

Miten tuulivoiman myötä lisääntyvä epävarmuus vaikuttaa eri energiateknologioiden kannattavuuteen?

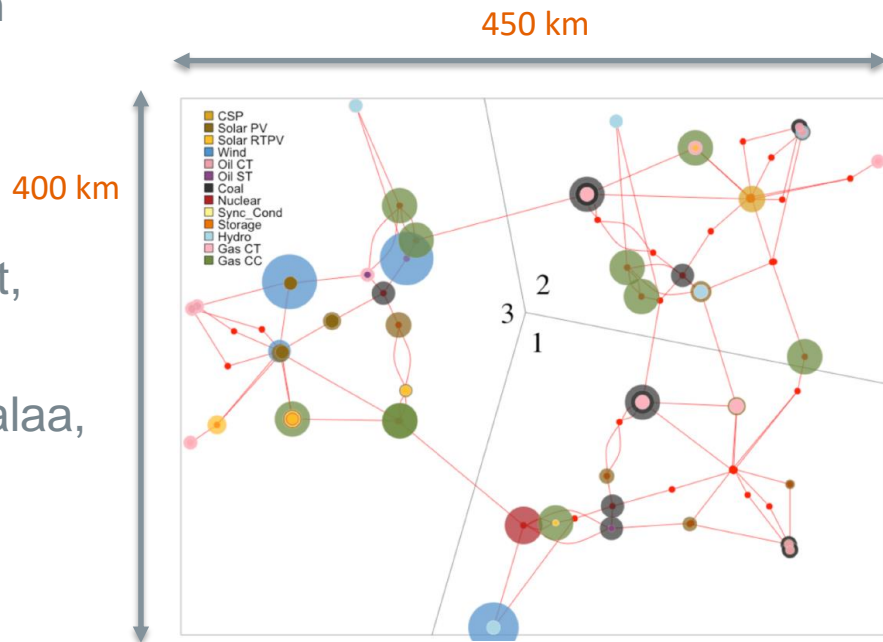
Juha Kiviluoma
Topi Rasku
Jari Miettinen
Jussi Ikäheimo
Erkka Rinne
Niina Helistö
Hannele Holttinen



Backbone- mallin validointi

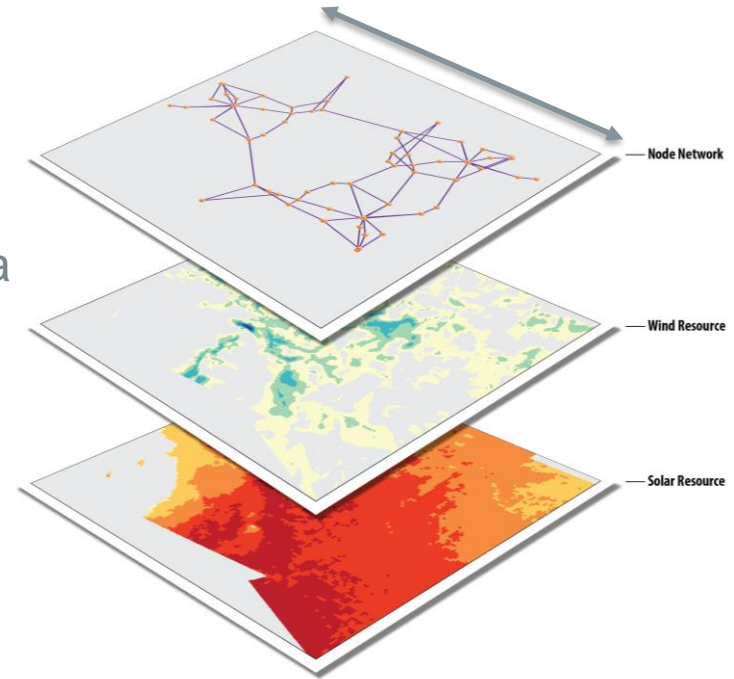
Testijärjestelmä mallien vertailuun

- RTS-GMLC on vuosien kehitystyön tulos ja vapaasti saatavilla (<https://Github.com/GridMod/RTS-GMLC>)
- Kuvitteellinen järjestelmä
- Määriteltä voimalaitokset, siirtolinjat, kulutus, ennusteet, reservituotteet
- Noin 450 x 400 km alue, 158 voimalaa, 73 solmupistettä (DC power flow)



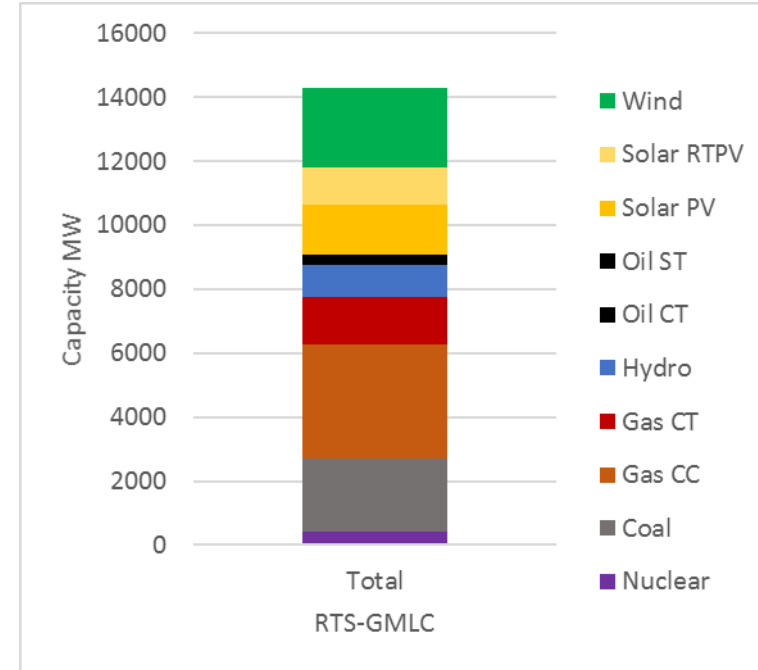
Ennusteet testijärjestelmässä

- Jokaiselle solmupisteelle määritelty kulutusennuste ja uusiutuville voimaloille tuotantoennuste
- Ennusteet annettu tunnin tarkkuudella seuraavan päivän tuotantosunnitelmaa varten
- Lisäksi 5 min tuotantoaikasarja päivän sisäiseen käyttöön (ei käytetty tässä)

