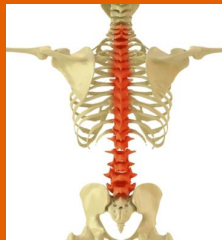
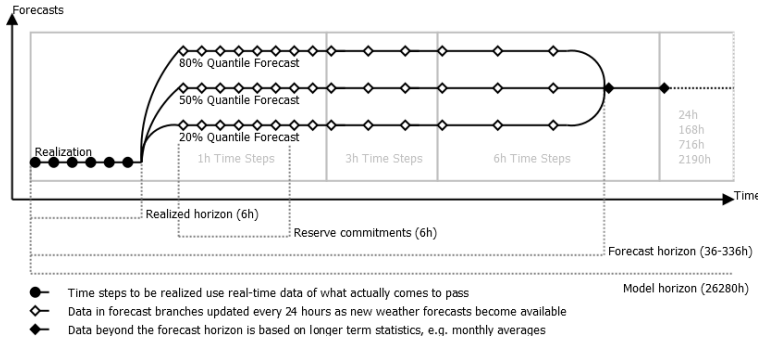


# Miten energiajärjestelmien mallintamisessa kannattaa huomioida ennusteiden epävarmuus?

Hannele Holttinen,  
Juha Kiviluoma, Topi Rasku, Jari Miettinen, Niina Helistö, Erkkä Rinne



## Sisältö

Aikaskaalat, epävarmuustiedon käyttö

- vaikutus säätövoiman tarpeeseen

Energiamallinnus – epävarmuudet eri aikaskaaloilla, ja niiden mallinnus

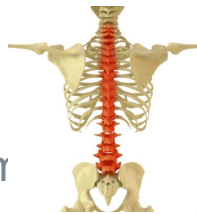
# VaGe-project

Improve the uncertainty estimates of weather related power generation: medium- and short-term time scales

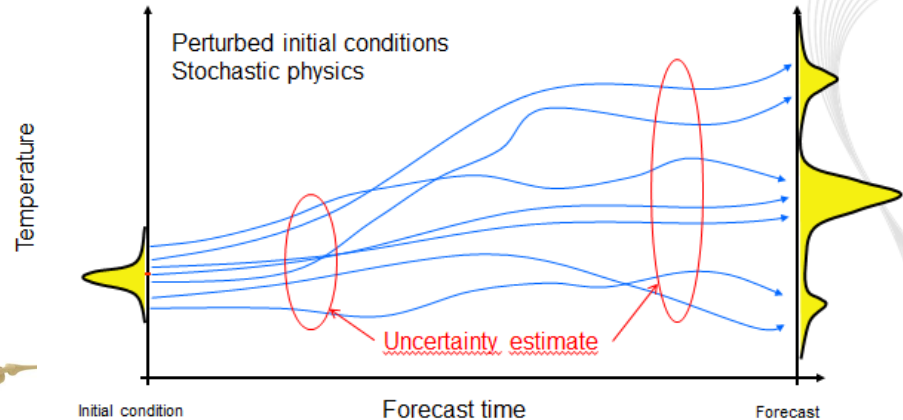
→ to mitigate variability and uncertainty utilizing better forecasts (calibrated ensemble forecasts)

Improve energy system modelling:

→ an adaptable energy system optimization model to capture forecast uncertainty



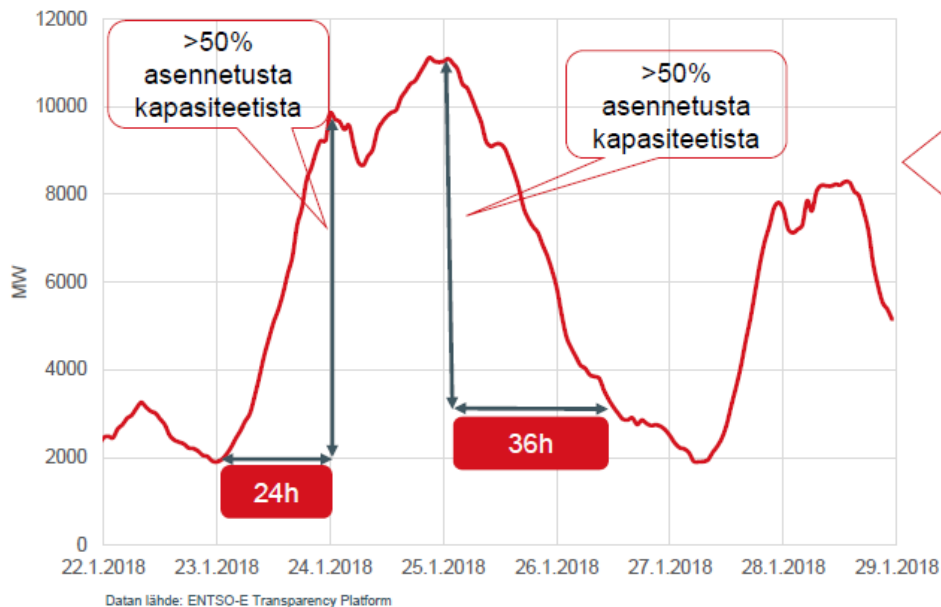
## Producing and calibrating ensemble forecasts



Complete description of weather prediction in terms of a Probability Density Function (PDF)

# Wind power as one of the challenges for Nordic /European markets

Pohjoismaisen tuulivoiman vaihtelu viikolla 4/2018



- Tuulivoima vaihtelee voimakkaasti myös pohjoismaisella tasolla
- Vesivoiman kyky tasapainottaa vaihteluita mahdollistaa suuremman tuulivoimamäärän integroinnin
- Toistaiseksi tuulivoiman vaihtelu vertautuu vielä kulutuksen vaihteluun (normaali päivä-yövaihtelu pohjoismaisella tasolla n. 10-12 GW), mutta tuulivoimakapasiteetin kasvaessa tilanne muuttuu

## Results: Use of Forecasting...

Trading type	day-ahead market	intra-day market	ancillary services	reserve market
percent [%]	92	63	25	29

Business hours:	24/7	7-- 22	9-5
percent [%]	60 (64)	5	35

Trading Model:	price taker	price maker
percent [%]	78 (80)	22 (20)

Type of forecast	single forecast	multiple forecasts
percent [%]	36 (37)	68

Knowledge of Ensemble Forecasting	Knowledge	Use EPS Forecasts	work after OPR rules
percent [%]	71	21	38



	Decisions		Responsibility
Years	Investments	€€€€€	Regulator
Months	Hydro planning		-
Days	Day-ahead market	€€€	Market operator
Hours	Intra-day markets	€	Market operator
Minutes	Balancing market	€	System operator
	Manual reserves		System operator
Seconds	Automatic reserves	€	System operator
Now	Inertia		System operator

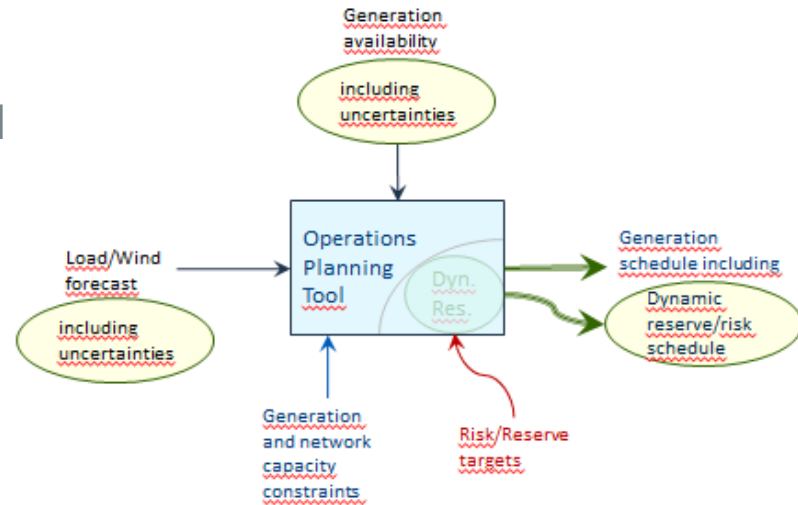
# Planning and operation of power systems

