

MARKKINAEHTOISESTI KILPAILUKYKYISEN TUULIVOIMAN VAIKUTUKSET SUOMESSA

Matti Rautkivi

Johtaja, Wärtsilä Energy Solutions

18.6.2018

YHTEENVETO

- Tuulivoima on kilpailukykyistä ilman tukia Suomessa jo nykyisin
- Tuulivoimaa tullaan lisäämään Suomeen markkinaehtoisesti merkittäviä määriä
- Tuulivoiman lisääntyminen tulee alentamaan sähköntuotannon kokonaiskustannuksia sekä päästöjä Suomessa
- Tuulivoima yhdessä riittävän joustavan säätökapasiteetin kanssa on kilpailukykyisempi vaihtoehto kuin uusi ydinvoima





ENGINE POWER PLANTS

Ultra-flexible internal combustion engine based power plants



ENERGY STORAGE AND INTEGRATION

Utility-scale energy storage solutions and advanced software



RENEWABLES

Utility-scale solar power plants, solar-engine, storage+ hybrid solutions



LNG INFRASTRUCTURE

Small and medium scale liquefaction plants, terminals and distribution

20%
RES

60%
RES

80%
RES

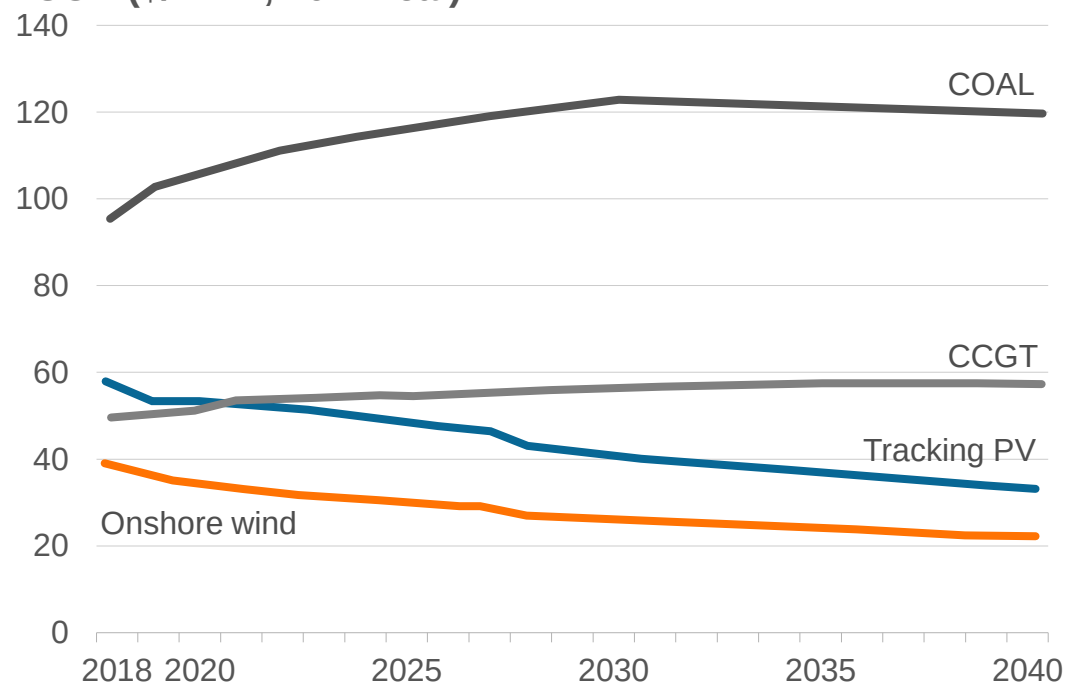
100%
RES

GLOBALI ENERGIAMURROS

Price for renewable energy has reached a tipping point – all across the world. Prices of renewables continue to drop.

UNITED STATES

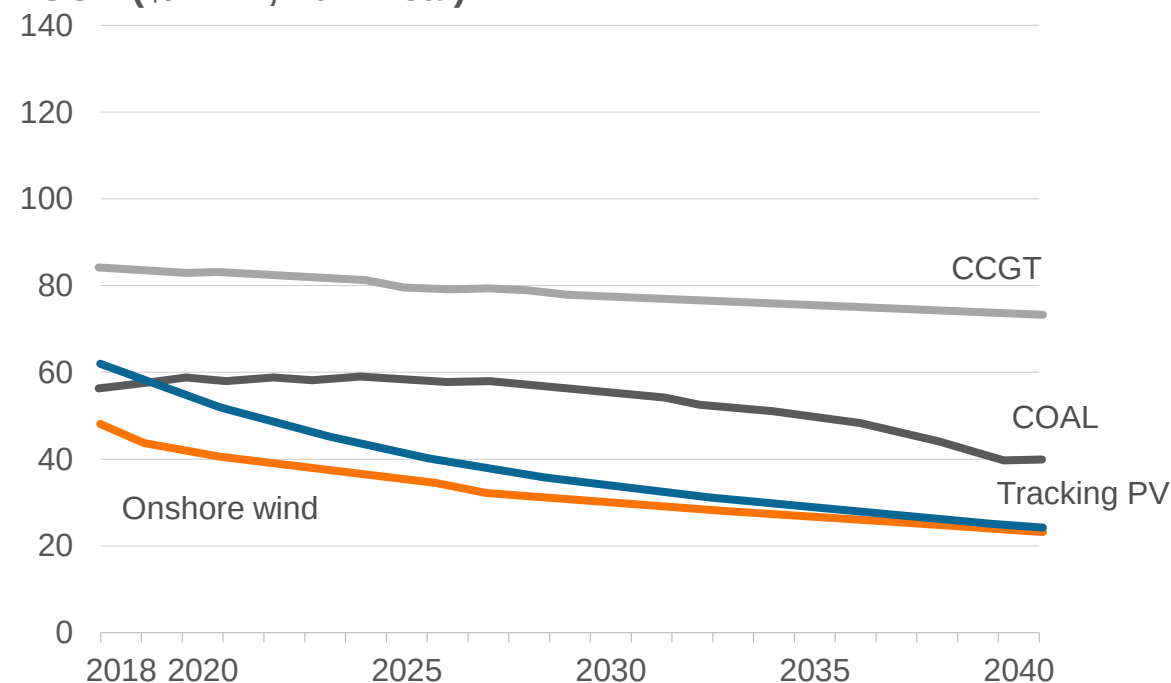
LCOE (\$/MWh, 2017 real)



Source: Bloomberg New Energy Finance Note: capacity factors: Tracking PV: 14%-30%, onshore wind: 29%-49%. Coal and gas plants capacity factors are a result of our NEO 2017 dispatch analysis. LCOEs are calculated on an unsubsidized basis. The offshore wind LCOE is a global forecast.

CHINA

LCOE (\$/MWh, 2017 real)



Source: Bloomberg New Energy Finance Note: capacity factors: PV: 12%-18%, onshore wind: 23%-32%. Coal and gas plants capacity factors are a result of our NEO 2017 dispatch analysis. LCOEs are unsubsidized. The LCOE for thermal plants in China includes the carbon pricing. The offshore wind LCOE is a global forecast.



