todennäköisesti myös Suomessa on jatkossakin merkittävä sähkön tehopulan riski.
- Tuulivoimaa yhteiskunnan sähkökäyttöön silloittavia ratkaisuja, kuten sähkö-, lämpö- ja vetyvarastoja sekä teollisuuden joustoja, on lisättävä nopeasti ja laajassa mittakaavassa.
- On myös harkittava säätyvän tai jatkuvasti käytettävissä olevan sähkötehon lisäämistä.
- Sähkön kysynnän kohdistaminen tuulisille tunneille on edellytys tuulivoimainvestointien kannattavuudelle.
- Sähkömarkkinoiden nykykehitys ei tue laajamittaista vedyn valmistusta verkkosähköllä.
- Potentiaaliset vähähiilisen energiantuotannon ja -teollisuuden solmukohdat olisi tunnistettava ja nostettava kehittämisen kärjiksi.

# 4. Tuulivoiman talous- ja työllisyysvaikutukset

## Tuulivoimasektorin toteutuneet aluetalous- ja työllisyysvaikutukset

Tuulivoimainvestointien vaikutuksia Suomen kansantalouteen on mallinnettu jo useissa selvityksissä. Ramboll-konsulttiyhtiö on toteuttanut talous- ja työllisyysvaikutusten arvion osana Pohjois-Pohjanmaan alueelliset resurssivirrat hanketta vuonna 2018 sekä valtakunnallisen aluetalousvaikutusten tarkastelun Suomen tuulivoimayhdistyksen toimeksiannosta vuonna 2019.<sup>40</sup> Lisäksi Suomen Ympäristökeskuksen tutkimusryhmä toteutti vuonna 2019 hajautetun uusiutuvan energian aluetalousvaikutusten arvioinnin seitsemässä Pohjois-Pohjanmaan kunnassa.<sup>41</sup> Myös monissa ympäröivissä maakunnissa on toteutettu vastaavia arvioita tuulivoiman aluetalousvaikutuksista esimerkiksi osana tuulivoimamaakuntakaavatyötä.

Suomen Tuulivoimayhdistyksen ja Pohjois-Pohjanmaan selvitykset pohjaavat molemmat Rambollin, Luken ja Sitran yhteistyönä toteuttaman resurssivirtamallin avulla luotuihin laskentamenetelmiin. Aineistona hyödynnetään kattavasti eri toimijoiden tuottamia valtakunnallisia ja alueellisia tilastoja. Suomen ympäristökeskuksen tuottamassa arviossa hyödynnettiin ympäristö- ja aluelajennettuihin tilastoihin pohjaavaa Enviregio-mallia. Useimmat eri maakunnissa toteutetut aluetalousvaikutusten arviot pohjaavat suoraan tai välillisesti aiempiin tilastollisiin menetelmiin pohjaaviin mallinnuksiin ja niissä toistuvat yleisesti myös samat johtopäätökset tuulivoiman vaikutuksista.

40 Savikko, H., Hokkanen, J., Virtanen, Y., Silvenius, F., Joutsjoki, V. 2018. Pohjois-Pohjanmaan alueelliset resurssivirrat. Pohjois-Pohjanmaan liitto.

41 Savolainen, H., Karhinen, S., Ulvi, T., Kopsakangas-Savolainen, M. 2019. Hajautetun uusiutuvan energian aluetaloudellisten vaikutusten arviointi ENVIREGIO-mallilla. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 31/2019.

Erilaisiin tilastotietokantoihin pohjaavat mallinnukset pystyvät kuvaamaan kohtalaisella tarkkuudella tuulivoimainvestointien Suomen kansantalouteen tuottaman lisäyksen ja tulovaikutuksen kertautumisen eri toimialoille. Vaikutusten jakautumista maakuntien kesken on tilastojen valossa jo haastavampaa selvittää johtuen pääomien, yritysten ja työvoiman liikkuvuudesta. Kun pyritään selvittämään tietyn tuulivoimahankkeen vaikutuksia sen toteutuskuntaan, heikkenee tilastollisten mallien resoluutio oleellisesti ja niiden luoma kuva voi olla hyvinkin erilainen kuin todellisuudessa toteutuneet vaikutukset.

Merkittävin haaste tilastollisissa malleissa on se, että eri toimiala-, palvelu- tai osaamiskategoriat perustuvat väistämättä yleiseen jaotteluun, joka ei välttämättä tunnista tietyn toimialan erityispiirteitä. Tilastojen valossa jonkin alueen elinkeino-, palvelu- tai osaamisk jakauma voisi hyvinkin mahdollistaa isonkin tuulipuistohankkeen toteuttamisen pitkälti paikallisin voimin. Toimijoiden haastattelujen pohjalta voidaan todeta, että tuulivoimatyömailla ja teollisuudessa vaadittava osaaminen on kuitenkin luonteeltaan varsin spesifiä. Koska ala on Suomessa vielä kohtalaisen uusi, ei alan vaatimuksia ole aina osattu huomioida tilastollisessa tarkastelussa ja jaottelussa.

Monissa tuulipuistohankkeissa on aikaisempiin tilastollisiin mallinnuksiin pohjaten arvioitu, että rakennusaikaisista investoinneista jää lähialueelle noin 15–25 %. Tuulivoimaosaamisen kehittäminen -hankkeen haastattelussa on noussut esiin, että toteutuneissa tuulihankkeissa alueelle jääneet talous- ja työllisyysvaikutukset ovat toisinaan jääneet huomattavastikin aiempia arvioita alhaisemmalle tasolle.



Hankkeen alussa alan tutkijoiden kanssa käydyissä keskusteluissa todettiin, että tähänastiset tuulivoiman aluetalousvaikutusten arviot kuvaavat pikemminkin tuulivoiman mahdollisia alueellisia potentiaaleja kuin tämänhetkistä kyvykkyyttä hankkeiden toteuttamiseen. Esimerkiksi maansiirtoyritys tuulipuiston lähi-alueella ei saa tuulipuistotyömaalta urakoita suinkaan automaattisesti vaan vasta, kun sillä on riittävä liikevaihto, osaaminen, kalusto ja muut vaadittavat edellytykset vaativan ja kokoluokaltaan usein huomattavan tuulivoimaurakan toteuttamiseen. Nykytilanteessa tuulivoimatyömaiden maansiirron ja pohjätöiden kokonaisurakat toteutetaan yleensä muutaman valtakunnallisen toimijan toimesta.

Tähänastisissa tuulivoiman aluetalous- ja työllisyysvaikutuksissa kuvataan usein erilaisin laskukaavioiden saatuja kerrannais- ja kokonaisvaikutuksia talouteen. Menetelmä on perusteltu, kun halutaan ymmärtää paremmin tuulivoiman kokonaisvaikutusta valtakunnallisella tasolla, mutta ne eivät pysty luomaan kovin tarkkaa kuvaa pienemmillä aluetasoilla, kuten kunnissa. Aluetasoilla ja kunnissa kerrannaisvaikutuksiin sisältyvät yleiset oletukset ja virhemarginaalit voivat kertautua. Koska tämän hankkeen tarkoituksena on tarkentaa kuvaa tuulivoimahankkeen vaikutuksista sen lähialueelle, pitäydymme kuvaamaan tuulivoimahankkeen suoria talous- ja työllisyysvaikutuksia.

Suomessa ei ole aikaisemmin selvitetty tuulivoimahankkeiden suoria vaikutuksia toteutuskuntiin. Tässä hankkeessa on pyritty tarkentamaan kuvaa siltä osin. Tuulivoimahankkeiden talous- ja työllisyysvaikutusten kohdentumista ei ole kuitenkaan tähän mennessä kuntien tai tuulivoimayhtiöiden tilinpidossa tarkemmin eritelty. Tästä johtuen selvitykseen eri lähteistä kerätyt tiedot sisältävät vielä epävarmuuksia. Koska kunnissa tai yrityksissä ei ole käytettävissä eriteltyä tietoa hankkeiden kuntakohtaisista vaikutuksista, on todennäköistä, että ainakin osa saaduista vastauksista toistaa aiempien selvitysten tilastollisia oletuksia.

Tuulivoiman aluetalous- ja työllisyysvaikutusten kohdentumista on hankkeessa selvitetty seuraavin menetelmin:

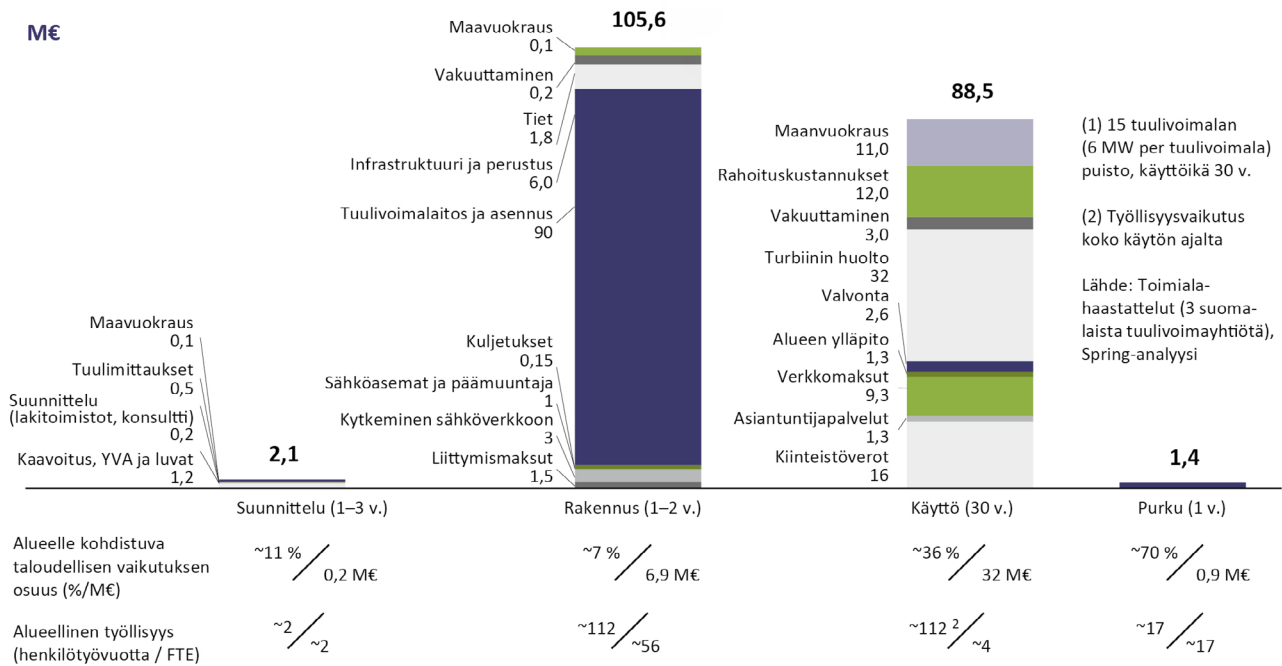
- kaikille Pohjois-Pohjanmaan kunnille lähetetty kysely, vastauksia saatu 7 kpl
- kaikille Suomen Tuulivoimayhdistyksen jäsenyrityksille lähetetty kysely, vastauksia saatu 5 kpl
- tuulivoimaa toteuttaneiden kuntien vastuuhenkilöiden haastattelut, 10 kpl
- yrityshaastattelut (mm. tuulivoima- ja maanrakennusyrityksiä, generaattorivalmistajia), 9 kpl
- tilastolliset tarkastelut (vero- ja aluetaloustilastot)
- aiemmat aihepiirin selvitykset ja tutkimukset

## Tulokset

Tuulipuiston rakentamisvaiheen investoinnista Suomeen on aiemmin arvioitu jäävän noin 25 %. Tässä hankkeessa kerättyjen tietojen pohjalta Suomeen jäävä osuus voi kuitenkin jäädä aiempia arvioita pienemmäksi, noin 16 %:n tasolle. Tuulivoimala (generaattori, torni ja siivet) toimitetaan yleensä kokonaisuudessaan Suomen ulkopuolelta. Pystytykset hoidetaan lähes poikkeuksetta ulkomaisilla erikoistiimeillä ja kalliustolla. Suomalaisten yritysten osuudeksi jäävät yleensä lähinnä maanrakennus- ja pohjatyöt, sähköverkkotyöt ja muuntamot, suunnittelu ja luvitut. Lisäksi Suomeen jäävät maanvuokraus- ja verotulot. kuvioon 34. on koostettu tuulivoimayhtiöiltä, generaattorivalmistajilta ja maanrakennusyrityksiltä saatujen tietojen pohjalta tuulivoimainvestoinnin jakautuminen eri osa-alueisiin.

Esimerkkinä käytetyn 15 kpl 6 MW:n tuulipuiston elinkaaren aikaiset suorat kokonaistulovaikutukset ovat yhteensä 197,7 miljoonaa euroa (2,2 milj. €/MW). Tästä suunnitteluvaiheen osuus on 2,1 milj. €, rakennusvaiheen 105,6 milj. €, käyttövaiheen 88,5 milj. € ja purkuvaiheen 1,4 milj. €. Huomattavin yksittäinen menoerä on voimalaitoksen hankkiminen ja pystytys, jonka osuus on lähes puolet koko elinkaaren aikaisesta tulovaikutuksesta. Suunnittelu- ja rakennusvaiheesta jää nykyisellään lähialueelle noin 7 %:n osuus.

**Kuvio 34. Keskikokoisen tuulivoimapuiston<sup>1</sup> kustannusten jakautuminen elinkaaren vaiheisiin**



(1) 15 tuulivoimalan (6 MW per tuulivoimala) puisto, käyttöikä 30 v.  
 (2) Työllisyysvaikutus koko käytön ajalta  
 Lähde: Toimialahaastattelut (3 suomalaista tuulivoimayhtiötä), Spring-analyysi

Käytön aikana merkittävimpiä tulovaikutuksia tuottavat huolto (32 milj. €), kiinteistöverot (16 milj. €), rahoituskustannukset (12 milj. €) ja maanvuokraus (11 milj. €). Käytön aikana syntyneistä tulovaikutuksista noin 36 % jää toteutusmaakuntaan.

Tuulivoimatoimijoilta saatujen tietojen pohjalta kuvataan kuviossa 35. tuulivoimahankkeen koko elinkaaren aikana syntyviä tulovaikutuksia Pohjois-Pohjanmaalle.

Nykyisellään keskimääräisen tuulivoimahankkeen elinkaaren aikaisista suorista tulovaikutuksista noin 20 % jää maakuntaan. Merkittävimpiä tulonsaajia ovat kunnat, joiden keräämä kiinteistöveron osuus on 8 % kokonaistulovaikutuksista. Rakennusyrityksille kohdistuu noin 6 % ja maanomistajille 4 % tulovaikutuksista. Huomionarvoista on, että merkittäviä tulovaikutuksia tuottavasta huoltotoiminnasta vain pieni osa jää tällä hetkellä maakuntaan.

On huomioitava, että suunnittelu- ja rakennusvaiheen toteutuneista vaikutuksista on mahdollista luoda selkeämpi kuva kuin käyttövaiheesta, joka on useimmiten vasta alkanut. Noin 25–30 vuotta kestävä käyttö-

vaiheen aikana voi syntyä uutta osaamista, yritystoimintaa ja alueellista pääomaa, joka mahdollistaa alueelle jäävien vaikutusten merkittävän vahvistumisen.

Kunnilta saaduissa vastauksissa tuulivoiman aluetalous- ja työllisyysvaikutuksia arvioitiin seuraavasti:

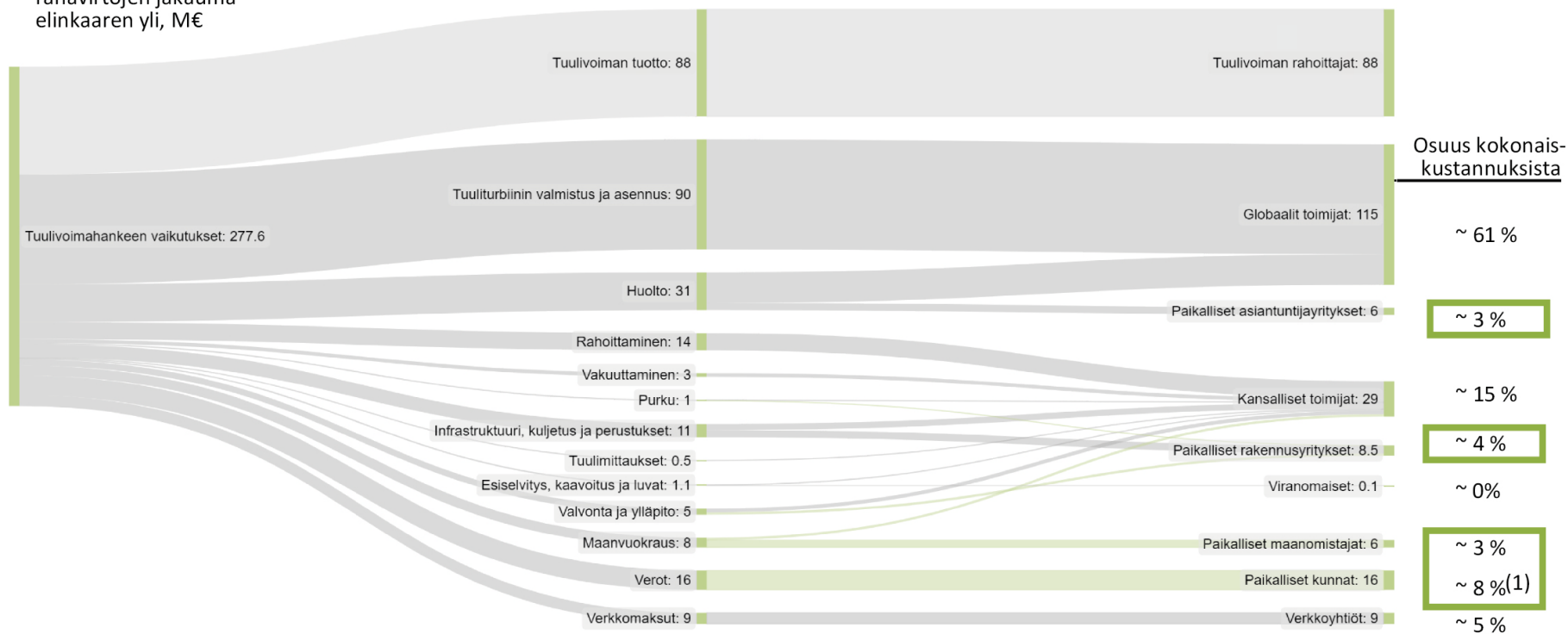
**Taulukko 8.**

	Työllisyysvaikutus	Elinkaaren aikainen tulo
Kiinteistövero-tuotto		130 000–200 000 €/MW
Maanvuokra-tuotot		30 000–300 000 €/voimala
Rakentamisen aikainen työllisyysvaikutus	4–80 htv	
Pysyvät työpaikat	0–30 kpl	

Kunnilta kyselylomakkeella ja haastatteluilla saadut tiedot toteutuneista tuulivoimahankkeista olivat osin puutteellisia niin hankkeiden kokoluokan kuin kokonaistehonkin osalta. Näiltä osin tietoja täydennettiin Suomen Tuulivoimayhdistyksen kartasta löytyvillä tiedoilla (joka sekin kaipaisi päivitystä – esimerkiksi

**Kuvio 35. Taloudellisista vaikutuksista noin 20 % virtaa paikallisille – yritysten osuus 7 %**

15 tuulivoimalan hankkeen rahavirtojen jakauma elinkaaren yli, M€



**Paikallisten rahavirrat**  
**Muut rahavirrat**

(1) Ainoastaan kiinteistövero kunnille huomioitu. Kiinteistöveron lisäksi maanvuokra tulot tuovat verotuloja valtioille ja kunnille. Mikäli tuulivoimapuiston operaattori kotipaikkakunta on hankekunta saa kunta myös yhteisöveron kautta verotuloja.  
Lähde: Spring-analyysi

Vaalan Metsälamminkankaalle valmistuneesta 136 MW:n puistosta ei ole kartalla mainintaa).

