

**Uusiutuvan energian Suomi 2055:**

**Strateginen tiekartta maankäytön,  
alueellisuuden ja geopolitiikan  
kysymyksiin energiasirtymässä**



# Tiivistelmä

Suomen energiajärjestelmä on murroksessa. Ilmastotavoitteet, geopoliittinen epävarmuus ja teknologinen kehitys ohjaavat irtautumista fossiilisesta energiasta kohti uusiutuvaan energiaan nojaavaa, sähköistyvää ja entistä integroituneempaa energiajärjestelmää. Luonnonvarakeskuksen REPower-tutkimushankkeessa tuotettu strateginen tiekartta tarkastelee uusiutuvan energian roolia Suomessa vuoteen 2055 saakka. Tiekartan tavoitteena on tukea päätöksentekoa ja pitkäjänteistä strategista ennakkointia tilanteessa, jossa energiajärjestelmän kehitykseen liittyy merkittäviä epävarmuuksia. Tiekartan visio on luoda Suomeen kestävä ja kokonaisturvallisuutta edistävä energiajärjestelmä vuoteen 2055 mennessä.

Suomen lähtötilanne on vahva: vuonna 2024 fossiilittoman sähköntuotannon (ydin-, vesi-, tuuli- ja bioenergiaan perustuvan) osuus nousi 95 prosenttiin, tuulivoiman tuotanto on kasvanut yli 20 terawattituntiin (TWh) ja energiajärjestelmä ei ole enää riippuvainen venäläisestä tuontienergiasta. Tiekartta ei esitä ennustetta, vaan tarkastelee kolmea vaihtoehtoista tulevaisuuspolkua, joissa lähtöoletuksena toimii hiilineutraaliuden saavuttaminen vuoteen 2050 mennessä. Tulevaisuuspolut perustuvat raportin laatimishetkellä käytössä olleisiin kasvihuonekaasulaskennan

menetelmiin. Käynnissä olevat laskentakehikon muutokset, erityisesti maankäyttösektorin osalta, voivat vaikuttaa hiilineutraaliuden laskennalliseen toteutumisaikajankohdan, mikä korostaa vaiheittaisen, joustavan ja ennakoivan energiapoliittisen ohjauksen merkitystä. Polut eroavat toisistaan energiajärjestelmän rakenteen, uusiutuvien energialähteiden roolin, investointien mittakaavan, luonnonvarojen käytön sekä alueellisten ja geopoliittisten vaikutusten osalta.

**EU-velvoitepolku** perustuu EU-sääntelyn toimeenpanoon ja tuulivoiman maltilliseen kasvuun. Sähkönkulutus kasvaa 152 TWh:iin, tuulivoima 65 TWh:iin. Bioenergia toimii järjestelmän joustona ja puupolttoaineiden käyttö säilyy merkittävänä osana energiajärjestelmää erityisesti yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa.

**Biotalouspolku** painottaa biomassan jalostusarvon kasvattamista kaskadiperiaatteen mukaisesti, ja edistää näin biomassan nykyistä suurempaa markkinaehtoista ohjautumista biohiileen, biokaasun ja biopolttonesteiden tuotantoon sekä ligniinipohjaisiin materiaaleihin. Sähkönkulutus nousee 159 TWh:iin ja tuulivoima 72 TWh:iin. Polku vahvistaa aluetaloutta ja huoltovarmuutta.

Energiasiirtymä voidaan toteuttaa ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestäväällä tavalla - mutta vain, jos siirtymää ohjataan strategisesti, kokonaisvaltaisesti ja epävarmuudet tiedostaen.

**Sähköistymispolku** edustaa laajamittaista sähköistämistä, jossa datakeskukset, uusiutuva vety ja synteettiset polttoaineet kasvattavat sähkönkulutuksen 215 TWh:iin. Tuulivoima nousee 134 TWh:iin, josta 14 TWh merituulivoimaa. Polku vaatii suuria investointeja ja kytkee Suomen tiiviimmin eurooppalaisiin energiainfarkkoihin.

Energiasiirtymää tarkastellaan kolmen toisiinsa kytkeytyvän muutosalueen kautta. **Maankäytön ja resurssien** osalta uusiutuvan energian laajeneminen lisää maankäyttöpaineita, erityisesti tuulivoiman sijoittumisen suhteen. Tuulivoiman kehityksellä on merkittäviä vaikutuksia maa- ja meriluonnon monimuotoisuuteen, minkä vuoksi luontovaikutusten hallinta edellyttää systemaattista lieventämishierarkian soveltamista hankkeissa. Bioenergian rooli painottuu kaikissa poluissa yhä vahvemmin järjestelmän joustoon ja huoltovarmuuteen. **Alueellista oikeudenmukaisuutta** heikentää tuulivoimainvestointien keskittyminen Länsi-Suomeen Itä-Suomen jäädessä paitsioon muun muassa tutkarajoitteiden vuoksi. Siirtymän onnistuminen edellyttää osallistavia suunnittelukäytäntöjä sekä hyötyjen ja haittojen oikeudenmukaista jakoa. **Geopoliittisesti** fossiilienergiasta irtautuminen vahvistaa strategista autonomiaa, mutta puhtaan energian teknologioiden ja kriittisten raaka-aineiden Kiina-riippuvuus luo uusia haavoittuvuuksia. Tämä korostaa energiapolitiikan sekä ulko- ja turvallisuuspolitiikan tiiviimpää yhteensovittamista.

Strategiset valinnat jäsenyivät kolmelle aikavälille: lyhyellä aikavälillä (2026–2029) luodaan maankäytön ohjauskehikko ja vahvistetaan energiahankkeiden hyväksyttävyyttä; keskipitkällä aikavälillä (2030–2039) ratkaistaan biomassaresurssien kohdentaminen ja uusiutuvan energian mittakaava; pitkällä aikavälillä (2040–2055) kehitetään ja hyödynnetään teknisiä hiilinieluja, syvennetään kansainvälistä integraatiota ja vahvistetaan Suomen roolia puhtaan energian viejänä.

Tiekartan varsinainen tarkastelu ulottuu vuoteen 2055 saakka ja tulevaisuuspoluissa Suomi saavuttaa hiilineutraaliuden vuoteen 2050 mennessä. Raporttiin on lisäksi erillisenä nostona koottu huomioita lisätoimista, joita hiilineutraaliuden saavuttaminen vuoteen 2035 mennessä edellyttäisi. Lisätoimet täydentävät pitkän aikavälin tarkastelua, mutta eivät ole osa työssä laadittuja tulevaisuuspolkuja.

Tiekartan keskeinen viesti on, että energiasiirtymä voidaan toteuttaa ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestäväällä tavalla – mutta vain, jos siirtymää ohjataan strategisesti, kokonaisvaltaisesti ja epävarmuudet tiedostaen.

## Raportin lopuksi esitetään kahdeksan toimenpidesuosituksen:

1. Laaditaan valtakunnalliset periaatteet tuuli- ja aurinkovoiman sijoittamiselle sekä kytketään niihin ennakoiva verkko- ja lupasuunnittelu.
2. Vahvistetaan uusiutuvan energian hankkeiden yhteisvaikutusten ennakoivaa arviointia ja sovelletaan johdonmukaisesti lieventämishierarkiaa.
3. Laaditaan biomassaresurssien strateginen kohdentamisohjelma raaka-aine- ja energiakäyttöön.
4. Edellytetään kaikilta uusiutuvan energian hankkeilta alueellisen osallisuuden varmistamista jo varhaisessa vaiheessa.
5. Kehitetään ja otetaan käyttöön malli, joka auttaa arvioimaan uusiutuvan energian hankkeiden alueellisia talousvaikutuksia nykyistä paremmin.
6. Vahvistetaan tutkittuun tietoon perustuvaa energiaviestintää.
7. Vahvistetaan energia-, ilmasto-, ulko- ja turvallisuuspolitiikan yhteistä ennakkointia.
8. Syvennetään pohjoismaista yhteistyötä sähköverkkosten ja -varastosten sekä energiajärjestelmän resilienssin vahvistamiseksi.

**Kirjoittajat**

Johanna Routa (toim.)<sup>1</sup>,  
 Sakari Höysniemi (toim.)<sup>1</sup>,  
 Jyrki Aakkula (toim.)<sup>1</sup>,  
 Nelli Eerikäinen<sup>1</sup>,  
 Ilkka Hannula<sup>2</sup>,  
 Niina Kautto<sup>1</sup>,  
 Johanna Kohl<sup>1</sup>,  
 Jani Lehto<sup>1</sup>,  
 Jussi Lintunen<sup>1</sup>,  
 Saara Luukkonen<sup>1</sup>,  
 Olli-Matti Mikkola<sup>1</sup>,  
 Tuomas Niinistö<sup>1</sup>,  
 Saija Rasi<sup>1</sup>,  
 Pasi Rikkonen<sup>1</sup>,  
 Panu Runko<sup>1</sup>,  
 Lauri Sikanen<sup>1</sup>,  
 Lauri Sääskilahti<sup>1</sup>,  
 Anne Tolvanen<sup>1</sup>,  
 Mikko Weckroth<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Luonnonvarakeskus (Luke)

<sup>2</sup> Carbon Economics Oy

Kuvat: kuvaajatiedot merkitty kuvien yhteyteen, niiden puuttuessa kuvaoikeudet Luonnonvarakeskuksella.



Euroopan unionin rahoittama - NextGenerationEU.  
 Tässä tekstissä esitetyt näkemykset ja mielipiteet ovat ainoastaan laatijoiden omia eivätkä välttämättä vastaa Euroopan unionin tai Euroopan komission kantoja. Euroopan unioni ja komissio eivät vastaa esitetystä sisällöstä.

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2026  
 2. korjattu painos.  
 Korjattu s. 30 taulukon 4.1 rivin 2 tietoja  
 ISBN: 978-952-419-198-2  
 URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-198-2>



# Sisällys

<b>TIIVISTELMÄ</b>	<b>2</b>		
<b>1. Johdanto</b>	<b>6</b>		
<b>2. Energiasiiirtymän lähtötilanne 2025</b>	<b>10</b>		
2.1 Energiajärjestelmän murros ja loppukäytön sähköistyminen	12		
2.2 Energiaturvallisuuden uudet muodot	14		
2.3 Sosiaalinen ja alueellinen ulottuvuus	14		
<b>3. Tulevaisuuspolut</b>	<b>15</b>		
3.1 EU-velvoitepolku	17		
3.2 Biotalouspolku	19		
3.3 Sähköistymispolku	21		
3.4 Tulevaisuuspolkujen edellyttämät strategiset valinnat	23		
3.5 Tulevaisuuspolkuihin liittyviä epävarmuustekijöitä	24		
<b>4. Energiasiiirtymä kolmen muutosalueen näkökulmasta</b>	<b>26</b>		
4.1 Kestävä maankäyttö ja resurssit	28		
Muutosalueen visio	28		
4.1.1. Uusiutuvan energian maankäytölliset vaikutukset	29		
4.1.2. Biomassaresurssien taloudellinen ja ekologinen kestävyys	32		
4.1.3. Energiasiiirtymän investointitarpeet, taloudelliset vaikutukset ja toimitusketjuriskit	34		
4.2 Alueellinen oikeudenmukaisuus ja toimijuus	36		
Muutosalueen visio	38		
4.2.1. Alueellisen toimijuuden rooli	38		
4.2.2. Alueellisen oikeudenmukaisuuden kysymykset	40		
4.3 Geopolitiikka ja turvallisuus	43		
Muutosalueen visio	44		
<b>5. Strategiset valinnat ja toimenpiteet</b>	<b>45</b>		
5.1 Lyhyen aikavälin strategiset valinnat ja toimenpiteet (2026-2029)	47		
5.2 Keskipitkän aikavälin strategiset valinnat ja toimenpiteet (2030-2039)	48		
5.3 Pitkän aikavälin strategiset valinnat (2040-2055)	49		
<b>6. Suositukset päätöksentekijöille</b>	<b>50</b>		
<b>Liite 1. Lisätoimet hiilineutraaliuden saavuttamiseksi vuoteen 2035</b>	<b>54</b>		
<b>Liite 2. Strategiset valinnat aikaväleittäin</b>	<b>57</b>		
<b>Lähteet</b>	<b>60</b>		

# 1. Johdanto



# 1. Johdanto

**Euroopan energiajärjestelmä on syvässä murroksessa.** Ilmastotavoitteet, geopoliittinen epävarmuus ja teknologinen kehitys muuttavat nopeasti tapaa, jolla energiaa tuotetaan, siirretään ja käytetään. Energiasiirtymä ei ole pelkästään teknologinen uudistus, vaan laaja yhteiskunnallinen muutos, joka vaikuttaa luonnonvarojen käyttöön, alueelliseen kehitykseen sekä valtioiden välisiin taloudellisiin ja poliittisiin suhteisiin.

Suomella on energiasiirtymässä vahvat lähtökohdat. Runsaat uusiutuvat luonnonvarat, vähähiilinen sähköjärjestelmä ja vahva teknologinen osaaminen luovat edellytyksiä energiajärjestelmän uudistumiselle ja uusien teollisten arvoketjujen syntymiselle. Siirtymä kytkeytyy kuitenkin yhä tiiviimmin myös energiaomavaraisuuteen, strategiseen autonomiaan ja Suomen rooliin osana Euroopan puhtaan energian taloutta.

Venäjällä oli pitkään merkittävä rooli EU:n energian tuonnissa. Se kattoi noin 40 % EU:n maakaasun tuonnista ja noin 30 % öljyn tuonnista juuri ennen kuin Venäjä käynnisti hyökkäyssodan Ukrainaa vastaan helmikuussa 2022. Vastauksena tähän EU laati REPowerEU-suunnitelman (Euroopan komissio, 2022), jonka tavoitteena on vähentää energiariippuvuutta Venäjästä, vahvistaa EU:n energiaomavaraisuutta ja kasvattaa uusiutuvan energian tuotantoa. Ilmastopoliittisten tavoitteiden rinnalle on näin nousut selkeä geopoliittinen ulottuvuus. Venäjän aggressiivinen etupiiripolitiikka, Yhdysvaltojen arvopohjan eriytyminen Euroopasta ja epävarmuus transatlanttisten suhteiden kehityksestä sekä Kiinan geotaloudellisen aseman vahvistuminen haastavat EU:ta

Suomella on energiasiirtymässä vahvat lähtökohdat. Runsaat uusiutuvat luonnonvarat, vähähiilinen sähköjärjestelmä ja vahva teknologinen osaaminen luovat edellytyksiä energiajärjestelmän uudistumiselle ja uusien teollisten arvoketjujen syntymiselle.



entistä vahvempaan strategiseen autonomiaan, jolla tarkoitetaan valmiutta toimia itsenäisesti strategisesti tärkeillä aloilla, puolustaa omia etujaan ja pyrkimystä irtautua vahingollisista riippuvuussuhteista. Uusiutuvan energian edistäminen on Euroopalle siten teollisuus- ja ympäristöpolitiikan lisäksi myös geopolitiittinen tavoite.

Suomi on onnistunut verrattain nopeasti korvaamaan energia-riippuvuutensa Venäjältä, mutta geopolitiittisen jännittyneisyyden aika maailmalla voi jatkua pitkään. Tässä toimintaympäristössä korostuu tarve siirtymään, jonka tavoitteena on hiilineutraalustavoitteen lisäksi Suomen geopolitiittisen aseman vahvistaminen sekä huoltovarmuuden takaaminen. Keväällä 2026 Hormuzinsalmen sulkeutuminen ja sitä seurannut öljyn hinnan nousu osoittivat jälleen geopolitiittisen turbulenssin konkreettiset vaikutukset ja arvoketjujen riippuvuudet. Vastauksena tilanteeseen Euroopan komissio julkaisi AccelerateEU-suunnitelman (Euroopan komissio, 2026), joka täydentää REPowerEU-suunnitelmaa. Se pyrkii nopeuttamaan uusiutuvan energian investointeja sekä vahvistamaan energiajärjestelmän resilienssiä.

Luonnonvarakeskuksen (Luke) REPower-tiekartta tuottaa tutkittua tietoa uusiutuvan energian vaikutuksista, haasteista ja mahdollisuuksista Suomen energiajärjestelmässä. Tavoitteena on tukea päätöksentekoa ja toimia, jotka vahvistavat Suomen energiaomavaraisuutta, maankäyttövaikutusten hallintaa energiasiirtymässä sekä edistävät irtikytkentää fossiilisesta energiasta ja vahvistavat EU:n energiahuoltovarmuutta.

Koska energiajärjestelmän tulevaisuus sisältää useita epävarmuuksia, tiekartta tarkastelee kolmea vaihtoehtoista tulevaisuuspolkua vuoteen 2055. Tulevaisuuspolut kuvaavat vaihtoehtoisia kehityskulkuja, joiden kautta Suomi voisi edetä kohti

fossiilisista polttoaineista irtautuvaa energiajärjestelmää ja vastata kasvavaan sähkön kysyntään sekä teollisuuden rakennemuutokseen. Tiekartta analysoi erityisesti energiasiirtymän vaikutuksia kolmeen keskeiseen muutosalueeseen – maankäyttöön, alueelliseen kehitykseen ja Suomen geopolitiittiseen asemaan – sekä tunnistaa keskeiset strategiset valinnat eri aikajän-teillä.

Tiekartta kehitettiin hanketyönä vuosina 2024–2026. Valmistelussa tehtiin vuorovaikutteista yhteistyötä Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä (REPower-CEST)-hankkeen kanssa. Tiekartta perustuu Luken REPower-hankkeessa tuotettuun tutkimustietoon sekä strategiseen ja skenaariovetoiseen ennakkointiprosessiin, joka toteutettiin tutkija- ja sidosryhmätyöpajojen avulla. Ennakkointityön määrällisenä ja teknis-taloudellisena lähtökoh-tana hyödynnettiin KEITO WAM (With Additional Measures) -skenaariota (Koljonen ym., 2025a), jonka pohjalta tiekartan tulevaisuuspolkuja rakennettiin. KEITO-skenaariossa hiilineutraaliuden saavuttaminen vuoteen 2050 mennessä on lähtöoletus. Kasvi-huonekaasulaskennan menetelmiin on kuitenkin parhaillaan valmisteilla muutoksia, joiden vaikutuksia hiilineutraaliuden ajoitukseen ei raportin kirjoitushetkellä ole vielä laskettu loppuun eikä julkaistu, eikä niitä siten ole ollut mahdollista huomioida tässä tarkastelussa. Polkujen kehittämistä täydennettiin muutosvoimien analyysillä, laadullisilla pohjaskenaarioilla sekä teknis-taloudellisilla taustalaskelmilla.

Muutosalueiden tarkastelu nojaa myös tähän prosessiin ja sen aikana tehtyyn empiiriseen tutkimukseen. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös viime vuosina laadittuja tieteellisiä uusiutuvan energian skenaarioita (Mikkola et al. 2026). Niiden havaittiin tyy-pillisesti jäsentävän tulevaisuutta kehityskulkuna, jota ohjaavat pääasiassa teknistaloudelliset ajurit, samalla kun muiden

Tiekartan tavoitteena on tukea päätöksentekoa ja toimia, jotka vahvistavat Suomen energiaomavaraisuutta, maankäyttövaikutusten hallintaa energiasiirtymässä sekä edistävät irtikytkentää fossiilisesta energiasta ja vahvistavat EU:n energiahuoltovarmuutta.

yhteiskunnallisten tekijöiden merkitys jää vähäiseksi. Tällainen lähestymistapa ei ole kyennyt ennakoimaan esimerkiksi viime vuosina koettujen geopolittisten kehityskulkujen kaltaisia vaikutuksia. Tämän vuoksi tiekartan laadinnassa on hyödynnetty myös teknistaloudellisten ajureiden ulkopuolisia, eri tieteenalojen näkökulmia, joiden avulla pyritään syventämään ymmärrystä uusiutuvan energian mahdollisista tulevaisuuksista. Tiekartassa energiajärjestelmän ja ympäröivän yhteiskunnan ja maankäytön muutos ymmärretään rakenteellisena, yhteiskunnan laajuisena, mutta strategisesti hallittuna energiasiirtymänä, joka pitää sisällään sekä uusiutuvan energian tuotannon merkittävän kasvun että fossiilisen energian kulutuksesta luopumisen ja näihin muutoksiin liittyvien vaikutusten monitieteisen tarkastelun.

Tiekarttaa taustoittava tutkimus tarkasteli tuuli- ja aurinkoenergiainfrastruktuurin rakentamisen vaikutuksia osana puhtaan energian tuotantojärjestelmää. Muutosalueiden tarkastelussa painotettiin poikkileikkaavia vaikutuksia, jotka ulottuvat maankäytön muutoksista ja luontovaikutuksista aina alueelliseen toimijuuteen, oikeudenmukaisuuteen ja energiasiirtymän geopolittisiin reunaehtoihin. Lisäksi tutkittiin puupohjaisen bioenergian roolia tulevaisuuden energiapaletissa erityisesti energian toimitusvarmuuden ja puupolttoaineiden kestävän hankinnan näkökulmasta.

Tämän työn painopiste on energiajärjestelmän rakenteellisessa kehityksessä. Ilmastolain hiilineutraaliustavoitteet vuoteen 2035 mennessä eivät sisälly analyysiin. Muutosalueiden tarkastelu ei kata maankäyttösektorin (LULUCF) nieluja tai mahdollisia hakuutasojen muutoksia. Näiden kytkeminen edellyttäisi yhdistettyä maankäytön ja energiasektorin mallinnusta, mikä ylittää tiekartan rajauksen. Raportin liitteenä esitetään kuitenkin erillinen

tietolaatikko, joka tarkastelee herkkyyksanalyysin omaisesti, millaisia lisätoimia hiilineutraalius vuoteen 2035 edellyttäisi.

**Tiekartan visio on luoda Suomeen kestävä ja kokonaisturvallisuutta edistävä energiajärjestelmä vuonna 2055.** Tässä yhteydessä kestävyys tarkoittaa sitä, että energiajärjestelmä on samanaikaisesti ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestävä: se vähentää ympäristökuormitusta, turvaa kohtuuhintaisen energian ja energiahankkeiden hyväksyttävyyden sekä rakentuu tavalla, joka ei heikennä luonnon monimuotoisuutta, luonnonvarojen riittävyyttä eikä tulevien sukupolvien mahdollisuuksia tehdä kestäviä valintoja luonnonvarojen, energiaratkaisujen ja yhteiskunnallisen kehityksen suhteen. Kestävän ja kokonaisturvallisen energiajärjestelmän saavuttamista tukee energiajärjestelmän resilienssi, jonka vahvistaminen on tärkeää epävarmuuksien lisääntyessä. Kokonaisturvallisuuden näkökulmasta visio nojaa ajatukseen, että yhteiskunnan elintärkeät toiminnot turvataan viranomaisten, elinkeinoelämän, järjestöjen ja kansalaisten yhteistyöllä. Energian luotettava saatavuus on tässä keskeinen edellytys. Tiekartta tukee tätä tavoitetta tuottamalla tietoa energiajärjestelmästä, jonka toimintavarmuus perustuu sekä kotimaisiin ratkaisuihin että kansainväliseen yhteistyöhön.

## Avaintermi: Resilienssi

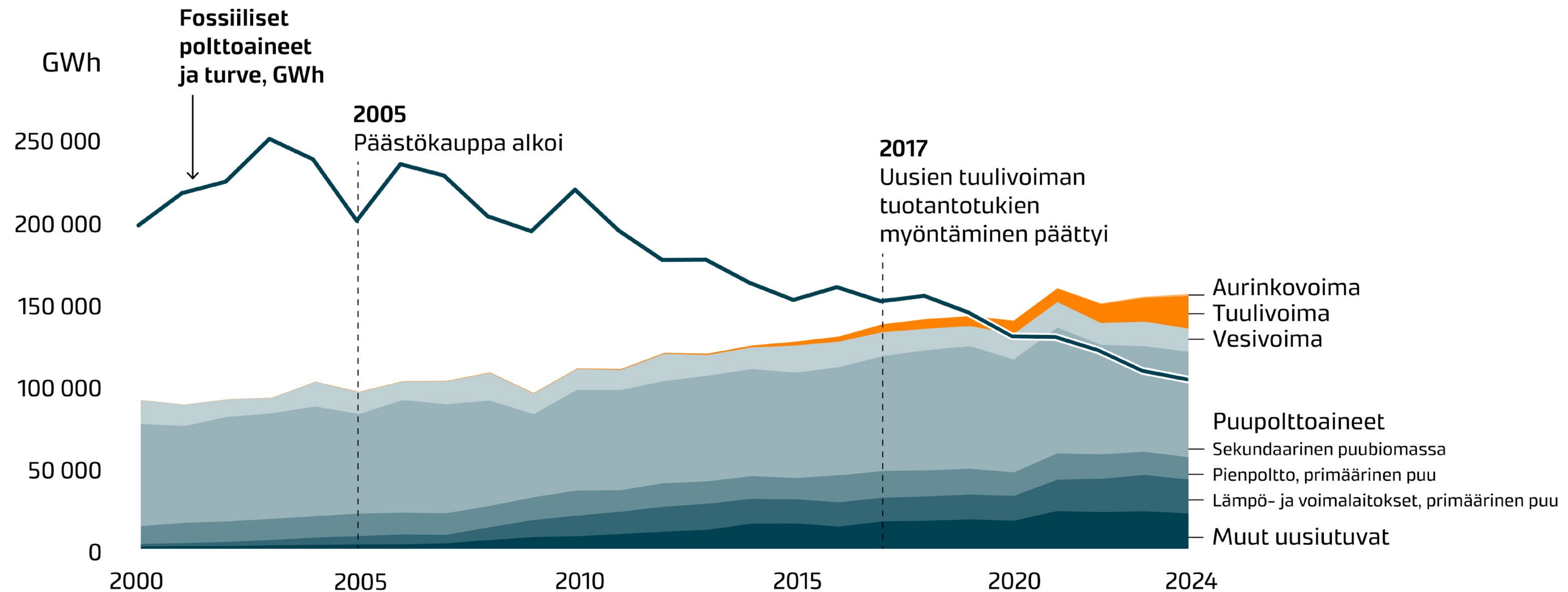
Energiajärjestelmän resilienssillä tarkoitetaan järjestelmän kykyä ennakoita ja kestää erilaisia häiriöitä, kriisejä ja muutoksia sekä kyvykkyyttä palautua niistä ja sopeutua niihin siten, että energian toimitusvarmuus ja kohtuullinen hintataso sekä yhteiskunnan keskeiset toiminnot voidaan joustavasti turvata. Tällaiset häiriö-, poikkeus- ja murrostilanteet voivat johtua esimerkiksi sään ääri-ilmiöistä, kyberuhista ja geopolittisistä jännitteistä. Resilienssi ei rajaudu yksinomaan tekniseen toimitusvarmuuteen tai materiaaliseen huoltovarmuuteen, vaan kattaa myös energiajärjestelmän taloudellisen, sosiaalisen, institutionaalisen ja geopolittisen häiriönsietokyvyn. On huomioitavaa, että käsitteellä ei ole yhtä hyväksyttyä määritelmää (Jasiūnas ym., 2021). Tässä tiekartassa resilienssi kytkeytyy laajasti sosio-ekologiseen kestävyteen ja kokonaisturvallisuuteen, joihin liittyvät uhat ovat moninaisia ja vaihtelevat aikajänteiltään.

## 2. Energiasiirtymän lähtötilanne 2025



# Uusiutuva energia on syrjäyttänyt fossiilisia energialähteitä voimakkaasti 2000-luvulla

Suomen energian käyttö energialähteittäin 2000–2024



## 2. Energiasiirtymän lähtötilanne 2025

### 2.1 Energiajärjestelmän murros ja loppukäytön sähköistyminen

Energiajärjestelmä käsittää laajan kokonaisuuden, joka jakautuu neljään pääsektoriin: sähköntuotantoon, lämmöntuotantoon, teollisuuteen ja liikenteeseen. Viimeisen vuosikymmenen aikana energiajärjestelmässä on tapahtunut merkittävä rakennemuutos erityisesti sähköntuotannossa, jossa maatuulivoima on noussut marginaalisesta tuotantomuodosta keskeiseksi osaksi sähköjärjestelmää. Uusiutuvan energian kasvu ja fossiilisten energialähteiden syrjäytyminen eivät ole vain viime vuosien ilmiö, vaan osa pidempää kehityskulkua, jossa myös EU-tason ohjauskeinot, kuten vuonna 2005 käynnistynyt päästökauppa, ovat osaltaan vaikuttaneet energiajärjestelmän rakenteen muutokseen. Uusiutuvasta energiasta on muodostunut keskeinen fossiilisia energialähteitä korvaava tuotantomuoto erityisesti sähköntuotannossa ja lämmityksessä. Muutos on vähentänyt riippuvuutta fossiilisten polttoaineiden tuonnista, alentanut sähkön keskihintaa ja leikkannut sähköntuotannon ominaispäästöjä nopeasti. Esimerkiksi vuonna 2024 fossiilitoman sähköntuotannon osuus nousi 95 %:iin (Suomen virallinen tilasto (SVT), 2026), jonka mahdollistivat tuulivoiman lisäksi ydinvoima, vesivoima ja laaja metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen energiaksi. Viime vuosina sähkön keskihinnat ja tuotannon ominaispäästöt ovat olleet Suomessa Euroopan matalimpia.

Samalla kun tuuli- ja aurinkovoiman nopea kasvu on painanut sähkön keskihintaa alaspäin, sähkön hinnan vaihtelu on merkittävästi lisääntynyt ja keskustelu toimitusvarmuudesta kysyntähuippujen aikaan on noussut keskeiseksi kysymykseksi. Suomessa energian kysyntähuippu ajoittuu talven pakkasjaksoihin, jolloin lämmöntuotannon tarve kasvaa, aurinkosähkön tuotanto on minimissään ja tyynellä säällä myös tuulivoiman tuotanto voi olla pitkiä aikoja matalalla tasolla. Näissä tilanteissa ydinvoiman, sähkön tuonnin sekä teollisuuden ja yhdyskuntien yhteistuotantolaitosten (CHP) rooli korostuu toimitusvarmuuden turvaamisessa.