LARGE INVESTOR-OWNED UTILITIES ARE
INVESTING IN SMART POWER GENERATION
TOGETHER WITH ENERGY STORAGE

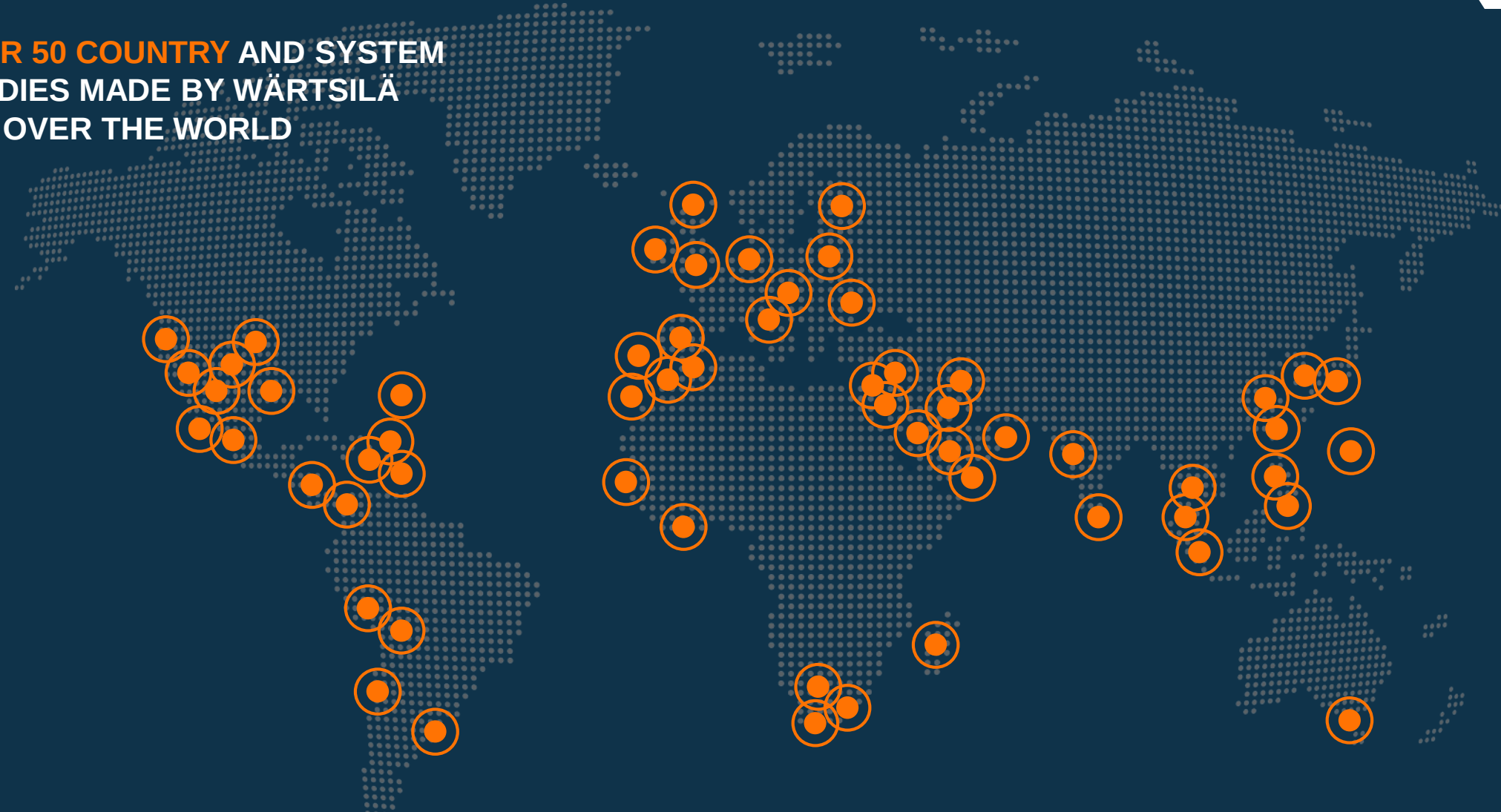
- Wärtsilä was selected to provide a **Smart Power Generation** natural gas power plant with up to 200 MW of capacity
- Greensmith Energy provided 10 MW/2.5MWh **energy storage system** to Tucson Electric Power in 2016
- Improved overall **efficiency** of the plant, reduced **emissions** of nitrogen oxides by approx. 60% → about 350 tons p.a.
- Engines require **minimal amounts of water** for cooling
- Ability to respond quickly and reliably to the variable production of **renewable resources**



THE FIRST UTILITY-SCALE RECIPROCATING ENGINE POWER PLANT IN AUSTRALIA'S NATIONAL ELECTRICITY MARKET

- Wärtsilä will deliver a 211 MW **Smart Power Generation** power plant to AGL
- Flexibility of our power plants is a **key enabler** for utilities in an electricity market with high share of renewable energy
- Flexibility rewarded in the National Electricity Market, which drives **investment in flexible gas as well as energy storage**
- The new power plant will improve the **reliability and security** of supply in South Australia
- AGL is planning to **replace Liddell coal plant** with renewables and additional 750 MW of flexible gas capacity

**OVER 50 COUNTRY AND SYSTEM
STUDIES MADE BY WÄRTSILÄ
ALL OVER THE WORLD**



 = PLEXOS study made by Wärtsilä

The quest for **optimal capacity mix** to get the lowest total cost

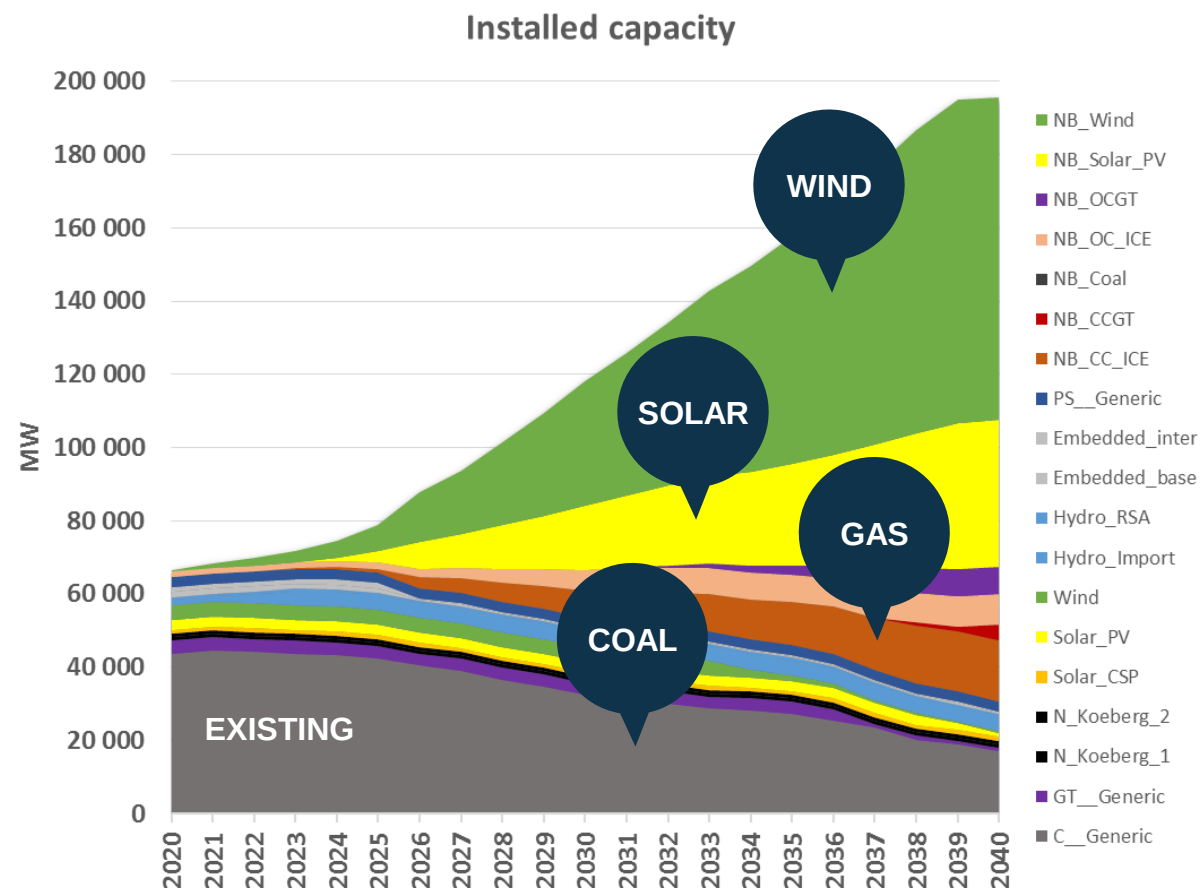
In last decade power sector has changed so much that, if a new power system would be built today from scratch, it would look totally different than the power systems look today.

Transition is ongoing, but in industry where assets' life times are 20-30 years, it takes time.

Advanced Power System modelling tools can be used for optimizing capacity mix during this transition period

→ **OBJECTIVE OPINION WHERE POWER SYSTEMS SHOULD GO.**

EXAMPLE OF EXPANSION MODELING CAPACITY OUTPUT



COST INFORMATION**Variable costs**

- Fuel
- Maintenance
- Water & emissions
- Emission reduction, ...

