

VN TEAS

Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään

Tulosten julkistamiswebinaari

29. TAMMIKUUTA 2021

Sisältö

1. Selvityksen tausta ja tavoitteet
2. Skenaariot
3. Vaikutusten arviointi
4. Johtopäätökset

Työn loppuraportti on ladattavissa Valtioneuvoston julkaisuarkistosta osoitteessa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-029-5>

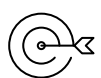


Selvityksen tausta ja tavoitteet

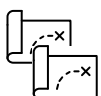
Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään

Sähköjärjestelmällä on keskeinen rooli hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamisessa – pystyykö sähköjärjestelmä mahdollistamaan tavoitteen?

HALLITUKSEN ENERGIA- JA ILMASTOPOLITIIKKA



Hiilineutraalisuus 2035 ja sen jälkeen hiilinegatiivisuus

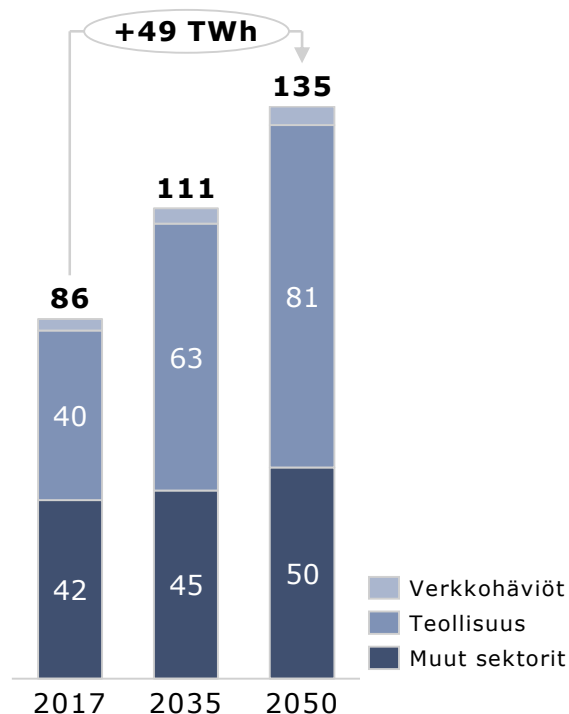


Sektorikohtaiset vähähiilitiekartat 2020



Politiikkatoimien suunnittelu 2021

SÄHKÖN KULUTUS KASVAA VOIMAKKAASTI



VAIKUTUKSET SÄHKÖJÄRJESTELMÄÄN ?



Tulevaisuuden tuotantomuodot



Joustavuus ja toimitusvarmuus



Hinnat ja hintavaihtelut



Vaikutukset sähköverkkoihin

Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään

- Miten tuotannon, kulutuksen ja tuonnin vuositaseet sekä etenkin lyhyemmän aikavälin kulutus- ja tuotantoprofiilit muuttuvat vuoteen 2040?
- Mitä eri toimialojen ja toimintojen sähköistyminen ja vaihtelevan uusiutuvan sähköntuotannon merkittävä lisääntyminen tarkoittaa sähköjärjestelmän ja sähkön toimitusvarmuuden kannalta?
- Miten sähkön hinta ja hinnanvaihtelu kehittyvät tarkasteluajanjakson aikana eri skenaarioissa?
- Miten kulutuksen ja tuotannon maantieteellinen sijainti muuttuu Suomessa ja mitkä ovat sen vaikutukset sähköjärjestelmän toimintaan eri skenaarioissa?
- Mitä keinoja on vastata joustavuuden tarpeen lisääntymiseen (esim. varastointi, kulutusjousto)?



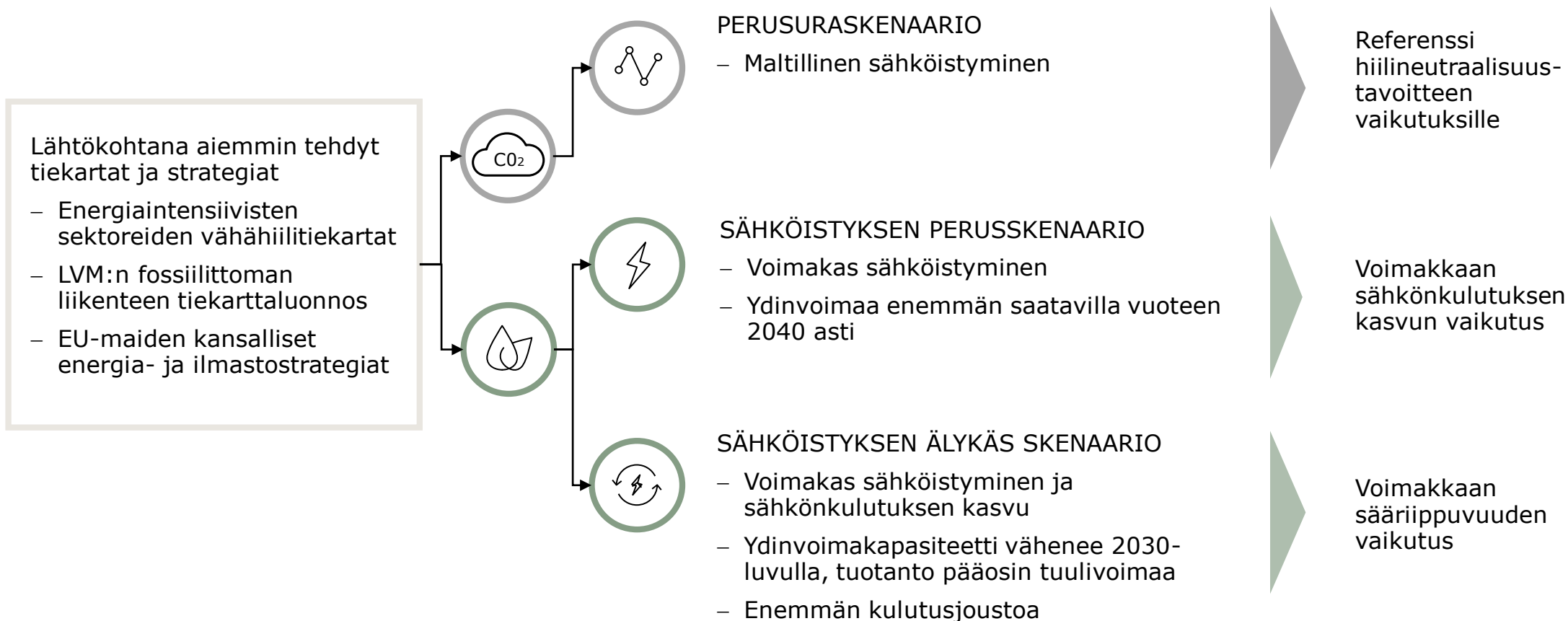
Selvitys perustui AFRYn sähkömarkkinamallinnukseen sekä määrällisiin ja laadullisiin analyysihin



Skenaariot

Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään

Skenaariot eroavat toisistaan joko kysynnän, tarjonnan tai kulutusjouston osalta siten, että eri ajureiden vaikutuksia voidaan tarkastella helposti



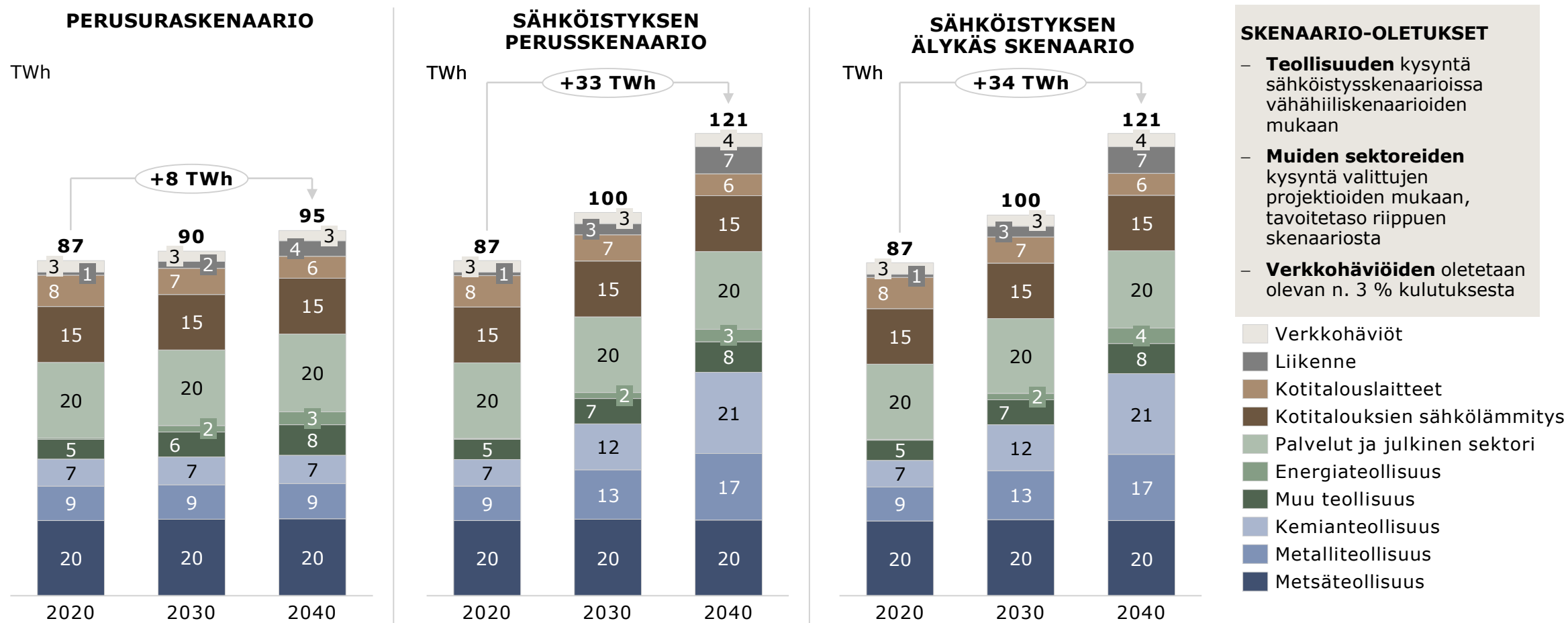
Huomio: Skenaariot eivät ole ennusteita todennäköisestä tulevasta kehityksestä, vaan tulevaisuudenpolkuja, jotka toteutuvat edellytysten ollessa kunnossa.