Suomen kantaverkko on kansainvälisillä mittareilla erittäin toimitusvarma. Vahva kantaverkko ja monipuolinen energiapaletti ovat turvanneet teollisuuden ja kotitalouksien energian käytön ja tukeneet energiasiirtymää. Kasvava tuuli- ja aurinkovoiman osuus edellyttää kuitenkin siirtoverkkojen laajentamista ja vahvistamista.

Sähköntuotannon vähähiilistyminen ja halventuminen ovat tehneet energiankäytön sähköistämistä keskeisen keinon vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä liikenteessä, lämmityksessä ja teollisuudessa. Sähköajoneuvot korvaavat öljyä liikenteessä, lämpöpumput ja sähkökattilat syrjäyttävät fossiilisia polttoaineita - ja Suomessa osin myös puupolttoaineita -

lämmityksessä. Teollisuudessa sähköistymistä vauhdittavat sähköiset ratkaisut yhdistettyinä korkean lämpötilan lämpövarastoihin.

Sähköistymisen ohella siirtymää tukee biopolttoaineiden runsas käyttö. Teollisuudessa puuperäisten polttoaineiden osuus on ollut historiallisesti suuri, koska merkittävä osa metsäteollisuuden sivutuotteista (mm. kuori ja puru) hyödynnetään energiaksi. Vuonna 2024 nestemäiset biopolttoaineet kattoivat noin 12 % tieliikenteen energialähteistä, sähkön osuuden ollessa noin 3 % ja biometaanin noin 1 %.

Suomi myös tuo merkittävän määrän energiaa. Sähkön osalta merkittävää roolia näyttelevät muut Pohjoismaat. Sen sijaan fossiilisen energian osalta Venäjä oli aiemmin merkittävin tuontimaa: se kattoi 34 % Suomessa vuonna 2021 kulutetusta energiasta. Vuonna 2024 tilanne oli kuitenkin jo täysin toinen, kun Venäjän osuus tuontienergiasta on romahtanut EU-pakotteiden ja Suomen irtautumistoimien vuoksi. Norja on puolestaan noussut Suomen suurimmaksi energiatuotteiden lähteeksi.

Olemassa olevan energiankulutuksen sähköistymisen ohella tulevaisuudessa sähkön kysyntää lisäävät myös datakeskukset sekä laajamittaiset suunnitelmat elektrolyyttisen vedyn tuotannosta. Koska investoinnit tuuli- ja aurinkovoimaan ovat edullisin tapa rakentaa uutta sähköntuotantokapasiteettia, kysynnän kasvu ohjaa investointeja Suomessa ennen kaikkea maatuulivoimaan. Viimeiset syöttötariffijärjestelmän piiriin kuuluneet voimalat rakennettiin vuonna 2017, jonka jälkeen kapasiteetin kasvu on perustunut markkinaehtoiisiin investointeihin. Tuulivoiman tuotanto onkin moninkertaistunut viimeisen kymmenen vuoden aikana muutamasta terawattitunnista yli 20 terawattituntiin. Tuulivoiman tuotannon arvioidaan useissa eri skenaarioissa nousevan

Tuulivoiman tuotannon arvioidaan useissa eri skenaarioissa nousevan tulevina vuosikymmeninä 60 TWh:n tai jopa 300 TWh:n tasolle

tulevina vuosikymmeninä 60 TWh:n tai jopa 300 TWh:n tasolle, mikä merkitsisi tuotannon 3-12-kertaistumista ja siirtymistä osittain myös maalta merelle (Energiateollisuus, 2024; Fingrid, 2025; Koljonen ym., 2025a). Tuulivoiman tulevalla kehityksellä on merkittäviä vaikutuksia maan ja rannikkovesien käyttöön, maa- ja meriluonnon monimuotoisuuteen ja hankkeiden sosiaaliseen hyväksyttävyyteen - kysymyksiin, joiden ratkaiseminen nousee merkittävään rooliin energijärjestelmän seuraavassa siirtymävaiheessa.

## 2.2 Energiaturvallisuuden uudet muodot

Energia on strategisen merkityksensä vuoksi myös merkittävä yhteiskuntapoliittinen kysymys. Viime vuosikymmenillä yhteiskuntapoliittinen arviointi on kuitenkin rajautunut pääasiallisesti talous-, ympäristö- ja ilmastonäkökulmiin ja geo- ja turvallisuuspoliittiset ulottuvuudet sekä sosiaalinen ja alueellinen oikeudenmukaisuus ovat olleet vähäisesti huomioituja (Höysniemi, 2025; Kivimaa, 2024). Vuonna 2022 alkanut Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan ja sitä seuranneet geopoliittiset jännitteet ovat muuttaneet tilannetta merkittävästi. Ennen sotaa Eurooppa oli vahvasti riippuvainen varsinkin venäläisestä tuontienergiasta, jota käytetään edelleen. Euroopan komissio on kuitenkin asettanut tavoitteeksi lopettaa venäläisen maakaasun tuonti kokonaan vuoden 2027 loppuun mennessä. Suomi kykeni verrattain nopeasti korvaamaan Venäjältä tuodun öljyn. Vaikka Venäjän tuonti on päätynyt, Venäjä jatkaa yhä öljyn ja kaasun kuljettamista Itämeren pitkin, joka pitää yllä vähintäänkin ympäristöriskejä.

Vaikka uusiutuvien energialähteiden roolin vahvistuminen vähentää riippuvuutta energian tuonnista ja altistumista fossiilisten

polttoaineiden hintavaihteluille alttiille markkinoille, se luo myös uudenlaisia haavoittuvuuksia. Puhtaan energian globaalit toimitukset ovat voimakkaasti keskittyneitä, ja Kiina hallitsee useimpien puhtaan energian teknologioiden valmistusta ja kaupaa. Massatuotetuissa teknologioissa - kuten tuuliturbiineissa, akuissa, elektrolyyiseissä ja aurinkopaneeleissa - kolme suurinta tuottajamaata vastaavat vähintään 70 %:sta kunkin teknologian valmistuskapasiteetista, ja Kiina on hallitsevassa asemassa kaikissa näissä (IEA, 2023).

Keskittyminen ulottuu myös kriittisiin mineraaleihin, joita tarvitaan sähköverkkojen rakentamisessa (kupari) ja akkujen valmistuksessa (litium, koboltti jne.). Esimerkiksi Kongon demokraattinen tasavalta tuottaa yksin noin 70 % maailman koboltista, ja vain kolme maata vastaa lähes 90 %:sta globaalista litiumin tuotannosta (IEA, 2023).

Tässä kokonaisuudessa bioenergia muodostaa poikkeuksen: toimitukset, osaaminen ja markkinat ovat luonteeltaan kansallisia, eikä niihin liity vastaavia geopoliittisia epävarmuuksia kuin moniin muihin puhtaan energian teknologioihin. Erityisesti puuenergian rooli korostuu talven kysyntähuippujen hallinnassa, jolloin kotimainen ja helposti mobilisoitava energiareservi tukee energijärjestelmän huoltovarmuutta siirtymän eri vaiheissa.

## 2.3 Sosiaalinen ja alueellinen ulottuvuus

Sosiaalinen oikeudenmukaisuus on noussut keskeiseksi kysymykseksi energiasiirtymään kytkeytyvien laajojen yhteiskunnallisten vaikutusten vuoksi. Energiateknologioiden nopea kehitys, digitalisaatio ja markkinoiden murros haastavat perinteisiä

säätelymalleja ja edellyttävät joustavampaa ja ennakoivampaa politiikkaa. Samalla ilmastotavoitteiden saavuttaminen vaatii pitkäjänteistä strategista suunnittelua, jossa yhdistyvät ympäristölliset, taloudelliset sekä sosiaalisen ja alueellisen oikeudenmukaisuuden näkökulmat.

Uusiutuvan sähkön tuotanto sijoittuu Suomessa maantieteellisesti epätasaisesti, mikä vaikuttaa kustannusten ja hyötyjen jakautumiseen eri väestöryhmien ja alueiden välillä. Energiasiirtymä ei siten ole pelkästään teknologinen muutos, vaan se muuttaa myös alueellisia valtasuhteita ja taloudellisia mahdollisuuksia. Tämä voi synnyttää paikallisia jännitteitä ja edellyttää entistä osallistavampaa suunnittelua sekä hyväksyttävyyden systemaattista arviointia. Eri näkökulmien yhteensovittaminen vaatii myös poliittisten toimien vaikutusten tarkkaa arviointia: energiapolitiikan on kyettävä yhtä aikaa turvaamaan taloudellinen kilpailukyky, päästövähennykset, toimitusvarmuus ja sosiaalinen oikeudenmukaisuus. Tämä tekee energiasiirtymästä paitsi teknistä ja taloudellista, myös institutionaalista ja yhteiskunnallista uudistumista edellyttävän prosessin.

Vuoden 2025 lähtötilanne osoittaa, että Suomen energiasiirtymä on edennyt nopeasti. Sähköntuotannon vähähiilistyminen, tuulivoiman voimakas kasvu ja loppukäytön sähköistyminen ovat vähentäneet fossiiliriippuvuutta ja parantaneet kilpailukykyä. Samalla energijärjestelmä on muuttunut entistä sähköintensiivisemmäksi, investointivetoisemmaksi ja sidoksellisemmaksi kansainvälisiin teknologia- ja materiaalivirtoihin.

### 3. Tulevaisuuspolut



## 3. Tulevaisuuspolut

Tässä luvussa tarkastellaan kolmea vaihtoehtoista kehityspolkua Suomen energiajärjestelmälle vuoteen 2055. Tulevaisuuspolut kuvaavat erilaisia tapoja, joilla Suomi voi edetä kohti fossiilisista polttoaineista irtautuvaa energiajärjestelmää ja samalla vastata kasvavaan sähkön kysyntään sekä uusiin teollisiin mahdollisuuksiin.

Energiasiirtymän seuraava vaihe määrittyy pitkälti sen perusteella, millä tavoin Suomi ratkaisee kaksi toisiinsa kytkeytyvää kysymystä: millainen rooli eri uusiutuvilla energialähteillä on tulevaisuuden energiajärjestelmässä, ja miten muutoksen taloudelliset, alueelliset ja ekologiset vaikutukset hallitaan. Tuulivoiman voimakas lisärakentaminen, bioenergian asema säätö- ja varavoiman lähteenä sekä sähkön kysynnän kasvun kokoluokka muodostavat keskeiset tekijät, joiden kautta energiajärjestelmä voi kehittyä eri suuntiin.

Lähtötilanne ei siten johda yhteen ennalta määrättyyn lopputulokseen, vaan tiekartan ennakointiprosessi tuottaa vaihtoehtoisia tulevaisuuspolkuja, joista yhdenkään ei oleteta toteutuvan sellaisenaan. Polkujen taustaoletukset ovat keskeisiä kuvaamaan muutosta ja muutostoimenpiteitä. Erot eivät rajoitu pelkästään energiateknologioiden valintaan, vaan ne heijastuvat maankäyttöön, luonnon monimuotoisuuteen, alueelliseen oikeudenmukaisuuteen, teolliseen rakenteeseen sekä Suomen geopoliittiseen asemaan.

Tämän tiekartan analyysin lähtökohtana toimii **EU-velvoitepolku**, joka toimii vertailukohtana muille tarkastelluille vaihtoehdoille. Se kuvaa kehitystä tilanteessa, jossa Suomi saavuttaa EU:n ilmast- ja energiapolitiikan tavoitteet vuoteen 2050 mennessä nykyisten teknologisten kehityssuuntien pohjalta.

Tämän referenssipolun rinnalla tarkastellaan kahta vaihtoehtoista kehityskulkua, jotka poikkeavat siitä tietyissä energiajärjestelmän osa-alueissa. **Biotalouspolussa** korostuu biomassan jalostusarvon kasvu: osa nykyisestä energiakäytöstä siirtyy materiaalikäyttöön ja polttoaineiden tuotantoon, erityisesti metallurgiseen biohiileen ja synteettisiin polttonesteisiin. Lisäksi ligniiniä ohjautuu energiantuotannosta korkea-arvoisiin tuotteisiin. **Sähköistymispolussa** puolestaan tarkastellaan sähköintensiivistä kehitystä, jossa uusiutuvan sähkön tuotantokapasiteetti maa- ja merituulivoiman sekä aurinkovoiman muodossa kasvaa merkittävästi vastatakseen sähkön laajamittaiseen käyttöön datakeskuksissa sekä synteettisten vetypohjaisten polttoaineiden tuotannossa.

**Tulevaisuuspolkujen tausta-aineistona** on käytetty KEITO-skenaarioita (Koljonen ym., 2025a). Niissä maankäyttösektorin metsien kehityksen mallinnus on toteutettu Luken MELA-mallilla, joka hyödyntää Valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) -aineistoon perustuvaa lähtöpuuston muodostusta. Mallinnusta koskevat uudet analyysit osoittavat, että metsien kasvua ja hiilensidontaa on aiemmissa laskelmissa todennäköisesti yliarvioitu pitkällä aikavälillä. Uudistetulla aineistolla tehdyissä laskelmissa metsänielut eivät vahvistu ajan kuluessa samassa määrin kuin KEITO-skenaarioissa ennakoitiin.

### 3.1 EU-velvoitepolku

Referenssipolku perustuu KEITO-hankkeen WAM-skenaarioon, joka kuvaa energiajärjestelmän kehitystä tilanteessa, jossa EU:n ilmasto- ja energiasäätely toimeenpannaan täysimääräisesti ja kansallisia lisätoimia toteutetaan päätettyjen linjausten mukaisesti.

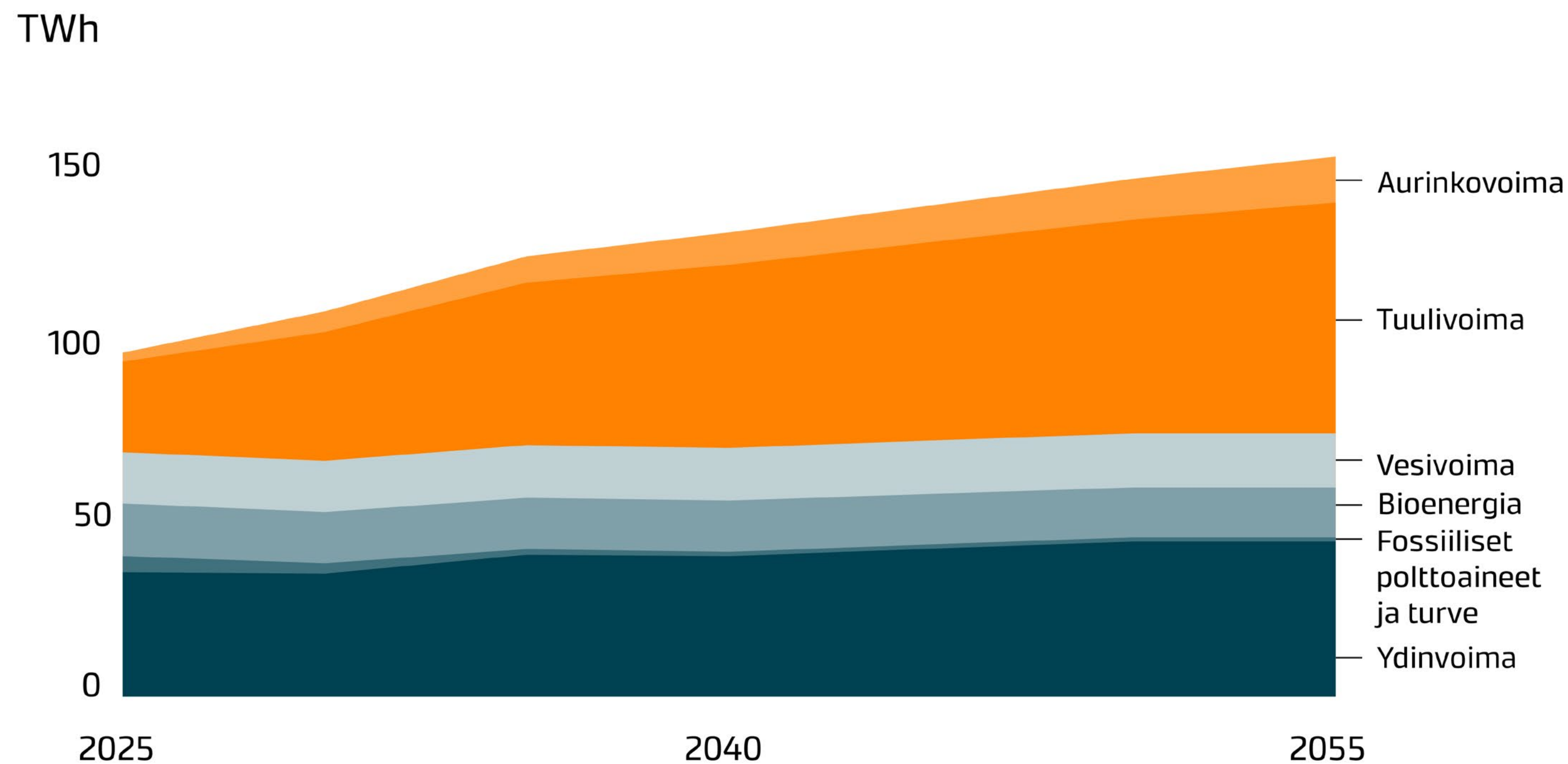
Tulevaisuuspolussa energiajärjestelmä sähköistyy voimakkaasti vuoteen 2055 mennessä. Sähkön kokonaiskulutus kasvaa lähes 80 % 152 TWh:n tasolle. Kasvu kohdistuu erityisesti liikenteeseen (noin 88 % henkilöautoista täyssähköisiä) ja kemianteollisuuteen. Tuulivoiman tuotanto kasvaa 65 TWh:iin, mikä vastaa noin 40 prosentin osuutta sähköntuotannosta. Aurinkosähkö täydentää tuotantorakennetta erityisesti 2030-luvulta alkaen (Taulukko 3.1). Ydinvoima säilyy merkittävänä energian lähteenä ja siihen investoidaan sekä sähkön että lämmön tuotannossa. Uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta nousee noin 75 prosenttiin. Fossiilisten polttoaineiden käyttö sähkö- ja lämpösektorilla vähenee lähelle nollaa jo 2030-luvulla. Puupolttoaineiden käyttö säilyy merkittävänä osana energiajärjestelmää, erityisesti yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. Metsähakkeen ohella poltettava puu koostuu erilaisista metsäteollisuuden sivuvirroista. Energiapuun lisätuonti on rajoitettu alle 2 TWh:n tasolle. Vedyn käyttö keskittyy pääosin fossiilisen vedyn korvaamiseen öljynjalostuksessa eikä johda laajamittaiseen synteettisten polttoaineiden vientiteollisuuteen. Datakeskusten sähkönkulutus nousee maltillisesti noin 10 TWh:n tasolle.

Bioenergia toimii järjestelmän joustona ja muodostaa keskeisen syötteen teknisille hiilinieluille. Hiilineutraalius saavutetaan kompensoimalla maankäyttösektorin jäljelle jääviä nettopäästöjä bioperäisen hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin (BECCS) avulla. BECCS-kapasiteetti nousee niin tässä kuin muissakin tulevaisuuspoluissa noin 13 Mt CO<sub>2</sub> tasolle vuoteen 2055 mennessä. Fossiilisen hiilidioksidin talteenotto sementtiteollisuudesta on 0,4–0,8 Mt CO<sub>2</sub> vuodessa.



# EU-velvoitepolku

Sähköntuotannon kehitys 2025–2055



## 2055



Energiasiirtymä etenee EU-velvoitteiden ohjaamana.



Sähköntuotanto kasvaa uusiutuvilla ratkaisuilla ja fossiilienergiasta luovutaan asteittain.



Kotimainen bioenergia tasapainottaa järjestelmää ja tukee huoltovarmuutta vaihtelevan uusiutuvan tuotannon rinnalla.



## 3.2 Biotalouspolku

Biotalouspolku nojaa Suomen siirtymään kohti biotalouteen perustuvaa yhteiskuntaa, jossa luonnonvarojen käyttö, energia ja teollinen tuotanto muodostavat kestävästä kokonaisuudesta. Fossiiliset materiaalit ja polttoaineet korvataan uusiutuvan sähkön ohella biopohjaisilla tuotteilla ja kiertotaloutta vahvistavilla ratkaisuilla. Polussa korostetaan uusiutuvien luonnonvarojen kestävästä käyttöä, biopohjaisten materiaalien kehittämistä ja teknologisia hiilinieluita. Energiantuotanto ja teollinen arvonn muodostus rakentuvat kaskadiperiaatteen mukaisesti siten, että biomassat ohjautuvat markkinaehtoisesti korkean jalostusarvon materiaali- ja kemikaalikohteisiin. Energiaksi puuta käytetään ensisijaisesti silloin, kun muut käyttökohteet eivät ole teknisesti tai taloudellisesti perusteltuja. Näin vahvistetaan huoltovarmuutta ja vauhditetaan siirtymää kohti fossiilittomia energia- ja tuotantjärjestelmiä. Suomen asema vahvana biotalouden osaajana nojaa huomattavan suureen uusiutuvan biomassan resurssiin sekä kykyyn jalostaa sitä korkean lisäarvon tuotteiksi.

Sähkön kysyntä kasvaa hieman referenssipolkua voimakkaammin 159 TWh:n tasolle vuoteen 2055 mennessä (vrt. EU-velvoitepolku ~152 TWh). Lisäys johtuu uusiutuvan vedyn tuotannosta, jolla maksimoidaan puupohjaisten polttoaineiden hiilitehokkuus sekä metsähakkeen energiakäytön maltillisesta vähenemisestä (Hannula, 2016). Lisäksi ligniinin materiaalikäyttö vähentää teollisuuden sähköntuotantoa noin 1 TWh:n verran. Muutokset katetaan tuuli- ja aurinkovoimalla, jotka nousevat 72 TWh:n ja 14 TWh:n tasolle vuoteen 2055 mennessä (Taulukko 3.1).

Polussa biomassan kokonaiskäyttö säilyy lähellä EU-velvoitepolun tasoa, mutta käyttö rakenne painottuu pois sähkön ja lämmöntuotannosta kohti korkeamman jalostusarvon sovelluksia. Energian toimitusvarmuuden ohella huoltovarmuuden

näkökulmasta bioenergia säilyttää kuitenkin tärkeän roolin kotimaisena energialähteenä.

Ligniini tarjoaa biotalouspolussa nopeasti kehittyvän mahdollisuuden akkujen ja hiilimateriaalien tuotantoon. Ligniini voidaan ottaa talteen akkumateriaaleihin soveltuvassa muodossa, ja ligniinistä valmistettu kovahiili on osoittautunut litiumioniakuissa kaupallisen kovahiilen veroiseksi. Ligniinistä voidaan valmistaa myös aktiivisia hiilimateriaaleja ja biografiittia korvaamaan fossiilipohjaista grafiittia ja vähentämään kriittisten mineraalien tarvetta. Näin ligniini vahvistaa biotalouspolun tavoitetta kasvattaa biomateriaalien jalostusarvoa ja rakentaa kotimaisia, vähähiilisiä teknologia-arvoketjuja.

Biokaasun kasvava rooli täydentää polkua: kotimainen biokaasu ja erityisesti liikenne- ja teollisuussektorien käyttöön soveltuva bio- ja synteettinen metaani vahvistavat energiaomavaraisuutta ja tarjoavat vähäpäästöisen vaihtoehdon sektoreille, joiden sähköistäminen on vaikeaa. Biokaasuinvestoinnit hyödyntävät maatalouden, teollisuuden ja jätehuollon sivuvirtoja, tukevat ravinnekiertoa ja lisäävät bioenergiapohjan monipuolisuutta. Biokaasulla on siten myös alueellista omavaraisuutta ja elinvoimaa edistävä vaikutus.

Terästeollisuudessa masuuniprosessit korvautuvat vaiheittain valokaariuuneilla (electric arc furnace, EAF), ja biohiiltä käytetään pelkistimenä noin 50 000 tonnia vuodessa. Lisäksi biohiiltä käytetään korvaamaan 30 prosenttia fossiilisesta koksista ferrokromituotannossa, mikä johtaa noin 75 000 tonnin vuotuisen biohiilen kulutukseen. Korvausasteen nostamista rajoittaa biohiilen kulutukseen. Korvausasteen nostamista rajoittaa biohiilen fossiilikoksia heikompi metallurginen lujuus.

Metsätalouden sivuvirtoja, kuten hakkuutähteitä ja pienpuuta, ohjataan polussa myös biopoltonesteiden tuotantoon noin 1,7 Mm<sup>3</sup> vuodessa. Uusiutuva vety tukee tätä tuotantoa ja parantaa biomassan hiilitehokkuutta. Vety ei siten rajoitu vain fossiilisen vedyn korvaamiseen, vaan mahdollistaa biojalostusarvon kasvattamisen.

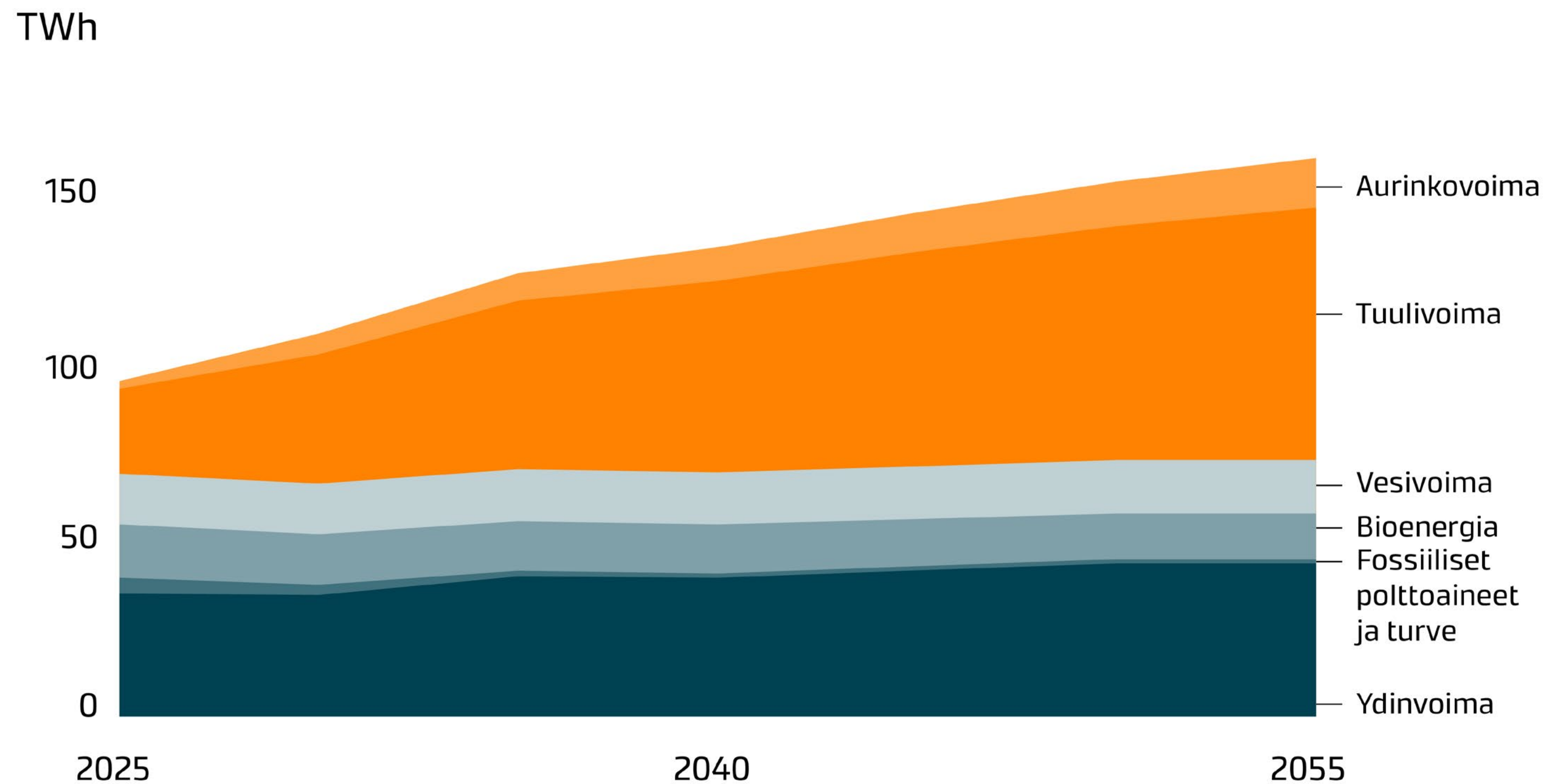
### Avaintermi:

#### Kaskadiperiaate

Kaskadiperiaatella tarkoitetaan tässä tiekartassa uusiutuvien biomassojen ohjaamista markkinaehtoisesti ensisijaisesti korkeamman jalostusarvon, pidempikestoisiin ja taloudellisesti arvokkaampiin käyttökohteisiin, kuten materiaali- ja kemikaalituotantoon, ennen niiden hyödyntämistä energiaksi. Periaatteen toteutuminen perustuu taloudelliseen kannattavuuteen, markkinakysyntään ja hankintakustannuksiin, joita julkinen ohjaus tukee ennustettavilla sääntely- ja investointiympäristöillä. Energiakäyttö on perusteltua silloin, kun vaihtoehtoisia käyttökohteita ei ole tai kun biomassalla on keskeinen rooli energijärjestelmän joustossa ja huoltovarmuudessa.

# Biotalouspolku

Sähköntuotannon kehitys 2025–2055



## 2055



Metsäbiomassaa hyödynnetään erityisesti korkean jalostusarvon tuotteisiin, bioenergia tukee huoltovarmuutta ja järjestelmän joustavuutta.