Fixed Costs

- Capital costs
- Operational costs
- Financial costs

GRID INFORMATION**Transmission network**

- Lines (capacity)
- Nodes (generator / load points)
- Interconnections

OTHER CONDITIONS

- Temperature
- Altitude
- Contractual dispatches (IPP, bilateral contracts, CHP, etc.)

Market information**Market information**

- Market mechanisms
- Bidding behaviour

Ancillary service

- Spinning
- Non-spinning

**POWER SYSTEM
MODEL**
PROFILES

- Wind
- Solar
- Constrained hydro
- CHP (Combined Heat and Power)
- PPA constraints

SYSTEM NEEDS

- Demand profile
- Operational reserve requirement
- Forecast error

POWER PLANT TECHNICAL DATA**Types**

- Coal
- Nuclear
- OCGT, CCGT
- ICE

Features

- Efficiencies
- Dynamic features
- O&M costs



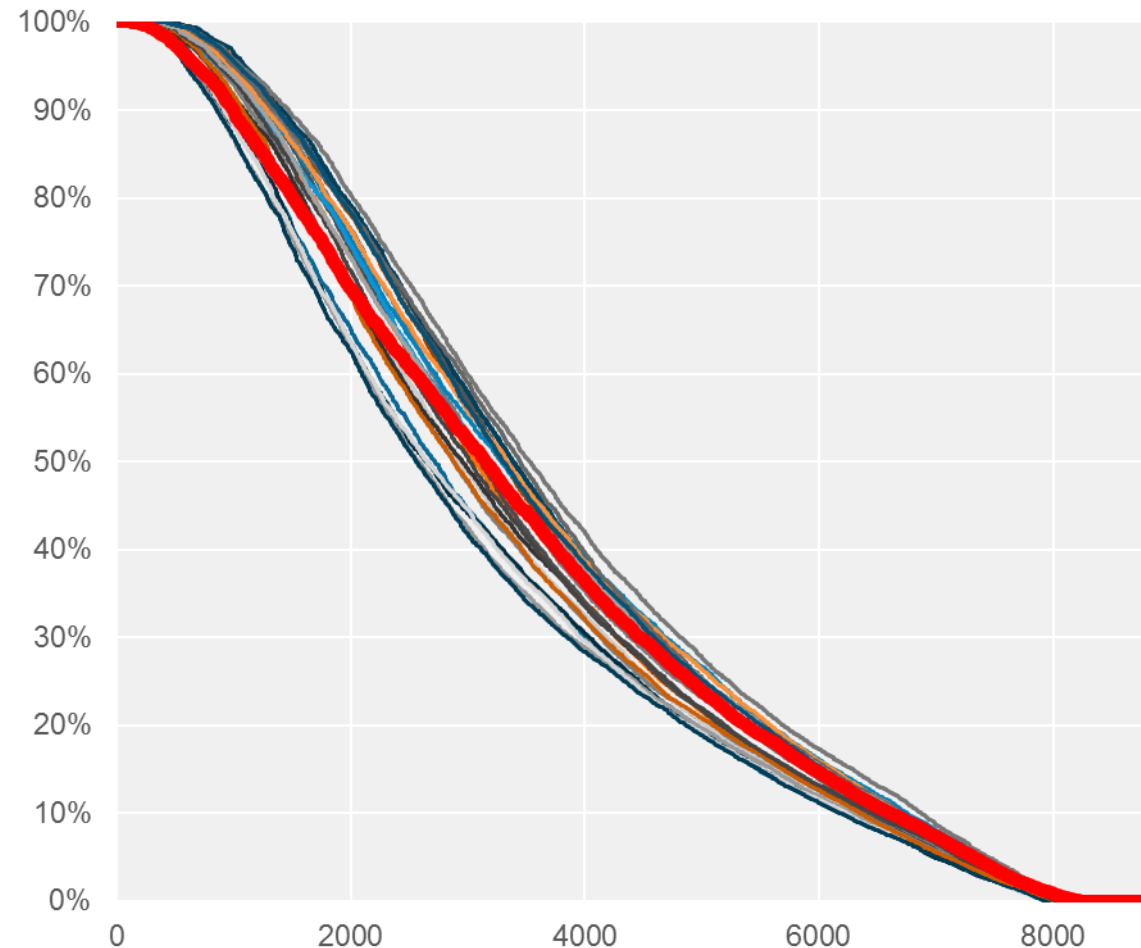
ACCURATE DATA COLLECTION AND MODELING IS A SERIOUS TASK, BUT IT PAYS OFF

TUOTANTOKUSTANNUKSET SUOMESSA

Tuulivoima markkinaehtoisesti kannattavaa

- Tuulivoiman tuotantokustannukset ovat alentuneet niin Suomessa kuin maailmalla merkittävästi viime vuosien aikana
- Uudet tuulivoimalat ovat kooltaan isompia (yli 4 MW), joiden huipunkäyttöaika on korkea – Suomessa noin 40%
- Kilpailu ja teknologiakehitys on alentanut investointikustannuksia merkittävästi – investointikustannus noin 1 MEUR/MW
- Alentuneet kustannukset ja parantunut käyttöaste pystyvät tarjoamaan noin 30 EUR/MWh tuotantokustannuksen tuulivoimalle

UUDEN TUULIVOIMALAN PYSYVYYSKÄYRÄ SUOMESSA



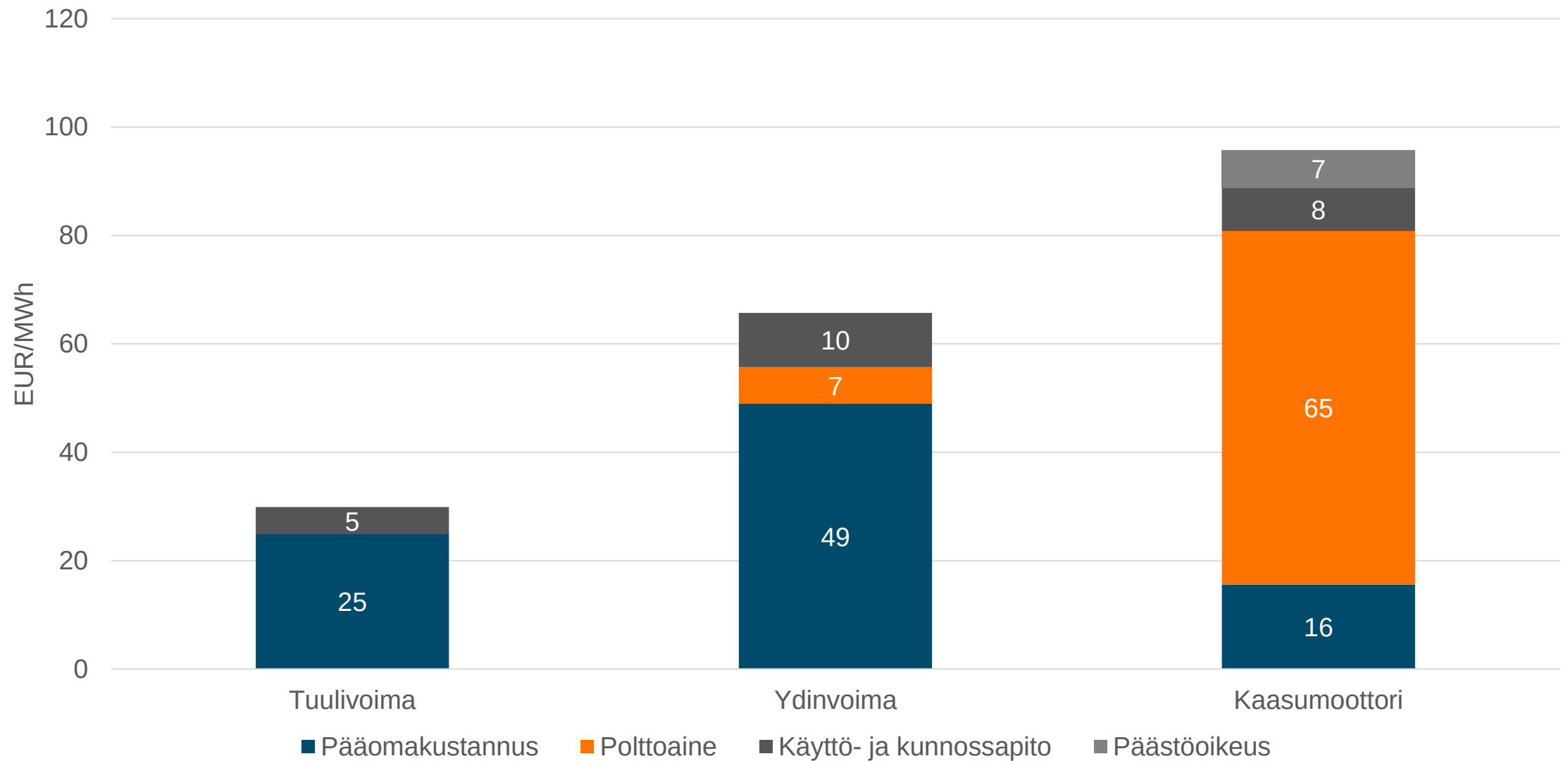
	Tuulivoima*	Ydinvoima**	Kaasumoottori***
Sähköteho	100 MW	1 200 MW	100 MW
Ominaisinvestointi	1 000 EUR/kW	6 000 EUR/kW****	500 EUR/kW
Hyötysuhde	100%	37%	46%
Polttoaineen hinta	-	2,5 EUR/MWh	30 EUR/MWh
Päästöoikeuden hinta	-	-	15 EUR/t
Käyttö- ja kunnossapito-kustannukset	5 EUR/MWh	10 EUR/MWh	8 EUR/MWh
Taloudellinen käyttöikä	20 vuotta	40 vuotta	20 vuotta
Käyttökerroin	40%	93 %	32%
Korkotekijä (WACC)	6%	6%	6%