Haastattelujen mukaan kiinteistöverotulot ovat kunnille keskeisin peruste tuulivoimahankkeiden toteuttamiselle. Koska kiinteistöverotulojen katsotaan jo siinä riittävän, jotkin vastanneet kunnat pitävät niitä niin merkittävänä, ettei muita tuulivoimaan liittyviä ansaintakeinoja ole tarkasteltu. Tätä taustaa vasten on huomionarvoista, että myös kuntien ilmoittaman kiinteistöverotulon määrässä rakennettua tuulivoimakapasiteettia kohden (€/MW) oli huomattavaa hajontaa. Alhaisimman arvion mukaan 90 MW:n tuulivoimakapasiteetti tuottaisi elinkaarensa aikana kuntaan noin 11 miljoonaa euroa ja korkeimman arvion mukaan 18 miljoonaa euroa. Hajontaa voi selittää se, että osa vastaajista laskee elinkaaren pituudeksi 25 vuotta ja osa 30 vuotta. Haastatteluissa nousi esiin myös tuulivoimayhtiöiden aktiivinen verosuunnittelu, jonka ansiosta täsmälleen samanlaisesta voimalasta saataan saada eri kunnissa eri verotulokertymä.

Kaikkien vastanneiden kuntien edustajat kertoivat, ettei tuulivoiman talous- ja työllisyysvaikutuksista ole kerätty kunnissa erillisiä tilastoja tai muita tietoja. Osa kunnista oli pyytänyt lisätietoja hankkeita toteuttaneilta tuulivoimayhtiöiltä, mutta vastauksia ei oltu saatu. Toisaalta myöskään yhtiöillä ei ole tietoja vaikutusten kohdentumisesta kuntatasolla. Näin ollen selvityksen erääksi keskeiseksi huomioksi nouseekin tuulivoiman talous- ja työllisyysvaikutuksia koskevan tiedon puute.

### **Taulukko 9. Veronalaisten tulojen kehitys esimerkkikunnissa (miljoonaa euroa)**

	Haapajärvi	Vaala	Simo
2018	149,6	60,2	71,3
2019	147,5	60,0	71,7
2020	151,8	59,7	72,8
2021 (tuulipuiston pääasiallinen rakennusvuosi)	161,1	61,3	76,6

Kyselyiden ja haastattelujen rinnalla kuntiin kohdistuneita vaikutuksia tarkasteltiin myös verottajan tilastojen valossa. Tarkasteluun valittiin kuntia, jotka ovat toteuttaneet viime vuosina yhden ison tuulivoimahankkeen siten, ettei ainakaan kahtena edellisenä tai kahtena seuraavana tilastoissa näkyvänä vuonna ole toteutettu muita tuulihankkeita. Lisäksi otantaan valittiin kohtalaisen pieniä kuntia, joissa ei ole kyseisellä aikajänteellä tehty muita merkittäviä investointeja. Rajauksen avulla pyrittiin erottamaan nimenomaan tuulivoimainvestointien vaikutus tarkasteltavissa kunnissa.

Veronalaisten tulojen osalta käytettävissä olivat kuntakohtaiset tiedot vuosilta 2018–2021. Valituissa kunnissa on merkittävän tuulivoimahankkeen pääasiallisena rakennusvuonna nähtävissä lievä nousu tilastolliseen trendiin nähden.

Haapajärvelle valmistui vuonna 2021 Välikankaan 101 MW:n tehoinen tuulipuisto. Vaalaan valmistui alkuvuodesta 2022 (pääasiallinen rakennusvuosi 2021) Metsälamminkankaan tuulipuisto, kapasiteetiltaan 132 MW. Simoon valmistui vuonna 2021 150 MW:n tehoinen Leipiö III -puisto.

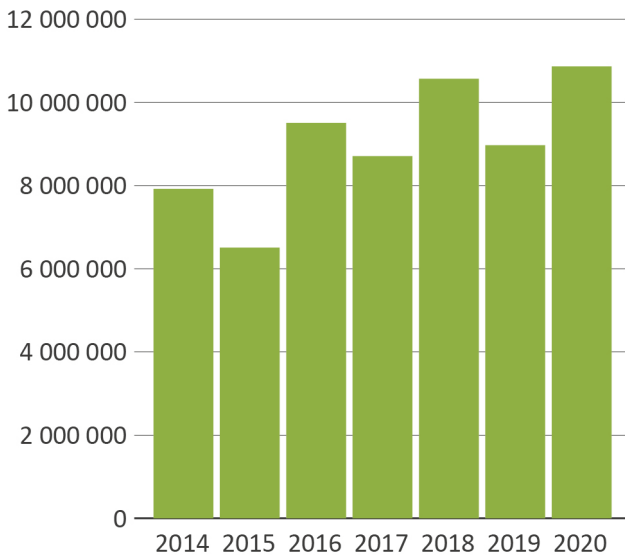
Tuulipuistojen rakentamisen vaikutus jakautuu todennäköisesti valmistumisvuoden lisäksi myös edeltävälle vuodelle. Koska kunnissa ei ollut samanaikaisesti käynnissä muita investointeja tai merkittäviä tuloaikatuksia tuottavia hankkeita, voisi tilastolliseen trendiin nähden selvä poikkeama ylöspäin olla tulkittavissa ainakin osittain tuulivoimahankkeen tuottamaksi.

Haapajärvellä veronalaiset tulot ovat nousseet yli 10 miljoonalla eurolla tuulihankkeen toteuttamisen aikana. Kunnan näkemyksen mukaan nousua ei kuitenkaan ainakaan ensisijaisesti selitä tuulivoima vaan muut tekijät. Myöskään Simossa nähtävää verotettavien tulojen nousua ei kunnan edustajien mukaan selitä ensisijaisesti tuulivoimahanke, vaan yleinen työllisyystilanteen koheneminen ja ansiotulojen kasvu.

Lisäksi tarkasteltiin eräiden tuulivoimaa ennen vuotta 2018 merkittävästi rakentaneiden kuntien yhteisöverotettavien tulojen kehitystä, josta aineistoa on käytettävissä vuosilta 2014–2020.

Iin Myllykankaan tuulipuisto (kokonaisteho 54 MW) valmistui vuonna 2016. Tätä ennen tuulihankkeita oli viimeksi toteutettu 2014 (19 MW) ja seuraavaksi 2019 (21 MW). Iin kohdalla nähdään selvä, noin kolmen miljoonan nousu yhteisverotettavissa tuloissa, josta ainakin osa selittyy tuulivoimainvestoinnilla.

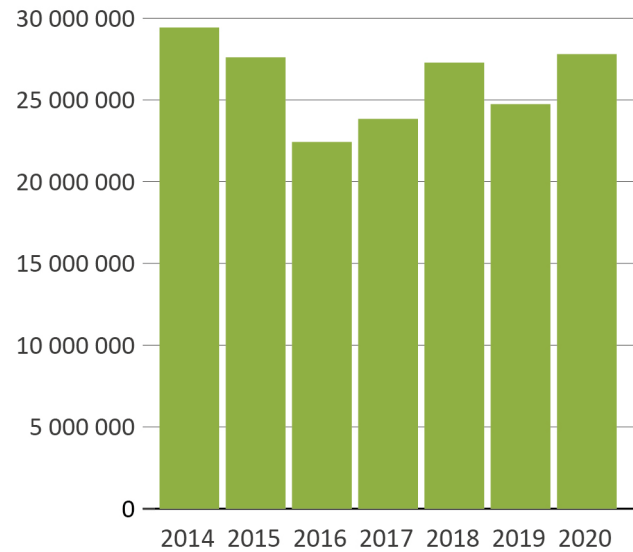
**Kuvio 36. Yhteisöjen ja yhteisötuuksien välittömät verot ja veroluonteiset maksut, Ii**



Lähde: Verohallinto

Kalajoelle valmistui tuulivoimaa vuosina 2015–2016 yhteensä 208 MW (Tohkoja 73 MW, Mustilankangas 92 MW, Jokela 36 MW ja Etelänkylä 7 MW). Rakennusaikaisten kokonaisinvestointien voi arvioida olevan vastaavasti 210–250 miljoonaa euroa. Tuulivoimainvestoinnit eivät kuitenkaan näy positiivisena vaikutuksena kunnan yhteisöverotettavien tulojen kehityksessä.

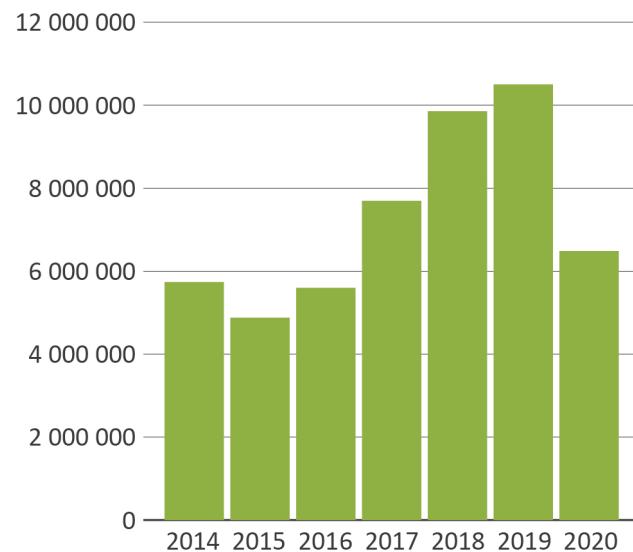
**Kuvio 37. Yhteisöjen ja yhteisötuuksien välittömät verot ja veroluonteiset maksut, Kalajoki**



Lähde: Verohallinto

Pohjois-Pohjanmaan esimerkkikuntien ohella on tarkasteltu Kainuussa Hyrynsalmen ja Suomussalmen kuntien alueen yhteisöverotettavien tulojen kehitystä vuonna 2017 valmistuneen Kivivaara–Peuravaara-tuulipuiston (kokonaiskapasiteetti on 108 MW) rakennusaikana. Hyrynsalmen puolella on 10 kpl 3,6 MW:n voimalaa ja Suomussalmen puolella 20 vastaava voimalaa.

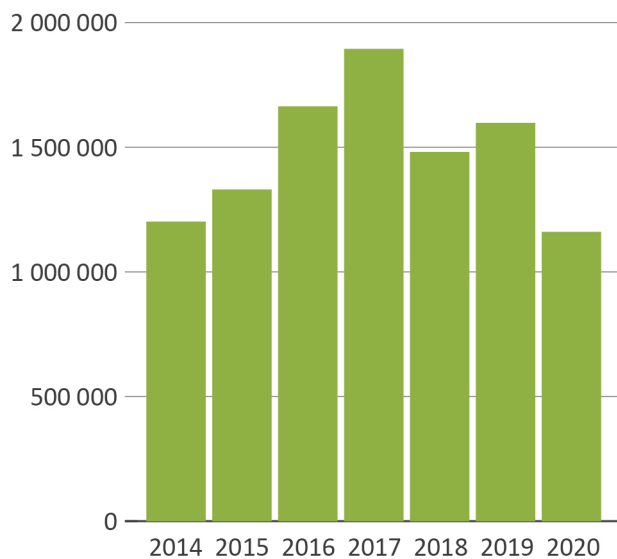
**Kuvio 38. Yhteisöjen ja yhteisötuuksien välittömät verot ja veroluonteiset maksut, Suomussalmi**



Lähde: Verohallinto

Hyrnsalmella nähdään puiston rakentamisvuosina 2016 ja 2017 yhteensä noin 600 000 euron verotettavien yhteisötulojen lisäys suhteessa muutoin lievästi nousujohteiseen trendiin. Suomussalmella puistohankkeen rakentamisvuosina ei näy muusta trendistä poikkeavaa nousua. Molemmissa kunnissa merkittävä osa yhteisötuloista pohjaa matkailuun, ja vuonna 2020 alkanut koronapandemia näkyy selvästi yhteisöveron alenemana.

**Kuvio 39. Yhteisöjen ja yhteisötuksien välittömät verot ja veroluonteiset maksut, Hyrnsalmi**



Lähde: Verohallinto

Verottajan tilastoaineistoissa näkyvät vaikutukset vaihtelevat melko voimakkaasti kunnasta toiseen. Vaihtelua selittää pääosin kuntien talouden ja yritysten liikevaihdon yhteenlaskettu volyymi ja elinkeinorakenne. Pienessä kunnassa pienehkökin tulonlisä näkyy selvästi, kun isommassa kunnassa isokin euroääräinen vaikutus voi jäädä muiden talouteen vaikuttavien tekijöiden takia näkymättömiin. Kunnilta kyselyssä ja haastatteluissa saadut tiedot vastaavat kutakuinkin verottajan tilastojen kautta välittyvää näkymää kuntiin kohdistuvista talousvaikutuksista.

Käytettävissä olevien tietojen pohjalta voidaan vetää johtopäätös, että isonkaan tuulipuiston rakentaminen

ei pienessäkään kunnassa yleensä tuota tilastoissa selvästi näkyvää taloudellista vaikutusta.

Koska käytettävissä ei ole varsinaista tuulivoiman vaikutuksia kuvaavaa kirjanpito- tai tilastoaineistoa, on saatuihin lukuihin suhtauduttava viitteellisinä. On kuitenkin todennäköistä, että saatu vaihteluväli kuvaa suhteellisen hyvin kuntiin kohdistuvia vaikutuksia. Saatujen arvojen alaraja kuvaa kutakuinkin kuntiin väistämättä isosta hankkeesta koituvia taloudellisia vaikutuksia. Mikäli hankkeet tuottaisivat puolestaan esitettyä vaihteluväliä huomattavasti suurempia vaikutuksia, näkyisivät vaikutukset väistämättä vahvemmin myös kuntien verotilastoissa. Eri lähteistä kerätty tieto vaikuttaa tuottavan varsin yhdenmukaisen näkymän.

Tuulivoimayhtiöiden arvioiden mukaan 90 MW:n tuulipuiston rakennusvaiheen lähialueelle kohdistuva työllisyysvaikutus olisi noin 112 henkilötyövuotta. Suurin osa kunnista arvioi rakennusvaiheen aikana syntyvän työllisyysvaikutuksen kuitenkin olevan vain 0–10 htv, ja toisaalta yhdessä kunnassa arvioitiin työllisyysvaikutukseksi jopa 80 htv. On todennäköistä, ettei kunnissa synny rakennusvaiheen aikana yleisesti yli 50 htv:n positiivisia työllisyysvaikutuksia, sillä ne näkyisivät todettua suurempana poikkeamana verotettavissa tuloissa. Suuri osa alueellisista työllisyysvaikutuksista syntyykin todennäköisesti toteutusunnan ulkopuolella, maakunnallisella tasolla.

Tuulivoiman koko elinkaaren aikana syntyviä vaikutuksia ei useimmissa kunnissa ole vielä arvioitu. Tuulivoimayhtiöltä saatuja tietoja käyttövaiheen aikana syntyvistä vaikutuksista on eritelty kuviossa 34. Suurin tulo- ja työllisyysvaikutus on tuulivoimaloiden huoltotoiminnalla. Tuulivoiman huolto- ja ylläpitopalveluita tarjoavia yrityksiä on sijoittunut joihinkin kuntiin, mutta tuulivoimayhtiöiden ja turbiinivalmistajien mukaan alalla vallitsee huomattava työvoima- ja osaajapula. Erityisesti kaukana kasvukeskuksista sijaitseviin tuulipuistoihin on suuria vaikeuksia löytää huoltohenkilöstöä.

**Taulukko 10. 90 MW Tuulipuiston (15 kpl 6 MW voimaloita) tyypilliset rakentamisen aikana syntyvät kokonaistulo-vaikutukset kuntaan**

Maanvuokratulot	14 940–149 940 € (166–1 666 €/MW)
Muu tulonlisä kunnan alueella (poislukien maanvuokratulot)	0,6–5 milj. €
Kuntiin kohdistuvien tulo-vaikutusten vaihteluväli	0,6 – 5,2 milj. €
Osuus rakentamisen aikaisesta kokonaisinvestoinnista (105,6 milj. €)	0,9 %–4,7 %

(Luvut laskettu kunnilta saatujen näkemysten ja tilastoissa näkyvien vaikutusten mukaan)

90 MW:n tuulivoimahankkeen kokonaisinvestoinnista noin 32 miljoonaa euroa (1 milj. €/vuosi) kohdistuu huoltoon. Aiempien selvitysten mukaan käyttövaiheen tulovirroista jopa 70–90 % jäisi hankkeen lähialueelle. Selvitysten yleisenä olettamuksena on, että huolto- ja korjaustoimintaan olisi nyt ja jatkossa käytettävissä palvelun tuottajia ja riittävästi osaavaa työvoimaa alueelta. Huoltotoiminnan saaminen kuntaan voikin moninkertaistaa puistohankkeen kokonaistulo- ja työllisyysvaikutuksen. Työvoimapulasta johtuen turbiinivalmistajat joutuvat nykyisellään kuitenkin usein turvautumaan jopa ulkomaiseen työvoimaan.