Skenaarioissa erot tulevat esiin erityisesti 2030-luvulla, jolloin sähköistyminen ja tuotantopaletin muutokset kiihtyvät

		 PERUSURASKENAARIO	 SÄHKÖISTYKSEN PERUSSKENAARIO	 SÄHKÖISTYKSEN ÄLYKÄS SKENAARIO
SÄHKÖN KYSYNTÄ	KULUTUS VUOSITASOLLA	 Maltillinen sähköistyminen	 Voimakas sähköistyminen	 Voimakas sähköistyminen
	KULUTUSJOUSTO	 Maltillinen jouston kasvu, lyhytkestoinen jousto	 Kohtuullinen jouston kasvu, lyhytkestoinen jousto	 Suurempi jouston kasvu, pidempikestoinen jousto
SÄHKÖN TARJONTA	YDINVOIMA	 OL3 ja HK1 2020-luvulla, LO1&2 poistuvat nyk. käyttölopun päätyttyä	 OL3 ja HK1 2020-luvulla, LO1&2 käyttölopun jatketaan	 OL3 ja HK1 2020-luvulla, LO1&2 poistuvat nyk. käyttölopun päätyttyä
	YHTEISTUOTANTO (CHP)	 CHP-kapasiteettia korvataan muilla tuotantomuodoilla	 Kaukolämpö-CHP vähenee maltillisemmin	 CHP-kapasiteettia korvataan muilla tuotantomuodoilla
	TUULI- JA AURINKOVOIMA	 Maltillinen kehitys, vastaa kysyntään ja korvaa muuta tuotantoa	 Erityisesti maatuulivoiman kasvu vastaamaan kasvaneeseen kysyntään	 Erityisesti tuulivoiman kasvu, vastaa kysyntään ja korvaa muuta tuotantoa
	SIIRTOKAPASITEETTI	 Ilmoitetut raja-siirtoyhteydet	 Ilmoitetut raja-siirtoyhteydet	 Ilmoitetut raja-siirtoyhteydet

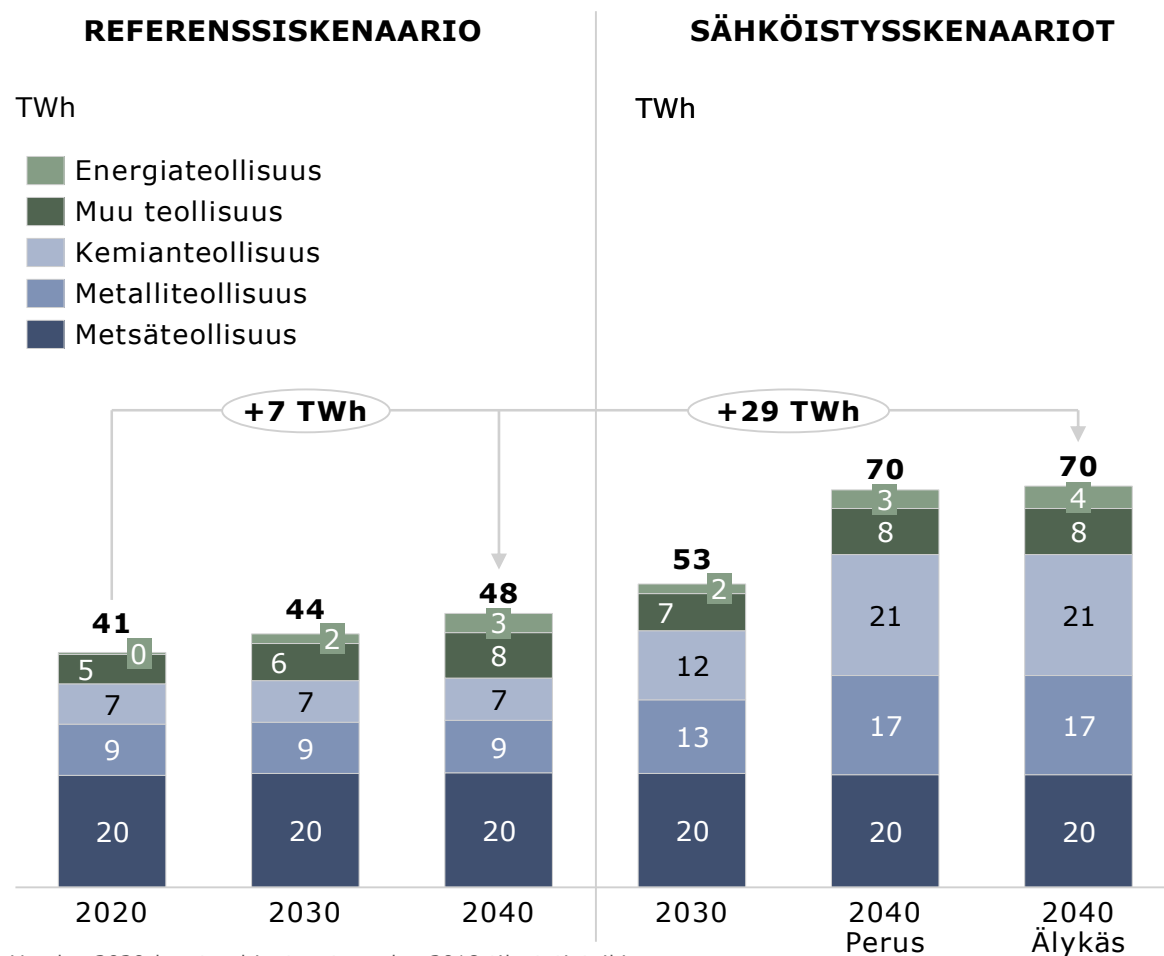
Huomio: Skenaariot eivät ole ennusteita todennäköisestä tulevasta kehityksestä, vaan tulevaisuudenpolkuja, jotka toteutuvat edellytysten ollessa suotuisat.

Kysynnän kehitys skenaarioissa – sähköistysskenaarioissa kysyntää nostaa etenkin teollisuuden sähköistyminen verrattuna perusuraskenaarioon



Vuoden 2020 luvut pohjautuvat vuoden 2018 tilastotietoihin. Skenaariot eivät ole ennusteita todennäköisestä tulevasta kehityksestä, vaan mahdollisia tulevaisuudenpolkuja.

Kysynnän kehitys teollisuudessa seuraa sähköistysskenaarioissa toimialojen vähähiilitiekarttoja – Power-to-X -teknologialla on merkittävä rooli



Vuoden 2020 luvut pohjautuvat vuoden 2018 tilastotietoihin

Energiateollisuus

- Teollisen kokoluokan lämpöpumput geotermisen lämmön ja hukkalämmön hyödyntämiseen:
+3 TWh 2030, +3-4 TWh 2040

Kemianteollisuus

- Lämmitysprosessien sähköistys:
+3 TWh 2030, +8 TWh 2040
- Power-to-X kemikaalien valmistuksessa:
+2 TWh 2030, +6 TWh 2040

Metalli- ja kaivosteollisuus

- Power-to-H2 teräksen valmistuksessa:
+4 TWh 2030, +8 TWh 2040

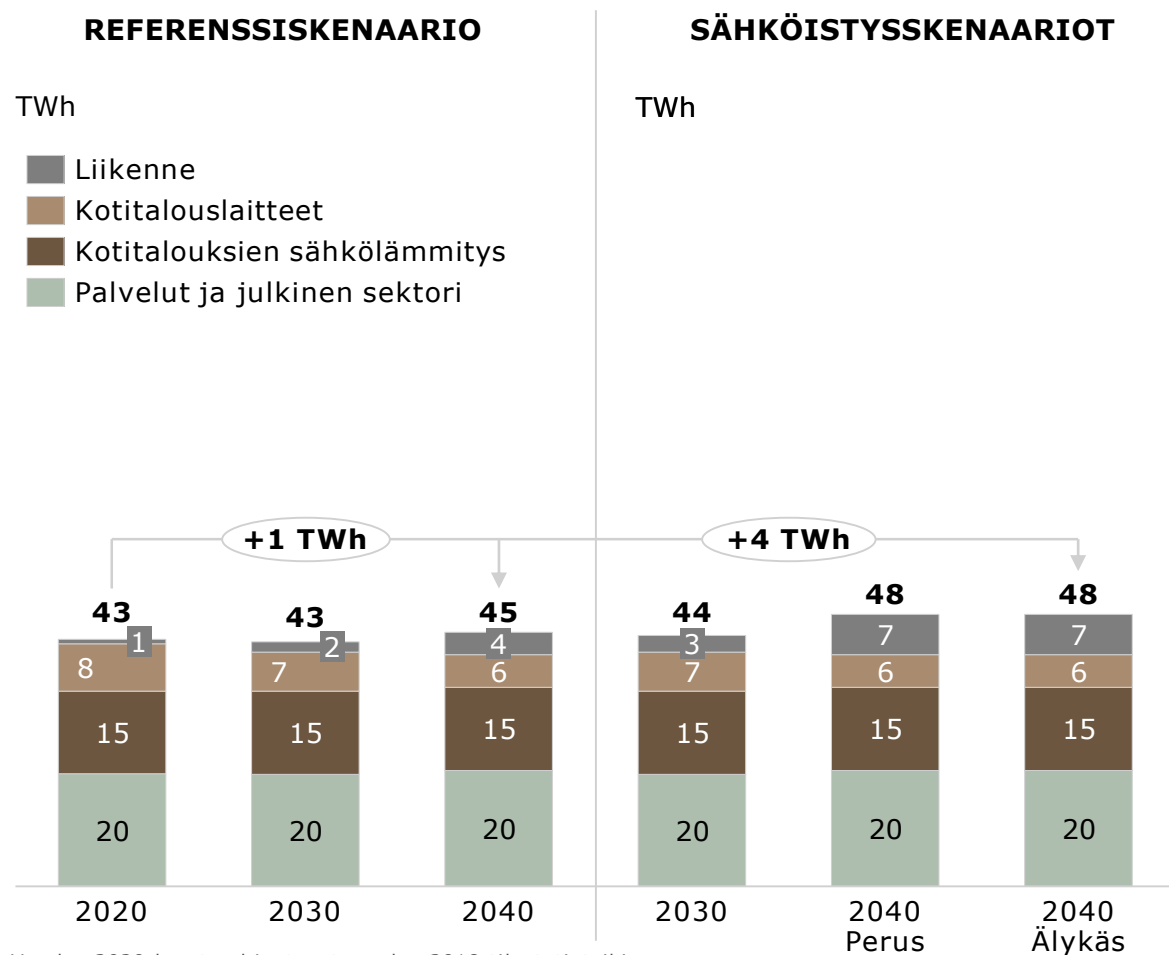
Metsäteollisuus

- Tuottavuus- ja energiatehokkuusparannukset kompensoivat tuotantomäärien kasvusta aiheutuvan kasvaneen sähkönkulutuksen

Muu teollisuus

- Datakeskusten sähkönkulutus:
+1 TWh 2030, +2 TWh 2040
- Muu sähkönkulutuksen kasvu muilta teollisilta sektoreilta

Muilla sektoreilla sähkön kysyntä kasvaa etenkin liikenteen sähköistyessä LVM:n fossiilittoman liikenteen tiekartan skenaarioiden mukaisesti