---

## different time scales

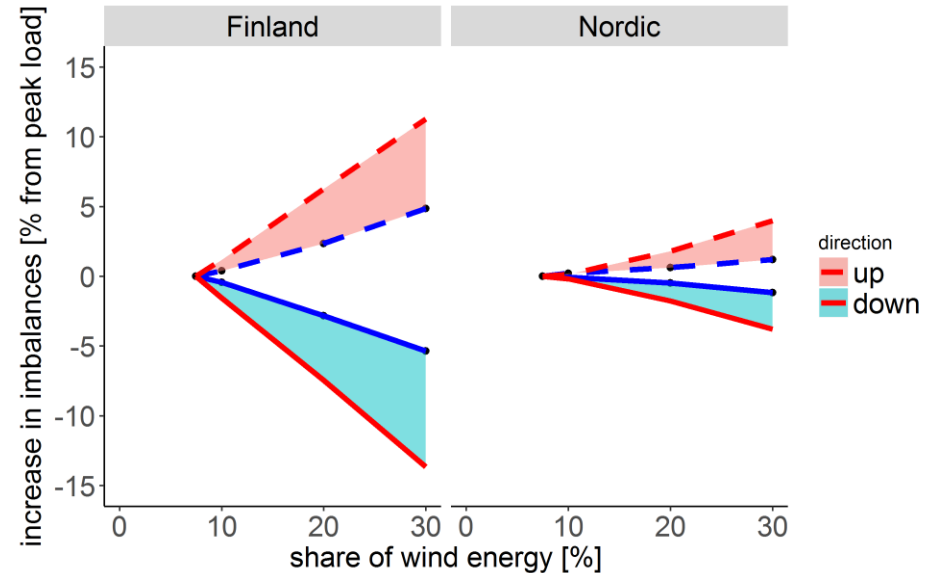
# Day ahead system operation with balancing

- Scheduling, electricity markets according to forecasted demand and generation
- Covering the uncertainties in forecasts: operating reserves
  - Combining all uncertainties



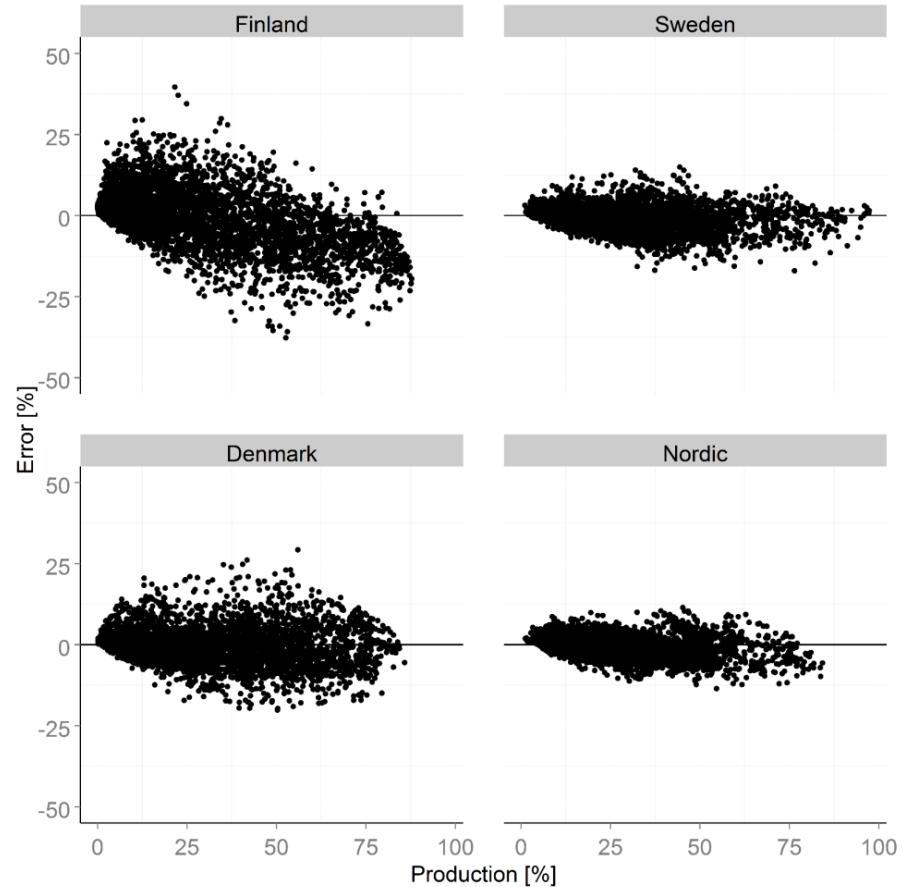
# Day ahead versus intraday – imbalances increasing due to wind power, case Nordic