Kuntiin kohdistuvaa tulo-vaikutusta nostaisi myöskin tuulivoiman paikallinen omistus. Esimerkiksi Saksassa kunnalliset energiayhtiöt ovat usein aktiivisia tuulivoimatoimijoita ja puistojen omistajia. Monet Suomessa toimivat tuulivoimayhtiöt ovat alunperin saksalaisia alueellisia energiayhtiöitä. Vaikka tuulivoima on kohtuullisen matalariskinen sijoituskohde, voi alueellisten tuulivoimasijoitusten hajauttaminen useaan tuulihankkeeseen olla kuitenkin perusteltua.

Joissakin kunnissa on jo syntynyt merkittäviä tuulipuistojen käyttövaiheen aikaisia talous- ja työllisyysvaikutuksia. Esimerkiksi Kalajoelle, Iihin ja Hyrynsalmelle on perustettu tuulivoimaloiden huolto- ja ylläpitopalveluita tarjoavat yritykset. Kalajoella työllistävä vaikutus on 20 htv vuodessa ja Iissä 30 htv vuodessa. Muissa tarkastelluissa kunnissa ei tiettävästi vielä ole huolto- tai ylläpitopalveluita, mutta alan voi arvella kasvavan nopeasti voimaloiden lisääntyessä. Kuntaan tulevat verotulot toki riippuvat yritysten kotipaikasta.

Tässä selvityksessä keskitytään tuulivoiman suorien tulo- ja työllisyysvaikutusten tarkasteluun. Tuulivoiman rakennusaikana tarvitaan myös runsaasti majoitus- ja ravitsemuspalveluita. Lisäksi myynti lisääntyy päivittäistavarakaupassa, rautakaupoissa, huoltoasemilla jne. Mikäli kuntaan sijoittuu käyttövaiheen tuulivoimapalveluita tuottavia yrityksiä, voi erilaisten palveluiden käyttö pysyä aiempaa korkeammalla tasolla myös rakentamisvaiheen jälkeen.

Tuulivoimateknologiaa ja sen vaikutuksia käsitellään tuulivoimasektoria kuvaavassa osioissa.

## Vertailu Saksaan

Pohjois-Pohjanmaalta kerättyjä tietoja on mielenkiintoista verrata Saksassa Aachenin alueella toteutettuun tuulivoiman aluetalousvaikutusten tutkimukseen.<sup>42</sup> Tutkimukseen sisältyy myös laajempi Saksaan toteutettujen tuulivoimahankkeiden aluetalousvaikutusten vertailu.

Tutkimuksen mukaan rakentamisen aikana lähialueelle syntyvät tulo-vaikutukset olisivat siten keskimäärin 70 €/kW, käytönaikaiset 700 €/kW ja sähkön-tuotannosta saatavat 730 €/kW.

Saksassa vertailukohtana käytettävän 90 MW:n tuulipuiston rakentamisen aikana syntyvät tulo-vaikutukset ovat siten keskimäärin 6,3 miljoonaa euroa (70 €/kW) ja käyttövaiheen aikana syntyvät tulo-vaikutukset

<sup>42</sup> Jenniches, S., Worrell, E., Fumagalli, E. 2019. Regional economic and environmental impacts of wind power developments: A case study of a German region.

### **Taulukko 11. Tuulipuiston elinkaaren aikana lähialueelle jäävät tulovaikutukset (90 MW tuulipuistohanke)**

kiinteistöverotulo	20–30 milj. €
maanvuokratuotto (mikäli maa paikallisessa omistuksessa)	0,45–4,5 milj. €
tuulivoimapalveluiden tuottamat tulot	1,07–63 milj. €
sähkön tuotannosta saatavat tulot	0–88 milj. €

63 miljoonaa euroa (700 €/kW). Lisäksi alueellisten toimijoiden omistus puistoissa lisäisi tulovaikutuksia sähköntuotannossa keskimäärin noin 60 miljoonaa euroa.

Saksassa toteutuneet rakentamisen aikana syntyvät aluetalousvaikutukset vastaavat niitä Pohjois-Pohjanmaan kuntia, joilla on tarjota palveluita tuulivoimatyömaille. Myös käytön aikana syntyvien tulovaikutusten voi arvioida olevan Pohjois-Pohjanmaalla ja Saksassa suhteellisen samalla tasolla sellaisissa kunnissa tai seutukunnissa, joissa toimii tuulivoimaloiden huolto- ja ylläpitoyrityksiä.

Suurin ero Saksassa ja Suomessa saatujen aluetalousvaikutusten välillä liittyy tuulivoimaloiden omistukseen ja sähköntuotannosta saatavaan hyötyyn. Saksassa huomattava osa tuulivoimakapasiteetista on paikallisessa tai alueellisessa omistuksessa, kun Suomessa taas tuulivoiman paikallinen omistusosuus on yleensä vähäinen tai sitä ei ole lainkaan.

### **Johtopäätökset**

Tuulivoiman aluetalousvaikutuksia kuvaavissa aiemmissa selvityksissä on arvioitu rakentamisvaiheen aikana syntyvistä investoinneista kohdistuvan Suomeen 25 % ja käyttövaiheen aikana syntyvistä jopa 70–90 %. Toteutuneisiin hankkeisiin pohjaavien tietojen valossa Suomeen jäävä osuus on kuitenkin alhaisempi, jopa

luokkaa 15 %. Tärkein eroa selittävä tekijä on se, että monia työvaiheita, joita voitaisiin tilastojen valossa tehdä kotimaisella osaamisella, kuten pystytys- ja huoltovaihe, tehdään ulkomaisin voimin.

Tähän selvitykseen eri lähteistä kootut tiedot luovat lopulta varsin yhteneväisen kuvan tuulivoiman talous- ja työllisyysvaikutusten kohdentumisesta. Tuulivoimahankkeen sijaintikuntaan jää nykytilanteessa parhaimmillaankin alle 6 % ja maakuntaan ja muualle Suomeen alle 10% rakentamisen aikana syntyneistä kokonaisinvestoinneista. Kunnissa, joissa tuulivoiman tarvitsemia palveluita on tarjolla vähemmän, voi osuus jäädä 1,5 %:iin. Vastaavasti maakunnallisten ja valtakunnallisten toimijoiden osuus on näissä kunnissa isompi.

Kuten taulukosta 11. voidaan huomata, riippuvat tuulivoimahankkeen tuottamat tulo- (ja työllisyys)vaikutukset suuresti siitä, millaisia tuulivoimapalveluita alueelle syntyy, sekä siitä, omistetaanko puisto kokonaan tai osittain paikallisesti.

Mikäli maakuntaan vuoteen 2030 mennessä rakentuvan noin 7 000 MW:n uuden tuulivoimakapasiteetin huollot tehtäisiin pääosin paikallisin voimin, tarkoittaisi tämä yhteensä noin 2,5 miljardin euron lisätulo-vaikutusta maakunnalle. Jos tähän lisättäisiin 20 %:n alueellinen omistusosuus tuulivoiman tuotannossa, päästäisiin jo viiden miljardin tulonlisään. Vertailun vuoksi voidaan mainita, että kiinteistöverotulot ja vuokratulot jäävät yhteensä alle kahteen miljardiin. Fokusta olisikin jatkossa suunnattava tuulivoimapalveluiden kehittämiseen ja tuulivoiman (osa)omistuksen mahdollistamiseen. Seuraavalla sivulla on kuvattu oikeilla kehittämistoimilla saavutettavia vuositaso tulovaikutuksia Pohjois-Pohjanmaan maakuntaan vuonna 2030.

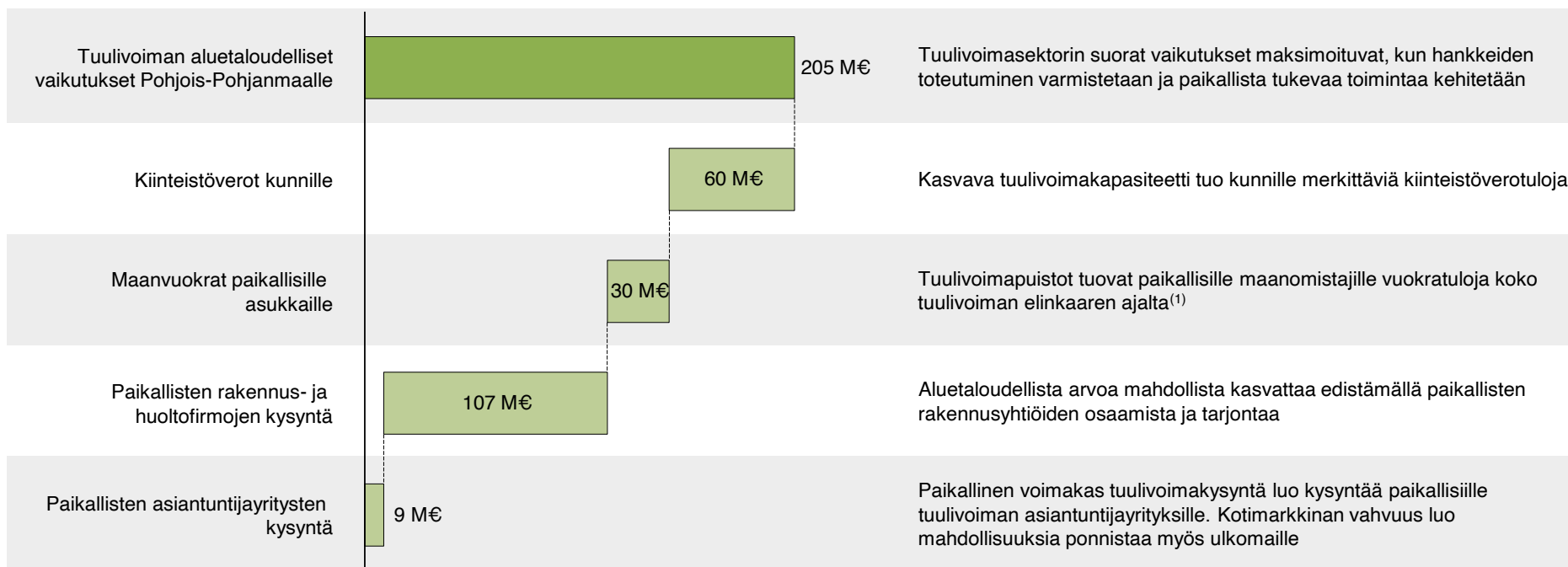
Myös koko Suomen tasolla keskeisenä tuulivoimasektorin kehittämiskohteena nousee esiin tarvittavan työvoiman ja osaamisen turvaaminen eri aluetasoilla, erityisesti puistohankkeiden läheisyydessä. Mikäli



Kuvio 40. Tuulivoiman suorat vaikutukset

# TUULIVOIMATUOTANNON SUORAT ALUEELLISET VAIKUTUKSET JOPA 200 M€ VUONNA 2030

M€



(1) Oletuksena, että 75 % maanvuokrasta kohdistuu yksityisille maanomistajille (Vähähiilinen Lappi -hanke 2020)

Huom. Laskelman oletukset: vuonna 2030 Pohjois-Pohjanmaalla 150 tuulivoimapuistoa, jotka 10 tuulivoimalaa per puisto, 6 MW per voimala

Lähde: Spring-Analyysi

koulutettua työvoimaa ja soveltuvaa kalustoa olisi käytettävissä suunnitteluun, perustusten tekoon, voimaloiden pystytykseen, huolto- ja ylläpitotoimiin sekä hallinnointiin, voisi Suomeen jäävä osuus nousta yli 50 %:n tasolle. Mikäli myös tuulivoimateknologian valmistusta, kuten turbiinien kokoonpanoa tai tornien valmistusta saadaan laajassa mittakaavassa Suomeen, voisi maahamme jäävä osuus tuulivoiman tulo-vaikutuksista nousta vielä huomattavasti korkeammalle tasolle.

Mikäli osaamista kehitetään, kaikki keskeiset tuulivoimasektorin tarvitsemat palvelut on mahdollista toteuttaa myös pohjoispohjanmaalaisiin voimin, jolloin maakuntaan voisi jäädä pääosa tuulivoimasta Suomeen jäävistä tuloista. Kuntien tasolla satsaukset maanrakennustoimintaan sekä huolto- ja ylläpito-yritysten houkutteluun voivat jopa kaksinkertaistaa tuulivoiman tulo- ja työllisyysvaikutukset. Useat tuulivoimakunnat ovatkin kertoneet aloittaneensa tai suunnittelevansa erilaisia hankkeita uuden osaamisen kehittämiseksi.

Myös alueellisten energiayhtiöiden ja muiden toimijoiden aktiivisuus ja omistus puistohankkeissa kasvat- taisivat oleellisesti alueelle jäävää tulovaikutusta. Toi- saalta vastaavaan tai parempaan sijoitetun pääoman tuottoon voi päästä myös muissa kohteissa. Alueelli- sen omistuksen rooli voikin olla tärkeä erityisesti hankkeiden sosiaalisen hyväksyttävyyden kannalta.

Tärkein haastatteluiden ja kyselyiden tuottama ha- vainto on, että tiedot tuulivoimainvestointien talous- ja työllisyysvaikutusten kohdentumisesta ovat varsin puutteelliset niin julkishallinnossa kuin yrityksissä- kin. Tiedon puute on hankaloittanut myös sektorin ke- hittämissuunnitelmien kohdentamista. Tämä selvitys pyrkii osaltaan parantamaan tilannetta. Jatkossa tar- vitaan kuitenkin pysyväluonteinen järjestely tuulivoi- man talous- ja työllisyysvaikutusten kohdentumista koskevan tiedon keräämiseksi ja tilastoimiseksi. Myös aihepiirin tieteellistä tutkimusta olisi tärkeää resursoi- da. Kuten eräs haastateltava totesi, “kuntien kannalta keskeisiä päätöksiä ei voi enää tehdä mututuntumalla”.

## Osion pääviestit

- Tuulivoiman elinkaarisista investoinneista jää toteutuskuntiin, maakuntaan ja Suomeen pienempi osuus kuin aiemmin on luultu.
- Tuulivoimateknologian valmistaminen sekä maansiirto- ja pystytysosaamisen lisääminen nostaisivat rakennusaikaisia talous- ja työllisyysvaikutuksia.
- Huolto- ja ylläpitotöissä merkittävin aluetalouspotentiaali.
- Myös alueellinen omistus voisi tuoda huomattavia tulovaikutuksia.
- Tuulivoiman aluetalous- ja työllisyysvaikutuksia koskevia tietoja tulisi jatkossa tilastoida johdonmukaisesti.
- Osaaminen ja sen kehittäminen koetaan vihreän siirtymän suurimmaksi riskiksi ja samalla myös suurimmaksi mahdollisuudeksi.
- Osaamisen kehittämisellä saataisiin huomatta- via talous- ja työllisyysvaikutuksia tuulivoima- kuntiin ja vähähiilisen teollisuuden solmukohtiin.
- Tuulivoimasektorilla kova pula asentajista ja myös monista muista teknisen alan osaajista.
- Erityisesti sähköasentajien koulutukseen olisi panostettava.
- Tuulivoiman toteutuneita talous- ja työllisyys- vaikutuksia koskevan faktatiedon puute voi heikentää tuulivoimapäätösten sosiaalista hyväksyttävyyttä.
- Tuulivoimaa koskevan kaavoituksen ja alue- suunnittelun tulisi mahdollistaa kuntien, maa- kunnan ja valtakunnan kannalta optimaalisten energiantuotannon kokonaisuuksien rakentu- minen.

# 5. Tuulivoimaosaamisen kehittäminen

## Osaamisen ja koulutuksen kehittämistarpeet

Tuulivoimaosaamisella voidaan tarkoitaa kaikkea sitä osaamista, jota tarvitaan tuulisähkön tuotantoon sekä vaihtelevan tuotannon käyttöön yhteiskunnassa. Uudenlaista osaamista tarvitaan niin tuulivoimatyömailla kuin vaikkapa kulutusjoustoautomaation suunnittelussa ja asennuksissa. Tuulivoimaosaamisen kehittäminen nähdäänkin tässä selvityksessä huomattavasti laajempaan tutkimuksen ja koulutuksen haasteena kuin monissa aiemmissa selvityksissä.

