

# Puhtaan siirtymän investoinnit: perustiedot päätöksentekijöille

## Luento 5. Sähköntuotantoteknologiat

21.5.2025

Iivo Vehviläinen

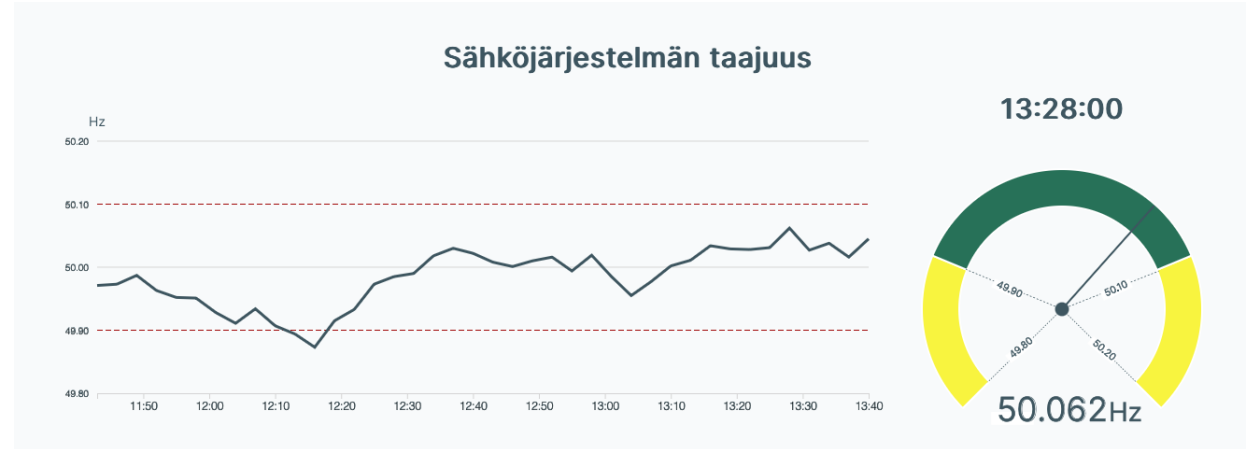
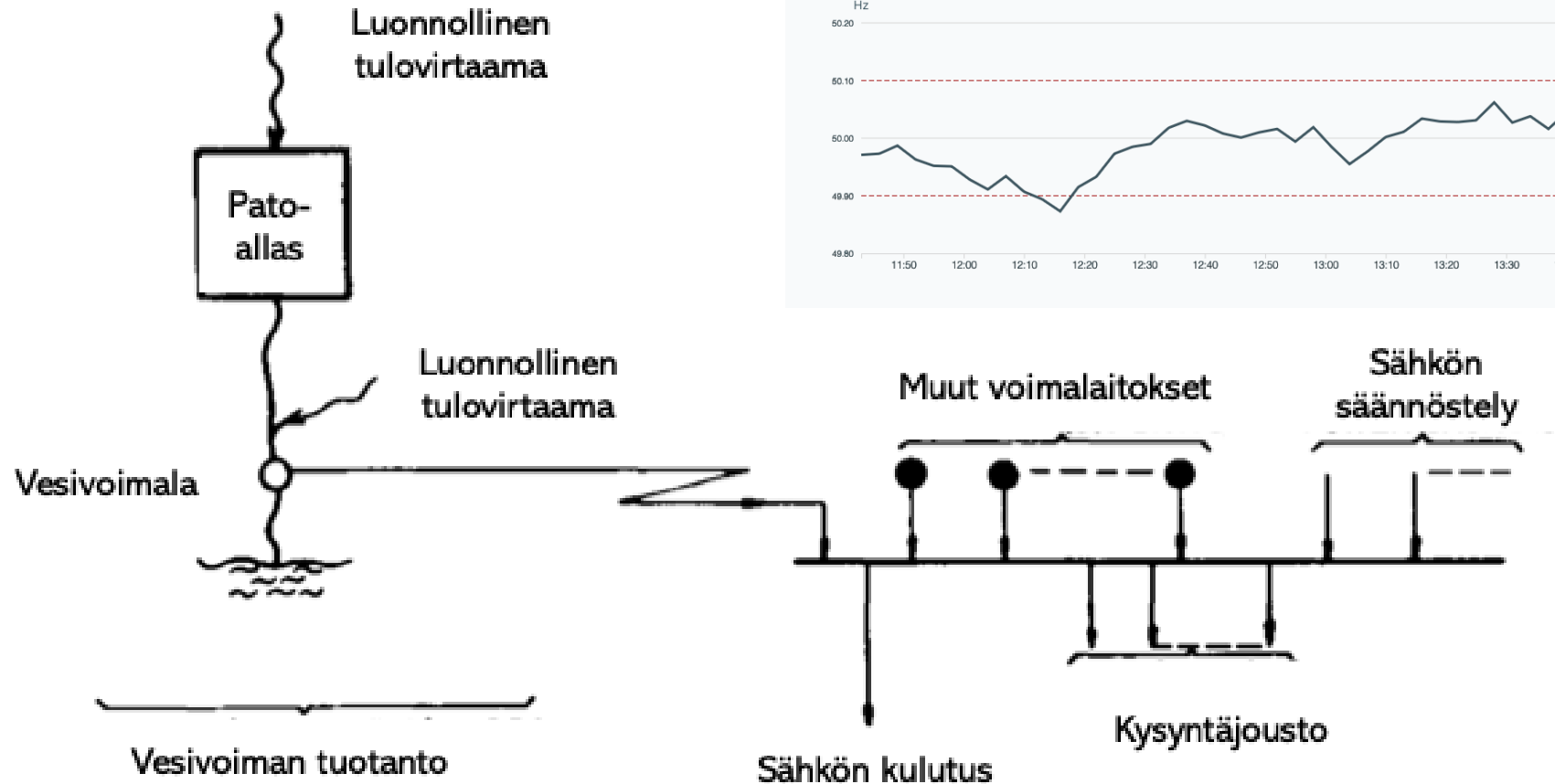
# Agenda

## Yleistä

### Teknologiat

- Polttovoimalaitokset
- Ydinvoima
- Tuuli- ja aurinkovoima
- Vesivoima
- Akut ja muut joustot

# Muistutus: sähköjärjestelmä



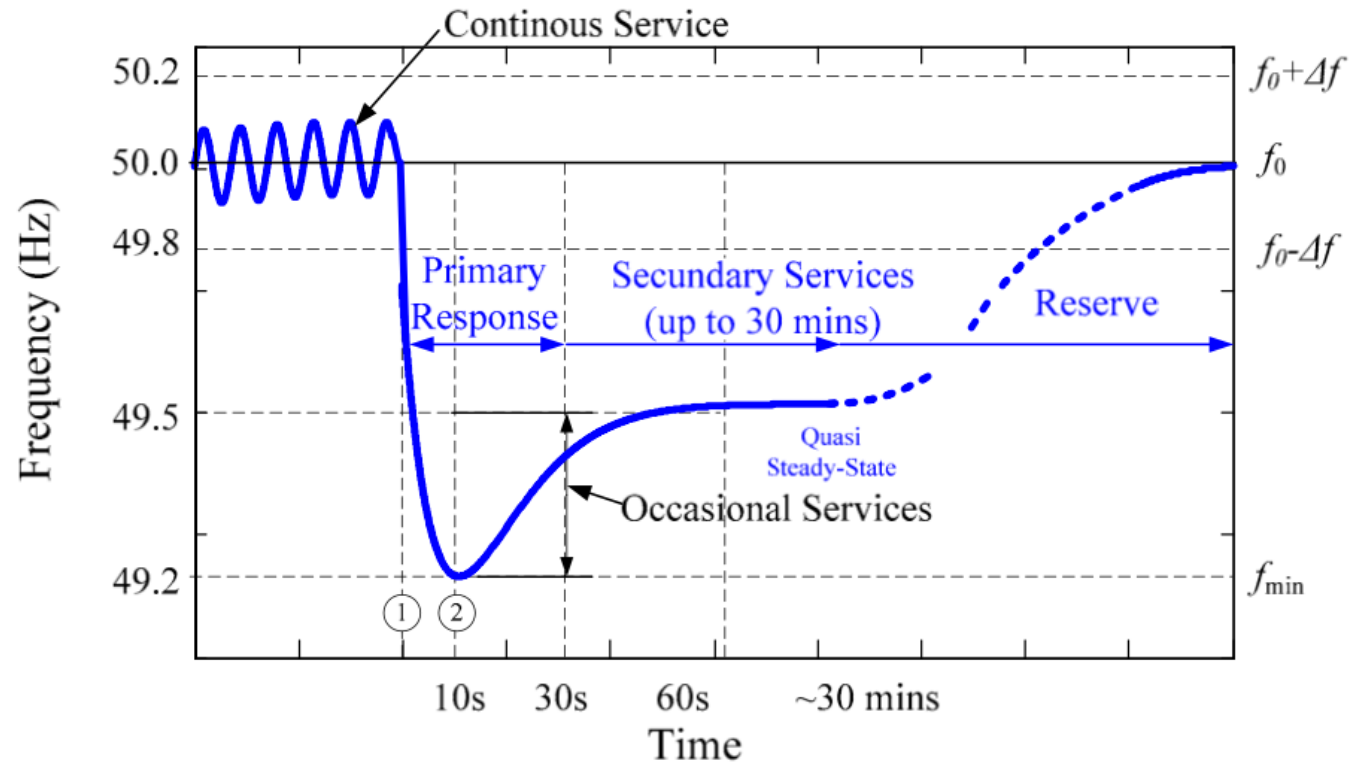
# EU:n markkinaratkaisu

- Kaupallinen tasapainotus sähkömarkkinoilla
  - Päiväkauppa (day-ahead): aiemmin 1 h kerrallaan tulevalle päivälle, jatkossa 15 min kerrallaan
  - Päivän sisäinen kauppa (intra-day): toimijoilla mahdollisuus käydä kauppaa keskenään
- Sähköjärjestelmän ylläpito järjestelmävastaavan, Suomessa Fingrid, toimesta
  - Tasapainon ylläpitämäinen reaaliajassa
  - Erilaiset reservimekanismit

# Reservimekanismit

## Vaihtovirtajärjestelmä

- Taajuus muuttuu jatkuvasti kulutuksen ja tuotannon mukaan
- Isot heilahtelut → isot vastineet
- Hitaammat reservit vapauttavat nopeampia seuraavia häiriöitä varten



