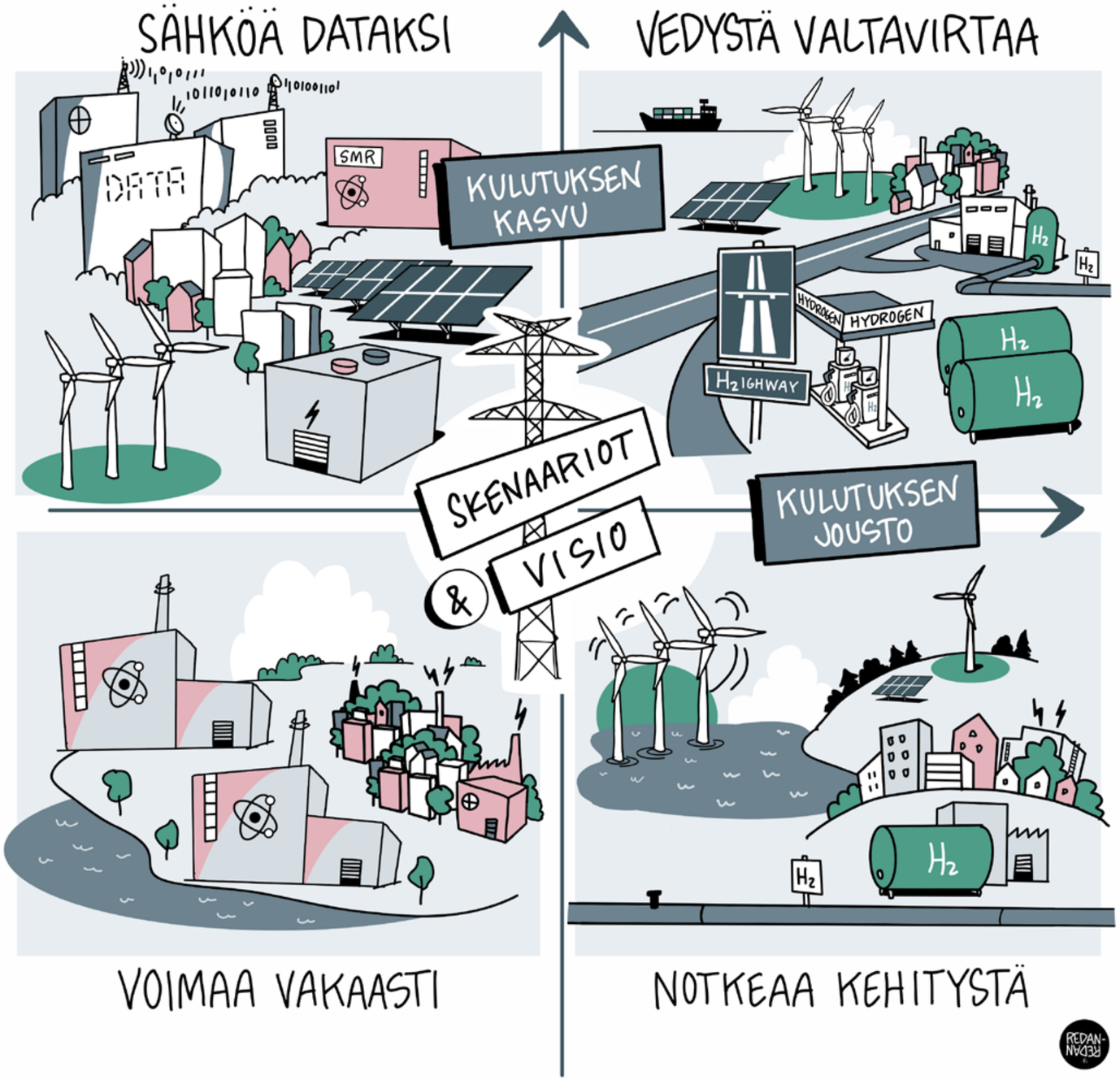



# Fingridin sähköjärjestelmävisio vuodelle 2040

**Skenaarioluonnosraportti**
**Maaliskuu 2025**

FINGRID

FINGRID

# Fingridin sähköjärjestelmävisio Skenaarioluonnosraportti maaliskuu 2025


**1 Johdanto ..... 3**

**2 Skenaariot ..... 5**

2.1 Yhteenveto ..... 6

2.2 Sähköä dataksi ..... 10

2.3 Vedystä valtavirtaa ..... 13

2.4 Notkeaa kehitystä ..... 16

2.5 Voimaa vakaasti ..... 19

**3 Skenaarioiden taustatekijät ..... 22**

3.1 Sähkön kulutus ..... 23

3.2 Sähkön tuotanto ..... 26

3.3 Sähkön rajasiirtoyhteydet ..... 26

3.4 Ympäröivä maailma ..... 26

**4 Palautteen antaminen skenaarioista ..... 27**

**Liite A Laskelmissa käytetyt pääoma- ja käyttökustannukset sekä hyödykehinnat ..... 28**

# 1 Johdanto

Fingrid on laatimassa sähköjärjestelmävisiota sähköistyneelle ja kilpailukykyiselle Suomelle vuonna 2040. Visiossa tarkastelemme Suomen energiajärjestelmän vaihtoehtoisia kehityspolkuja sekä luomme näkemyksen kantaverkon kehittämistarpeista pitkällä aikavälillä. Tunnistamme ja nostamme keskusteluun mahdollisuuksien lisäksi sähköjärjestelmän haasteita, joita puhtaaseen energiajärjestelmään siirtyminen voi erilaisissa skenaarioissa tuoda tullessaan.

Suomi on houkutteleva kohde puhtaan sähkön tuotannon ja kulutuksen investoinneille. Vuoden 2024 aikana uusiutuvan sähkön tuotannon liityntäkyselyt nousivat kaikkiaan yli 400 gigawattiin, mikä on yli 15 kertaa enemmän kuin Suomen nykyinen sähköntuotantokapasiteetti. Vastaavasti sähkön kulutuksen liityntäkyselyt kasvoivat yli 60 gigawattiin, mikä vastaa määränä neljä kertaa Suomen nykyistä sähkönkulutushuippua. Vahva ja luotettavasti toimiva sähkön kantaverkko mahdollistaa investoinnit niin puhtaaseen sähköntuotantoon kuin puhdasta sähköä käyttävään teollisuuteen. Liityntäkyselyt kuvaavat hyvin Suomen suurta investointipotentiaalia ja siksi meidän tulee varautua pitkän tähtäimen suunnittelussa korkeisiin kasvuskenaarioihin.

Visiotyössä tarkastellaan vaikeasti ennustettavia pitkän aikavälin muutoksia skenaarioiden avulla. Tarkoituksena ei ole yrittää löytää yhtä todennäköistä skenaariota, vaan pyrimme eri skenaarioissa korostamaan erilaisia ilmiöitä, jotka haastavat kantaverkkoa ja sähköjärjestelmää. Muutostarpeen arviointi haastavien skenaarioiden kautta auttaa varmistamaan, että keinoja sähköistymisen ja puhtaaseen energiajärjestelmään siirtymisen mahdollistamiseksi pystytään arvioimaan kattavasti ja ajoissa. Muutostarpeen aliarviointi voisi pahimmillaan johtaa tilanteeseen, jossa varautumattomuus rajoittaisi Suomeen kohdistuvien puhtaan siirtymän investointien toteuttamista.

Tässä dokumentissa esittelemme neljä erilaista tuotannon ja kulutuksen kehityskulkua kuvaavaa skenaarioluonnosta vuodelle 2040. Skenaariot toimivat jatkotyössä pohjana kantaverkon pitkän aikavälin suunnitteluun. Visiotyön tässä vaiheessa pyydämme sidosryhmiä antamaan aktiivisesti palautetta skenaarioiden viimeistelyä varten. Seuraavissa vaiheessa käsittelemme skenaarioiden pohjalta nousevat kantaverkon kehitystarpeet sekä millaisia muutoksia skenaariot tarkoittavat koko sähköjärjestelmälle. Sähköjärjestelmävision valmistuttua julkaisemme laajemman loppuraportin.

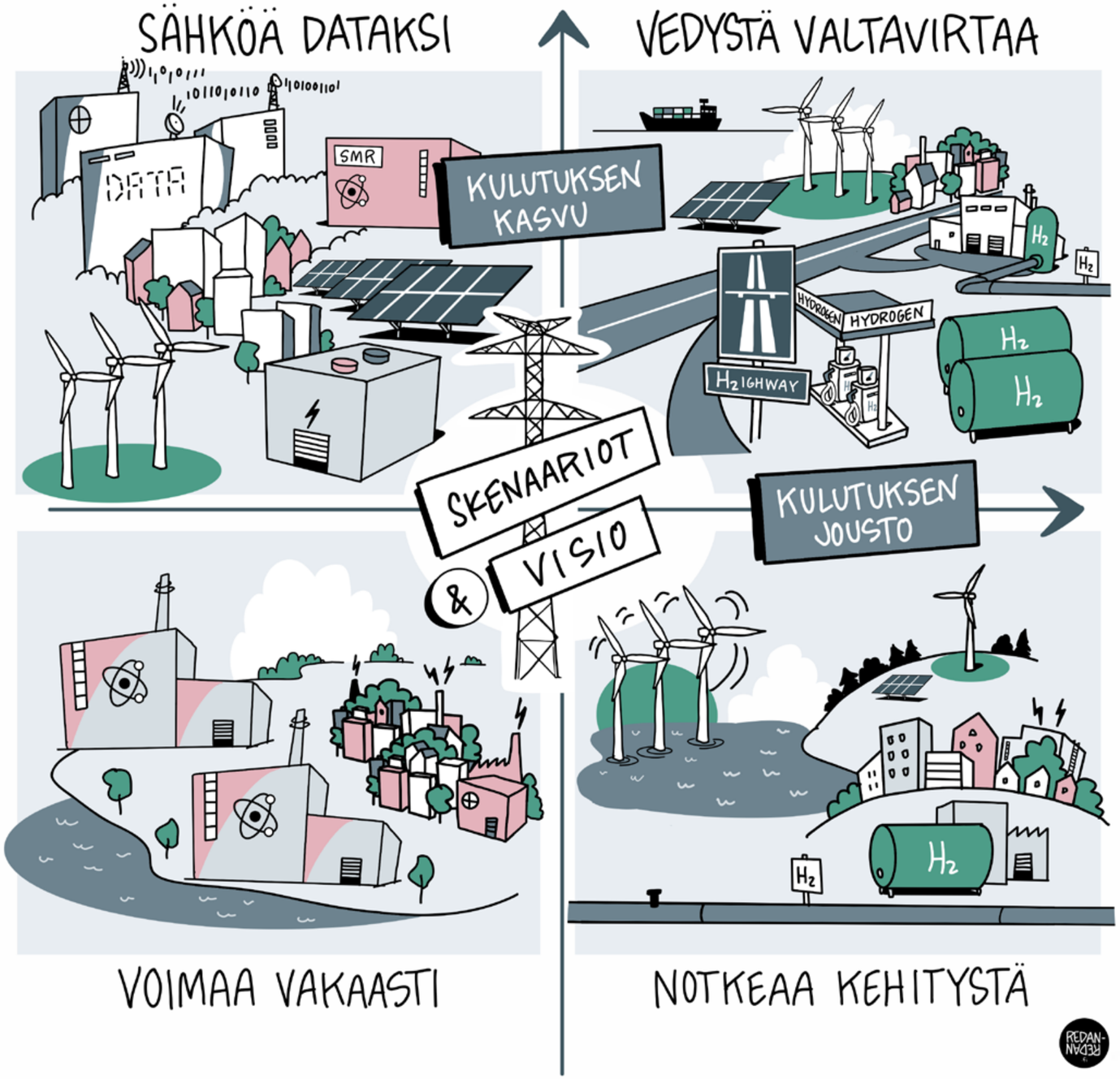
Sähköjärjestelmävision neljä skenaarioluonnosta ovat nimeltään Sähköä dataksi, Vedystä valtavirtaa, Notkeaa kehitystä ja Voimaa vakaasti. Seuraavat luvut esittelevät skenaarioiden yhteenvedon, tarkemman kuvauksen kustakin skenaarioista, sekä eri taustatekijöistä tehdyt oletukset, joita skenaarioiden laatimisessa on käytetty. Viimeisessä luvussa annetaan ohjeet palautteen antamiseen. Toivomme sidosryhmiltä laajasti palautetta skenaarioluonnoksiin, jotta saamme hiottua niistä Suomea ja kantaverkon kehitystä palvelevan skenaariokokonaisuuden.