* Tuulivoiman kustannustiedot perustuvat useiden suomalaisten tuulivoimatuottajien hintatietoihin. Arvot laskettu uudelle 4.2 MW koon turbiinille

** Ydinvoiman lähtötiedot perustuvat Lappeenrannan teknillisen yliopiston julkaisuun Sähköntuotantokustannusvertailu 2017 muilta kuin investointikustannuksen osalta

*** Kaasumoottorin tiedot perustuvat Wärtsilän tietoihin

**** Ydinvoiman omaisinvestointi perustuu OL3 hintatietoihin sekä Talouselmän 1.9.2017 julkaisemiin tietoihin (Fennovoiman kustannus 7.14 mrd euroa)

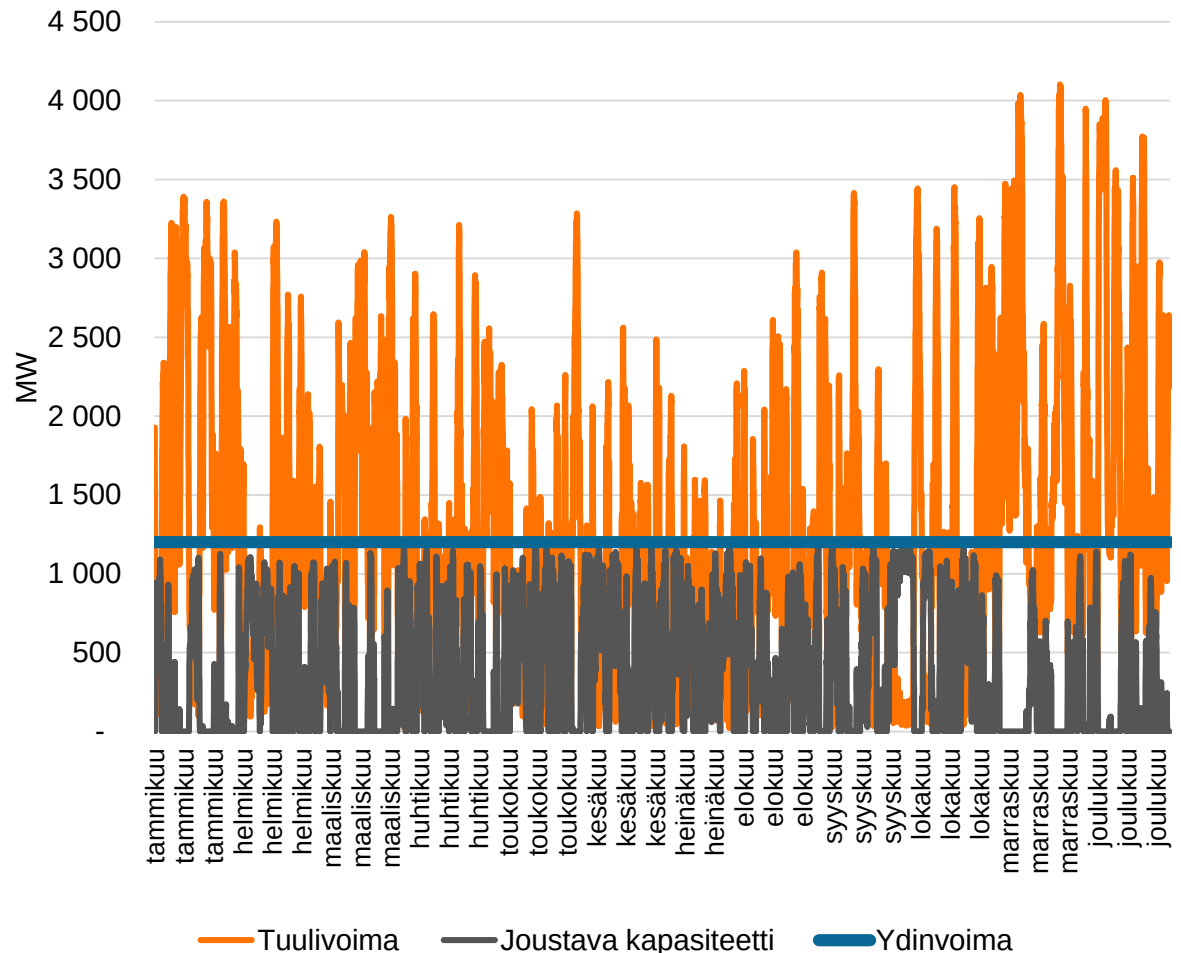


TUULIVOIMA OSANA SÄHKÖJÄRJESTELMÄÄ

Esimerkkilaskelma eristetystä systeemistä

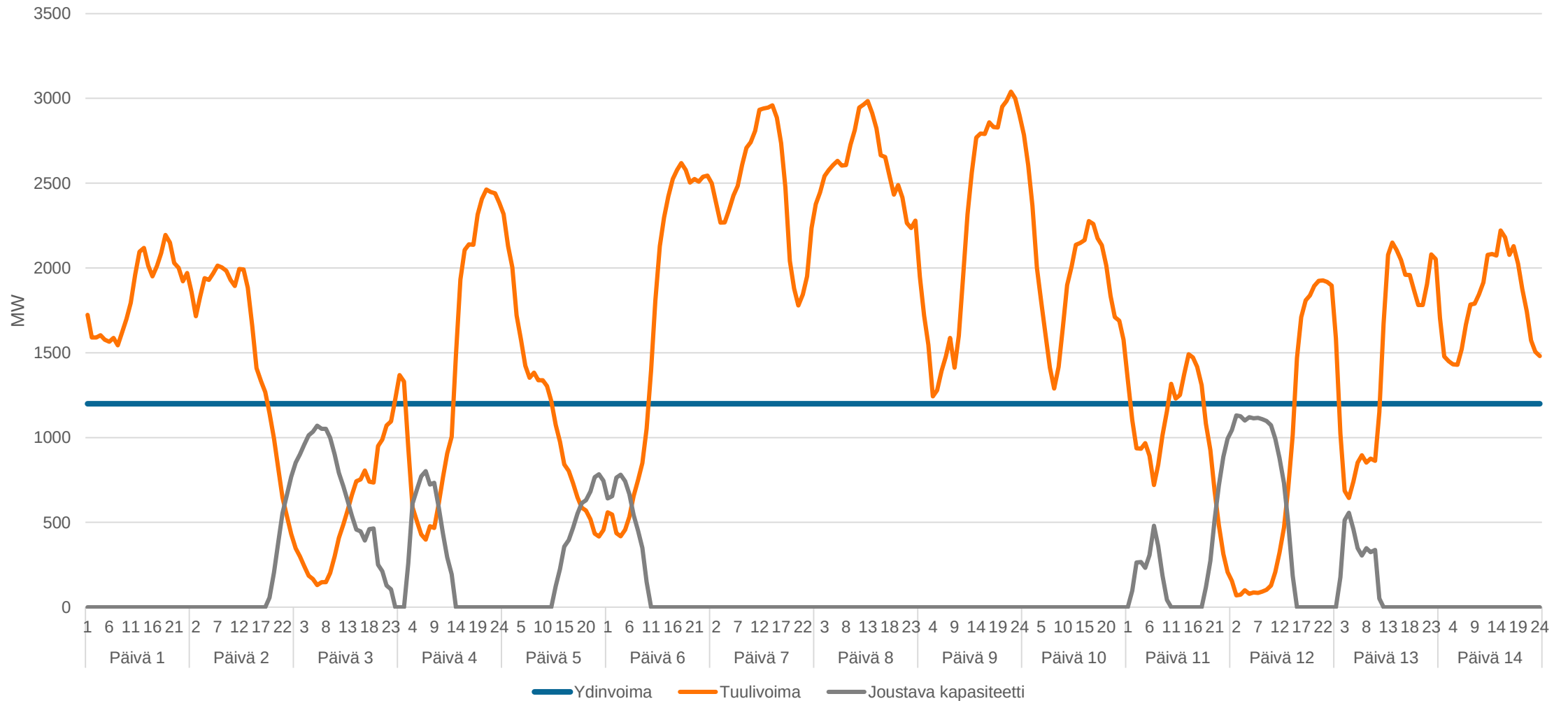
- Tarkastellaan kahta eri vaihtoehtoa
 - 1200 MW ydinvoimala
 - 4100 MW tuulivoimaa + 1200 MW säätövoimaa
- Tuulivoiman määrä on mitoitettu siten, että siitä saatava energiamäärä vastaa vuosittaista ydinsähkön määrää
- Mikäli tuulivoiman teho hetkellisesti on alle 1200 MW, niin silloin erotus katetaan joustavalla säätövoimalla
- Tuulivoiman osalta käytetty vuoden 2017 Suomen tuuliprofiilia*

TUULIVOIMAN JA SÄÄTÖVOIMA VS. YDINVOIMA



*<https://data.fingrid.fi/fi/dataset/wind-power-generation>

TUULIVOIMA + SÄÄTÖVOIMA VS. YDINVOIMA



	Ydinvoima	Tuulivoima	Kaasumoottori
Sähköteho	1200 MW	4102 MW	1177 MW
Sähköntuotanto	10,5 TWh	10,5 TWh	3,3 TWh
Tuotantokustannus	66 EUR/MWh	30 EUR/MWh	96 EUR/MWh
Vuosikustannus	693 MEUR	316 MEUR	315 MEUR
Systeemikustannus	693 000 000 EUR / 10 500 000 MWh = 66 EUR/MWh	(316 000 000 EUR + 315 000 000 EUR) / (10 500 000 MWh + 3 300 000 MWh) = 46 EUR/MWh	