Kun tuulivoima oli vain marginaalinen energiantuotannon muoto, se voitiin nähdä lähinnä energia- ja ympäristötekniikkaan ja ilmastonsuojeluun liittyvänä kysymyksenä. Tuulivoiman muodostuttua keskeiseksi sähköntuotannon muodoksi siihen kytkeytyvät aiempaa laajemmin erilaiset energiainfrastruktuurin ja energiapolitiikan isot ja myös kansainväliset kysymyksenasettelut. Kuten olemme saaneet huomata, energiantuotanto on läheisesti kytköksissä myös ulko- ja turvallisuuspolitiikkaan. Tuulivoimaan ja vähähi-

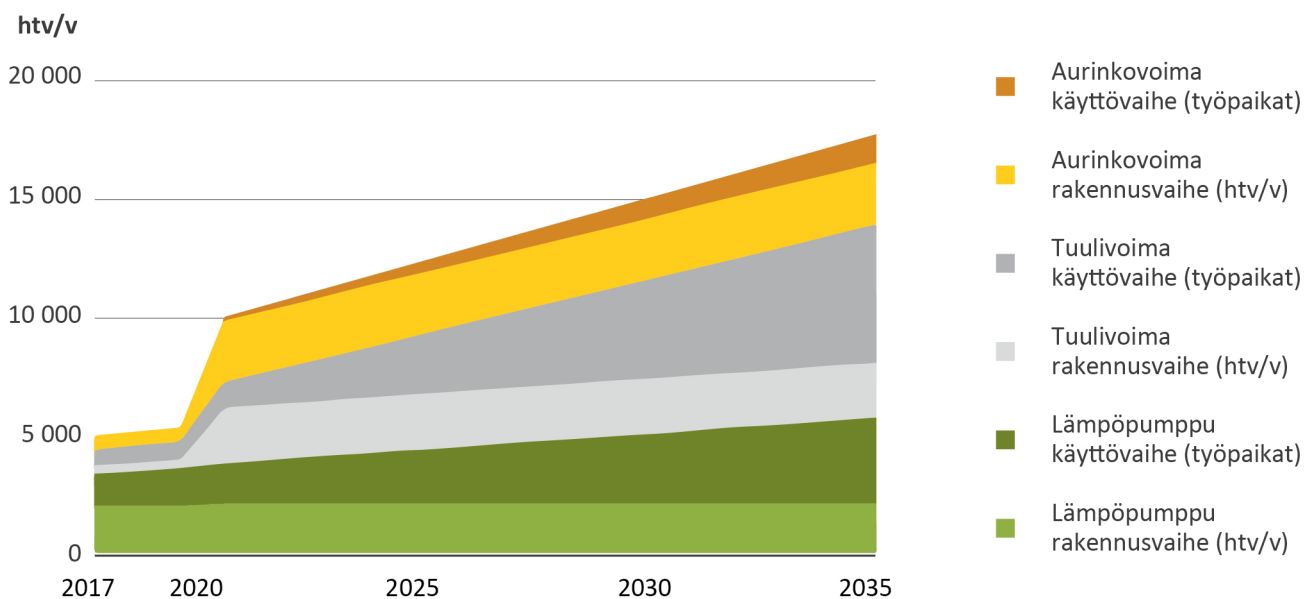
liseen energiajärjestelmään liittyvää osaamista ja ymmärrystä tarvitaan käytännössä kaikilla koulutusasteilla, kaikilla hallinnon sektoreilla ja kaikissa sähköä käyttävissä yrityksissä ja kotitalouksissa.

Koulutussektori ei ole pysynyt tuulivoiman ja muiden uusiutuvien energiamuotojen kasvun vauhdissa. Esimerkiksi varsinaista tutkintoon johtava tuulivoimalan koulutusta ei Suomessa ole vielä tarjolla, vaikka jo pystytetyn tuulivoimakapasiteetin elinkaaren aikainen kokonaistuloaikutus on reilusti yli 10 miljardia ja tuulivoiman suorien työllisyysvaikutusten arvioidaan olevan vuositasolla jo noin 10 000 henkilötyövuotta. Alalla vallitseekin osin koulutuksen puutteesta johtuva ankara työvoima- ja osaaajapula.

Alla olevaan kuvaajaan on koottu arvioita vähähiilisen energiantuotannon työvoimatarpeesta (ei sisällä laitteiden tai komponenttien valmistusta):<sup>43</sup>

43 Ohrling, T., Heiskanen, E., Matschoss, K. 2021. Energiamurros ja osaaminen: tarkastelu energiamurroksen avainalojen ammatillisista osaamis- ja koulutustarpeista. Aalto-yliopiston julkaisusarja

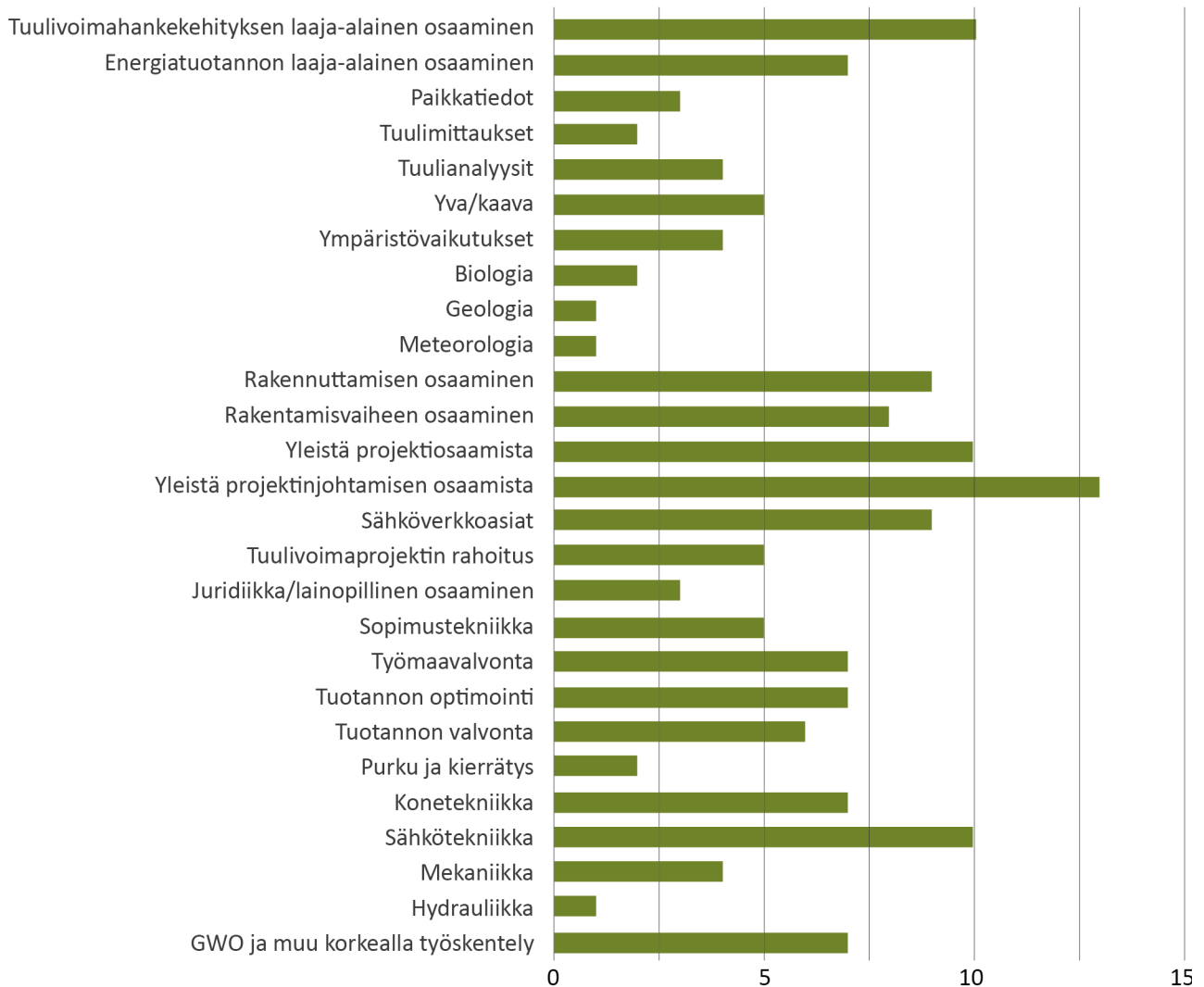
**Kuvio 41. Työvoiman tarve**



## Kuvio 42. Tuulivoimayhdistyksen jäsenkysely työvoiman tarpeesta (vastausten koonti)

### Yritykseni tarvitsee etenkin seuraavanlaista osaamista (voit valita monia vaihtoehtoja)

24 vastausta



Lähde: Suomen Tuulivoimayhdistys: Osaamistarpeet ja rekrytointinäkyvät tuulivoima-alalla Suomessa 2021.

## Koulutus

Kun puhutaan erilaisten toimintojen sähköistämistä keskeisenä päästövähennyskeinona, tuntuu usein unohtuvan, että sähköistäminen tarkoittaa myös mittakaavaltaan valtaisa ja vuosikymmeniä kestävä asennusurakkaa, jota varten olisi koulutettava suuri joukko uusia sähköalan ammattilaisia.

Tuulivoimaloiden toimittajien haastatteluissa nousi esiin vahva huoli sähkö- ja automaatioasentajien tai muun soveltuvan ammattillisen koulutuksen omaavien asentajien saatavuudesta. Voimalavalmistajat

voisivat kurssittaa sopivan taustan omaavat ammattilaiset esimerkiksi generaattoreiden huolto- ja asennustöihin, jos soveltuvan pohjakoulutuksen omaavia henkilöitä löytyisi.

Osaajien määrän lisäksi ongelmia nähdään myös laadussa. Tuulivoimaloilla tehtävä työ vaatii teknisen osaamisen lisäksi sujuvaa englannin kielen taitoa, hyvät it-valmiudet sekä kyvyn työskennellä korkeilla paikoilla. Näitä ominaisuuksia ei ole riittävän monella ammattikoulusta valmistuvalla.

Kuten Suomen Tuulivoimayhdistyksen vuonna 2021 toteuttamasta jäsenkyselystä (kuviokuva 42) ilmenee, koko tuulivoima-alan näkökulmasta suurin tarve on energiantuotannon laaja-alaisille osaajille, projektijohtamisen osaajille ja sähköasentajille.

Tuulivoimasektorin osaajavaje on osa laaja-alaisempaa ilmiötä. Lukuisilla keskeisillä teollisuudenaloilla on kärsitty työvoimavajeesta jo pitkään. Pula sairaaloiden hoitohenkilökunnasta on otsikoissa tätä kirjoitettaessa. Suorittavan työn arvostus ja palkkaus on nähty liian alhaiseksi. Toisaalta yritysten mukaan uutta osaavaa työvoimaa ei vihreän siirtymän toimialoille välttämättä saada millään riittävästi Suomesta, vaan työvoimaa pitäisi houkutella myös maan rajojen ulkopuolelta.

Tehtyjen selvitysten, haastattelujen ja internet-hakujen tuloksena Suomesta ei löytynyt yhtään toiminnassa olevaa tuulivoima-alan tutkintoon johtavaa koulutusohjelmaa. Valmiiksi tuulivoima-alalla työskenteleville on tarjolla noin 24 lähioiskelupäivää sisältävä täydennyskoulutus OSAO:sta. Vaasan ammattikorkeakoulussa tarjotaan viiden opintopisteen laajuista kokonaisuutta “Tuulivoimahankkeen suunnitteluprosessi”. Tampereen yliopistosta löytyy samoin viiden opintopisteen kurssi “Tuulivoiman perusteet”. Lisäksi eräs haastateltavista muisteli, että Keski-Pohjanmaalla olisi jossain oppilaitoksessa tarjottu tuulivoima-alan opintoja, mutta siitä ei löytynyt viitteitä internet-hauissa.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa (XAMK) on ollut hanke tuuli- ja aurinkovoiman koulutuskeskittymän rakentamiseksi, mutta hanke ei johtanut jatkotoimiin ilmeisesti siksi, että puolustusvoimat eivät salli tuulivoimarakentamista alueelle. Suomen Tuulivoimayhdistyksen tai muidenkaan haastateltavien tiedossa ei ollut konkreettisia suunnitelmia uusien koulutuslinjojen perustamiseksi Suomessa. Eri toimijoilta saatujen tietojen mukaan useampikin koulutustoimija kyllä pohtii aktiivisesti mahdollisuuksia koulutuksen aloittamiseen.

Tiedusteltaessa syitä sille, miksei koulutusta ole tarjolla, useimmat vastaajat viittaavat alan nuoruuteen. Pieni määrä tuulivoimarakentamista ei ole juuri vaikuttanut teknisen alan työvoiman saatavuuteen, ja alkuvaiheessa on opittu tekemällä. Ala on vasta viimeisen vuoden aikana alkanut hahmottua Suomessa merkittävänä teollisuutena. Tuulivoiman tuotanto on heittänyt epäilyksiä, mutta nyt on varmistumassa, että se tulee olemaan seuraavat vuosikymmenet keskeinen osa suomalaista yhteiskuntaa. Voidaan ajatella, että juuri nyt on oikea momentum alan koulutuksen käynnistämiseksi.

Teknisesti tarkasteltuna tuulivoimalat rinnastuvat muihin sähkövoimakoneisiin, generaattoreihin ja turbiineihin. Alan yritykset pitävätkin tärkeänä pohjana mahdollisimman hyvää yleistä kone- tai sähkötekniikan osaamista. Tuulivoimaa koskevia opintokokonaisuuksia toivottiin laajasti teknisen alan oppilaitoksiin ja yliopistoihin. Toisaalta liian spesifi koulutus sisältää riskin tietojen vanhentumisesta generaattoreiden ja muiden komponenttien kehittyessä nopeasti.

Energiamurroksen teknologinen toteuttamistapa ja aikajänne on vielä avoin. Tästäkin johtuen liian tiukasti rajatut erikoiskoulutukset sisältävät riskin siitä, ettei kysyntää hankitulle osaamiselle löydykään. Sähkö- ja konetekniikan, ICT-sektorin sekä esimerkiksi kemiantekniikan opinnot toimivat pohjana laajaan kirjoon erilaisia vihreän siirtymän tuottamia uusia tehtäviä ja vastaavat myös perinteisen teollisuuden osaajavajeeseen.

## **Yritysten osaamisen kehittäminen**

Tuulivoimasektori tarjoaa mahdollisuuksia erityisesti maanrakennus-, sähkö- ja konetekniikan asiantuntijayrityksille. Tuulivoimasektorille on kehittynyt vaikiintunut toimintamalli ja standardit, joiden on täyttyvä urakoiden saamiseksi.

Pienten ja keskisuurten maanrakennusyritysten kalusto ja osaaminen ei tuulivoimayhtiöiden tai vastuulisten pääurakoitsijoiden mukaan nykyisellään aina täytä vaativan voimalaitostyömaan vaatimuksia. Lisäksi yritysten kokoluokka ei täytä jopa kymmenien miljoonien eurojen kokonaisurakoissa asetettavia kriteerejä yrityksen liikevaihdon ja vakuuksien osalta. Näistä syistä valtaosa tuulipuistojen maanrakennusurakoista menee muutamalle kokeneelle valtakunnalliselle yritykselle ja paikallisille pienemmille yrityksille jää vain pienempiä aliurakoita, jos niitäkään.

Haastateltujen alan toimijoiden mukaan myös maanrakennusalan koulutukseen voitaisiin hyvin liittää tuulivoimarakentamisen suuntautumisvaihtoehto tai täydennyskoulutus. Alan yrityksille voitaisiin myös suunnata koulutuspaketteja erilaisten kehittämishankkeiden toimesta etenkin alueilla, joilla työllistävälle toimille on tarvetta. Esteenä voi olla myös kielitaito, sillä työmailla työkielenä on useimmiten englanti. Myöskään olemassa oleva kalusto ei aina sovi tuulivoimatyömaille, joilla yleisenä standardina on 3-D-koneohjaus kaikissa maamassoja siirtävissä työkooneissa.

Tuulivoimaloiden huoltotoimintaa tehdään läheisessä vuorovaikutuksessa voimalavalmistajien kanssa. Usein huoltotoimintaa harjoittavat voimalatoimittajien omat paikalliset tiimit.

Huoltotoiminnan saaminen kuntaan edellyttää riittävä, yli sadan yksikön voimalakantaa lähialueelle. Lisäksi on löydettävä riittävät tilat varikolle.

Sähköalan urakoitsijoihin pätevät osin samat vaatimukset kuin muihinkin tuulivoimatöihin. Koska urakat voivat olla mittavia, ei kovin pieniä alueellisia toimijoita voida käyttää. Erilaiset alueellisten yrittäjien yhteenliittymät tai vaikkapa kuntien antamat vakuudet voisivat helpottaa tuulivoimaurakoiden saamista. Vahva alueellinen veturiyritys voi myöskin vetää pienempiä toimijoita mukanaan.

Osaamisen ja kokemuksen karttuessa mahdollisuudet urakoiden saantiin paranevat.

Mikäli peruskriteerit täytettäviä toimijoita löytyy tuulivoimahankkeiden lähialueelta, on niiden käyttäminen tuulivoimayhtiölle tai kokonaisurakoiden toteuttajille yleensä kustannustehokkain vaihtoehto. Tuulivoimayhtiöillä on myös tiedossa, että paikallisen työvoiman käyttö parantaa hankkeiden hyväksyttävyyttä ja tuo yhtiölle hyvää mainetta. Paikallisen osaamisen ja palveluiden parantaminen tuulivoima-alueilla onkin win-win-tilanne, joka lisää alueiden elinvoimaa, alentaa tuulivoimahankkeiden kustannuksia ja edistää myös koko alan kasvua.

Nuorten kielitaitoisten ammattilaisten houkuttelemisen tuulivoima-alalle on välttämätöntä, jos tuulivoimaa halutaan rakentaa ja ylläpitää nykyistä enemmän kotimaisin voimin. Osaamista kehittämällä kotimaiset tiimit voisivat mahdollisesti jatkossa toteuttaa myös vaativat voimaloiden pystytykset sekä turbiinien ja siipien asennukset, jotka nykyisellään hoidetaan yleensä ulkomaisten yritysten toimesta.

Koska suunnittelun ja hallinnoinnin osuus hankkeiden työllistävyydestä on vain joitakin prosentteja, ei työvoimapula tällä sektorilla ole vielä yhtä paha kuin asentaja- ja projektijohtopuolella. Hankekehityspuolella voidaan myös työskennellä monenlaisilla koulutusohjilla. Haastatelluista tuulivoima-alan toimijoista useimmilla ei ollut tuulivoima-alan tutkintoa, mikä on ymmärrettävää, koska varsinaista tutkintoon joltavaa koulutusta alalle ei ole ollut Suomessa tarjolla.

Haastateltavat kertoivat tuulivoimayritysten rekrytoivan runsaasti vastavalmistuneita insinöörejä ja muun muassa aluesuunnittelijoita. Tämä on osasy siihen, että myös joidenkin kuntien ja maakuntien kaavoituksessa ja aluesuunnittelussa on osaajapulaa, joka voi hidastaa tuulivoimarakentamista.