- Imbalances are twice as large for Finland than aggregating 4 Nordic countries
- Imbalances are twice as large for day-ahead than for intraday
- When larger share of wind power, it is important to correct forecast errors intra-day





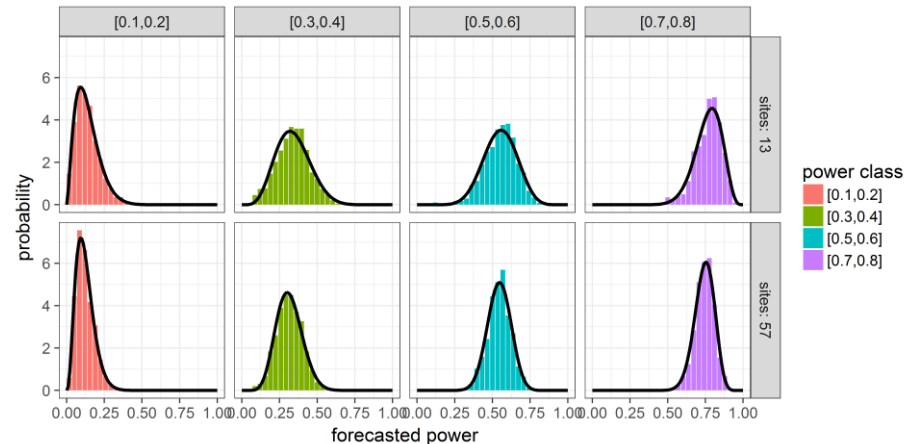
# Smoothing impact – Nordic case: extreme errors smooth out



J Miettinen, H Holttinen: Characteristics of day-ahead wind power forecast errors in Nordic countries and benefits of aggregation. *Wind Energy*, 2016. (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/we.2073/abstract>)

# Simulating forecast errors of aggregated wind power for energy system models

- The distribution of forecast errors is dependent on the region size, the amount of wind power and how dispersed it is
- Theoretical work shows that with two parameters the distribution can be estimated quite well
- This can be used for simulating errors