- Tuulivoima + säätövoima- vaihtoehto tuottaa noin 30% halvemmän systeemikustannuksen
- Esimerkkilaskelmassa on oletettu, että ylimääräinen tuulivoima saadaan hyödynnettyä systeemissä ja toisaalta muuta säätövoimaa kuin kaasumoottoreita ei ole saatavilla
 - Todellisuudessa suurin osa säätövoimasta tuotettaisiin vesivoimalla tai energia tuotaisiin siirtolinjojen kautta
 - Säätövoimakapasiteetti tarvitaan systeemissä, mutta sen käyttö on todellisuudessa vähäisempää
- Koko Suomen tasolla systeemikustannukset tulee mallintaa systeemimallinnuksen avulla

TUULIVOIMA OSANA SUOMEN SÄHKÖJÄRJESTELMÄÄ

LÄHTÖTIEDOT

Hintatiedot

- Polttoainehinnat
- Markkinahinnat (rajasiirrot)
- Päästöoikeuden hinnat

Systeemitiedot

- Rajasiirrot
- Tuntikohtainen kulutus
- Toimitusvarmuus

Tuotantokapasiteetti

- Voimalaitokset
- Kapasiteetti, hyötysuhde, polttoaine, huoltokustannukset
- Investointikustannukset
- Vesivoiman mallinnus

Profiilit

- Tuulivoimaprofiili
- Kulutustiedot
- Lämpökuorma

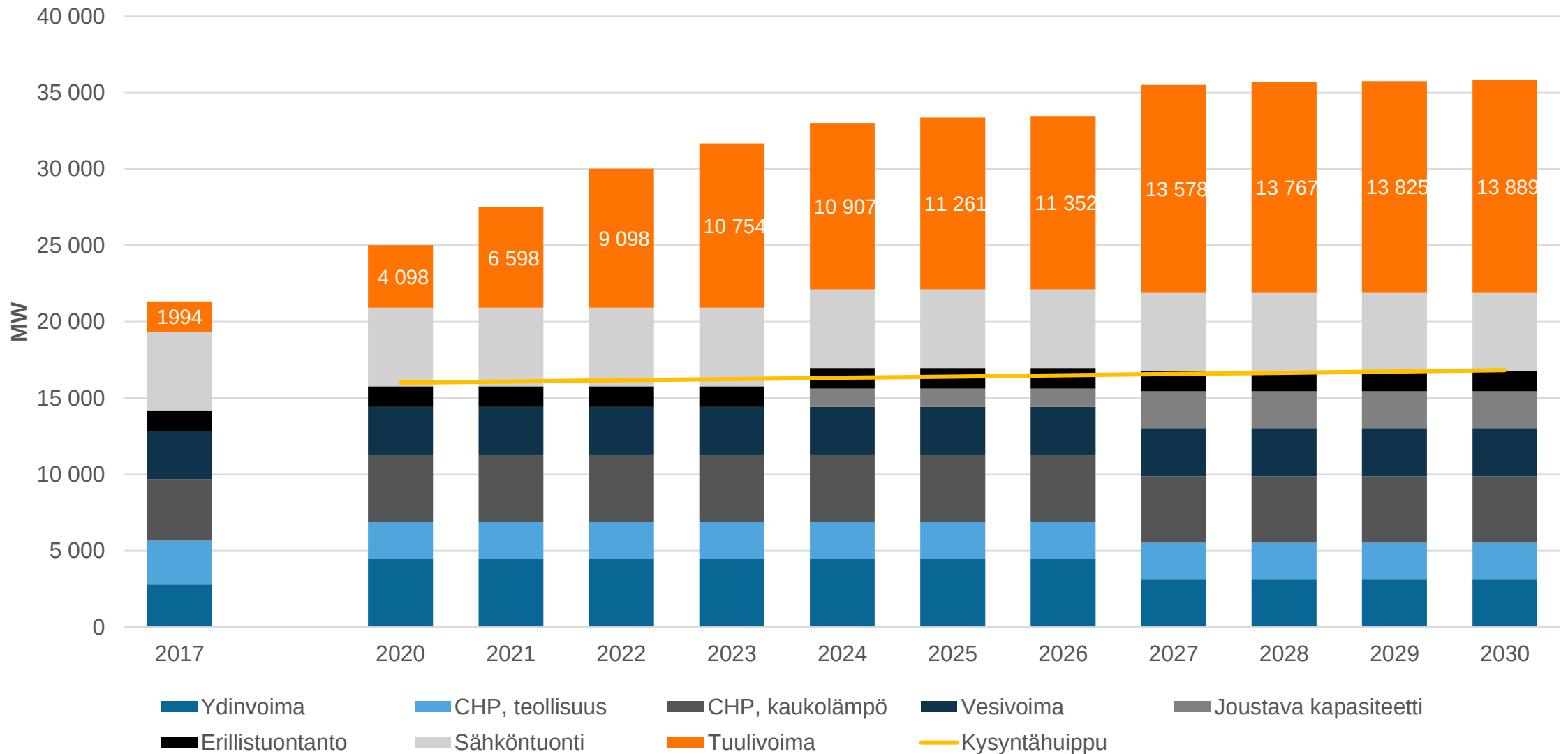


LASKENTAPROSESSI

- Systeemitason mallintaminen käyttäen PLEXOS-työkalua
- Tuntikohtainen tuotannon optimointi pyrkien minimoimaan kustannukset
- Kronologinen tuotantokapasiteetin lisääminen vuosien 2020-2030 välillä, siten että kustannukset minimoituvat ja varmistetaan systeemin luotettavuus
- Laskenta huomioi rajasiirrot
- Laskennassa huomioitu sähköjärjestelmän lisäksi kaukolämpö- ja teollisuuslämmön tarve