Vuoden 2020 luvut pohjautuvat vuoden 2018 tilastotietoihin

Liikenne

- Perusuraskenaario LVM:n WEM-skenaarion mukaisesti:
 - 350 000 sähköautoa vuonna v. 2030
 - 850 000 sähköautoa vuonna v. 2040
- Sähköistysskenaariot LVM:n WAM-skenaarion luonnoksen mukaisesti:
 - 700 000 sähköautoa v. 2030
 - 1 700 000 sähköautoa v. 2040

Kotitalouslaitteet

- Energiatehokkuus vähentää kulutusta n. 0,1 TWh/v

Kotitalouksien sähkölämmitys

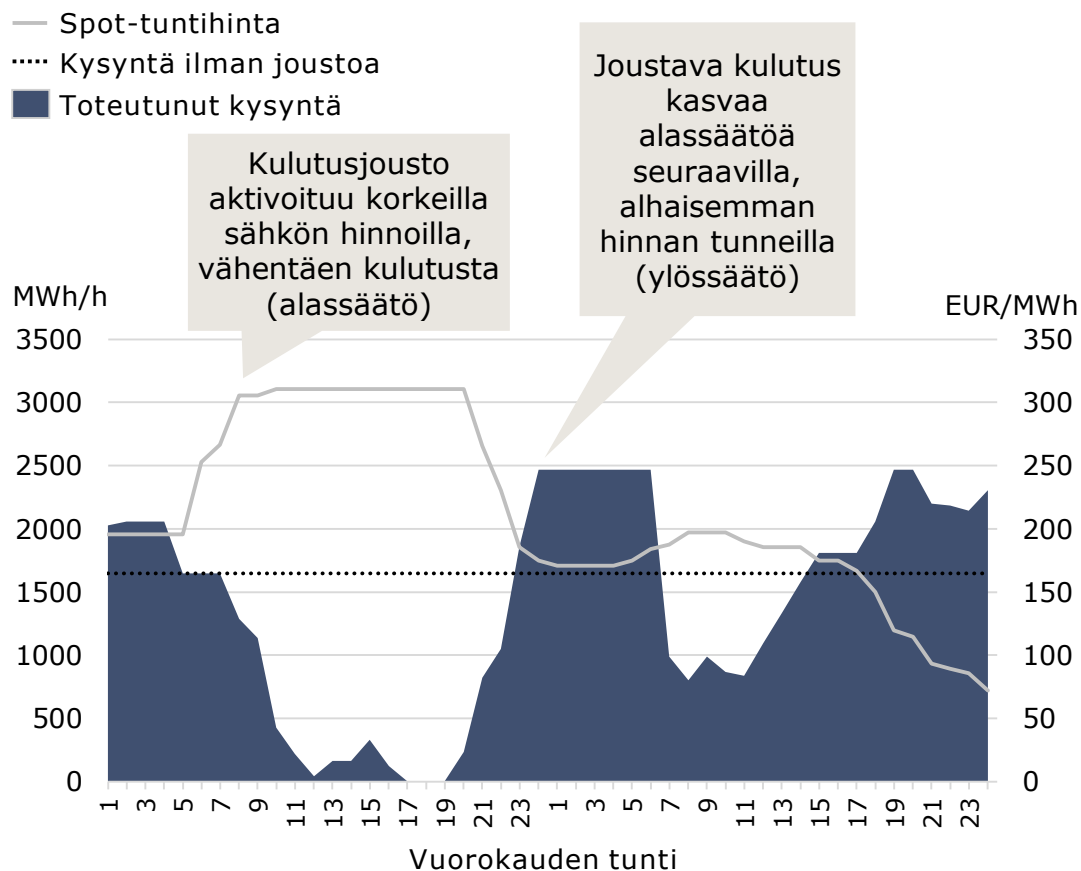
- Lämpöpumput korvaavat öljylämmitystä sekä osittain suoraa sähkölämmitystä ja kaukolämpöä
- Sähkönkulutus vuositasolla pysyy samana paremman tehokkuuden vuoksi, mutta tehopiikit kylminä aikoina kasvavat

Palvelut ja julkinen sektori

- Energiatehokkuuden paraneminen kompensoi kysynnän kasvun

Uuden kysynnän joustavuus nähdään tärkeänä elementtinä kysynnän ja tuotannon tasapainottamisessa säädettävän tuotannon vähentyessä

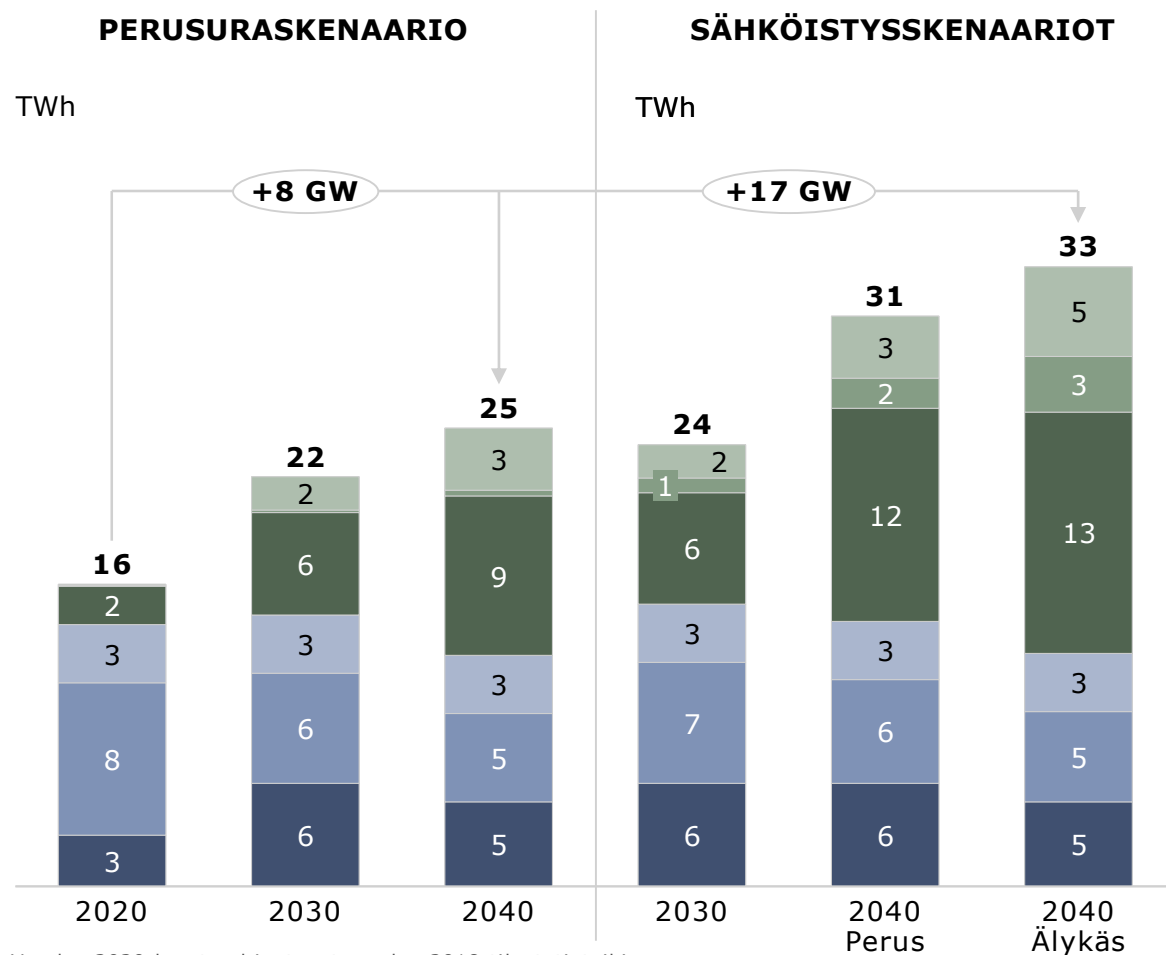
ESIMERKKI KULUTUSJOUSTON TOIMINNASTA



SKENAARIO-OLETUKSET

- Kulutusjouston pääasialliset lähteet skenaarioissa
 - Power-to-X prosessit
 - Muut teolliset prosessit, erityisesti lämmitysprosessit
 - Sähköautot
 - Sähkölämmitys (kaukolämpö ja kotitaloudet)
- Kulutusjouston kesto ja määrä lähteittäin vaihtelee
 - Esimerkiksi power-to-X kulutusjouston kesto 6-12h
 - Sähköistyksen älykkäässä skenaariossa oletettu enemmän panostuksia toimijoilta, jolloin esimerkiksi jouston kesto pidempi suurempien varastojen myötä
- Oletukset kulutusjoustosta perustuvat sidosryhmähaastatteluihin ja AFRYn asiantuntemukseen
 - Kehitys sisältää kuitenkin suuren epävarmuuden

Kaikissa skenaarioissa uusiutuvien, etenkin tuulivoiman, kapasiteetti kasvaa mittavasti ja lämpövoimakapasiteetti laskee vuoteen 2040 mennessä



Skenaario-oletukset

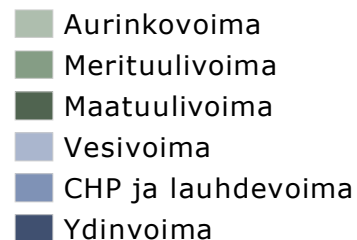
- Lähtötaso perustuu nykyiseen tuotantokapasiteettiin
- Kehitys perustuu arvioituihin kehityspolkuihin sekä tuotannon kannattavuuteen

Perusuraskenaario

- Lämpövoimakapasiteetti säilyy 2020-luvulla (ydinvoima kasvaa, yhteistuotanto vähenee), mutta laskee 2030-luvulla
- Uusiutuvien osuus kasvaa jatkuvasti, mutta ei yhtä suurta tarvetta uudelle kapasiteetille
 - Tuulivoimatuotanto kilpailukykyisin ja kasvaa eniten

Sähköistysskenaariot

- Lämpövoimakapasiteetti vähenee ja uusiutuvien osuus kasvaa
 - Korostetusti sähköistyksen älykkäässä skenaariossa
 - Sähköistyksen perusskenaariossa tukeudutaan ydinvoimaan jatkamalla nykyisten laitosten lupia