# 2

# Skenaariot

Sähköjärjestelmävisiossa kantaverkon verkkovahvistusten tarvetta arvioidaan erilaisissa skenaarioissa. Skenaariot edustavat sähkön kulutuksen ja tuotannon mahdollisia kehityspolkuja ja jokaisessa niistä on omat kasvutekijänsä. Tämän tarkoituksena on luoda kantaverkolle skenaarioittain omanlaisensa kehittämistarpeet, joihin kantaverkon suunnittelussa tulee varautua.

Ensimmäisessä luvussa on esitetty yhteenveto skenaarioista ja seuraavissa luvuissa jokainen skenaario esitellään tarkemmin.



## 2.1 Yhteenveto

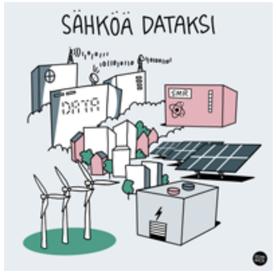
Kaksi tärkeintä skenaariomuuttujaa ovat **sähkön kulutuksen kasvunopeus** sekä **sähkön kulutuksen joustavuus**. Näistä on luotu neljä skenaariopohjaa:

1. **Sähköä dataksi** - korkeamman kulutuskasvun skenaario, jossa kulutus on pääosin joustamatonta
2. **Vedystä valtavirtaa** - korkeamman kulutuskasvun skenaario, jossa kulutus on pääosin joustavaa
3. **Voimaa vakaasti** - maltillisemman kulutuskasvun skenaario, jossa kulutus on pääosin joustamatonta
4. **Notkeaa kehitystä** - maltillisemman kulutuskasvun skenaario, jossa kulutus on pääosin joustavaa.

Seuraavaksi esitetään skenaarioiden lyhyt kuvaus ja merkittävimmät skenaariotekijät.

**Kuva 1** Skenaarioiden lyhyet kuvaukset

**Taulukko 1** Sähköjärjestelmävision merkittävimmät muuttujat



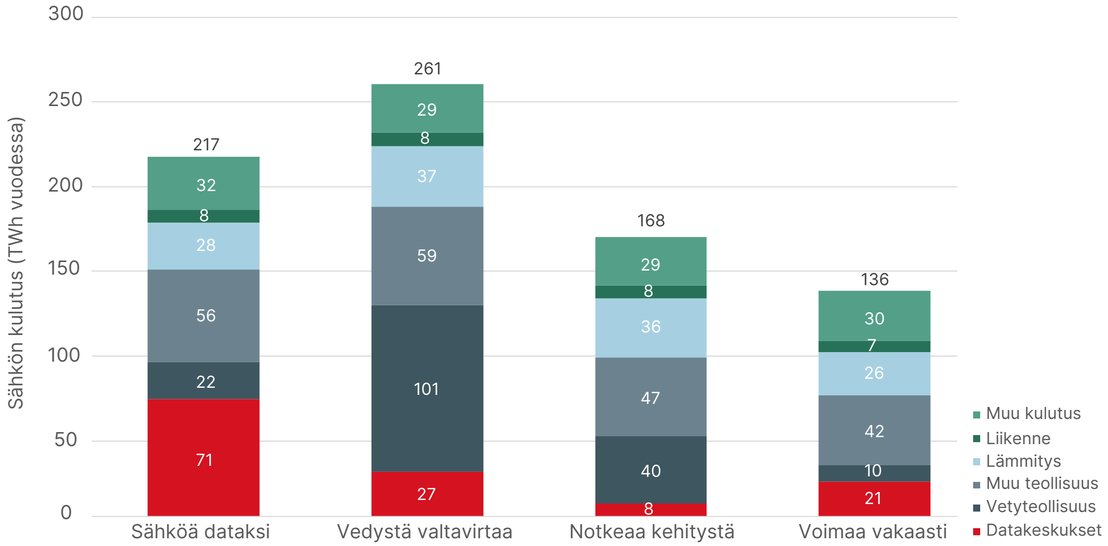
| Skenaariotekijä | | Sähköä dataksi | Vedystä valtavirtaa | Notkeaa kehitystä | Voimaa vakaasti |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kulutus** | Sähkön kulutus | +++ | ++++ | ++ | + |
| | Kulutusjousto | ≈ | +++ | +++ | ≈ |
| **Tuotanto** | Maatuulivoima | +++ | ++++ | ++ | + |
| | Merituulivoima | + | + | +++ | ≈ |
| | Aurinkovoima | ++++ | +++ | + | ++ |
| | Ydinvoima | + | ≈ | ≈ | +++ |
| | CHP | - | -- | -- | - |
| | Muu lämpövoima[1] | +++ | + | ≈ | ≈ |
| | Vesivoima | ≈ | ≈ | ≈ | ≈ |
| **Energian varastointi ja siirto** | Sähkövarastot | ++++ | ++ | + | + |
| | Muut energiavarastot[2] | ≈ | +++ | ++ | ≈ |
| | Vetyverkko | Ei vetyverkkoa | Kansallinen vetyverkko ja yhteydet Pohjois-Ruotsiin sekä Keski-Eurooppaan | Kansallinen vetyverkko ja yhteys Pohjois-Ruotsiin | Ei vetyverkkoa |

[1] Muulla lämpövoimalla tarkoitetaan tässä tapauksessa huippuvoimaa eli nopeaan joustoon kykenevää kapasiteettia, kuten kaasuturbiineita ja moottorivoimaloita.

[2] Muilla energiavarastoilla viitataan vety- ja lämpövarastoihin.

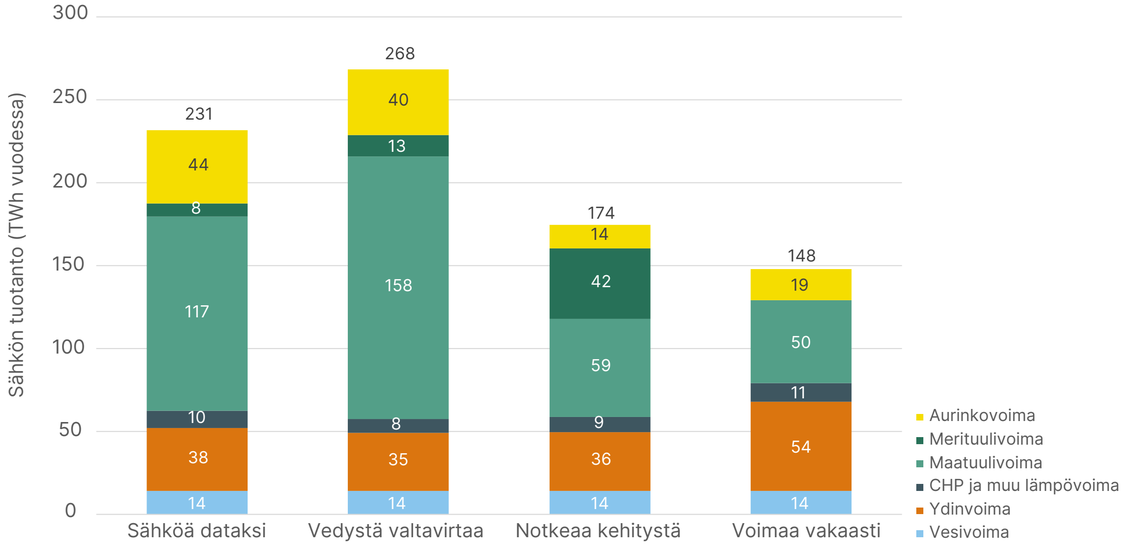
## Sähkön kulutus ja tuotanto

**Kuva 2** Sähkön kulutus skenaarioissa vuonna 2040




Skenaarioissa sähkön kulutus kasvaa erityisen voimakkaasti Sähköä dataksi ja Vedystä valtavirtaa -skenaarioissa, mutta kasvua on myös Notkeaa kehitystä ja Voimaa vakaasti -skenaarioissa verrattuna nykytasoon. Korkeamman kasvun skenaarioissa edullinen puhdas sähkö houkuttelee Suomeen uusia teollisia investointeja merkittävästi enemmän, jolloin sähkön kulutus kasvaa erityisesti datakeskusten ja vedyntuotannon ja sen jatkojalostamisen myötä. Lisäksi muu teollisuus, lämmitys ja liikenne sähköistyvät kaikissa skenaarioissa, mutta sähköistämisasteessa on eroja skenaarioiden välillä.

**Kuva 3** Sähkön tuotanto skenaarioissa vuonna 2040




Skenaarioiden sähkön tuotanto painottuu lähes poikkeuksetta uusiutuvaan tuuli- ja aurinkovoimaan. Maatuulivoima on Suomen kustannuskilpailukykyisin tuotantomuoto, ja sen määrä kasvaa merkittävästi kaikissa skenaarioissa. Merituulivoiman kasvu on voimakkainta Notkeaa kehitystä -skenaariossa, jossa maatuulivoiman kasvua on rajattu. Aurinkovoiman määrä kasvaa myös merkittävästi kaikissa skenaarioissa. Lisäksi Sähköä dataksi -skenaariossa rakennetaan pienydinvoimaa ja Voimaa vakaasti -skenaariossa perinteistä suuremman kokoluokan ydinvoimaa.