TULOKSET

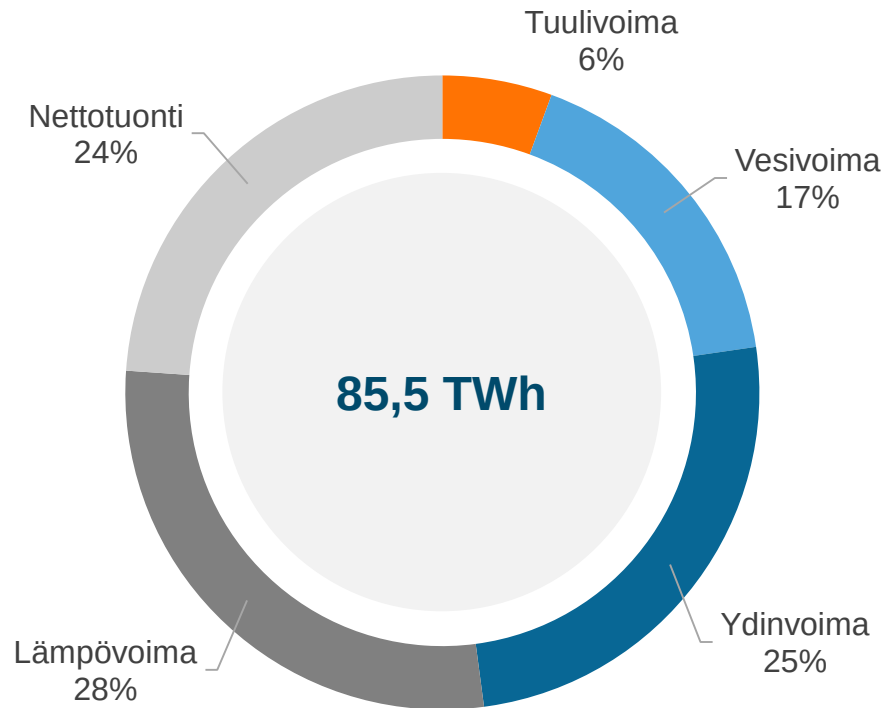
- Optimaalinen kapasiteetin lisääminen sähköjärjestelmään
- Sähköntuotanto 1 tunnin resoluutiolla
- Tuotantokustannukset laitostasolla ja koko systeemikustannukset
 - Polttoainekustannukset
 - Huoltokustannukset
 - Päästöoikeudet
 - Investointikustannukset
- Päästöt
- Rajasiirtojen käyttö



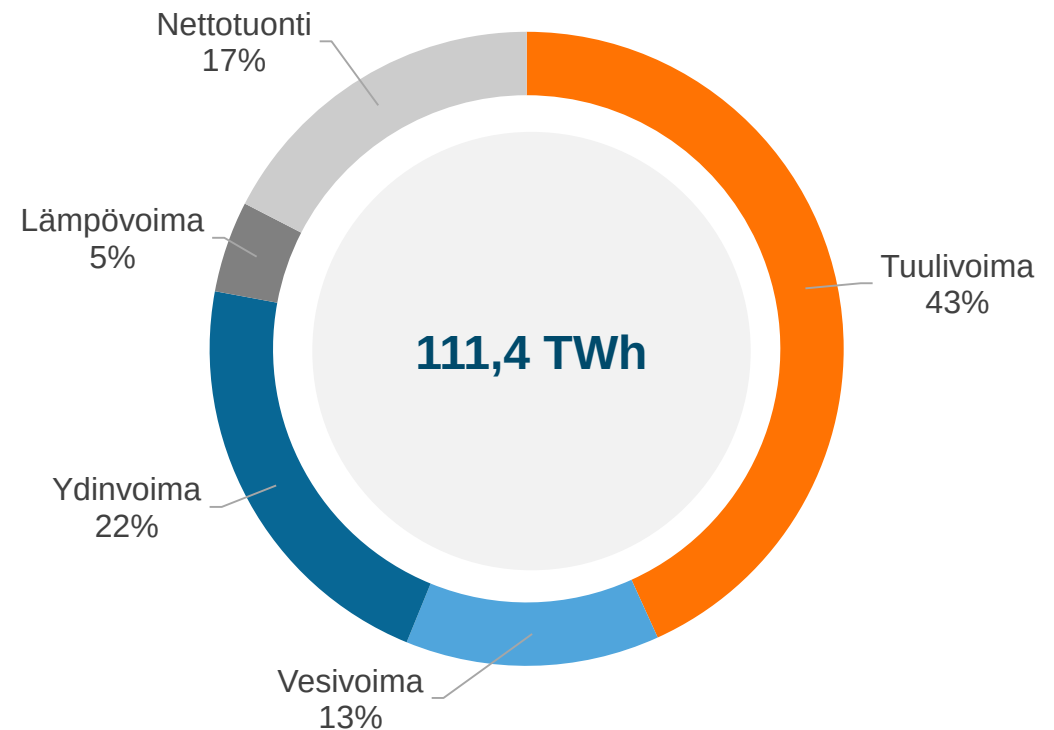
*Vuoden 2017 tiedot perustuvat Energiamarkkinaviraston voimalaitosrekisterin tietoihin