# Reservimarkkinat

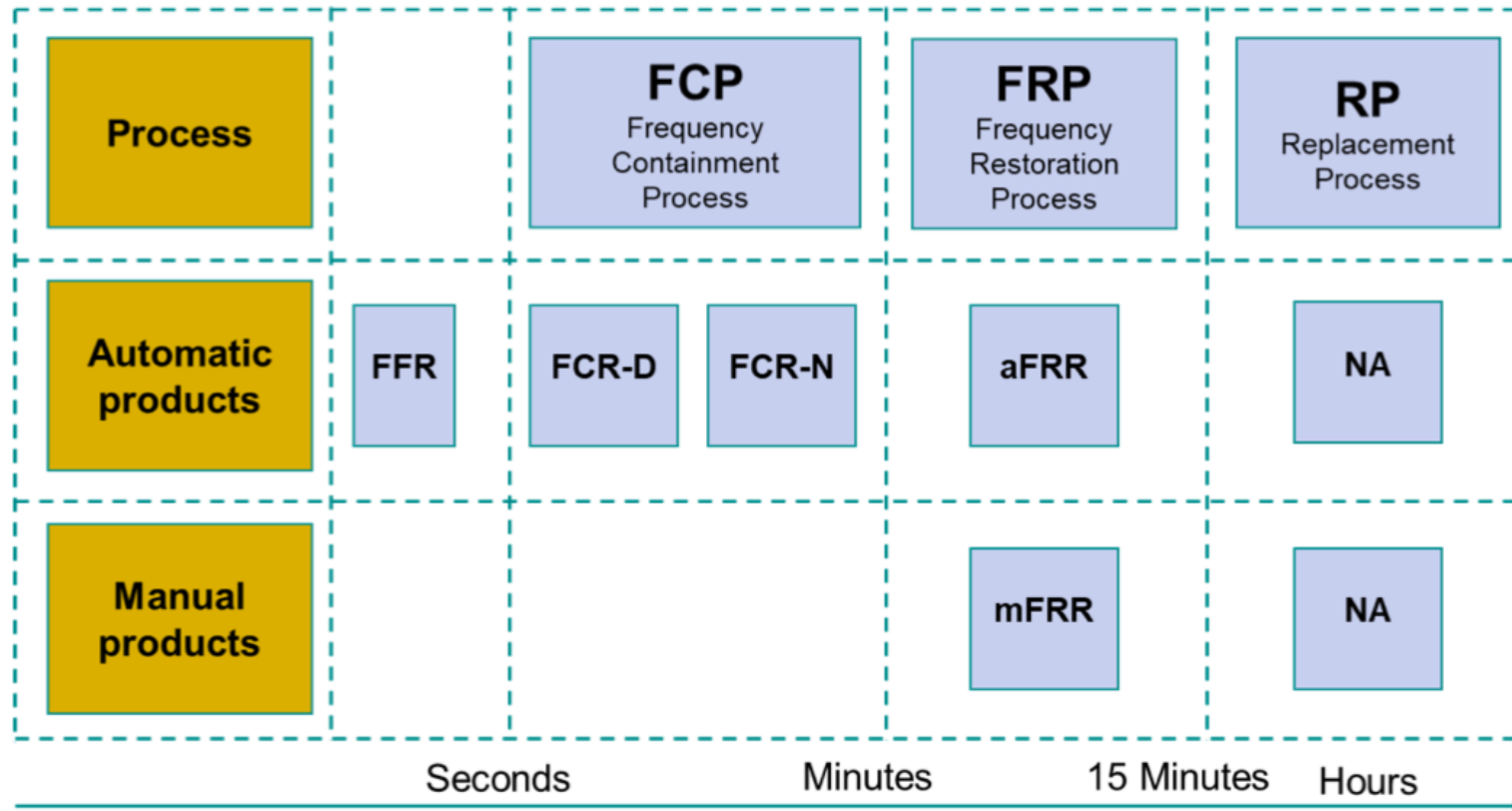
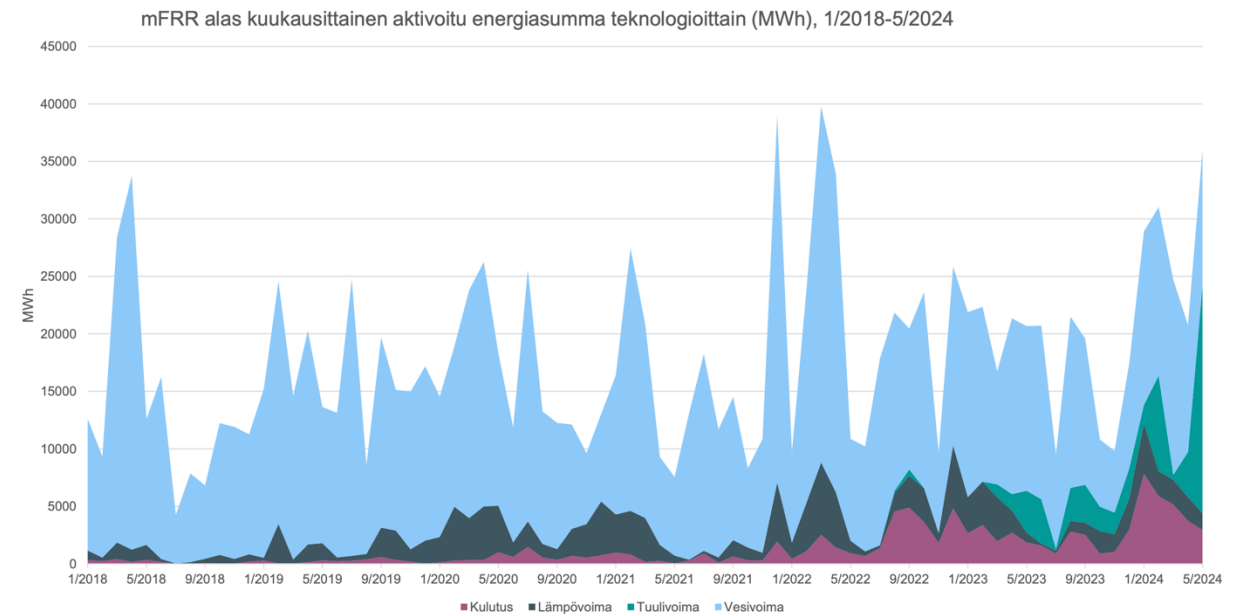
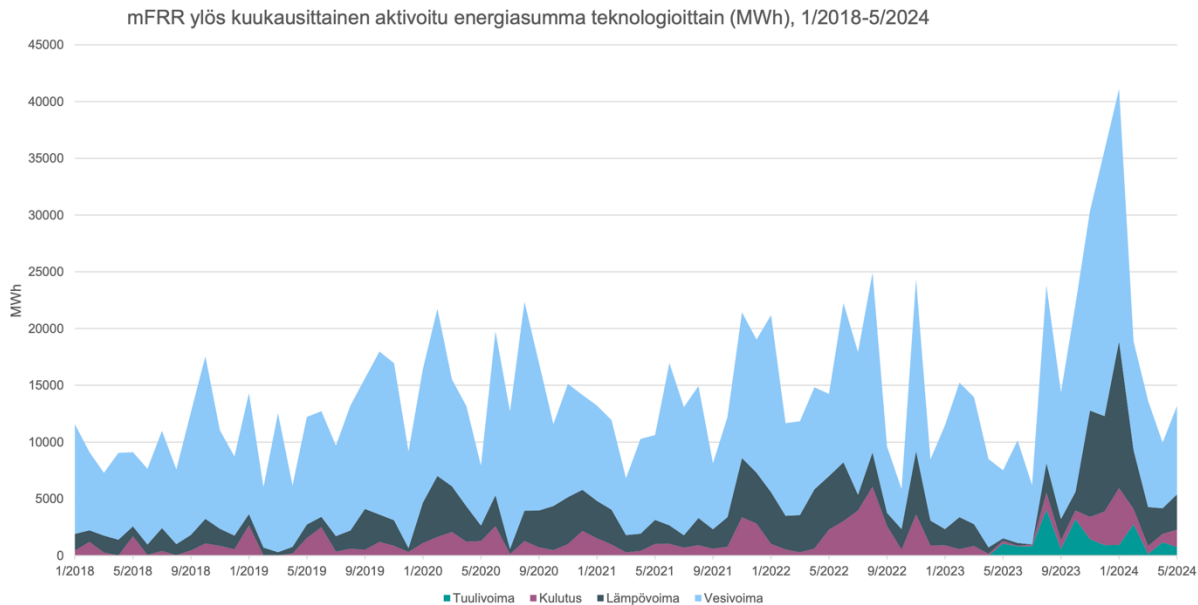


Figure 2: Reserve products in the Nordic Power system

Sama laitos voi osallistua eri markkinapaikoille

Reservimarkkinoilla sähkömarkkinaa tiukemmat tekniset vaatimukset

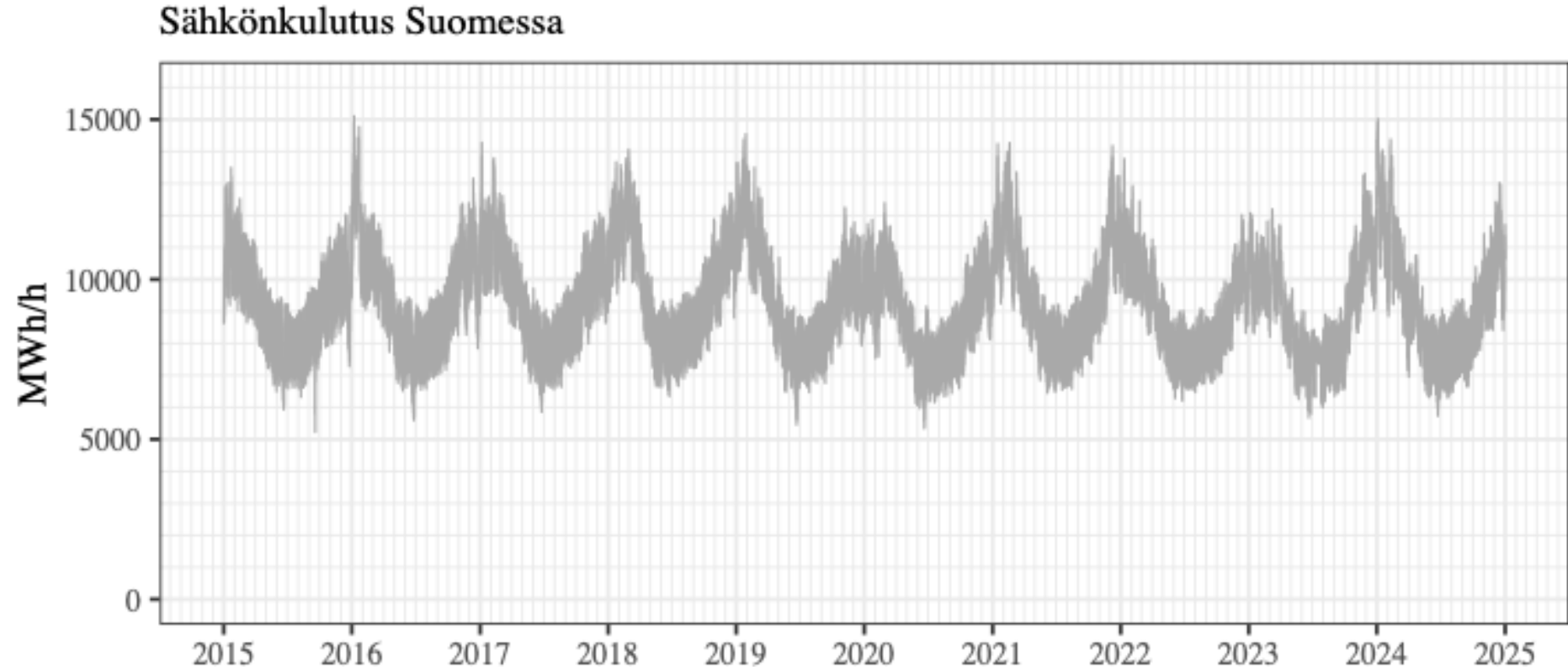
# Teknologioiden käyttö reserveissä



Vesivoiman säätökyvyllä on käyttöä erilaisissa reserveissä.

Vaihtoehtoisia teknologioita otettu käyttöön enenevässä määrin viime vuosina.