Energiajärjestelmän ja biotalouden kehitys nivoutuvat tiiviisti yhteen.



Maaseudun elinvoima, alueelliset klusterit ja Suomeen jäävä taloudellinen hyöty vahvistuvat.



### 3.3 Sähköistymispolku

Sähköistymispolku perustuu EU-velvoitepolun rakenteeseen, mutta hyödyntää uusiutuvan sähkön tuotantopotentiaalia merkittävästi laajemmin teollisessa arvonluonnissa. Polussa Suomen sähköjärjestelmän kapasiteetti kasvaa tasolle, joka mahdollistaa datakeskusten, uusiutuvan vedyn ja hiilidioksidipohjaisten synteettisten sähköpolttoaineiden laajamittaisen tuotannon.

Sähkön kokonaiskulutus nousee polussa massiivisesti noin 215 TWh:n tasolle vuoteen 2055 mennessä (vrt. EU-velvoitepolku ~152 TWh). Kasvu johtuu erityisesti kahdesta tekijästä: datakeskusten voimakkaasta laajenemisesta sekä biogeenisen hiilidioksidin ja vedyn hyödyntämisestä synteettisten polttonesteiden tuotannossa. Datakeskusten sähkönkulutus nousee noin 35 TWh:n tasolle vuodessa (noin 7 GW kapasiteetti, 60 % käyttöaste). Sellutehtaiden biogeenistä hiilidioksidia jalostetaan vuosittain 4 Mt CO<sub>2</sub> synteettiseksi polttonesteeksi, mikä edellyttää noin 30 TWh:n sähköä vedyn tuotantoon. Tuulivoiman tuotanto nousee 134 TWh:n tasolle vuoteen 2055 mennessä (EU-velvoitepolussa 65 TWh), ja siitä 14 TWh (noin 10 %) on merituulivoimaa. Aurinkosähkön tuotanto kasvaa 21 TWh:n tasolle (Taulukko 3.1). Polussa ei oleteta lisäydinvoiman rakentamista. Sähköjärjestelmästä muodostuu energiajärjestelmän keskeinen selkäranka, korkean tuulivoimaosuuden lisätessä järjestelmän tasapainotustarpeita.

Lämmöntuotanto sähköistyy voimakkaasti sähkökattiloiden ja mm. datakeskusten hukkalämpöä hyödyntävien lämpöpumppujen yleistyessä - syrjäyttäen puupolttoaineiden käyttöä vuositasolla selvästi EU-velvoitepolkuun verrattuna. Puupolttoaineiden rooli energiantuotannossa keskittyy huoltovarmuuteen ja kulu- tushuippujen hallintaan.

Energiajärjestelmää leimaa merkittävä tasaisen sähkönkysynnän kasvu (datakeskukset) ja uusiutuvan sähköntuotannon kasvun aiheuttamat huomattavat sääoloista johtuvat tarjonnan vaihtelut. Tulevaisuuspolussa korostuvat ajanjaksot, jolloin uusiutuvien tuotantoa on hetkelliseen kysyntään nähden runsaasti, ja toisaalta ajanjaksot, jolloin uusiutuvien tuotanto on vähäistä. Runsaan uusiutuvan energian jaksot hyödynnetään maksimaalisesti ajoittamalla kulutusta näihin hetkiin ja siirtämällä energiaa ajallisesti sekä sähkön että lämmön lyhyt- ja pitkäkestoisia varastoja hyödyntäen niukemman energian jaksoihin.

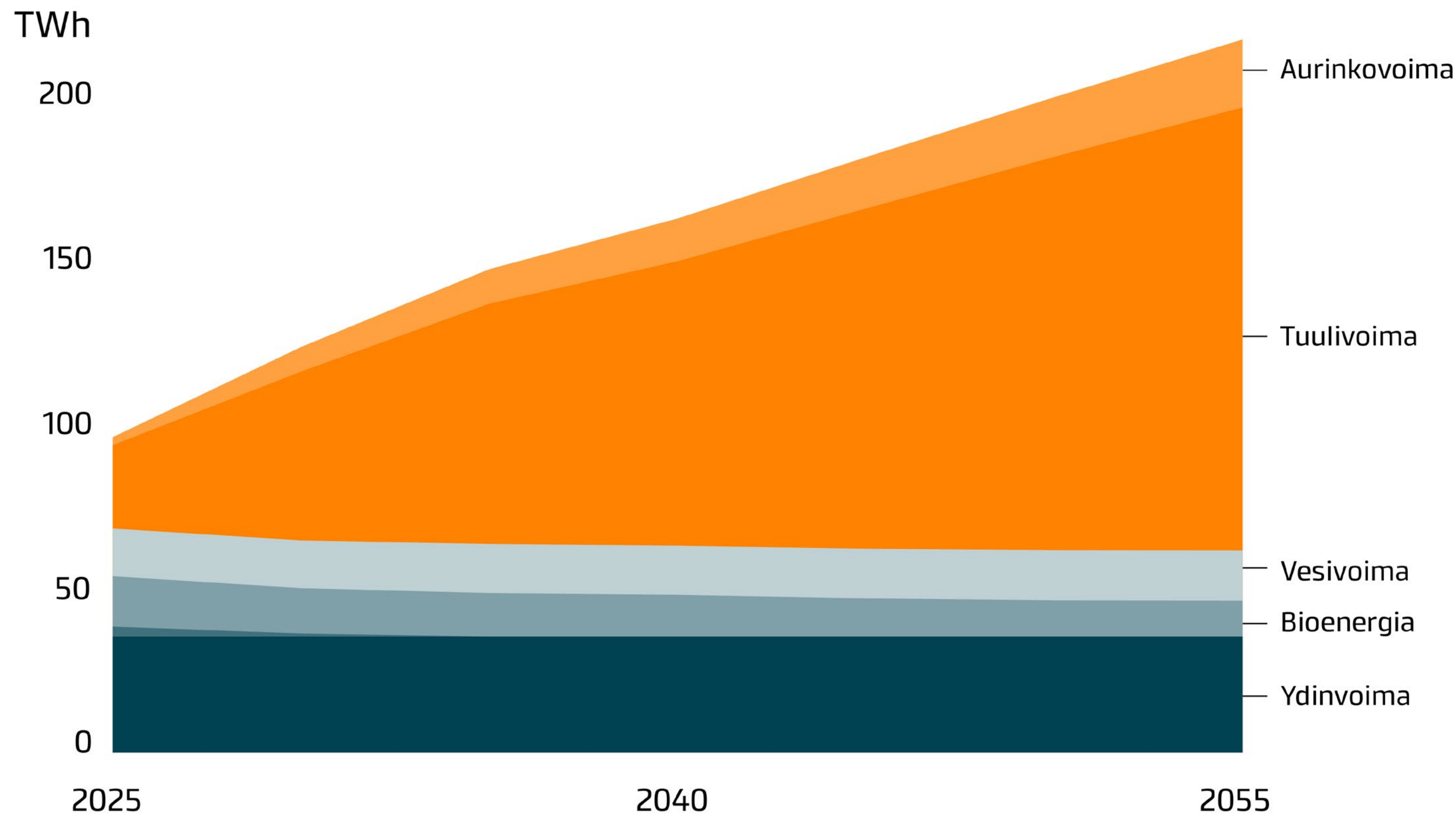
Talvikauden kulutushuippujen hallinta perustuu polussa maa- ja merituulivoiman maantieteelliseen hajautukseen, siirtoyhteyksien vahvistamiseen, pitkäkestoiisiin lämpövarastoihin sekä uusiutuvien polttoaineiden pitkäaikaisvarastoihin. Pitkittyneissä matalan uusiutuvien tuotannon ja kovien pakkasten jaksoissa korostuvat puuenergian rooli (sekä metsähake että metsäteollisuuden sivuvirrat), sähkön tuonti ja datakeskusten sähkönkäytön hallinta ja niiden varavoimaloiden hyödyntäminen.

Vedyn rooli laajenee merkittävästi EU-velvoitepolkuun verrattuna. Vety ei rajoitu fossiilisen vedyn korvaamiseen, vaan mahdollistaa laajamittaisen pistemäisten biogeenisten hiilidioksidilähteiden muuntamisen synteettiseksi polttonesteiksi tai lannoitteiksi.

Puupolttoaineiden vuositasoinen käyttö lämmön- ja sähköntuotantoon on selvästi alempi kuin muissa poluissa, mutta hetkellinen käyttö kulutushuippujen aikana säilyy tärkeänä osana järjestelmän joustavuutta. BECCS-kapasiteetti on vuonna 2055 muiden polkujen tavoin 13 Mt:n CO<sub>2</sub> tasolla sijoittuen sellutehtaisiin.

# Sähköistymispolku

Sähkön tuotannon kehitys 2025–2055



## 2055



Sähkönkulutus kasvaa huomattavasti datakeskusten ja sähköpolttoaineiden tarvitseman uusiutuvan vedyn vuoksi.



Energiajärjestelmä rakentuu laajamittaisen uusiutuvan sähkön tuotannon, verkkojen, energiavarastojen ja joustojen varaan.



Puhtaan sähkön ja sähkö-intensiivisen teollisuuden myötä vienti ja investoinnit lisääntyvät, mutta samalla riippuvuus kansainvälisten energia-markkinoiden kehityksestä kasvaa.



### 3.4 Tulevaisuuspolkujen edellyttämät strategiset valinnat

Strategisesti tarkasteltuna tulevaisuuspolut edustavat erilaisia painotuksia siinä, miten Suomi asemoituu energiasiirtymässä, vaikka ne kaikki saavuttavat EU:n ilmasto- ja energiatavoitteet.

EU-velvoitepolku rakentuu sääntelyn toimeenpanoon ja tuulivoiman kasvuun. Polussa keskeistä on fossiilisen energian käytön vähentäminen, sähköistymisen edistäminen ja uusiutuvan energian osuuden kasvu ilman merkittävää järjestelmän mittakaavan laajentamista. Strateginen autonomia vahvistuu ensisijaisesti tuontipolttoaineiden korvaamisen ja kotimaisen uusiutuvan tuotannon lisäämisen kautta.

Biotalouspolussa strateginen painotus kohdistuu kotimaisiin luonnonvaroihin ja niiden jalostusarvon kasvattamiseen. Lämpö- ja voimalaitoksissa poltettavan metsähakkeen sijaan puun käyttö kohdentuu aiempaa enemmän kehittyneempiin käytötarkoituksiin, kuten biohiileen ja uusiutuviin polttonesteisiin. Strateginen autonomia rakentuu tässä polussa ennen kaikkea kansallisen resurssipohjan vahvistumisen varaan, mutta se ei merkittävästi muuta Suomen asemaa eurooppalaisilla energiapoliittisilla markkinoilla.

Sähköistymispolussa strateginen painotus siirtyy uusiutuvan sähkön laajamittaiseen tuotantoon ja sen teolliseen hyödyntämiseen. Sähkön kysynnän voimakas kasvu, datakeskusten sijoittuminen sekä vedyn ja synteettisten polttoaineiden tuotanto kytkevät Suomen tiiviimmin eurooppalaisiin energia- ja teollisuusmarkkinoihin. Tämä voi vahvistaa Suomen roolia osana EU:n puhtaana energian teollista murrosta, mutta samalla lisätä riippuvuutta investointivirroista, kansainvälisistä toimitusketjuista

ja teknologian saatavuudesta. Strateginen autonomia rakentuu tässä polussa ennen kaikkea EU-integraation, pohjoismaisen sähkömarkkinayhteistyön ja kilpailukykyisen uusiutuvan sähköntuotannon varaan.

Yhteenvedon voidaan todeta, että polut eivät eroa toisistaan hiilineutraaliustavoitteen suhteen, vaan siinä, millaiseksi energijärjestelmän rakenne, resurssien käyttö ja kansainvälinen asemoituminen muodostuvat.

**Taulukko 3.1** Energijärjestelmän keskeiset eroavaisuudet eri tulevaisuuspoluissa 2055

	EU-velvoitepolku	Biotalouspolku	Sähköistymispolku
Sähkön tuotanto (TWh)	152	159	215
Josta tuulivoimaa (TWh)	65	72	134 josta 14 merituulivoimaa
Josta aurinkovoimaa (TWh)	13	14	21
Datakeskukset (TWh)	10	10	35
Synteettisten polttoaineiden sähkönkulutus (TWh)	2	6	30
Metsähakkeen energian korvaamista sähköllä (TWh)	0	4	14
Metsähakkeen kokonaiskäyttö (milj.m <sup>3</sup> /v)	13	12,5	2,2
Bio-CO <sub>2</sub> :n talteenotto ja muunto polttoaineeksi (MtCO <sub>2</sub> /v)	0,2	0,2	4
Bio-CO <sub>2</sub> :n talteenotto ja varastointi (MtCO <sub>2</sub> /v)	13		
Hiilineutraalius	Saavutetaan 2050 mennessä (perustuu KEITO WAM-skenaarioon; Lukessa työn alla olevat kasvihuonekaasulaskennan menetelmätarkennukset vaikuttavat siten, etteivät tulevaisuuspolut todennäköisesti johtaisi laskennalliseen hiilineutraaliuteen vuoteen 2050 mennessä, vaikka energijärjestelmän fossiiliset päästöt vähenisivät)		

### 3.5 Tulevaisuuspolkuihin liittyviä epävarmuustekijöitä

Energiajärjestelmän pitkän aikavälin suunnittelu tapahtuu tilanteessa, jossa useat globaaliin ja kansalliseen toimintaympäristöön liittyvät epävarmuustekijät voivat muuttaa polkujen toteutumista, kustannuksia ja yhteiskunnallista hyväksyttävyyttä. Nämä epävarmuudet eivät ole pelkästään teknisiä tai taloudellisia, vaan ne kytkeytyvät laajempaan ilmaston, politiikan ja teknologian muutosvoimiin. Energiasiirtymässä ajoitus ratkaisee: kilpailukyky ei synny yksin resurssien runsaudesta, vaan kyvystä muuttaa ne toimivaksi, markkinoita ja yhteiskuntaa palvelevaksi kokonaisuudeksi oikeaan aikaan. Tämä korostaa strategisen ennakkoinnin, investointi-ikkunoiden tunnistamisen ja jatkuvasti muuttuvan toimintaympäristön ymmärtämisen merkitystä kaikissa tulevaisuuspoluissa.

Ennakointityössä tunnistettiin useita muutosvoimia ja niihin kytkeytyviä epävarmuuksia. Alla kuvataan keskeiset epävarmuustekijät, joilla voi olla ratkaiseva vaikutus tulevaisuuspolkujen toteutumiseen.

Ilmastonmuutos lisää energiajärjestelmän suunnittelun epävarmuutta. Ilmasto muuttuu hillintätoimista huolimatta. Ilmaston lämpenemisen kiihtyminen lisää ja voimistaa sään ääri-ilmiöitä - kuten myrskyjä, rankkasateita, tulvia, helleaaltoja ja kuivuusjaksoja - jotka kuormittavat energiainfrastruktuuria ja voivat heikentää esimerkiksi tuulivoiman tuotanto-olosuhteita tai biomassan saatavuutta. Uusiutuvan energian osuuden kasvu sähköntuotannossa lisää myös säästä johtuvaa tuotannon vaihtelua. Atlantin meridionaalisen kiertoliikkeen (AMOC) heikkeneminen tai äkillinen hidastuminen - yksi keskeisistä Maapallon järjestelmien keikahduspisteistä - voisi merkittävästi muuttaa

Pohjois-Euroopan sääolosuhteita. Sen seurauksena talvet voisivat olla huomattavasti kylmempiä ja pidempiä, ja esimerkiksi lämmitysenergian tarve äkillisesti kasvaisi (Nummelin ym., 2026), mikä korostaa järjestelmän joustotarpeita ja varavoiman merkitystä. Tällaiset muutokset nostavat esiin tarvetta suunnitella ja rakentaa energiajärjestelmät joustaviksi ja systeemiset vaikutukset huomioiviksi niin, että ne kestävät sekä hidasliikkeisiä että äkillisiä ilmastoriskejä, ja huomioivat maankäytön, huoltovarmuuden ja häiriönsietokyvyn osana kokonaisuutta. Tähän kytkeytyy Euroopan komission ”resilience by design” -periaate, jonka mukaan ilmastonmuutokselle alttiit ja haavoittuvat investoinnit on suunniteltava kestävästi niiden koko elinkaaren aikana toteutuvat ilmastoriskit ilman, että niiden arvo tai hyöty kärsii kohtuuttomia menetyksiä.

Geopoliittisina epävarmuuksina merkittävintä riskiä edustaa maailmalla käynnissä olevat sodat, joiden laajentumisilla olisi väistämättä vaikutusta energiakysymyksiin myös Suomessa (Mikkola ym., 2026). Ukrainan sodan ratkaisut vaikuttavat koko Euroopan turvallisuusrakenteeseen ja sen myötä myös energiapolitiikkaan. Lähi-idän sotien jatkumisella on vaikutusta tuontienergian kustannuksiin. Myös Yhdysvaltojen arvopohjan eriytyminen Euroopasta voi vaikuttaa yhdysvaltalaisen energian saatavuuteen Euroopan markkinoille. Kotimaiseen uusiutuvaan energiatuotantoon tukeutuva energiajärjestelmä suojaa näiltä epävarmuuksilta. Toisaalta Kiina on ilmoittanut ratkaisevansa Taiwanin kysymyksen vuoteen 2049 mennessä, eikä sotilaallista voimankäyttöä voida sulkea pois ennen sitä. Tällä olisi todennäköisesti merkittäviä vaikutuksia maailmantalouteen sekä kriittisten mineraalien, komponenttien ja uusiutuvan energian arvoketjuihin.

Kilpailukyky ei synny yksin resurssien runsaudesta, vaan kyvystä muuttaa ne toimivaksi, markkinoita ja yhteiskuntaa palvelevaksi kokonaisuudeksi oikeaan aikaan.

Energiasiirtymän geopoliittista kamppailua käydään myös informaatioulottuvuudessa, eli mielikuvien ja tiedon tasolla. Etenkin fossiilienergian puolustajat yrittävät hidastaa energiasiirtymää, jotta ne pystyisivät pitkittämään fossiilienergian aikakautta. Fossiilienergiaa vievien valtioiden talous- ja hallintojärjestelmä perustuu niistä saataviin tuloihin, joiden hupeneminen uhkaa usein autoritaariseksi muodostunutta hallintoa. Siksi energiasiirtymän haittoja pyritään liioittelemaan ja hyötyjä vähättelemaan.

Informaatioulottuvuus liittyy valtioiden välisten intressien ja jakolinjojen lisäksi myös yhteiskuntien sisäisiin jakolinjoihin. Suhtautuminen uusiutuvaan energiaan ja vihreään siirtymään kietoutuu usein laajempiin poliittisiin ja sosiaalisiin jännitteisiin, joissa energiapolitiikka voidaan kehystää osaksi populistisia eliitti-kansa-vastakkainasettelua ja/tai keskus-periferia-asetelmia. Tällöin vihreä siirtymä saatetaan tulkita kaupunkikeskusten, poliittisen eliitin tai kansainvälisten toimijoiden ajamaksi projektiiksi, mikä voi lisätä epäluottamusta energiapolitiikkaa kohtaan ja vahvistaa poliittista polarisaatiota (Weckroth & Ala-Mantila, 2022). Samalla sosiaalisen median alustat ja tekoälyyn perustuvat algoritmit voivat vahvistaa polarisoivia viestintäympäristöjä ja nopeuttaa väärän tai harhaanjohtavan tiedon leviämistä energia- ja ilmastokysymyksissä (Van Der Linden ym., 2017).

Yhteiskuntien sähköistyminen ja tekoälyn nopea yleistyminen lisäävät lisäksi sähkön kysyntää ja voivat muokata työmarkkinoita tavoilla, jotka jakavat sosioekonomisia ryhmiä ja alueita energiasiirtymän voittajiin ja häviäjiin. Tämä voi vahvistaa kokemuksia alueellisesta ja sosiaalisesta epäoikeudenmukaisuudesta sekä syventää poliittisia jakolinjoja energiapolitiikan ympärillä. Samalla yhteisen tietoperustan rapautuminen muodostuu merkittäväksi riskiksi: jos tutkittuun tietoon perustuva keskustelu heikkenee, vaikeutuvat sekä demokraattinen päätöksenteko että energiasiirtymän pitkäjänteinen suunnittelu ja ohjaus.

### **Hiilineutraalius 2035: tarvittavat lisätoimet:**

Tulevaisuuspolut perustuvat hiilineutraaliuteen vuoteen 2050 mennessä. Suomen ilmastolain mukainen tavoite vuodelle 2035 ei kuitenkaan toteudu tulevaisuuspoluissa ilman merkittäviä lisätoimia. Näitä lisätoimia ja niiden toteutumisen edellytyksiä on käsitelty yksityiskohtaisemmin *liitteessä 1*.



## 4. Energiasiirtymä kolmen muutosalueen näkökulmasta



# Kestävä ja kokonaisturvallisuutta edistävä energiajärjestelmä rakentuu kolmen muutosalueen varaan



## 4. Energiasiiirtymä kolmen muutosalueen näkökulmasta



### 4.1 Kestävä maankäyttö ja resurssit

Energiasiiirtymä ei rakennu pelkästään teknologisista ratkaisuisista, vaan se edellyttää laajoja maa- ja merialueita, biomassaresursseja, infrastruktuuri-investointeja sekä paikallista hyväksyttävyyttä niillä alueilla, joihin energiasiiirtymän vaikutukset kohdistuvat. Maankäyttöintressit, luonnonvarojen kestävyys ja taloudelliset vaikutukset muodostavat siten energiajärjestelmän kehitykselle perustavanlaatuiset rajat.

Erytyisesti tuuli- ja aurinkovoiman laajentuminen muuttaa maankäytön painopisteitä ja lisää suunnittelutarvetta eri aluetasoilla.

Samalla hankkeiden onnistuminen kytkeytyy entistä tiiviimmin sähköverkon liityntä- ja siirtokapasiteetin riittävyyteen sekä investointien oikea-aikaiseen ajoitukseen. Ilman ennakoivaa yhteistyötä verkon ja kaavoituksen välillä syntyy pullonkauloja, jotka heikentävät hankkeiden hyöty-kustannussuhdetta ja paikallista hyväksyttävyyttä. Samanaikaisesti bioenergia - joka on Suomessa keskeinen osa energiapalettia - kytkeytyy metsien käyttöön, hiilensidontaan ja biotalouden tulevaisuuteen. Energiasiiirtymä vaikuttaa siten sekä luonnon monimuotoisuuteen, ekosysteemipalveluihin että alueelliseen elinvoimaan.

Lisäksi uusiutuvan energian kehitykseen liittyvät uudet teknologiat, kuten uusiutuva vety, biohiili sekä hiilidioksidin talteenotto, hyödyntäminen ja varastointi, muuttavat biomassan ja sähkön roolia teollisessa arvonnluonnissa. Näiden ratkaisujen vaikutukset ulottuvat maankäytöstä toimitusketjuihin ja investointirakenteisiin. Merituulivoiman kasvu siirtää osan maankäyttöpaineista merialueille ja edellyttää merialuesuunnittelun yhteensovittamista luonnonsuojelun, kalatalouden ja meriliikenteen kanssa sekä satama-, huolto- ja logistiikkainvestointeja rannikkoalueilla.

**Tämän muutosalueen tarkastelussa yhdistyvät siten kolme toisiinsa kytkeytyvää näkökulmaa:**

1. uusiutuvan energian maankäytölliset vaikutukset,
2. biomassaresurssien taloudellinen ja ekologinen kestävyys, sekä
3. energiasiiirtymän investointi- ja toimitusketjurakenteet.

Yhdessä nämä määrittävät sen, millä ehdoilla energiajärjestelmä voi laajentua kestävästi ja yhteiskunnallisesti hyväksyttävästi. Muutosalueen visio kiteyttää energiajärjestelmän tilan muutosalueen näkökulmasta vuonna 2055.

### Muutosalueen visio

Uusiutuvan energian maankäyttö on Suomessa ekologisesti kestävä, alueellisesti tasapainoista ja yhteiskunnallisesti hyväksyttävää. Energiajärjestelmän laajentaminen perustuu kokonaisvaltaiseen suunnitteluun, jossa huomioidaan luonnon monimuotoisuus, ekosysteemipalvelut, alueellinen elinvoima sekä energiajärjestelmän toimitusvarmuus. Suunnittelun ja lupamennettelyjen ennakoitavuus on ratkaisevaa, jotta investoinnit voidaan ajoittaa verkko- ja varastokapasiteetin laajennusten kanssa yhteen.

Bioenergiaa, tuuli- ja aurinkovoimaa sekä niihin kytkeytyviä uusia teknologioita hyödynnetään siten, että rajalliset luonnonvarat ohjautuvat mahdollisimman korkean jalostusarvon käyttökohteisiin ja että hiilineutraaliustavoitteet saavutetaan ilman luonnon kokonaisheikentymistä.

Seuraavaksi tarkastellaan, millaisia maankäytöllisiä, ekologisia ja taloudellisia reunaehtoja vision ja tavoitteiden toteuttaminen käytännössä edellyttää.

#### 4.1.1. Uusiutuvan energian maankäytölliset vaikutukset

Tuuli- ja aurinkovoima ovat keskeisiä energiamuotoja uusiutuvassa energiajärjestelmässä. Ne ovat myös uusia maankäyttömuotoja, joiden sijoittamisessa täytyy huomioida olemassa olevan maankäytön tarpeet ja ympäristö- sekä luontovaikutukset.

Koska Suomi on metsäinen maa, myös tuuli- ja aurinkovoima sijoittuvat pääasiassa metsäympäristöihin. Siellä ne kilpailevat muun muassa metsänkasvatuksen ja bioenergiatuotannon, monimuotoisuuden turvaamisen, virkistyskäytön ja Pohjois-Suomessa myös poronhoidon kanssa. Maatalousympäristöihin sijoitettuna ne voivat vaikuttaa ruoantuotantoon. Kaupunkien, asutuskeskusten ja valtateiden välittömään läheisyyteen sijoittamista rajoittavat turvallisuus- ja hyväksyttävyyssyyt (Luukkonen ym., 2026). Vaikka merituulivoima on kasvussa, se ei ole toistaiseksi kustannustehokasta maatuulivoimaan verrattuna. Sen kasvu edellyttää meriekosysteemeihin ja kustannustehokkuuteen kohdistuvan tutkimuksen lisäämistä sekä merialuesuunnittelun yhteensovittamista luonnonsuojelun, kalatalouden ja meriliikenteen kanssa.

Käytännössä tuulivoimatuotanto sijoittuu pääasiassa asutuskeskusten ulkopuolelle, kuntien ja maakuntien rajoille. Syrjäinen sijainti edellyttää yleensä sähkönsiirtolinjojen ja tiestön raivaamista, mikä voi lisätä tuulivoiman aiheuttamaa metsäkatovaikutusta enemmän kuin itse turbiinit (Tolvanen ym., 2025). Aurinkovoimapaistoja voidaan periaatteessa maisemahaittojen kannalta sijoittaa lähemmäs rakennettua ympäristöä ja isoja kaupunkikeskittymiä, mutta nekin sijoittuvat yleensä taajamien ulkopuolelle metsiin, entisille turvetuotantoalueille tai pelloille.

Maalle sijoitetun tuulivoiman luontovaikutuksia ovat elinympäristöjen laadun heikentyminen ja pirstoutuminen, häiriötä aiheuttava ääni ja väikevalo (Tolvanen ym., 2023) sekä vesistövaikutukset erityisesti rakentamisvaiheessa. Nämä heikentävät eläinten liikkumismahdollisuuksia ja aiheuttavat välttämiskäyttämistä sekä törmäyskuolemia heikentäen populaatioita ja lisäten uhanalaistumista. Merituulivoiman vaikutuksia ovat mm. veden samentuminen rakennusvaiheessa, merenalainen melu ja merenpohjassa tapahtuvat elinympäristömuutokset (Lappalainen ym., 2025). Linnustolle aiheutuvat este-, elinympäristön menetys- ja törmäysvaikutukset ovat samanlaiset kuin maatuulivoiman kohdalla. Aurinkovoiman luontovaikutuksia ovat metsäympäristöjen häviäminen ja pirstoutuminen, kulkuesteet eläimistöille sekä vesistöhaitat turvemaille rakennettaessa (Muhonen ym., 2024). Tutkimustieto etenkin merituulivoiman ja aurinkovoiman vaikutuksista on kuitenkin puutteellista, eikä minkään näiden kolmen energiatuotantomuodon pitkäaikaisvaikutuksista tai eläinten mahdollisesta totumisesta niihin ole tietoa.

**EU-velvoite- ja biotalouspoluissa** tuulivoimatuotanto kasvaa 65-72 TWh:iin ja aurinkovoima 13-14 TWh:iin. Selvästi suurin osa tuulivoimatuotannosta on maatuulivoimaa. Suunnitteilla oleva alueidenhallintalaki esittää kynnysetäisyydeksi 1,25 kilometriä asutuksesta. Mikäli tämä toteutuu, tuulivoimatuotanto siirtyy yhä lisääntyvästi Pohjois-Suomeen. Tämä tarkoittaa energian tuotantoalueiden siirtymistä kauemmaksi sen käyttäjistä, mikä puolestaan lisää siirtolinjojen rakentamisen tarvetta ja sitä kautta maankäyttövaikutuksia.