## Sähkön vuositase ja tuotantokapasiteetti

**Taulukko 2** Sähkön vuositase skenaarioissa vuonna 2040

| Sähkötase (TWh) | Sähköä dataksi | Vedystä valtavirtaa | Notkeaa kehitystä | Voimaa vakaasti |
|---|---|---|---|---|
| Vesivoima | 14 | 14 | 14 | 14 |
| Ydinvoima | 38 | 35 | 36 | 54 |
| CHP ja muu lämpövoima | 10 | 8 | 9 | 11 |
| Maatuulivoima | 117 | 158 | 59 | 50 |
| Merituulivoima | 8 | 13 | 42 | - |
| Aurinkovoima | 44 | 40 | 14 | 19 |
| **Tuotanto yhteensä** | **231** | **268** | **174** | **148** |
| **Kulutus yhteensä** | **217** | **261** | **168** | **136** |
| **Sähkön nettovienti** | **14** | **7** | **6** | **12** |

**Taulukko 3** Sähkön tuotantokapasiteetti skenaarioissa vuonna 2040

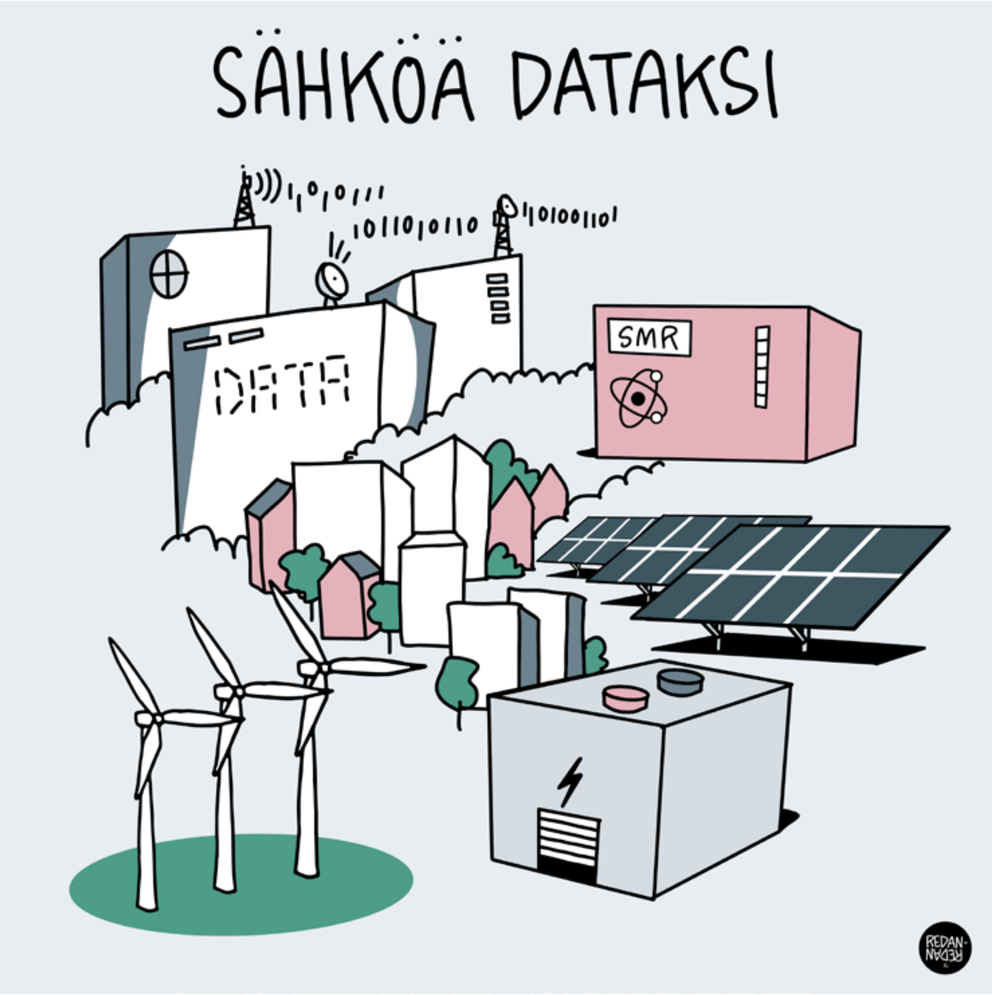
| Kapasiteetti (GW) | Sähköä dataksi | Vedystä valtavirtaa | Notkeaa kehitystä | Voimaa vakaasti |
|---|---|---|---|---|
| Vesivoima | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Ydinvoima | 5,1 | 4,6 | 4,6 | 7,2 |
| CHP | 3 | 2 | 2 | 3 |
| Muu lämpövoima[3] | 4 | 1 | - | - |
| Maatuulivoima | 44 | 54 | 20 | 16 |
| Merituulivoima | 2 | 3 | 10 | - |
| Aurinkovoima | 49 | 40 | 15 | 20 |
| Sähkövarastot[4] | 28 | 7 | 2 | 3 |
| **Yhteensä** | **139** | **115** | **57** | **52** |

Kaikissa skenaarioissa Suomessa tuotetaan vuositasolla enemmän sähköä kuin kulutetaan ja Suomi on siten sähkön nettoviejä. Tämä on seurausta Suomen suuresta potentiaalista uusiutuvan sähkön tuotannossa. Suomen uusiutuvan sähkön tuotantoon investoidaan, koska se on Euroopan tasolla erittäin kilpailukykyistä. Kilpailukykyinen sähkö houkuttelee Suomeen teollisia investointeja nostaen sähkön kulutusta, ja johtaa myös maltilliseen sähkön nettovientiin naapurimaihin. Siirrot vaihtelevat markkinatilanteen mukaan ja sähköä myös tuodaan Suomeen naapurimaista esimerkiksi vähätuulisilla tunneilla. Siten sähkön rajasiirtoyhteydet osaltaan tasapainottavat Suomen energiajärjestelmää.

Kaikissa skenaarioissa Suomessa investoidaan puhtaaseen sähköntuotantoon vastaamaan kasvavaan kulutukseen. Valtaosa investoinneista kohdistuu maatuulivoimaan ja aurinkovoimaan, joita rakennetaan useita kymmeniä gigawatteja. Merituulivoimaan investoidaan eniten Notkeaa kehitystä -skenaariossa. Lisäksi isossa roolissa ovat investoinnit sähkövarastoihin, etenkin Sähköä dataksi -skenaariossa, jossa kulutusjoustoa on maltillisemmin.

[3] Muulla lämpövoimalla tarkoitetaan tässä tapauksessa huippuvoimaa eli nopeaan joustoon kykenevää kapasiteettia, kuten kaasuturbiineita ja moottorivoimaloita.

[4] Sähköä dataksi -skenaarion lukuihin sisältyy sähkön akkuvarastojen lisäksi pumppuvoimaloita yhteensä noin 1 GW.




## 2.2 Sähköä dataksi

Sähköä dataksi -skenaariossa Suomen sähkön kulutus kasvaa voimakkaasti erityisesti datakeskusten ajamana. Uusi teollisuus sijoittuu Suomeen kilpailukykyisen uusiutuvan energian houkuttelemana. Kulutuksen jouston ollessa maltillista sääriippuvainen tuuli- ja aurinkovoima tarvitsee rinnalleen joustoa energiavarastoista ja tuotannosta tasapainottamaan järjestelmää. Skenaariossa tarvittava jousto saadaan erityisesti akuista, mutta myös pumppuvoimasta sekä nopeaan joustoon kykenevästä lämpövoimasta.

## Sähkön kulutus

Skenaariossa teollinen sähkönkulutus kasvaa reilusti erityisesti datakeskusten siivittämänä, mutta myös vetyteollisuutta rakennetaan ja muu perinteinen teollisuus sähköistyy. Skenaariolle keskeisenä oletuksena datakeskukset eivät jousta lainkaan ja myös vedyntuotanto joustaa hyvin vähän, sillä kattavaa vedynsiirtoinfrastruktuuria tai suuria vetyvarastoja ei rakenneta. Muun teollisuuden oletetaan joustavan samassa suhteessa kuin nykyään. Kulutuksen vähäinen jousto lisää tarvetta sähköjärjestelmän muulle joustolle.

Kaukolämmössä sähköistyminen tapahtuu niin sähkökattiloiden kuin lämpöpumppujen myötä. Lämpöpumput pystyvät hyödyntämään teollisuuden, erityisesti datakeskusten hukkalämpöä. Lämpöpumput joustavat vain pienellä osalla kokonaistehostaan, kun taas sähkökattilat on oletettu kokonaan joustavaksi. Liikenne sähköistyy, mutta vain pieni osa sähköautojen latauksesta joustaa hinnan mukaan.

**Taulukko 4** Sähkön kulutus Sähköä dataksi -skenaariossa

| Kulutus (TWh) | 2024 | Muutos | 2040 |
|---|---|---|---|
| **Teollisuus**[5] | **34** | **+115** | **149** |
| - datakeskukset | | | 71 |
| - vetyteollisuus | | | 22 |
| - muu teollisuus | | | 56 |
| **Lämmitys** | **18** | **+10** | **28** |
| - kotitaloudet | 16 | ≈ | 16 |
| - kaukolämpö | 2 | +10 | 12 |
| **Liikenne** | **1** | **+7** | **8** |
| **Muu kulutus ja häviöt** | **30** | **+2** | **32** |
| **Yhteensä** | **83** | **+134** | **217** |

## Sähkön tuotanto

Skenaariossa maatuulivoima on selkeästi suurin tuotantomuoto aurinkovoiman noustessa toiseksi suurimmaksi. Tuuli- ja aurinkovoimalla tuotetaan yhteensä lähes kolme neljäsosaa sähköstä Suomessa. Nykyisten ydinvoimalaitosten lisäksi skenaariossa on oletettu rakennettavan pienydinvoimaa sähkön ja lämmön yhteistuotantoon Etelä-Suomessa, mikä nostaa ydinvoimalla tuotetun sähkön määrää.

**Taulukko 5** Sähkön tuotanto Sähköä dataksi -skenaariossa

| Tuotanto (TWh) | 2024 | Muutos | 2040 |
|---|---|---|---|
| Vesivoima | 14 | - | 14 |
| Ydinvoima | 31 | +7 | 38 |
| CHP ja muu lämpövoima | 13 | -3 | 10 |
| Maatuulivoima | 20 | +97 | 117 |
| Merituulivoima | - | +8 | 8 |
| Aurinkovoima | 1 | +43 | 44 |
| **Yhteensä** | **79** | **+153** | **231** |

[5] Vuoden 2024 lukemissa datakeskukset sisältyvät teollisuuden sijaan palveluihin eli muuhun kulutukseen, minkä vuoksi alasegmenttien jaottelua ei ole tehty tässä ja seuraavissa taulukoissa.