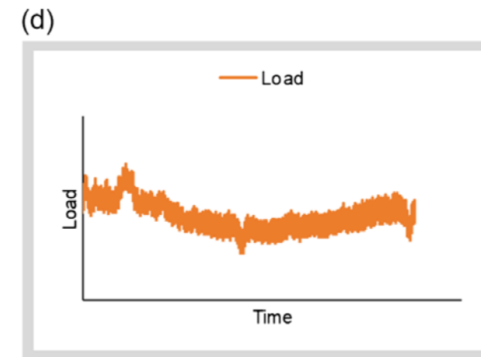
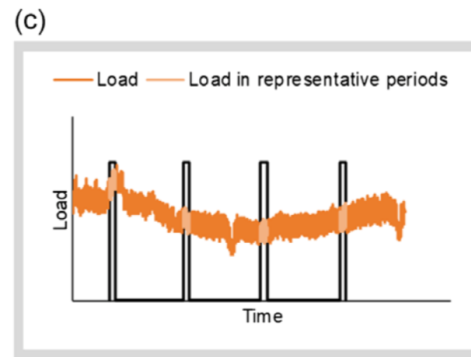
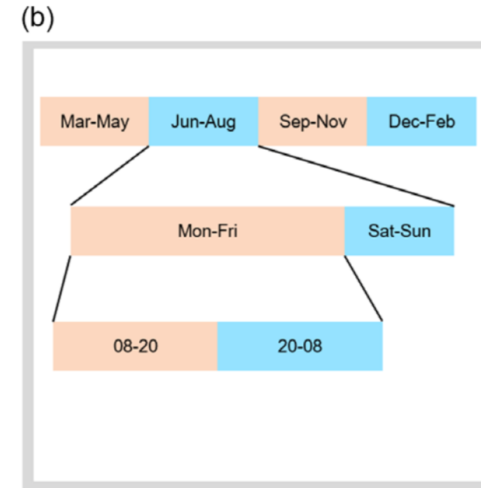
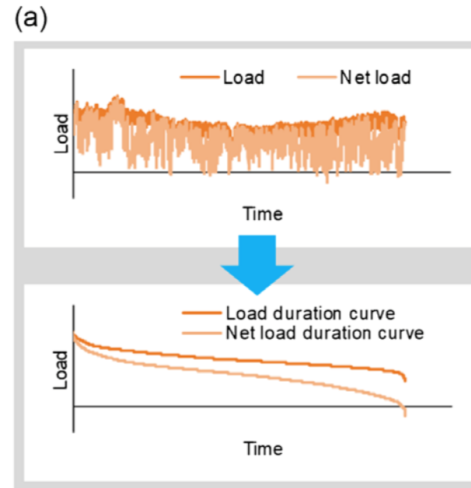


J Miettinen, H Holttinen, B-H.Hodge: Simulating wind power forecast error distributions for spatially aggregated wind power plants. Submitted to Wind Energy (revision March 2019)

# Miten mallintaa vaihteleva tuotanto tulevaisuuden energiajärjestelmää optimoitaessa?

- review artikkelin tulokset:
  - Aikaresoluutio ja järjestelmän ajon yksityiskohdat (ramppaus, start/stop kustannukset) vaikuttavat tuloksiin kun paljon tuulta ja aurinkoa
  - Aikaresoluution vaikutus suurin