Keskeiset keinot tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutusten hallintaan ovat kokonaisvaltainen yhteisvaikutusten arviointi ja lieventämishierarkia. Yhteisvaikutusten arviointi edellyttää, että

Koska Suomi on metsäinen maa, myös tuuli- ja aurinkovoima sijoittuvat pääasiassa metsäympäristöihin. Siellä ne kilpailevat muun muassa metsänkasvatuksen ja bioenergiatuotannon, monimuotoisuuden turvaamisen, virkistyskäytön ja Pohjois-Suomessa myös poronhoidon kanssa.

tuuli- ja aurinkopuistot ja niiden vaikutukset elinympäristöjen kytkeytyvyyteen arvioidaan yli hallinnollisten ja hankkeiden rajojen. Tämä edellyttää kokonaisvaltaista visiota alueiden käyttötarpeista, parempaa yhteistyötä eri alueiden toimijoiden ja viranomaisten välillä ja täsmennettyä ympäristövaikutusten arvioinnin (YVA) ohjeistusta yhteisvaikutusten arvioinnin tueksi.

Lieventämishierarkia koostuu kolmesta vaiheesta. Luontovai-  
kutukset ensisijaisesti vältetään sijoittamalla energian tuotanto monimuotoisuudeltaan jo heikentyneille alueille kuten joutomaille. Lieventämisen osalta tulisi hyödyntää esimerkiksi eläinten haitsemis-, karkotus- ja törmäyksenestolaitteita, jotka vähentävät lintujen törmäyskuolleisuutta tuuliturbiineihin. Kompensointi tulee kyseeseen vasta kun elinympäristöjen menetyksen välttäminen tai vaikutusten lieventäminen eivät ole mahdollisia. Jäljelle jääviä haittoja kompensoidaan luomalla korkealaatuisia elinympäristöjä lähialueille suojelun tai ennallistamisen avulla. Kompensointi edellyttää haitta- ja kompensointialueiden sekä niiden luonnontilan spatiaalista tarkastelua sekä ohjauskeinoja, jotta käytännön suojelu- ja ennallistamistoimet voidaan rahoittaa.

Maankäytön ja luonnonvarojen yhteensovittaminen korostuu eri tavoin tulevaisuuspoluissa. **Biotalouspolussa** tuuli- ja aurinkovoiman aiheuttama maankäyttötarve voi jossain määrin vaikuttaa puun saatavuuteen, kun alueita siirtyy pois metsätalouden piiristä. **Sähköistymispolussa** maa- ja merituulivoiman sekä aurinkovoiman tuotanto kasvavat merkittävästi nykytilanteeseen verrattuna. Energiatuotannon ja datakeskusten tilantarve on tässä polussa niin mittava, että yhteisvaikutusten hallinta ja alueiden riittävyys lieventämishierarkian toteutumiselle voivat osoittautua haasteeksi. Maakaapeloinnin avulla kasvava sähkönsiirtolinjojen tilantarve voidaan pitää osittain hallinnassa. Merituulivoima siirtää osan maankäyttöpaineista merelle, jossa se täytyy sovittaa yhteen muun meren käytön kanssa.

**Taulukko 4.1.** Uusiutuvan energian ja siirtoverkon kokonaismaankäyttö Suomessa: nykytila 2025 ja tulevaisuuspolut vuonna 2055.

	Nykytila 2025	EU-velvoitepolku	Biotalouspolku	Sähköistymispolku
<b>Tuulivoima (maatuulivoima)</b>				
Hankealue, km <sup>2</sup>	940–1 410	2 500–3 700	2 700–4 100	4 600–6 800
Suora rakennettu ala, km <sup>2</sup>	20–55	50–150	55–165	90–275
<b>Aurinkovoima</b>				
Maapinta-ala, km <sup>2</sup>	~5*	150–225	160–240	240–360
<b>Siirtoverkko (uudet 400 kV -runkolinjat)</b>				
Pituus, km	5 400	6 400–7 100	6 600–7 400	8 300–10 000
Johtoaukea (35 m), km <sup>2</sup>	190	225–250	230–260	290–350
Koko johtoalue (55 m), km <sup>2</sup>	300	355–390	365–410	460–550
<b>Yhteensä (hankealue + aurinkovoima + koko johtoalue)</b>				
Pinta-ala, km <sup>2</sup>	1 245–1 715	3 005–4 315	3 225–4 750	5 300–7 710
Osuus Suomen maa-alasta	0,4–0,6 %	1,0–1,4 %	1,1–1,6 %	1,7–2,5 %

### Avaintermi: Lieventämishierarkia

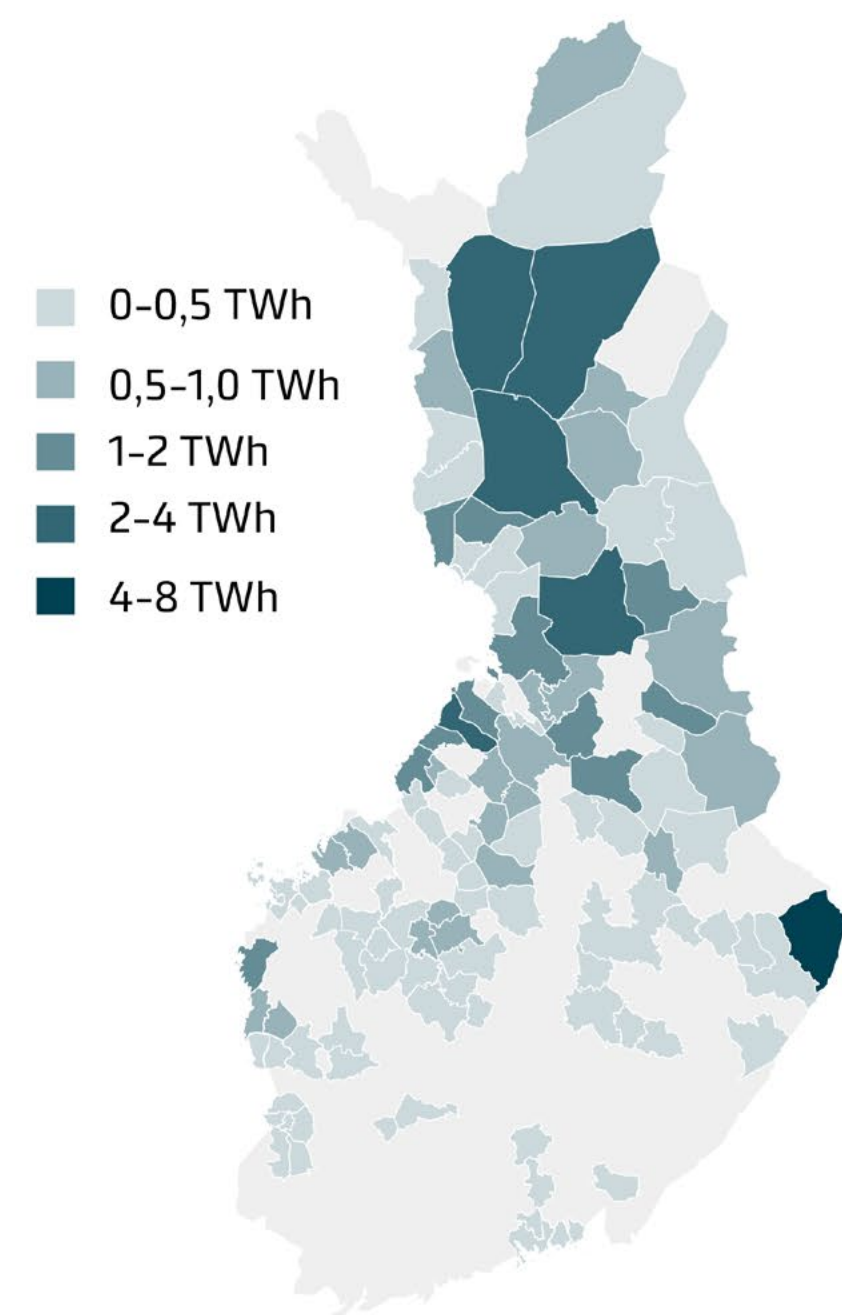
Lieventämishierarkialla tarkoitetaan tässä tiekartassa uusiutuvan energian hankkeisiin sovellettavaa periaatetta, jonka tavoitteena on luonnon kokonaisuheikentymättömyys. Tämä tapahtuu siten, että haitallisia monimuotoisuus- ja ympäristövaikutuksia pyritään ensisijaisesti välttämään, toissijaisesti lieventämään ja vasta viime kädessä kompensoimaan. Periaate ohjaa hankkeiden suunnittelua, sijoittumista ja toteutusta siten, että vaikutukset tunnistetaan ja huomioidaan ennakoivasti koko hankekehityksen ja elinkaaren ajan.

\* Aurinkovoiman nykytilan maapinta-ala kattaa vain teollisen kokoluokan voimalat (~0,35 GW vuoden 2025 lopussa); pientuotanto (n. 1,15 GW) sijoittuu pääosin katoille eikä vie uutta maa-alaa.

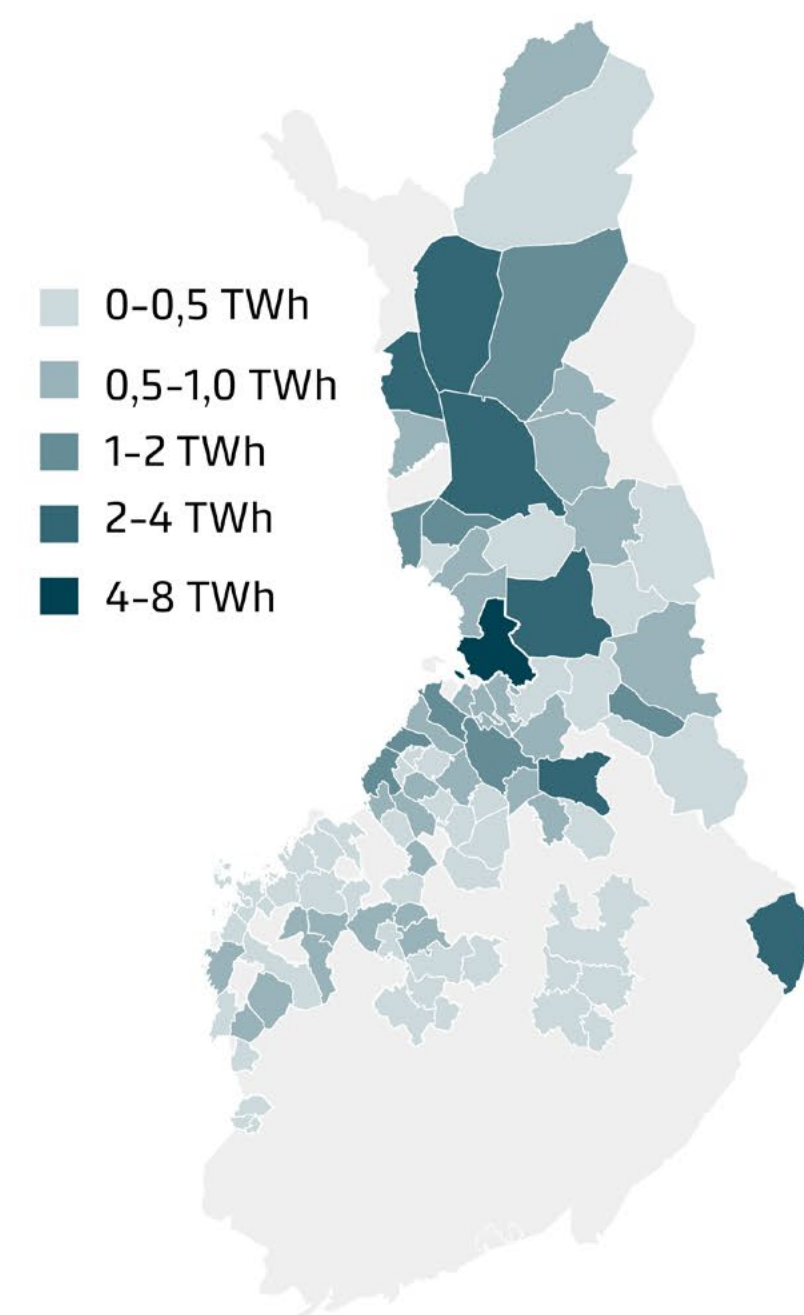
# Tuulivoiman rakentamisen määrä ja minimietäisyys asutuksesta vaikuttavat tuulivoiman sijoittumiseen alueellisesti

Tuulivoiman mahdollinen sijoittuminen EU-velvoitepolussa ja sähköistymispolussa ja kahden eri minimietäisyyden päässä asutuksesta.

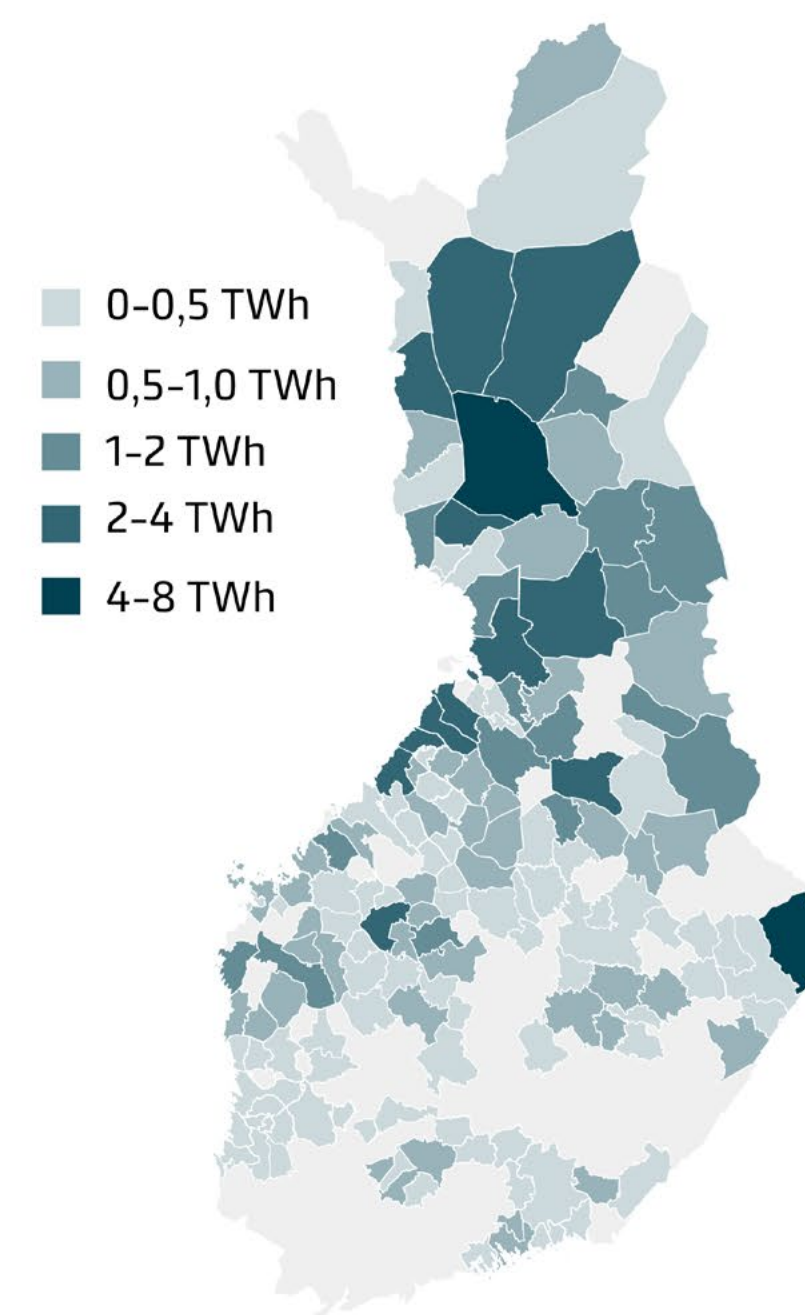
EU-velvoitepolku (tuulivoiman tuotanto 65 TWh), 600 m asutuksesta



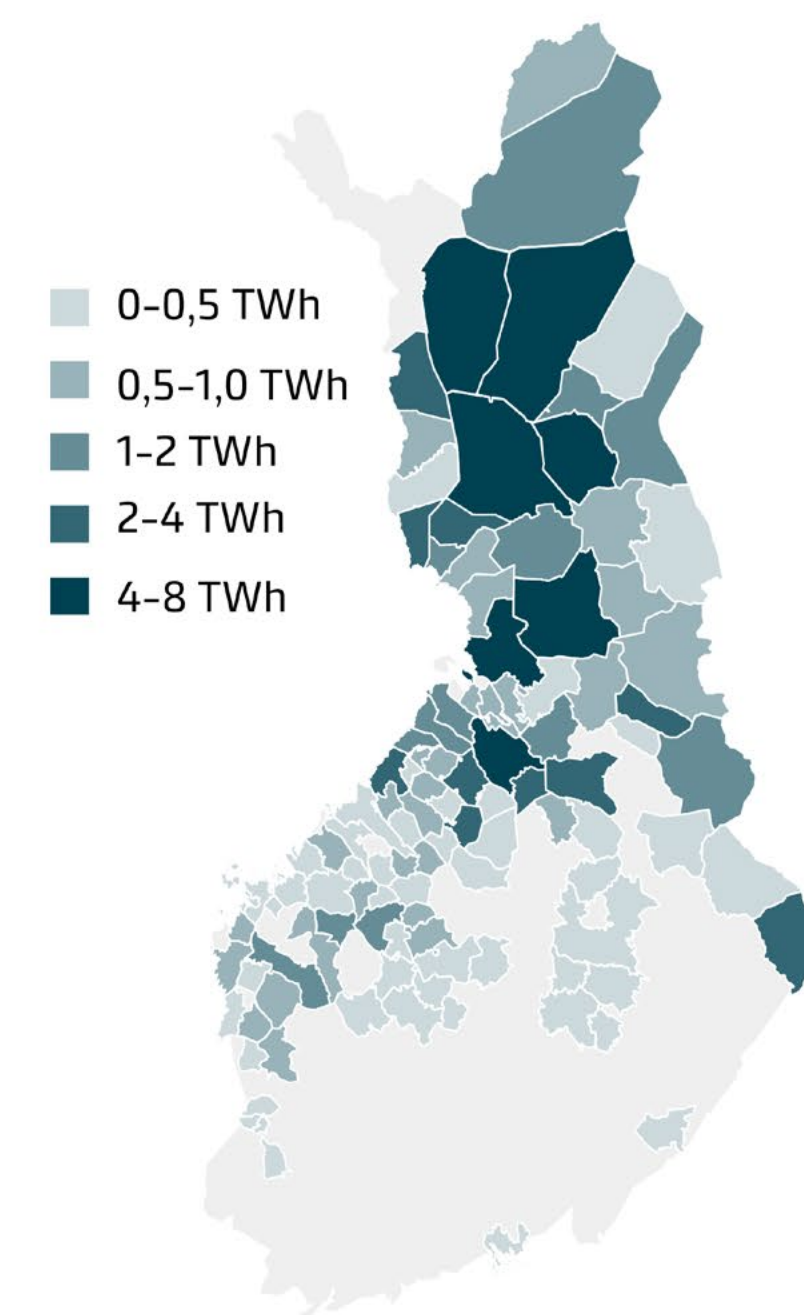
EU-velvoitepolku (tuulivoiman tuotanto 65 TWh), 1250 m asutuksesta



Sähköistymispolku (tuulivoiman tuotanto 120 TWh), 600 m asutuksesta



Sähköistymispolku (tuulivoiman tuotanto 120 TWh), 1250 m asutuksesta



*\*Laskennan pohjana on käytetty yhden 6,6 MW tuuliturbiinin vuotuista tehoa, keskimäärin 20 GWh (35 % koko turbiinin vuositehosta). Yksittäiset tuulipuistot on mitoitettu vähintään 10 turbiinin kokoiseksi. Tuulipuistot on sijoitettu kartalle aluerajoitukset huomioiden (tiestö, suojelualueet, lentokentät, kaksi etäisyysrajaa asutuksesta, jne.) mahdollisimman lähelle suurjännitelinjoja siihen saakka, että tarvittava valtakunnan tason energiantuotanto (65 TWh tai 120 TWh) saadaan täyttymään. Kuntarajoja ei ole huomioitu tuulipuistojen sijoittamisessa, eli jos kunta sijaitsee tuulipuiston reunalla ja siihen tulee vain yksi turbiini, se värityy kartassa haalealla värillä. Laskennassa ei ole huomioitu puolustusvoimien asettamia rajoituksia Suomen itärajalle.*

Kuva: Jouni Karhu

#### 4.1.2. Biomassaresurssien taloudellinen ja ekologinen kestävyys

Puupohjaisen biomassaresurssien kestävä käyttö edellyttää, että metsien kasvu, monimuotoisuus ja hiilinielut muodostavat ekologisen perustan, jonka puitteissa jalostusarvo ja energiakäyttö voidaan optimoida taloudellisesti. Energiapuun käyttö ei lähtökohtaisesti ole uhka hiilinieluille, monimuotoisuudelle, maaperän kunnolle ja vesitaloudelle, jos korjuu painottuu sivuvirtoihin, hakkuutähteisiin ja pienpuuhun, ja korjuumenetelmissä noudatetaan elinympäristöjen ja maaperän suojelun hyviä käytäntöjä (esim. säästöpuut, ajourasuunnittelu). Riskit taloudelliselle ja ekologiselle kestävyydelle kasvavat tilanteissa, joissa puun ohjautumista ei arvioida kokonaisvaltaisesti jalostusarvon, markkinatilanteen ja ympäristövaikutusten näkökulmasta tai joissa korjuu kohdistuu herkkiin elinympäristöihin ilman riittäviä suojelutoimia.

Suomessa käytetty bioenergia koostuu pääosin metsätalouden ja metsäteollisuuden sivuvirtoina syntyvistä puupolttoaineista, mikä tekee siitä taloudellisesti tehokkaan ja ekologisesti perustellun osan energiajärjestelmää. Puun käyttöä energiantuotannossa tukee runsas kotimainen saatavuus sekä laaja ja sijainniltaan hajautettu lämpö- ja voimalaitoskanta. Tulevina vuosina tuulivoiman voimakas kasvu ja lämmöntuotannon sähköistyminen kuitenkin vähentävät puupolttoaineiden käyttöä sähkön- ja lämmöntuotannossa (Niinistö, Anttila, Kaseva, ym., 2025). Siitä huolimatta puupohjaisen energian odotetaan säilyvän Suomessa keskeisenä osana energiajärjestelmää, ja huoltovarmuuden ohella sen merkitys korostuu jatkossa erityisesti säätövoimana. Tämä rooli on olennainen osa biomassaresurssien taloudellista kestävyyttä ja energiaturvallisuutta, sillä se edellyttää toimivia ja kannattavia hankintaketjuja myös tilanteissa, joissa bioenergian jatkuva vuosikäyttö vähenee.



Puupolttoaineiden, erityisesti metsähakkeen, kasvavat käyttö-määrävaihtelut heikentävät energiapuun hankintaketjujen toimintaympäristöä. Erityisesti 2020-luvulla nopeasti lisääntyneen kotimaisen metsähakkeen käytön myötä energiapuun hankinta on kohdistunut metsänhoidollisista hakkuista saatavan pieniläpimittaisen puun ohella myös metsäteollisuuden jalostukseen soveltuvaan ainespuuhun. Vaikka tulevana vuosina metsähakkeen käyttö vähenee energiajärjestelmän sähköistymisen myötä, pidentyvät energiapuun varastointiajat sekä lisääntyvä terminaalivarastointi ylläpitävät painetta järeämmän ainespuun energiakäytölle (Niinistö, Anttila, Kaseva, ym., 2025; Niinistö, Anttila, Sikanen, ym., 2025). Tämän vuoksi hakkuutähteiden ja pieniläpimittaisen kokopuun hankinnan teknisiä ja taloudellisia edellytyksiä tulisi vahvistaa (Niinistö ym., 2026). Nämä raaka-ainevirrat tukevat nuorten metsien hoitoa, pienentävät ainespuun energiakäytön tarvetta ja parantavat sitä kautta metsien kasvua ja hiilinielua pitkällä aikavälillä. Samalla ne parantavat biomassaresurssien käytön kokonaistaloudellista tehokkuutta ja vähentävät varastointiin liittyviä riskejä.

Puupohjaisen biomassan ohella keskeinen osa biomassaresurssien taloudellista ja ekologista kestävyyttä liittyy maatalouden, teollisuuden ja yhdyskuntien orgaanisiin jäte- ja sivuvirtoihin perustuviin ratkaisuihin. Jäte- ja sivuvirtojen hyödyntäminen uusiina tuotteina ja energiana tukee ravinteiden ja hiilen kierrätystä, vähentää päästöjä ja parantaa alueellista omavaraisuutta sekä energia- että ruokasektorilla.

Teknisesti valmiit ratkaisut, kuten biokaasuntuotanto, mahdollistavat sen, että riippuvuutta fossiilisiin polttoaineisiin voidaan vähentää myös lyhyellä aikavälillä. Biokaasusta voidaan jalostaa biometaania ja sivutuotteena syntyvästä hiilidioksidista voidaan edelleen tuottaa synteettisiä polttoaineita. Näiden merkitys

korostuu etenkin liikenteessä, teollisuuden prosesseissa ja huoltovarmuuden kannalta kriittisissä käyttökohteissa, joissa sähköistäminen on teknisesti tai taloudellisesti haastavaa. Hajautettu tuotantorakenne ja mahdollisuus varastoida sekä siirtää polttoainetta parantavat energiajärjestelmän joustavuutta ja resilienssiä.

Biokaasulla ja nestemäisillä biopolttoaineilla sekä synteettisillä polttoaineilla on täydentävä rooli energiajärjestelmässä. Näiden merkitys liittyy erityisesti resurssitehokkuuteen ja siihen, että jo syntyneet jäte- ja sivuvirrat voidaan hyödyntää energiantuotannossa ilman lisäpainetta metsävarojen käyttöön. Kaikki kestävästi käytettävissä olevat biomassat tukevat biotalouspolussa siirtymää kohti korkeamman jalostusarvon tuotteita, samalla kun ne vahvistavat energiajärjestelmän taloudellista kestävyyttä ja huoltovarmuutta.

Bioenergia säilyy kaikissa tulevaisuuspoluissa osana kotimaista energiajärjestelmää. **EU-velvoitepolussa** puupohjainen bioenergia toimii ennen kaikkea joustavana ja säädettävänä tuotantomuotona, jonka käyttö vaihtelee sähkön hinnan ja säätölojen mukaan. Tämä kasvattaa varastointiaikojen ja terminaalilogistiikan merkitystä. Toimintavarmuuden kannalta keskeistä on hakkuutähteiden ja pienpuun hankintaedellytysten parantaminen (kustannustehokkaat korjuu- ja logistiikkaratkaisut) sekä alueellinen terminaalikapasiteetti. Orgaanisten jäte- ja sivujakeiden hyödyntäminen tukee alueellista energiaomavaraisuutta.

**Biotalouspolussa** bioenergian käyttö säilyy myös merkittävällä tasolla. Pitkällä aikavälillä kiinteiden puupolttoaineiden kulutus kuitenkin vähenee merkittävästi sähkön- ja lämmöntuotannossa muiden uusiutuvaan sähköön perustuvien ratkaisujen yleistyessä ja energiatehokkuuden parantuessa. Bioenergian

kokonaiskäyttö pysyy silti korkeana, ja biomassoja ohjataan enenevästi korkeamman jalostusarvon tuotteisiin. Biokaasun ohella kehittyneempien bio- ja synteettisten polttoaineiden kysynnän odotetaan kasvavan esimerkiksi meri- ja lentoliikenteessä eli käyttökohteissa, joissa sähköistäminen on haastavaa. Vastavasti biomassan kysyntä kasvaa myös biohiilen tuotannon raaka-aineena, jota hyödynnetään esimerkiksi terästeollisuudessa.

**Sähköistymispolussa** bioenergian vuosittainen käyttö vähenee selvästi energiajärjestelmän sähköistymisen ja tuulivoiman kasvun myötä. Kehitys haastaa energiapuun hankintaketjujen kestävä toiminnan edellytyksiä erityisesti tilanteissa, joissa polttoon pyritään ohjaamaan muita jakeita kuin metsäteollisuudelle jalostuskelpoista ainespuuta. Kun käyttömäärien ennakoitavuus heikkenee ja käyttö painottuu satunnaisiin huippukulutustilanteisiin, puupolttoaineiden varastointiajat pitenevät ja terminaalivarastoinnin merkitys kasvaa. Samalla bioenergian huoltovarmuusroolin turvaaminen käy vaikeammaksi, jos jatkuva kysyntä ja hankintaketjujen kannattavuus heikkenevät liiaksi - mikä korostaa tarvetta ylläpitää vähintään kriittinen käyttö- ja varastointitaso. Biogeenisen hiilidioksidin talteenoton potentiaali hyödynnetään tehokkaasti sekä teknisinä hiilinieluinä että polttoaineiden raaka-aineena.

Bioenergian strateginen merkitys vaihtelee poluittain teollisesta arvonluonnista järjestelmän jouston ja huoltovarmuuden turvaamiseen, mutta sen tärkeä rooli osana vähähiilistä energiajärjestelmää säilyy kaikissa vaihtoehtoissa.

### 4.1.3. Energiasiirtymän investointitarpeet, taloudelliset vaikutukset ja toimitusketjuriskit

Siirtymä fossiilisista polttoaineista uusiutuviin energialähteisiin edellyttää mittavia investointeja infrastruktuuriin, kuten voimaloihin, energiaverkkoihin, joustaviin kulutusratkaisuihin ja varastointiteknologioihin. Investointien ajoitus, kohdentuminen ja rahoitusmallit vaikuttavat ratkaisevasti energiasiirtymän kustannustehokkuuteen ja kilpailukykyyn.

Taloudelliset vaikutukset liittyvät investointien kokonaismit-takaavaan, rahoituksen saatavuuteen, toimitusketjujen kestä-vyyteen sekä alueelliseen elinvoimaan. Uusiutuvan energian in-vestoinnit voivat vahvistaa kotimarkkinoita ja synnyttää uutta teollista arvonluontia, mutta ne lisäävät samalla riippuvuutta globaaleista teknologia- ja materiaalivirroista. Bioenergia tukee hajautettua aluetaloutta, sillä sen arvoketjut kytkeytyvät koti-maisiin luonnonvaroihin ja paikalliseen työllisyyteen.

