

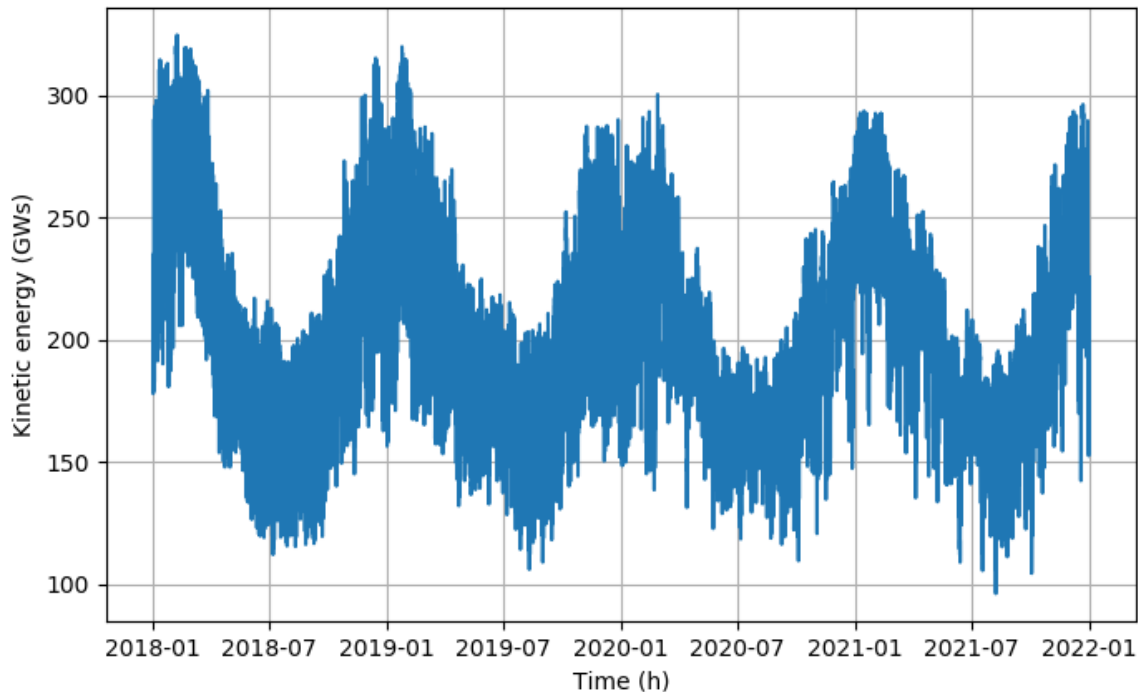
Ekonomiska möjligheter för vindkraft på stödtjänster

Camille Hamon, Mattias Persson

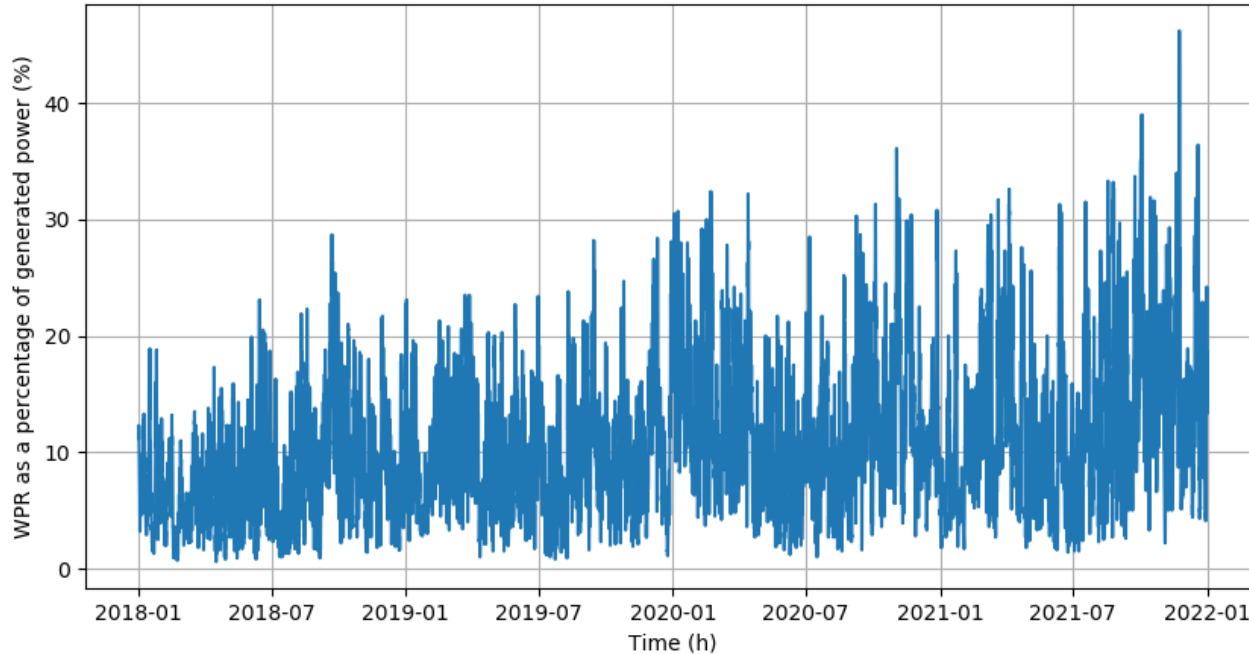
Elkraftsystem, RISE Research Institutes of Sweden