Sähköntuotannon muutos optimoidussa systeemissä

Sähköntuotanto Suomessa ja tuonti 2017*



Sähköntuotanto Suomessa ja tuonti 2030



*Energiavuosi 2017 – Energiateollisuuden julkaisu

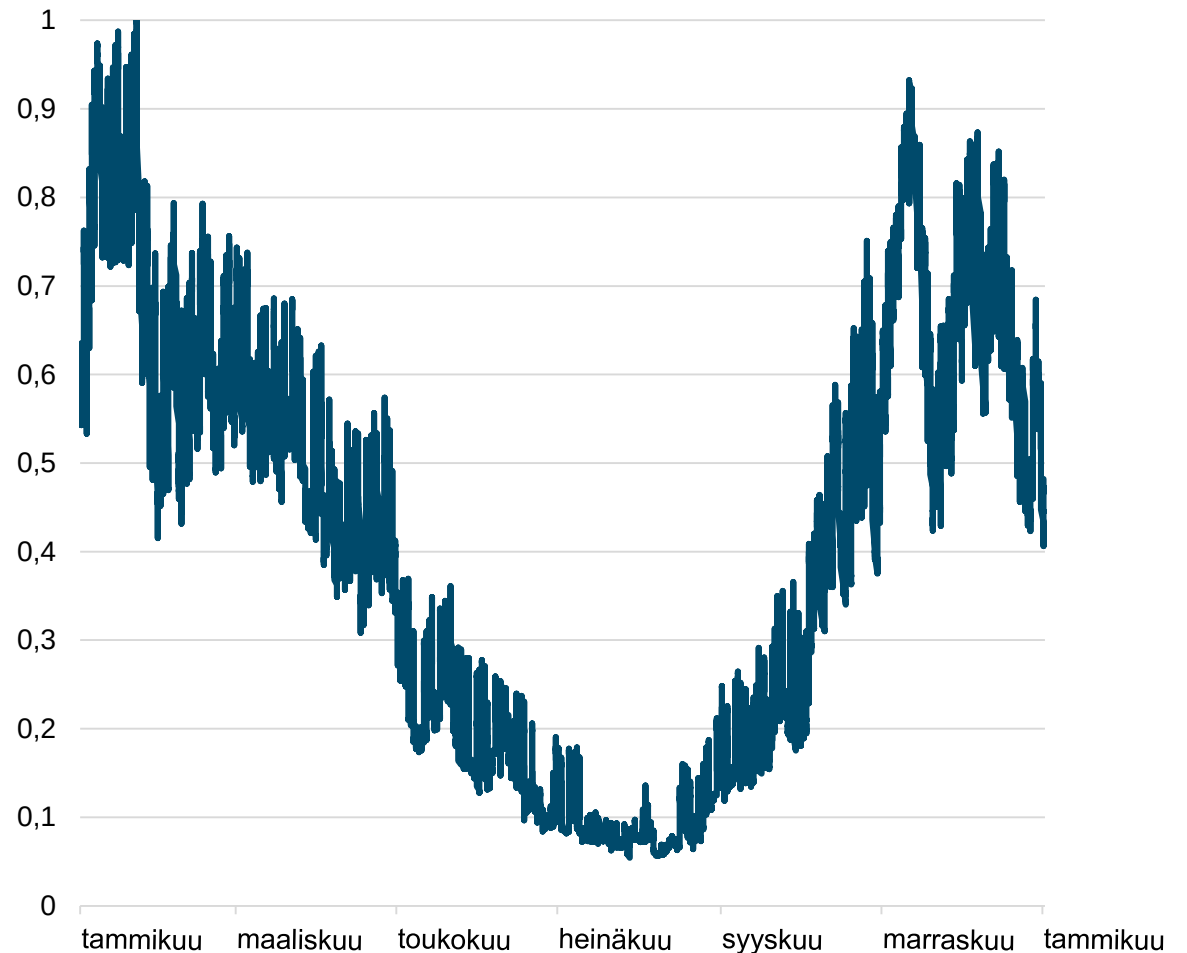
Kaukolämmön siirtyminen lämpöpumppuihin

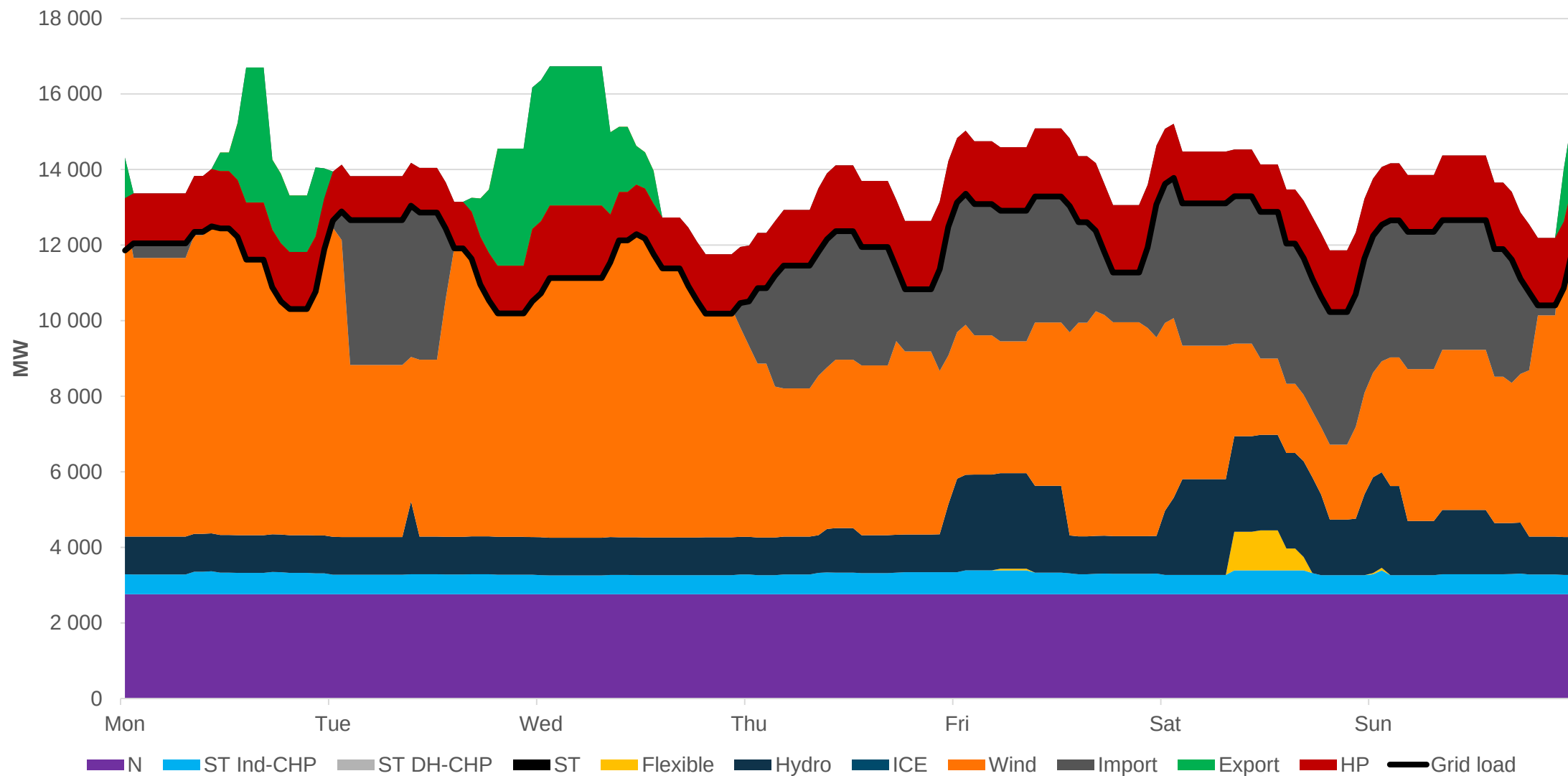
Edullinen tuulisähkö mahdollistaa kaukolämmön siirtymisen isoihin järvi-/merivesilämpöpumppuihin

Optimointimallissa rakennetaan sähköteholtaan 1 700 MW lämpöpumppuja (5 100 MW lämpöteho), mikä korvaa suurelta osin yhdistettyä sähkön- ja lämmön tuotantoa

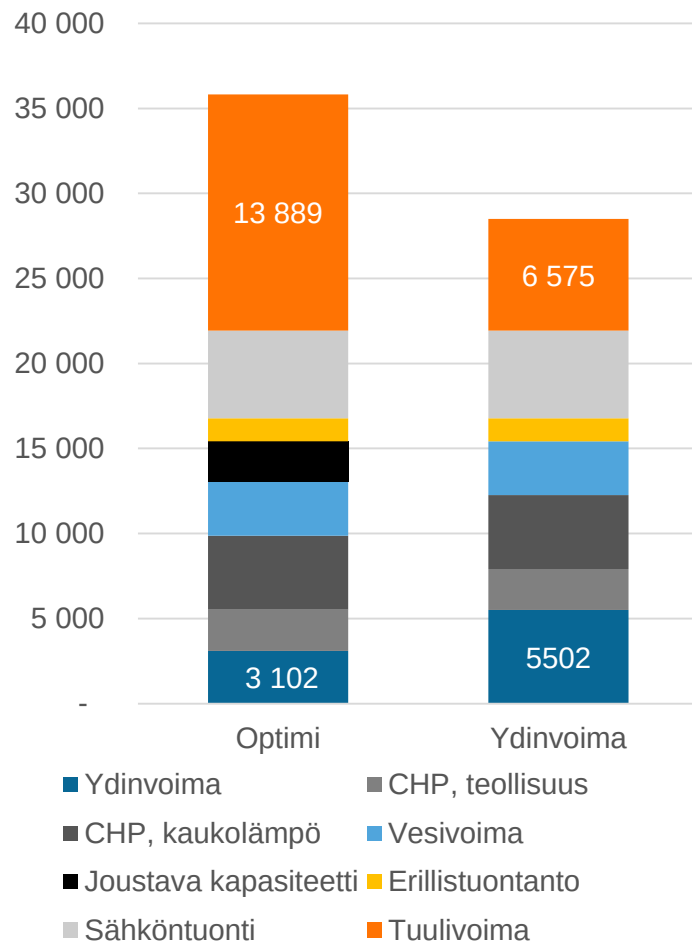
Lämpöpumput yhdessä kaukolämpöverkon kanssa toimivat erinomaisesti ”lämpöakkuna” kun tuulivoimaa on saatavilla ja näin tasapainottavat Suomen sähköjärjestelmää