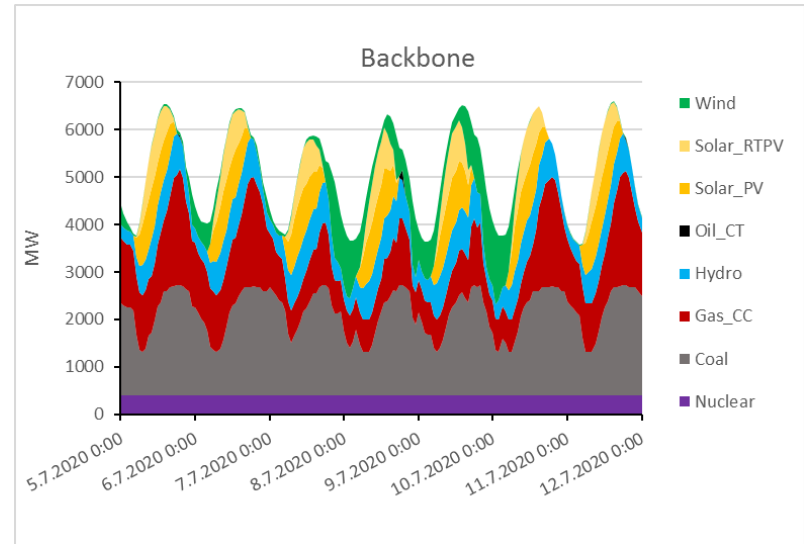
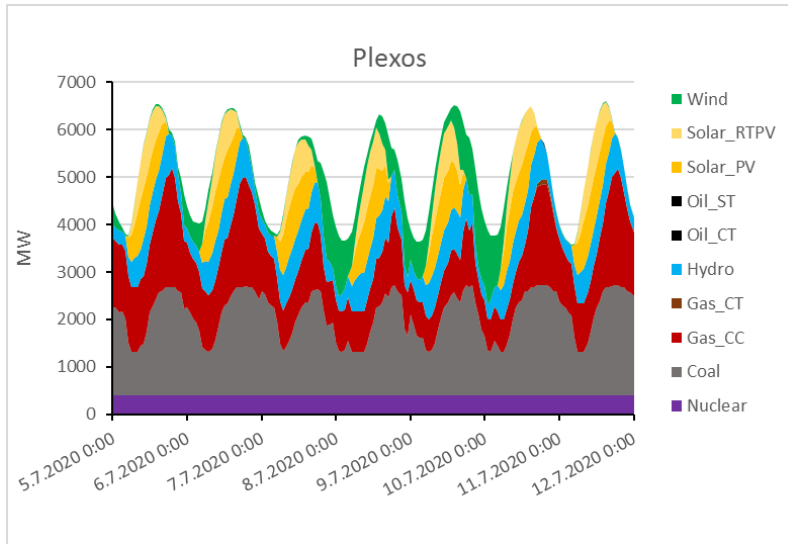


Vertailu kaupalliseen malliin

- NREL on tehnyt vertailuajoja kaupallisella Plexos-mallilla
- Tiettyjä piirteitä on tässä jätetty pois RTS-GMLC:stä
 - Vain D+1 tuotantosuunnitelma kahdelle kesäviikolle
 - Ei reservejä
- Backbone-mallilla ajettu samanlainen tuotantosuunnitelma
- Vertailu: tuotantomäärät, kustannukset, hinnat

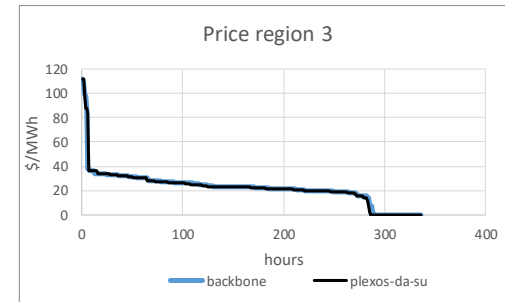
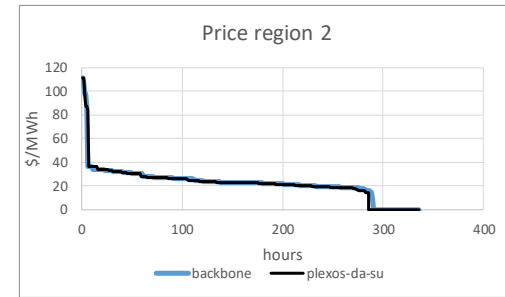
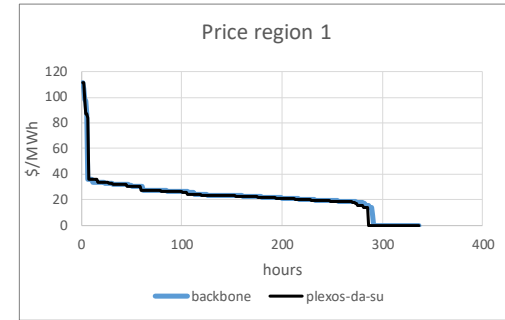
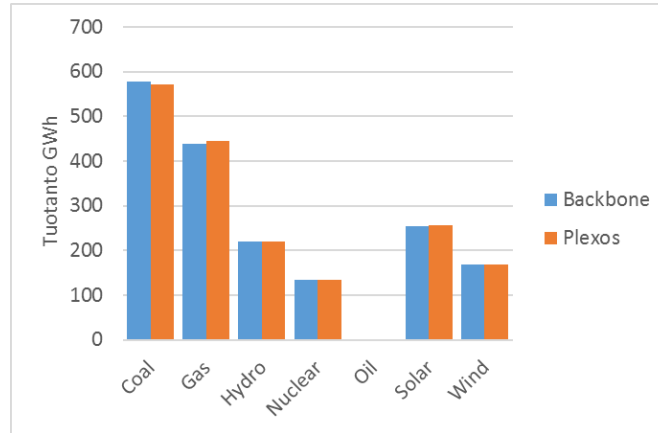
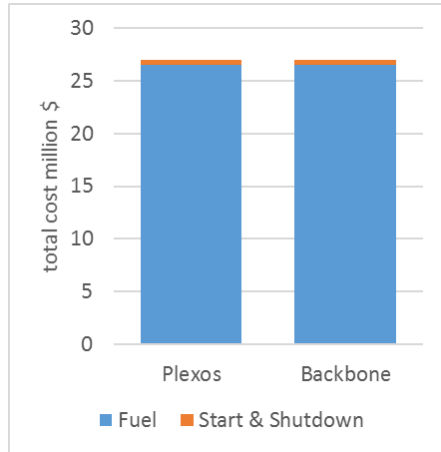


Tuotantosunnitelma tuotantomuodoittain



(kuvissa vain jakson ensimmäinen viikko)