## Alan houkuttelevuuden nostaminen

Monet haastatellut yritykset toivovat toimenpiteitä ammatillisen koulutuksen houkuttelevuuden kohentamiseksi nuorten parissa. Ammattikoulujen ja -opistojen ongelmat ja huoli opetuksen tasosta ovat olleet viime aikoina julkisuudessa ja ne voivat edelleen heikentää alan koulutuksen hakijamääriä. Jotkin yritykset näkivät, että ammattikoulujen heikko asema voi johtua myös ammattikorkeakoulujen koulutustarjonnan kasvusta. Lähes kaikki yritykset toivoivat ammattikoulupohjalta tehtävän työn arvostuksen nousua yhteiskunnassa. Liian korkean koulutusihanteen nähdään jo vaikeuttavan yhteiskunnan perustoimintojen ylläpitämistä.

Tuulivoima-alaa voitaisiin markkinoida aktiivisemmin sekä nuorille että potentiaalisille alanvaihtajille. Tuulivoiman keskeinen merkitys vihreälle siirtymälle ja ilmastonmuutoksen torjumiselle pitäisi nostaa entistä vahvemmin esiin. Ala tarjoaa vakaat työllisyysnäkymät, suhteellisen hyvän ansiotason ja mahdollisuuden parantaa maailmaa.

Koulutuksen ja osaamisen kehittämisen rinnalla alan yritykset kaipaavat toimenpiteitä usein kaukana kasvukeskuksista sijaitsevien tuulivoima-alueiden houkuttelevuuden parantamiseksi. Pieniin syrjäisiin kuntiin on usein lähes mahdotonta löytää riittävästi työntekijöitä. Yhteistyössä kuntien kanssa voitaisiin kuitenkin tarjota tulijoille laadukkaita ja edullisia asumisratkaisuja, hyviä koulu- ja terveyspalveluita, vapaa-ajan aktiviteetteja ja kulttuuria. Luonnonläheinen tuulivoimatyö ja elämä maaseutumiljöössä voi tarjota korkeamman elämänlaadun. Yhteistyötä voikaapa matkailu- tai metsäsektorin kanssa voisi tarjota työtä niille perheille, joissa vain toinen työllistyy tuulivoima-alalle.

Syksyllä 2022 Pohjois-Pohjanmaan yleinen työttömyysaste oli 9,3 % ja työttömiä työnhakijoita oli 17 500. Pohjois-Pohjanmaalla oli ammattialoista eniten

työttöminä opettajia, graafisia suunnittelijoita, yleisihteerejä ja myyjiä.<sup>44</sup>

Vuonna 2019 jopa 40 % Pohjois-Pohjanmaan yrityksistä koki ongelmia tarvittavien osaajien rekrytoinnissa. Koronapandemia laski vuosina 2020–2021 työvoimatarvetta, mutta rekrytointihaasteet ovat jälleen kasvaneet. Vuoden 2021 tietojen mukaan työvoimapulaa koetaan varsinkin ICT:n, konepajateollisuuden, rakentamisen, kuljetuksen, konekorjauksen, myynnin, kiinteistöhoidon ja siivouksen sekä sosiaali- ja terveyspalvelujen aloilla.<sup>45</sup> Työvoimapulaa on juuri tuulivoimasektorin kannalta keskeisillä osaamisaloilla.

Sama alue voi kärsiä sekä työttömyydestä että työvoimapulasta. Työvoiman kysynnän ja tarjonnan kohtaantoon olisikin kiinnitettävä huomiota. Kroonisesta työvoiman ylitarjonnasta kärsivien alojen osaajia voitaisiin mahdollisesti houkutellessa alanvaihtoon tai rinnakkaisen ammatin hankkimiseen työvoimapulasta kärsivältä tuulivoimasektorilta.

Pohjois-Pohjanmaalla on vankkaa taustaa tuulivoimateknologian tuottajana alueella toimineen WinWindvoimalavalmistajan myötä. Yhtiön vuonna 2013 tapahtuneesta konkurssista johtuen alan huippua edustanut osaaminen on nyt hajallaan eri puolilla maakuntaa. Tuulivoimaloiden rakentamisen ja huollon rinnalla Pohjois-Pohjanmaalla voitaisiin koota jälleen yhteen tuulivoimateknologian osaamista.

Tuulivoimageneraattorien ja siipien valmistuksen saamista maakuntaan tai koko Suomeen pidetään alan toimijoiden piirissä epärealistisena, mutta erilaisten komponenttien, tornielementtien, jäänestön ja muun tarvittavan sähkötekniikan ja digitaalisten ratkaisujen kehittäminen ja valmistus tarjoaa maakunnalle merkittäviä mahdollisuuksia. Erityisesti merituulivoima

44 Unemployed jobseeker's percentage of the workforce. Elinkeino- ja ympäristökeskus, TE-palvelut. Työ- ja elinkeinoministeriö.

45 Nieminen, J., Ahtinen, S.-M., Henriksson, A. 2021. Alueelliset kehitysnäkymät keväällä 2021. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2021:31. Työ- ja elinkeinoministeriö.

vaatii vielä runsaasti kehitystyötä ja Pohjois-Pohjanmaalla olisi hyvät valmiudet alan TKI-toimintaan sekä osaamisen ja työllisyyden kehittämiseen.

Tuotannoltaan vaihtelevan tuulivoiman optimaalinen hyödyntäminen yhteiskunnan eri sektoreilla vaatii huomattavaa teknologista kehitystyötä. Erilaisten älykkäiden kuormien ohjauksen ratkaisujen markkinoiden voi arvioida kasvavan räjähdysmäisesti sähkön voimakkaan hintavaihtelun myötä. Oulun yliopisto on alan johtavia kehittäjiä Suomessa ja siten Pohjois-Pohjanmaan ICT-sektorilla olisi mahdollisuudet merkittävän liiketoiminnan kehittämiseen.

Tuulivoimaan liittyvää yliopistotutkimusta on Suomessa tehty varsin niukasti. Uutta tutkimustietoa tarvittaisiin kipeästi mm. tuulivoiman talous- ja työllisyysvaikutuksista, tuulivoiman ja muun sähköjärjestelmän yhteensovittamisesta, tuulivoiman huolto- ja toimitusvarmuuskysymyksistä sekä tuulivoiman ja muun vihreän siirtymän infrastruktuurin vaatiman laaja-alaisen aluesuunnittelun ja aluekehityksen kysymyksistä. Johtavana tuulivoimamaakuntana Pohjois-Pohjanmaa yhdessä Oulun yliopiston kanssa olisi luonteva kiintopiste tuulivoima-alan tutkimukselle.

## Talousvaikutukset ja tuulivoiman sosiaalinen hyväksyttävyyden

Vähähiilinen energiainfrastruktuuri on muodostunut näkyväksi ja kansalaisten arkeen laajasti vaikuttavaksi tekijäksi. Erityisesti tuulivoima ja sen vaatima sähkönsiirto tuottavat haittoja niiden lähialueille. Kunnilla ja niiden luottamusjohtolla on valta päättää, toteutetaanko vihreän siirtymän edellyttämiä investointeja vai ei. Päätökset riippuvat oleellisesti siitä, koetaanko investoinneista saadut hyödyt haittoja suuremmiksi.

Tuulivoiman sosiaalisen hyväksyttävyyden kysymyksiä on Suomessa selvitetty vuosien varrella useilla tutkimuksilla.<sup>46,47</sup> Lisäksi yksittäisten tuulivoimahankkeiden sekä kuntien ja maakuntien tuulivoimakaavoituksen yhteydessä on kartoitettu asukkaiden näkemyksiä tuulivoimasta ja myös sen aiheuttamista haitoista. Aikaisemmissa tutkimuksissa talous- ja työllisyysvaikutukset ovat olleet varsin heikosti edustettuna, joten tässä selvityksessä tarkastellaan erityisesti näiden tekijöiden vaikutusta tuulivoimahankkeiden hyväksyttävyyteen.

Hankkeen aikana tehdyissä kyselyissä ja haastatteluisissa kysyttiin Pohjois-Pohjanmaan kuntien edustajilta, kuinka tärkeäksi he kokevat kuntaan kohdistuvat talous- ja työllisyysvaikutukset hankkeiden sosiaalisen hyväksyttävyyden kannalta. Kaikki vastanneet totesivat, että tuulivoiman kuntaan tuoma taloudellinen hyöty on keskeisin peruste tuulivoimapäätöksille.

Monet vastaajat kertoivat lisäksi, että tuulivoimapäätösten perusteluina käytettävien talous- ja työllisyysvaikutusten arvioiden tulisi perustua vahvaan faktapohjaan, jotta tuulivoiman sosiaalinen hyväksyttävyyden säilyisi myös jatkossa. Kuten tuulivoiman talous- ja työllisyysvaikutuksia kuvaavassa osiossa tuodaan esiin, on tietopohja tuulihankkeiden vaikutuksista vasta rakentumassa. Siten on mahdollista, että toteutuvat vaikutukset voivat erota huomattavastikin päätösten perusteena käytettävistä arvioista.

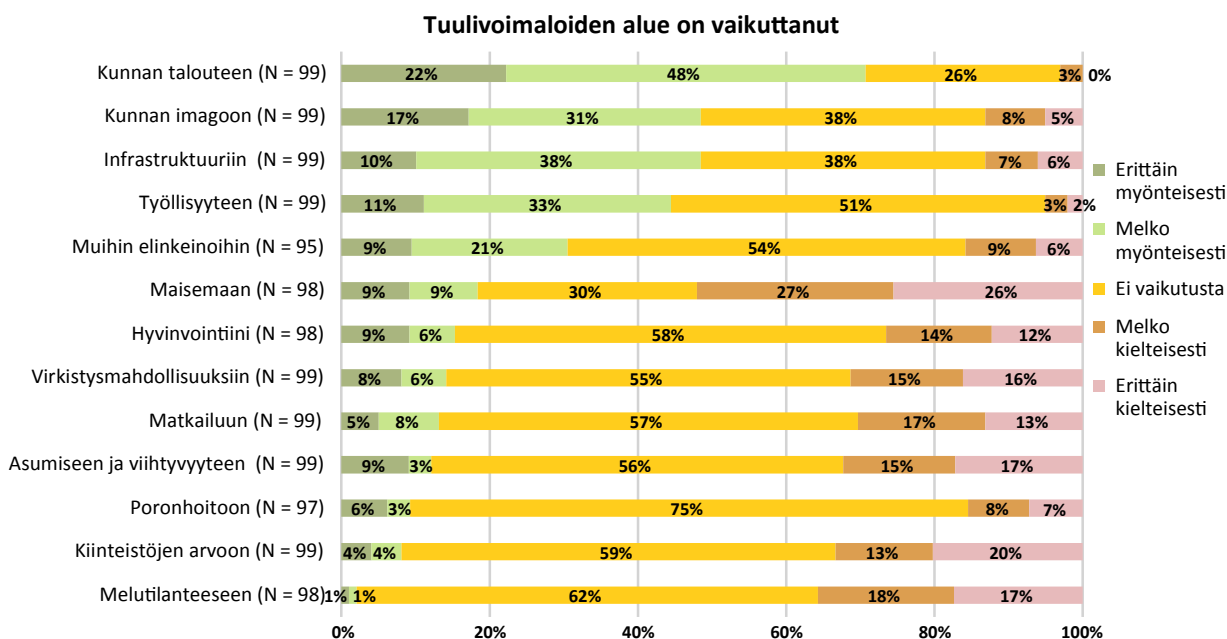
Tuulihankkeista toteutuskuntaan varmuudella saatavia tulovaikutuksia ovat kiinteistöverotulot. Kaikki muut tulot riippuvat maanomistajien, yritysten ja työntekijöiden kotipaikoista ja toisaalta kunnan tarjoamista palveluista. On mahdollista, että pienten kuntien reuna-alueilla, esimerkiksi valtion maille toteutettavat hankkeet, eivät tuota kiinteistöveron lisäksi juuri muita vaikutuksia.

46 Hyttinen, H. 2019. "Sitten sitä ei tehdä." – Sosiaalinen hyväksyttävyyden tuulivoimahankkeissa. Opinnäytetyö. Itä-Suomen yliopisto

47 Eronen, J., Lintilä, A. 2020. Tuulivoiman sosiaalinen hyväksyttävyyden Pohjois-Karjalassa. Opinnäytetyö. Karelia-ammattikorkeakoulu



**Kuvio 43. Tuulivoimaloiden alueen vaikutus Hyrynsalmen ja Suomussalmen vastaajien mukaan**



Kiinteistöverot tulevat kunnan kassaan ja voivat paikata budjettivajetta tai mahdollistaa kunnan palveluiden parantamisen. On tärkeää huomata, että kiinteistöverojen huomattava kasvu voi alentaa vastaavasti kunnan saamia valtionosuuksia, jolloin positiivinen vaikutus kuntalaisten palveluihin voi jäädä vähäiseksi.

Tuulivoiman vaikutus maisemaan on usein varsin konkreettinen, mutta kiinteistöveron tuoma hyöty kuntalaisille voi varsinkin isommassa kunnassa jäädä kohtalaisen näkymättömäksi. Kunnan asukkaat hyötyvät kunnan saamista lisäresursseista eri tavoin. Runsaasti kunnan palveluita käyttävät hyötyvät enemmän kuin ne, jotka eivät palveluita juuri tarvitse.

Osana Kainuun tuulivoimamaakuntakaavan päivitystä tehtiin kysely Hyrynsalmen ja Suomussalmen kuntien asukkaille alueelle vuonna 2017 valmistuneen tuulipuiston (30 kpl 3,6 MW:n voimalaa) myötä koetuista vaikutuksista.<sup>48</sup>

Hiukan yli puolet vastaajista koki, ettei tuulivoimalla ole ollut myönteistä vaikutusta työllisyyteen ja 69 %

koki, ettei myönteistä vaikutusta muille elinkeinoille ole havaittavissa. Vain 15 % vastaajista koki, että tuulivoimalla olisi ollut myönteinen vaikutus hyvinvointiin ja vastaavasti 12 % koki myönteisen vaikutuksen asumisviihtyvyyden kannalta.

Tuulivoimainvestointien valtaisan kasvun sosiaalisen hyväksyttävyyden varmistaminen edellyttää jatkossa kiinteistöverotulojen lisäksi myös muiden tuulivoiman positiivisten vaikutusten vahvistamista. Kuten talousvaikutuksia tarkemmin erittelevässä osiossa todetaan, tuulivoimasektorille tarvittaisiin kipeästi lisätyövoimaa, erityisesti kasvukeskusten ulkopuoliselle alueelle. Parempien tuulivoimaan liittyvien palveluiden kehittäminen pitäisikin jatkossa nähdä kuntien ja tuulivoimayhtiöiden vahvana yhteisenä intressinä.

Tuulivoiman työllistävän ja alueellista yritystoimintaa tukevan potentiaalin hyödyntäminen voi vahvistaa sosiaalista hyväksyttävyyttä suuremmin kuin kuntien nauttimat verotulot. Aktiivinen tuulivoimapalvelutoiminta näkyy kunnassa ja positiiviset vaikutukset heijastuvat laajasti muihinkin palveluihin ja elinvoimaan.

<sup>48</sup> Kainuun tuulivoimamaakuntakaavan seurantaraportti. Kainuun liitto 2020. (Kuvio 43.)

Vaikka tuulivoima ja sen mahdollistama yritystoiminta tarjoaa merkittäviä taloudellisia potentiaaleja, on tuulivoiman tuottamat hyödyt ja haitat kunnalle ja tärkeille toimialoille arvioitava realistisesti. Tuulivoimapäätösten tueksi on jatkossa saatava tarkat, vastavissa hankkeissa toteutuneisiin vaikutuksiin pohjautavat laskelmat, joita voidaan verrata esimerkiksi luontomatkailun tai porotalouden kärsimiin haittoihin. Kun hyödyistä ja haitoista on euromääräiset laskelmat, pystytään todellisia haittoja muille elinkeinoille myös kompensoimaan.

Keskustelua tuulivoiman haitoista ovat kehityksen varhaisvuosina leimanneet erilaiset ennakkoluulot ja imaginäärisetkin tekijät. Toisaalta tuulivoimaa on myös kannatettu usein eettisin tai omaan maailmankatsomukseen pohjautavien perusteiden avulla. Tuulivoiman kasvun myötä siitä tulee teollisuudenala muiden joukkoon. Perinteisempiä teollisia investointeja, kuten metsäteollisuutta, suunniteltaessa toteutusalueelle koituvat talous- ja työllisyshyödyt tunnetaan tarkasti, ja niitä voidaan peilata mahdollisiin haittoihin. Vastaavan menettelyn soisi yleistyvän myös tuulivoimasektorilla.

Tuulivoiman vaihtelevan tuotannon aiheuttaman kysynnän ja tarjonnan epätasapainon kustannusten jakautuminen on myöskin oleellinen kysymys sosiaalisen hyväksyttävyyden kannalta. Mikäli hintavolatiliiteetti on suurta jatkossakin, olisi tärkeää varmistaa, että se koskee laajasti koko sähkömarkkinaa, eikä tuota ylitsepääsemättömiä tilanteita yksittäisille kansalaisille, pk-yrityksille tai maataloustuottajille. Tuulivoiman saarekekäytön mahdollistaminen parantaisi lähialueen energiaturvallisuutta ja voisi olla vahva sosiaalista hyväksyttävyyttä lisäävä tekijä.

## Mahdollistava maankäytön suunnittelu ja aluekehitys

Tuulivoimaa koskevan aluesuunnittelun voi nähdä itseään vahvistavana positiivisena tai negatiivisena kehänä. Positiivisella kehällä onnistunut suunnittelu takaa korkean sosiaalisen hyväksyttävyyden, sujuvat hallinnolliset prosessit ja hyvän investointiympäristön. Negatiivisella kehällä sosiaalinen hyväksyttävyys pahimmillaan menetetään eikä investointeja voida toteuttaa.

Kuten edellisessä osiossa on kuvattu, on riittävillä positiivisilla talous- ja työllisyysvaikutuksilla merkittävä rooli positiivisen kehän mahdollistajina. Tuulivoimaa koskevaa aluesuunnittelua ei tulisi siten nähdä vain haittojen minimointina vaan merkittävänä positiivisten vaikutusten mahdollistajana.