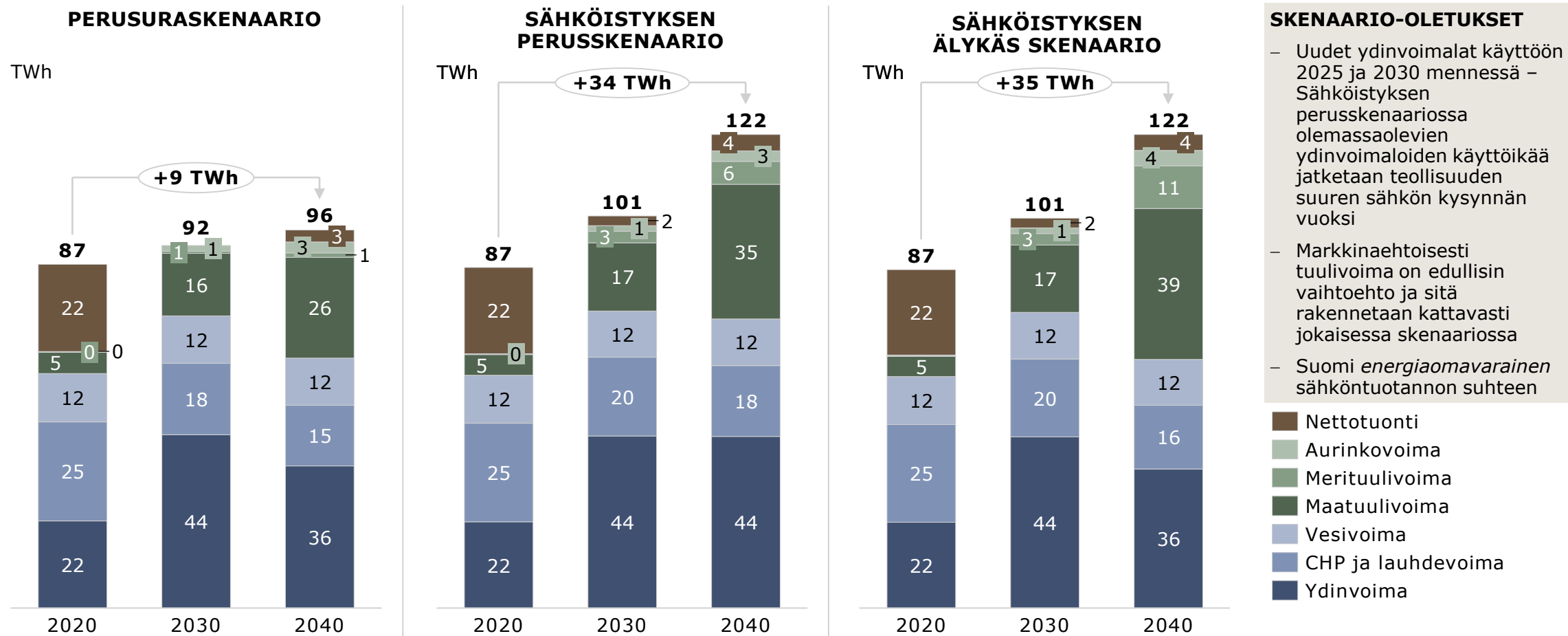


Vuoden 2020 luvut pohjautuvat vuoden 2018 tilastotietoihin

Vaikutusten arviointi

Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään

Molemmissa sähköistysskenaarioissa kasvavaan kysyntään vastataan ydin- ja tuulivoimalla, älykkäässä enemmän tuulivoimaa 2040 mennessä

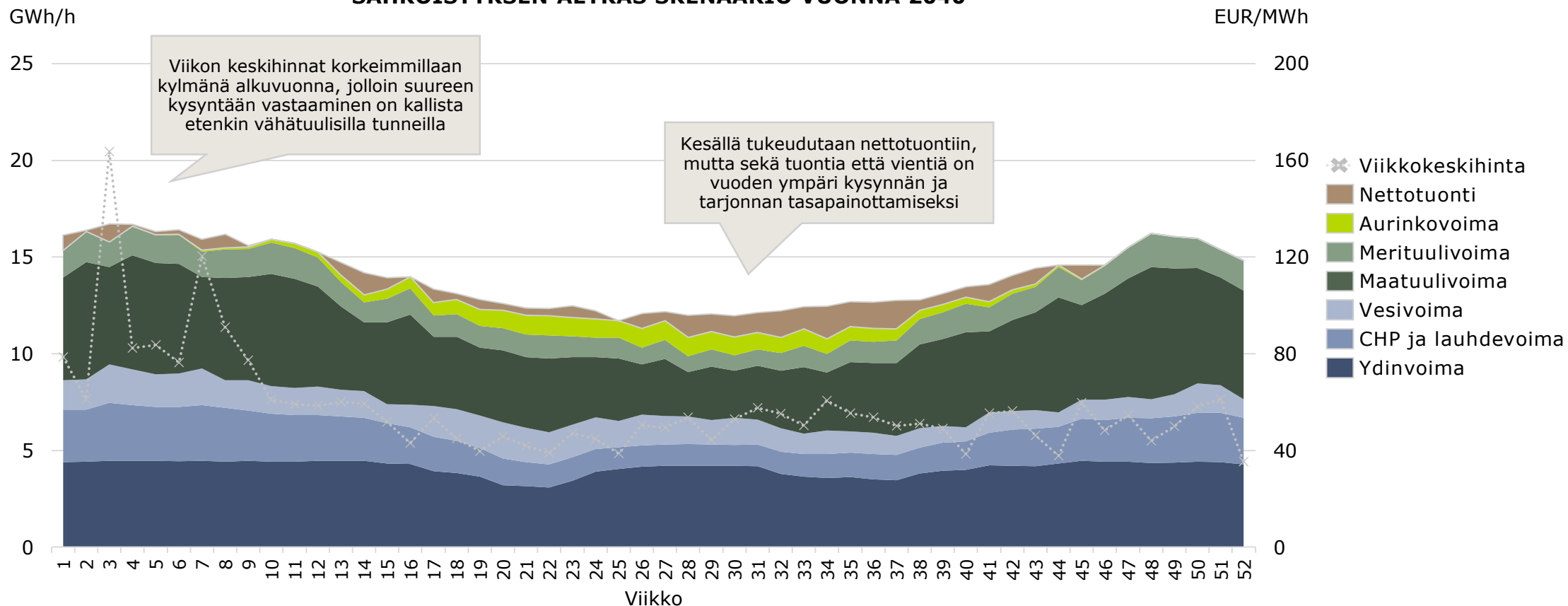


Vuoden 2020 luvut pohjautuvat vuoden 2018 tilastotietoihin. Skenaariot eivät ole ennusteita todennäköisestä tulevasta kehityksestä, vaan mahdollisia tulevaisuudenpolkuja.

Uusiutuvien tuotanto vaihtelee vuositasolla; talvella tuulivoiman tuotanto vastaa suureen kysyntään – kesällä tukeudutaan tuontiin

SÄHKÖN TUOTANTO JA HINTA VIIKKOTASOLLA KESKIMÄÄRÄISENÄ SÄÄVUONNA

SÄHKÖISTYKSEN ÄLYKÄS SKENAARIO VUONNA 2040

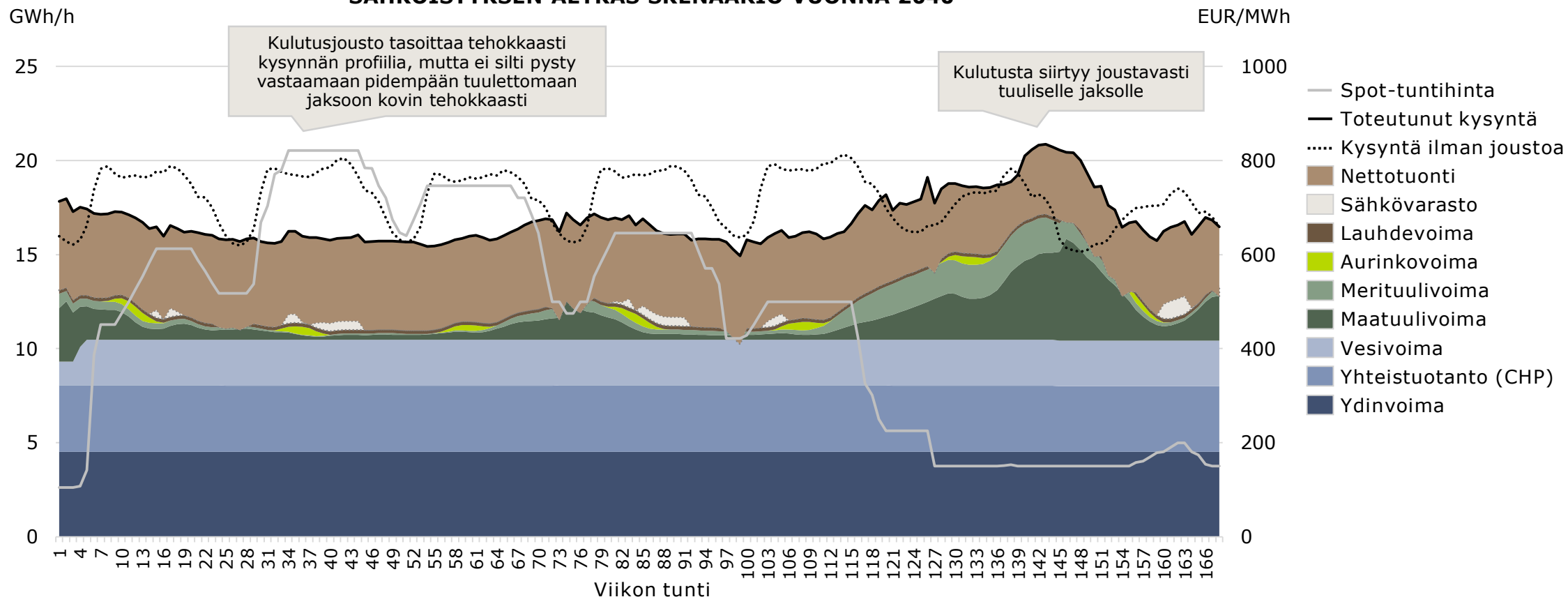


Yhden vuoden mallinnukseen on käytetty 20 "vesivuotta" (1999-2018) ja 10 "säävuotta" (2009-2018). Näiden keskiarvo kuvaa keskimääräistä säävuotta, ns. "normaalivuotta".