Bakgrund om projektet

Frekvenskvalitet, stabilitet och utbyggnad

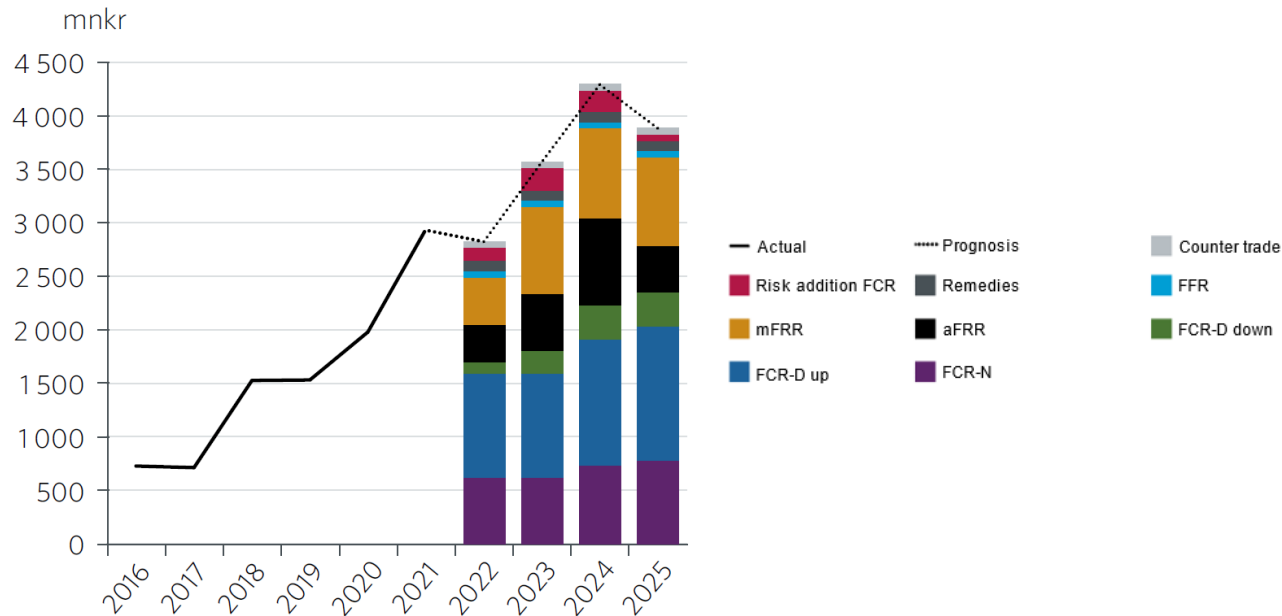


Frekvenskvalitet, stabilitet och utbyggnad



REF: M. Persson, P. Chen, Kinetic Energy Estimation in the Nordic System, PSCC, 2018.