Tuotantokapasiteetissa mitattuna voimakkaimmin kasvava tuotantomuoto on aurinkovoima, jota on lopulta maatuulivoimaakin enemmän. Lisäksi skenaariossa rakennetaan noin 500 MW edestä pienydinvoimaa, mitä hyödynnetään sähkön ja lämmön tuotannossa. Tämän lisäksi sähkövarastojen sekä uuden joustavan lämpövoiman kasvu on merkittävää nykyiseen järjestelmään verrattuna.

Maatuulivoimaan ja aurinkovoimaan investoidaan eniten niiden kustannuskilpailukyvyn ansiosta. Skenaariossa on oletettu muista skenaarioista poiketen erittäin suuren mittakaavan tuuli- ja aurinkovoiman rakentamisen Itä-Suomeen ja Itä-Lappiin olevan mahdollista. Lisäksi skenaariossa toteutetaan yksittäisiä merituulivoimahankkeita. Maantieteellisesti hajautetumpi sijainti tuotannolle tasaa uusiutuvien tuotantoprofiilia, mikä auttaa vastaamaan pääosin joustamattomaan kulutukseen.

Skenaariossa tärkeimpänä jouston lähteenä toimivat nykyisiä sähkövarastoja suuremmat 8 tunnin joustoon kykenevät sähkövarastot. Voimakkaasti kasvavien uusiutuvien tuotantomuotojen lisäksi skenaariossa rakennetaan noin 1 GW pumppuvoimaa, jonka varaston kooksi on arvioitu 24 tuntia. Näiden lisäksi skenaariossa rakennetaan nopeaan joustoon kykeneviä puhtaita polttoaineita käyttäviä lämpövoimaloita, kuten kaasuturbiineja ja moottorivoimaloita. Uuden joustavan lämpövoiman tuotantomäärät ovat vähäisiä, mutta sen rooli on keskeinen järjestelmän sähkön riittävyyden kannalta.

**Taulukko 6** Sähkön tuotantokapasiteetti Sähköä dataksi -skenaariossa

| Kapasiteetti (GW) | 2024 | Muutos | 2040 |
|---|---|---|---|
| Vesivoima | 3 | ≈ | 3 |
| Ydinvoima | 4,4 | +0,7 | 5,1 |
| CHP | 5 | -2 | 3 |
| Muu lämpövoima | - | +4 | 4 |
| Maatuulivoima | 8 | +36 | 44 |
| Merituulivoima | - | +2 | 2 |
| Aurinkovoima | 1 | +48 | 49 |
| Sähkövarastot[6] | <1 | +28 | 28 |
| **Yhteensä** | **22** | **+117** | **139** |

**Miten skenaario haastaa verkon kehittämisen?**

Skenaariossa tuotannon ja kulutuksen nopea kasvu ja erityisesti tuotantopuolen investointien muita skenaarioita laajempi maantieteellinen hajautuminen Itä-Suomeen ja Itä-Lappiin vaativat verkon laajaa kehittämistä. Lisäksi skenaarioista suurin sähkön tuotannon ja varastojen kokonaiskapasiteetti haastavat verkon kehittämistä sekä asiakashankkeiden liittämistä verkkoon. Skenaariossa ei ole myöskään vetyverkkoa, joten energian siirrolle ei ole vaihtoehtoista tapaa sähköverkon rinnalla.

[6] Sähköä dataksi -skenaarion lukuihin sisältyy sähkön akkuvarastojen lisäksi pumppuvoimaloita yhteensä noin 1 GW.

## 2.3 Vedystä valtavirtaa

Vedystä valtavirtaa -skenaariossa sähkön kulutus kasvaa erittäin voimakkaasti, ja kasvun painopiste on joustavassa kulutuksessa. Suomi on Euroopan kilpailukykyisin paikka sähköintensiiviselle teollisuudelle etenkin runsaan ja edullisen maatuulivoimatuotannon ansiosta. Erinomaisen kilpailukykynsä avulla ansiosta Suomi saavuttaa tavoitteensa tuottaa 10 % EU:n vedystä ja sen jatkojalosteista. Vedyn tuotanto kehittyy 2030-luvulla huomattavan joustavaan suuntaan, kun vetyverkot ja suuret vetyvarastot mahdollistavat vedyn tuotannon jouston, vaikka samaan aikaan vedyn jatkojalostusprosesseja voidaan ajaa vakaasti. Lisäksi kulutuksen joustot lisääntyvät etenkin sähkökattiloiden ja sähköautojen älykkään ja kaksisuuntaisen latauksen myötä.

## Sähkön kulutus

Sähkön kulutus kasvaa etenkin uuden teollisuuden ajamana. Sähköä käytetään erityisesti vedyn ja sen jatkojalosteiden tuotantoon. Vedystä valmistetaan Suomessa jatkojalosteita[7] ja vetyä käytetään myös raaka-aineena kemianteollisuudessa sekä metalliteollisuudessa. Noin puolet Suomessa tuotetusta vedystä hyödynnetään jatkojalostuksessa ja noin puolet viedään vetynä. Skenaariossa on kotimaisen vetyverkon lisäksi rakennettu vedyn putkiyhteydet[8] Pohjois-Ruotsiin ja Keski-Eurooppaan. Suomi on myös merkittävässä roolissa EU:n datakeskusmarkkinassa, minkä lisäksi metalli- ja kemianteollisuuden sähkönkulutus Suomessa kasvaa esimerkiksi teollisuusprosessien ja teollisuuden lämmöntuotannon sähköistyksen myötä.

Teollisuuden lisäksi lämmitys sähköistyy voimakkaasti. Kasvu tulee kaukolämmön lämpöpumpuista, jotka hyödyntävät vedyntuotannon ja datakeskusten hukkalämpöjä, sekä sähkökattiloista, joilla hyödynnetään edullisen sähkön hetkiä. Sähköllä tuotetaan valtaosa Suomen kaukolämmöstä, mikä myös edellyttää merkittävää määrää lämpövarastoja ja lisää siten energiajärjestelmän joustoa. Liikenteessä pääosa kasvusta tulee sähköautoista, joiden latausta ohjataan sähkön hinnan mukaan. Tämän lisäksi kaksisuuntaisen latauksen käyttö on laajamittaista. Tätä kautta sähköautoista saadaan merkittävää säätökykyä tasapainottamaan sähkön tuotantoa ja kulutusta.

**Taulukko 7** Sähkön kulutus Vedystä valtavirtaa -skenaariossa

| Sähkön kulutus (TWh) | 2024 | Muutos | 2040 |
|---|---|---|---|
| **Teollisuus** | **34** | **+153** | **187** |
| - datakeskukset | | | 27 |
| - vetyteollisuus | | | 101 |
| - muu teollisuus | | | 59 |
| **Lämmitys** | **18** | **+19** | **37** |
| - kotitaloudet | 16 | ≈ | 16 |
| - kaukolämpö | 2 | +19 | 21 |
| **Liikenne** | **1** | **+7** | **8** |
| **Muu kulutus ja häviöt** | **30** | **-1** | **29** |
| **Yhteensä** | **83** | **+178** | **261** |

## Sähkön tuotanto

Skenaariossa sähkön tuotanto kasvaa voimakkaasti mahdollistaen kulutuksen kasvun ja samalla sähkön hinnan säilymisen kilpailukykyisellä tasolla. Maatuulivoiman ja aurinkovoiman tuotanto kasvaa nykyisestä moninkertaiseksi, minkä lisäksi merituulivoima kasvaa hieman. Ydinvoimatuotannon määrä kasvaa nykyisten laitosten suunniteltujen tehonkorotusten myötä. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon määrä supistuu nykyisestä ja vesivoima pysyy nykyisellä tasolla.

**Taulukko 8** Sähkön tuotanto Vedystä valtavirtaa -skenaariossa

| Tuotanto (TWh) | 2024 | Muutos | 2040 |
|---|---|---|---|
| Vesivoima | 14 | ≈ | 14 |
| Ydinvoima | 31 | +4 | 35 |
| CHP ja muu lämpövoima | 13 | -5 | 8 |
| Maatuulivoima | 20 | +138 | 158 |
| Merituulivoima | 0 | +13 | 13 |
| Aurinkovoima | 1 | +39 | 40 |
| **Yhteensä** | **79** | **+189** | **268** |

[7] Vedyn jatkojalosteilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sähköstä, vedystä ja mahdollisesti muista raaka-aineista kuten typestä tai biopohjaisesta hiilidioksidista tuotettuja tuotteita, kuten sähköpolttoaineita, materiaaleja ja kemikaaleja.

[8] Gasgrid kehittää aktiivisesti vedyn putkiyhteyshankkeita. Lisätietoa: https://gasgrid.fi/hankkeet/

[9] Kaksisuuntaisella latauksella tarkoitetaan ns. Vehicle-to-Grid tai Vehicle-to-Home -ratkaisuja, joissa sähköautosta voidaan syöttää sähköä verkkoon.

Tuotantokapasiteetissa mitattuna sähkövarastojen määrä kasvaa moninkertaiseksi nykyisestä. Pääosa joustosta saadaan kuitenkin skenaariossa vedyn tuotannosta, minkä mahdollistavat kansainvälinen vetyverkko sekä siihen liitetyt vetyvarastot. Yhteensä vedyn varastointikapasiteettia on noin 10 GW tehoa vastaava määrä, sisältäen vetyverkon puskurivarastokapasiteetin. Runsas vetyvarastokapasiteetti sekä sähköautoista saatava kaksisuuntainen lataus hidastavat akkuvarastojen tarpeen kasvua.

**Taulukko 9** Sähkön tuotantokapasiteetti Vedystä valtavirtaa -skenaariossa

| Kapasiteetti (GW) | 2024 | Muutos | 2040 |
|---|---|---|---|
| Vesivoima | 3 | ≈ | 3 |
| Ydinvoima | 4,4 | +0,2 | 4,6 |
| CHP | 5 | -3 | 2 |
| Muu lämpövoima | - | +1 | 1 |
| Maatuulivoima | 8 | +46 | 54 |
| Merituulivoima | - | +3 | 3 |
| Aurinkovoima | 1 | +39 | 40 |
| Sähkövarastot | <1 | +7 | 7 |
| **Yhteensä** | **22** | **+93** | **115** |

**Miten skenaario haastaa verkon kehittämisen?**

Vedystä valtavirtaa -skenaario edustaa erittäin voimakkaan kasvun skenaariota ja haaste verkon kehittämiselle on siten merkittävä. Skenaariossa tarvitaan todennäköisesti uusien voimajohtojen lisäksi merkittävässä määrin myös muita keinoja, kuten tuotannon ja kulutuksen yhteissijoittumista, jotta skenaarion kuvaama kasvu voidaan saavuttaa. Kasvu kuvaa skenaariota, jossa EU:n vetyjalosteiden markkina kehittyy ilmastoneutraaliustavoitteen edellyttämällä tavalla ja Suomi saavuttaa tästä markkinasta 10 prosentin osuuden. Siten on perusteltua etsiä ratkaisuja, joilla tällainen energiajärjestelmän kehitys voitaisiin kantaverkon näkökulmasta mahdollistaa.