Muita tuloksia



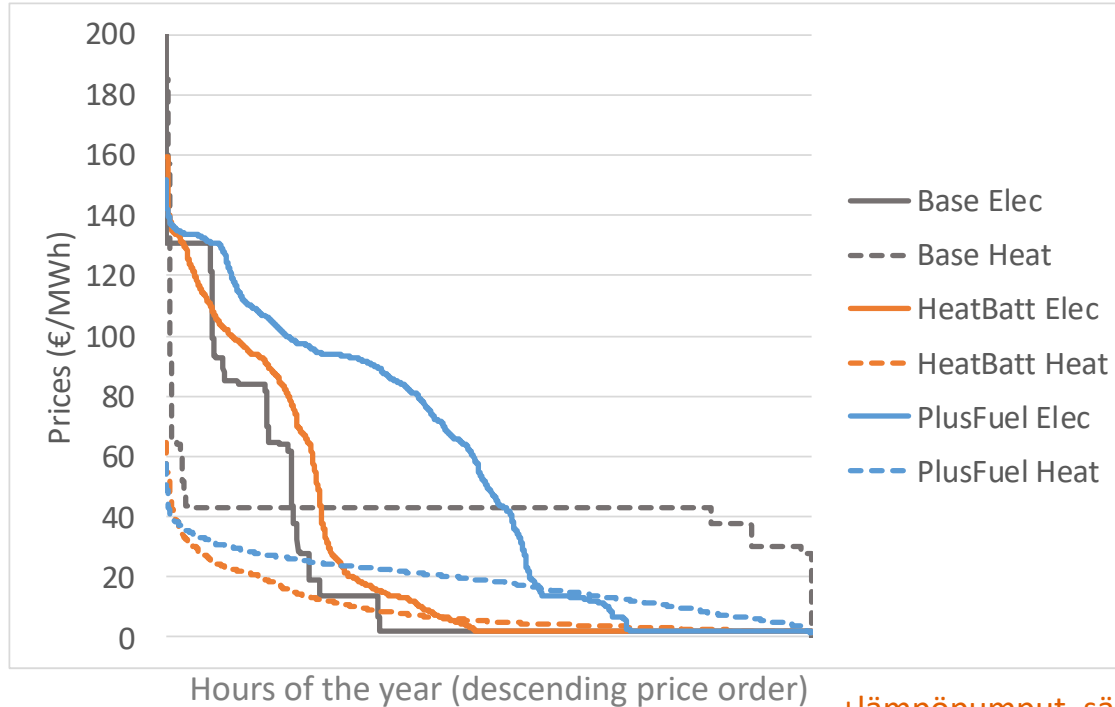
Johtopäätökset

- Backbone-mallin tulokset ovat hyvin lähellä Plexos-mallia
 - Aivan samaan ei voida päästäkään johtuen kokonaislukuratkaisujen epätarkkuudesta
- NREL on testannut myös muita malleja RTS-GMLC-järjestelmällä ja erot ovat samaa luokkaa tuotantomäärissä ja hinnoissa

Tuloksia*

* TSOt pystyvät operoimaan järjestelmiä joissa paljon tuulta

Tuulivoima ei välttämättä romahduta hintoja

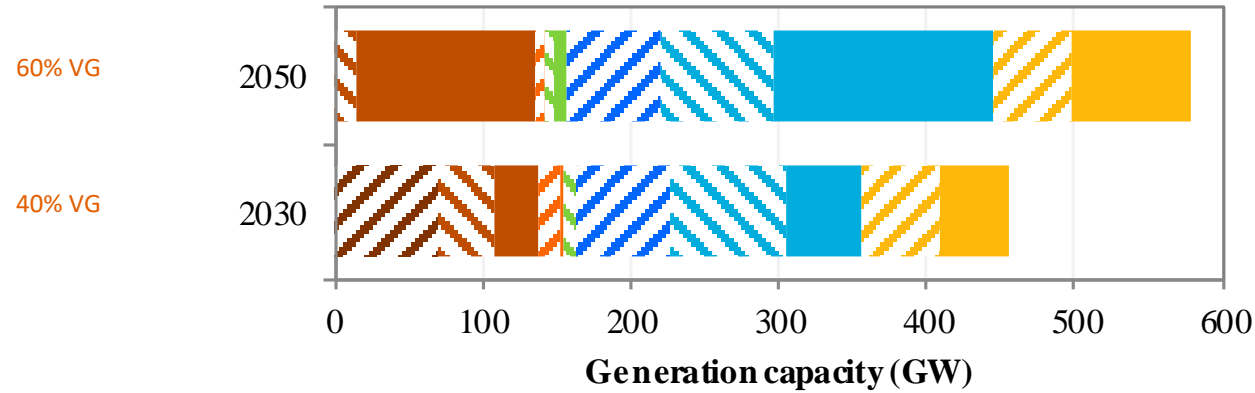


~70 % tuuli+aurinko osuus sähköstä

Kulutus (TWh):

	Elec	Heat	Fuel
Base	102	22	-
HeatBatt	120	28	
PlusFuel	127	28	5

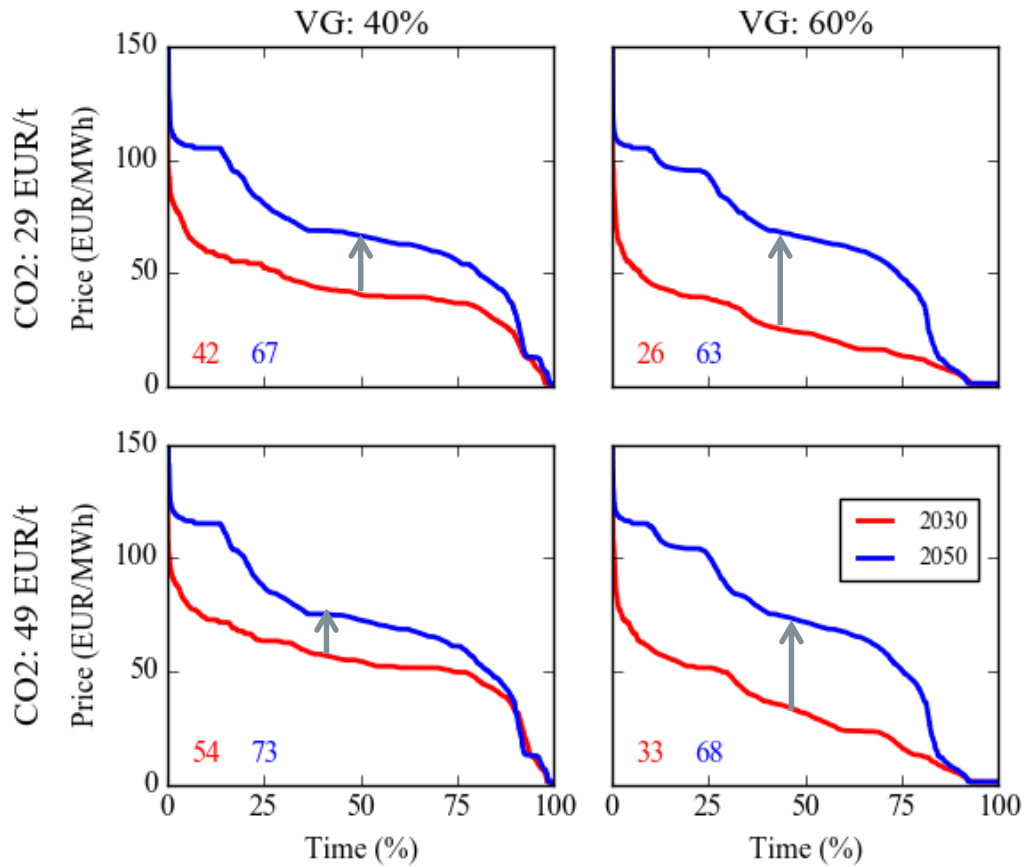
+lämpöpumput, sähköboilerit, lämpövarastot, akkuja, kulutusta
+power2Fuel, akut sähköautoiksi



- | | |
|----------------------|------------------|
| Initial Coal etc. | Invested Coal |
| Initial Gas | Invested Gas |
| Initial Nuclear | Invested Nuclear |
| Initial Biomass etc. | Invested Biomass |
| Initial Hydro | Invested Hydro |
| Initial Wind | Invested Wind |
| Initial Solar | Invested Solar |

With investments!