# Sähkönkulutus



Lähde: Fingrid Avoin data

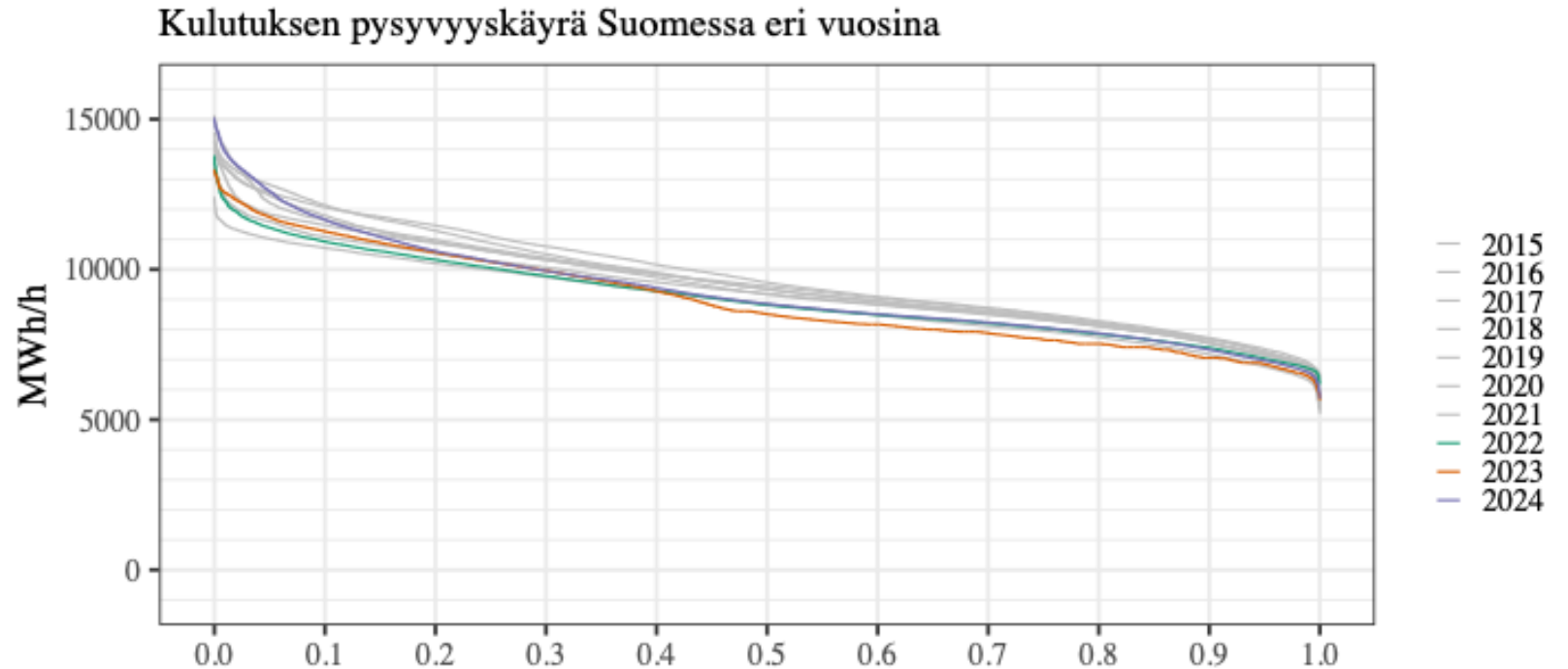
Kulutus vaihtelee tunnista toiseen ja vuodenaikojen yli.

Kulutuksen taso on pysynyt samana vuosien yli.

# Vanha maailma: suunnittelu

## Vanha maailma:

- Tuotantoa suunniteltu vastaamaan kysyntään erilaisilla teknologioilla
- Perusvoima:
  - alhaiset ajokustannukset
  - korkeat investoinnit
- Huippuvoima:
  - korkeat ajokustannukset
  - alhaiset investoinnit

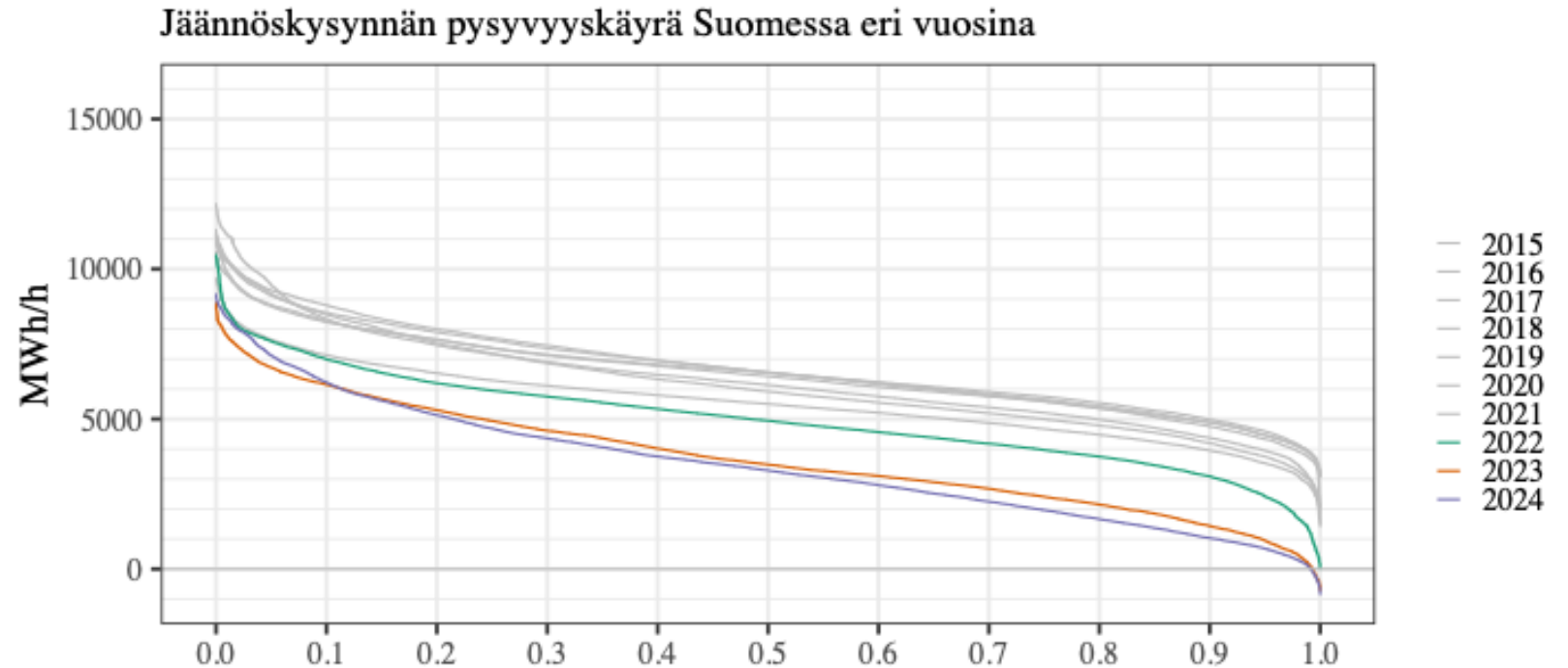


Lähde: Fingrid Avoin data

# Nykytila: markkinat

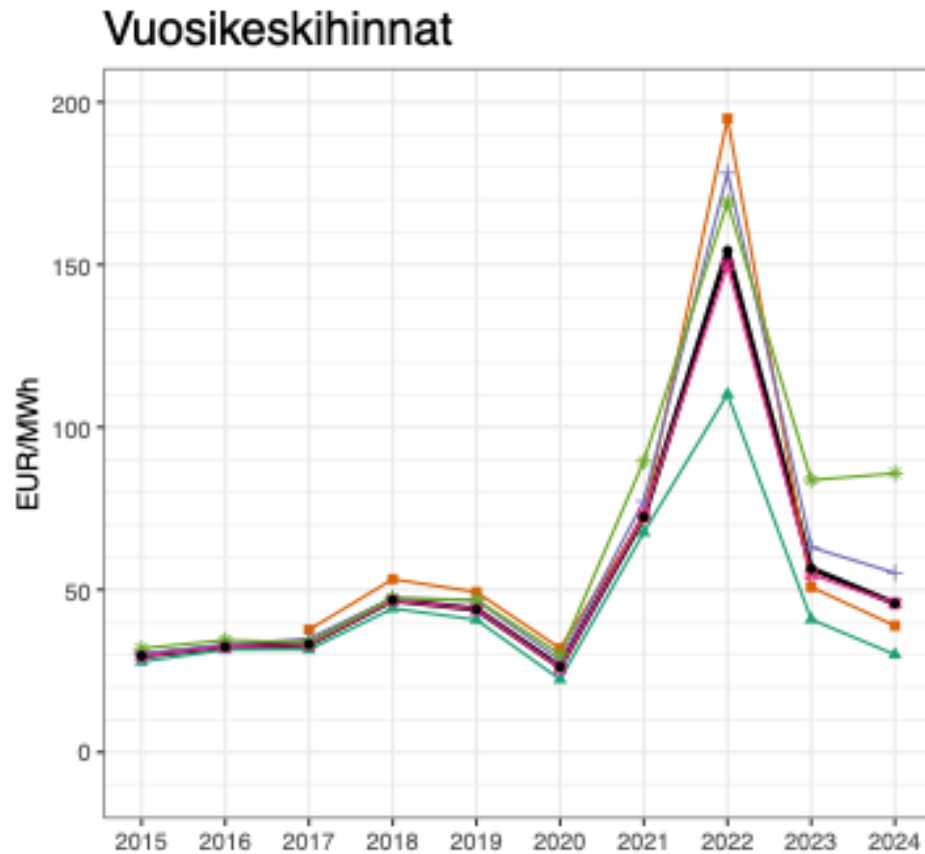
## Markkinat:

- Tuotantoinvestoinnit tehdään perustuen markkinahintoihin
- Perusvoima:
  - alhaiset ajokustannukset
  - korkeat investoinnit
- Huippuvoima:
  - korkeat ajokustannukset
  - alhaiset investoinnit

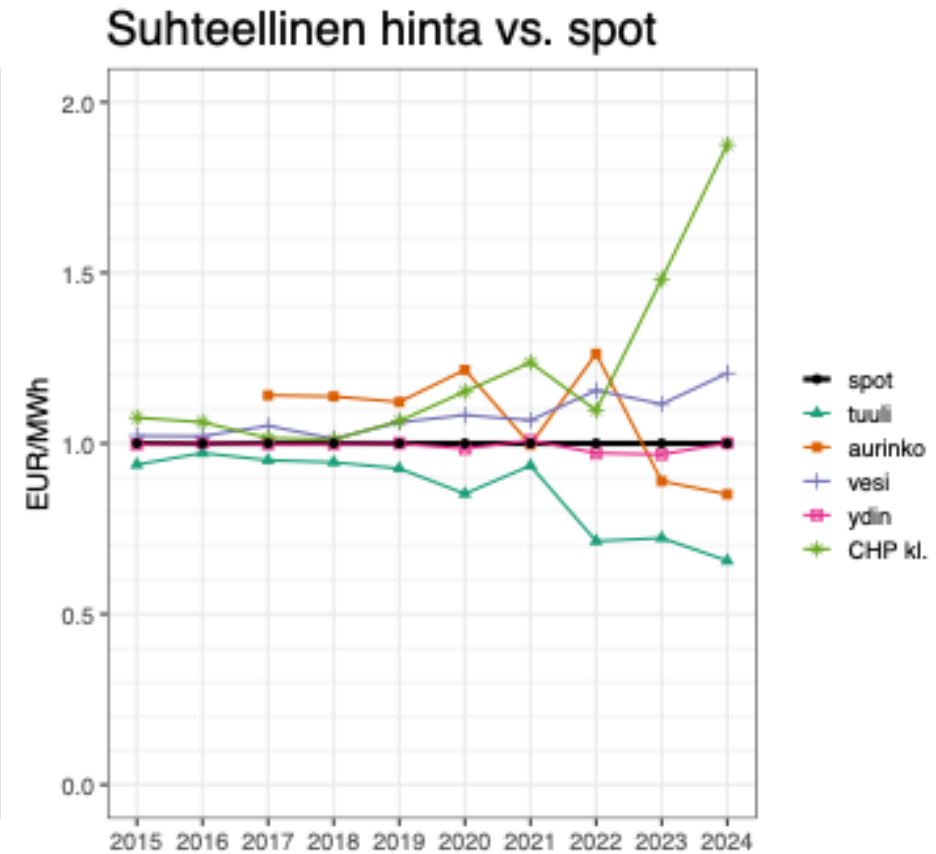


Jäännöskysyntä = kulutus – ydin – aurinko – tuuli. Lähde: Fingrid Avoin data

# Saavutetut hinnat markkinoilta



Lähde: Fingrid Avoin data, ENTSO-E



Lähde: Fingrid Avoin data, ENTSO-E

Tuotannon keskimääräiset korvaukset vaihtelevat markkinatilanteen mukaan.