## 2.4 Notkeaa kehitystä

Notkeaa kehitystä -skenaariossa kantavana ajatuksena on hinnan mukaan joustavan kulutuksen kasvaminen. Joustavaa kulutusta edustavat erityisesti sähkökattilat, joilla korvataan perinteistä, polttamiseen perustuvaa kaukolämpöä, sekä vedyn valmistus sähköstä elektrolyysillä. Skenaariossa rakennetaan kansallinen vetyinfrastruktuuri, mikä edesauttaa vetyinvestointien sijoittumista Suomeen sekä niiden joustavuutta. Kokonaiskulutuksen kasvu jää kuitenkin maltillisemmaksi korkeimpiin kasvuskenaarioihin verrattuna, sillä kustannuskilpailukykyisintä maatuulivoimaa ja aurinkovoimaa ei saada täysimääräisesti hyödynnettyä.

## Sähkön kulutus

Skenaariossa sähkön kokonaiskulutus kasvaa noin kaksinkertaiseksi nykytasosta. Suurin kasvu syntyy teollisuudessa vetytalouden ja muun teollisuuden sähköistymisen ajamana. Uutta vetyteollisuutta sijoittuu Suomeen edullisen sähkön houkuttelemana ja vetyä käytetään sähköpolttoaineiden, synteettisen ammoniakin sekä teräksen valmistuksessa.

Vedyntuotanto on joustavaa ja pystyy siten hyödyntämään edullista ja puhdasta sähköä. Skenaariossa Suomeen toteutuu kansallinen vetyverkko, joka seurailee etelä- ja länsirannikkoa, jatkuen edelleen Pohjois-Ruotsiin. Vedyn siirtoinfrastruktuuri mahdollistaa vedyn tuotannon ja kulutuksen yhdistämisen tehokkaasti myös Suomen sisällä ja ohjaa vedyn tuotannon sijoittumista siirtoputkiston läheisyyteen. Lisäksi skenaariossa suurten vetyvarastojen rakentaminen näyttäytyy kannattavana, mahdollistaen vedyn varastoinnin ja siten parantaen järjestelmän joustavuutta.

Lämmityksen sähkönkulutus kaksinkertaistuu nykytasosta kaukolämmön sähköistyessä voimakkaasti. Skenaariossa lämmön varastointi on tärkeässä roolissa mahdollistamassa kaukolämmön lämpöpumppujen ja sähkövarastojen jouston sähkön hinnan ohjaamana. Lisäksi liikenteen sähkönkulutus moninkertaistuu nykytasosta sähköautojen myötä. Sähköautoja ladataan älykkäästi niin ikään hinnan ohjaamana ja myös kaksisuuntainen lataus on tässä skenaariossa laajamittaisesti käytössä.

**Taulukko 10** Sähkön kulutus Notkeaa kehitystä -skenaariossa

| Kulutus (TWh) | 2024 | Muutos | 2040 |
|---|---|---|---|
| **Teollisuus** | **34** | **+61** | **95** |
| - datakeskukset | | | 8 |
| - vetyteollisuus | | | 40 |
| - muu teollisuus | | | 47 |
| **Lämmitys** | **18** | **+18** | **36** |
| - kotitaloudet | 16 | ≈ | 16 |
| - kaukolämpö | 2 | +18 | 20 |
| **Liikenne** | **1** | **+7** | **8** |
| **Muu kulutus ja häviöt** | **30** | **-1** | **29** |
| **Yhteensä** | **83** | **+85** | **168** |

## Sähkön tuotanto

Sähkön tuotanto perustuu skenaariossa vahvasti uusiutuviin tuotantomuotoihin, erityisesti maa- ja merituulivoimaan, jotka kattavat yli puolet kaikesta Suomessa tuotetusta sähköstä. Merkittävää kasvua nähdään myös aurinkovoiman tuotannossa. Ydinvoiman tuotannon kasvu syntyy nykyisen kapasiteetin tehon nostoista, kun taas CHP-tuotanto laskee, erityisesti kaukolämmön siirtyessä sähkökattiloiden käyttöön. Vesivoiman tuotanto pysyy nykytasolla.

**Taulukko 11** Sähkön tuotanto Notkeaa kehitystä -skenaariossa

| Tuotanto (TWh) | 2024 | Muutos | 2040 |
|---|---|---|---|
| Vesivoima | 14 | ≈ | 14 |
| Ydinvoima | 31 | +5 | 36 |
| CHP ja muu lämpövoima | 13 | -4 | 9 |
| Maatuulivoima | 20 | +39 | 59 |
| Merituulivoima | - | +42 | 42 |
| Aurinkovoima | 1 | +13 | 14 |
| **Yhteensä** | **79** | **+95** | **174** |

Skenaariossa oletetaan maatuulivoiman ja aurinkovoiman hyväksyttävyyden laskevan, mikä rajaa niiden kasvua. Siten kasvu kohdistuu 2030-luvulla merituulivoimaan, jonka määrä kasvaa noin 10 GW tasolle. Olemassa olevien ydinvoimaloiden suunnitellut tehonkorotukset on huomioitu skenaariossa, mutta uutta ydinvoimaa ei rakenneta. CHP-tuotannon ja muun lämpövoiman tuotanto sen sijaan laskee, sillä useita CHP-laitoksia suljetaan, varsinkin kaukolämmön tuotannossa lämmityksen sähköistyessä. Yhä toiminnassa olevat CHP-laitokset ovat pääasiassa teollisuuden laitoksia.

**Taulukko 12** Sähkön tuotantokapasiteetti Notkeaa kehitystä -skenaariossa

| Kapasiteetti (GW) | 2024 | Muutos | 2040 |
|---|---|---|---|
| Vesivoima | 3 | ≈ | 3 |
| Ydinvoima | 4,4 | +0,2 | 4,6 |
| CHP | 5 | -3 | 2 |
| Muu lämpövoima | - | - | - |
| Maatuulivoima | 8 | +12 | 20 |
| Merituulivoima | - | +10 | 10 |
| Aurinkovoima | 1 | +14 | 15 |
| Sähkövarastot | <1 | +2 | 2 |
| **Yhteensä** | **22** | **35** | **57** |

**Miten skenaario haastaa verkon kehittämisen?**

Skenaario haastaa etsimään uusia ratkaisuja merituulivoiman liittämiseksi kantaverkkoon, sillä skenaariossa rakennetaan merituulivoimaa enemmän kuin Fingridin aiemmin laatimassa merituulivoimaselvityksessä[10] tunnistetut alustavat liityntämahdollisuudet antavat myöten. Liityntämahdollisuuksia edesauttaisi esimerkiksi hybridiliityntöjen toteutuminen. Yhtenä tarkasteltavana vaihtoehtona voisi olla esimerkiksi uuden rajasiirtoyhteyden toteuttaminen hybridiyhteytenä, minkä varrelle liitettäisiin uutta merituulivoimaa. Lisäksi merituulivoima sijoittuu suurilta osin länsirannikolle maatuulivoiman tapaan, mikä yleisesti haastaa Länsi-Suomen verkon kehitystä. Skenaariossa rakennettu kansallinen vedyn siirtoverkosto kuitenkin ohjaa vedyn tuotantoa sijoittumaan lähelle länsirannikkoa ja siten tasoittaa siirtopaineita maan länsiosista muualle Suomeen.

[10] Merituulivoiman alustavat liityntämahdollisuudet kantaverkkoon 2030-luvulla. Fingrid, 2024.
Lisätietoa: https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/merituulivoimaselvitys/

## 2.5 Voimaa vakaasti

Voimaa vakaasti -skenaariossa maatuulivoiman rakentamista rajoitetaan ja sähköntuotantoon halutaan vakautta, minkä vuoksi tuetaan uuden ydinvoiman rakentamista. Kaksi uutta ydinvoimalaa tuovat lisää säästä riippumatonta sähköntuotantoa ja kulutus on pääosin joustamatonta. Kokonaisuudessaan Suomen kilpailukyky jää muihin skenaarioihin verrattuna heikommaksi. Nykyinen teollisuus sähköistyy, mutta uusia investointeja ei tehdä Suomeen laajassa mittakaavassa.

## Sähkön kulutus

Skenaariossa sähkön kulutus kasvaa, mutta huomattavasti maltillisemmin muihin skenaarioihin verrattuna. Kulutuksen kasvua tulee erityisesti nykyisen teollisuuden prosessien ja teollisen lämmöntuotannon sähköistämisestä. Lisäksi skenaariossa Suomeen investoidaan datakeskuksiin ja vedyntuotantoon. Suomella ei kuitenkaan ole erityisempää kilpailuetua muuhun Eurooppaan verrattuna, minkä vuoksi investointien määrä jää skenaariossa alhaisemmaksi.

Lämmitys ja liikenne sähköistyvät nykytasosta, mutta kasvutahti on hitaampaa verrattuna muihin skenaarioihin. Kaukolämmössä lämpöpumput ja sähkökattilat yleistyvät, mutta yhteistuotannolla on yhä suuri rooli. Myös liikenteen sähköistyminen hidastuu eivätkä älykäs lataus hinnan mukaan tai kaksisuuntainen lataus ole laajamittaisesti käytössä.

**Taulukko 13** Sähkön kulutus Voimaa vakaasti -skenaariossa

| Kulutus (TWh) | 2024 | Muutos | 2040 |
|---|---|---|---|
| **Teollisuus** | **34** | **+39** | **73** |
| - datakeskukset | | | 21 |
| - vetyteollisuus | | | 10 |
| - muu teollisuus | | | 42 |
| **Lämmitys** | **18** | **+8** | **26** |
| - kotitaloudet | 16 | -1 | 15 |
| - kaukolämpö | 2 | +9 | 11 |
| **Liikenne** | **1** | **+6** | **7** |
| **Muu kulutus ja häviöt** | **30** | **-** | **30** |
| **Yhteensä** | **83** | **+53** | **136** |

## Sähkön tuotanto

Ydinvoimalla tuotetaan skenaariossa eniten sähköä ja seuraavaa sijaa pitää maatuulivoima. Yhdessä ne kattavat noin kaksi kolmasosaa Suomen vuotuisesta sähköntuotannosta. Aurinkovoiman tuotanto nousee jo selvästi yli vesivoiman ja CHP jää pienimmäksi tuotantomuodoksi, vaikka sillä on yhä merkittävä rooli lämmöntuotannossa.