Kaikki uusiutuvan energian tuotantomuodot vaativat huomattavia maapinta-aloja. Fossiilisia raaka-aineita pyritään teollisuudessa korvaamaan biopohjaisilla jakeilla, joiden tuottaminen vaatii sekin merkittävästi pinta-alaa. Auringon säteilyä ja sadetta vastaanottavasta maa- ja metsäpinta-alasta onkin muodostumassa yhteiskunnalle keskeinen ja myös niukka resurssi.

Seuraavaan listaan on koottu tietoa eri energiamuotojen suorista maankäyttövaikutuksista:<sup>49</sup>

- Energiansäästö ja käytön tehostaminen (ei maankäyttövaikutuksia)
- Hukkavirtojen hyödyntäminen silloin, kun ne syntyvät tarpeellisesta tuotannosta, jolle ei ole tiedossa vaikutuksiltaan vähäisempää korvaajaa (ei maankäyttövaikutuksia)
- Aurinkovoima olemassa oleviin rakenteisiin integroituna (ei maankäyttövaikutuksia)
- Ydinvoima (2,9 km<sup>2</sup>/TWh)

49 Vaden, T., & Majava, A. (2023). Energiamurros ja metsäpinta-alan rooli suomalaisen yhteiskunnan aineenvaihdunnassa. *Alue Ja Ympäristö*, 51(2).

- Tuulivoima (1–10 km<sup>2</sup>/TWh, riippuen sijainnista, tuotannon tasaamisen, jalostuksen ja jakelun vaatimista rakenteista)
- Aurinkovoima (6–16 km<sup>2</sup>/TWh riippuen sijainnista, tuotannon tasaamisen, jalostuksen ja jakelun vaatimista rakenteista)
- Energiaturve (25–27 km<sup>2</sup>/TWh)
- Vesivoima virtavesiä patoamalla (680 km<sup>2</sup>/TWh)
- Puuenergia muista kuin jäte- ja hukkavirroista (1 300–1 500 km<sup>2</sup>/TWh)

Listaus perustuu suoriin vaikutuksiin eli pinta-alaan, joka ei voi olla muussa kuin mainitussa käytössä. Erittäin tuulienergian kohdalla maisemavaikutukset ja varoetäisyydet ovat huomattavasti laajemmat kuin suora vaikutus. Kuitenkin esimerkiksi metsätaloutta voidaan harjoittaa tuulipuistojen alueella.

Eri maankäytön muotoja voidaan jatkossa joutua Suomessa ja muuallakin maailmassa priorisoimaan aiempaa tiukemmin sen mukaan, millaisia kokonaisyhteyksiä ne tuottavat yhteiskunnalle. Huomattavista metsävaroista huolimatta puu on Suomessa muodostumassa varsin niukaksi resurssiksi, jonka käyttö olisi järkevää kohdistaa korkeamman lisäarvon kohteisiin. Mikäli puun saatavuus energiantuotantoon heikkenee, vaaditaan vastaavasti lisää muuta energiantuotantoa, kuten tuulivoimaa.

Energiantuotannon ja -kulutuksen kokonaistehokkuutta on nostettava, sillä maapinta-alamme ei riitä kaikkien tarpeiden tyydyttämiseen. Tehokkuusvaatimus voi vaikuttaa esimerkiksi vetytalouden toteuttamismahdollisuuksiin. Laajan vedyntuotannon edellyttämän jopa 50 GW:n tuulivoimakapasiteetin toteutta-

minen siten, että myös muut ympäristötavoitteet saavutetaan, tulee olemaan erittäin haastava tehtävä.

Ilmastotavoitteiden rinnalla vihreä siirtymä pyrkii myös luontokadon pysäyttämiseen ja laajaan luonnon ennallistamiseen. EU:n lanseeraamaan Kestävän rahoituksen taksonomiaan on sisällytetty “do no significant harm” -periaate, jolla pyritään siihen, etteivät esimerkiksi ilmastollisesti kestävätkin hankkeet aiheuttaisi haittoja muiden kestävyyskriteereiden osalta. Kestävän rahoituksen kriteeristöllä on merkittävä vaikutus tuulivoimainvestointien rahoituskustannuksiin. Vähähiilisen energian ja teollisuustuotannon huomattava kasvu voikin olla hankalasti yhteensovitettavissa muiden ympäristötavoitteiden kanssa. Tuulivoiman ja muun uusiutuvan energian tuotantoa voidaan joutua rakentamaan aiempaa lähemmäs asutusta ja muita jo ihmisen käytössä olevia alueita. Tämä taas korostaa entisestään sosiaalisen hyväksyttävyyden merkitystä.

Alueiden käytön suunnittelulla on oleellinen rooli myös toisen EU:n vihreän siirtymän ohjelman perusperiaatteen, sosiaalisen oikeudenmukaisuuden, kannalta. Sosiaalisella hyväksyttävyydellä tarkoitetaan usein kunta- ja aluetason kysymyksiä. Sosiaalisen oikeudenmukaisuuden toteutuminen on puolestaan laajempi rakenteellinen, jopa globaalin tason kysymys.

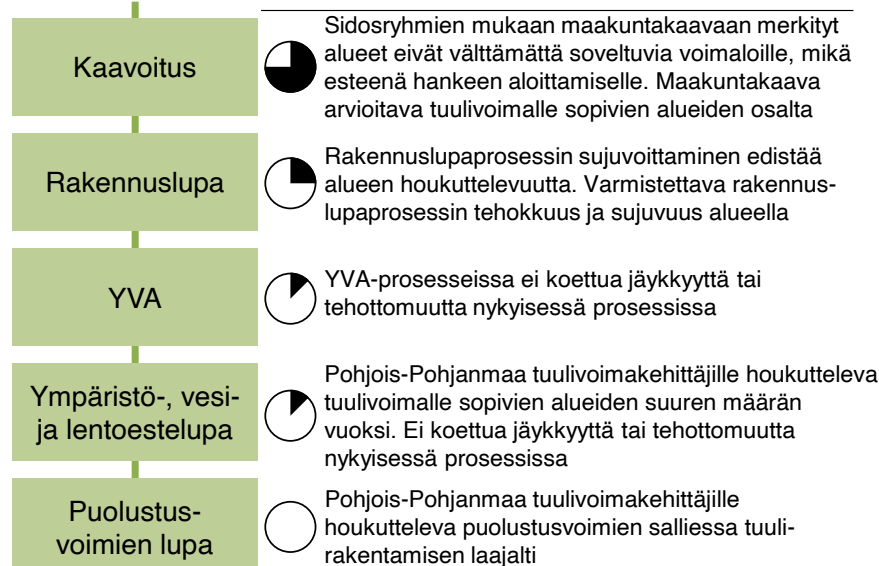
Aluesuunnittelulla on keskeinen vaikutus myös siihen, millaisia energiantuotannon, -siirron ja -kulutuksen järjestelmiä Suomeen toteutetaan. Kaavoitus ja lainsäädäntö eivät nykyisellään tue esimerkiksi alueellisten energiahuollon saarekkeiden toteuttamista, vaikka niillä voisi olla tärkeä rooli huoltovarmuudessa.

Kuvio 44. Julkisen sektorin tehtävät

# YHTEISKUNNAN TÄRKEIMMÄT TEHTÄVÄT SUJUVA LUPAPROSESSI JA RIITTÄVÄ KOULUTUS

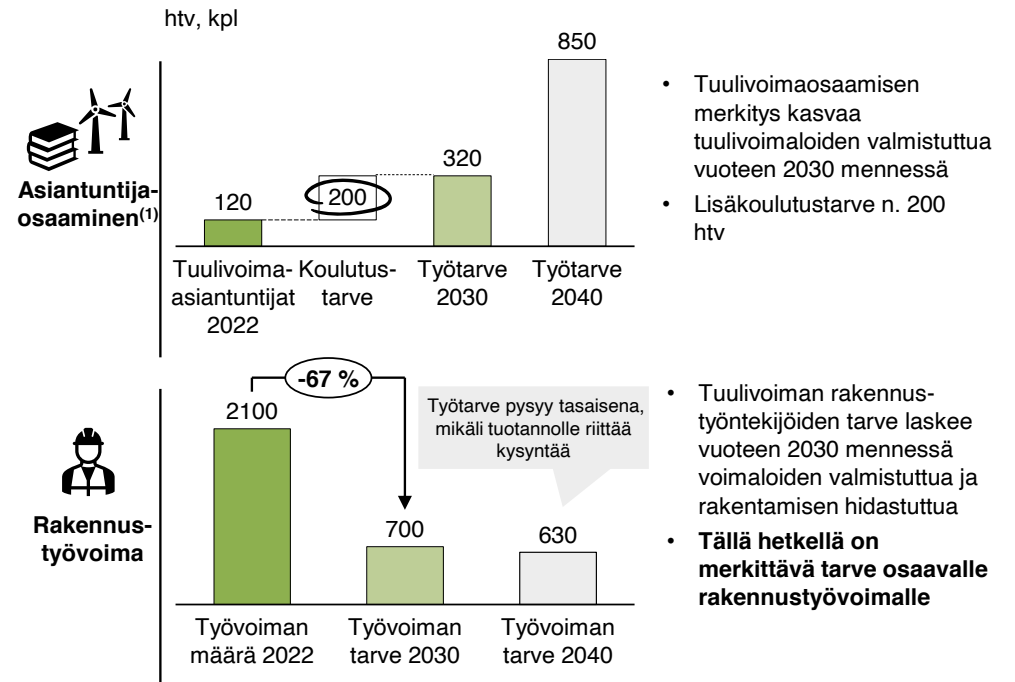
## SUJUVA KAAVOITUS- JA LUPAPROSESSI EDELLYTYKSENÄ ALUEEN HOUKUTTELEVUUDELLE

### Kuvaus



Kriittinen toimenpidekohde Ei vaadittavia toimenpiteitä

## ERIKOISTUNEEN TUULIVOIMAOSAAMISEN TARVE ALUEELLA KASVAVA VUOTEEN 2030



(1) Asiantuntijaosaaminen sisältää mm. tuuliturbiinin huolto-osaamiseen, esiselvitykseen, kaavoitukseen ja luvitukseen liitännäisen työn

Huom. Laskelman oletukset: Suomen kokonaistuulivoimatuotanto n. 18 GW vuonna 2030, Pohjois-Pohjanmaan osuus 50 %, purkautuvat tuulivoimalat 10 kpl vuonna 2030

Lähde: Toimialahaastattelut, Suomen Tuulivoimayhdistys, Spring-analyysi

# 6. Tuulivoiman toimitus- ja huoltovarmuus sekä jatkuvuudenhallinta

## Tuulivoiman toimitus- ja huoltovarmuus sekä alueelliset energiasaarekkeet

Hankkeessa tarkasteltiin myös tuulivoiman huolto- ja toimitusvarmuustekijöitä sekä mahdollisuuksia hyödyntää hajautettua energiantuotantoa alueellisten itsenäiseen toimintaan kykenevien energiahuollon saarekkeiden toteuttamisessa.

### Toimitusvarmuus

Yhteiskunta on perinteisesti asettanut energian tuottajille toimitusvarmuusvaatimuksen.

Energian toimitusvarmuudella tarkoitetaan energijärjestelmän kykyä tuottaa energian käyttäjille sähköä, lämpöä tai polttoaineita sopimuksen mukaisesti ilman häiriöitä. Toimitusvarmuus on Suomessa perinteisesti ollut korkea, yli 99 %. Sähkön- ja lämmöntuotannon tai niiden jakelun häiriöitä on siis meillä erittäin harvoin.

Toimitusvarmuuden kannalta tuuli- ja aurinkoenergia ovat luonnollisesti haaste, sillä pelkästään niiden varassa asiakkaalle ei voida luvata sähköä kuin tuulisilla ja paisteisilla keleillä. Säätiloja taas ei voida kovin hyvin ennakoida viikkoa pidemmällä aikajänteellä. Tuuli- ja aurinkoenergian tuotannolle ei olekaan asetettu vastaavaa toimitusvarmuusvaatimusta kuin perinteisille energiamuodoille. Tämä on keskeinen syy sille, että tuulivoimasta on muodostunut edullisin sähkön- tuotannon muoto.

Tuulivoimasektorin nopea kasvu, samanaikainen päästöoikeuksien hinnannousu sekä hiilen energia-

käytön vuodesta 2029 alkaen kieltävä laki ovat johtaneet perinteisten sähköä ja lämpöä fossiilisista ja biopohjaisista energialähteistä tuottavien CHP-voimaloiden nopeutettuun alasajoon. Asiantuntijat ovatkin varoittaneet Suomea vähätuulisilla keleillä uhkaavasta sähkön tehovajeesta jo pitkään. Tehovajetta käsitellään tarkemmin sähkömarkkinoita käsittelevässä osioissa.

Kun väistyvässä sähkön- ja lämmöntuotannon järjestelmässä lähtökohtana oli, että tarjonta pyrkii vastamaan kysyntään, on uudessa pitkälti vaihtelevaan tuuli- ja aurinkovoiman tuotantoon pohjaavassa järjestelmässä lähtökohtana, että energian kysynnän on sopeuduttava tarjontaan. Ajatuksena on, että asiakkaat muuttavat kysyntäänsä joko teknologisin ratkaisuin tai kulutustottumuksien muutoksen kautta. Näin ollen vastuuta sähkön toimitusvarmuudesta sekä sähkön kulutuksen ja tuotannon tasapainon vaalimisesta on siirtynyt merkittävässä määrin energian tuottajilta energian kuluttajille.

Talvella 2022–2023 tämä vastuunsiirto nähdään koko laajuudessaan äärimmäiselle tasolle nousevien sähkön hintojen muodossa. Koska useita vuorokausia jatkuvaan korkeaan hintaan tai vähäisen tuulen jaksoon on nykyisin tarjolla olevilla teknisillä ratkaisuilla monissa yrityksissä ja kotitalouksissa lähes mahdotonta sopeutua, on edessä sähkönkäytöstä ja siihen perustuvasta tuotannosta, mukavuudesta ja jopa perustuvasta tinkiminen.

Hankkeen aikana käydyissä keskusteluissa sähköä käyttävän teollisuuden edustajat ja kotejaan lämmitävät kansalaiset ovat ilmaisseet laajasti huolensa sähkömarkkinoiden kehityksestä. Systeemitason kustannustehokkuuden kannalta on myöskin tarpeen pohtia, onko vaihtelevan tuotannon tasaaminen järkevää antaa ensisijaisesti teollisuuden ja kotitalouksien vai energiasektorin tehtäväksi. Kuten yhteiskunnan sopeutumista tuulivoimaperustaiseen sähköjärjestelmään kuvaavassa kappaleessa esitetään, olisi sähkön tuotannon vaihtelun tasaaminen energiantuotannon ja -jakelun solmukohdissa, kuten kaukolämpöjärjestelmissä ja tietyillä teollisuuden sektoreilla, mahdollisesti jopa kymmeniä kertoja edullisempaa kuin yksittäisissä kiinteistöissä tai muuttamalla laajasti kaikkien teollisuusprosessien toimintalogiikkaa.

Suurin osa hankkeessa haastatelluista toimijoista toivoisi, että myös tuuli- ja aurinkovoimayhtiöt veloitettaisiin huolehtimaan sähköverkon ja markkinoiden tasapainottamisesta sekä sähkön toimitusvarmuudesta. Osa tuulivoimayhtiöistä kehittääkin jo aktiivisesti tuotantoa tasaavia ratkaisuja. Sähkön käyttäjien puolestaan on varauduttava maksamaan tasaamiseen vaadittavien investointien kustannukset sähkölaskussaan. On kuitenkin todennäköistä, että energiasektorilla tehtävät ratkaisut ovat huomattavasti kulutuspaikkakohtaisia ratkaisuja kustannustehokkaampia.

## Huoltovarmuus

Tuulivoiman tuotanto on ehtinyt kasvaa huomattaviin mittasuhteisiin ja energiamurros edetä jo pitkälle ilman, että uuden tuotannon huoltovarmuuteen tai kriisinkestävyys on kiinnitetty juurikaan huomioita. Tämä selvitys pyrkii osaltaan raivaamaan polkua myös tämän teeman sisällyttämiseksi energiasektorin kehittämistoimiin.

Joka neljäs eurooppalainen elää talvella 2022–2023 täysimittaista sotaa käyvässä valtiossa. Energiainfrastruktuuriin kohdistuva sotilaallinen vaikuttaminen

tai sabotaasit on jatkossa huomioitava aiempaa vahvemmin energiajärjestelmän suunnittelussa.

Suomi ei ole sotatoimien kohteena, mutta sota välittyy meille rajusti nousseina elinkustannuksina ja vaaran tunteena. Asiantuntijat ennakoivat Euroopan turvallisuustilanteen pysyvän pitkään epävakana. Siten Suomenkin on vahvistettava sekä puolustustaan että yhteiskunnan kriisiajan toimintakykyä.

Tuulivoiman nopea lisääminen on osa energiajärjestelmän kokonaisvaltaista uudelleenrakentamista. Nykyisessä turvallisuussympäristössä on itsestään selvää, että energiajärjestelmän uudistaminen ei saa heikentää yhteiskunnan toiminnan keskeistä perustaa, energian toimitus- ja huoltovarmuutta. Päinvastoin käynnissä oleva energiamurros tulisi nähdä mahdollisuutena vahvistaa yhteiskuntamme perustoimintoja.

Laajalle maantieteelliselle alueelle hajautetulla ja uusiutuviin kotimaisiin lähteisiin perustuvalla energiantuotannolla on kaikki mahdollisuudet lisätä energiajärjestelmän kriisinkestävyyttä suhteessa aikaisempaan keskitettyyn energiantuotannon malliin. Toisaalta ilman hyvää suunnittelua tapahtuva energia-sektorin murros voi oleellisesti heikentää energiantuotannon toimitus- ja huoltovarmuutta aikaisempaan nähden.