Joustavampien tuotantoteknologioiden arvo kasvanut viime vuosina.

# Teknologiakohtaiset tarkastelut

Tänään:

- Mittasuhteet Suomessa
  - Tuotantokapasiteetti ja toteutunut tuotanto
- Teknologiset ja markkinoille pääsyyn liittyvät vahvuudet ja heikkoudet
  - Taloudellisia edellytyksiä, ympäristövaikutuksia ja sosiaalisia vaikutuksia tarkastellaan myöhemmin
- Tarkastelu rajattu lähivuosina toteuttamiskelpoisiin teknologioihin
  - Aaltoenergia, geoenergia, polttokennot, yms. rajattu tarkastelun ulkopuolelle

# Agenda

## Yleistä

### Teknologiat

- Polttovoimalaitokset
- Ydinvoima
- Tuuli- ja aurinkovoima
- Vesivoima
- Akut ja muut joustot

# Polttovoimalaitokset

## Energialähteet

### Fossiiliset

- Kivihiili
- Maakaasu
- Öljy

### Turve

### Bio

- Puu ja sivutuotteet
- Biokaasu

### Jäte

## Teknologiat

### Kaasu

- Kaasuturbiini
- Kaasuturbiinit,  
kombivoimalaitos (CCGT)
- Kaasumoottori

### Bio- tai jäte-CHP

- Höyrykattila ja -turbiini

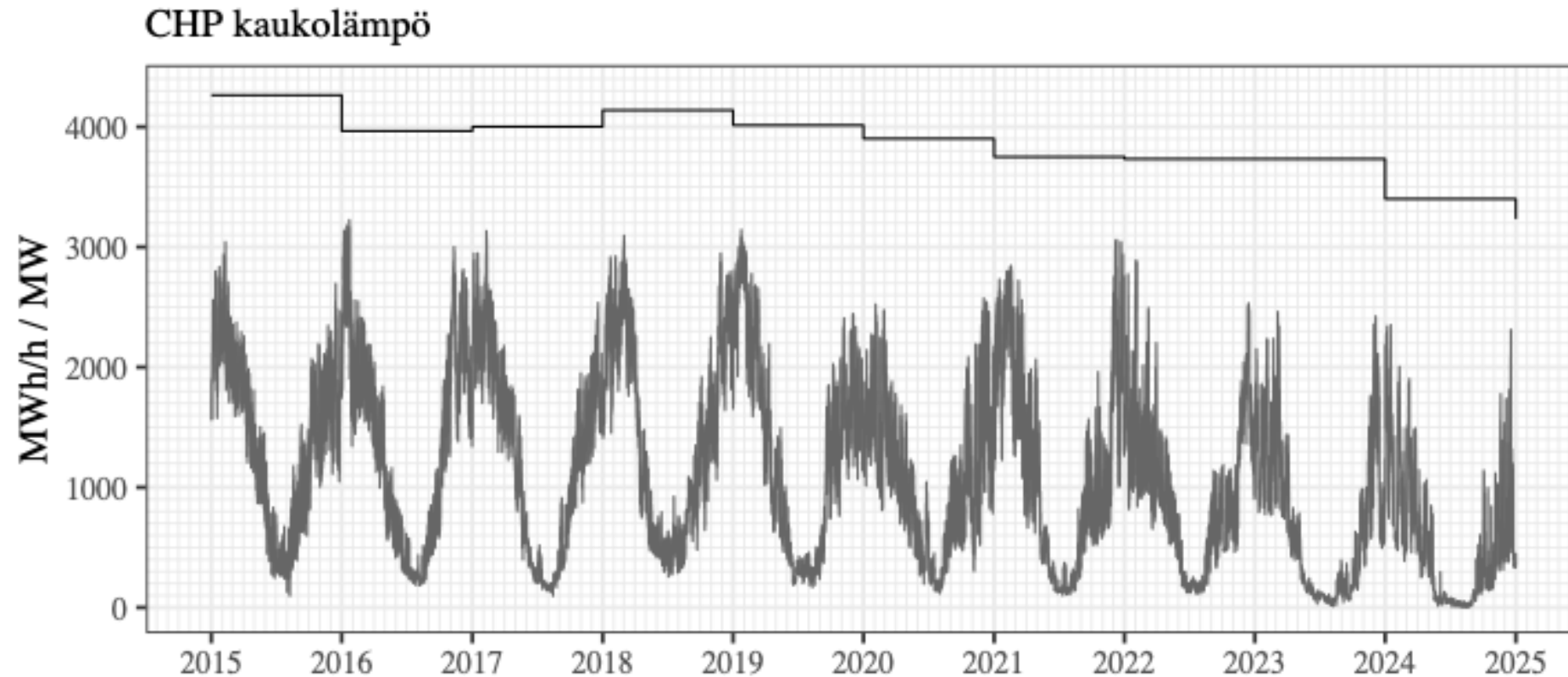
## Tuotanto

Lämpö

Höyry

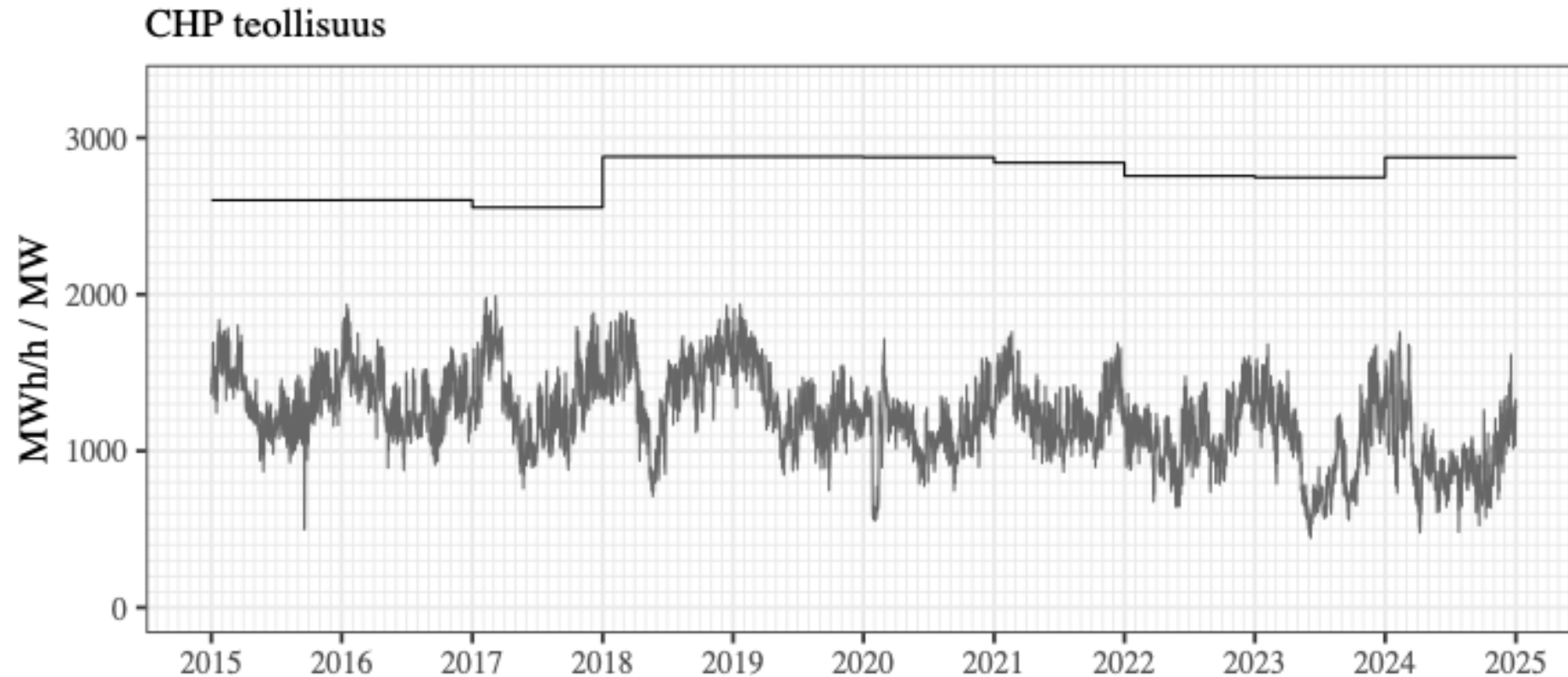
Sähkö

# Kaukolämmön yhteistuotanto



Lähteet: Fingrid Avoin data, Energiavirasto

# Teollisuuden yhteistuotanto



Lähteet: Fingrid Avoin data, Energiavirasto

# Yhteistuotanto uusiutuville

## Vahvuudet

- Hyödyntää energialähteen tehokkaasti
  - Lähtökohtana tuotannossa käyttö kaukolämpönä tai teollisuudessa, sähkö “sivutuote”
- Säädetävät tuotantomahdollisuudet
  - Polttoaineet osin kotimaisia ja varastoitavissa
- Sähköjärjestelmän tasapainotus
  - Suuret pyörivät koneet helpottavat reaaliaikaista tasapainottamista
- Taloudelliset hyödyt paikallisesti
- Yhdistettävissä hiilidioksidin talteenottoon ja tuotteistamiseen

## Heikkoudet

- Ulkoisvaikutukset
  - Kaikesta polttamisesta syntyy CO<sub>2</sub>-päästöjä ja ilmansaasteita
  - Luonnonvarojen käytön ja maankäytön muutosten luontovaikutukset
- Biomassan kestävä saatavuus
  - Monia vaihtoehtoisia käyttötarkoituksia
  - Vaikutukset metsien nieluihin

# Kaasuvoimialat

## Vahvuudet

- Nopeasti säädettävät tuotantomahdollisuudet
  - Polttoaineet varastoitavissa
  - Tuotantomääriä voidaan muuttaa joustavasti
- Sähköjärjestelmän tasapainotus
  - Pyörivät koneet helpottavat reaaliaikaista tasapainottamista
  - Voidaan sijoittaa sähköverkon toimitusvarmuuden ja huoltovarmuuden näkökulmista tarkoituksenmukaisesti

## Heikkoudet

- Ulkoisvaikutukset
  - Polttamisesta syntyy CO<sub>2</sub>-päästöjä ja ilmansaasteita
- Uusiutuvien polttoaineiden saatavuus
  - Biokaasun tai synteettisen metaanin tuotanto vielä rajallista ja monia muita mahdollisia käyttötarkoituksia, esim. liikenteessä

# Esimerkki: biokaasuvoimalat

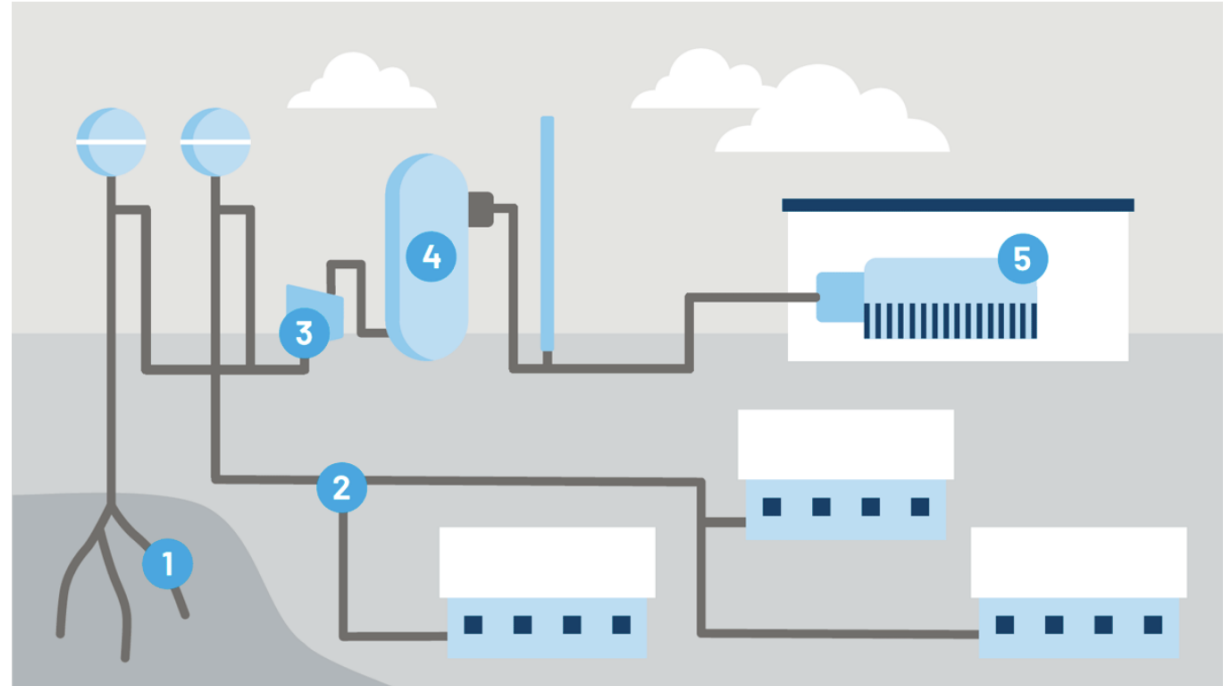
## Moottorivoimalat tulevat sähköntuotantoon

🕒 21.3.2024 📁 Ajankohtaista, Artikkelit, Muut artikkelit, Uusiutuva energia



Mikko Kajanus\_kuva\_Reijo Holopainen

Biometaanii virtaa kaasuturbiinimoottoriin Vieremällä. Vierellä kunnan tekninen johtaja Mikko Kajanus. Kuva: Reijo Holopainen.