KAUKOLÄMMÖN VUOSIPROFIILI

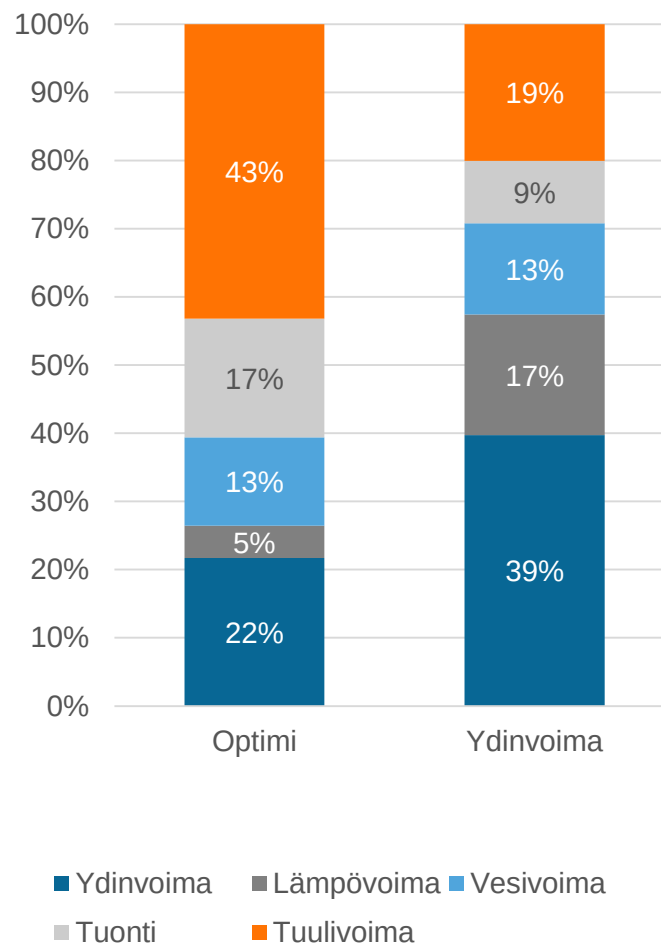




KAPASITEETTIRAKENNE



ENERGIANTUOTANTO



SYSTEEMIVAIKUTUKSET

SYSTEEMIKUSTANNUKSET

Systeemikustannukset ovat 27% alemmat Optimi- skenaariossa verrattuna ydinvoimaskenaarioon

Laskelma huomio operatiiviset, kiinteät sekä investointikustannukset koko systeemin tasolla, sekä lisää kustannukset rajasiirtojen kautta tulevasta energiasta

PÄÄSTÖT

CO₂-päästöt ovat 90% pienemmät Optimi- skenaariossa

Päästöälenema on merkittävä koska turpeella tehtävää yhteistuontoa korvataan lämpöpumpuilla

Sähköntuotannon päästöt ovat hyvin matalat Optimi- skenaariossa verrattuna nykytilaan

SYSTEEMIN LUOTETTAVUUS

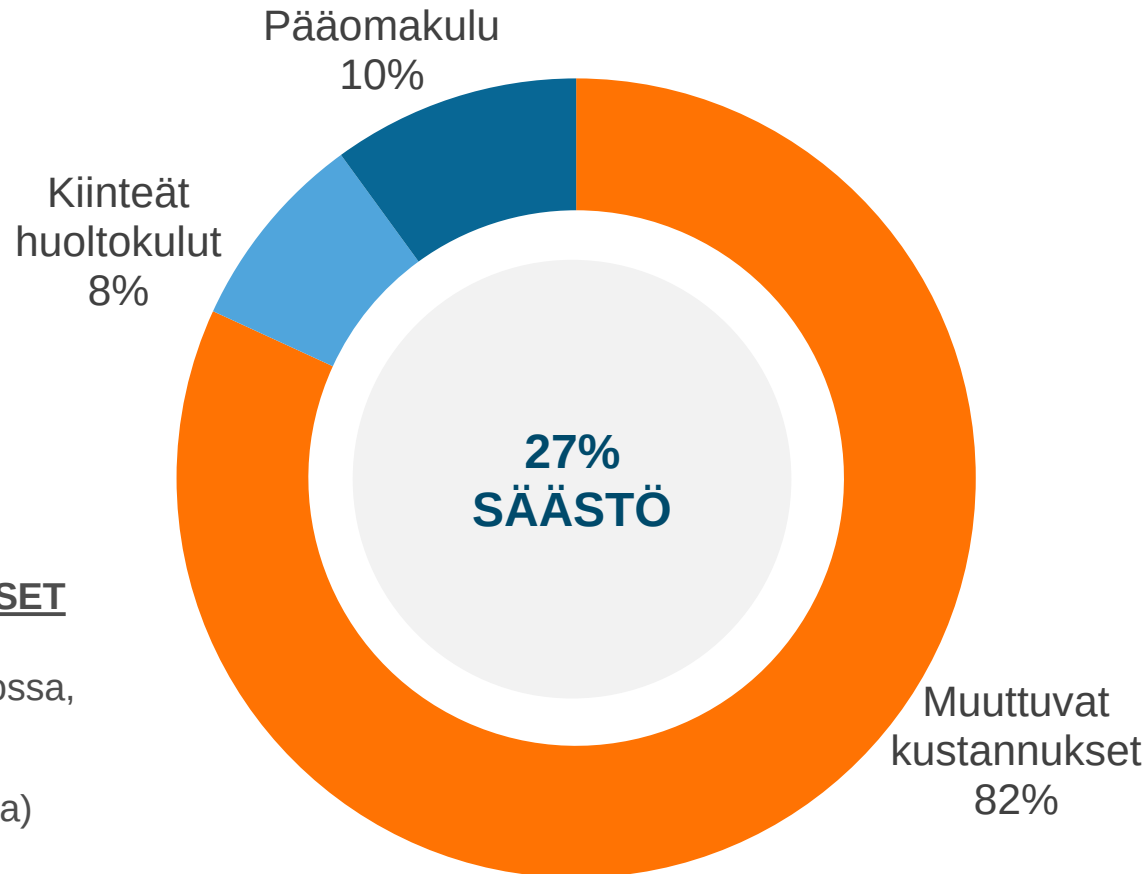
Optimi- skenaariossa malli rakentaa riittävästi uutta joustavaa kapasiteettia (2,400 MW) varmistamaan systeemin toimintavarmuuden

PÄÄOMAKULU

- Tuulivoiman kustannuksista merkittävä osuus on pääomakulua
- Pääomakulu tuo 10% säästöistä Optimi-skenaariossa, vaikka kapasiteettia rakennetaan merkittävästi enemmän – tuulivoiman yksikkökustannus on merkittävästi ydinvoimaa edullisempaa

KIINTEÄT HUOLTOKUSTANNUKSET

- Kiinteät huoltokustannukset ovat alhaisemmat Optimaali- skenaariossa, koska ydinvoimakapasiteettia on vähemmän (ydinvoiman kiinteät huoltokustannukset 40 EUR/kW/a)



MUUTTUVAT KUSTANNUKSET

- Suurin säästökomponentti koska tuulivoiman tuottaa merkittävän määrän energiasta
- Alhaisemmat polttoainekustannukset kun CHP tuotantoa ja ydinvoimaa on vähemmän
- Alhaisemmat muuttuvat huoltokustannukset koska CHP kapasiteettia ja ydinvoimaa käytetään vähemmän – enemmän tuontia

YHTEENVETO

Tuulivoima on kilpailukykyistä ilman tukia Suomessa jo nykyisin –
Tuulivoiman hinta tasolla 30 EUR/MWh

Systeemimallinnuksen perusteella tuulivoimaa tullaan lisäämään
Suomeen markkinaehtoisesti merkittäviä määriä – 7 kertainen määrä
vuoden 2017 lopun tilanteeseen verrattuna

Tuulivoiman lisääntyminen tulee alentamaan sähköntuotannon
kokonaiskustannuksia sekä päästöjä Suomessa – Laskennallisesti
27% säästö verrattuna ydinvoimavaihtoehtoon, ja 90% alenema CO₂
– päästöissä

KIITOS!



WÄRTSILÄ