Kylmä viikko alhaisella tuulivoimatuotannolla aiheuttaa huomattavia hintapiikkejä sähköistysskenaariossa kulutusjoustosta huolimatta

SÄHKÖN KYSYNTÄ JA TUOTANTO KYLMÄNÄ JA TUULETTOMANA VIIKKONA

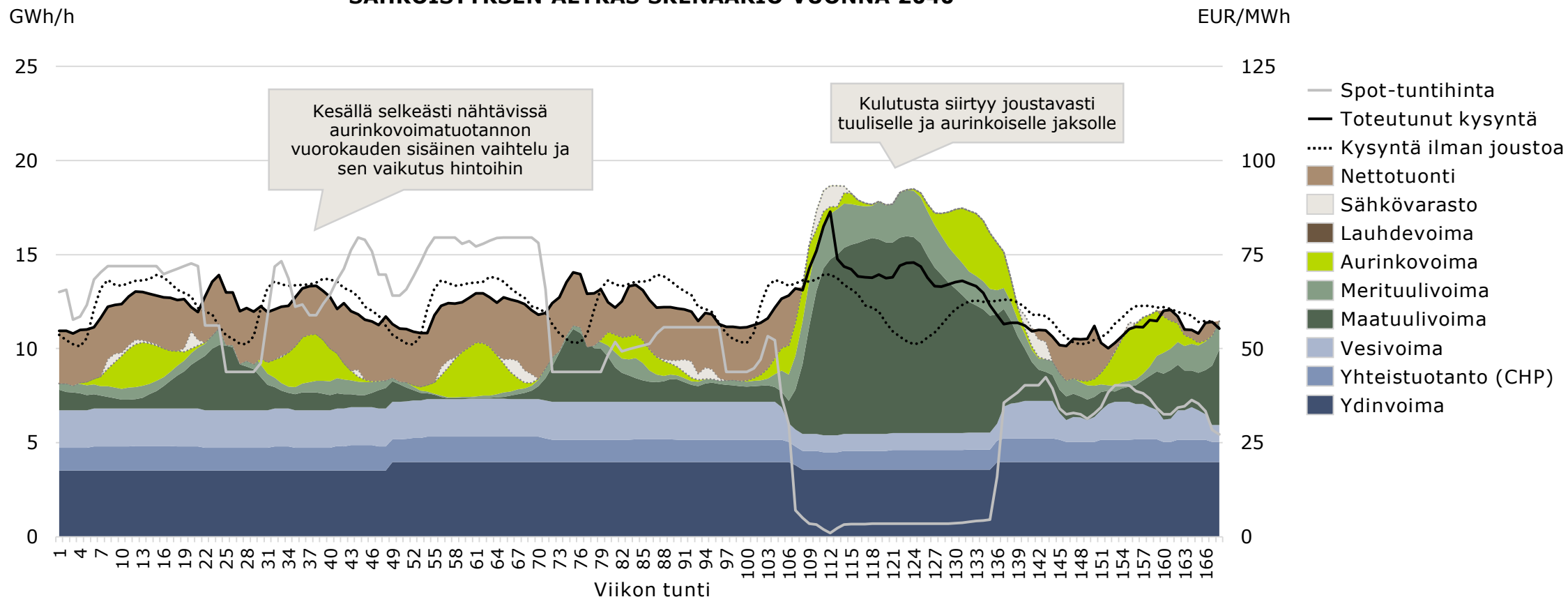
SÄHKÖISTYKSEN ÄLYKÄS SKENAARIO VUONNA 2040



Kesällä uusiutuva tuotanto puskee hintoja alas etenkin tuulisilla jaksoilla; uusiutuvan tuotannon vaihteluväli erittäin suuri myös kesällä

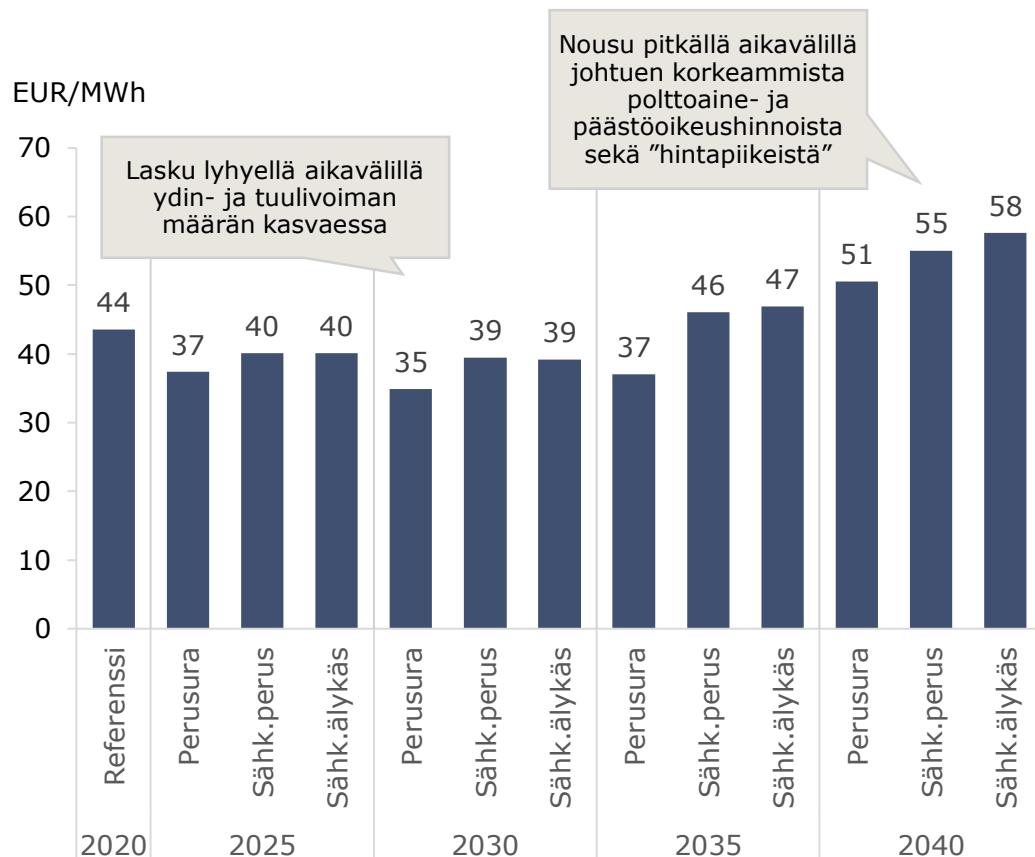
SÄHKÖN KYSYNTÄ JA TUOTANTO LÄMPIMÄNÄ VIIKKONA

SÄHKÖISTYKSEN ÄLYKÄS SKENAARIO VUONNA 2040

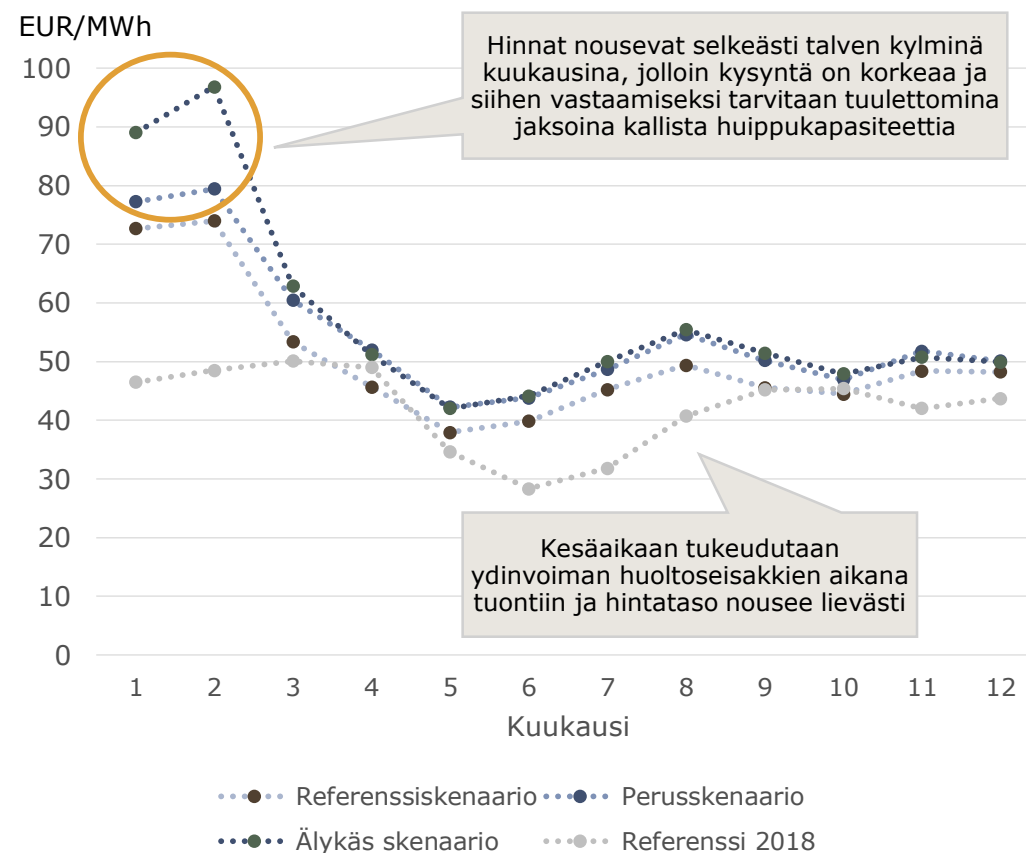


Sähköistysskenaarioissa sähkön hinta pysyy referenssiskenaariota korkeammalla, 2040 selvimmät erot sähköistysskenaarioiden välillä