Moottorivoimaloissa biokaasua kerätään kaatopaikalta ja karjatiloilta.

Esimerkki Kuopin Energian Pitkälahden moottorivoimalasta.

Vuosituotanto 7–8 GWh/vuosi eli keskiteho noin 1 MW.

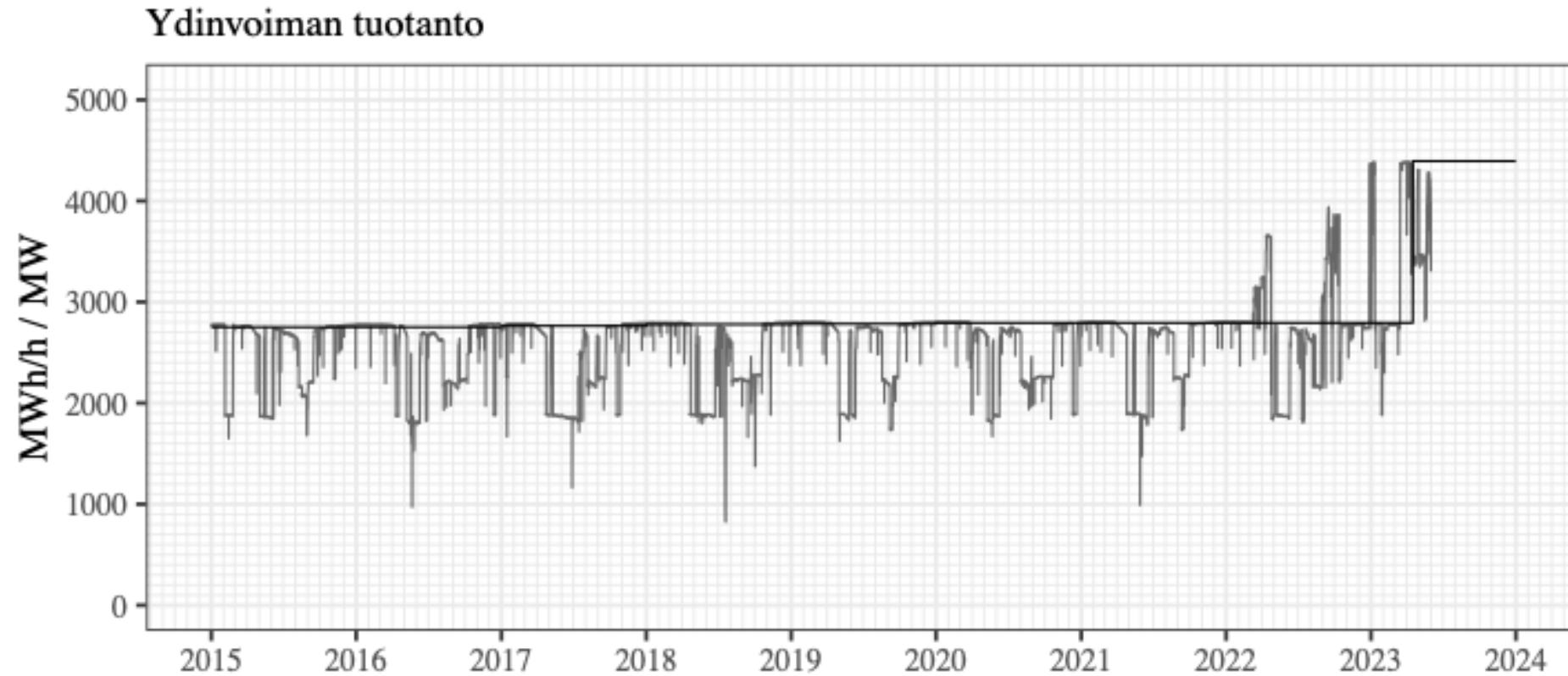
# Agenda

## Yleistä

### Teknologiat

- Polttovoimalaitokset
- Ydinvoima
- Tuuli- ja aurinkovoima
- Vesivoima
- Akut ja muut joustot

# Ydinvoima



Lähteet: Fingrid Avoin data, Energiavirasto

# Ydinvoima

## Vahvuudet

- Alhaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ja ilmansaasteet
- Säädetävät tuotantomahdollisuudet
  - Ydinpolttoaine varastoitavissa
  - Ydinvoimalat teknisesti kykeneviä myös lyhyen aikavälin säätöön
- Sähköjärjestelmän tasapainotus
  - Suuret pyörivät koneet helpottavat reaaliaikaista tasapainottamista

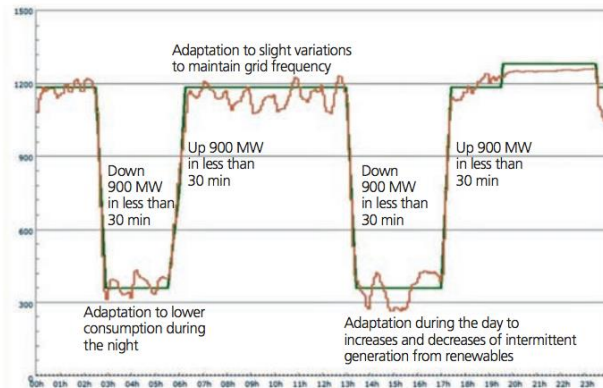
## Heikkoudet

- Ulkoisvaikutukset
  - Järjestelmävaikutukset, esim. Olkiluoto 3 on ”liian iso” yksikkö Suomen sähköjärjestelmässä
  - Ydinpolttoaineiden käsittely
  - Uraanin hankintaketjut
  - Ydinonnettomuudet ja niihin liittyvät vastuut
- Pääsy markkinoille
  - Suuri kertainvestointi: pääoman tarve ja riskit
  - Suomessa tiukat teknologiastandardit
  - Ydinvoimaluvat eduskunnan päätöksen takana: luvilla itsessään liian korkea arvo

# Ydinvoiman säätökyky

## INTERESTING FACTS

THE POWER GENERATED BY ONE OF THE REACTORS (1,300 MW) AT THE GOLFECH NUCLEAR PLANT OVER A 24-HOUR PERIOD, ONE DAY IN SEPTEMBER 2015, IN RESPONSE TO VARIATIONS IN ELECTRICITY CONSUMPTION AND GENERATION FROM INTERMITTENT RENEWABLES:



In the latter case, it must be possible to rapidly reduce generation when wind and solar begin to generate their “unavoidable” energy or, conversely, rapidly start up generation when solar or wind production drops. These adjustments are especially important when intermittent generation from renewables is substantial.

## Ydinvoima mukaan reservimarkkinoille

Fortumin Loviisan ydinvoimalaitos tulee mukaan taajuusohjatun häiriöreservin alassäätötuotteen markkinalle. Ydinvoima ei ole aiemmin osallistunut reservimarkkinoille Suomessa.

Sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainoa hallitaan erilaisten reservituotteiden avulla. Reservimarkkinoille voi osallistua säätökykyinen sähkön tuotanto ja kulutus sekä sähkövarastot. Ydinvoima tulee nyt ensimmäistä kertaa mukaan reservimarkkinoille Suomessa, kun Fortumin Loviisan ydinvoimalaitos liittyy taajuusohjatun häiriöreservin alassäätötuotteen markkinalle.

“Loviisan ydinvoimalan mukaantulo on merkittävä lisäys reservin tarjontaan. On hienoa, että ydinvoimankin säätökykyä saadaan nyt mukaan reservimarkkinoille”, Fingridin asiantuntija **Pia Ruokolainen** toteaa.

“Syksyn 2022 vuosihuolloissa voimalaitoksen säätöjärjestelmään tehtiin muutoksia reservin suuruuden todentamisen mahdollistamiseksi. Osallistumalla taajuussäätömarkkinoille Loviisan voimalaitos tukee osaltaan Suomen sähköverkon luotettavuutta”, Loviisan voimalaitoksen johtaja **Sasu Valkamo** kertoo.

# Pienydinvoima sähköntuotantoon?

Pienydinvoima maksaa kuin Olkiluoto 3 – Kanada ottaa nyt riskiä leveällä kauhalla



**Matti Kankare** 19.05.2025 07:30 | (Päivitetty 18.05.2025 13:13)



Kanada näyttää nyt mallia pienydinvoiman eli [SMR-voimaloiden rakentamisessa](#) länsimaissa.

Maan suurimmassa provinssissa Ontariossa alkaa ensimmäisen 300 megawatin SMR-reaktorin rakentaminen Darlingtonin ydinvoimalaan. Kaikkiaan tarkoitus on rakentaa neljä reaktoria eli yhteensä 1200 megawattia uutta ydinvoimaa.

Rakentajana on Ontarion provinssin omistama jättyhtiö *Ontario Power Generation (OPG)*, joka viime vuonna tuotti provinssiin sähköä muun muassa ydinvoimalla, vesivoimalla ja uusiutuvilla lähes koko Suomen sähkönkulutuksen verran eli 82 terawattituntia.