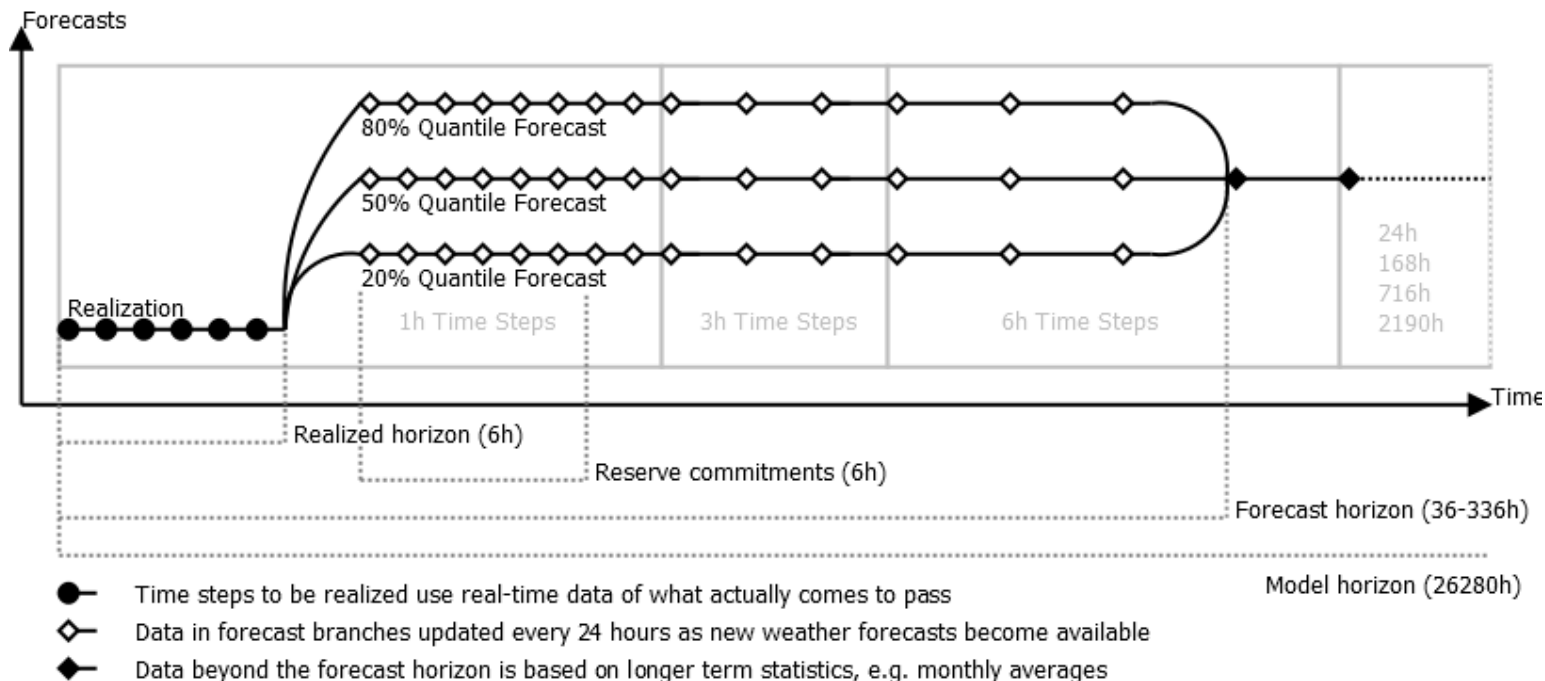




Finland
2030 vs.
2050



Pidemmät ennusteet, onko hyötyä?



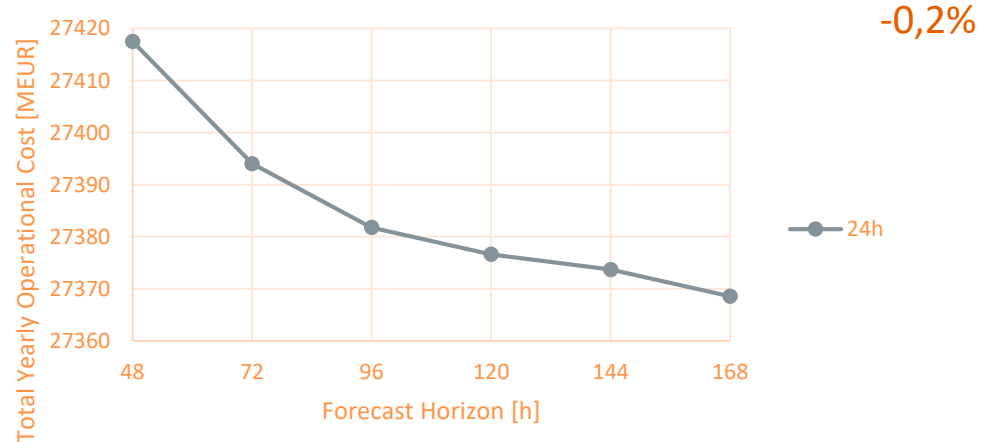
Nordic System Results - 2030

Yearly Electricity Generation:
1175 TWh

Share of Electricity
Generation by Source [%]

Biomass	4
Coal	18
Gas	3
Lignite	8
Nuclear	8
Solar	6
Wind	30
Hydro	23

Total Yearly Operational Cost as a Function of
Forecast Horizon in a 2030 Nordic System



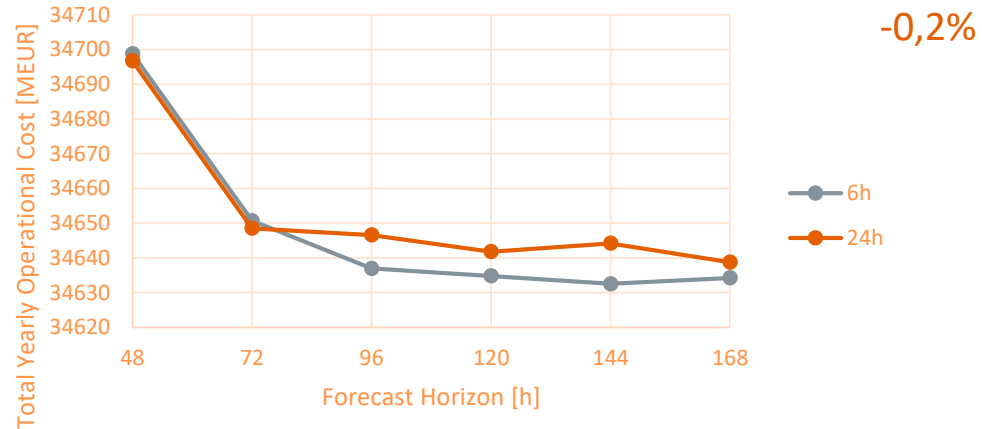
Nordic System Results - 2030

Yearly Electricity Generation:
1175 TWh

Share of Electricity
Generation by Source [%]