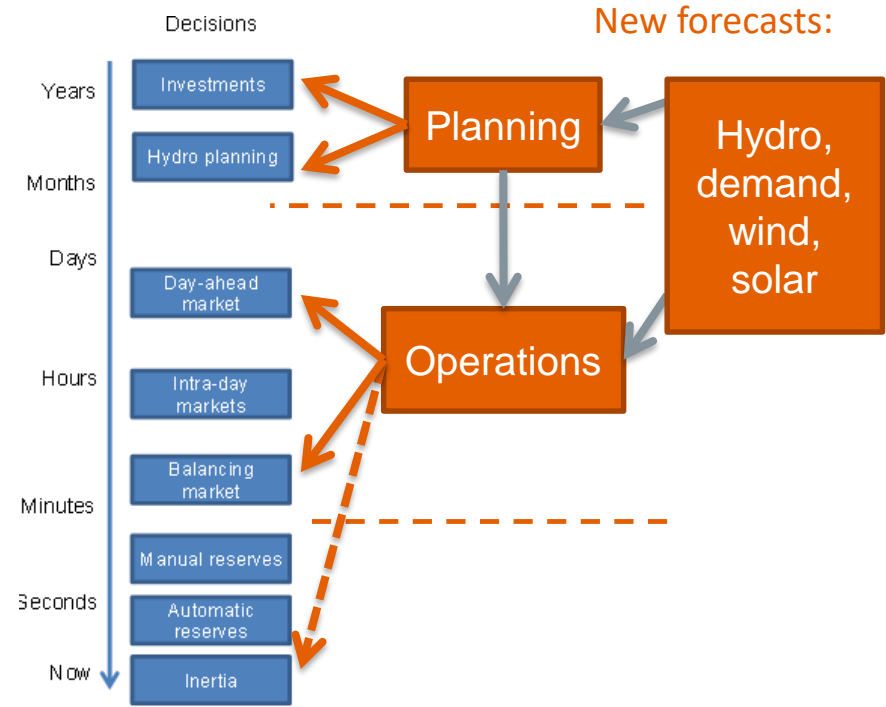
**N Helistö, J Kiviluoma, H Holttinen, B-H.Hodge:**  
 Including operational aspects in the planning of power systems with large amounts of variable generation: A review of modeling approaches to WIREs Energy and Environment, 2019. <https://doi.org/10.1002/wene.341>





# Backbone – adaptable energy systems model

- Investointi-aikaskaala: edustavien viikkojen valinta ottamaan huomioon vaihtelut
- Vesivoima: pidempi horisontti (tarkemmin vesiarvolaskennalla)
- Day-ahead aikaskaala: Päätöksiä voi muuttaa kunnes ei enää ehdi
- Reservi kategorioita voidaan lisätä tarpeen mukaan (reservi lukitsee kapasiteetin, mutta voidaan myös vapauttaa toteutuvassa aika-asteleessa)