SPOT-VUOSIKESKIMÄÄRÄ ERI SKENAARIOISSA 2025-2040



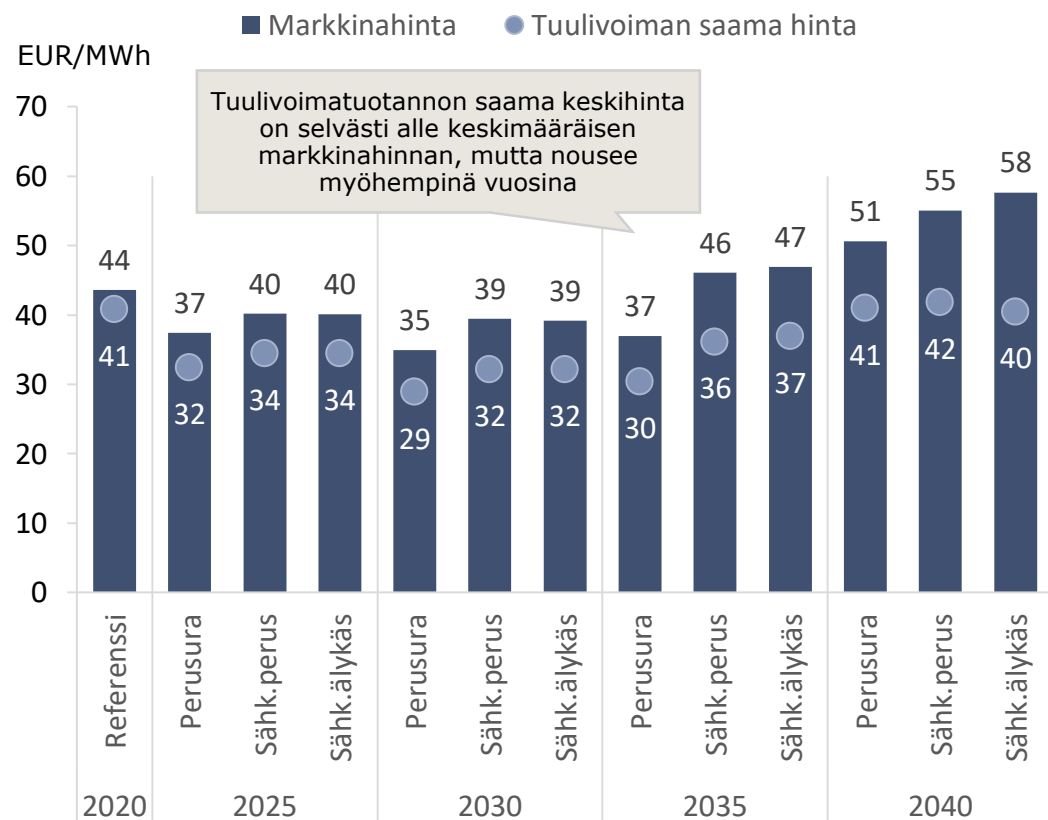
SPOT-KUUKAUSIKESKIMÄÄRÄ V. 2040 VRT. 2018 REFERENSSIIN



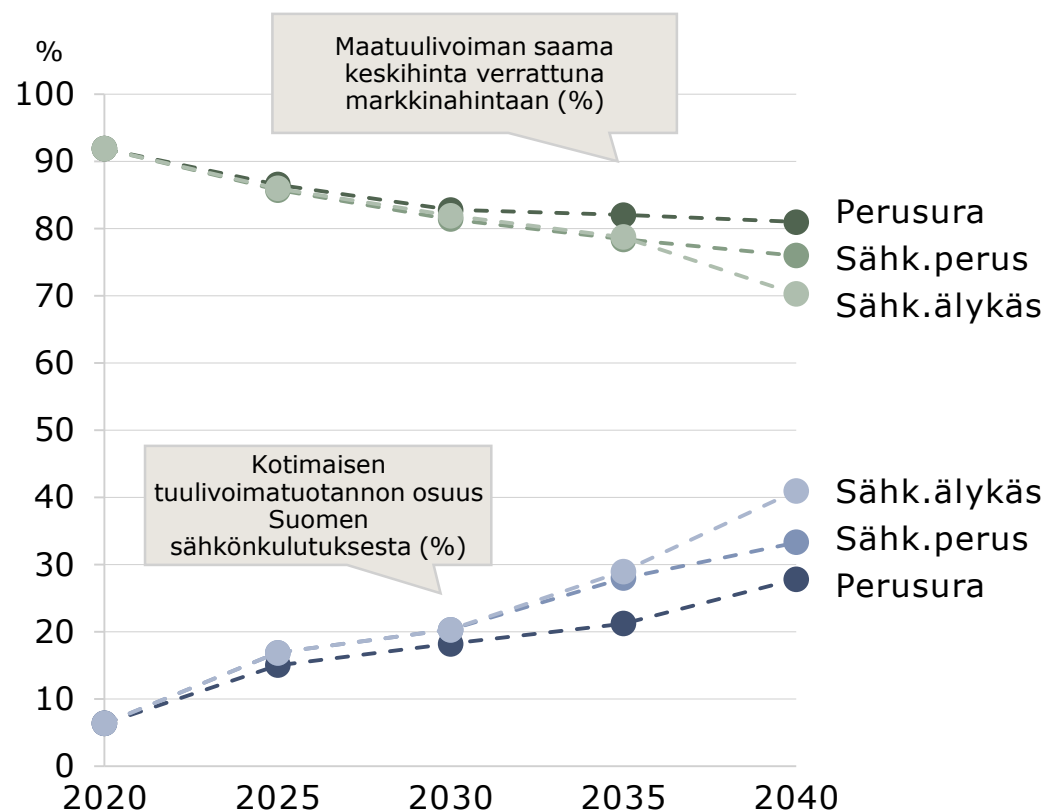
Yhden vuoden mallinnukseen on käytetty 20 "vesivuotta" (1999-2018) ja 10 "säävuotta" (2009-2018). Näiden keskiarvo kuvaa keskimääräistä säävuotta, ns. "normaalivuotta".

Tuulivoimatuotannon osuuden kasvaminen johtaa ”kannibalisaatioon”, jolloin tuulivoima saama hinta on selvästi markkinahintaa alhaisempi

MAATUULIVOIMAN SAAMA KESKIHINTA VERRATTUNA MARKKINAHINTAAN SKENAARIOISSA

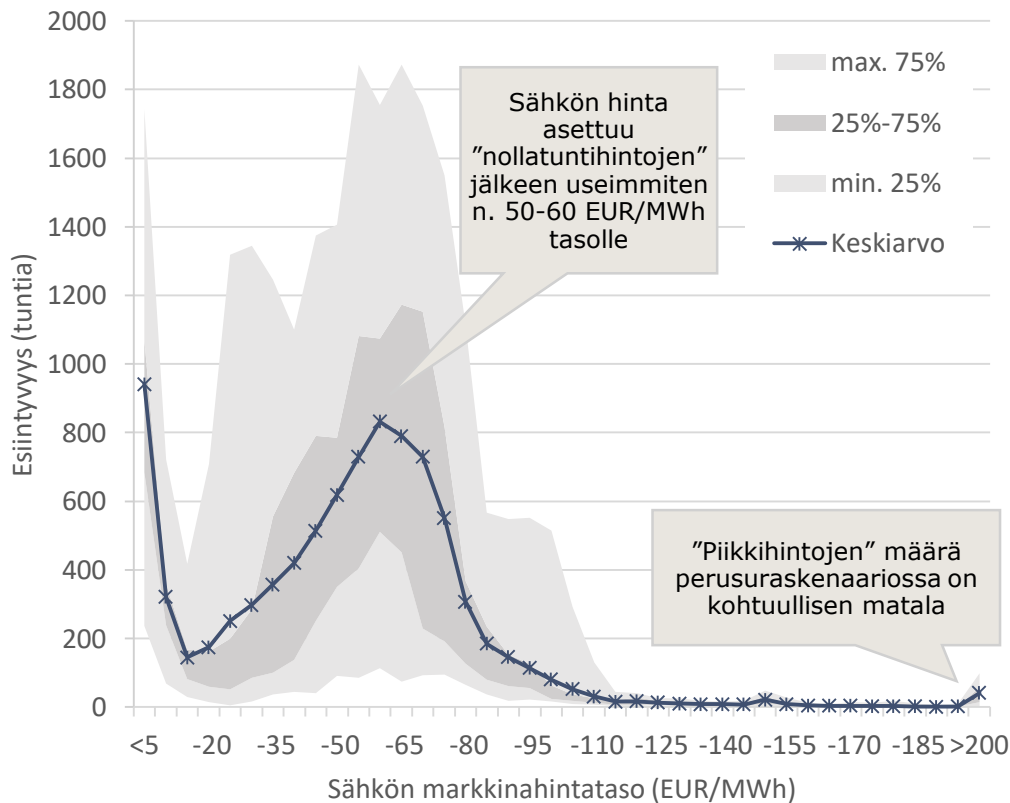


TUULIVOIMATUOTANNON OSUUDEN VAIKUTUS TUULIVOIMAN SAAMAAN MARKKINAHINTAAN

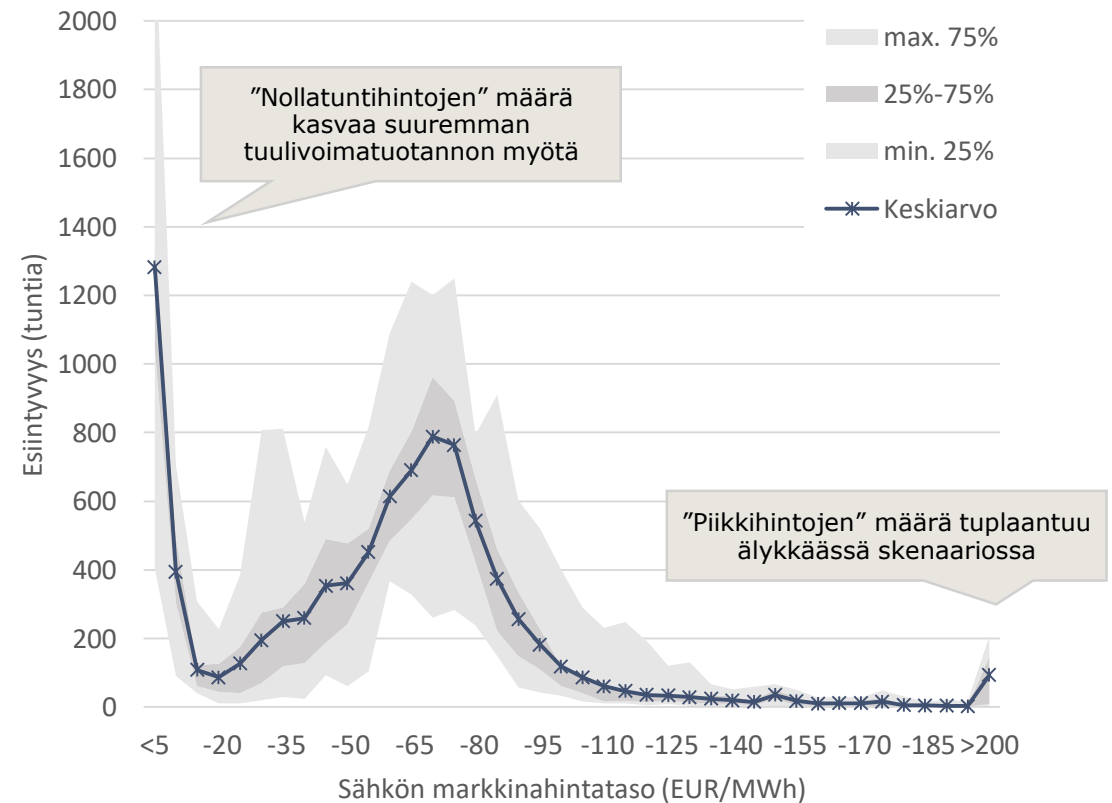


Sähkön hinnan vaihtelevuus on suurta vuonna 2040 kaikissa skenaarioissa – "nollatuntihinnat" ja "piikkihinnat" yleistyvät etenkin sähköistysskenaarioissa

SÄHKÖN HINTATASOJEN VAIHTELUVÄLI PERUSURASKENAARIOSSA 2040



SÄHKÖN HINTATASOJEN VAIHTELUVÄLI SÄHKÖISTYKSEN ÄLYKKÄÄSSÄ SKENAARIOSSA 2040



Yhden vuoden mallinnukseen on käytetty 20 "vesivuotta" (1999-2018) ja 10 "säävuotta" (2009-2018). Näiden keskiarvo kuvaa keskimääräistä säävuotta, ns. "normaalivuotta".