Biomass	4
Coal	18
Gas	3
Lignite	8
Nuclear	8
Solar	6
Wind	30
Hydro	23

Total Yearly Operational Cost as a Function of
Forecast Horizon in a 2050 Nordic System



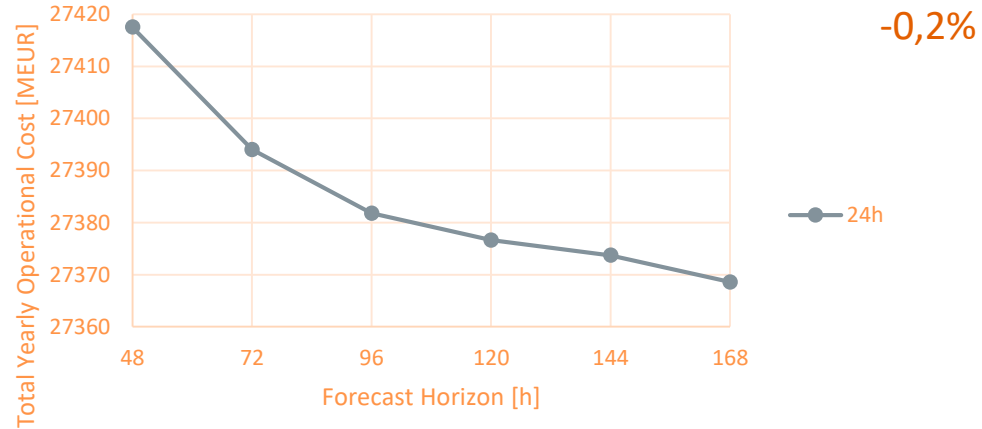
Nordic System Results - 2030

Yearly Electricity Generation:
1175 TWh

Share of Electricity
Generation by Source [%]

Biomass	4
Coal	18
Gas	3
Lignite	8
Nuclear	8
Solar	6
Wind	30
Hydro	23

Total Yearly Operational Cost as a Function of
Forecast Horizon in a 2030 Nordic System



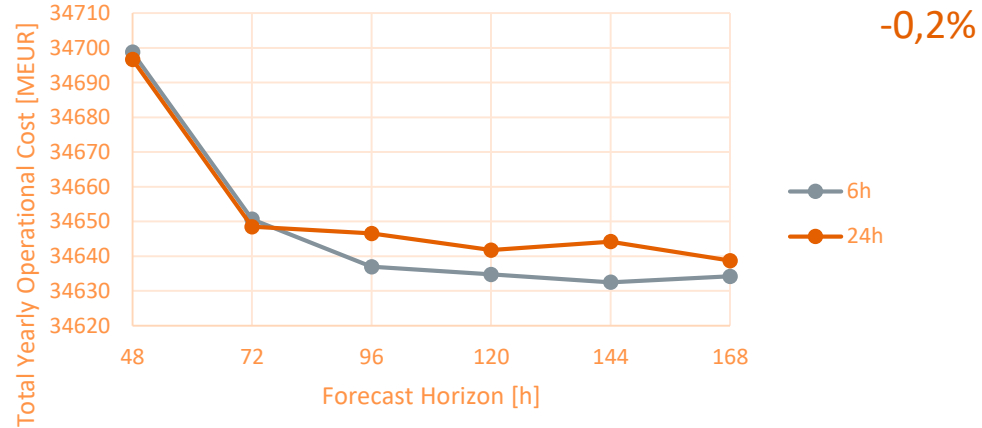
Nordic System Results - 2050

Yearly Electricity Generation:
1561 TWh

Share of Electricity
Generation by Source [%]

Biomass	3
Coal	0.4
Gas	16
Lignite	0.03
Nuclear	2
Solar	4
Wind	56
Hydro	19

Total Yearly Operational Cost as a Function of
Forecast Horizon in a 2050 Nordic System

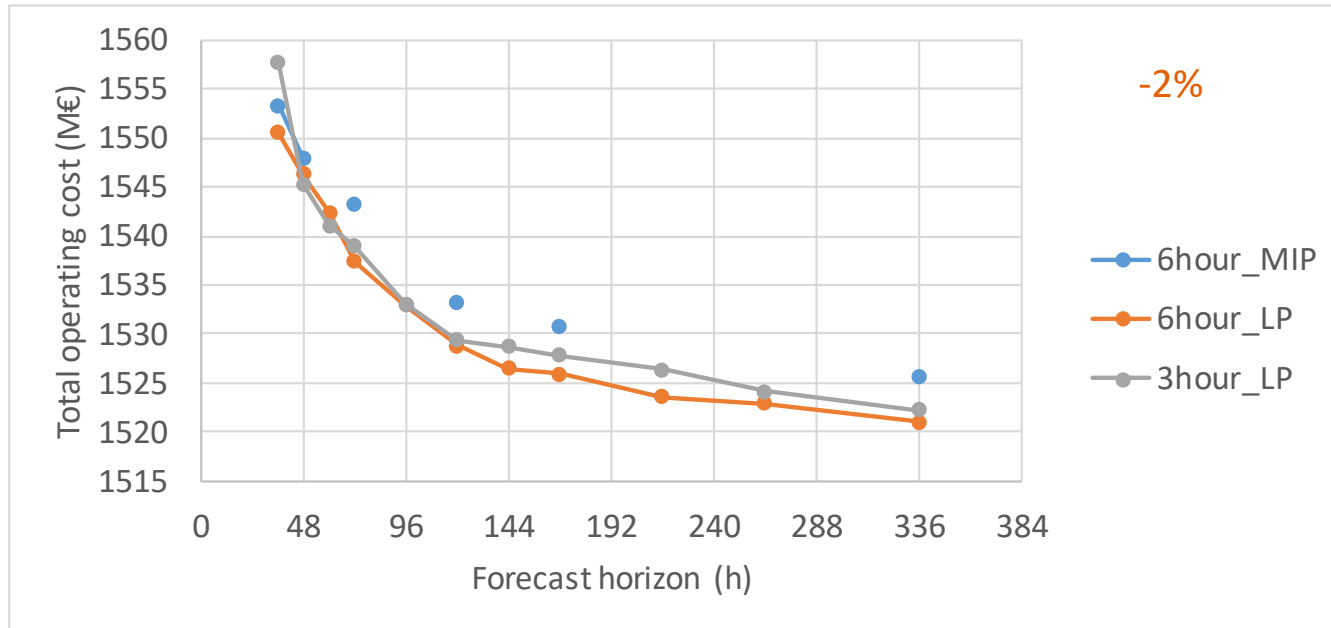


Kind of Finnish system results

Yearly Electricity Generation:
102 TWh

Share of Electricity
Generation by Source [%]