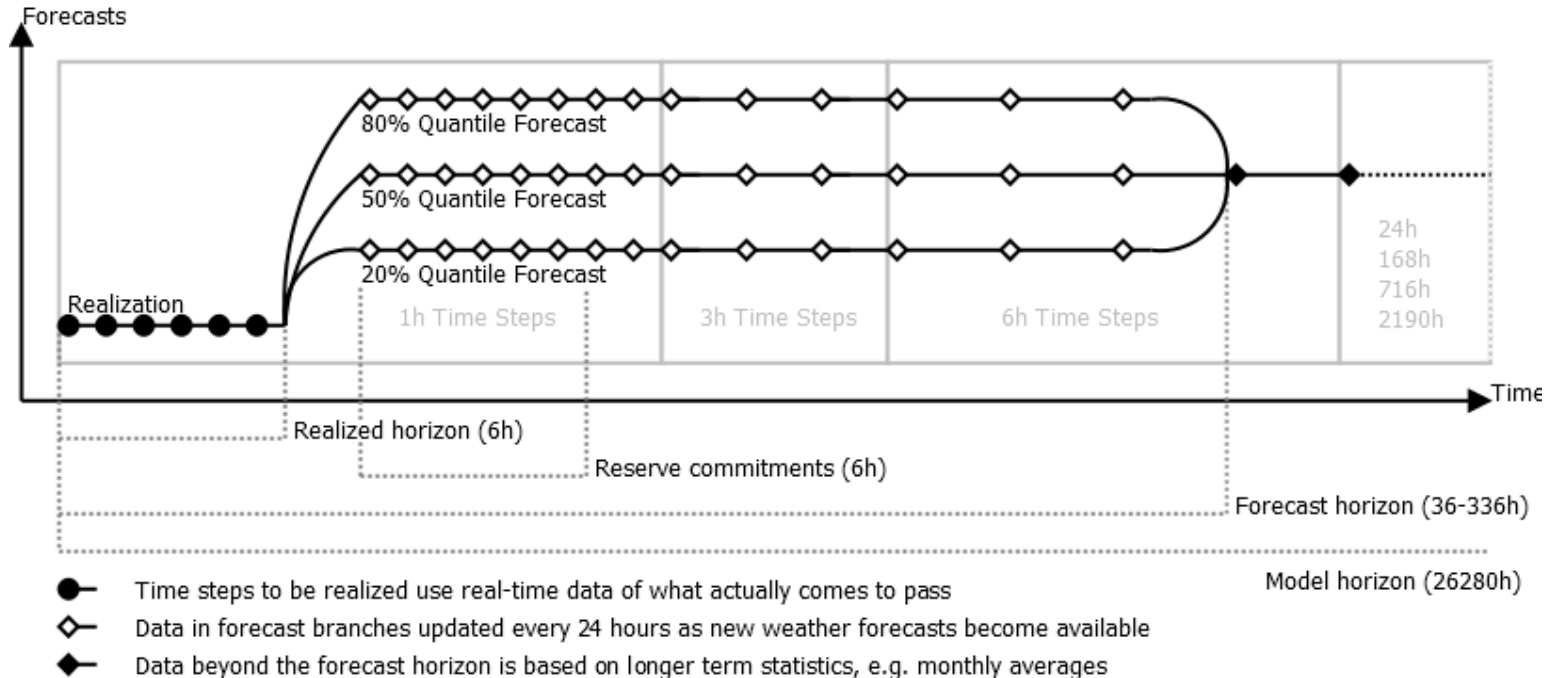


# Miten energiamallinnuksessa voidaan huomioida epävarmuudet?

- Stokastiset ennusteet edustavat mahdollisia polkuja
- Haasteena mallin koon kasvu
  - VaGe:ssa kehitetyssä Backbone mallissa aika-askelia voidaan suurentaa mallihorisontin kasvaessa
  - Laitosten mallinnustarkkuutta voi pienentää ja aggregointia lisätä mallihorisontin kasvaessa
  - Mallin aikarakennetta on helppo muuttaa: tulevissa esimerkeissä malli lukee uudet ennusteet kerran vuorokaudessa ja lisäksi korjaa ennusteita 6 tunnin välein
- Epävarmuuden näkeminen voi olla tärkeää esim. energiavarastoille jotta varasto riittävä useammaksi päiväksi

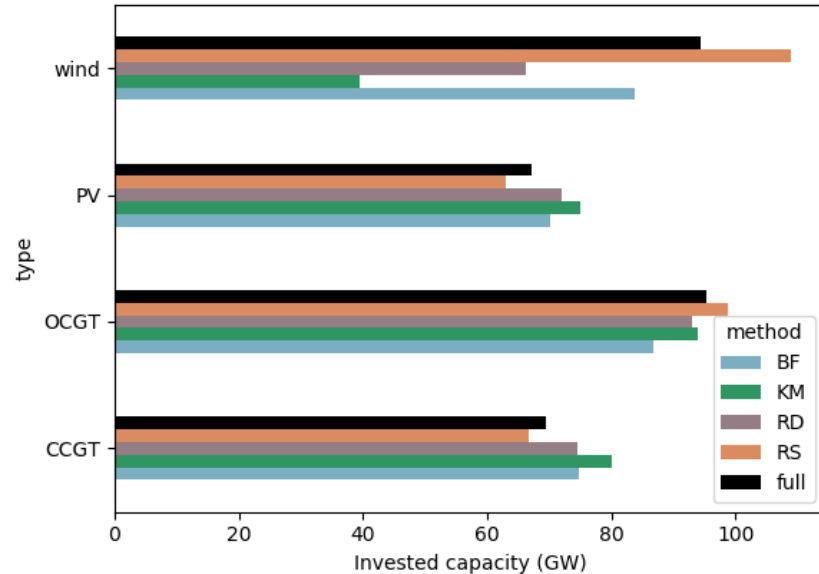


# Ennustetarkkuuden parantuminen lähempänä nykyhetkeä - Rolling planning



# Esimerkki edustavien viikkojen valinnasta

- Koko vuosi usein liian raskas investointioptimointiin
- Täytyy valita edustavat ajanjaksot
- Kehitettiin uusi menetelmä: regular decomposition
- Menetelmä nopea ja pääsee lähelle koko vuoden benchmarkia
- Kuvan tuloksissa kapasiteeteissa suuria eroja, mutta kustannukset +/-1%
- Helistö, Kiviluoma, Reittu, to be submitted