Talvella 2022 viranomaiset ovat varoittaneet, että sähkön saatavuus ei välttämättä riitä kattamaan kysyntää ja sähköjärjestelmän tasapaino voi vaarantua. Periaatteessa sähkön tuonnin päätyminen Venäjältä on yksittäinen tekijä, jonka ei pitäisi oleellisesti vaikuttaa sähköverkon tasapainoon. Kuitenkin käytännössä talvella 2022 olemme huoltovarmuustermien lähempänä niin sanottua N-2-tilannetta, jossa kaksi suurinta tuotantoyksikköä tai siirtolinjaa ovat yhtäaikaaisesti poissa käytöstä ja verkkoa voidaan joutua tasapainottamaan kiertävillä sähkökatkoilla.

Tärkein syy tilanteeseemme on Venäjän hyökkäyksen ja sen vastatoimien laukaisema yleiseurooppalainen

energiakriisi. Asiantuntijat ovat kuitenkin varoittaneet Suomen sähköntuotannon tehovajeesta jo pitkään. Uuden kapasiteetin rakentaminen pelkästään voimakkaasti vaihtelevan tuulivoiman muodossa on tietoinen valinta, joka osaltaan johtaa tänä talvena koettuihin äärimmäisiin sähkön hinnan vaihteluihin. Sähkömarkkinoiden volatiliiteettia sekä yhteiskunnan mahdollisuuksia sopeutua tuulivoiman tuotannon vaihteluihin avataan lisää raportin muissa osioissa.

Suomella on hyvä sotilaallinen puolustuskyky, jota Naton jäsenyyden hakeminen edelleen vahvistaa. On kuitenkin mahdollista, että yhteiskuntaamme pyritään heikentämään epäsuorin tai tulkinnanvaraisin keinoin, kuten energijärjestelmään kohdistuvilla sabotaaseilla tai hybridihyökkäyksillä. Laajalle alueelle hajautetun energiantuotannon lamauttaminen on kuitenkin potentiaalisesti paljon vaikeampaa kuin vahvasti keskitetyn järjestelmän.

Huoltovarmuutta voidaan ajatella kapeammin kriittisten resurssien saatavuuden turvaamisena poikkeustilanteissa tai laajemmin toiminnallista kyvykkyyttä ja ennakoivuutta lisäävänä, normaalioloissakin aktiivisena toimintana. Osa kansalaisista on aiemmin saattanut suhtautua turvallisuusorganisaatioihin ja huoltovarmuuteen epäileväisesti, ja on voitu kokea, ettei niiden tulisi ottaa liian aktiivista roolia rauhanajan yhteiskunnassa. Turvallisuusuhkien nousu on kuitenkin tuottanut tarpeen sisällyttää kokonaisturvallisuuden vahvistaminen ja huoltovarmuus laajasti osaksi valtakunnallista ja alueellista kehittämistoimintaa.

Parhaimmillaan turvallisuutta ja huoltovarmuutta vahvistavat prosessit ovat kansalaisia yhdistävää yhteistä mielekästä toimintaa, joka harjaannuttaa paitsi poikkeusoloihin, myös energiamurroksen tuottamaan uuteen normaaliin. Hajautettu uusiutuva energijärjestelmä voi oikein toteutettuna vahvistaa kansalaisten yhteenkuuluvuutta ja kykyä vaikuttaa oman lähiympäristön kehitykseen. Taloudellisten ja työllisyyttä vahvistavien vaikutusten rinnalla myös osallistava huoltovarmuusajattelu voi vahvistaa vähähiilisen energiainfrastruktuurin sosiaalista hyväksyttävyyttä.

## Resilienssiä tukevat energihuollon saarekkeet

Tuulivoiman tuotanto on itsessään varsin huoltovarmaa pohjatesaassa käytännössä rajattomaan tuuliresurssiin. Suomeen pystytettävät tuulivoimalat valmistetaan pääosin Euroopassa. Generaattoreissa käytetään kuitenkin harvinaisia maametalleja, joita tuotetaan nykyisin ainoastaan Kiinassa. Energihuollon riippuvuus tuulivoimasta kasvaa jatkuvasti ja siten kaikkien tarvittavien ainesten ja komponenttien saatavuus on syytä turvata.

Tuulivoiman tuotannon voimakas vaihtelu rasittaa monin tavoin sähköverkkoa. Tuulikapasiteetin ollessa marginaalista häiriöt eivät juuri näkyneet järjestelmätasolla. Tuulivoiman muodostuttua nimelliskapasiteetiltaan suurimmaksi sähköntuotannon muodoksi häiriöt voivat uhata toisinaan koko verkon tasapainoa. Tuulivoiman nimelliskapasiteetin kasvaminen lähivuosina jopa moninkertaiseksi muihin sähköntuotannon muotoihin verrattuna voi altistaa sähköjärjestelmän tilanteille, joita ei ole ennen koettu. Varajärjestelmien ylläpito ja muu varautuminen onkin erittäin tärkeää.

Sähkön siirto usein syrjäisiltä tuulivoiman tuotantoalueilta kulutuspaikoille vaatii merkittäviä investointeja ja tuottaa siirron volyymin nopean kasvun myötä teknologisia haasteita, joihin ei vielä ole ratkaisuja. Tuulisähköä kuluttavan tuotannon keskittäminen lähelle tuotantoalueita (tai tuulivoiman hyväksyminen osaksi rakennettua ympäristöä) voisi helpottaa siirtohaastetta oleellisesti.

Tuulivoiman tuotannon tasaaminen mahdollisimman lähellä tuotantoa vähentäisi sähköverkon häiriöalttiutta. Mikäli Pohjois-Pohjanmaalle keskittyisi merkittävästi tuulisähköä hyödyntävää teollisuutta, saataisiin huomattavia säästöjä sähkön siirron muutoin vaatimiin investointeihin. Vaikkapa Oulun kaukolämpöjärjestelmällä voitaisiin tasata merkittävä määrä tuulikapasiteettia lataamalla sitä lämpönä isoihin lämpövarastoihin.

Koko sähköjärjestelmän tasolla tarpeellinen tuotannon ja kulutuksen tiiviimpi alueellinen yhteennivominen mahdollistaisi myös seuraavan askeleen eli valtakunnanverkosta kokonaan tai osittain riippumattomien energiahuollon saarekkeiden toteuttamisen. Toki valtakunnanverkko tulisi jatkossakin olemaan käytettävissä myös mahdollisilla saarekkeilla, mutta häiriötilanteessa itsenäisen toimintakyvyn säilyttäminen ainakin kriittisten palveluiden osalta voi hyödyttää yksittäisiä toimijoita, alueita ja koko Suomea.

Energiajärjestelmän resilienssiä vahvistavien ratkaisujen kehittämiseksi ja toteuttamiseksi on jatkossa vahva kysyntä kaikkialla maailmassa yleistyvän vaihtelevan tuuli- ja aurinkovoiman tasapainottajana sekä sähkön toimitusvarmuuden turvaajana poikkeus-tilanteissa. Merkittävässä osassa Eurooppaa ja myös muuta maailmaa tullaan jatkossakin kokemaan uhkaa sähköverkon tahallista tai tahattomista häiriöistä.

Selvityksen osana toteutettiin kaksi alueellista tarkastelua tuulivoiman ja huoltovarmuuden kannalta tärkeiksi identifioituista kohteista, Pyhännästä ja Raahesta. Molempien alueiden keskeisiä toimijoita haastateltiin kokonaiskuvan luomiseksi.

Pyhännän ja Vuolijoen kuntien alueella sijaitsee Suomen tällä hetkellä suurin tuulipuisto, Piiparinmäki. Pyhääntä on pienestä koostaan huolimatta merkittävä alueellinen teollisuuskeskittymä. Saha- ja taloteollisuuden lisäksi kunnassa on elintarviketeollisuutta, joka palvelee laajasti myös lähikuntien ravitsemus- huoltoa. Tuulivoiman alueellinen hyödyntäminen ja energiahuollon varmistaminen myös sähköverkon häiriöissä voisi tuoda alueelle merkittävää lisäarvoa.

Tuulisähkön paikallinen hyödyntäminen herätti toimijoissa kiinnostusta, mutta asiaa ei oltu yrityksissä tai kunnassa tähän mennessä juuri pohdittu. Verkko-

sähkön hintakehitystä ei nykyisellään nähty yritysten tai kunnan kannalta sellaisena, että investoinnit alueella tuotetun tuulivoiman hyödyntämiseksi olisivat taloudellisesti perusteltuja. Kuitenkin esimerkiksi EU-hankerahoituksella toteutettavan sopivan teknisen ratkaisun pilotointiin suhtauduttiin myönteisesti.

Raaha on valtakunnallisesti merkittävä teollinen keskittymä. Terästehtaan mahdollinen siirtyminen vähähiilistä sähköä ja vetyä hyödyntävään tuotantoprosessiin on kiinnostavaa myös huoltovarmuuden näkökulmasta. Lisäksi alueelle on rakentumassa huomattava merituulivoimakapasiteetti ja mahdollisesti myös läheisen Hanhikiven ydinvoimalalle soveltuva rakennuspaikka tullaan jatkossa hyödyntämään.

Raahen seutukuntaan voisi jatkossa rakentua teollinen ekosysteemi, jossa huoltovarmuuden ja resilienssin tavoittelun lisäksi myös teknistaloudelliset kannattavuustekijät tukisivat saarekkeen omaista toteutustapaa. On mahdollista, ettei ainakaan kaikkia alueella hyödynnettäviä energiapitoisia virtoja kannata siirtää valtakunnan verkon kautta, vaan alueellisessa teollisuuden ja kaukolämmön tuotannon sisäverkossa.

Haastattelujen pohjalta voidaan todeta, että alueellisten energiahuollon saarekkeiden toteuttaminen nähdään mahdollisena ja toivottavanakin, mutta niiden toteuttamista yritysten toimesta ei nykyisessä tilanteessa nähdä perusteltuna. Toisaalta saarekkeiden toteutustapaa tai kustannuksia ei vielä tunneta. Tarvitavien investointien ja niiden yritysten toiminnalle ja koko energiajärjestelmälle tuomien hyötyjen selvittäminen olisikin luontevaa tehdä mahdollisissa jatkohankkeissa. Sikäli kun alueelliset ratkaisut palvelevat laajemmin energiaverkon toimitus- tai huoltovarmuutta, on niiden toteuttamiseen ja kustannuksiin luontevaa osallistaa niitä toimijoita, joiden vastuulle ne kuuluvat.



# Vihreän siirtymän riskien ja mahdollisuuksien hallinta (työpajan tulosten esittely)

Osana hanketta toteutettiin yhteistyössä Oulun kaupakamarin kanssa pyöreän pöydän keskustelutilaisuus, jossa pyrittiin identifioimaan vihreän siirtymän potentiaaleja ja mahdollisia uhkia yritysten näkökulmasta. Paikalle kutsuttiin alueen merkittävimpien teollisuusyritysten ja rahoitusalan johtoa.

Osana keskustelutilaisuutta toteutettiin tiivis työpaja, jonka yhteydessä osallistujia pyydettiin kirjaamaan näkemyksiä riskeistä ja mahdollisuuksista analyysityökaluna käytettyyn applikaatioon. Työpajan pohjaksi kerättiin muutamia huomioita erilaisista vihreän siirtymän riskeistä. Vastauksia otettiin vastaan vielä muutaman päivän ajan työpajan jälkeen.

## **Analyysiin osallistui 15 henkilöä seuraavilta toimialoilta:**

Energiateollisuus	3
Terästeollisuus	1
Metsäteollisuus	2
Tuulivoima tai muu vähähiilinen energiantuotanto	2
Rahoitus/Investori	3
Muu	3
Kemianteollisuus	1

## **Osallistujat yrityksen koon mukaan:**

Pienyritys (alle 50 hlö)	3
Keskisuuri yritys (50–249 hlö)	5
Suuryritys (yli 250 hlö)	7

Applikaatiossa oli mahdollista listata riskejä ja mahdollisuuksia, kirjoittaa niille perusteluita ja liputtaa muiden kirjaamia tekijöitä. Kaksi merkittävintä riskiä vastaajien mukaan olivat “toteutuvatko investoinnit ja kasvu” (12 liputusta) ja “työvoiman saatavuus” (10 liputusta).

Seuraavaksi äänestetyimmät mahdollisuudet liittyivät osaamiseen, vahvan vedyn jakeluinfrastruktuurin muodostumiseen ja uuden ydinvoimahankkeen sijoittumiseen Pyhäjoelle. Seuraavan sivun taulukkoon on koottu kuvaus mahdollisuudesta ja uhasta, saadut äännet/liputukset sekä annetut kommentit.

## Vihreän siirtymän uhat, riskit tai haasteet Pohjois-Pohjanmaan maakunnalle

Mahdollisuudet	Kuvaus	Äänet	Kommentit
Osaaminen	Maakunnassa on vahvaa teknologia- ja ICT-osaamista ja siten erinomaiset valmiudet vihreään siirtymään.	15	
Vahvan vedyn jakelu- infrastruktuurin muodostuminen	Pohjois-Pohjanmaan rannikolle muodostuu vedyn (tai vaihtoehtoisesti synteettisen metaanin) tuotannon ja kulutuksen yhdistävä kaasuverkko tai alueen satamiin vedyn/metaanin nesteytys ja laivakuljetusinfrastruktuuri.	13	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hieno visio, mutta vaatii paljon tekoja.</li> </ul>
Uuden ydinvoima- hankkeen sijoittumi- nen Pyhäjoelle	Pyhäjoelle rakentuu uusi ydinvoimala, joka tuottaa vakaata ja kohtuuhintaista sähköä paikalliselle teollisuudelle ja mahdollisen vedyntuotannon tarpeisiin.	10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toivon, että tämä toteutuu.</li> <li>Teollisuuden toimintavarmuuden kannalta tärkeä asia.</li> </ul>
Halvasta uusiutuvasta energiasta kilpailuetu	Jos saamme Pohjois-Suomeen kunnollisen vetyinfran, on meillä mahdollisuus luoda pysyvä kilpailuetu teolliseen (ja muuhunkin) tuotantoon. Yrityksiltä edellytetään pientä hiilijalanjälkeä, ja Pohjois-Suomessa sen saavuttaminen toteutuu montaa muuta paikkaa helpommin. Kun tähän yhdistetään korkeakoulutettu väestö, voidaan rakentaa ylivoimaista kilpailuetua. Tämän varaan rakentuu paljon Pohjois-Suomen elinvoimaa tulevien vuosikymmenten näkövinkkelistä. On siksi tärkeää, että saamme edistettyä toimivan infran rakentumista ja että mittavat EU-tason tuet (jotka kasvanevat entisestään) hyödynnetään täysimääräisesti.	9	
Tuulivoiman kan- nattavuus saadaan varmistettua inte- groimalla se muuhun energiantuotantoon	Tuulivoimainvestointien kannattavuutta saadaan parannettua yhdistämällä tuulivoimainvestoinnit esim. halvimman tuulisähkön ohjaamisella lämmön- tai vedyntuotantoon, jolloin tuulisähkölle saadaan aina jonkinlainen vähimmäisarvo.	8	
Vähähiilisen energian saatavuus ja hinta	Tuulivoimaa rakennetaan kovaa tahtia lisää ja sähkön hinta laskee.	7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuuli ei yksin riitä.</li> </ul>
Työvoiman saatavuus	Kasvukeskusten ulkopuolella, johon suuri osa vihreän siirtymän investoinneista tulee, tarvitaan töitä ja tekijöitä riittävästi.	4	

## Vihreän siirtymän uhat, riskit tai haasteet Pohjois-Pohjanmaan maakunnalle

Teema	Kuvaus	Äänet	Kommentit
Osaaminen	Maakunnassa on selkeä vaje tuulivoiman ja vihreän siirtymän osaajista	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>En tunne alaa.</li> <li>Energia-alan osaajia tarvitaan niin rakentamaan kuin huoltamaan laitoksia kuin myös ajamaan suunnittelua, luvitusprosesseja ja ympäristöasioiden hallintaa.</li> <li>Paikallista työvoimaa tulee olla saatavilla runsaasti etenkin rakentamisvaiheessa.</li> <li>Osaajia tarvitaan laaja-alaisesti 20–35 vuodeksi kunnossapitoon eri koulutustasot edustettuina.</li> <li>Tarjoaako yliopisto- ja AMK-koulutus pohja riittävästi osaamista? Oulun yliopistossa ei riittävästi relevantteja koulutusohjelmia.</li> </ul>
Toteutuvatko investoinnit ja kasvu	Löytyykö riskinottajia ja mahdollisuuden hyödyntäjiä hyödyntämään vihreä energia jalostusasteen nostoon?	11	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rahoittajilla on kovastikin mielenkiintoa hankkeisiin mm. EKP-valvojana edellyttää vihreän siirtymän rahoittamista taksonomian kautta.</li> <li>Onko pohjoisessa tarpeeksi veturiyrityksiä, tuntevatko yritykset mahdollisuudet läheltä?</li> </ul>
Työvoiman saatavuus	Monet teollisuuden alat kärsivät jo nyt työvoimapulasta, mistä saadaan tekijät uusiin vihreän siirtymän investointeihin?	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pitää paikkansa, kilpailemme myös Pohjois-Ruotsin kanssa, jossa on kovat investoinnit jo menossa.</li> </ul>
Lupaprosessien hitaus	Lupaprosessi valituksineen kestää liian kauan. Toteutuuko luvattu kiihdytyskaista käytännössä?	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valitusten määrä ja niiden käsittelyn hitaus hidastaa hankkeita merkittävästi, se on selvä.</li> <li>Ongelma on erityisesti valitusten käsittelyajoissa.</li> </ul>
Hallituksen veroratkaisut pilaavat investointihalukkuuden	Hallituksen windfall-vero jää pysyväksi tai korvautuu uusilla veroilla, jolloin investoijat laittavat uudet sähköntuotantoinvestoinnit jäihin.	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poliittiset päätökset lähinnä EU-tasolla ovat aika tavalla mielivaltaisia.</li> </ul>
Tuulivoiman hyödyt jäävät puolitiehen, jos emme saa vetyinfraa rakennettua	Pohjois-Pohjanmaan (ja Pohjois-Suomen) kilpailuetuna on vahva tuulivoimakapasiteetti, joka kasvaa edelleen. Paras hyöty tästä saadaan vain, jos rinnalle rakennetaan kunnollinen vetyinfrastrukturi.	7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuulisähkö → vety → kemian-/metallinjalostusteollisuuden lopputuotteet olisi toivottava tuotantoketju, jotta mahdollisimman iso osa arvонуonnista ja työpaikoista päätyy Suomeen ja Pohjois-Pohjanmaalle.</li> </ul>
Ennakoidut tuulivoima-investoinnit jäävät toteuttamatta	Tuulivoima syö omaa kannattavuuttaan nopeammin kuin ennakoitu (kun tuulee, sähkön hinta painuu nopeasti alhaiseksi, jolloin tuulivoimainvestoinnit eivät maksa itseään takaisin).	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuulivoima ei yksin riitä, jostain on saatava tasausta. Pyhäjoen ydinvoimalan kokoinen yksikkö tarvitaan joka tapauksessa.</li> </ul>
Puupolttoaineiden hinta nousee jyrkästi	Puupolttoaineiden hinta nousee erittäin jyrkästi, jolloin joko alueen kaupunkien kaukolämmön hinta nousee jyrkästi tai puuta joudutaan korvaamaan turpeella, jolloin vihreä siirtymä ottaa takapakkia.	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puupolttoaineen hinnoittelu tehdään poliittisen päätöksen tekemisen kautta mahdottomaksi, kaikki poltettava ei ole kohta enää kannattavaa, vaikka meillä olisi paljonkin uusiutuvaa puuta.</li> <li>EU-tasolla on selkeä pyrkimys vähentää tai jopa estää puun polttaminen. Kaikki puu, myös sivuvirrat, pitää jalostaa tuotteiksi.</li> </ul>