Biomass	2
Coal	-
Gas	4
Lignite	-
Nuclear	8
Solar	1
Wind	70
Hydro	15



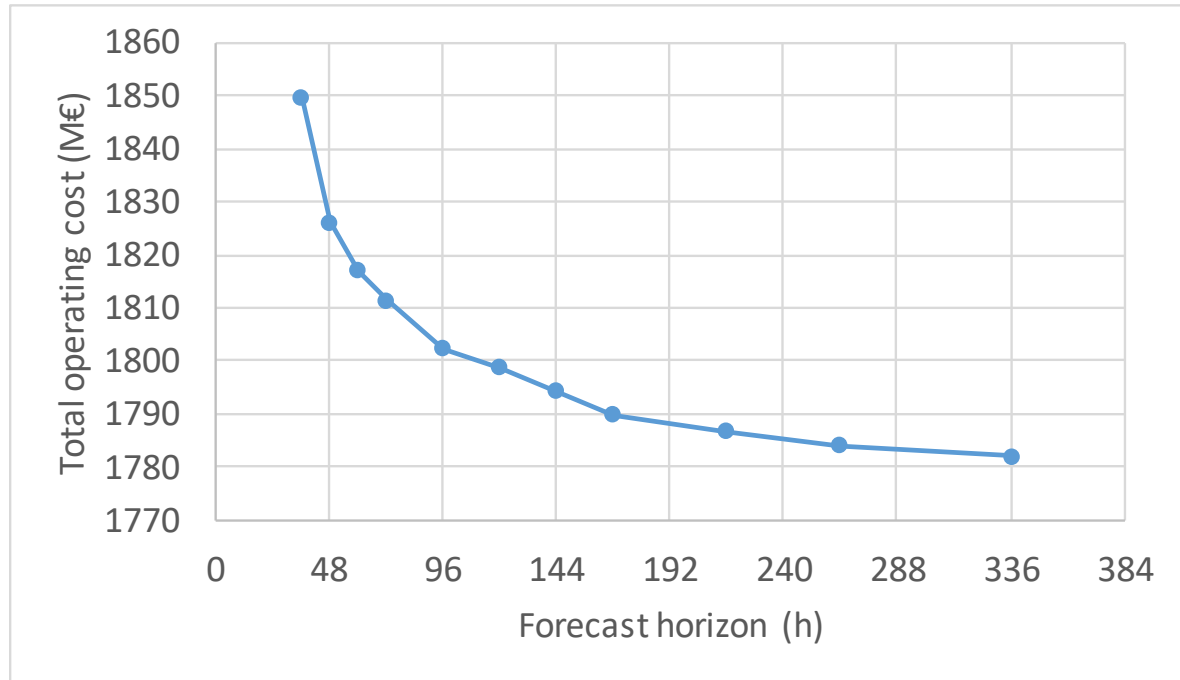
Kind of Finnish system results

PlusFuel (more heat, EVs & producing transport fuel too)

Yearly Electricity Generation:
127 TWh

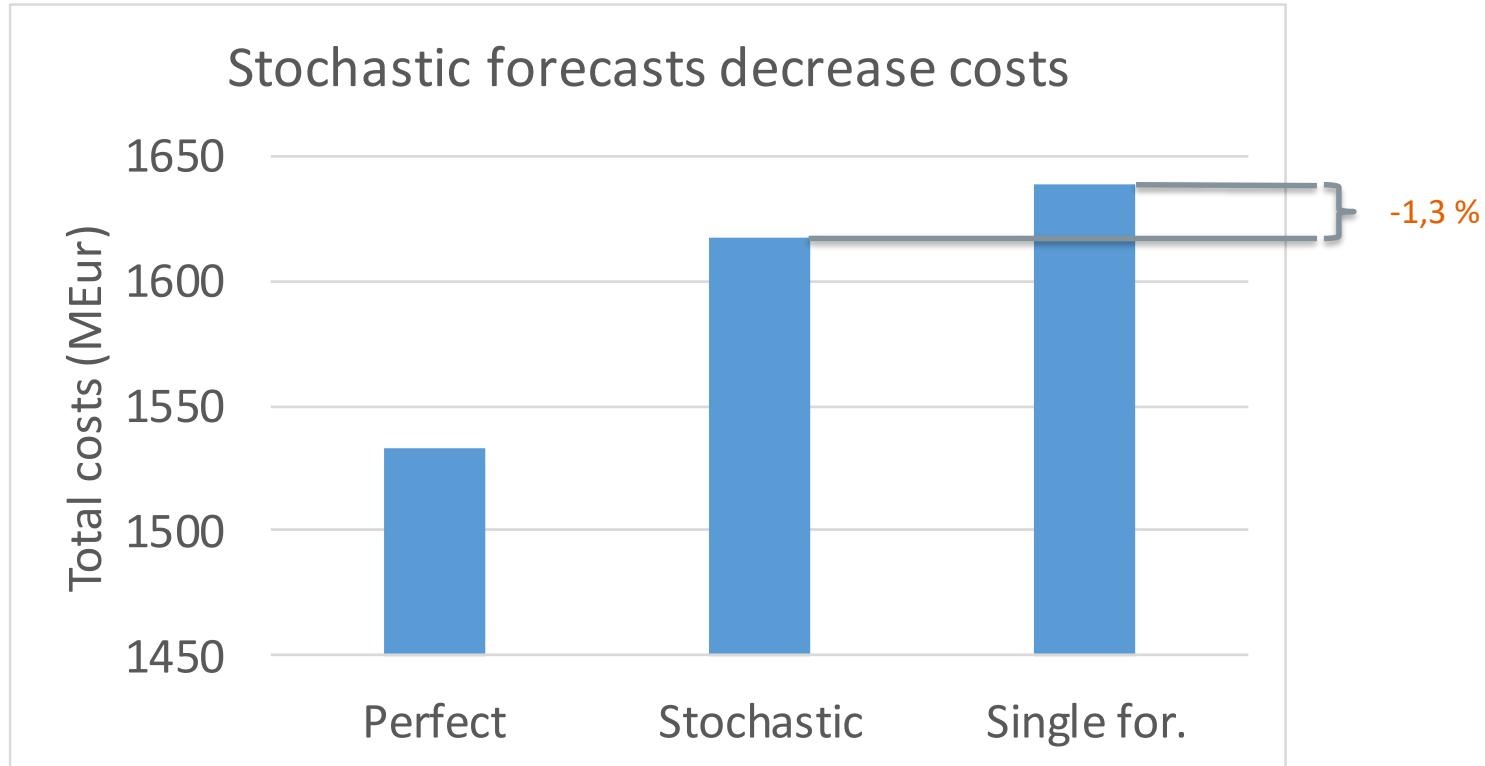
Share of Electricity
Generation by Source [%]