**Taulukko 14** Sähkön tuotanto Voimaa vakaasti -skenaariossa

| Tuotanto (TWh) | 2024 | Muutos | 2040 |
|---|---|---|---|
| Vesivoima | 14 | ≈ | 14 |
| Ydinvoima | 31 | +23 | 54 |
| CHP ja muu lämpövoima | 13 | -2 | 11 |
| Maatuulivoima | 20 | +30 | 50 |
| Merituulivoima | - | - | - |
| Aurinkovoima | 1 | +18 | 19 |
| **Yhteensä** | **79** | **+69** | **148** |

Skenaariossa rakennetaan kaksi suuren kokoluokan (1,3 GW) ydinvoimalaa, millä vastataan kasvavaan kulutukseen. Kulutuksen kasvusta huolimatta ydinvoima ei näyttäydy markkinaehtoisesti kannattavalta ja vaatii tukijärjestelmän. Maatuulivoiman kasvu pysähtyy 2030-luvun taitteessa. Aurinkovoiman kasvu jatkuu ja kapasiteetti ylittää asennetun tuulivoimakapasiteetin. Merituulivoimaa ei skenaariossa rakenneta lainkaan. CHP-laitosten määrä laskee vähitellen fossiilisia polttoaineita käyttävien laitosten sulkeutuessa, mutta biomassaa ja jätteitä käyttävällä yhteistuotannolla on yhä tärkeä rooli. Sähkövarastoja rakennetaan tuomaan lisää joustoa järjestelmään, mahdollistaen tarvittavan jouston järjestelmään.

**Taulukko 15** Sähkön tuotantokapasiteetti Voimaa vakaasti -skenaariossa

| Kapasiteetti (GW) | 2024 | Muutos | 2040 |
|---|---|---|---|
| Vesivoima | 3 | ≈ | 3 |
| Ydinvoima | 4,4 | +2,8 | 7,2 |
| CHP | 5 | -2 | 3 |
| Muu lämpövoima | - | - | - |
| Maatuulivoima | 8 | +8 | 16 |
| Merituulivoima | - | - | - |
| Aurinkovoima | 1 | +19 | 20 |
| Sähkövarastot | <1 | +3 | 3 |
| **Yhteensä** | **22** | **+30** | **52** |

**Miten skenaario haastaa verkon kehittämisen?**
Skenaariossa erityisenä muuttujana ovat uudet perinteiset ydinvoimalaitokset, jotka oletetaan rakennettavan Etelä-Suomeen. Suuren kokoluokan ydinvoimalaitosten liittäminen vaatii uusia verkkoinvestointeja ja tuo siten verkon kehitykseen uusia näkökulmia. Verkon kehittämiselle ja energiajärjestelmälle merkittävää on etenkin uusien ydinvoimalaitosten sijainti.

# 3

# Skenaarioiden taustatekijät

Skenaarioiden taustatekijät ovat keskeisiä skenaarioiden rakentamisessa. Tässä luvussa olemme avanneet skenaarioiden merkittävimmät taustatekijät ja tehdyt oletukset sähkön kulutuksen, tuotannon, rajasiirtoyhteyksien ja ympäröivän maailman osalta.

## 3.1 Sähkön kulutus

**Datakeskukset**

Datakeskusten kasvua on tarkasteltu kahden eri muuttujan perusteella: datakeskusmarkkinan arvioitu kasvu Euroopassa kokonaisuutena sekä tästä Suomelle arvioitu osuus. Euroopan datakeskusmarkkinan kehityksen myötä datakeskusten käyttämän sähkön kasvuksi on arvioitu:

1. **Nopea kasvu:** Datakeskusten sähkön käyttö on noin 710 TWh vuonna 2040.
2. **Maltillinen kasvu:** Datakeskusten sähkön käyttö on noin 270 TWh vuonna 2040

Nopea kasvu vastaa keskimäärin 20 % kasvuvauhtia vuodessa seuraavan 5 vuoden ajan, minkä jälkeen kasvuvauhti hidastuu keskimäärin 10 % vuositasolle 2030-luvulla. Maltillinen kasvu vastaa 10 % kasvuvauhtia vuodessa seuraavan 5 vuoden ajan, jonka jälkeen kasvuvauhti hidastuu keskimäärin 5 % vuositasolle 2030-luvulla.

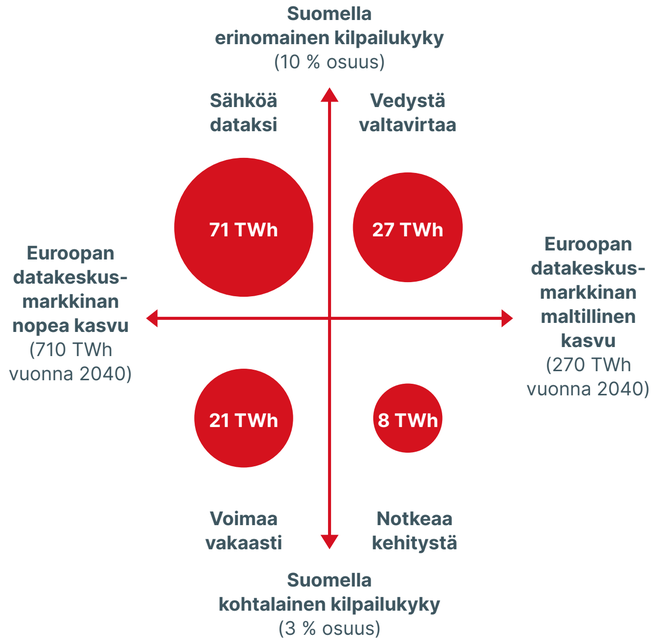
Suomen markkinaosuus on arvioitu Suomen kilpailukykyyn pohjautuen seuraavasti:

**A. Erinomainen kilpailukyky:** Suomen osuus on 10 % Euroopan datakeskusmarkkinasta.
**B. Kohtalainen kilpailukyky:** Suomen osuus on 3 % Euroopan datakeskusmarkkinasta.

Näistä 10 % osuus kuvastaa Suomen erinomaista kilpailukykyä puhtaan ja edullisen sähkön, kylmän ilmaston mahdollistaman energiatehokkuuden sekä hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksien vuoksi. Vastaavasti 3 % osuus vastaa Suomen osuutta Euroopan nykyisestä sähkönkulutuksesta ja heijastelee siten tilannetta, jossa Suomen kilpailukyky datakeskuksissa olisi kohtalainen.

Näin laskettuna datakeskusten sähkönkulutuksen haarukaksi Suomessa vuonna 2040 saadaan skenaarioissa 8–71 terawattituntia. Haarukan ylälaitaa käytetään Sähköä dataksi -skenaariossa ja haarukan alalaitaa Notkeaa kehitystä -skenaariossa. Haarukan väliin jäävissä skenaarioissa datakeskusten sähkönkulutus on 21 terawattituntia Voimaa vakaasti -skenaariossa ja 27 terawattituntia Vedystä valtavirtaa -skenaariossa

**Kuva 4** Datakeskusten kasvun taustatekijät skenaarioissa



## Vedyntuotanto

Vetytalouden kasvua ja siten vedyntuotantoon sekä vedyn jatkojalostukseen käytetyn sähkön kasvua on tarkasteltu kahden eri muuttujan perusteella: elektrolyysivedyn tuotantomäärä EU:ssa sekä Suomen markkinaosuus EU:n vedyn ja vetyjalosteiden tuotannosta.

EU:n vetymarkkina on arvioitu ENTSO-E:n ja ENTSOG:n skenaarioiden perusteella. Elektrolyysereiden sähkönkulutuksek-si EU:ssa vuonna 2040 on arvioitu[11] kahdessa eri projektiossa:

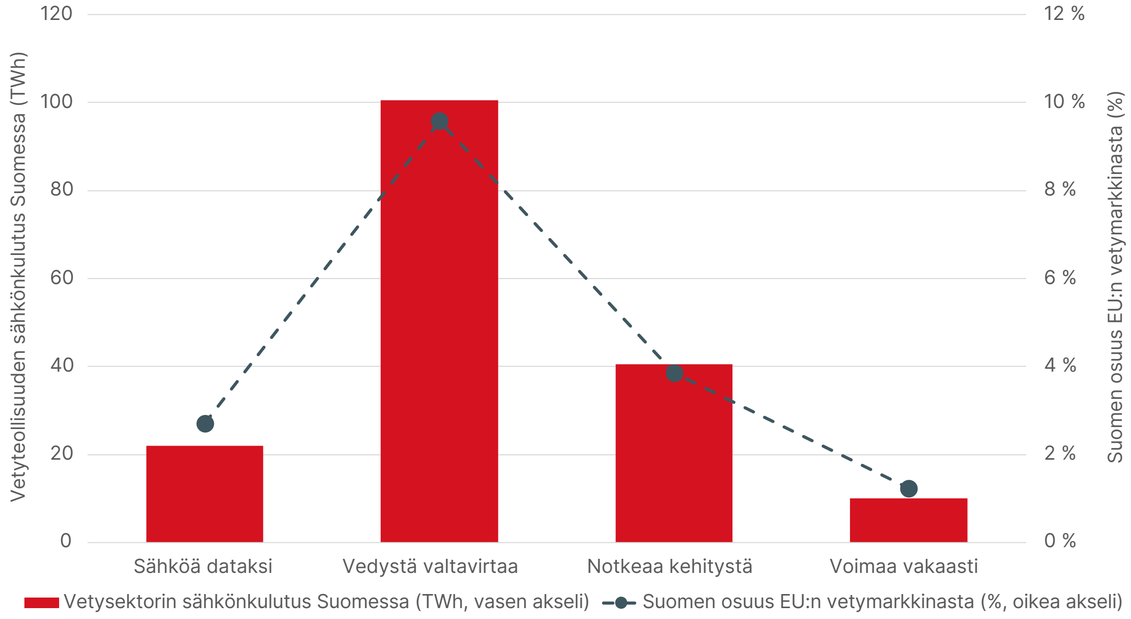
1. **Nopeampi kasvu:** 1050 TWh
2. **Maltillisempi kasvu:** 800 TWh

Nopeampaa kasvua on käytetty joustavan kulutuskasvun Vedystä valtavirtaa ja Notkeaa kehitystä -skenaarioissa, ja hieman maltillisempaa kasvua joustamattoman kulutuskasvun Sähköä dataksi ja Voimaa vakaasti -skenaarioissa.