Korkotaso nousee jyrkästi, jolloin investointien kannattavuus heikkenee	Jos korkotaso nousee jyrkästi, pääomat voivat hakeutua pois energiantuotantoinvestoinneista, jolloin heikommin kannattavat investoinnit lykkäntyvät tai jäävät toteutumatta.	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tämä pitää paikkansa ja saattaa olla liike-taloudellisesti täysin perusteltua.</li> </ul>
Vähähiilisen energian saata- vuus ja hinta	Nyt kärsitään sähkön tehovajeen takia todella korkeista hinnoista, onko tilan- teeseen luvassa helpotusta vai onko kyseessä uusi normaali?	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pohjois-Ruotsi on sähkön hinnaltaan erittäin paljon kilpailukykyisempi.</li> <li>Pärjäämmekö sähkön hinnoittelun osalta teollisten investointien houkuttelussa Poh- jois-Ruotsille?</li> </ul>
Vihreän teknolo- gian investoinnit eivät tuo hyvin- vointia maakun- taan	Vihreän siirtymän investoinnit toteutta- vat globaalit yritykset, jotka eivät käytä paikallisia alihankkijoita tai tee yhteis- työtä paikallisesti, jolloin maakunnan hyvinvointia jäävät parantamaan vain kiinteistöverot.	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tämä ei pidä paikkansa, investoinnit luovat joka tapauksessa työtä ja hyvinvointia.</li> </ul>
Tuulivoiman sosiaalinen hyväksyttävyy- s heikkenee voi- makkaasti	Erityisesti sähkönsiirron vahvistamistarve ja korvauskäytännöt haastavat sosiaalista hyväksyttävyyttä.	1	

## Toimenpide-ehdotukset

Osaamisen liittyvät riskit ja mahdollisuudet nousivat saaduissa vastauksissa tärkeimmäksi teemaksi. Alle on koottu toimenpide-ehdotuksia osaamisen kehittämiseksi.

Asiantuntijoilta kysyttiin: Millä toimenpiteillä riskejä tulisi hallita?

- Osaamista on, mutta osaavia käsipareja on liian vähän. Kilpaillaan samoista resursseista eri teknologioidenkin kesken. Ei välttämättä pysäytä vihreää siirtymää, mutta hidastaa sitä.
- Riittävän hyvällä koulutuksella
- Yhteinen tilannekuva tarvittavista toimista, tiedonvaihto ja ennakoiva ote tulevaisuuteen
- Yhteistyö alan toimijoiden ja oppilaitosten kanssa

Asiantuntijoilta kysyttiin myös: Millaisia mahdollisuuksia näet?

- Yritysten osaamistason ja liikevaihdon kasvattaminen suurissa urakoissa
- Liiketoimintaa yrityksille ja työpaikkoja työntekijöille

“Maakunnassa on selkeä vaje tuulivoiman ja vihreän siirtymän osajista. Energia-alan osajia tarvitaan niin rakentamaan kuin huoltamaan laitoksia kuin myös ajamaan suunnittelua, luvitusprosesseja ja ympäristöasioiden hallintaa. Paikallista työvoimaa tulee olla saatavilla runsaasti etenkin rakentamisvaiheessa. Osajia tarvitaan laaja-alaisesti 20–35 vuodeksi kunnossapitoon eri koulutustasot edustettuina. Tarjoaako yliopisto- ja AMK-koulutus pohja riittävästi osaamista? Oulun yliopistossa ei riittävästi relevantteja koulutusohjelmia.”

### Osion pääviestit

- Energiamurroksen ei pitäisi heikentää vaan vahvistaa sähköjärjestelmän toimitus- ja huoltovarmuutta
- Vihreän siirtymän riskien, mahdollisuuksien ja jatkuvuudenhallintaan on syytä panostaa

# Lähteet

Vihreän siirtymän rahoituksen työryhmä -Loppuraportti. Valtioneuvosto 2022. Viitattu 15.12.2022 [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164478/VN\\_2022\\_73.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164478/VN_2022_73.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Electricity supply and use 2001–2021 (GWh). Tilastotietoa sähkön kysynnästä ja tarjonnasta Ruotsissa vuosina 2001–2021. SCB (Official Statistics of Sweden). Viitattu 12.12.2022. <https://www.scb.se/en/finding-statistics/statistics-by-subject-area/energy/energy-supply-and-use/annual-energy-statistics-electricity-gas-and-district-heating/pong/tables-and-graphs/electricity-supply-and-use-20012021-gwh/>

Buli, N. 2022. Onshore wind to become Sweden's largest power source by 2030 - Rystad. Reuters 17.11.2022. Viitattu 10.12.2022 <https://www.reuters.com/business/environment/onshore-wind-become-sweden-largest-power-source-by-2030-rystad-2022-11-17/>

Quarterly statistics. Tilastotietoa Ruotsin tuulivoiman kehityksestä vuosina 2020–2022. Swedish Wind Energy Association. Viitattu 22.12.2022 <https://swedishwindenergy.com/statistics>

Roadmap 2040. Wind power: combating climate change and improving competitiveness. 2020. Swedish Wind Energy Association. <https://swedishwindenergy.com/wp-content/uploads/2021/01/Roadmap-2040-ENG-rev-2020.pdf>

Electricity production. Energifakta Norge. Viitattu 6.12.2022. <https://energifaktanorge.no/en/norsk-energiforsyning/kraftproduksjon/>

Norway 2022 Energy Policy Review. 2022. International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/de28c6a6-8240-41d9-9082-a5dd65d9f3eb/NORWAY2022.pdf>

Norway announces big new offshore wind targets. Wind Europe 2.6.2022. Viitattu 7.12.2022. <https://windeurope.org/newsroom/news/norway-announces-big-new-offshore-wind-targets/>

Electricity. Statistisk centralbyrå. Viitattu 10.12.2022. <https://www.ssb.no/en/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitett>

Energy in Denmark, 2020. 2022. Danish Energy Agency. [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energy\\_in\\_denmark\\_2020.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energy_in_denmark_2020.pdf)

Denmark aims to raise its 2030 offshore wind target by 45% to 12,9 GW. Enerdata. Viitattu 22.12.2022. <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/denmark-aims-raise-its-2030-offshore-wind-target-45-129-gw.html>

Energiavuosi 2021 Sähkö. 2022. Energiategollisuus ry. [https://energia.fi/files/4428/Sahkovousi\\_2021\\_netti.pdf](https://energia.fi/files/4428/Sahkovousi_2021_netti.pdf)

SE1. Electricity Maps. Viitattu 19.12.2022. <https://app.electricitymaps.com/zone/SE-SE1?aggregated=false>

Fälth, H.E. 2019. The Swedish Electricity System. Challenges to achieve a 100% renewable power system. Swedish Energy Agency. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2019/Jul/IRENA\\_IID-2019\\_Session-I\\_Falsh\\_Swedish-Energy-Agency.pdf?la=en&hash=DFE25281EBED904FAA22D97D293939FC7CE03A6C](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2019/Jul/IRENA_IID-2019_Session-I_Falsh_Swedish-Energy-Agency.pdf?la=en&hash=DFE25281EBED904FAA22D97D293939FC7CE03A6C)

Jääskeläinen, J., Huhta, K., Syri, S. 2022. The Anatomy of Unaffordable Electricity in Northern Europe in 2021. Energies 2022, 15, 7504. [https://www.researchgate.net/publication/364568943\\_The\\_Anatomy\\_of\\_Unaffordable\\_Electricity\\_in\\_Northern\\_Europe\\_in\\_2021](https://www.researchgate.net/publication/364568943_The_Anatomy_of_Unaffordable_Electricity_in_Northern_Europe_in_2021)

The case for northern Sweden. Invest in Norrbotten. Viitattu 16.12.2022. <http://www.investinnorrbotten.se/carbon-fiber/the-case-for-northern-sweden/>

Energi- och klimatöversikt för Norrbottens län år 2020. 2020. Energi- och klimatkontor Norr, Länsstyrelsen i Norrbottens län. <https://energikontornorr.se/wp-content/uploads/2021/01/energi-klimatoversikt-NB-2020.pdf>

Statistics and forecast – Q3 2022. 2022. Swedish Wind Energy Association. <https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2022/10/Statistics-and-forecast-wind-power-Sweden-Q3-2022-Final.pdf>

Nordic grid development perspective 2021. 2021. Energinet, Fingrid, Statnett, Svenska kraftnät. [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/ngdp\\_2021\\_final\\_report\\_fixed3.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/ngdp_2021_final_report_fixed3.pdf)

Vendt, M., Wallmark, C. 2022. Prestudy H2ESIN: Hydrogen, energy system and infrastructure in Northern Scandinavia and Finland. RISE Research Institute of Sweden, Luleå University of Technology. <http://ri.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1719894&dsid=9655>

Kortsiktig marknadsanalys 2022. 2022. Svenska kraftnät. <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2022/kortsiktig-marknadsanalys-2022.pdf>

Sähkön käyttö maakunnittain 2021. Energiategollisuus ry. 2022. viitattu 10.1.2023. [https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/sahkon-kaytto\\_maakunnittain\\_2007-2021.html#material-view](https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/sahkon-kaytto_maakunnittain_2007-2021.html#material-view)

Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation: Update. 2021. National Renewable Energy Laboratory. NREL/FS-6A50-80580. <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/80580.pdf>

Savikko, H., Hokkanen, J., Alkula, V-P., J., Rautiainen, M., Koutonen, H. 2019. Tuulivoiman aluetalouden vaikutukset. Työllisyysluvut ja aluetalouden vaikutukset eri elinkaaren eri vaiheissa. Rambollin raportti, vastaanottaja Suomen Tuulivoimayhdistys ry. <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/media/tuulivoiman-aluealouden-vaikutukset-29.4.2019.pdf>

Kestävä tuulivoimarakentaminen Pohjois-Pohjanmaalla TUULI-hanke. Sähkönsiirtoselvitys. 2021. Pohjois-Pohjanmaan liitto 12/2021. <https://www.pohjois-pohjanmaa.fi/wp-content/uploads/2021/12/Sahkonsiirtoselvitys.pdf>

Kestävä tuulivoimarakentaminen Pohjois-Pohjanmaalla TUULI-hanke. Sijainninhajausmalliraportti. 2022. Pohjois-Pohjanmaan liitto 6/2022. <https://www.pohjois-pohjanmaa.fi/wp-content/uploads/2022/08/TUULI-hankkeen-sijainninhajausmallin-raportti.pdf>

Ruusunen, J. 2022. Tuulivoima ja energiajärjestelmämme. Puhurin energia- ja talusseminaari 2022. Fingrid Oyj. <https://www.puhuri.fi/wp-content/uploads/2022/07/Jukka-Ruusunen-Fingrid-Energia-ja-talosseminaari-2022.pdf>

Sähköistämisen rooli Suomen ilmastotavoitteissa. Sitra muistio 2021. <https://www.sitra.fi/app/uploads/2021/09/sitra-sahkoistamisen-rooli-suomen-ilmastotavoitteiden-saavuttamisessa.pdf>

Tuulivoiman tuotanto. Fingrid. Viitattu 17.12.2022. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/tuulivoiman-tuotanto/>

Sähkön toimitusvarmuus vuonna 2021. 2021. Energiavirasto. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12722768/S%C3%A4hk%C3%B6n+toimitusvarmuus+vuonna+2021.pdf>

Majava, A.J., Vaden, T., Toivanen, T.T., Järvensivu, P., Lähde, V., Eronen, J.T. 2022. Sectoral low-carbon roadmaps and the role of forest biomass in Finland's carbon neutrality 2035 target. Energy Strategy Reviews, vol. 41, 100836. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/344356>

Kaukolämpö 2021, Kaukojäähdytysenergian myynti ja asiakasmäärä. 2021. Energiategollisuus. [https://energia.fi/files/5650/Kaukolampo\\_2021\\_v2.pdf](https://energia.fi/files/5650/Kaukolampo_2021_v2.pdf)

Anttila, A. 2021. Lämmön kausivarastoinnin teknillistaloudellinen vertailu hiilestä luopumiseksi Espoossa 2025 mennessä. Opinnäytetyö. Aalto-yliopisto. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/110525>

Finnish Energy – Low carbon roadmap. 2020. Raportti. AFRY. [https://energia.fi/files/5064/Taustaraportti\\_-\\_Finnish\\_Energy\\_Low\\_carbon\\_roadmap.pdf](https://energia.fi/files/5064/Taustaraportti_-_Finnish_Energy_Low_carbon_roadmap.pdf)

Teollisuuden energiankäyttö: Liitekuvio 6. Sähkön kokonaiskäyttö teollisuusaloittain. 2021. Tilastokeskus. [https://www.tilastokeskus.fi/til/tene/2020/tene\\_2020\\_2021-11-01\\_kuv\\_006\\_fi.html](https://www.tilastokeskus.fi/til/tene/2020/tene_2020_2021-11-01_kuv_006_fi.html)

Savikko, H., Hokkanen, J., Virtanen, Y., Silvenius, F., Joutsjoki, V. 2018. Pohjois-Pohjanmaan alueelliset resurssivirrat. Pohjois-Pohjanmaan liitto. Julkaisu B:99. <https://pohjois-pohjanmaa.fi/wp-content/uploads/2020/09/B99.pdf>

Savolainen, H., Karhinen, S., Ulvi, T., Kopsakangas-Savolainen, M. 2019. Hajautetun uusiutuvan energian aluetaloudellisten vaikutusten arviointi ENVIREGIO-mallilla. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 31/2019. Suomen ympäristökeskus. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/303316>

Savikko, H., Rintamäki, S., Hokkanen, J. 2022. Kainuun tuulivoimamaakuntakaavan tarkistamisen aluetaloudellisten vaikutusten arviointi (s. 15). Rambollin raportti, vastaanottaja Kainuun Liitto. <https://kainuunliitto.fi/assets/uploads/2022/05/Kainuun-tuulivoimamaakuntakaavan-aluealoudellisten-vaikutusten-arviointi-28042022-1.pdf>

Jenniches, S., Worrell, E., Fumagalli, E. 2019. Regional economic and environmental impacts of wind power developments: A case study of a German region. Energy Policy, Volume 132. Utrecht University. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421519303507>

Ohrling, T., Heiskanen, E., Matschoss, K. 2021. Energiamurros ja osaaminen: tarkastelu energiaturroksen avainalojen ammatillisista osaamis- ja koulutustarpeista. Aalto-yliopiston julkaisusarja KAUPPA + TALOUS, 2/2021, Smart Energy Transition -hanke. Aalto-yliopisto. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/328491/osaamisselvitys\\_Ohrling\\_et\\_al\\_2021.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/328491/osaamisselvitys_Ohrling_et_al_2021.pdf?sequence=1)

Kainuun tuulivoimamaakuntakaavan seurantaraportti. 2020. Kainuun liitto. <https://kainuunliitto.fi/assets/uploads/2020/08/seurantaraportti.pdf>

Unemployed jobseeker's percentage of the workforce. Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus, TE-palvelut. Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 10.12.2022. <https://www.temtyollisyyskatsaus.fi/graph/tkat/tkat.aspx?ely=12>

Nieminen, J., Ahtinen, S-M., Henriksson, A. 2021. Alueelliset kehitysnäkymät keväällä 2021. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 2021:31. Työ- ja elinkeinoministeriö. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163076/TEM\\_2021\\_31.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163076/TEM_2021_31.pdf)

Hyttinen, H. 2019. "Sitten sitä ei tehdä." – Sosiaalinen hyväksyttävyyden tuulivoimahankkeissa. Opinnäytetyö. Itä-Suomen yliopisto. [https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/21794/urn\\_nbn\\_fi\\_uef\\_20200041.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/21794/urn_nbn_fi_uef_20200041.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Eronen, J., Lintilä, A. 2020. Tuulivoiman sosiaalinen hyväksyttävyyden Pohjois-Karjalassa. Opinnäytetyö. Karelia-ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/handle/10024/336175>

Vaden, T., & Majava, A. (2023). Energiaturros ja metsäpinta-alan rooli suomalaisen yhteiskunnan aineenvaihdunnassa. Alue Ja Ympäristö, 51(2), 107–123. <https://doi.org/10.30663/ay.121616>

## Tiedon lähteet:

- yrityshaastattelut yhteensä 23 kpl
- kuntien edustajien haastattelut yhteensä 10 kpl
- tuulivoimayrityksille tehty kysely, vastauksia yhteensä 5 kpl
- Pohjois-Pohjanmaan kunnille tehty kysely, vastauksia yhteensä 7 kpl
- koulutustoimijoiden haastattelut 4 kpl
- TKI-toimijoiden haastattelut 3 kpl
- yliopistotutkijoiden haastattelut 7 kpl