Sääoloista riippuvien uusiutuvien tuotantomuotojen kasvun myötä sähkön keskihinta on Suomessa laskenut, mutta samal-la lisännyt hinnan ajallista vaihtelua. Hintavaihtelut kannustavat investoimaan energian joustoratkaisuihin ja varastointiin. Pitkät matalan hinnan jaksot heikentävät tuuli- ja aurinkovoiman kan-nattavuutta, mutta luovat samalla edellytyksiä sähköön perus-tuvalle, kustannuskilpailukyiselle toiminnalle, kuten sähkö-kattiloille, lämpöpumpuille, vedyn tuotannolle ja datakeskuksille. Pitkällä aikavälillä markkinamekanismi tasaa hintavaihteluita ja ohjaa järjestelmää kohti tasapainoa, jossa sekä tuotannon että kysynnän lisääminen on kannattavaa.

Uusiutuvan energian investoinnit voivat vahvistaa kotimarkkinoita ja synnyttää uutta teollista arvonluontia, mutta ne lisäävät samalla riippuvuutta globaaleista teknologia- ja materiaalivirroista.

**EU-velvoitepolussa** kokonaisenergian kulutus laskee, mutta sähkönkulutus kasvaa noin 50 % vuosina 2025–2055. Investoinnit painottuvatkin sähköntuotantoon, sähköistymisen tukemiseen ja verkkojen sekä lämmöntuotannon päästöjen vähentämiseen. Rahoitustarpeet ovat suhteellisen ennakoitavia ja investointien kohteet pitkälti olemassa olevan infrastruktuurin modernisointia ja uutta sähköntuotantokapasiteettia. Merkittävimpänä uutena investointikohteena on sellutehtaiden hiilidioksidin talteenotto- ja varastointikapasiteetin luominen.

**Biotalouspolussa** investoidaan biohiilituotannon kasvattamiseen ja puupohjaisten biopolttoaineiden tuotantoon sekä bio-kaasuntuotantoon. Osa käyttöikänsä loppua lähestyvistä puuta polttavista lämpö- ja CHP-laitoksista tultaneen ajamaan alas ja korvausinvestoinnit perustuvat muihin energianlähteisiin. Raaka-aineen hankintaketjuilla on merkittävä työllistävä vaikutus erityisesti metsäisillä harvaan asutuilla alueilla. Energiapuusta saatava kantorahatulo jakautuu laajalle yhteiskuntaan monilukuisen metsänomistajajoukon kautta. Raaka-aineen hintakehitykseen vaikuttaa erityisesti perinteisen metsäteollisuuden tuotteiden kysyntä ja puustamaksukyky. Biokaasuinvestointien työllistävä vaikutus painottuu maatalousvaltaisille alueille. Polku vahvistaa aluetaloutta ja kotimaista työllisyyttä muita vaihtoehtoja enemmän.

**Sähköistymispolku** vaatii erittäin suuria investointeja tuulivoimaan, sähköverkkoihin, datakeskuksiin, vedyn tuotantoon ja synteettisten polttoaineiden tuotantolaitoksiin. Esimerkiksi tuulivoimakapasiteetti kasvaisi nykyisestä 9,5 GW:sta 45 GW:iin. Tämä tarkoittaa nykykustannuksin yli 40 mrd. € investointeja, joista osa suuntautuu meritulivoiman ja siihen liittyvän infrastruktuurin rakentamiseen. Lisäksi sähköistymispolku edellyttää

erilaisten energian varastointitekniikoiden sekä sähkön kysyntäjousten laajaa hyödyntämistä. Investoinnit nojaavat voimakkaasti kansainväliseen pääomaan, globaaleihin teknologiamarkkinoihin ja toimitusketjuihin, mikä lisää taloudellista riippuvuutta ulkoisista tekijöistä mutta voi samalla luoda merkittävää uutta teollista arvonluontia. Korkean investointiasteen vuoksi polun kokonaiskustannukset ja rahoitustarpeet ovat huomattavasti muita suuremmat. Kehityskulun toteutuminen vaatiikin, että sekä sähkön tuottajien että käyttäjien arviot toteutuvista sähköhinnoista mahdollistavat kannattavan toiminnan. Sähkömarkkinan voimakas kasvu vaatii, että sähkönhintaan reagoiva kysyntä pystyy estämään tuuli- ja aurinkovoiman näkökulmasta kannattamattoman matalien hintojen jaksot. Lisäksi investointiriskien hillinnän tueksi tarvitaan fyysisiä ja virtuaalisia PPA-sähkönostosopimuksia (Power Purchase Agreement) sekä mahdollisesti julkisen vallan rahoittamia hinnanerosopimuksia.

Erityisesti sähköistymispolussa investoinnit ovat niin suuria, että rahoitus niihin tulee suurelta osin Suomen rajojen ulkopuolelta. Tällöin on syytä huomioida, että ulkomaiset datakeskustoimijat voivat laskuttaa suomalaisten datakeskusten palvelusta alhaista hintaa, jolloin niiden Suomessa tuottama arvonlisä jää vähäiseksi. Tuulivoiman ja vetytalouden laitokset sen sijaan kasvattavat Suomen bruttokansantuotetta, mutta pääomatulojen siirto ulkomaisille omistajille tarkoittaa, että Suomen bruttokansantulo kasvaa merkittävästi vähemmän. Metsäbiomassan käyttö sääntövoiman lähteenä edellyttää investointeja CHP-laitosten sähkökapasiteetin ylläpitoon ja kehittämiseen sekä terminaalitoimintoihin sääntövoimatuotannossa oleellisten, lyhyiden vasteaikojen saavuttamiseksi. Arvonluonnin taloudelliset hyödyt jäävät Suomeen sitä paremmin, mitä enemmän omistus ja rahoitus on suomalaista.



## 4.2 Alueellinen oikeudenmukaisuus ja toimijuus

Energiasiirtymä on yhtä aikaa kansallinen strateginen hanke sekä paikallinen maankäytön muutosten kautta ihmisten arjessa ja maisemassa näkyvä yhteiskunnallinen muutosprosessi. Vaikka ilmasto- ja energiatavoitteet asetetaan kansallisella ja EU-tasolla, niiden toteutuminen ratkaistaan alueilla - maakunnissa, kunnissa ja paikallisissa yhteisöissä. Energiajärjestelmän muutos siten ei kohdistu tai etene maantieteellisesti tasaisesti, vaan sen hyödyt, kustannukset, investoinnit ja maankäyttövaikutukset kohdentuvat eri tavoin eri alueille.

Alueellinen toimijuus tarkoittaa konkreettisesti sitä, millaiset mahdollisuudet kunnilla, alueellisilla viranomaisilla, yrityksillä, maanomistajilla ja kansalaisilla on vaikuttaa energiasiirtymän suuntaan ja toteutukseen ja toisaalta sitä, kuinka tehokkaiksi nämä vaikutusmahdollisuudet koetaan ja miten niitä hyödynnetään (Bridge

ym., 2013; Höysniemi ym., 2026; Runko & Mustalahti, 2026). Oikeudenmukaisuus puolestaan liittyy siihen, miten energiasiirtymän hyödyt ja haitat jakautuvat ja koetaanko päätöksenteko läpinäkyväksi, osallistavaksi ja tasapuoliseksi (Lyytimäki ym., 2023). Näitä kysymyksiä ratkaistaan kunnissa ja maakunnissa kaavoituksen, lupaprosessien ja paikallisten neuvottelujen kautta.

Energiasiirtymä jäsentää uudelleen yhteiskunnan tilallisia valtasuhteita. Siirtymää ohjataan ja mahdollistetaan samaan aikaan useilla hallinnon tasoilla: kansallisella tasolla energia- ja ilmastopolitiikan sekä teollisuusstrategioiden kautta, alueellisella tasolla maakuntastrategioiden ja aluekehittämisen välineillä sekä paikallisesti kuntien maankäytön suunnittelun, kaavoituksen ja lupaprosessien kautta. Energiajärjestelmän muutos on luonteeltaan monitasoinen hallinnan kysymys, jossa eri tasojen päätökset ja intressit muovaavat energiajärjestelmän konkreettista toteutusta (Bridge ym., 2013).

Samalla energiajärjestelmän tilallinen rakenne kytkeytyy muihin alueiden välisiin suhteisiin ja riippuvuuksiin. Uusiutuvan energian tuotanto, kuten tuuli- ja aurinkovoima, sijoittuu usein eri alueille kuin energiankulutus, joka keskittyy tyypillisesti suuriin kaupunkikeskuksiin ja teollisuuden solmukohtiin. Energiasiirtymä kytkeytyy siten väistämättä myös kaupunki-maaseutu -suhteeseen ja siihen liittyviin sidonnaisuuksiin ja jännitteisiin (Weckroth & Ala-Mantila, 2022). Myös kysymys energiajärjestelmän keskittytystä tai hajautetusta luonteesta on eksplisiittisesti tilallinen: hajautettu ja uusiutuviin energialähteisiin perustuva järjestelmä voi tukea ja rakentaa tasapainoisempaa aluerakennetta ja luoda uusia mahdollisuuksia paikalliselle toimijuudelle esimerkiksi energiayhteisöjen, prosumerismin ja uusien tuotantoketjujen kautta (Markard ym., 2012).

Vaikka ilmasto- ja energiatavoitteet asetetaan kansallisella ja EU-tasolla, niiden toteutuminen ratkaistaan alueilla - maakunnissa, kunnissa ja paikallisissa yhteisöissä.

# Alueellinen oikeudenmukaisuus vaatii aitoa yhteistyötä ja vaikutusmahdollisuuksia



Käytännössä energiasiirtymän investoinnit kuitenkin jakautuvat usein alueellisesti epätasaisesti. Suomessa vihreän siirtymän investoinnit ovat monin paikoin keskittyneet erityisesti eteläiseen ja läntiseen Suomeen, ja energiajärjestelmän osalta alueellisia eroja vahvistavat myös institutionaaliset rajoitteet, kuten tuulivoiman sijoittamiseen liittyvät turvallisuuspoliittiset rajoitukset Itä-Suomessa. Tämän vuoksi energiasiirtymän ohjauksessa korostuu politiikkakoherenssin ja monitasoisen (eri hallinnon tasoilla tapahtuvan) hallinnan ja suunnittelun tarve: paikallisen maankäytön suunnittelun, aluekehittämisen sekä kansallisten energia- ja ilmastotavoitteiden on oltava keskenään linjassa. Samalla oikeudenmukaisen siirtymän näkökulma korostaa, että energiasiirtymä - isona merkittävänä yhteiskunnallisena murroksena - ei saisi ainakaan lisätä alueiden välistä eriarvoisuutta tai kärjistä jännitteitä valtion ja alueellisen sekä paikallisen tason välillä (Weckroth ym., 2025).

Näistä lähtökohdista tässä muutosalueessa tarkastellaan alueellista ja monitasoista toimijuutta sekä energiasiirtymän sosiaalisen ja alueellisen oikeudenmukaisuuden ulottuvuuksia. Alueellista toimijuutta käsitellessä on hyvä tiedostaa Suomen eri maakuntien alueelliset erityispiirteet ja kontekstit liittyen esimerkiksi elinkeinoihin ja ympäristöön. Huomio kohdistuu siihen, miten hyödyt ja haitat eri aluetasoilla ja alueiden välillä jakautuvat, millaisiksi päätöksentekoprosessit koetaan sekä millaiset mahdollisuudet eri toimijoilla on vaikuttaa energiasiirtymän suuntaan.

## Muutosalueen visio

Vuoteen 2055 mennessä toteutunut energiasiirtymä on edistänyt ja vahvistanut alueellisen ja sosiaalisen oikeudenmukaisuuden kokemusta eri toimijoilla. Sähköverkot, siirtolinjat ja muu energiainfrastruktuuri tarjoavat tasavertaiset kehitysmahdollisuudet eri alueille. Hyötyjen ja haittojen alueellinen kohdentuminen on vähentänyt alueiden välisiä ja kaupunki-maaseutualueiden välisiä jännitteitä ja on mahdollistanut alueellisen omavaraisuuden vahvistumisen. Paikallisista yhteisöistä sekä aluetason toimijoista on muodostunut energiasiirtymän aktiivisia toimijoita, eivätkä ne ole pelkkiä passiivisia kehityshankkeiden kohteita ja vaikutusten kokijoita.

### 4.2.1. Alueellisen toimijuuden rooli

Alueellinen toimijuus viittaa siihen, millaiset resurssit, valtuudet ja vaikutusmahdollisuudet eri alueilla ja toimijaryhmillä on energiasiirtymän suuntaan ja toteutukseen (Bridge et al. 2013). Suomessa etenkin kunnat ja maakunnat ovat keskeisiä toimijoita maankäytön suunnittelussa, kaavoituksessa ja lupaprosesseissa. Ne mahdollistavat uusiutuvan energiantuotannon sijoittamisen sekä siirtoyhteydet ja muun infrastruktuurin. Lisäksi alueellisilla kehitysyhtiöillä on usein tärkeä rooli eri toimijoiden välisten tarpeiden tunnistamisessa ja yhteen kytkemisessä. Alueiden ja kuntien välillä on kuitenkin eroja hallinnollisessa kapasiteetissa, lähtökohdissa ja resursseissa, mikä vaikuttaa siihen, kuinka aktiivisesti ne voivat kehittää elinvoimaansa (Paananen & Airaksinen, 2014). Tämä vaikuttaa myös mahdollisuuksiin hyödyntää energiahankkeita osana alueiden elinvoiman kehittämistä.

Alueellinen toimijuus liittyy myös paikalliseen elinkeinorakenteeseen ja energiainfrastruktuuriin, jotka määrittävät alueiden mahdollisuudet osallistua energiasiirtymään ja hyödyntää siitä syntyviä taloudellisia ja yhteiskunnallisia vaikutuksia. Alueen toimijaverkostojen rooli ja eroavaisuudet aluekohtaisesti voivat vaikuttaa merkittävästi alueen kykyyn hyödyntää vihreän siirtymän mahdollisuuksia (Roessler, 2026). Alueen toimijaverkostossa myös määritellään niin siirtymän visio kuin se, millä ehdoin siirtymästä halutaan hyötyä. Alueilla, joilla on vahvaa teollista toimintaa tai olemassa olevaa energiatuotantoa, energiasiirtymä voi näyttäytyä teollisena investointimahdollisuutena. Toisaalla se voi korostua maankäytöllisenä kysymyksenä tai paikallisten elinkeinon, kuten matkailun tai maa- ja metsätalouden, näkökulmasta. Alueellinen toimijuus ei siten tarkoita pelkästään päätöksentekovaltaa, vaan myös kykyä tunnistaa, muodostaa ja hyödyntää strategisia kumppanuuksia, houkutelaa investointeja ja sovittaa yhteen paikalliset ja kansalliset tavoitteet.

Tiekarttaprosessin aikana kerätyssä aineistossa energiasiirtymän hallinnan osalta korostuu julkisten resurssien niukentumisen luomat riskit. Maankäyttö- ja valvontaviranomaisten työtaakka kasvaa energiasiirtymän edetessä, mikä korostaa hallinnollisen kapasiteetin vahvistamisen, ennakoivan suunnittelun ja vaikutustiedon yhteiskehittämisen merkitystä. Hyväksyttävyyden ja oikeudenmukaisuuden kokemukset syntyvät pitkälti toimijoiden välisissä suhteissa. Nämä kokemukset voivat myös vaikuttaa paikallisesti hankkeiden etenemiseen sekä siihen, millaisia hankkeita kunnat alueilleen haluavat.

Tällä hetkellä energiasiirtymä on jakanut Suomea niin, että suurin osa tuulivoimainvestoinneista on keskittynyt Länsi-Suomeen, ja

Itä-Suomi on jäänyt paitsioon. Merkittävimpiä syitä tähän ovat kantaverkon linjojen painottuminen Länsi-Suomeen ja puolustusvoimien tutkavalvonnan rajoitteet Itä-Suomessa. Toisaalta Pohjois-Suomeen kohdistuu suurimmat paineet ja odotukset uusiutuvan energian tuotannolle suuren käytettävissä olevan maanalan ja siirtoverkon kehittämisen ansiosta. Aurinkovoima tulee sijoittumaan tuulivoimaan verrattuna maantieteellisesti tasaisemmin ympäri Suomea, mutta painottuu Suomen eteläisempiin osiin. Tämän hetken ja lyhyen aikavälin tilannekuva energia- ja verkkoinfrastruktuurin kehittämisessä ei näytä tuovan merkittäviä edistysaskelia Itä-Suomen tuulivoimainvestoinneille, ellei tutkavalvontaan liittyviä rajoitteita saada ratkaistua. Kuitenkin keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä Itä-Suomen maa-alueet voivat tarjota uutta potentiaalia uusiutuvan energian tuotantoon. Nykytilanne vaikuttaa myös jossain määrin vety- ja hiilidioksiditalouden sekä muiden vihreän siirtymän hankkeiden sijoittumiseen. Siirtoverkon, edullisen uusiutuvan sähkön ja biogeenisen hiilidioksidin saatavuus ovat avainasemassa uuden teollisuuden investointien jalkauttamisessa. Näin ollen investointien näkökulmasta energiasiirtymä on saattamassa alueita eriarvoiseen asemaan.

Uusiutuvan energian tuotannon liiallinen maantieteellinen painottuminen esimerkiksi Länsi- tai Pohjois-Suomeen sisältää myös sosiaalisten ja poliittisten konfliktien riskiä. Mikäli energian tuottoon liittyvien haittojen ja hyötyjen ei koeta jakautuvan tasaisesti, esimerkiksi tilanteessa, jossa tuotantoalueella koetaan haitat mutta energia ja sen hyödyt siirtyvät kasvukeskuksiin tai Suomen ulkopuolelle, on riskinä sosiaalisten epäoikeudenmukaisuuksien lisäksi myös uusiutuvaa energiaa ja vihreää siirtymää vastustavien poliittisten liikkeiden kannatuksen nousu.

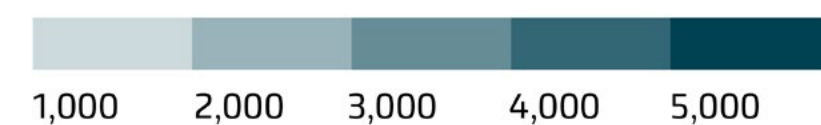


# Tuulisähkön tuotanto painottuu Pohjois- ja Länsi-Suomeen

Tuulivoimaloiden sijoittuminen Suomessa ja tuotantokapasiteetti neljässä maakunnassa.

## Koko Suomi

Tuulisähkön tuotanto 2024: 20 237 GWh



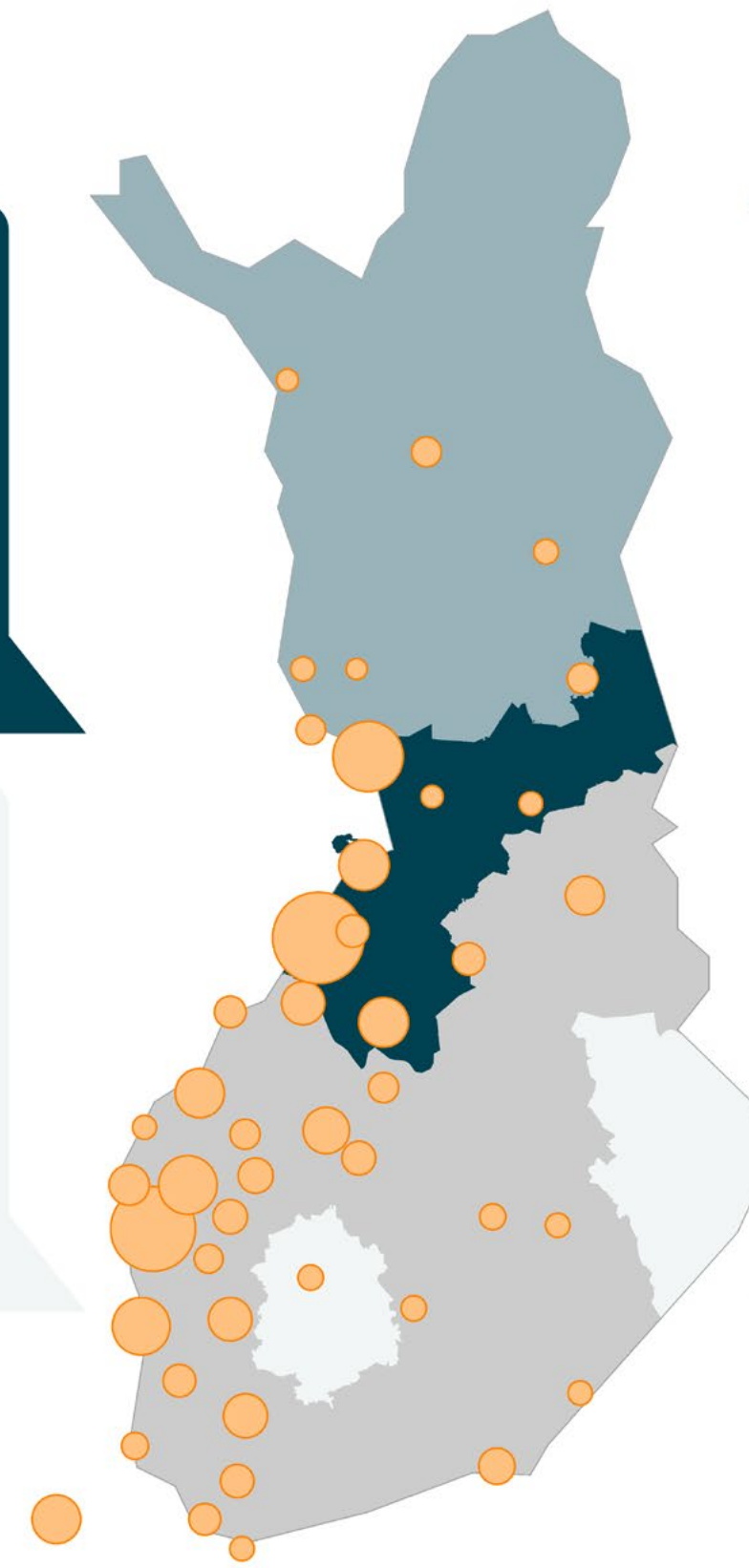
● : Tuulivoimaloiden sijoittuminen

**Pohjois-Pohjanmaa**  
 Tuulisähkön tuotanto 2024: 6936 GWh

**Pirkanmaa**  
 Tuulisähkön tuotanto 2024: 82 GWh

**Lappi**  
 Tuulisähkön tuotanto 2024: 2093 GWh

**Pohjois-Karjala**  
 Tuulisähkön tuotanto 2024: 0 GWh



*Tuulisähkön tuotanto on keskittynyt rannikkoalueille ja Länsi-Suomeen. Kuvassa esitetään REPower-hankkeessa tehtävän tutkimuksen tapausmaakuntien tuulisähköntuotanto vuonna 2024 (GWh) sekä tuulivoimaloiden alueellinen sijoittuminen pisteittäin (Energiateollisuus ry 2026; Suomen uusiutuvat ry 2026).*

Alueellinen toimijuus kehittyy eri tavoin tulevaisuuspoluissa.

**EU-velvoitepolussa** alueellinen toimijuus pysyy pitkälti nykyisten institutionaalisten rakenteiden varassa. Energiasiirtymän eteneminen perustuu pääasiassa EU-tason velvoitteiden täytäntöönpanoon kansallisessa politiikassa, mikä jättää alueille rajalliset mahdollisuudet aktiiviseen strategiseen rooliin. Poliittikkakoherenssin puutteet eri hallinnon tasojen välillä johtavat siihen, että energiasiirtymä etenee alueilla eri tahtiin, mikä hidastaa alueellisen toimijuuden uusiutumista ja kykyä vastata murroksen tuomiin mahdollisuuksiin. On silti mahdollista, että investoinnit hajautuvat tasaisemmin ympäri Suomea, mikäli keskeisiä aluekohtaisia pullonkauloja saadaan ratkaistua. Toisaalta vihreän siirtymän ja sähköintensiivisten toimialojen kehittyminen vaikuttavat ylipäättään sähkön tarpeen ja riittävyden kehitykseen, mikä voi taas olla vaikutusta aluetason kehitykseen erityisesti energiainvestointien näkökulmasta.

**Biotalouspolussa** alueellinen toimijuus vahvistuu erityisesti metsäbiotalouteen vahvasti tukeutuvilla alueilla. Energiasiirtymä kytkeytyy olemassa oleviin luonnonvara- ja teollisuusrakenteisiin, jolloin alueelliset toimijat - kuten kunnat, yritykset ja maanomistajat - osallistuvat aktiivisesti arvoketjujen kehittämiseen ja investointien suuntaamiseen. Alueellisen toimijuuden vahvistuminen näkyy myös siinä, että alueelliset näkökulmat ja identiteetit integroituvat aiempaa vahvemmin osaksi kansallista energiapoliittista päätöksentekoa. Esimerkiksi kemianteollisuuden, biohiilen ja uusiutuvien polttonesteiden valmistus tarjoavat alueille mahdollisuuksia. Ne kasautuvat osittain sinne, missä teollinen jo olemassa oleva rakenne tukee uusia investointeja ja kehitystä. Uusien biopohjaisten materiaalien kehitykseen panostaminen on edennyt Suomessa luoden erityisesti metsäteollisuudelle uusia kehitysnäkymiä. Biokaasun ja bio- ja synteettisen

metaanin valmistus ja teollisuuden tarpeet taas tukevat erityisesti maaseutualueiden elinvoimaa, joille näiden tuotantoa sijoittuu.

**Sähköistymispolussa** alueellinen toimijuus laajenee ja monipuolistuu merkittävästi energiajärjestelmän nopean muutoksen seurauksena. Uusiutuvan energian tuotannon ja kysynnän voimakas kasvu edellyttää vahvaa poliittikkakoherenssia sekä monitasoista ja poikkisektoraalista hallintaa. Alueet eivät ole pelkästään energiapolitiikan toimeenpanon kohteita, vaan keskeisiä strategisia toimijoita energiasiirtymän toteuttamisessa. Investointien alueellinen jakautuminen pyritään ohjaamaan mahdollisimman tasapainoisesti huomioiden alueelliset vahvuudet, paikalliset resurssit ja identiteetit, mikä vahvistaa alueiden roolia energiajärjestelmän uudelleenmuotoutumisessa. Toisaalta alueiden vahvuuksiin perustuvaa eriytymistä voi tapahtua energiasiirtymän takia. Osa alueista voi jäädä enemmän tuotantoalueiksi, mutta laaja-alainen synteettisten polttoaineiden tuotanto voi tarjota uusia mahdollisuuksia alueille.

Tulevaisuuspolut tarjoavat useita erilaisia vaihtoehtoja alueille. Pitkälti kehitykseen vaikuttaa alueiden omat lähtökohdat sekä isossa kuvassa energiasiirtymän etenemisen tahti ja skaala. Laajamittaiset investoinnit voivat aiheuttaa oikeudenmukaisuuden, hyväksyttävyyden ja myös luontoarvojen osalta keskustelua, joka tulee huomioida osana investointien sijoittamista ja kehittämistyötä, jotta järjestelmä edistää kokonaisturvallisuuden toteutumista ja huomioi teknistaloudellisten seikkojen lisäksi ympäristöön ja sosiaaliseen kehitykseen liittyvät tekijät.

Uusiutuvan energiantuotannon liiallinen maantieteellinen painottuminen esimerkiksi Länsi- tai Pohjois-Suomeen sisältää myös sosiaalisten ja poliittisten konfliktien riskiä.

## 4.2.2. Alueellisen oikeudenmukaisuuden kysymykset

Oikeudenmukaisuutta tarkastellaan yleensä neljän eri osa-alueen kautta, jotka ovat jako-oikeudenmukaisuus, prosessioikeudenmukaisuus, tunnustava oikeudenmukaisuus, ja hyvittävä oikeudenmukaisuus (Lyytimäki ym., 2023).

Jako-oikeudenmukaisuus käsittelee konkreettisesti hyötyjen ja haittojen jakautumista. Uusiutuvan energian osalta se painottuu lähinnä taloudellisten voittojen tai tuotetun energian käyttömahdollisuuksien jakautumiseen verrattuna koettuihin haittoihin, esimerkiksi maisemavaikutuksiin, huoliin kiinteistöarvosta, tai negatiiviseksi koetuista maankäytön muutoksista. Jako-oikeudenmukaisuuden lisäksi merkittävimmät epäoikeudenmukaisuudet maanomistajille syntyvät prosessioikeudenmukaisuuden kohdalla. Maanomistajilla on hankekehittäjiin nähden melko vähän neuvotteluvalltaa, elleivät he omista merkittäviä maa-aloja hankealueella. Hyväksyttävyyteen vaikuttavat myös näkemykset hankkeiden ja energiasiirtymän läpinäkyvyydestä. Esimerkiksi riittämättömäksi tai sekavaksi koettu kaavoituksen ja rakentamisen sääntely voi vaikuttaa negatiivisesti maanomistajien koettuun oikeusturvaan ja hankkeiden oikeudenmukaisuuteen.

Mikäli tuulivoimahankkeiden rakentaminen tulee painottumaan Pohjois-Suomeen, kasvaa myös tunnustavan ja hyvittävän oikeudenmukaisuuden merkitys uusiutuvan energian hankkeissa alueen kulttuuris-historiallisista erityispiirteistä ja niihin kytkeytyvistä elinkeinoista johtuen. Tunnustava oikeudenmukaisuus käsittelee arvojen, näkemysten, kulttuurien ja tarpeiden huomiointia, jonka avulla voidaan pyrkiä huomioimaan esimerkiksi niin saamelaisyhteisöt, kuin Pohjois-Suomelle ominaisia elinkeinoja, kuten porotaloutta. Hyvittävän oikeudenmukaisuuden kautta

energiantuotantohankkeissa huomioidaan ja pyritään hyvittämään jo tapahtuneita epäoikeudenmukaisuuksia. Oikeudenmukaisen energiasiirtymän mahdollistamiseksi on erittäin tärkeää hyödyntää kokemuksia etenkin Pohjois-Suomessa vesivoiman kanssa tehdyistä epäoikeudenmukaisuuden kokemuksesta synnyttäneistä päätöksistä, ja pyrkiä reilumpiin prosessi- ja jako-oikeudenmukaisin toimintamalleihin uusissa hankkeissa.