Suomen markkinaosuutta EU:n elektrolyysivedyn markkinasta[12] on vaihdeltu skenaarioittain:
**A. Vedystä valtavirtaa:** noin 10 % osuus vuonna 2023 asetetun tavoitteen[13] mukaan
**B. Notkeaa kehitystä:** noin 5 % osuus
**C. Sähköä dataksi:** noin 3 % osuus
**D. Voimaa vakaasti:** noin 1,5 % osuus

Alla olevassa kuvassa on esitettynä vetysektorin sähkön kulutus Suomessa ja Suomen osuus EU:n elektrolyysivedyn markkinasta. Kasvu on voimakkainta Vedystä valtavirtaa -skenaariossa. Notkeaa kehitystä -skenaariossa Suomen vetysektorin sähkönkulutus jää hieman alle indikoidun markkinaosuuden. Tämä johtuu siitä, että osa vedystä tuodaan Pohjois-Ruotsista Suomeen jatkojalostusta varten, jolloin Suomessa ei käytetä yhtä paljon sähköä vedyn tuotantoon, vaikka osuus jatkojalostuksesta vastaa 5 %. Kaikki mainitut elektrolyysivedyn sähkönkulutusmäärät sisältävät vedyn jatkojalostuksen sähkönkulutuksen, jonka on arvioitu olevan keskimäärin 10 % vetyteollisuuden sähkönkulutuksesta.

**Kuva 5** Vetyteollisuuden kasvu Suomessa ja Suomen osuus EU:n elektrolyysivedyn markkinasta




[11] ENTSO-E:n ja ENTSOG:n TYNDP2024-skenaarioissa elektrolyyserien sähkönkulutus on noin 800 TWh National Trends -skenaariossa, noin 1300 TWh Distributed Energy -skenaariossa ja noin 1600 TWh Global Ambition -skenaariossa vuonna 2040. Sähköjärjestelmävision haarukan alalaita pohjautuu National Trends -skenaarioon ja ylälaita National Trends -ja Distributed Energy -skenaarion keskiarvoon. TYNDP2024 skenaariot ovat saatavissa: https://2024.entsos-tyndp-scenarios.eu/download/

[12] Skenaarioissa markkinaosuudet on laskettu osuutena EU:n elektrolyysivedyn tuotantomääristä. TYNDP2024-skenaarioissa puhtaan vedyn kokonaismarkkina muodostuu Euroopassa tuotetun elektrolyysivedyn lisäksi vedyn ja vetyjohdannaisten tuonnista sekä sinisestä vedystä.

[13] https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/hallitus-hyvaksyi-periaatepaatoksen-vedysta-suomella-edellytykset-valmistaa-10-prosenttia-eu-n-vihreasta-vedysta-2030

Suurimmissa vetytalouden kasvuskenaarioissa, eli Vedystä valtavirtaa ja Notkeaa kehitystä -skenaarioissa, on oletettu kansallisen vetyverkon rakentaminen Suomeen. Molemmissa näistä skenaarioista rakennetaan lisäksi Suomen ja Ruotsin välinen vetyputkiyhteys ja Vedystä valtavirtaa -skenaariossa rakennetaan lisäksi vetyputkiyhteys Keski-Eurooppaan[14]. Kaikkien Suomen vetyputkien kapasiteetiksi on laskelmissa oletettu 7,2 GW vetyä. Sähköä dataksi- ja Voimaa vakaasti -skenaarioissa Suomeen ei rakenneta vetyverkkoa.

### Muu teollisuus

Muun teollisuuden osalta sähkönkulutuksen oletetaan kasvavan voimakkaimmin korkeamman kulutuskasvun Sähköä dataksi ja Vedystä valtavirtaa -skenaarioissa ja hitaammin maltillisemman kulutuskasvun Notkeaa kehitystä ja Voimaa vakaasti -skenaarioissa.

Skenaarioissa vaihteluväli on noin 40–60 TWh vuonna 2040, mikä edustaa 20–75 % kasvua verrattuna vuoden 2024 tasoon. Tämä teollisen kulutuksen kasvu perustuu prosessien sähköistämiseen nykyisessä metalli- ja kemianteollisuudessa ja uusiin teollisiin hankkeisiin. Lisäksi sähkökattiloiden käyttöä lisätään korvaamaan merkittävissä määrin muita polttoaineita teollisuuden tarvitseman lämmön ja höyryn tuotannossa.

Maltillisemman kulutuskasvun skenaarioissa kehitys rajoittuu Suomessa nykyisin toimivan teollisuuden sähköistämiseen, kun taas voimakkaamman kulutuskasvun skenaarioissa on huomioitu myös suunnitteilla olevia greenfield- eli uudishankkeita. Teollisuuden sähkökattiloiden kehitys on voimakkaampaa joustavan kulutuskasvun skenaarioissa.

### Lämmitys

Skenaarioissa on vaihdeltu oletuksia sähkön käytöstä kaukolämmön tuotannossa. Joustavamman kulutuksen Vedystä valtavirtaa ja Notkeaa kehitystä -skenaarioissa sähkökattiloiden määrä on suurempi. Vastaavasti pääosin joustamattoman kulutuksen Sähköä dataksi ja Voimaa vakaasti -skenaarioissa muiden lämmitysmuotojen, kuten ydinkaukolämmön ja CHP:n rooli korostuu. Kaukolämmön lämpöpumppujen rooli riippuu skenaariossa saatavilla olevien hukkalämpöjen määrästä, ja on sidoksissa datakeskusten ja vedyntuotannon sähkönkulutukseen. Kiinteistökohtaisen sähkölämmityksen oletukset ovat samat kaikissa skenaarioissa.

### Liikenne ja muu kulutus

Liikenteen sähkönkulutus kasvaa noin 7–8 TWh tasolle kaikissa skenaarioissa. Joustavamman kulutuksen Vedystä valtavirtaa ja Notkeaa kehitystä -skenaarioissa sähköautojen lataus on oletettu pääosin joustavaksi, ja lisäksi kaksisuuntaisen latauksen (ns. Vehicle-to-Grid tai Vehicle-to-Home, V2G/V2H) on oletettu olevan yleisesti käytössä. Tätä kautta sähköautoista saadaan merkittävää säätökykyä tasapainottamaan sähkön tuotantoa ja kulutusta. Maltillisemman kulutusjouston Sähköä dataksi ja Voimaa vakaasti -skenaarioissa sähköautojen lataus on oletettu pääosin joustamattomaksi eikä kaksisuuntaista latausta ole käytössä.

Muu sähkönkulutus on oletettu samalle tasolle kaikissa skenaarioissa, pois lukien verkko- ja varastohäviöiden vaikutus.

[14] Gasgrid kehittää aktiivisesti vedyn putkiyhteyshankkeita. Lisätietoa: https://gasgrid.fi/hankkeet

## 3.2 Sähkön tuotanto

Kuhunkin kulutusskenaarioon on sähkömarkkinamallinnusten[15] avulla mallinnettu sähköntuotanto- ja energiavarastorakenne, joka mahdollistaa kulutuksen kattamisen markkinaehtoisesti ja tehokkaasti.

Tuotantorakenteen muodostumiseen vaikuttavista tekijöistä tärkeimpiä on mukautettu osana skenaariorakennusta:

1. **Sähköä dataksi** -skenaariossa on oletettu laajamittaisen maatuuli- ja aurinkovoiman rakentamisen käynnistyminen Itä-Suomessa, mikä kasvattaa tuuli- ja aurinkovoiman rakentamispotentiaalia ja mahdollistaa paremman maantieteellisen hajautuksen. Lisäksi on oletettu SMR-ydinvoiman kaupallistuvan CHP-tuotannossa sekä uutta pumppuvoimaa Pohjois-Suomeen.
2. **Voimaa vakaasti-** ja **Notkeaa kehitystä** -skenaariossa on rajoitettu maatuulivoiman rakentamismahdollisuuksia muita skenaarioita selvästi matalammalle tasolle.
3. **Voimaa vakaasti** -skenaariossa on oletettu perinteistä ydinvoimaa rakennettavan ydinvoimatuen avulla.

## 3.3 Sähkön rajasiirtoyhteydet

Sähkön rajasiirtoyhteyksien osalta kaikissa skenaarioissa on tehty toistaiseksi samat lähtöoletukset perustuen meneillä oleviin rajasiirtoyhteyshankkeisiin Fingridin ja Suomen naapurimaiden kantaverkkoyhtiöiden välillä. Visiotyössä voimme myös mahdollisesti tarkastella eri hankevaihtoehtoja ja erilaisia ratkaisuja, kuten hybridiyhteyksiä.

**Taulukko 16** Oletukset Suomen sähkön rajasiirtokapasiteetista skenaarioissa

| **Kapasiteetti (GW)** | **2040** |
|---|---|
| Pohjois-Ruotsi (SE1) | 2,8 |
| Keski-Ruotsi (SE3) | 1,6 |
| Viro (EE) | 1,7 |
| Pohjois-Norja (NO4) | 0,2 |
| **Yhteensä** | **6,3** |

Vaihtosähköyhteyksistä Pohjois-Ruotsin ja Suomen välille rakennetaan Aurora Line 1 ja Aurora Line 2 -siirtoyhteydet. Aurora Line 1 on määrä valmistua vuoden 2026 alkuun mennessä ja Aurora Line 2 on suunnitteilla rakennettavaksi 2030-luvun alkupuolella. Aurora Line 2 on oletettu yksöisjohdoksi.

Tasasähköyhteyksistä Etelä-Ruotsin ja Suomen välinen Fenno-Skan 1 -siirtoyhteys on oletettu korvattavan suuremmalla Fenno-Skan 3 -siirtoyhteydellä. Lisäksi Viron ja Suomen välille on oletettu rakennettavan uusi Estlink 3 -siirtoyhteys. Pohjois-Norjan ja Suomen välille on oletettu nykyisen vaihtosähköyhteyden muuttaminen 150 MW tasasähköyhteydeksi.