**Koko kustannus 13,4 miljardia**

# Agenda

## Yleistä

### Teknologiat

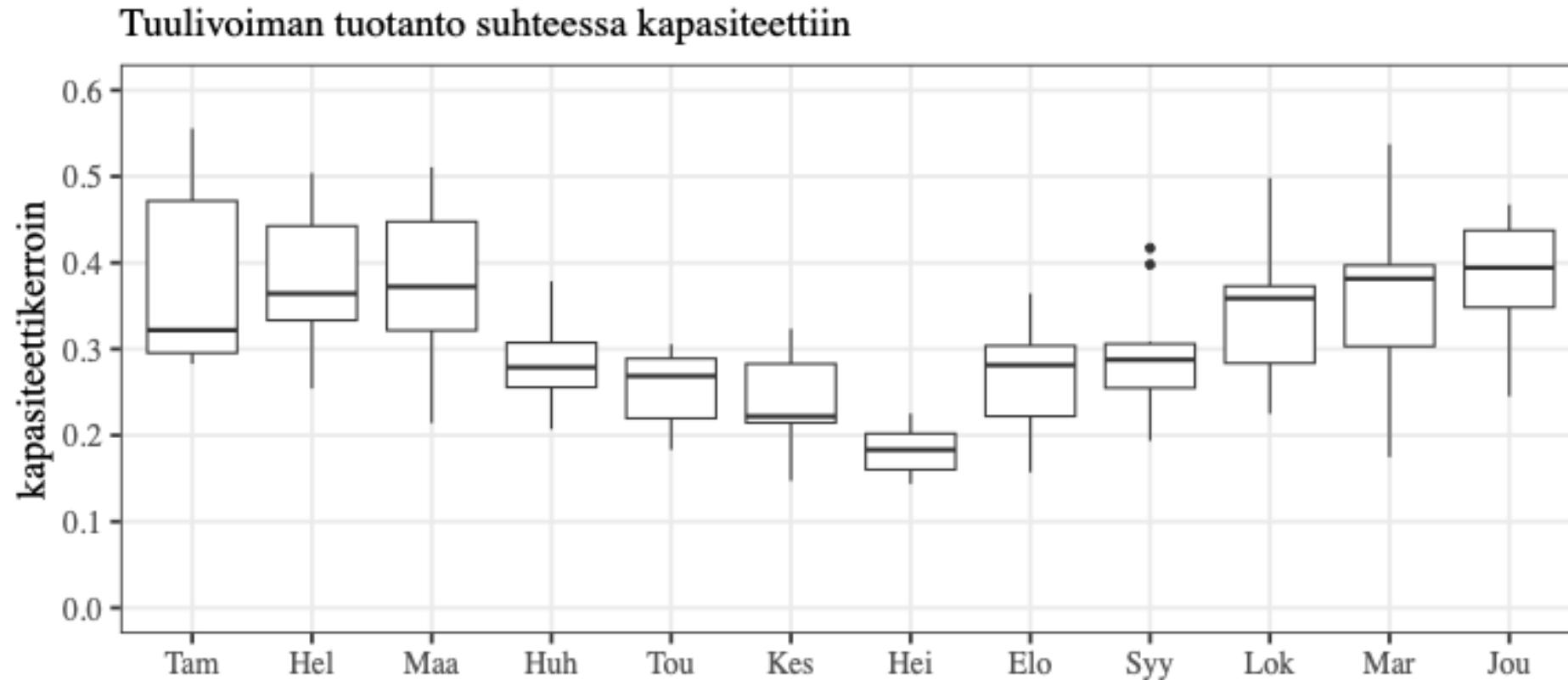
- Polttovoimalaitokset
- Ydinvoima
- Tuuli- ja aurinkovoima
- Vesivoima
- Akut ja muut joustot

# Tuulivoima



Lähde: Fingrid Avoin data

# Tuuliolosuhteet



Vuodet 2015–2024. Lähde: Fingrid Avoin data

Tuuli voiman tuotanto ja vaihtelu suurempaa talviaikaan.

# Tuulivoima

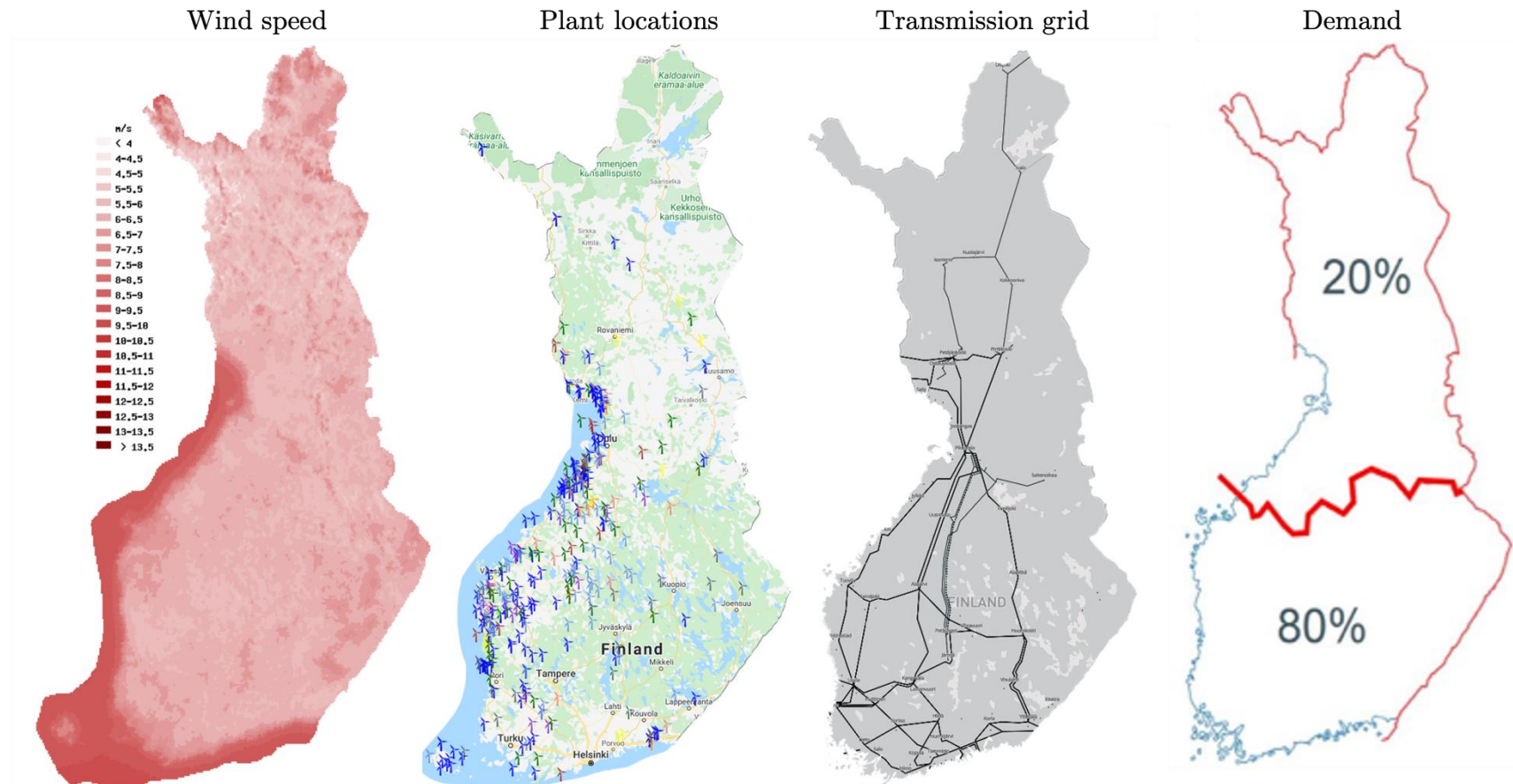
## Vahvuudet

- Alhaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ja ilmansaasteet
- Hyödyntää uusiutuvaa energianlähdettä
  - Riippumaton tuonnista
- Skaalautuvuus
  - Suomessa rakennettu yli 1500 MW tuulivoimaa vuodessa vuosina 2022, 2023 ja 2024
- Tuotanto kausitasolla korreloitunutta sähkön käytön kanssa

## Heikkoudet

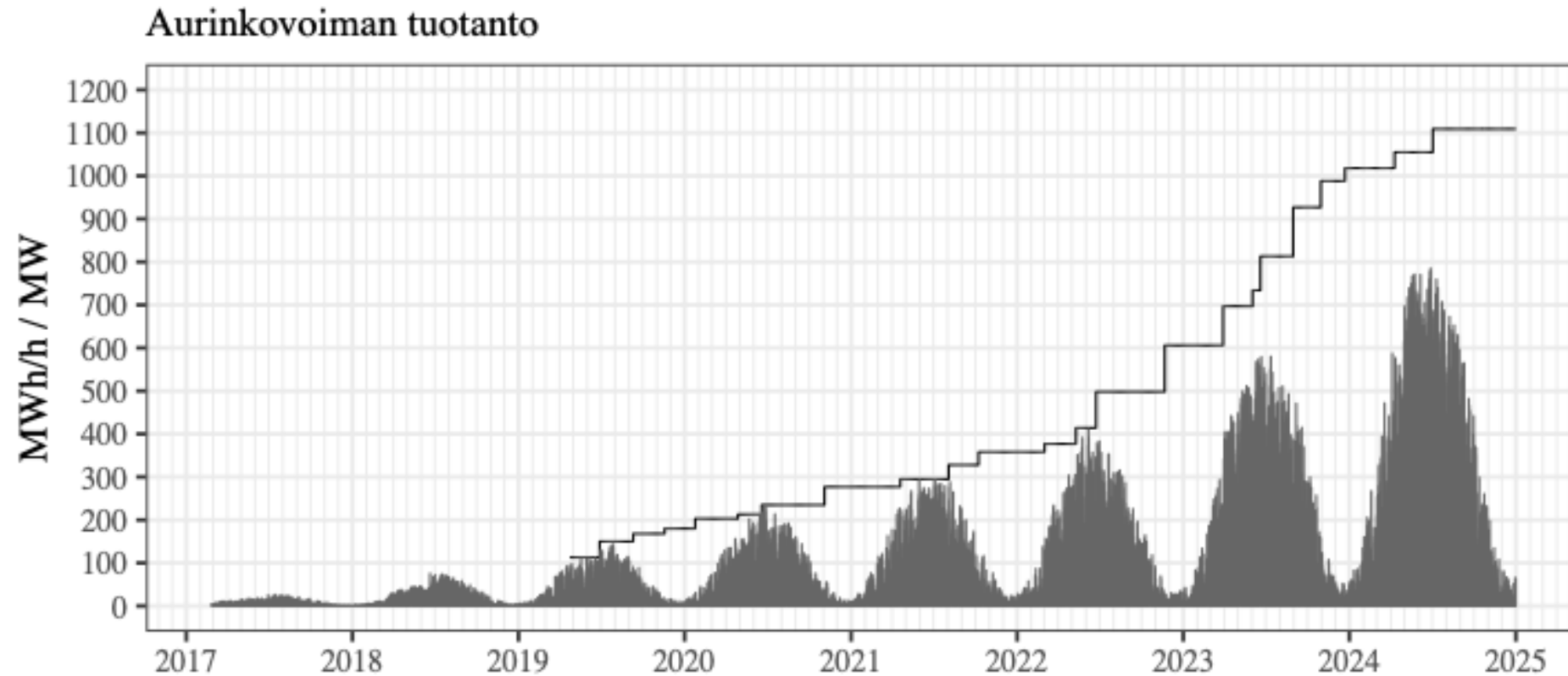
- Sää ohjaa tuotantomahdollisuuksia
  - Tuulivoima tuottaa vain tuulisina aikoina
  - Tuuliolosuhteet korreloituneita: tuotannon vaihtelut voimakkaita järjestelmätasolla
- Sijoittumispäätökset
  - Parhaat tuotanto-olosuhteet luovat paineita sähköjärjestelmälle
- Ympäristövaikutukset
  - Rakennusmateriaalien käytön kuormittavuus
  - Maankäyttövaikutukset tai vaikutukset merellä
- Pääsy markkinoille
  - Luvitus- ja kaavaprosessit paikoin

# Tuulivoiman sijoittumispäätökset



Tuulivoiman tuotanto-olosuhteet, toteutuneet investoinnit, siirtoverkko ja kysynnän rakenne

# Aurinkovoima



Lähde: Fingrid Avoin data

# Aurinkovoima

## Vahvuudet

- Alhaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ja ilmansaasteet
- Hyödyntää uusiutuvaa energianlähdettä
  - Riippumaton tuonnista
- Pääsy markkinoille
  - Skaalautuva teknologia: voidaan asentaa rakennuksiin tai suuriin aurinkopuistoihin
  - Pienten yksiköiden tuotantokyky lähellä suuria yksiköitä

## Heikkoudet

- Sää ohjaa tuotantomahdollisuuksia
  - Aurinkovoima tuottaa vain aurinkoisina aikoina
  - Aurinko-olosuhteet korreloituneita: tuotannon vaihtelut voimakasta järjestelmätasolla
- Tuotantoketjut
  - Teknologian ja käytettyjen materiaalien riippuvuus maailmankaupan toimivuudesta
- Pääsy markkinoille
  - Luvitus- ja kaavaprosessit isoille yksiköille