Kulutusjousto on toimijoille kannattavaa sekä keskeisessä roolissa kysynnän ja tarjonnan tasapainottamiseksi vaihtelevan tuotannon kasvaessa

Sähkön toimitusvarmuus pysyy eurooppalaisittain hyvällä tasolla, mutta tehopulan riski kasvaa sääriippuvuuden lisääntyessä

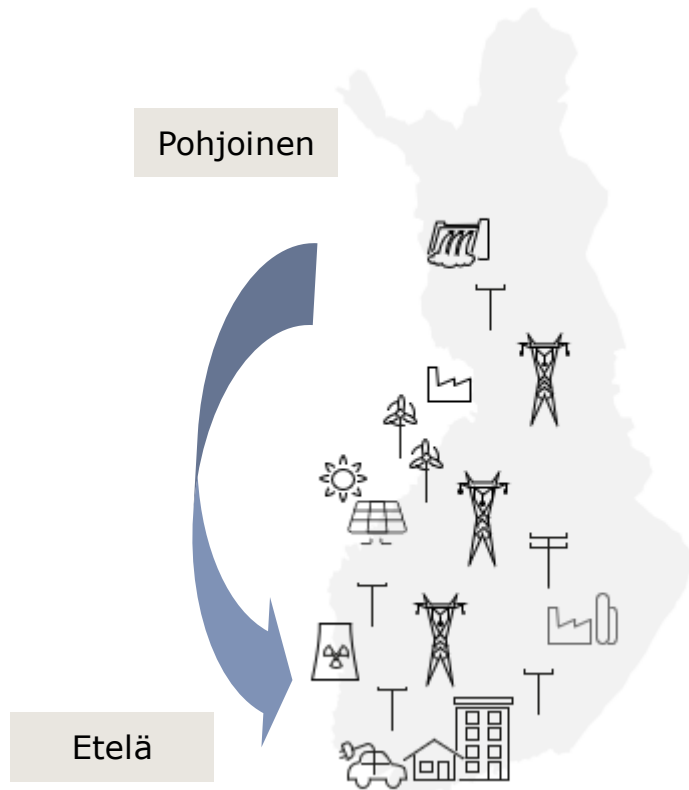
- Kulutusjousto on keskeisessä roolissa molemmissa sähköistysskenaarioissa sähkön toimitusvarmuuden varmistamiseksi
 - Etenkin älykkäässä sähköistysskenaariossa, koska siinä sään mukaan vaihtelevan tuotannon osuus kasvaa eniten – kulutusjousto helpottaa kysynnän ja vaihtelevan tuotannon tasapainottamista
 - Kulutusjousto tarkoittaa sekä sähkönkäytön vähentämistä kalliin hinnan aikana, että sähkönkulutuksen lisäämistä silloin, kun sähkö on edullista
- Kriittinen tekijä kulutusjouston kannalta on aikaskaala, eli kuinka pitkäksi ajanjaksoksi kulutusjousto pystyy vähentämään kulutusta ja siten kuinka pitkään jatkuvia matalamman sääriippuvaisen tuotannon jaksoja kulutusjoustolla pystytään tukemaan
 - Kulutusjoustoja tarvitaan useasta eri lähteestä ja useilla aikaskaaloilla
 - Selvityksessä toteutetussa sähkömarkkinamallinnuksessa ongelmallisimmiksi tulivat nimenomaan pitkät kylmät ja tuulettomat jaksot
- Teknologian ja markkinoiden kehityksen näkökulmasta kulutukselle tarvitaan kannustimia osallistua sähkömarkkinoille joustavasti sekä kehittää paremman kulutusjouston mahdollistavia ratkaisuja
 - Joustavasti toimimisesta on selkeitä taloudellisia hyötyjä kulutusjouston tarjoajille, etenkin mikäli joustavasti toimiminen ei tuota suuria kustannuksia

Alueelliset vaikutukset

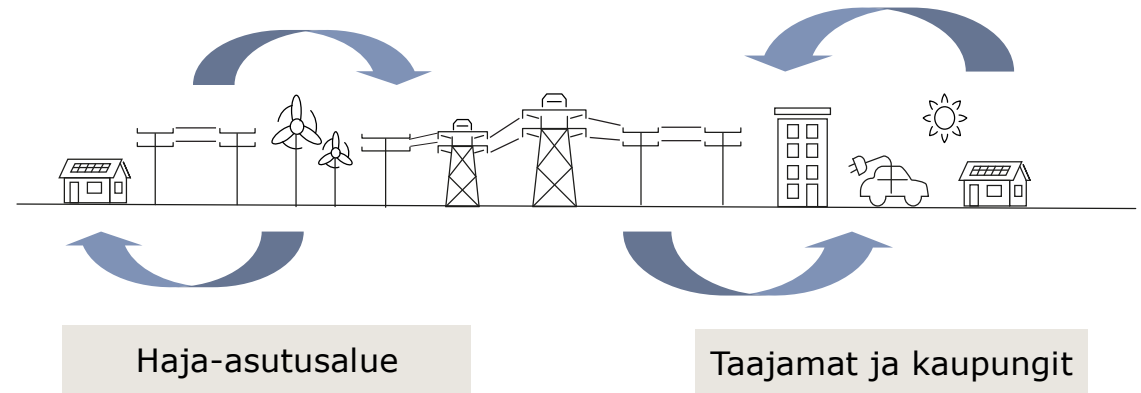
Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään

Kulutuksen ja tuotannon alueellinen jakautuminen vaikuttaa sähköverkkoihin

MAANTIETEELLINEN JAKAUTUMINEN SUOMESSA VAIKUTTAA SIIRTOTARPEISIIN JA KANTAVERKON KEHITYKSEEN

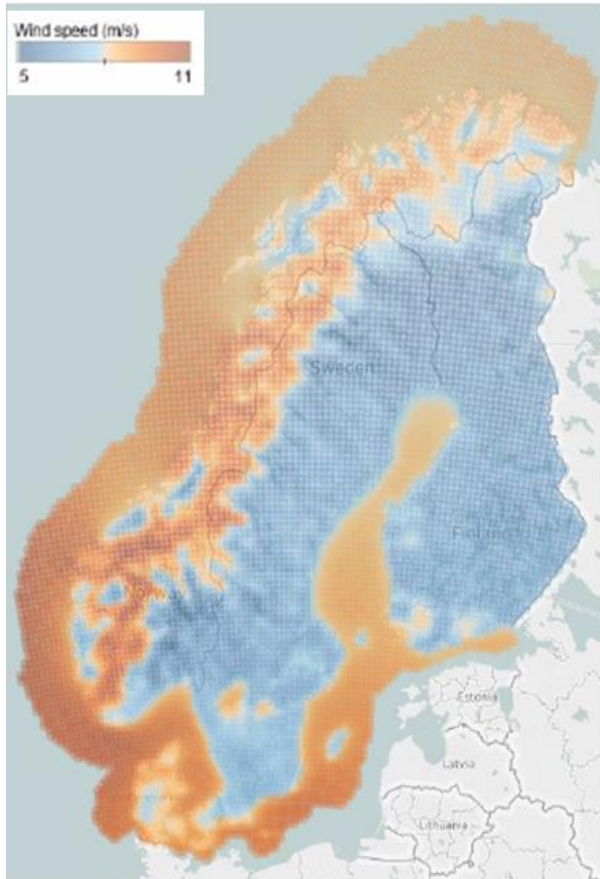


ALUELUOKITTAINEN JAKAUTUMINEN VAIKUTTAA JAKELUVERKKOIHIN JA NIIDEN KUORMITUKSIIN PAIKALLISESTI

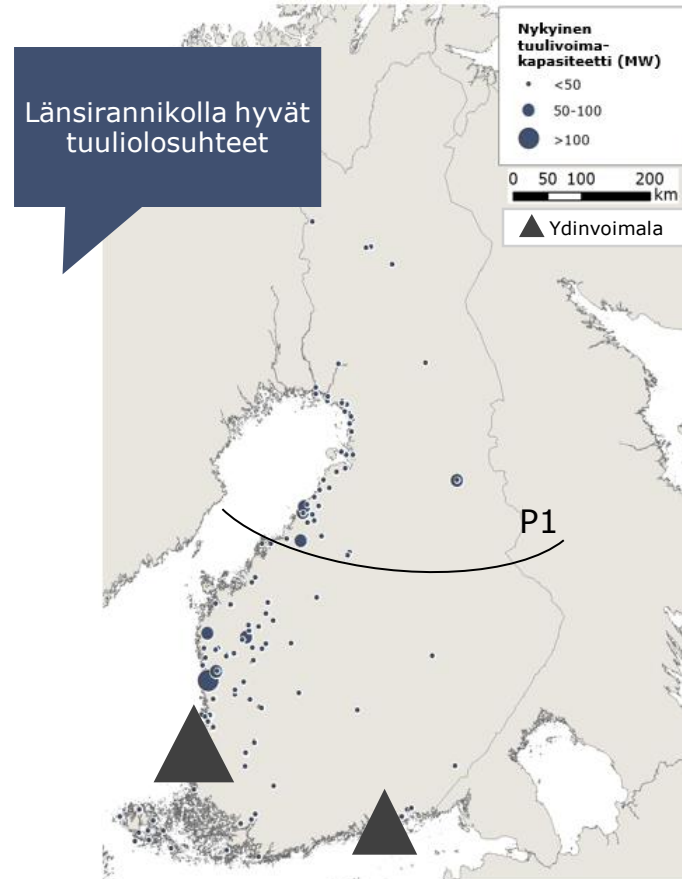


Ydin- ja tuulivoimatuotanto painottuu vahvasti länsirannikolle ja Suomen pohjoisosaan, mistä syntyy suuri siirtotarve kohti etelää