Jako-oikeudenmukaisuuden edistämiseksi tarvitaan alueellisia hyötymalleja, joilla tehdään järjestelmällisesti näkyviksi energiahankkeiden vaikutukset verokertymään, työllisyyteen ja alueelliseen elinvoimaan sekä ohjataan hyötyjen tasaisempaa jakautumista tuotantoon- ja kulutukseen painottuvien alueiden välillä. Hyötymallit kytketään kaavoitukseen ja ennakoivaan suunnitteluun, ja niissä huomioidaan paikallisten asukkaiden ja maanomistajien ohella myös infrastruktuurin, kuten siirtolinjojen, vaikutusalueet.

Kaikissa poluissa korostuu tarve vahvistaa oikeudenmukaisuuden eri ulottuvuuksien toteutumista vahvistavia prosesseja.

**EU-velvoitepolussa** ja **biotalouspolussa** sosiaalista oikeudenmukaisuutta ja hyväksyttävyyttä parannetaan vakiinnuttamalla nykyisiä osallistavaan suunnitteluun kannustavia käytäntöjä ja prosesseja jako- ja prosessioikeudenmukaisuuteen nojaten. Tuuli- ja aurinkovoimahankkeille perustetaan kansallisiin normeihin ja standardeihin perustuvat sopimusraamit vähentämään räikeimpiä prosessiepäoikeudenmukaisuuksia. Hankkeiden läpinäkyvyyden ja avoimen tiedottamisen parantamiseksi hankekehittäjien tulee informoida ajoissa myös hankealueen ulkopuolisia maanomistajia mahdollisista siirtolinjavaihtoehtoista.

**Sähköistymispolussa** uusiutuvan energian tuotannon ja kysynnän erittäin merkittävä kasvu korostavat kaavoituksen, lupaprosessien ja paikallisten neuvottelujen merkitystä ja kaikkien oikeudenmukaisuuden ulottuvuuksien kehittämistä ja parantamista. Tämä vaatii merkittävää lisäresursointia kaikilla hallinnollisilla tasoilla sekä vaikutusten tarkastelua järjestelmätasolla, jotta voidaan huomioida tuuli- ja aurinkovoiman, bioenergian sekä näihin kytkeytyvän energia- ja sähköverkkoinfrastruktuurin yhteen kietoutuvat vaikutukset. Lisäksi suuren maankäytön muutoksen seurauksena korostuu tarve hyödyntää paikallisia taloudellisia ja toiminnallisia kompensatio- ja hyötymekanismeja.

Sähköistymispolussa maanomistajien asemaa neuvottelutilanteissa vahvistetaan parantamalla järjestäytymismahdollisuuksia potentiaalisilla tuuli- ja aurinkovoima-alueilla. Maanomistajien järjestäytyminen mahdollistaa varhaisemman ja merkityksellisemmän osallistumisen hankevalmisteluun sekä lähiyhteisöjen elinkeinojen, arvojen ja tarpeiden paremman huomioimisen. Tämä luo lähtökohdan myös hankekehittäjien vertailulle prosessioikeudenmukaisuuden toteutumisen osalta ja tarjoaa siten mahdollisuuksia kilpailuttaa hankkeita maanomistajien ja paikallisyhteisöjen ehdoilla.

Lisäksi sopimusehtojen yhtenäistäminen vähentää maanomistajien välistä eriarvoisuutta laskien samalla sosiaalisten konfliktien riskiä paikallisella tasolla.



### 4.3 Geopolitiikka ja turvallisuus

Globaali suurvaltakamppailu ja geopolittiset kehityskulut heijastuvat väistämättä energiasiirtymään ja sen reunaehtoihin. Maantieteelliset erityispiirteet vaikuttavat oleellisesti Suomen geopolittiseen asemaan ja energiasiirtymän etenemiseen. Yhtäältä Suomi kuuluu erityisesti energia-, turvallisuus- ja infrastruktuuriyhteyksien näkökulmasta geostrategisesti yhtenäiseen Pohjoilaan, toisaalta Suomi on logistisesti riippuvainen Itämeren alueen vakaudesta. Suomen Nato-jäsenyys tuo puolustus suunnitteluun uudenlaisia tarpeita logistisille ratkaisuille, jotka kytkeytyvät tiiviisti energiakysymyksiin (Mikkola, 2026).

Energiasiirtymä tuo esiin valtioiden välisiä eroja teknologisessa kyvykkyydessä ja poliittisessa tahdossa hyödyntää luonnonvaroja ja kriittisiä raaka-aineita, joita tarvitaan energian lisäksi

myös puolustusteollisuudessa. Uusiutuvan energian geopolitiikka muuttaa valtioiden välistä geopolittistä asemointia, jonka seurauksena syntyy uusia raaka-ainevirtoja ja kauppasuhteita esimerkiksi kriittisissä raaka-aineissa, vihreässä vedyssä tai puhtaiden teknologioiden osaamisessa. Uusiutuvan energia arvoketjut synnyttävät uusia riippuvuuksia, kuten riippuvuutta kriittisistä raaka-aineista, teknologioista ja globaaleista toimitusketjuista, joiden tunnistaminen on ensiarvoisen tärkeää (Höysniemi, 2025). Muutos näkyy kaupan ja investointien luonteen, reittien ja määrän muutoksina, mutta myös mahdollisina geopolittisinä tavoitteina hallita uusia alueita ja resursseja. Energiasiirtymä vähähiilisiin ja sähköistyviin yhteiskuntiin muuttaa valtioiden välisiä suhteita ja niiden geopolittistä kamppailua. Vähähiilinen maailma ei kuitenkaan välttämättä ole aiempaa vähemmän altis konflikteille.

Energiasiirtymässä muuttuvat Suomen ja EU:n suhteet Venäjään ja suurvaltoihin, kuten Yhdysvaltoihin, Kiinaan ja Intiaan. Strategisen autonomian saavuttamiseksi suhteita on punnittava realistisesti EU:n energiapolitiikan näkökulmasta. Venäläisen fossiilienergian tuontiin palaaminen heikentäisi strategista autonomiaa. Se tulisi korvata ensisijaisesti uusiutuvan energiantuotannon kasvattamisella, energiatehokkuudella ja energian kulutuksen vähentämisellä, ei fossiilienergian tuonnilla muista suunnista. Kiinan hallitsemat uusiutuvan energian ja kriittisten mineraalien arvoketjut antavat maalle mahdollisuuden säädellä riippuvuussuhteita ja ulottaa sen vaikutukset myös energiapolitiikan ulkopuolelle. Yhdysvaltojen arvopohjan kehitys eriyttää sitä Euroopasta, eikä paluuta entiseen transatlanttiseen suhteeseen ole luvassa. Kiinan hallitsemat arvoketjut ja Yhdysvaltojen politiikan kehitys korostavat tarvetta Euroopan määrätietoiselle teollisuuspolitiikalle ja tasapainoilulle strategisen autonomian ja riippuvuuksien välillä.

On selvää, että fossiilisia polttoaineita tarvitaan puolustuskyvyn ylläpitämiseen vielä vuosikymmeniä, mutta sotilaallisten suorituskykyjen fossiilittomia ratkaisuja tulee kehittää aktiivisesti. Suomi rakentaa sotilaallisen pelotteen vahvalle omalle puolustuskyvyllle ja Nato-jäsenyydelle. Suomen on arvioitu olevan yksi energiasiirtymän voittajista geopolittisesti korkean uusiutuvan energian osuuden ja teknologisen osaamisen vuoksi. Silti geopolittiset taustatekijät on rajallisesti huomioitu viimeaikaisessa suomalaisessa energiapolitiikan ennakkoinnissa ja politiikkakoherenssin puute onkin siksi yksi keskeisistä ratkaistavista haasteista (Höysniemi, 2025; Mikkola, 2026). Suomen kannattaa kuitenkin edistää uusiutuvaa energiajärjestelmää, vahva maanpuolustustahto säilyttäen. Itsenäinen puolustuskyky ei saa vaarantua energiasiirtymässä.

## Muutosalueen visio

Suomi toimii aktiivisesti uusiutuvan energian geopolitiikassa osana Euroopan unionia. Energiasiirtymä vahvistaa Suomen strategista autonomiaa yhteistyössä geostrategisesti yhtenäisen Pohjolan kanssa. Turvallisuuspoliittisia ratkaisuja ei heikennetä energiasiirtymän kustannuksella. Vuoropuhelu ulko-, turvallisuus- ja puolustuspolitiikan, energiapolitiikan sekä muiden Suomen geopolittiseen asemaan vaikuttavien strategisten sektoreiden välillä on jatkuvaa. Suomen asemaa vahvistetaan hyödyntämällä energiasiirtymän tarjoamia mahdollisuuksia, kuten vetyjalosteiden vientiä.

**EU-velvoitepolussa** Suomen geopolittista asemaa pyritään vahvistamaan ensisijaisesti vähentämällä tuontipolttoaineiden käyttöä ja lisäämällä kotimaista, uusiutuvaa energiantuotantoa. Ilman energiajärjestelmän huomattavaa laajentamista keinot strategisen autonomian edistämiseksi voivat kuitenkin jäädä rajallisiksi. Pohjoismaat muodostavat edelleen Suomen keskeisimmän viiteryhmän energian geopolitiikassa, mitä tukee maiden yhtenäinen geostrateginen asema. Velvoitepolussa ulko- ja turvallisuuspolitiikan tavoitteita voi haastaa se, etteivät markkinat pysty tuottamaan geopolitiikan ja kokonaisturvallisuuden kannalta kestävimpiä ratkaisuja.

**Biotalouspolussa** Suomen geopolittista asemaa pyritään vahvistamaan hyödyntämällä kansallista resurssipohjaa, mikä vahvistaa samalla energiajärjestelmän huoltovarmuutta ja resilienssiä. Polku ei merkittävästi muuta Suomen asemaa eurooppalaisilla energiamarkkinoilla, vaan Suomi kiinnittyy edelleen tiiviisti pohjoismaiseen geostrategiseen yhtenäisyyteen. Biotalouspolku tarjoaa sähköistymispolun tapaan mahdollisuuden uusiutuvien polttoaineiden vientiin, mikä voi vahvistaa Suomen geopolittista

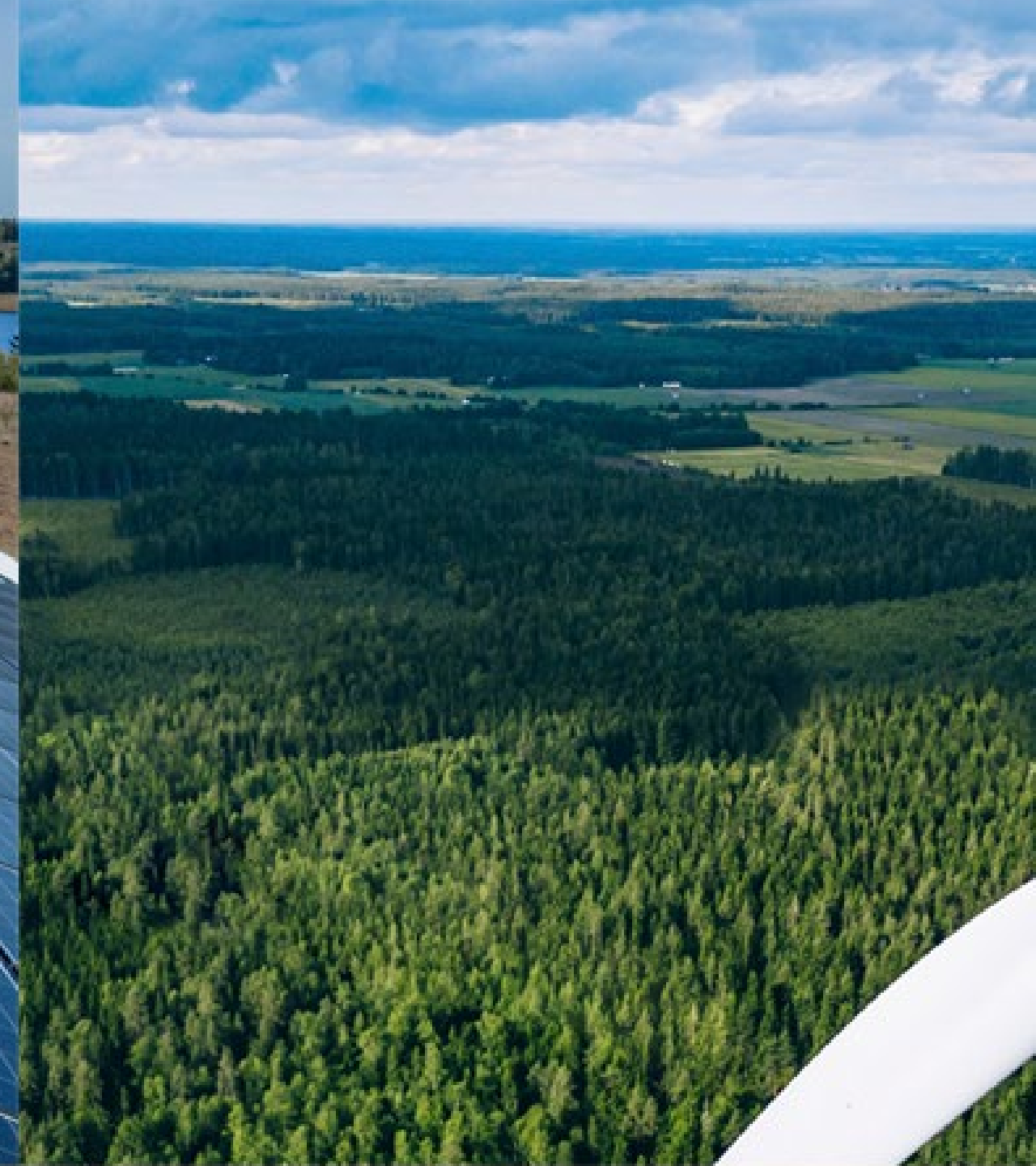
asemaa. Tässä polussa korostuu kuitenkin sähköistymispolkua enemmän tasapainottelu kansallisiin innovaatioihin perustuvien biomassapohjaisten ratkaisujen sekä vientiä ja tuontia painottavien teknologioiden välillä.

**Sähköistymispolussa** Suomen geopolittinen asema rakentuu verkostoille, jotka syventävät kytkentää eurooppalaisiin energiamarkkinoihin. Toimitusketjujen riskienhallinta korostuu, sillä energiainfrastruktuurin komponentit ja raaka-aineet ovat pitkälti tuontiriippuvaisia. Geopolittisen aseman vahvistuminen edellyttää vakaata toimintaympäristöä Euroopassa ja Itämeren alueella.

Sähköistymispolun mukanaan tuoma merituulivoiman kasvu laajentaa energiainfrastruktuurin valvontatarpeita merialueille, mikä heijastuu myös puolustusjärjestelyihin. Polun tarjoama potentiaali Bio-CO<sub>2</sub>-pohjaisten polttoaineiden viennissä voi vahvistaa Suomen geopolittista asemaa. Tämä edellyttää kuitenkin harkittua suhtautumista suunnitteilla oleviin vetyputkiin Baltian ja Keski-Euroopan suuntaan, jotta Suomi ei asemoidu pelkästään raakavedyn tuottajaksi. Yhteiskunnan nopea sähköistyminen asettaa erityisesti tässä polussa haasteita nykyiselle huoltovarmuusmallille.

Suomen on arvioitu olevan yksi energiasiirtymän voittajista geopolittisesti korkean uusiutuvan energian osuuden ja teknologisen osaamisen vuoksi.

## 5. Strategiset valinnat ja toimenpiteet



## 5. Strategiset valinnat ja toimenpiteet

Energiasiirtymä ei etene pelkästään teknologisen kehityksen ja markkinavoimien ohjaamana, vaan vaatii myös strategisia valintoja julkiselta ohjaukselta energia- ja ilmastopolitiikan, sääntelyn sekä investointi- ja infrastruktuuriratkaisujen kautta. Suomi voi saavuttaa ilmasto- ja energiatavoitteen erä tulevaisuuspoluissa, jotka eroavat toisistaan energijärjestelmän rakenteen, luonnonvarojen käytön, alueellisen oikeudenmukaisuuden, investointien mittakaavan sekä kansainvälisten kytkentöjen osalta. Tämä vaatii kuitenkin johdonmukaista ja pitkäjänteistä päätöksentekoa.

Muutosalueiden tarkastelu osoittaa, että energiasiirtymällä on laaja-alaisia vaikutuksia maankäyttöön, alueelliseen kehitykseen, yhteiskunnalliseen hyväksyttävyyteen sekä Suomen geopoliittiseen asemaan. Tiekarttatyössä on tunnistettu keskeiset strategiset valinnat, joita tulevaisuuspolut ja muutosalueisiin liittyvät tavoitteet tarvitsevat toteutuakseen. Valinnat on jaoteltu lyhyeen (2026–2029), keskipitkään (2030–2039) ja pitkään aikaväliin (2040–2055), ja niitä tarkastellaan muutosalueiden visioihin perustuvien tavoitteiden kautta.



Muutosalueen **Kestävä maankäyttö ja resurssit** keskeisimmät tavoitteet ovat:

- Tuuli- ja aurinkovoiman maankäyttövaikutuksia arvioidaan nykyistä laajemmin maakunnallisella ja alueellisella tasolla. Arvioinnissa huomioidaan hankkeiden yhteisvaikutukset luontoon ja niitä minimoidaan lieventämishierarkian mukaisesti.
- Biomassaresursseja käytetään kestävästi ja resurssiviisaasti. Puupohjaisen bioenergian rooli painottuu toimitusvarmuuteen, joustavuuteen ja sivuvirtojen hyödyntämiseen, jotta käyttö säilyy kestäväksi myös pitkällä aikavälillä.



Muutosalueen **Alueellinen oikeudenmukaisuus ja toimijuus** keskeisimmät tavoitteet ovat:

- Alueellisesti kestävä energiasiirtymä perustuu oikeudenmukaisuuteen ja mahdollisuuksien tasavuuteen. Se huomioi alueiden erilaiset lähtökohdat ja toimijoiden moninaisuuden.
- Sosiaalinen hyväksyttävyys huomioidaan kokonaisuutena tarkastelemalla sekä tuotantomuotoja että niihin liittyvää infrastruktuuria. Hanketasolla tätä tukevat osallistavat prosessit ja avoin viestintä, joissa vaikutuksia arvioidaan ennen toteutusta, sen aikana ja sen jälkeen.



Muutosalueen **Geopoliittikka ja turvallisuus** näkökulmasta keskeinen tavoite on:

- Uusiutuvan energian kehittämistä tarkastellaan geopoliittisena toimenpiteenä, jossa keskeistä on riippuvuuksien hallinta suhteessa omavaraisuuteen ja toimitusvarmuuteen. Suomen energia- ja ilmastopolitiikan sekä ulko-, turvallisuus- ja puolustuspoliittisten tavoitteiden tulee tukea toisiaan.

## 5.1 Lyhyen aikavälin strategiset valinnat ja toimenpiteet (2026–2029)

Lyhyellä aikavälillä strategiset valinnat liittyvät ennen kaikkea käynnissä olevan energiasiirtymän edellytysten luomiseen. Kaikissa tulevaisuuspoluissa käynnistetään samansuuntaisia valmistelutoimia - sijoittamisperiaatteiden laatiminen, lieventämishierarkian käyttöönotto, osallistavien prosessien kehittäminen ja poikkihallinnollisen ennakkoinnin vahvistaminen - mutta polkujen välillä on merkittäviä eroja näiden toimeenpanon laajuudessa ja painotuksessa.



**Maankäytön ja resurssien** osalta kaikissa poluissa otetaan käyttöön valtakunnalliset sijoittamisperiaatteet tuuli- ja aurinkovoimalle, synkronoidaan kaavoitus, luvitus ja verkkoliitynnät sekä sovelletaan lieventämishierarkiaa. Toimenpiteiden painopisteet eroavat: EU-velvoitepolussa sijoittamista

ohjataan ensisijaisesti jo heikentyneille alueille hallitun maatuuli-voiman kasvun puitteissa. Biotalouspolussa vastaavat periaatteet ulotetaan kattamaan polun edellyttämä tuuli- ja aurinkovoiman kasvu (72 TWh tuulivoimaa vuoteen 2055), mutta samanaikaisesti painopiste on biomassan kaskadikäytön edistämässä, hakkuutähteiden ja pienpuun korjuun parantamisessa sekä biokaasu-, biohiili- ja CO<sub>2</sub>-talteenottopilottien aloittamisessa. Sähköistymispolussa maankäytön suunnittelu on mittakaavaltaan laajinta: käynnistetään kantaverkon vahvistukset, merituuli-voiman sijainnohjaus, satama- ja huoltologistiikan periaatteet sekä tilavaraukset vedylle, varastoille ja datakeskuksille. Koska sähköistymispolussa bioenergian vuositasoinen käyttö vähenee nopeasti, hankintaketjujen ja terminaalikapasiteetin turvaaminen huoltovarmuustilanteita varten on aloitettava jo tässä vaiheessa.



**Alueellisen oikeudenmukaisuuden ja toimijuuden** osalta kaikissa poluissa kehitetään varhaisen osallistamisen malleja ja luodaan perusteet hyötyjen, haittojen ja taloudellisten kompensatioiden oikeudenmukaiselle jaolle. Samalla tavoitteena on pienentää alueiden välisiä eroja uusiutuvan energian

tuotannon sijoittumisessa, jotta investointeja ja niiden hyötyjä ei kasaudu pysyvästi vain tietyille alueille.

EU-velvoitepolussa painopiste on näennäisen kuulemisen kokemuksen vähentämisessä ja sähkönsiirtoverkkojen saavutettavuuteen ja kapasiteettiin liittyvien alue-erojen kaventamisessa. Biotalouspolussa oikeudenmukaisuus kytkeytyy alueellisten bio- ja kiertotalousklustereiden rakentamiseen: kuntien, metsänomistajien, maatilojen ja teollisuuden roolit vahvistetaan niin, että hyödyt jäävät alueille. Sähköistymispolussa investointien mittakaava (tuulivoimakapasiteetin kasvu 134 TWh:iin) edellyttää jo lyhyellä aikavälillä oleellisesti laajempaa osallistamista ja lupahallinnon resursointia kuin muissa poluissa. Kaikissa poluissa asetetaan tutkittu tieto energiasiirtymän vaikutuksista läpinäkyvästi saataville osana hanke- ja aluetason viestintää.



**Geopolitiikan ja turvallisuuden** osalta kaikissa poluissa kartoitetaan keinoja sovittaa energia-, ilmasto- ja turvallisuuspolitiikka yhteen, vahvistetaan huoltovarmuutta ja kyberturvaa sekä käynnistetään pohjoismainen suunnittelu sähköverkkosten ja varastointiratkaisujen yhteensovittamiseksi. Polkujen väliset erot näkyvät jo tässä

vaiheessa: EU-velvoitepolussa painotus on fossiilisista riippuvuudesta irtautumisessa, biotalouspolussa kotimaisen resurssipohjan turvaamisessa ja energiaomavaraisuuden lisäämisessä ja sähköistymispolussa kansainvälisten toimitusketjujen ja datakeskusten turvallisuuskartoituksessa.

*Polkukohtaiset strategiset valinnat lyhyellä aikavälillä on eritelty muutosalueittain liitteen 2 taulukossa 1.*

## 5.2 Keskipitkän aikavälin strategiset valinnat ja toimenpiteet (2030–2039)

Keskipitkällä aikavälillä siirrytään puitteiden luomisesta toteutukseen ja skaalaukseen: lyhyellä aikavälillä luodut ohjauskehikot, osallistamiskäytännöt ja ennakointirakenteet vakiinnutetaan, ja energiajärjestelmän rakenteelliset valinnat konkretisoituvat. Strategiset valinnat liittyvät erityisesti biomassaresurssien kohdentamiseen, uusiutuvan energian tuotannon mittakaavaan sekä energiasiirtymän taloudellisten vaikutusten alueelliseen jakautumiseen.



**Maankäytön ja resurssien** osalta polkujen väliset erot syvenevät merkittävästi. EU-velvoitepolussa tuuli- ja aurinkovoiman alueellinen ohjaus vakiinnutetaan osaksi maankäyttö-, energia- ja metsäpolitiikkaa. Biomassan käyttö painottuu joustoon ja huipukulutukseen vaihtoehtoisten uusiu-

tuvan energian tuotantomuotojen yleistyessä. Samalla hakkuutähteiden ja pienpuun hankinnan ja käytön edistäminen vähentää osaltaan painetta ainespuun energiakäytölle. Biotalouspolussa biomassaa ohjautuu entistä enemmän markkinaehtoisesti korkeamman jalostusarvon tuotteisiin. Biohiilen, biokaasun, ligniinipohjaisten materiaalien ja kehittyneiden biopolttoaineiden kaupallistuminen etenee, ja CO<sub>2</sub>-talteenottoa, sivuvirtojen hyödyntämistä sekä uusiutuvan vedyn ratkaisuja kehitetään biomassan hiilitehokkuuden parantamiseksi. Sähköistymispolussa siirrytään merituulivoiman, suurten aurinkopuistojen, datakeskusten ja vetyalueiden toteutusvaiheeseen ja rakennetaan runkoverkko, pitkäkestoiset varastot ja joustot sähkönkulutuksen voimakkaan kasvun tueksi. Kaikissa poluissa lieventämishierarkian soveltamista jatketaan ja laajennetaan osaksi YVA-käytäntöjä.



**Alueellisen oikeudenmukaisuuden ja toimijuuden** osalta 2030-luku on kriittinen vaihe, jossa lyhyellä aikavälillä perustetut käytännöt juurrutetaan osaksi hankkeiden normaalia toteutusta. EU-velvoitepolussa oikeudenmukaisen siirtymän käytännöt - paikalliset hyötymekanismit, taloudelliset

kompensaatiot ja vaikutusten seuranta - vakiinnutetaan, ja varhaisen osallistamisen käytänteet laajennetaan YVA:aan ja kaa-voitukseen. Biotalouspolussa alueelliset bio- ja kiertotalousklusterit skaalataan teollisiksi ekosysteemeiksi, ja biojalostusinvestointien työllisyys-, sopimus- ja verohyötyjen jääminen alueille varmistetaan. Sähköistymispolussa investointien erityisen suuri mittakaava edellyttää maanomistajien järjestäytymismahdollisuuksien parantamista, lupahallinnon lisäresursseja sekä hyötymallien laajentamista kattamaan myös datakeskusten ja synteettisten polttoaineiden tuotannon aluevaikutukset. Kaikissa poluissa alueelliset hyötymallit vakiinnutetaan systemaattiseksi arviointityökaluksi.



**Geopoliitiikan ja turvallisuuden** osalta 2030-luvulla korostuu eurooppalaisen vetyrunkoverkon merkittävä rooli ja Suomen asemoituminen vihreän vedyn tuotannossa ja sen käyttökoh-teissa. Suomen geopoliittisen aseman kannalta olisi edullisempaa hyödyntää kotimaassa tuotettu elektrolyyttinen

vety jalosteiden valmistukseen ja tähdätä näiden vientiin omien satamien kautta. EU-velvoitepolussa energiapolitiikka kytketään pysyvästi strategisen autonomian kehykseen ja toimitusketju- ja hajautetaan. Biotalouspolussa kotimaisten innovaatioiden ja EU-integraation välistä tasapainoa haetaan: biomassapohjaisten tuotteiden vientiä laajennetaan kotimaista huoltovarmuutta heikentämättä. Sähköistymispolussa integraatiota EU:n, Pohjoismaiden ja Baltian välillä syvennetään, mutta samalla hallitaan teknologiariippuvuuksia, datakeskusten turvallisuusriskejä ja kriittisten komponenttien saatavuutta. Geostrateginen yhtenäisyys Pohjoismaihin ja Baltiaan on kaikissa poluissa strateginen prioriteetti.

*Polkukohtaiset strategiset valinnat keskipitkällä aikavälillä on eritelty muutosalueittain liitteen 2 taulukossa 2.*

## 5.3 Pitkän aikavälin strategiset valinnat (2040–2055)

Pitkällä aikavälillä energiasiirtymä ei etene lineaarisena jatkumona, vaan energiajärjestelmä kehittyy jatkuvan uudistumisen ja teknologisten läpimurtojen kautta. Vuosina 2040–2055 lyhyellä aikavälillä käynnistettyjä ratkaisuja arvioidaan ja päivitetään systemaattisesti uuden tiedon, markkinasignaalien ja globaalien muutosten perusteella. Pitkän aikavälin strategiset valinnat liittyvätkin erityisesti energiajärjestelmän lopulliseen mittakaavaan, teknisiin hiilinieluihin, bioenergialaitosten uudistusinvestointeihin sekä Suomen kansainväliseen asemoitumiseen.