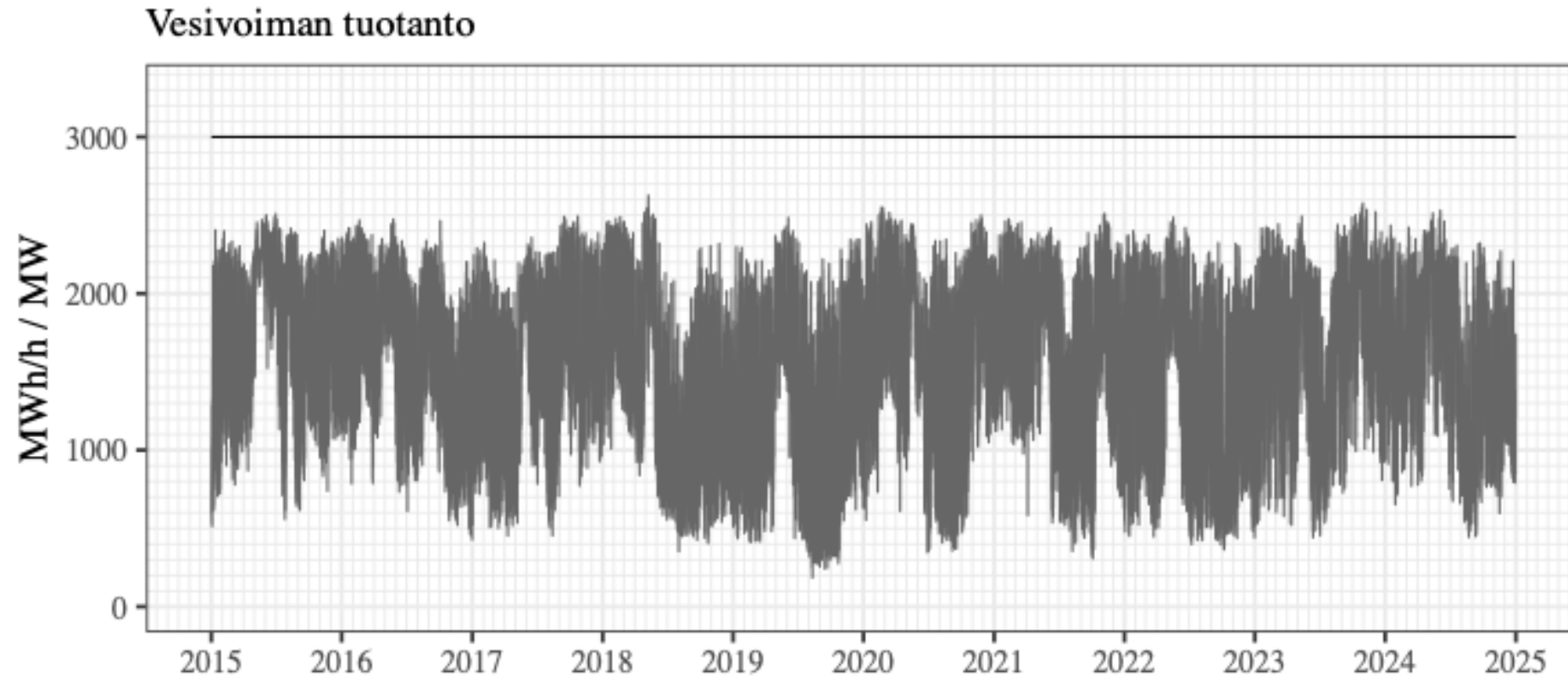
# Agenda

## Yleistä

### Teknologiat

- Polttovoimalaitokset
- Ydinvoima
- Tuuli- ja aurinkovoima
- Vesivoima
- Akut ja muut joustot

# Vesivoima



Lähteet: Fingrid Avoin data, Energiavirasto

# Vesivoima

## Vahvuudet

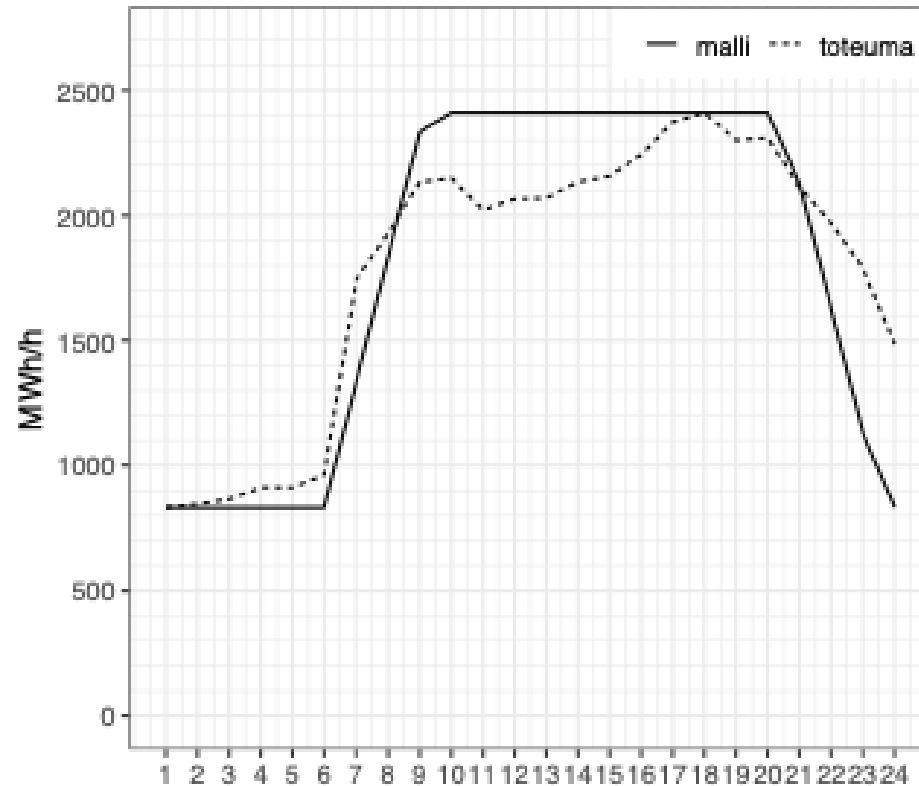
- Alhaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ja ilmansaasteet
- Hyödyntää uusiutuvaa energianlähdettä
  - Riippumaton tuonnista
- Nopeasti säädettävät tuotantomahdollisuudet
  - Tuotantomääriä voidaan muuttaa joustavasti erityisesti patoalteiden yhteydessä
- Sähköjärjestelmän tasapainotus
  - Suuret pyörivät koneet helpottavat reaaliaikaista tasapainottamista

## Heikkoudet

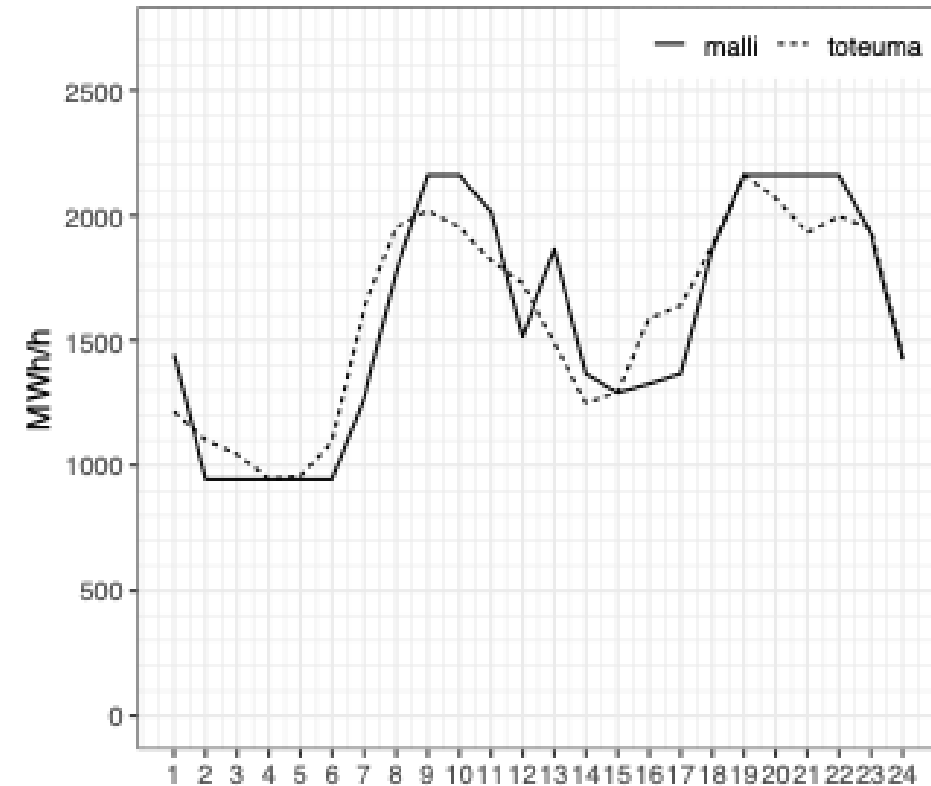
- Luontovaikutukset
  - Vesivoima muuttaa jokiekosysteemejä
  - Patoaltaiden CO<sub>2</sub>-päästöt
- Lainsäädännön ja joidenkin laitosten lupien epäselvä tilanne
  - Ympäristön tilan parantaminen edellyttää muutoksia lupaehtoihin
- Ei merkittävää uutta potentiaalia
  - Isoimmat ympäristön kannalta mahdolliset kohteen Suomessa jo rakennettu

# Vesivoiman käyttö markkinalla

Vesivoiman käyttö Suomessa 31.1.2023



Vesivoiman käyttö Suomessa 29.6.2023



VHS Säättövoima -hanke ja Fingrid Avoin data

Vesivoiman tuotantoa sopeutetaan markkinahintojen mukaan

Laitoksien tehon lisäksi säätökykyä rajaavat ympäristömääräykset ja vesitilanne

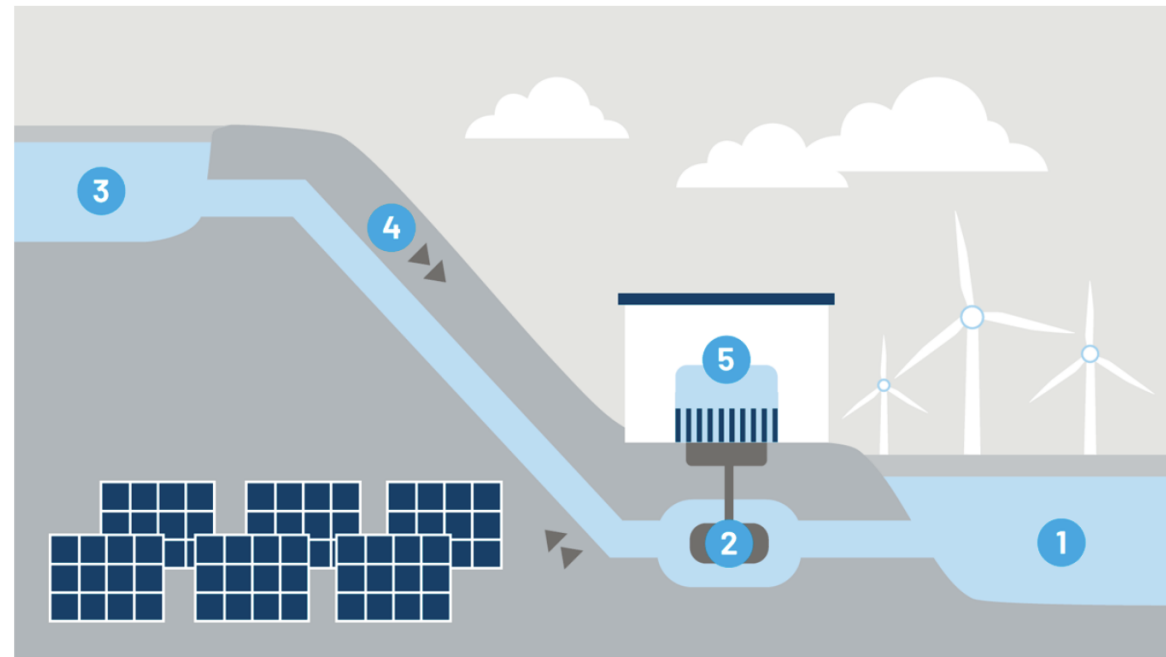
# Pumppuvoimalat

## Kilpajuoksu Kemijärvelle: Kemijoki-yhtiö haluaa olla ensimmäisenä hakemassa lupaa pumppuvoimalalleen

Lupaharkinnassa huomioidaan alueen olemassa oleva ympäristökuormitus, joten ensimmäisenä vesitalouslupaa hakevan lähtökohdat ovat paremmat.