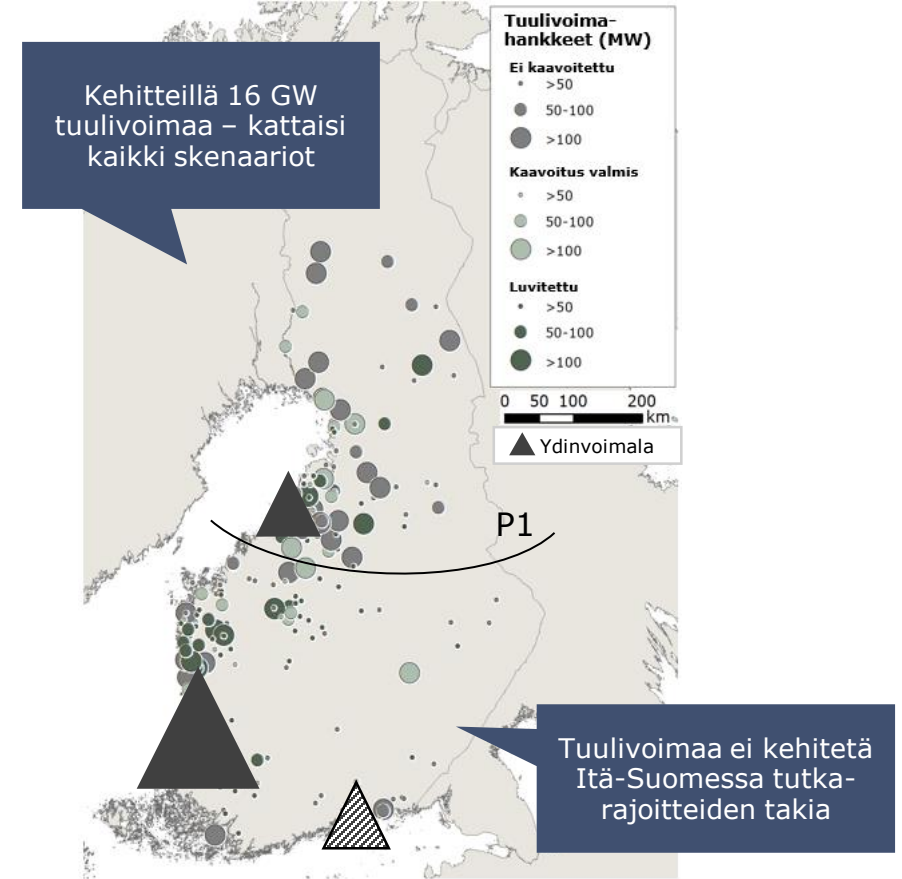
TUULIOLOSUHTEET



NYKYISET TUULI- JA YDINVOIMALAT



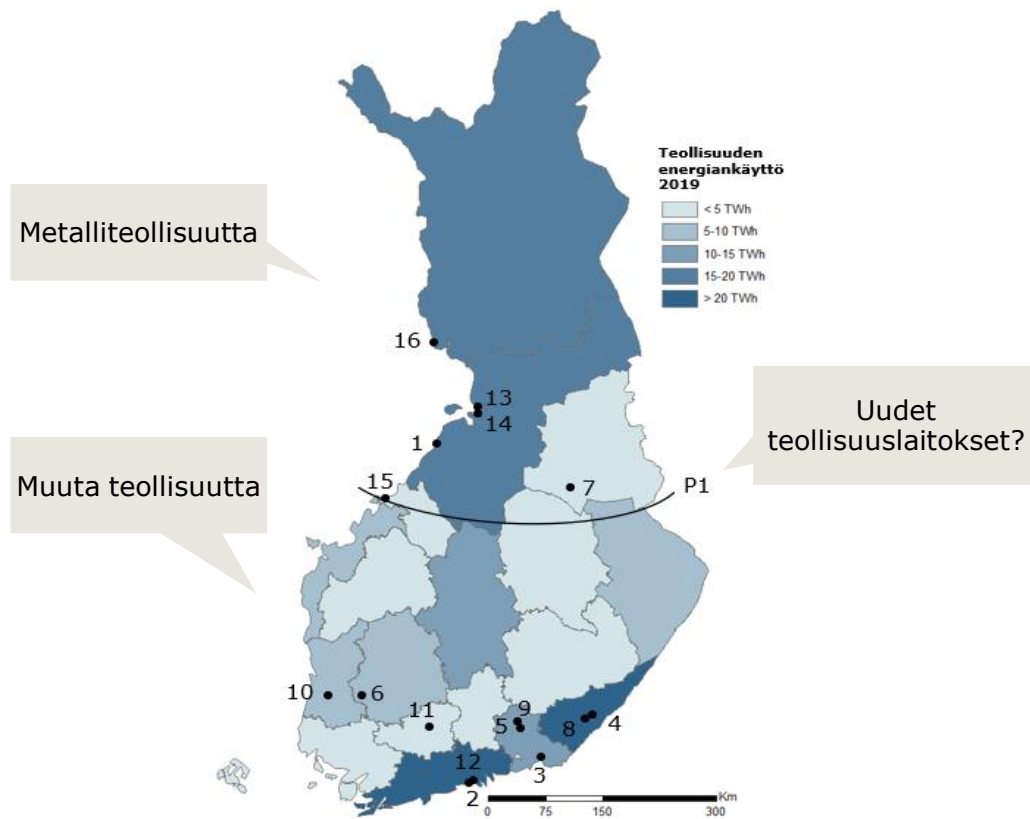
KEHITYSHANKKEET



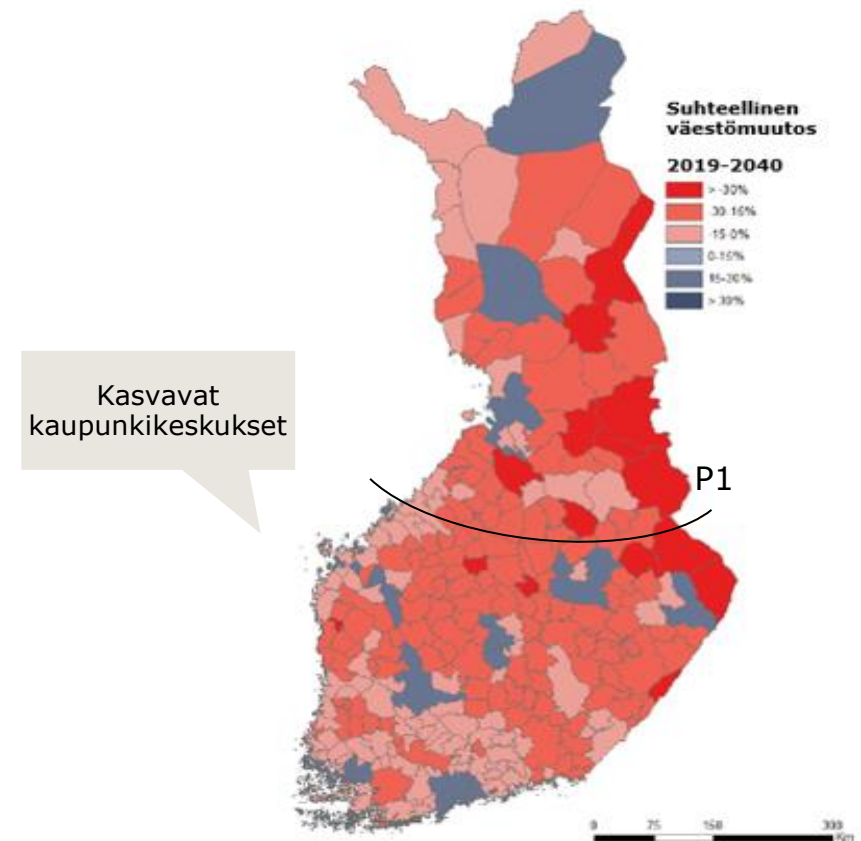
Lähde: AFRY, Suomen Tuulivoimayhdistys 2020, haastattelut

Sähkönkulutus tiivistyy kaupunkeihin ja teollisuusalueisiin – kulutuksen pääpaino Etelä-Suomessa pohjoisen metalliteollisuutta lukuun ottamatta

TEOLLISUUDEN ENERGIANKÄYTTÖ



LÄMMITYKSEN JA LIIKENTEN KEHITYS



Lähde: Tilastokeskus, Business Finland

Kaupungistuminen vaikuttaa lämmityksen ja liikenteen sähköistymiseen taajamien ja haja-asutusalueiden välillä – haasteet pääosin paikallisia

MUUTOS		HAJA-ASUTUSALUE	TAAJAMA- JA KAUPUNKIALUE
	LIIKENTEEN SÄHKÖISTYMINEN	 Ei merkittävää vaikutusta – verkko mitoitettu vahvaksi jännite- ja vikavirtavaatimusten takia	 Tietyt kaukolämmitetyt alueet mahdollisesti haastavia ja liittymäkoot voivat rajoittaa Julkinen liikenne ei haaste – erillisratkaisut
	LÄMMITYKSEN SÄHKÖISTYMINEN	 Ei merkittävää vaikutusta – verkko mitoitettu vahvaksi jännite- ja vikavirtavaatimusten takia	 CHP:n korvaaminen muilla lämmitysmuodoilla voi aiheuttaa tarvetta verkkovahvistuksille
	TEOLLISUUDEN SÄHKÖISTYMINEN	 Ei merkittäviä haasteita jakeluverkkoyhtiöille	 Ei merkittäviä haasteita, pienteollisuuden liittymät suunnitellaan erikseen ja joustoratkaisuja on mietitty
	AURINKOVOIMATUOTANNON KASVU	 Mahdollisia paikallisia haasteita jännitteiden nousun ja muuntajakuormituksen takia	 Ei merkittävää vaikutusta
	TUULIVOIMATUOTANNON KASVU	 Epävarmuus tuulivoima- ja kantaverkkokehityksessä haasteena omalle verkon kehittämiselle	 Ei merkittävää vaikutusta

Lähde: haastattelut

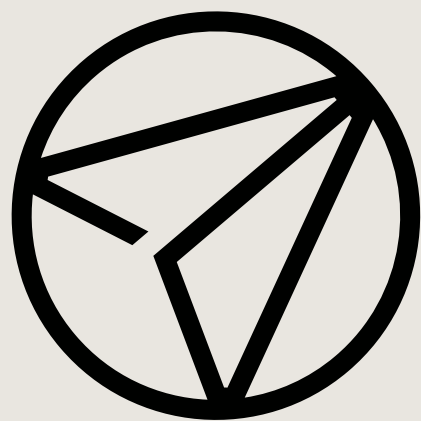
Johtopäätökset

Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään

Sähköjärjestelmä mahdollistaa hiilineutraaliustavoitteen

- Vuoteen 2040 mennessä vaihtelevan uusiutuvan tuotannon osuus kasvaa mittavasti säädettyä lämpövoimatuotannon osuuden laskiessa, joka johtaa esimerkkiviikoilla nähtyihin haasteisiin tuotannon ja kulutuksen tasapainotuksessa – kulutusprofiili seuraa kulutusjouston myötä yhä enemmän uusiutuvien tuotantoprofiilia
- Sähkön toimitusvarmuusriski kasvaa sähköistysskenaarioissa, mutta pysyy edelleen eurooppalaisittain maltillisella tasolla
- Vuonna 2035 sähkön reaalin keskihinta pysyy perusuraskenaariossa alle 40 EUR/MWh, kun se sähköistysskenaarioissa nousee lähemmäs 50 EUR/MWh tasoa. Hintavaihtelu lisääntyy, mitä enemmän sähköntuotanto perustuu sääriippuvaan tuotantoon.
- Sähkön tuotanto painottunee nykyistä vahvemmin Länsi- ja Pohjois-Suomeen, kun taas sähkönkulutus painottuu etelään. Sähkön siirtotarpeet kasvavat. Sähköntuotanto vähenee kaupungeissa samalla kun kaukolämmön tuotanto ja liikenne sähköistyy, mutta kaupunkiverkkojenkin kapasiteetti riittänee mahdollistamaan sähköistymisen.
- Kulutusjouston rooli kasvaa sitä suuremmaksi, mitä sääriippuvampaa sähköntuotanto on, mutta kulutusjousto ei poista sääriippuvuuden riskiä. Lämpö- ja vetyvarastot ovat merkittävä kulutusjouston mahdollistaja.





AFRY

ÅF PÖYRY