## 3.4 Ympäröivä maailma

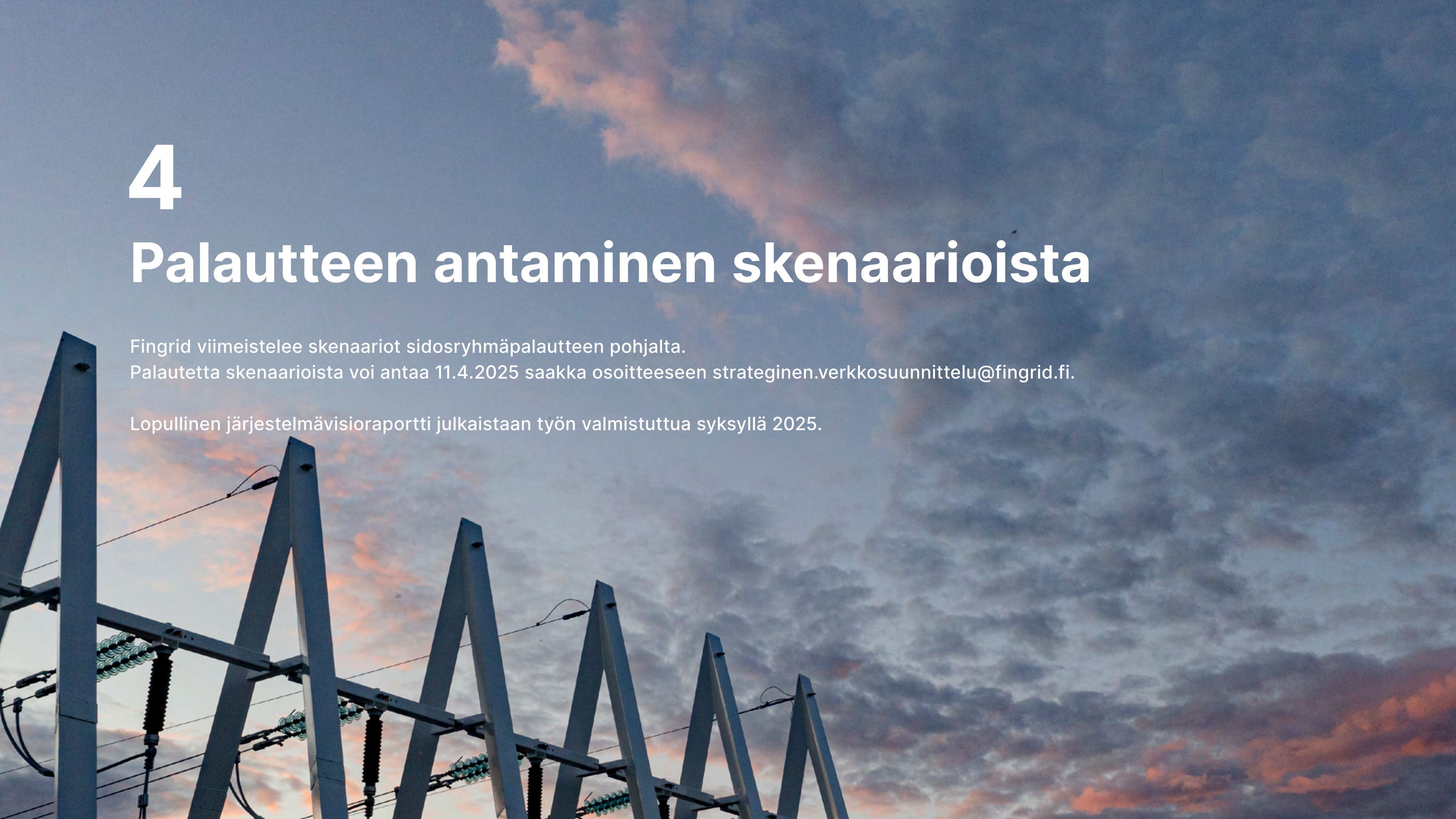
Ympäröivän maailman osalta lähtötietoina on hyödynnetty soveltuvin osin ENTSO-E:n ja ENTSOG:n Ten Year Network Development Plan (TYNDP) -skenaariotyössä tehtyjä yhteiseurooppalaisia skenaarioita ja Itämeren alueen kantaverkkoyhtiöiltä saatuja tarkempia tietoja. Näitä tietoja on skenaariossa muokattu siten, että oletukset muulle Euroopalle ovat johdonmukaisia Fingridin Suomelle luomien skenaarioiden oletusten kanssa. Muun Euroopan kuvaus on ollut kaikissa skenaarioissa samankaltainen. Keskeisimpänä erona Voimaa vakaasti -skenaariossa on oletettu ydinvoiman lisärakentaminen Ruotsissa tukimekanismien mahdollistamana.

[15] Fingrid käyttää AFRY:n kehittämää kaupallista BID3-sähkömarkkinamallia skenaarioiden rakentamisessa ja mallintamisessa mm. verkon suunnittelua varten.

# 4
# Palautteen antaminen skenaarioista

Fingrid viimeistelee skenaariot sidosryhmäpalautteen pohjalta.
Palautetta skenaarioista voi antaa 11.4.2025 saakka osoitteeseen strateginen.verkkosuunnittelu@fingrid.fi.

Lopullinen järjestelmävisioraportti julkaistaan työn valmistuttua syksyllä 2025.



# Liite A

## Laskelmissa käytetyt pääoma- ja käyttökustannukset sekä hyödykehinnat

Skenaarioiden rakennuksessa on hyödynnetty sähkömarkkinamallinnuksia, joiden avulla on optimoitu kuhunkin kulutusskenaarioon sopiva tuotantorakenne. Mallinnuksessa käytetyt pääomakustannukset ja kiinteät käyttökustannukset (opex) on eritelty taulukossa.

**Taulukko 17** Skenaarioissa käytetyt kustannusoletukset vuonna 2040

| | CAPEX | Kiinteä OPEX | Rakennusaika | Käyttöikä | Muuttuva OPEX | Tasoitettu tuotantokustannus (LCOE) | Lähde |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | EUR/kWe | EUR/kW/a | vuotta | vuotta | EUR/MWh | EUR/MWh | |
| Maatuulivoima | 999 | 26 | 2 | 30 | 2 | 32 | [1]* |
| Merituulivoima | 2141 | 38 | 4 | 30 | 3 | 49 | [1]* |
| Aurinkovoima | 320 | 14 | 1 | 40 | 1 | 36 | [1]* |
| Ydinvoima | 10107 | 141 | 10 | 40 | 9 | 139 | [2] |
| Huippuvoima** | 452 | 9 | 1 | 25 | 450 | | [1] |
| Akkuvarasto | 106 EUR/kW + 100 EUR/kWh | 1 | 1 | 30 | | | [1] |
| Elektrolyyseri (PEM) | 568 | 10 | 2 | 25 | | | [1] |
| Vetyvarasto | 577*** | 12 | 2 | 30 | | | [3]*** |

**Taulukon viitteet**

[1] ENS.dk technology catalogue. https://ens.dk/en/analyses-and-statistics/technology-catalogues

[2] NVE Kostnader for kraftproduksjon https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/kostnader-for-kraftproduksjon/

[3] Energian siirtoverkot vetytalouden ja puhtaan energiajärjestelmän mahdollistajina. https://gasgrid.fi/wp-content/uploads/Energian-siirtoverkot-vetytalouden-ja-puhtaan-energiajarjestelman-mahdollistajina-Loppuraportti.pdf

*ENS.dk:n kustannusmallia on muokattu huomioimaan Suomen maanvuokra- ja kiinteistöverotasot

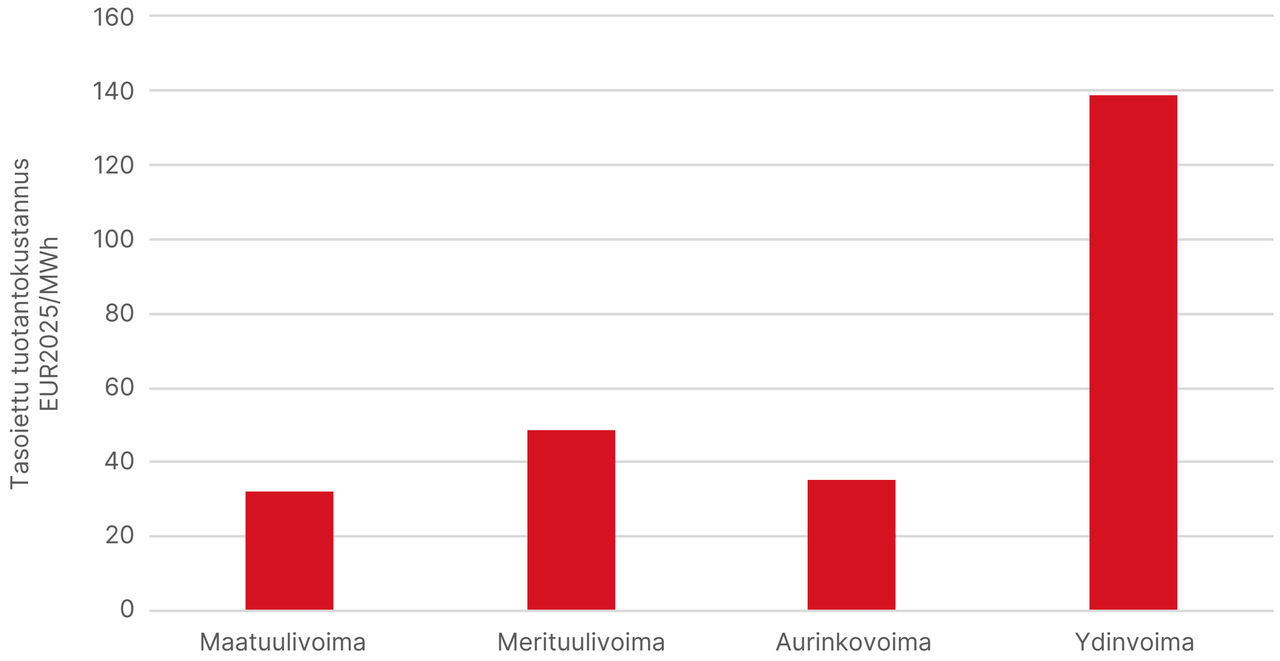
**Huippuvoimalan polttoaineeksi on oletettu sähköpolttoaine hinnalla 180 EUR/MWh ja 40% hyötysuhteella

***Vetyvarastona on käytetty 168 MWh/MW kalliokiviluolavarastoa. Fingridin ja Gasgridin yhteisselvityksessä käytettyä vetyvaraston kustannustasoa on tässä työssä skaalattu ylöspäin samassa suhteessa elektrolyyserien kustannusmuutoksen kanssa. Vetyvaraston kustannus on ilmoitettu vedyn ottotehon (kWH2) suhteessa.

Tuotantomuotojen tasoitetun tuotantokustannuksen vertailu on esitetty vieressä olevassa kuvassa. Kaikki kustannukset ovat nykyrahassa, eli vuosien 2025–2040 välistä inflaatiota ei huomioida. Tasoitetun tuotantokustannuksen laskennassa on käytetty 6 % reaalista pääoman tuottovaadetta.

Simuloinneissa käytetyt hyödykehinnat perustuvat ENTSO-E:n TYNDP-skenaarioihin. Päästöoikeuden hintana on käytetty 169 euroa tonnilta CO2, maakaasun hintana 29,40 EUR/MWh ja kivihiilen hintana 6,60 EUR/MWh.[16] Kaikki hyödykehinnat ovat reaalisia.

**Kuva 6** Tasoitettu tuotantokustannus (LCOE) eri tuotantomuodoilla vuonna 2040




[16] Lähde: ENTSO-E. Lähtöaineiston EUR2021 muunnettu nykyrahaksi.
https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/clean-documents/sdc-documents/ERAA/2023/ERAA%202023%20Fuel%20and%20Carbon%20Pric%20Trajectory.pptx

# Fingrid välittää.
# Varmasti.

**Fingrid Oyj**
Läkkisepäntie 21, 00620 Helsinki
PL 530, 00101 Helsinki
Puhelin 030 395 5000

FINGRID