Biomass	5
Coal	-
Gas	5
Lignite	-
Nuclear	8
Solar	1
Wind	68
Hydro	12

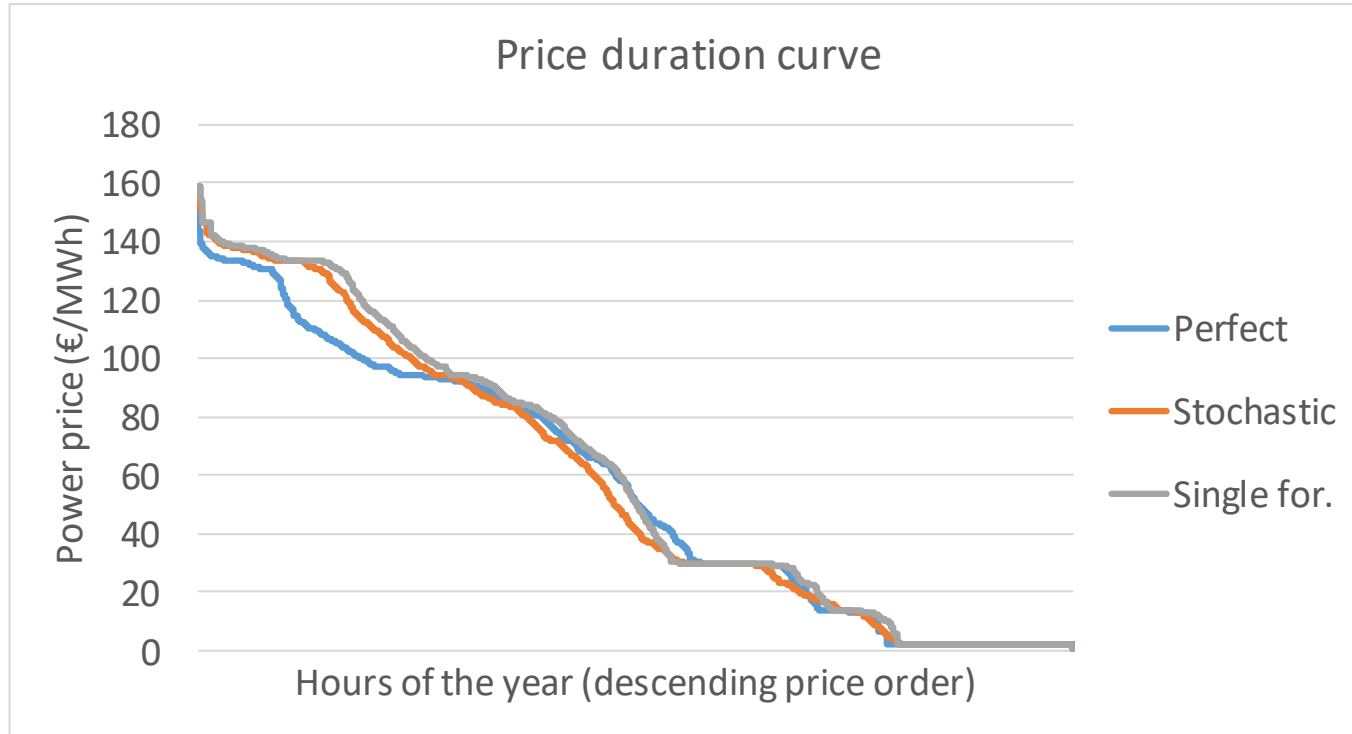


-4%

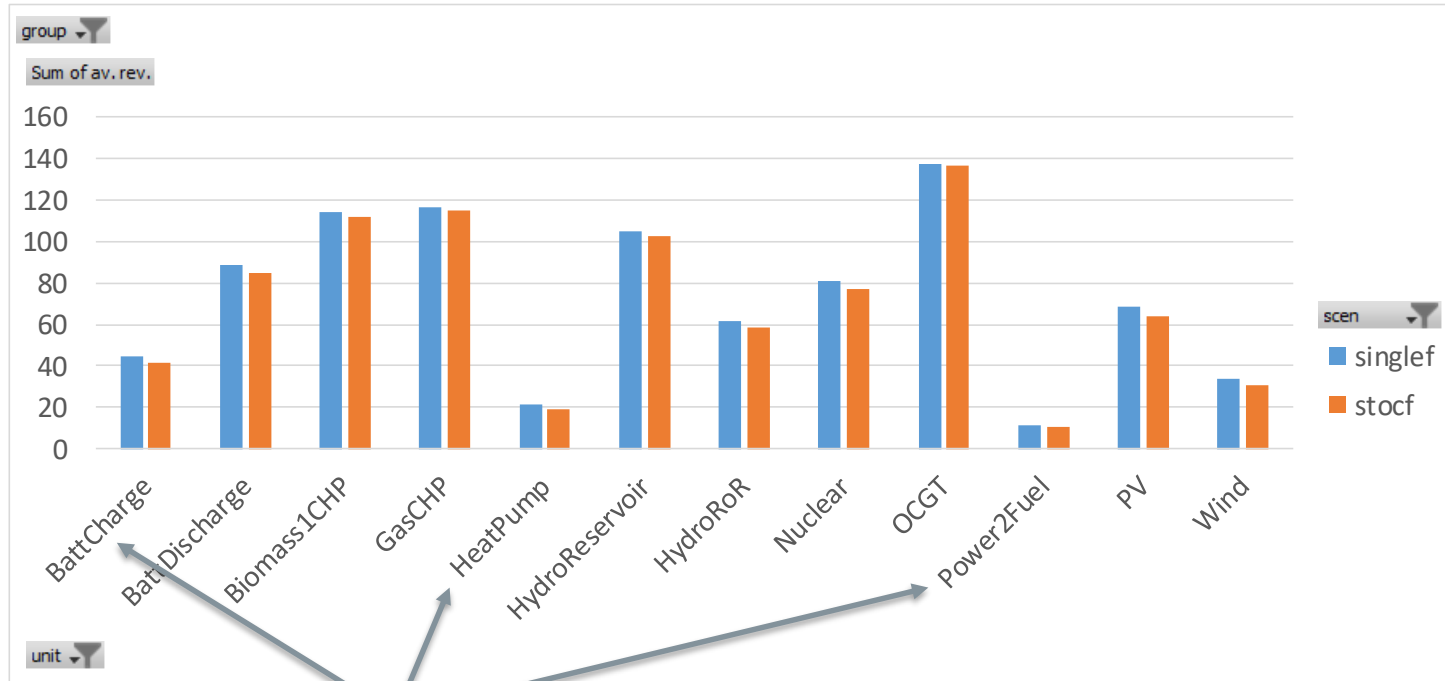
Kind of Finnish system...