**Maankäytön ja resurssien** osalta 2040-luku tuo mukanaan kaksi rakenteellista käännekohtaa. Ensinnäkin moni bioenergiabuumin aikana rakennettu biomassapolttoaineita käyttävä laitos lähestyy käyttöikänsä loppua, ja biogeenisen hiilidioksidin hyödyntämisen merkitys korostuu päätet-

täessä laitosten uudistamisesta tai niistä luopumisesta. Toiseksi merituulivoimasta tulee merkittävä energiamuoto, mikä siirtää maankäyttöpaineita merialueille. EU-velvoitepolussa BECCS integroidaan osaksi ilmasto- ja energiajärjestelmää ja bioenergia kohdentuu markkinaehtoisesti joustoon, huippukulutukseen ja teknisiin hiilinieluihin. Biotalouspolussa biojalostus muodostaa polun ytimen: biomassapolttoaineiden hiilitehokkuus on kasvanut, ja vaikeasti sähköistettävät alat nojaavat kotimaisiin sivuvirtoihin. Sähköistymispolussa meri- ja maatuulivoima, aurinkopuistot, vetyalueet ja datakeskukset sovitetaan yhteen sekä rakennetaan runkoverkko ja pitkäkestoiset varastot suuren mittakaavan tarpeisiin; bio-energialaitosten uudistusinvestointipäätökset tehdään huoltovarmuusarviointin pohjalta. Kaikissa poluissa lieventämishierarkia on vakiintunut pysyväksi osaksi kaikkien hankkeiden elinkaaren hallintaa.



**Alueellisen oikeudenmukaisuuden ja toimijuuden** osalta pitkän aikavälin tavoitteena on, että energiasiirtymän hyödyt ja haitat jakautuvat alueellisesti hallitusti ja että osallistamisen, hyötymallien ja taloudellisten kompensatioiden käytännöt ovat vakiintuneita alueesta riippumatta. EU-velvoitepolussa alueellinen työnjako on muotoutunut ja tuotanto, kulutus ja varastot ovat alueellisesti tasapainossa. Biotalouspolussa alueelliset bio- ja kiertotalousklusterit ovat vakiintuneita teollisia ekosysteemejä, joiden hyödyt jäävät alueille ja joissa maatilat, metsänomistajat, jätehuolto ja teollisuus toimivat samoissa arvoketjuissa. Sähköistymispolussa energiaoikeudenmukaisuuden prosessit ovat pysyvä osa investointeja, ja maanomistajien järjestäytyminen, lupahallinnon resursointi ja sopimusehtojen yhtenäistäminen ovat vakiintuneita käytäntöjä. Kaikissa poluissa tutkittuun tietoon perustuva energiaviestintä on pysyvä osa energiapolitiikan toteuttamista.

voitepolussa alueellinen työnjako on muotoutunut ja tuotanto, kulutus ja varastot ovat alueellisesti tasapainossa. Biotalouspolussa alueelliset bio- ja kiertotalousklusterit ovat vakiintuneita teollisia ekosysteemejä, joiden hyödyt jäävät alueille ja joissa maatilat, metsänomistajat, jätehuolto ja teollisuus toimivat samoissa arvoketjuissa. Sähköistymispolussa energiaoikeudenmukaisuuden prosessit ovat pysyvä osa investointeja, ja maanomistajien järjestäytyminen, lupahallinnon resursointi ja sopimusehtojen yhtenäistäminen ovat vakiintuneita käytäntöjä. Kaikissa poluissa tutkittuun tietoon perustuva energiaviestintä on pysyvä osa energiapolitiikan toteuttamista.



**Geopolitiikan ja turvallisuuden** osalta pitkällä aikavälillä Suomen asema voi muuttua energian tuojasta energian viejäksi, mikä korostaa energiapolitiikan merkitystä ulko- ja turvallisuuspolitiikan osa-alueena. EU-velvoitepolussa strateginen autonomia on vahvistunut tuontipolttoaineiden vä-

hetessä, ja integraatio EU:hun, Pohjoismaihin ja Baltiaan on koherenttia ja politiikkasektorit ylittävää. Biotalouspolussa Suomi profiloituu EU:ssa bioyhteiskuntana, jonka energiaomavaraisuus ja strateginen autonomia nojaavat kotimaiseen resurssipohjaan. Sähköistymispolussa Suomi toimii puhtaan energian vientitaloutena, joka jalostaa vetyä ja sähköä korkeamman lisäarvon tuotteiksi ja vie sähköpolttoaineita, vetyjalosteita ja energiain- tensiivisten arvoketjujen tuotteita Eurooppaan. Kaikissa poluissa pohjoismainen energiajärjestelmäyhteistyö on vakiintunut kattamaan siirtoverkot, varastoinnin, resilienssin ja kriittisen infrastruktuurin suojaamisen.

*Polkukohtaiset strategiset valinnat pitkällä aikavälillä on eritelty muutosalueittain liitteen 2 taulukossa 3.*

## 6. Suositukset päätöksentekijöille



## 6. Suositukset päätöksentekijöille

Tässä luvussa esitetään kootusti keskeiset edellisen luvun toimenpidesuositukset, joilla voidaan tukea Suomen siirtymää kohti uusiutuvaan energiaan nojaavaa energiajärjestelmää vuoteen 2055 mennessä. Suositukset perustuvat raportin tulevaisuuspolkujen ja kolmen muutosalueen analyysiin. Ne kokoavat toimenpiteitä, jotka ovat tarpeellisia kaikissa tarkastelluissa kehityskuluissa.

Energiasiirtymän ohjauksessa korostuvat erityisesti maankäytön yhteensovittaminen, energiajärjestelmän joustavuuden ja huoltovarmuuden turvaaminen, alueellisen oikeudenmukaisuuden vahvistaminen sekä riippuvuuksien ennakoiva hallinta muuttuvassa geopoliittisessa toimintaympäristössä. Toimenpidesuositukset on jäsennetty näiden kolmen strategisen muutosalueen mukaisesti. Kunkin suosituksen yhteydessä on esitetty sen pääasiallinen aikajänne sekä keskeiset vastuutahot.

### 1 Laaditaan valtakunnalliset periaatteet tuuli- ja aurinkovoiman sijoittamiselle sekä kytketään niihin ennakoiva verkko- ja lupasuunnittelu

Uusiutuvan energian hankkeiden ohjauksessa tulee sovittaa yhteen maankäyttö, luvitus, sähköverkon kehittämisen ja investointien ajoitus. Käytännössä hankkeiden lupiin, arviointeihin ja viranomaiskäsittelyihin liittyvät vaiheet etenevät koordinoituna ja ennakoitavana kokonaisuutena, ilman tarvetta asioida erillisissä rinnakkaisissa prosesseissa.

Periaatteiden ja ennakoivan suunnittelun avulla hankkeiden eteneminen nopeutuu, epävarmuus vähenee ja energiajärjestelmän laajeneminen on ennakoitavaa ja hallittua. Sijoittamisperiaatteissa huomioidaan tuotannon lisäksi siihen kytkeytyvä infrastruktuuri, kuten siirtoverkot, varastointi ja joustoratkaisut, sekä järjestelmän huoltovarmuus ja häiriönsietokyky sekä varautuminen kulutushuippuihin ja vähäisen tuotannon jaksoihin. Tämä luo tasapuoliset toimintaedellytykset investoinneille koko maassa.

---

**Koordinointivastuu:** työ- ja elinkeinoministeriö yhteistyössä ympäristöministeriön ja maa- ja metsätalousministeriön kanssa.  
**Toteuttajat:** maakuntaliitot, kunnat, Fingrid ja energiayhtiöt.  
**Aikajänne:** käynnistetään lyhyellä aikavälillä (2026–2029), vakiinnutetaan keskipitkällä aikavälillä (2030–2039).

### 2 Vahvistetaan uusiutuvan energian hankkeiden yhteisvaikutusten ennakoivaa arviointia ja sovelletaan johdonmukaisesti lieventämishierarkiaa

Uusiutuvan energian hankkeiden suunnittelussa vaikutukset tulee arvioida nykyistä systemaattisemmin ja laajemmin. Tämä on tärkeää, jotta hankkeiden vaikutukset luontoon, muuhun maankäyttöön, paikallisyhteisöihin ja talouteen tunnistetaan ajoissa ja niitä voidaan hallita johdonmukaisesti.

Käytännössä vaikutuksia tarkastellaan sekä hanketasolla että alueellisella ja valtakunnallisella tasolla, yhteisvaikutukset huomioiden. Arviointi perustuu alueellisiin ja valtakunnallisiin lähtöselvityksiin, joita täydennetään hankekohtaisilla selvityksillä, mikä vähentää päällekkäistä selvitystyötä ja parantaa arviointien vertailtavuutta. Lieventämishierarkiaa - vaikutusten välttäminen, lieventäminen ja viime kädessä kompensointi - sovelletaan johdonmukaisesti hankkeiden koko elinkaaren ajan. Arvioinnissa huomioidaan myös vaikutukset energiajärjestelmän toimivuuteen ja joustoon, kuten bioenergian saatavuuteen, varastointiin sekä säädettävään kapasiteettiin.

---

**Koordinointivastuu:** ympäristöministeriö.  
**Toteuttajat:** ympäristö- ja lupaviranomaiset, maakunnat, kunnat, tutkimuslaitokset, hankekehittäjät.  
**Aikajänne:** käynnistetään lyhyellä aikavälillä (2026–2029), sovelletaan keskipitkällä aikavälillä (2030–2039) ja pitkällä aikavälillä (2040–2055).

### 3 Laaditaan biomassaresurssien strateginen kohdentamisohjelma raaka-aine- ja energiakäyttöön

Bioenergian rooli muuttuu sähköistymisen edetessä, mutta sen merkitys järjestelmän joustona, huoltovarmuuden turvaajana ja vaikeasti sähköistettävien sektorien energialähteenä säilyy keskeisenä. Tämä edellyttää biomassaresurssien nykyistä suunnitelmallisempaa ja strategista kohdentamista, jotta resurssien kokonaisarvo ja vaikuttavuus maksimoidaan.

Ohjelma tukee kaskadiperiaatteen mukaista biomassojen hyödyntämistä markkinaehtoisesti siten, että biomassaa ohjautuu ensisijaisesti korkeamman jalostusarvon käyttökohteisiin ja energiakäyttöön silloin, kun vaihtoehtoisia käyttökohteita ei ole tai ne ovat taloudellisesti heikot tuottoisempia. Samalla turvataan energiapuun hankintaketjujen toimivuus muuttuvassa kysyntäympäristössä, vahvistetaan jäte- ja sivuvirtojen hyödyntämistä sekä huolehditaan terminaali- ja varastointikapasiteetista bioenergian huoltovarmuusroolin säilyttämiseksi. Ohjelma vahvistaa samalla pitkäjänteistä ennakoivaa ja investointiympäristön ennustettavuutta, mikä tukee biomassaan perustuvien arvoketjujen kehittymistä eri alueilla sekä energiajärjestelmän häiriönsietokykyä.

**Koordinointivastuu:** maa- ja metsätalousministeriö yhteistyössä työ- ja elinkeinoministeriön kanssa.

**Toteuttajat:** Luonnonvarakeskus, metsäteollisuus, energia-yhtiöt, alueelliset metsäkeskukset, elinvoimakeskukset.

**Aikajänne:** käynnistetään lyhyellä aikavälillä (2026–2029), päivitetään keskipitkällä aikavälillä (2030–2039).

### 4 Edellytetään kaikilta uusiutuvan energian hankkeilta alueellisen osallisuuden varmistamista jo varhaisessa vaiheessa

Uusiutuvan energian hankkeissa edellytetään varhaista ja velvoittavaa osallistamista jo valmistelun alkuvaiheessa, jotta hankkeiden hyväksyttävyyttä parane ja hyötyjen sekä haittojen jakautuminen koetaan oikeudenmukaiseksi. Kaavoituksen ja luvituksen tulee huomioida nykyistä paremmin hyötyjen ja haittojen jakautuminen, osallistumismahdollisuudet sekä tunnustavan ja hyvittävän oikeudenmukaisuuden periaatteet.

Käytännössä hankkeiden valmistelu käynnistetään aidosti osallistavasti ennen keskeisten ratkaisujen lukkiutumista. Hankkeiden vaikutukset tehdään läpinäkyviksi, ja niistä sekä niihin liittyvistä hyödyistä ja haitoista neuvotellaan paikallisten toimijoiden kanssa osana suunnittelua ja luvitusta. Maanomistajien ja muiden paikallisten toimijoiden erilaiset lähtökohdat huomioidaan sopimusmaailloissa, korvauksissa ja taloudellisissa kompensatioissa.

Eryteisesti alueilla, joille uusiutuvan energiantuotannon paineet kohdistuvat voimakkaasti, kuten Pohjois-Suomessa, osallistamisen mallissa tulee integroida saamelaisyhteisöjen, poronhoidon ja muiden paikallisten elinkeinojen näkökulmat osaksi hankkeiden suunnittelua ja päätöksentekoa. Tämä vahvistaa hankkeiden legitimitteettiä ja vähentää sosiaalisten ristiriitojen riskiä.

**Koordinointivastuu:** ympäristöministeriö.

**Toteuttajat:** kunnat, maakunnat, hankekehittäjät, valtion lupaviranomaiset.

**Aikajänne:** käynnistetään lyhyellä aikavälillä (2026–2029), vakiinnutetaan osaksi kaikkia hankkeita keskipitkällä aikavälillä (2030–2039).

### 5 Kehitetään ja otetaan käyttöön malli, joka auttaa arvioimaan uusiutuvan energian hankkeiden alueellisia talousvaikutuksia nykyistä paremmin

Uusiutuvan energian hankkeiden talousvaikutuksia tulee tehdä nykyistä näkyvämmiksi, vertailukelpoisemmiksi ja systemaattisemmin hyödynnetyiksi päätöksenteossa. Tämä on tärkeää, jotta hankkeiden tuottamat hyödyt alueille voidaan tunnustaa, huomioida ja kytkeä osaksi kaavoitusta, ennakoivaa suunnittelua ja aluekehittämistä.

Käytännössä kehitetään alueelliset hyötymallit, jotka kuvaavat uusiutuvan energian hankkeiden vaikutuksia verokertymään, työllisyyteen ja alueelliseen elinvoimaan sekä tukevat hyötyjen tasaisempaa jakautumista. Mallit kytketään kaavoitukseen ja ennakoivaan suunnitteluun, ja niissä huomioidaan paikalliset toimijat, mukaan lukien asukkaat ja maanomistajat, sekä infrastruktuurin, kuten siirtolinjojen ja energiaverkkojen, vaikutusalueet.

Hyötymallien tavoitteena on vahvistaa paikallisia ja alueellisia arvoketjuja sekä varmistaa, että uusiutuvan energian investoinnit tukevat alueiden pitkäjänteistä kehitystä ja oikeudenmukaista siirtymää. Eryteisesti bio- ja kiertotalouteen, hiilidioksidin talteenottoon ja hyödyntämiseen sekä uusiutuvaan energiaan kytkeytyvät uudet arvoketjut voivat luoda pysyviä työpaikkoja ja elinvoimaa myös harvaan asutuille alueille.

**Koordinointivastuu:** työ- ja elinkeinoministeriö.

**Toteuttajat:** kunnat, maakunnat, aluekehitystoimijat, energiayhtiöt.

**Aikajänne:** kehitetään lyhyellä aikavälillä (2026–2029), skaalataan valtakunnallisesti keskipitkällä aikavälillä (2030–2039).

## 6 Vahvistetaan tutkittuun tietoon perustuvaa energiaviestintää

Energiasiirtymän onnistuminen edellyttää tutkittua tietoa ja vaikuttavaa viestintää, jotta kansalaisilla on mahdollisuudet ymmärtää energiasiirtymän vaikutuksia ja osallistua sitä koskevaan keskusteluun luotettavaan tietoon perustuen.

Tutkimuslaitosten ja viranomaisten tuottamaa tilannetietoa energiasiirtymän etenemisestä, kustannuksista ja vaikutuksista tehdään läpinäkyvästi saataville. Erityistä huomiota kiinnitetään alueellisen tiedon tuottamiseen, jotta keskustelu kytkeytyy paikallisiin kokemuksiin. Tämä lisää ymmärrystä, luottamusta ja osallistumismahdollisuuksia.

---

**Koordinointivastuu:** valtioneuvoston kanslia ja työ- ja elinkeinoministeriö.

**Toteuttajat:** tutkimuslaitokset (mm. Luke, VTT, Syke), Motiva, maakunnat, viestintäviranomaiset.

**Aikajänne:** käynnistetään lyhyellä aikavälillä (2026–2029), ylläpidetään jatkuvasti.

## 7 Vahvistetaan energia-, ilmasto-, ulko- ja turvallisuuspolitiikan yhteistä ennakkointia

Energiasiirtymän geopolittisia ja turvallisuuspolittisia vaikutuksia tulee tarkastella yhtenä kokonaisuutena vahvistamalla poikkihallinnollista ennakkointia ja koordinaatiota. Näin varmistetaan, että energiapoliittiset valinnat tukevat huoltovarmuutta, kokonaisturvallisuutta ja strategista autonomiaa muuttuvassa toimintaympäristössä.

Käytännössä riippuvuuksien hallinta, kriittiset raaka-aineet, toimitusketjut, kyberturvallisuus ja ilmastoriskit tuodaan systemaattisesti osaksi päätöksenteon tilannekuvaa hyödyntäen joko nykyisiä rakenteita tai niiden vahvistettua yhteistyötä. Samalla vahvistetaan alue- ja kuntatason osaamista näiden vaikutusten arvioinnissa. Tämä parantaa päätöksenteon tilannekuvaa ja vaurautumista epävarmuuksiin.

---

**Koordinointivastuu:** valtioneuvoston kanslia.

**Toteuttajat:** TEM, UM, muut keskeiset ministeriöt, puolustushallinto, maakunnat, tutkimuslaitokset.

**Aikajänne:** käynnistetään välittömästi lyhyellä aikavälillä (2026–2029), ylläpidetään jatkuvasti.

## 8 Syvennetään pohjoismaista yhteistyötä sähköverkkojen ja -varastojen sekä energiajärjestelmän resilienssin vahvistamiseksi

Pohjoismainen yhteistyö vahvistaa energiajärjestelmän joustavuutta, toimitusvarmuutta ja kustannustehokkuutta. Suomen ja muiden Pohjoismaiden kesken tulee laatia käytännönläheinen yhteinen näkemys sähköverkkojen pullonkaulojen poistamisesta, varastointiratkaisuista, hajautetun tuotannon roolista sekä energiajärjestelmän häiriönsietokyvyn vahvistamisesta.

Yhteistyössä sovitetaan yhteen tuotannon, kulutuksen ja teollisten investointien alueellinen sijoittuminen siten, että energian riittävyys turvataan, hintavaihteluita hillitään ja huoltovarmuus vahvistuu koko Pohjolassa. Työssä hyödynnetään ensisijaisesti olemassa olevia pohjoismaisia yhteistyörakenteita ilman uuden hallinnollisen tason luomista, samalla syventäen alueellista integraatiota.

---

**Koordinointivastuu:** työ- ja elinkeinoministeriö.

**Toteuttajat:** Suomen ja muiden Pohjoismaiden energiaviranomaiset, kantaverkkoyhtiöt, huoltovarmuustoimijat, EU-yhteistyö.

**Aikajänne:** käynnistetään lyhyellä aikavälillä (2026–2029), syvennetään keskipitkällä aikavälillä (2030–2039) ja pitkällä aikavälillä (2040–2055).

# Liite 1. Lisätoimet hiilineutraaliuden saavuttamiseksi vuoteen 2035

Tulevaisuuspolut on rakennettu skenaarioina hiilineutraaliuden saavuttamisesta vuoteen 2050 mennessä. Suomen ilmastolaki asettaa tavoitteen kuitenkin vuoteen 2035, ja se ylittyy kaikissa tulevaisuuspoluissa noin 40 miljoonalla tonnilla (Mt CO<sub>2</sub>-ekv.). Lisätoimet jakautuvat fossiilisten päästövähennysten kasvattamiseen, teknisten hiilinielujen vauhdittamiseen ja metsien hiilinielujen voimistamiseen.

## Energiasektorin lisätoimet

Energiasektorin lisätoimet tuottaisivat yhteensä noin 4,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. päästövähennämän: SSAB:n Raahen masuunien aikaistettu valokaariuunikorvaaminen, Kilpilahden CCS ja liikenteen biopolttoaineiden jakeluelvoitteen tiukennus.

SSAB:n Raahessa on kaksi kivihiilikoksilla toimivaa masuunia, joiden valokaariuunikorvaaminen on tulevaisuuspoluissa ajoitettu vuosille 2035–2040. Toisen investoinnin aikaistaminen vuoteen 2035 tuottaa lähes 2 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. lisävähennämän. SSAB:n huhtikuun 2024 tiedotteen mukaan Raahen investointi etenee vasta Ruotsin Luulajan projektin riittävien kokemusten jälkeen. Luulajan täysi kapasiteetti otetaan käyttöön 2029, mikä tekee 2035-tavoitteesta tiukan, mutta mahdollisen.

Kilpilahden jalostamon ja Borealixen petrokemian laitoksen päästöjä voidaan vähentää ottamalla teollisuusalueen CO<sub>2</sub>-päästöt talteen 2035 mennessä (90 % CCS); lisävähennämä 1,3 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.

Liikenteen biopolttoaineiden jakeluelvoite nousee tulevaisuuspoluissa 30 %:iin vuoteen 2030 mennessä ja jää sille tasolle. Nosto 50 %:iin tuottaisi arviolta 1,3 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. lisävähennämän.

## BECCS: teknisten hiilinielujen aikaistaminen

BECCS-kapasiteetti on tulevaisuuspoluissa 1,8 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuonna 2035 ja kasvaa noin 13 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. tasolle 2050 mennessä. Aikaistamalla investoinnit 15 vuodella - koko 2050-tason käyttöönotto jo 2035 - saadaan noin 11 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. lisävähennämä. Suurin haaste ei ole talteenottotekniikka vaan arvoketjun infrastruktuuri ja regulaatio. Infrastruktuuriprojektien toteutusaika on tyypillisesti vähintään 6–7 vuotta, joten lisätoimet on käynnistettävä viipymättä. Investoinnit edellyttävät vakaata regulaatiota ja kannustavia taloudellisia ohjaukeinoja.

Geologisen varastokapasiteetin saatavuus on merkittävä epävarmuustekijä. Kujanpään ym. (2023) mukaan Suomen 13 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. BECCS-tavoite ylittäisi yksinään koko Pohjois-Euroopassa vuonna 2030 arvioidun vapaan varastointikapasiteetin. Tanskan uudet varastohankkeet voivat kasvattaa kapasiteettia, mutta tilanne on yhä avoin. Lisätoimen toteutuminen riippuu siten ratkaisevasti kansainvälisistä neuvotteluista, ja Suomen tulisi toimia aktiivisesti CO<sub>2</sub>-varastomarkkinoiden ja regulaation (mm. vastuukysymykset, ylikansallinen CO<sub>2</sub>-kirjanpito) kehittäjänä. Biogeenisen CO<sub>2</sub>:n laajamittainen varastointi heikentää myös mahdollisuuksia jalostaa talteen otettua CO<sub>2</sub>:ta esimerkiksi sähköpolttoaineiksi.

Lisätoimi	Mt CO <sub>2</sub> -ekv.
Lähtötilanne (nettopäästöt 2035)	40
1. SSAB - Raahe	-1,9
2. Kilpilahti CCS (90 %)	-1,3
3. Jakeluvolvoite 30→50 %	-1,3
4. BECCS aikaistaminen	-11,0
<b>Lisätoimet yhteensä</b>	<b>-15,5</b>
<b>Lisätoimien jälkeiset nettopäästöt 2035</b>	<b>24,5</b>

## Metsien hiilinielujen voimistaminen ja kansantaloudelliset vaikutukset

Metsien hiilinielujen voimistaminen alentaisi käytännössä hakkuutasoja. Vaikutusta kuvataan kertoimella 1,8 t CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> (Koljonen ym. 2025a, s. 114). Ilman muita lisätoimia vuoden 2035 nettopäästö (n. 40 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.) edellyttäisi hakkuiden vähentämistä noin 58 milj. m<sup>3</sup> tasoon - 28 % vähemmän kuin perusskenaariossa ja 22 % vähemmän kuin keskimäärin 2022–2024. Energia- ja BECCS-toimien yhteisvaikutus (15,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.) puolestaan mahdollistaisi hiilineutraaliuden noin 67 milj. m<sup>3</sup> hakkuutasolla, mikä on 17 % perusskenaariota ja 9 % viime vuosia matalampi – paluu noin kymmenen vuoden takaisiin hakkuumääriin.

Maltillinenkin hiilen hinta kannustaa metsien hiilensidontaan (esim. Pohjola ym. 2018), joten se on kustannustehokas keino. Laajamittaisesti käyttöönotettuna hakkuiden lasku kuitenkin aiheuttaa negatiivisen shokin kansan- ja erityisesti aluetalouksiin: se vähentää metsäteollisuuden tuotantoa, investointeja ja vienti-

tuloja sekä heijastuu alihankintaketjuihin, työllisyyteen ja vaihtotaseeseen (Mönkkönen ym. 2026, Kniivilä ym. 2022). Vaikutukset ulottuvat koko metsäpohjaiseen biotalouteen ja energiajärjestelmään, ja kotimaisen puuntarjonnan supistuminen voi korvautua lisääntyvinä hakkuina ulkomailla (hakkuuvuoto), mikä osin kumoaa globaalit ilmastohyödyt.

Hakkuutason lasku vaikuttaa myös energiasiirtymään ja teollisiin arvoketjuihin: biogeenistä hiiltä jää vähemmän kestävien lento- ja synteettisten polttoaineiden tuotantoon, bioenergian saataavuus heikkenee ja metsäteollisuuden sivuvirrat vähenevät, mikä rajoittaa biopohjaisten kemikaalien, materiaalien ja jalostettujen tuotteiden kehitystä (Arasto ym. 2024). Nopea hiilineutraalius metsänielun kautta voi näin pitkällä aikavälillä heikentää mahdollisuuksia korvata fossiilisia raaka-aineita.

## Investoinnit

Hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä edellyttää huomattavia investointeja lyhyessä ajassa. SSAB:n Raahan valokaariuunit ja Kilpilahden CCS ovat pistemäisiä yritysveltoisia investointipäätöksiä. BECCS-kokonaisuus on mittakaavaltaan eri luokkaa: se vaatii samanaikaisia investointeja kymmenissä sellutehtaissa, satama-terminaaleissa ja laivakuljetuksissa sekä vahvoja, ennakoitavia poliittisia ohjauskeinoja kansainvälisten sopimusten tuella.

Kansantaloudellisesti lisätoimet merkitsevät huomattavia kustannuksia lyhyellä mutta strategisia mahdollisuuksia pitkällä aikavälillä. EU:n hiilirajamekanismi (CBAM), joka velvoittaa EU:hun tuotavat hiili-intensiiviset tuotteet maksamaan EU:n päästökauppaa vastaavan hiilikustannuksen, parantaa vähähiilisen teräksen kilpailukykyä, ja varhainen panostus CO<sub>2</sub>-infrastruktuuriin

voi tehdä Suomesta Itämeren BECCS-solmukohtan. Hakkuutason vähentäminen sen sijaan pienentäisi metsäteollisuuden tuotantoa ja vientituloja lyhyellä aikavälillä.

## 2050 ja hiilineutraalius

MELA-päivitysten myötä KEITO-WAM-skenaariossa hakkuukertymillä Suomi ei olisi hiilineutraali enää vuonna 2055. Arviomme mukaan hiilineutraalius 2050 ja 2055 saavutettaisiin noin 70 milj. m<sup>3</sup> hakkuukertymillä – viime vuosia jonkin verran matalammalla, mutta vuoden 2035 tasosta elpyneellä.

## Laskentaoletukset

**Lähtötilanne:** Suomen nettokasvihuonekaasupäästöt vuonna 2035 on arvioitu n. 40 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.: ETS- ja taakanjakosektori 20,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv., LULUCF-sektorin nettopäästöt n. 21 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. ja BECCS-perustaso -1,8 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.

**SSAB Raahe:** Toisen masuunin korvaaminen valokaariuunilla on tulevaisuuspoluissa oletettu vuosille 2035–2040. Lisätoimi aikaistaa molemmat investoinnit vuoteen 2035; lisävähennys 1,9 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. (puolet tehtaan kokonaispäästöistä 3,8 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. v. 2022).

**Kilpilahti CCS:** 90 %:n talteenotto Nesteen jalostamon ja Borealisen petrokemian laitosten yhteenlasketuista päästöistä (n. 1,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. v. 2035); lisävähennys 1,3 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.

**Jakeluvuote:** Tulevaisuuspoluissa velvoite nousee 30 %:iin v. 2030 ja pysyy siellä. Nosto 50 %:iin kohdistuu jo supistuneeseen polttoainepohjaan (n. 45 % henkilöautoista täyssähköisiä v. 2035). Lisävähennä 1,3 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.

**BECCS aikaistaminen:** Tulevaisuuspoluissa BECCS-kapasiteetti on 1,8 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. v. 2035 ja kasvaa n. 13 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. tasolle v. 2050. Lisätoimi aikaistaa 2050-tason 15 vuodella, jolloin lisävähennä = 13 Mt – 1,8 Mt ≈ 11 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.

**Metsien nettonielu:** Skenaariot pohjautuvat KEITO-WAM-skenaarioon (Koljonen ym. 2025a). KEITO-työn nettonieluarviot ovat MELA-mallin kehityksen myötä vanhentuneet, eikä KEITO-WAM-skenaarion metsien hiilitaseelle ole tehty uusia laskelmia. Tässä työssä nettonielu arvioitiin karkeasti MELA:n tulospalvelun ja julkaisemattomien KEITO LTS-BIZ-skenaarion (Koljonen ym. 2025b) testiajojen pohjalta. KEITO-WAM-hakkuutasoilla metsien nettonielu olisi vuonna 2035 5,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv., vuosina 2050 ja 2055 vastaavasti 14 ja 16,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. KEITO-raportin arvioita heikompi. Hakkuutaso skenaariossa on n. 81 milj. m<sup>3</sup>/v koko tarkastelujakson ajan.