Kemijoki-yhtiö suunnittelee 550 megawatin pumppuvoimalaa Ailangantunturin alueelle. Yläaltaasta Kemijärveen kulkisi 4,5 kilometrin tunneli, jota pitkin vettä pumpattaisiin ylös ja juoksutettaisiin alas sähkön hinnasta riippuen. Kuva: Vesa-Pekka Hiltunen / Yle, Mapcreator, OpenStreetMap



# Agenda

## Yleistä

### Teknologiat

- Polttovoimalaitokset
- Ydinvoima
- Tuuli- ja aurinkovoima
- Vesivoima
- Akut ja muut joustot

# Akut

## Vahvuudet

- Alhaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ja ilmansaasteet
- Nopeasti säädettävät tuotantomahdollisuudet
  - Tuotantomääriä voidaan muuttaa joustavasti
- Pääsy markkinoille
  - Skaalautuva teknologia: voidaan asentaa rakennuksiin, tuotannon yhteyteen tai erillisinä yksiköinä
  - Pienten yksiköiden tuotantokyky lähellä suuria yksiköitä

## Heikkoudet

- Tuotantoketjut
  - Teknologian ja käytettyjen materiaalien riippuvuus maailmankaupan toimivuudesta
- Teknis-taloudellinen käyttöalue rajallinen
  - Toiminta lähinnä päivän sisäisillä markkinoilla

# Esimerkki: Akut

”Markkinaehtoisen joustomarkkinan syntyminen on tärkein yksittäinen asia uusiutuvaan energiaan siirtymisessä. Se ei pelkästään mahdollista vihreää siirtymää, vaan siinä voittavat kaikki”, Sirkka sanoo.

## Helen investoi suureen sähkövarastoon – varastoilla voi olla vaikutusta sähkön hintaan

**Energia** | Nurmijärvellä rakennettava sähkövarasto on teholtaan 40 megawattia.



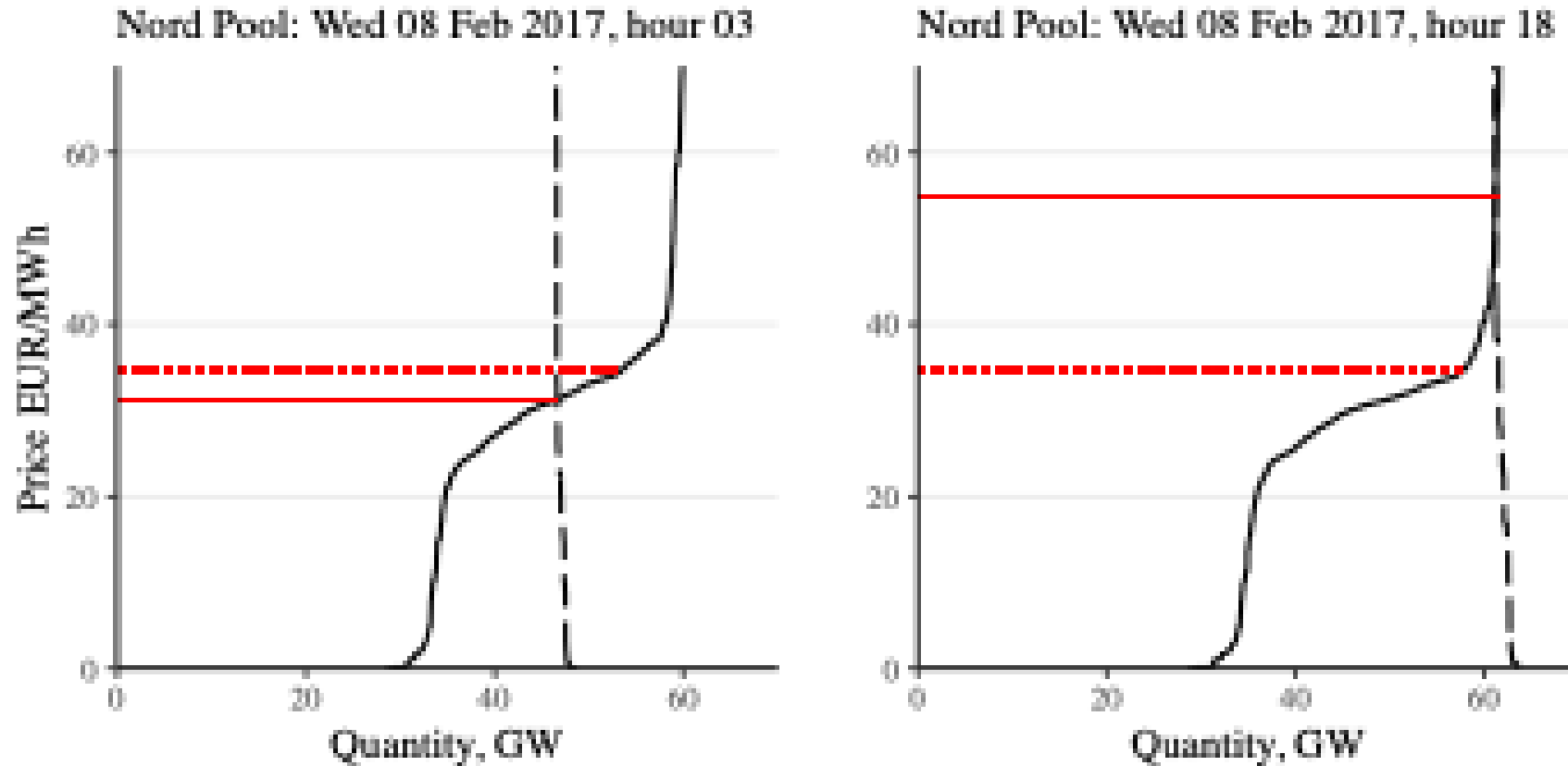
Helenin toimitusjohtajan mukaan yhtiö aikoo investoida jatkossakin sähkövarastoihin.  
Kuva: Emilia Kangasluoma / HS

 Kuuntele juttu

**Liisa Niemi HS**

8.2.2024 8:00 | Päivitetty 8.2.2024 12:13

# Jouston toiminta markkinoilla

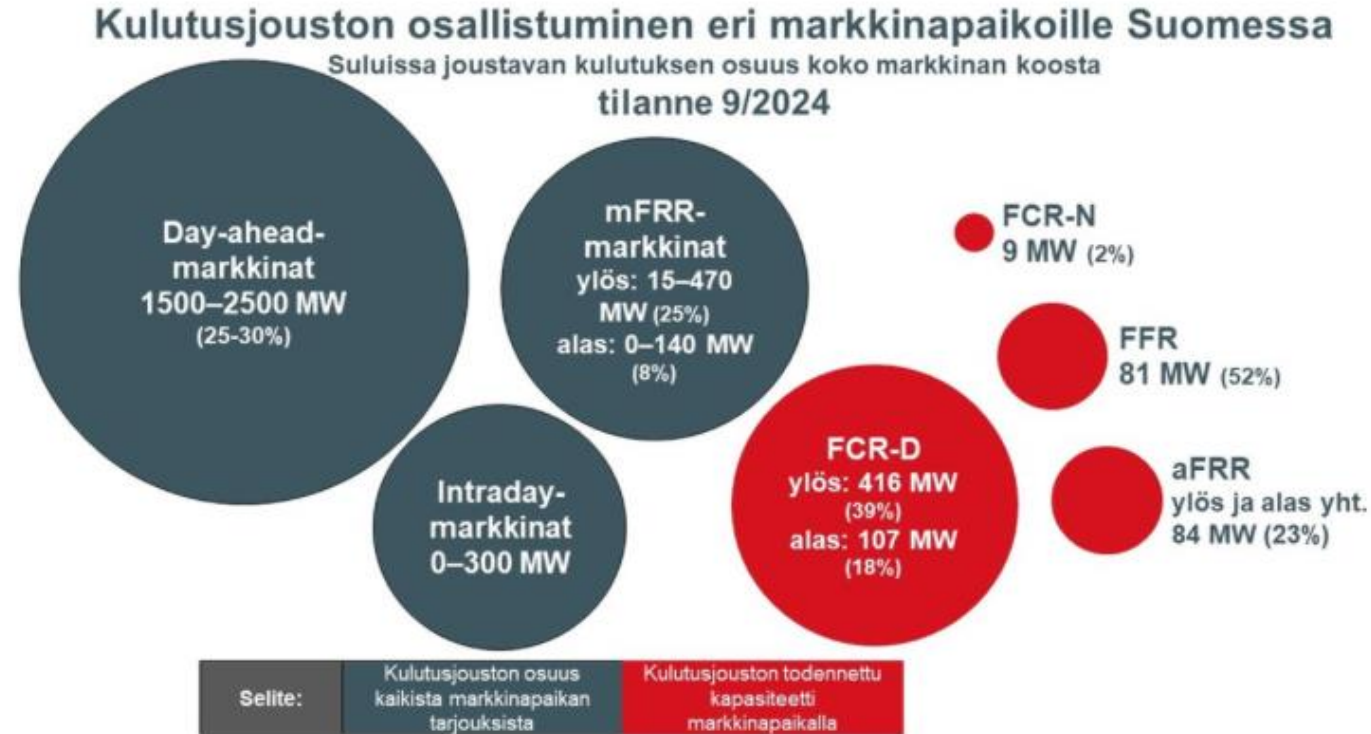


Hintaerojen hyödyntäminen tasaa hintavaihtelua

# Joustavuuden lähteet

- Joustoa saataavilla lisää
  - Kulutusjousto
  - Tuotanto, esim. kaasumoottorit
  - Erilliset sähkövarastot, kuten akut
  - Rajasiirtoyhteydet
- Voimakkaan sähköistymisen mittasuhteet: 80 TWh → 160 TWh?
  - Nykyiset resurssit rajallisia
  - Tulevien investointien otettava huomioon joustomahdollisuudet

# Kulutusjousto



Kulutusjoustoja käytössä päivämargkinalla ja erilaisissa reserveissa.

Määrät kasvussa.

# Yhteenveto

## **Sähkömarkkinoiden muutokset vaikuttavat teknologioiden kannattavuuksiin**

- Tuotantokyvyltään joustavammat teknologiat muuttuvat arvokkaammiksi

## **Markkinoiden kaupallinen tasapaino ei täysin vastaa sähköjärjestelmän toimintaa**

- Järjestelmävastaava hankkii erilaisia reservejä käyttöönsä sähkön laadun varmistamiseksi

## **Keskitetyn suunnittelun ja hintaohjauksen puute synnyttää koordinaatio-ongelman**

- Sähköverkkojen fyysinen kapasiteetti ei mahdollista vapaata kaupankäyntiä

## **Kaikista näkökulmista ideaalisia teknologioita ei ole olemassa**

- Teknisten ominaisuuksien ja markkinoille pääsyn lisäksi taloudelliset toimintaedellytykset, ympäristövaikutukset ja yhteiskunnallinen hyväksyttävyyys rajoittavia tekijöitä