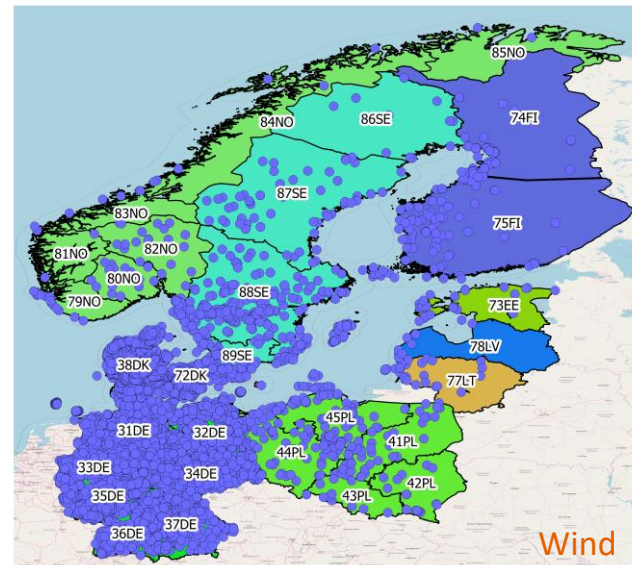
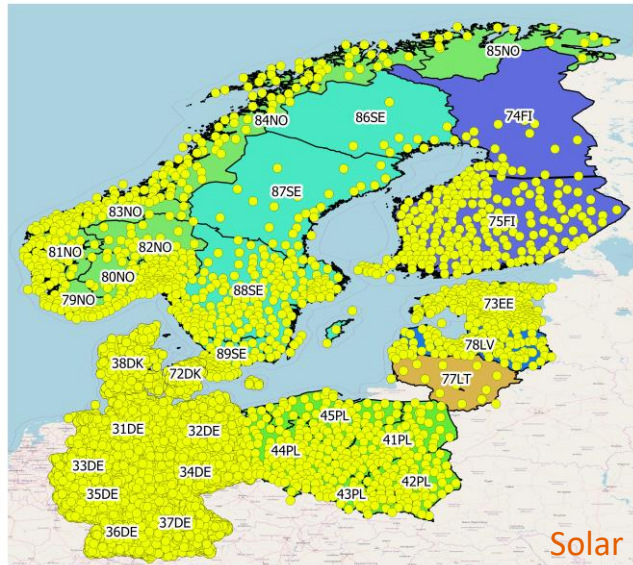
BF: Brute force  
 KM: K-Means  
 RD: Regular de-composition  
 RS: Random sample  
 full: Full year benchmark

# Esimerkki tuuli/aurinko-aikasarjojen käytöstä

- FMI: Ennusteet hilapisteittäin Pohjois-Euroopalle: 360 tuntia eteenpäin, parvessa 50 skenaariota, tuulennopeus ja auringonsäteily
  - Muodostaa parviennusteen pohjalta 3 kvantiiliennustetta 20%, 50% ja 80% kvantiileille
- Toteutunut tuotanto: hilapisteittäin Euroopan säädataa Reanalysis ERA5



# Ennustedatan konvertointi VTT Backbone mallille alueittain tuuli- ja aurinkovoimatuotannoksi



Solar and Wind Power Plant Locations Used for Aggregating  
the Weather Data for the Power System Model Areas

# Kiitos!

Hannele.holttinen@recognis.fi