**Hakkuukerroin:** Metsien nettonielun ja hakkuutason muutosten suhdetta arvioitiin vakiokertoimella 1,8 t CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>3</sup> (Koljonen ym. 2025a, s. 114) – eli miljoonan kuution alenema hakkuukertymässä voimistaa nettonielua 1,8 milj. t CO<sub>2</sub>-ekv. Kerroin sisältää muutokset puuston ja maaperän nettonielussa sekä huomioi muutokset kasvussa. Vakiokertoimella lasketut arviot ovat suuruusluokka-arvioita, joiden luotettavuus heikkenee tulevaisuuden mentäessä tai hakkuutasojen poiketessa huomattavasti vertailutilanteesta. Lisäksi puutuotteiden nettonielun oletettiin heikkenevän maltillisesti hakkuiden vähetessä.

## LIITE 2. Strategiset valinnat aikaväleittäin

Taulukko 1. Lyhyen aikavälin strategiset valinnat (2026–2029)

	Maankäyttö, kestävyys ja taloudelliset vaikutukset	Alueellinen toimijuus ja oikeudenmukaisuus	Suomen geopoliittinen asema
<b>EU-velvoitepolku</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sijoittamisperiaatteet, yhteisvaikutusten arviointi ja lieventämishierarkia tuuli- ja aurinkovoimalle.</li> <li>Kaavoituksen, luvituksen ja verkkoliityntöjen synkronointi; hankkeet ohjataan ensisijaisesti jo heikentyneille alueille.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luodaan mallit hyötyjen, haittojen ja kompensatioiden oikeudenmukaiseen jakoon; kavennetaan verkkosaavutettavuuden alue-eroja.</li> <li>Varhainen osallistaminen sidotaan hankkeiden hyöty- ja haittamalleihin, jolloin osallistumisella on kytkentä kompensatioihin, paikallisiin hyötyihin ja toteutustapaan; näin lisätään kokemusta aidosta vuorovaikutuksesta ja vähennetään näennäistä kuulemista.</li> <li>Tutkittu tieto energiasiirtymän vaikutuksista asetetaan läpinäkyvästi saataville osana hanke- ja aluetason viestintää.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energia-, ilmasto-, teollisuus- ja turvallisuuspolitiikka sovitetaan yhteen; päätetään irtautua pysyvästi fossiilisista riippuvuuksista.</li> <li>Huoltovarmuuden, kyberturvan ja kriittisten komponenttien toimitusketjujen vahvistaminen EU-kehysten mukaisesti.</li> <li>Käynnistetään pohjoismainen suunnittelu sähköverkkojen pullonkaulojen poistamiseksi ja varastointiratkaisujen yhteensovittamiseksi.</li> </ul>
<b>Biotalouspolku</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sijoittamisperiaatteet ja lieventämishierarkia myös biotalouspolun tuuli- ja aurinkovoiman kasvulle (72 TWh tuulivoimaa 2055).</li> <li>Biomassan kaskadikäyttö: edistetään puun markkinaehtoista ohjautumista korkeamman jalostusarvon kohteisiin kokonaisarvioon perustuen, jossa huomioidaan puun ominaisuuksien ohella taloudelliset reunaehdot.</li> <li>Hakkuutähteiden, pienpuun ja sivuvirtojen korjuun parantaminen; biokaasu-, biohiili- ja CO<sub>2</sub>-talteenottopilotit.</li> <li>Bioenergian huoltovarmuusroolin turvaaminen: kestävät raaka-ainevirrat, terminaali- ja varastoinfrastruktuuri häiriötilanteiden varalle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kuntien, metsänomistajien, maatalojen ja teollisuuden roolin vahvistaminen bioenergia- ja biokaasuhankkeissa.</li> <li>Alueellisten bio- ja kiertotalousklustereiden rakentaminen, joissa työllisyys, sopimusmallit ja hyödyt jäävät alueille.</li> <li>Hyötymalleihin kytketään arviointi biotalouden aluevaikutuksista; tutkimustieto asetetaan läpinäkyvästi saataville.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investoinnit kotimaisiin ratkaisuihin energiaomavaraisuuden lisäämiseksi ja polttoaine- ja teknologiariskien vähentämiseksi.</li> <li>Biohiilen, biokaasun ja uusiutuvien polttonesteiden priorisointi vaikeasti sähköistettäville aloille; kotimaisen jalostuksen kasvattaminen vientituotteiksi.</li> <li>Käynnistetään pohjoismainen yhteistyö biomassapohjaisten ratkaisujen ja biokaasun yhteensovittamiseksi.</li> </ul>
<b>Sähköistymispolku</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kantaverkon vahvistukset ja maakaapelointi; merituulivoiman sijainninhjaus, satama- ja huoltologistiikan periaatteet; tilavaraukset vedylle, varastoille ja datakeskuksille.</li> <li>Lievennyshierarkia johdonmukaisesti maa- ja merituulivoiman sekä aurinkovoiman hankkeissa.</li> <li>Bioenergian hankintaketjujen ja terminaalikapasiteetin turvaaminen huoltovarmuustilanteita varten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Paikallinen hyväksyttävyyys: avoin vuorovaikutus, sekä hyötyjen ja haittojen arviointi, joka ohjaa konkreettisia hyöty- ja kompensatiomekanismeja paikallistasolla, energiaoikeudenmukaisuusprosessin käynnistäminen.</li> <li>Osallistamisen ja lupahallinnon resurssit investointien mittakaavan tasolle (tuulivoimakapasiteetin kasvu 45 GW:iin).</li> <li>Tutkittu tieto alueellisista vaikutuksista läpinäkyvästi saataville ja käyttöön, jotta keskustelu ei erkaannu paikallisista kokemuksista.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vedyn jatkojalostus Suomessa meri- ja lentoliikenteen polttoaineiksi; vetyputki- ja datakeskusratkaisujen kriittinen arviointi.</li> <li>Sähköistymispolun riskiprofiiliin kohdennettu toimitusketjujen ja datakeskusten turvallisuuskartoitus.</li> <li>Käynnistetään pohjoismainen suunnittelu siirtoverkkojen ja varastointiratkaisujen yhteensovittamiseksi voimakkaan sähkönkulutuksen kasvun tueksi.</li> </ul>

## Taulukko 2. Keskipitkän aikavälin strategiset valinnat (2030–2039)

	Maankäyttö, kestävyys ja taloudelliset vaikutukset	Alueellinen toimijuus ja oikeudenmukaisuus	Suomen geopoliittinen asema
<b>EU-velvoitepolku</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuuli- ja aurinkovoiman alueellinen ohjaus vakiinnutetaan osaksi maankäyttö-, energia- ja metsäpolitiikkaa; verkko, varastot ja sähköistytvä lämmöntuotanto sovitetaan yhteen.</li> <li>Biomassan käyttö kohdentuu markkinaehtoisesti joustoon, huippukulutukseen ja BECCS-syötteen; metsäenergian hankintaketjuja vahvistetaan ja edistetään edellytyksiä puun ohjautumiselle korkean jalostusasteen käyttöön.</li> <li>Lieventämishierarkian soveltamista jatketaan osana hankkeiden elinkaarta ja laajennetaan yhteisvaikutusten arviointia YVA-käytäntöihin.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oikeudenmukaisen siirtymän käytännöt vakiinnutetaan: paikalliset hyöty- ja kompensatiomekanismit sekä vaikutusten seuranta ovat systemaattinen ja velvoittava osa hankkeiden toteutusta ja varhainen osallistaminen on integroitu pysyvästi YVA:n ja kaavoituskäytäntöjen osaksi</li> <li>Verkko- ja energiasiirtymäinvestoinnit kohdennetaan niin, että työvoima-, kuntatalous- ja tuotanto-kulutusalueiden erot pysyvät hallittavina.</li> <li>Alueelliset hyötymallit vakiinnutetaan arviointityökaluksi, joka tekee näkyväksi vaikutukset verokertymään, työllisyyteen ja elinvoimaan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energiapolitiikka kytketään pysyvästi Suomen ja EU:n strategisen autonomian kehukseen; teknologia- ja polttoaineriippuvuuksia vähennetään.</li> <li>Kriittisten komponenttien, polttoaineiden ja digitaalisen infrastruktuurin toimitusketjuja hajautetaan; kyber- ja huoltovarmuutta vahvistetaan.</li> <li>Pohjoismaista yhteistyötä syvennetään siirtoverkkojen, varastoinnin ja järjestelmän resilienssin vahvistamiseksi.</li> </ul>
<b>Biotalouspolku</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Edistetään biohiilen, biokaasun, ligniinimateriaalien ja kehittyneiden biopolttoaineiden kaupallistumista, mikä luo edellytyksiä biomassojen ohjautumiselle energiakäyttöä korkeamman jalostusarvon käyttöön.</li> <li>CO<sub>2</sub>-talteenoton, sivuvirtojen hyödyntämisen ja uusiutuvan vedyn ratkaisuja rakennetaan biomassan hiilitehokkuuden parantamiseksi ja vaikeasti sähköistettävien alojen tueksi.</li> <li>Lieventämishierarkian sovelletaan johdonmukaisesti biotalouspolun edellyttämässä tuuli- ja aurinkovoiman kasvussa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alueelliset bio- ja kiertotalousklusterit skaalataan teollisiksi ekosysteemeiksi; luomalla kustannus- ja hyötyetuja, jotka tekevät sivuvirtojen ja biomassojen yhteiskäytöstä houkuttelevaa; maatilat, metsänomistajat, jätehuolto ja teollisuus kytketään samoihin arvoketjuihin.</li> <li>Biojalostusinvestointien työllisyys-, sopimus- ja verohyödyt varmistetaan jäävän alueille hyödyntämällä alueellisia hyötymalleja ja ennakoivaa sijoittumisohjausta eikä kehityksen anneta keskittyä harvoihin solmukohtiin.</li> <li>Hyötymalleja sovelletaan systemaattisesti bioklustereiden taloudellisten ja työllisyysvaikutusten arviointiin.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biomassapohjaisten polttoaineiden, biohiilen ja biopohjaisten materiaalien vientiä laajennetaan EU-markkinoille kotimaista huoltovarmuutta heikentämättä.</li> <li>Tasapainotetaan kotimaisiin innovaatioihin nojaava strateginen autonomia ja EU-integraatio; vältetään riippuvuutta tuontiteknologioista ja raaka-aineista.</li> <li>Pohjoismaista yhteistyötä syvennetään biomassapohjaisten ratkaisujen vientilogistiikassa ja biokaasun rajat ylittävässä hyödyntämisessä.</li> </ul>
<b>Sähköistymispolku</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Merituulivoiman, suurten aurinkopuistojen, datakeskusten ja vetyalueiden toteutusvaihe: sijainnit sovitetaan yhteen merialuesuunnittelun, luonnon ja maankäytön kanssa. Runkoverkko, pitkäkestoiset varastot ja joustot rakennetaan.</li> <li>Lieventämishierarkian sovelletaan laajamittaisissa tuuli- ja aurinkovoiman sekä merituulivoiman hankkeissa, joissa yhteisvaikutusten hallinta on erityisen haasteellista.</li> <li>Bioenergian hankintaketjujen ja terminaalien vähimmäiskapasiteetti turvataan huoltovarmuustilanteita varten bioenergian vuosikäytön vähentyessä.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sähköintensiivisen teollisuuden, datakeskusten ja vedyn sijoittumista tasapainotetaan alueellisesti; paikalliset hyötymallit vakiinnutetaan niin, että investointien hyödyt jakautuvat myös tuotantoalueille.</li> <li>Maanomistajien järjestäytymismahdollisuuksia vahvistetaan ja lupahallinnon resursseja lisätään investointien mittakaavan hallitsemiseksi.</li> <li>Hyötymallit vakiinnutetaan arviointityökaluksi, joka kattaa myös datakeskusten ja synteettisten polttoaineiden tuotannon aluevaikutukset.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Satamien, siirtoverkkojen ja polttoainejalostuksen infrastruktuuria vahvistetaan, jotta Suomi voi viedä sähköpolttoaineita eikä jää raakavedyn tuottajaksi. EU-, Pohjoismaiden ja Baltian integraatiota syvennetään.</li> <li>Hallitaan teknologiariippuvuuksia, datakeskusten turvallisuusriskejä ja kriittisten komponenttien saatavuutta.</li> <li>Pohjoismaista yhteistyötä syvennetään siirtoverkkojen pullonkauloissa, pitkäkestoisessa varastoinnissa ja järjestelmän resilienssissä.</li> </ul>

### Taulukko 3. Pitkän aikavälin strategiset valinnat (2040–2055)

	Maankäyttö, kestävyys ja taloudelliset vaikutukset	Alueellinen toimijuus ja oikeudenmukaisuus	Suomen geopoliittinen asema
<b>EU-velvoitepolku</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>BECCS integroidaan osaksi ilmasto- ja energiajärjestelmää; bioenergian käyttö painottuu markkinaehtoisesti joustoon, huippukulutukseen ja teknisiin hiilinieluihin; metsäenergian käyttö kohdentuu hakkuutähteisiin ja pieniläpimittaiseen puuhun hankinnan käytäntöjen kehittyessä sekä vaihtoehtoisten käyttökohteiden vahvistuessa.</li> <li>Maankäyttö, verkot, varastot ja sähköistyvä lämpö muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden, jossa uusiutuvaa tuotantoa, luontoarvoja ja huoltovarmuutta sovitetaan yhteen muuttuvissa olosuhteissa.</li> <li>Lievennyshierarkia on vakiintunut ohjausperiaatteeksi, jota sovelletaan ja päivitetään osana kaikkien uusiutuvan energian hankkeiden elinkaaren hallintaa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alueellinen työnjako ja oikeudenmukaisen siirtymän käytännöt muodostavat pysyvän mutta kehittyvän toimintakehyksen, jossa osallistamista, hyötymalleja, kompensatioita ja vaikutusten seuranta päivitetään energiajärjestelmän muutosten ja alueellisten kokemusten perusteella.</li> <li>Tuotantoa, kulutusta ja varastoja ohjataan ja yhteensovitetään alueellisesti pitkällä aikavälillä, jotta energiasiirtymän hyödyt ja haitat pysyvät hallinnassa muuttuvissa markkina-, ilmasto- ja huoltovarmuusolosuhteissa.</li> <li>Tutkittuun tietoon perustuva energiaviestintä ja alueellinen vuorovaikutus tukevat hyväksyttävyyttä, mutta ristiriitojen ja alueellisten jännitteiden hallinta edellyttää jatkuvaa seuranta ja korjaavia toimia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integraatio EU:hun, Pohjoismaihin ja Baltiaan on koherenttia ja poikkisektoraalista; geo-, ulko- ja turvallisuuspoliittinen arviointi on integroitu pysyvästi energiapolitiikkaan.</li> <li>Strateginen autonomia on vahvistunut tuontipolttoaineiden vähetessä; ja teknologiariippuvuuksia tunnistetaan ja hallitaan osana jatkuvaa geopoliittista arviointia</li> <li>Pohjoismainen energiajärjestelmäyhteistyö on vakiintunut ja kattaa verkot, varastot, resilienssin ja kriittisen infrastruktuurin suojaamisen ja sitä mukautetaan muuttuvien turvallisuus- ja markkinaympäristöjen mukaan.</li> </ul>
<b>Biotalouspolku</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Edistetään biomassojen markkinaehtoista ohjautumista korkeamman jalostusasteen käyttöön kaskadiperiaatteen mukaisesti, tekniset ja taloudelliset näkökulmat huomioiden; tuetaan biohiilen, biokaasun, ligniinimateriaalien, kehittyneiden polttoaineiden, CO<sub>2</sub>-talteenoton ja uusiutuvan vedyn ratkaisujen skaalautumista.</li> <li>Biojalostus muodostaa polun ytimen, mutta biomassan hiilitehokkuutta, käyttöä ja arvonmuodostusta sopeutetaan teknologioiden ja kysynnän muuttuessa.</li> <li>Lievennyshierarkia toimii pysyvänä ohjaavana periaatteena, jonka soveltamista tarkennetaan kokemusten ja tutkimustiedon perusteella</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alueelliset bio- ja kiertotalousklusterit toimivat pysyvinä teollisina ekosysteeminä, joiden rakenteita kehitetään vastaamaan muuttuvaa markkinakysyntää, raaka-ainevirtoja ja alueellisia kilpailuetuja. Hyötysten alueelle jäämistä seurataan ja ohjataan aktiivisesti, erityisesti tilanteissa, joissa investoinnit, jalostus ja osaaminen uhkaavat keskittyä harvoihin solmukohtiin. Innovaatioaalto vahvistaa kykyä skaalata ratkaisuja kansainvälisille markkinoille.</li> <li>Maatilat, metsänomistajat, jätehuolto ja teollisuus toimivat samoissa arvoketjuissa; biojalostus vahvistaa maaseudun elinvoimaa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biojalosteiden, biopohjaisten materiaalien ja vaikeasti sähköistettävien alojen polttoaineratkaisujen vientiä laajennetaan kotimaisen huoltovarmuuden ja resurssipohjan säilyessä turvattuina.</li> <li>Suomi profiloituu EU:ssa bioyhteiskuntana, jonka energiaomavaraisuus ja strateginen autonomia nojaavat kotimaiseen resurssipohjaan.</li> <li>Pohjoismainen yhteistyö kattaa myös biomassaratkaisujen vientilogistiikan ja biokaasun rajat ylittävän hyödyntämisen.</li> </ul>
<b>Sähköistymispolku</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meri- ja maatuulivoimaa, aurinkopuistoja, vetyalueita ja datakeskuksia sijoitetaan ja yhteensovitetään dynaamisesti suhteessa verkkojen kapasiteettiin, luontoarvoihin ja huoltovarmuustarpeisiin.</li> <li>Runkoverkkoa, pitkäkestoisia varastoja ja joustoratkaisuja kehitetään vastaamaan järjestelmän kasvavaa mittakaavaa ja epävarmuuksia.</li> <li>Sijaintiohjaus ja merialuesuunnittelu rajaavat luontohaittoja; lievennyshierarkia on vakiintunut osaksi kaikkia hankkeita.</li> <li>Bioenergian hankintaketjujen vähimmäiskapasiteettia ylläpidetään ja tarkastetaan huoltovarmuusarviointien perusteella bioenergiailaitosten uudistusinvestointipäätökset on tehty huoltovarmuusarviointien pohjalta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sähköintensiivisen teollisuuden, datakeskusten ja vedyn alueellista sijoittumista ohjataan ja tarvittaessa korjataan, jotta alueelliset kuormitukset, hyödyt ja infrastruktuuritarpeet pysyvät tasapainossa</li> <li>Energiaoikeudenmukaisuuden prosessit ovat vakiintunut osa investointeja; mutta niiden toimivuutta arvioidaan säännöllisesti alueellisten kokemusten, kustannusten ja järjestelmän muutosten perusteella.</li> <li>Maanomistajien järjestäytyminen, lupahallinnon resursointi ja sopimusehtojen yhtenäistäminen ovat vakiintuneita käytäntöjä.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puhtaan energian vientiin tukeutuva teollinen ja geopoliittinen asemoituminen: vedyn ja sähkö korkeamman lisäarvon tuotteiden jalostaminen. Toimitusketju-, kyber- ja dataturvallisuusriskejä hallitaan.</li> <li>Suomi toimii puhtaan energian vientitaloutena: sähköpolttoaineita, vetyjalosteita ja energiaintensiivisten arvoketjujen tuotteita Eurooppaan.</li> <li>Pohjoismainen energiajärjestelmäyhteistyö on vakiintunut: siirtoverkot, varastointi, resilienssi ja kriittinen infrastruktuuri.</li> </ul>

## Lähteet

- Arasto, A., Kohl, J., Kujanpää, L., & Lehto, J. (2024). *Päästäjästä tuottajaksi*. VTT Technical Research Centre of Finland. <https://doi.org/10.32040/2024.978-951-38-8835-0>
- Bridge, G., Bouzarovski, S., Bradshaw, M., & Eyre, N. (2013). Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy. *Energy Policy*, 53, 331-340. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.066>
- Energiateollisuus. (2024). *Sisukas suorittaja vai energiamurroksen Euroopan mestari? Visio menestyvän Suomen energiatulevaisuudesta*. <https://energia.fi/meista/visio/visio-menestyvan-suomen-energiatulevaisuudesta/>
- Energiateollisuus ry. (2026). *Tuulivoima*. <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/tuulivoima/>
- Euroopan komissio. (2022). *REPowerEU: Affordable, secure and sustainable energy for Europe*. [https://commission.europa.eu/topics/energy/repowereu\\_en](https://commission.europa.eu/topics/energy/repowereu_en)
- Euroopan komissio. (2026). *AccelerateEU - Energy Union—Affordable and secure energy through accelerated action*. [https://energy.ec.europa.eu/publications/accelerateeu-energy-union-affordable-and-secure-energy-through-accelerated-action\\_en](https://energy.ec.europa.eu/publications/accelerateeu-energy-union-affordable-and-secure-energy-through-accelerated-action_en)
- Fingrid. (2025). *Fingridin sähköjärjestelmävisio vuodelle 2040* (Loppuraportti No. 10/2025). <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2025/fingridin-sahkojarjestelmavisio-2040-suomi-kohti-kilpailukykyista-ja-sahkoistynyttä-tulevaisuutta/>
- Hannula, I. (2016). Hydrogen enhancement potential of synthetic biofuels manufacture in the European context: A techno-economic assessment. *Energy*, 104, 199-212. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.119>
- Höysniemi, S. (2025). *Governing energy visions: Exploring the socio-political dynamics of energy, security and sustainability in Finland* (Dissertationes Universitatis Helsingiensis Vol. 2025). <http://hdl.handle.net/10138/593200>
- Höysniemi, S., Runko, P., Kaseva, J., Mäntymaa, E., Tolvanen, A., & Pouta, E. (2026). Uncovering social acceptance of wind energy through beliefs, attitudes and behavioural intentions: Comparison of forest owners and citizens. *Vertaisarvioinnissa*.
- IEA. (2023). *Energy Technology Perspectives 2023*. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>
- Jasiūnas, J., Lund, P. D., & Mikkola, J. (2021). Energy system resilience - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111476. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111476>
- Kivimaa, P. (2024). *Security in Sustainable Energy Transitions: Interplay between Energy, Security, and Defence Policies in Estonia, Finland, Norway, and Scotland*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009368155>
- Kniivilä, M., Hirvelä, H., Lintunen, J., Mutanen, A., Vatanen, E., & Viitanen, J. (2022). *Metsien tiukan lisäsuojelun hakkuumahdollisuus-, arvonlisäys- ja työllisyysvaikutusten arviointi: Skenaariotarkastelu EU:n biodiversiteettistrategiasta Suomessa* (Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 64). Luonnonvarakeskus. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-480-7>
- Koljonen, T. (Toim.). (2025a). *Kansallisen energia- ja ilmastopoliitiikan uudet toimet ja skenaariot (KEITO) – keskipitkän aikavälin vaikutusarviot*. VTT Technical Research Centre of Finland. <https://doi.org/10.32040/2242-122X.2025.T442>
- Koljonen, T., Silfver, T., & Soimakallio, S. (2025b). *Kansallisen energia- ja ilmastopoliitiikan uudet toimet ja skenaariot (KEITO) – pitkän aikavälin ilmastosuunnitelman taustaselvitys*. VTT Technical Research Centre of Finland. <https://doi.org/10.32040/2242-122X.2025.T443>
- Kujanpää, L., Koponen, K., Linjala, O., Mäkikouri, S., & Arasto, A. (2023). *Opportunities provided by technological carbon sinks and the means for their advancement Finland* (Suomen ilmastopaneelin raportti) [Suomen ilmastopaneelin raportti]. Suomen ilmastopaneeli. <https://doi.org/10.31885/9789527457306>
- Lappalainen, A., Ekblad, C., Helle, I., Kunnasranta, M., Pokki, H., & Westerbom, M. (2025). *Synteesiraportti: Merituulivoiman ympäristövaikutusten ennakointi ja seuranta Pohjanlahdella: Linnut, merihylkeet, kalat ja kalastus*. Luonnonvarakeskus. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-132-6>
- Luukkonen, S., Räsänen, A., Koivula, M., & Tolvanen, A. (2026). Synergies and trade-offs between biodiversity and social acceptance in the spatial allocation of wind power. *Vertaisarvioinnissa*.
- Lyytimäki, J., Huttunen, S., Lonkila, A., Lähteenmäki-Uutela, A., Sorvali, J., & Weckroth, M. (2023). Miten ympäristöoikeudenmukaisuuden moninaisuutta voisi kuvata ymmärrettävästi? *Alue ja Ympäristö*, 52(2). <https://doi.org/10.30663/ay.140869>

Markard, J., Raven, R., & Truffer, B. (2012). Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, 41(6), 955-967. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.013>

Mikkola, O.-M. (2026). The Energy Transition Shaping the World Order: Russia and Finland's Geopolitical Positioning. Teoksessa K. Liuhto & J. Sipilä (Toim.), *Inevitable Instability in Russia* (s. 225-245). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-032-11892-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-032-11892-9_11)

Mikkola, O.-M., Eerikäinen, N., Höysniemi, S., Luukkonen, S., Runko, P., Sääskilähti, L., Niinistö, T., & Rikkonen, P. (2026). *A review of renewable energy scenarios in Europe: Methodological approaches and societal elements amid geopolitical tensions*. *European Journal of Futures Research* 14, 8. <https://doi.org/10.1186/s40309-026-00268-w>

Muhonen, T., Alam, A., Haara, A., Khan, M., Kilpeläinen, H., Ilkka Leinonen, Leppänen, J., Jukka-Pekka Myllykangas, Tolvanen, A., & Wall, A. (2024). *Aurinkovoimaloiden rakentamisen vaikutuksia ilmastoon, metsiin ja metsätalouteen* (Aurinkometsä -hankkeen loppuraportti Luonnonvara- ja Biotalouskeskus). Luonnonvarakeskus.

Mönkkönen, M., Hujala, T., Repo, A., & Takala, T. (2026). Hakkuiden vähentäminen Suomessa - mitä tiedämme sen ympäristö-, talous- ja työllisyysvaikutuksista ja niiden hallinnasta? *Metsätieteiden aikakauskirja*, 2026. <https://doi.org/10.14214/ma.26002>

Niinistö, T., Anttila, P., Kaseva, J., Sikanen, L., Kärhä, K., & Routa, J. (2025). Energy wood flows and the operational environment of supply chains in Finland: Insights from a supplier survey. *Silva Fennica*, 59(3). <https://doi.org/10.14214/sf.25011>

Niinistö, T., Anttila, P., Laitila, J., Männistö, L., Pietilä, V., Ahola, A., Kärhä, K., Sikanen, L., Korhonen, K. T., & Routa, J. (2026). Characteristics of Unmanaged Young Forest Stands as a Source of Energy Wood and Industrial Roundwood in Central Finland. *Vertaisarvioinnissa*.

Niinistö, T., Anttila, P., Sikanen, L., Kärhä, K., & Routa, J. (2025). Estimating future consumption of forest chips based on insights from energy producers: A case study for Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 40(2), 95-106. <https://doi.org/10.1080/02827581.2025.2491450>

Nummelin, A., Van Den Broek, D., Leppänen, L., Leppänen, S., Merikanto, J., Rantanen, M., Thölix, L., Vihma, T., Räisänen, H., Uotila, P., Filimonova, N., Mettiäinen, I., Moore, J., Raheem, D., Rasmus, S., Sanaksenaho, S., Reh, V., Yamineva, Y., Sarkki, S., ... Hubbard, A. (2026). *A Nordic Perspective on AMOC Tipping*. Nordic Council of Ministers. <https://doi.org/10.6027/temanord2026-504>

Paananen, H., & Airaksinen, J. (2014). *Kunta elinvoiman johtajana* (Acta 255). <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2014/1632-kunta-elinvoiman-johtajana-acta-nro-255>

Pohjola, J., Laturi, J., Lintunen, J., & Uusivuori, J. (2018). Immediate and long-run impacts of a forest carbon policy—A market-level assessment with heterogeneous forest owners. *Journal of Forest Economics*, 32, 94-105. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2018.03.001>

Roessler, M. (2026). Unlocking green transitions: System-level agency in peripheral regions. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 19(1), 143-155. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsaf044>

Runko, P., & Mustalahti, I. (2026). Power dynamics and (intergenerational) values: What influences the forest ownership of young trans-local forest owners in Finland? *Forest Policy and Economics*, 186, 103762. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2026.103762>

Suomen uusiutuvat ry. (2026). *Tuulivoimatilastot 2025*. <https://suomenuusiutuvat.fi/tuulivoimatilastot-2025/>

Suomen virallinen tilasto (SVT). (2026). *Energian hankinta ja kulutus*. Tilastokeskus. <https://stat.fi/fi/tilasto/ehk>

Tolvanen, A., Holttinen, H., Laine-Petäjäkangas, A., Tokola, T., Pouta, E., Anttila, M. ym. (2025). Synteesiraportti: Kuinka tuulivoima sovitetaan yhteen metsien ja soiden käytön kanssa? (Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 29/2025). Luonnonvarakeskus. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-049-7>

Tolvanen, A., Routavaara, H., Jokikokko, M., & Rana, P. (2023). How far are birds, bats, and terrestrial mammals displaced from onshore wind power development? - A systematic review. *Biological Conservation*, 288, 110382. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110382>

Van Der Linden, S., Leiserowitz, A., Rosenthal, S., & Maibach, E. (2017). Inoculating the Public against Misinformation about Climate Change. *Global Challenges*, 1(2), 1600008. <https://doi.org/10.1002/gch2.201600008>

Weckroth, M., & Ala-Mantila, S. (2022). Socioeconomic geography of climate change views in Europe. *Global Environmental Change*, 72, 102453. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102453>

Weckroth, M., Kull, M., & Lempinen, H. (2025). Territorial governance of just transition? - A case study of Just Transition Fund (JTF) process in Finland. *Regional Studies*, 59(1), 2559711. <https://doi.org/10.1080/00343404.2025.2559711>



Euroopan unionin  
rahoittama  
NextGenerationEU