Hinnat keskimäärin laskevat



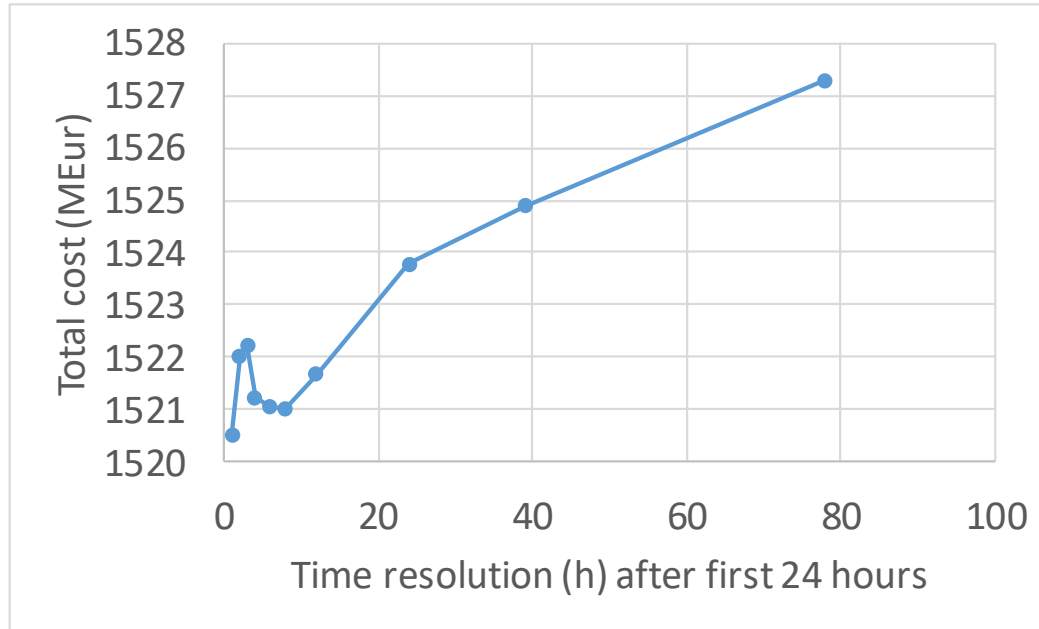
...jolloin tuottajat saavat vähemmän tuloja



...kuluttajat maksavat vähemmän

Aikaresoluutio voi olla suuri

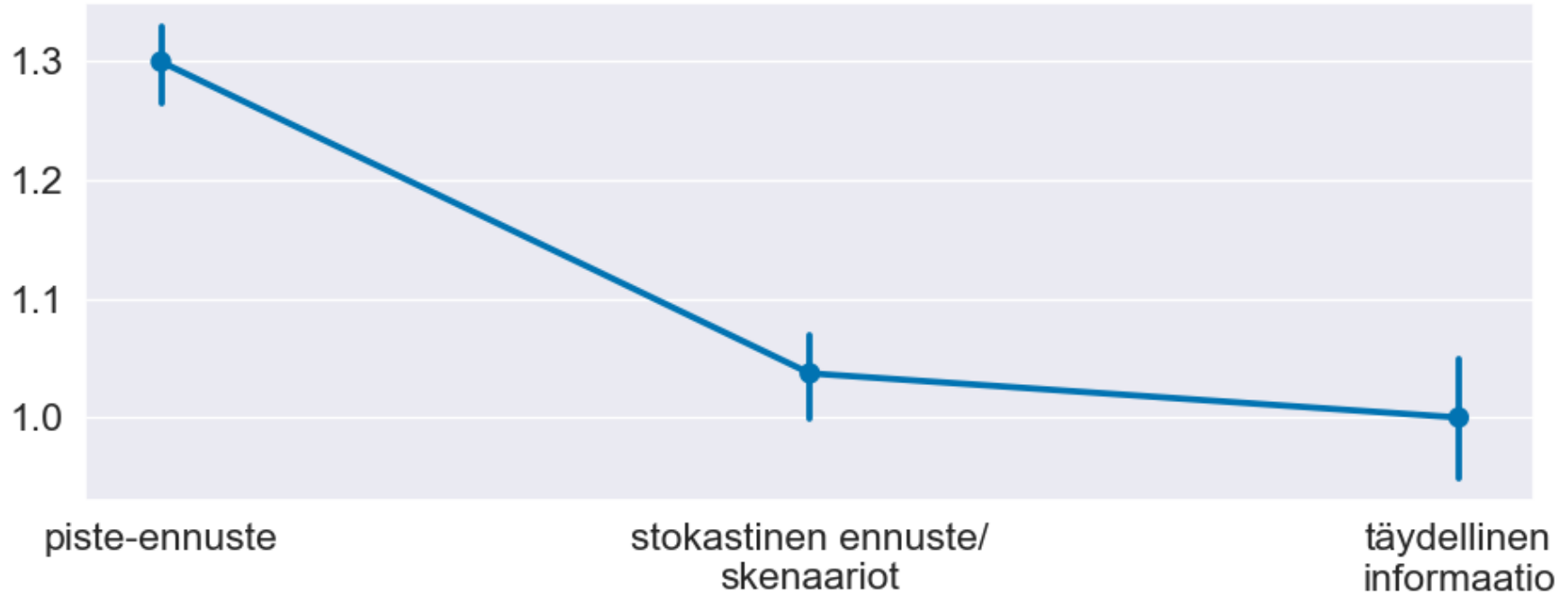
Isoja varastoja sisältävässä järjestelmässä energia ratkaisee



1h → 78 h: +0.4%
Crazy!

Entä pidemmän aikavälin stokastiikka?

Pieni testijärjestelmä: 1/3 (allas)vesivoimaa, 1/3 tuulivoimaa, 1/3 termistä tuotantoa



Vaihtelevuus! Epävarmuus?

- Lisääntyvä epävarmuus tarkoittaa että suurempi osa tuotannosta (ja joustavasta kulutuksesta) muuttaa suunnitelmia lähempänä toimitushetkeä
 - Jos laitokset ja kulutukset on helppo säätää, niin tämän ei tarvitse olla iso ongelma (esim. vesivoima, moottorivoimalat, osa kulutusjoustosta)
 - Pienehköjen energiavarastojen käyttöä vaikeampi suunnitella
- Vaihtelevuus puolestaan muuttaa koko järjestelmän – ajoittain halpa sähkö johtaa (lämmityksen) sähköistymiseen ja voimalaitosraketeen muutokseen sekä haasteisiin sähköverkon toiminnassa
- Epävarmuudella on silti hintansa

VaGe käynnisti avointen työkalujen kehitystyön tutkimusryhmässämme

- Backbone – Adaptable energy systems model
 - <https://gitlab.vtt.fi/backbone/backbone>
 - IRENA FlexTool – Simple to use energy system planning tool
 - <https://www.irena.org/publications/2018/Nov/Power-system-flexibility-for-the-energy-transition>
 - Spine – A modelling platform: data, data processing tools, and models working together
 - <http://www.spine-model.org/>
- Collaboration with
- University College Dublin
 - Economic and Social Research Centre
- Collaboration with
- KU Leuven
 - University College Dublin
 - KTH, Stockholm
 - Energy Reform Ltd

Tulokset lyhyesti

- Tuulivoima ei välttämättä romahduta hintoja
 - Muut energiasektorit ratkaisevia
- Stokastiset ennusteet ovat arvokkaita
 - ...voittajia ja häviäjiä
- Resoluution ei tarvitse olla suuri
- Vaihtelevuus paljon merkittävämpi asia kuin ennusvirheet
- Avoimia työkaluja tarjolla