Motivation – Ekonomiska



Wind power and frequency regulation in Sweden – Technical performance and economic evaluation



Vad tittade vi på i projektet

- **En litteraturstudie om internationella erfarenheter kopplat till vindkraft och frekvensreglering**
- **En sammanställning av frekvensregleringstjänster från vindkraft i elnät med stor andel vindkraft.**
- **Ekonomiska möjligheter för vindkraft att leverera frekvensreglering.**
- **Vindkraftsmodellering av samtliga frekvensregleringstjänster.**
- **Praktiska prov av samtliga frekvensregleringstjänster vid Chalmers vindkraftverk.**
- **Praktiska prov vid kommersiella vindkraftverk.**
- **Utvärdering av praktiska prov.**

**Ekonomisk
utvärdering: hur
mycket pengar finns
det att tjäna på
stödtjänster?**

Stödtjänster

Snabbare

Långsammare

FFR	FCR-D upp	FCR-D ned	FCR-N	aFRR	mFRR
Snabb frekvensreserv (Fast Frequency Reserve)	Frekvenshållningsreserv -Störning uppreglring (upward Frequency Containment Reserve - Disturbance)	Frekvenshållningsreserv -Störning nedreglering (downward Frequency Containment Reserve - Disturbance)	Frekvenshållningsreserv -Normaldrift (Frequency Containment Reserve - Normal)	automatisk Frekvens- återställningsreserv (automatic Frequency Restoration Reserve)	manuell Frekvens- återställningsreserv (manual Frequency Restoration Reserve)
Uppreglering	Uppreglering	Nedreglering	Symmetrisk upp- och nedreglering	Upp- och/eller nedreglering	Upp- och/eller nedreglering
Handel Bud på kapacitetsmarknad	Handel Bud på kapacitetsmarknad	Handel Bud på kapacitetsmarknad	Handel Bud på kapacitetsmarknad	Handel Bud på kapacitetsmarknad	Handel Bud på energiaktiveringsmarknad
Kapacitetsersättning Marginalpris. Avropade volymer och priser publiceras veckovis på Aktörsportalen . Mer utförlig information finns i dokumentet FFR marknadslösning 2023 .	Kapacitetsersättning Pay as bid. Medelpris per MW publiceras på Svenska kraftnäts stödsystem Mimer .	Kapacitetsersättning Pay as bid. Medelpris per MW publiceras på Svenska kraftnäts stödsystem Mimer .	Kapacitetsersättning Pay as bid. Medelpris per MW publiceras på Svenska kraftnäts stödsystem Mimer .	Kapacitetsersättning Marginalpris. Priser per MW publiceras på Svenska kraftnäts stödsystem Mimer .	Kapacitetsersättning Ingen kapacitetsersättning.
Energiersättning Ingen energiersättning.	Energiersättning Ingen energiersättning.	Energiersättning Ingen energiersättning.	Energiersättning Enligt upp- eller nedregleringspris. Priser publiceras på eSett .	Energiersättning Enligt upp- eller nedregleringspris. Priser publiceras på eSett .	Energiersättning Marginalpris. Ersättning enligt upp- eller nedregleringspris. Priser publiceras på eSett .

Källa: [Handel och prissättning | Svenska kraftnät \(svk.se\)](#)

Vindkraftens deltagande idag

Förkvalificerade volymer per 20 januari 2023

Kraftslag	FFR (MW)	FCR-N (MW)	FCR-D upp (MW)	FCR-D ned (MW)	aFRR upp (MW)	aFRR ned (MW)
Vattenkraft	0	1 860	1 450	950	1 800	1 800
Värmekraft	0	40	40	20	50	50
Energilager	40	0	10	<10	0	0
Flexibel förbrukning	80	0	170	<10	0	0
Solkraft	0	0	0	10	0	0
Vindkraft	0	0	20	90	0	50
Kombination vattenkraft + batteri	0	<10	0	10	0	0

Källa: [Utbud på marknaderna för reserver](#) | [Svenska kraftnät \(svk.se\)](#)

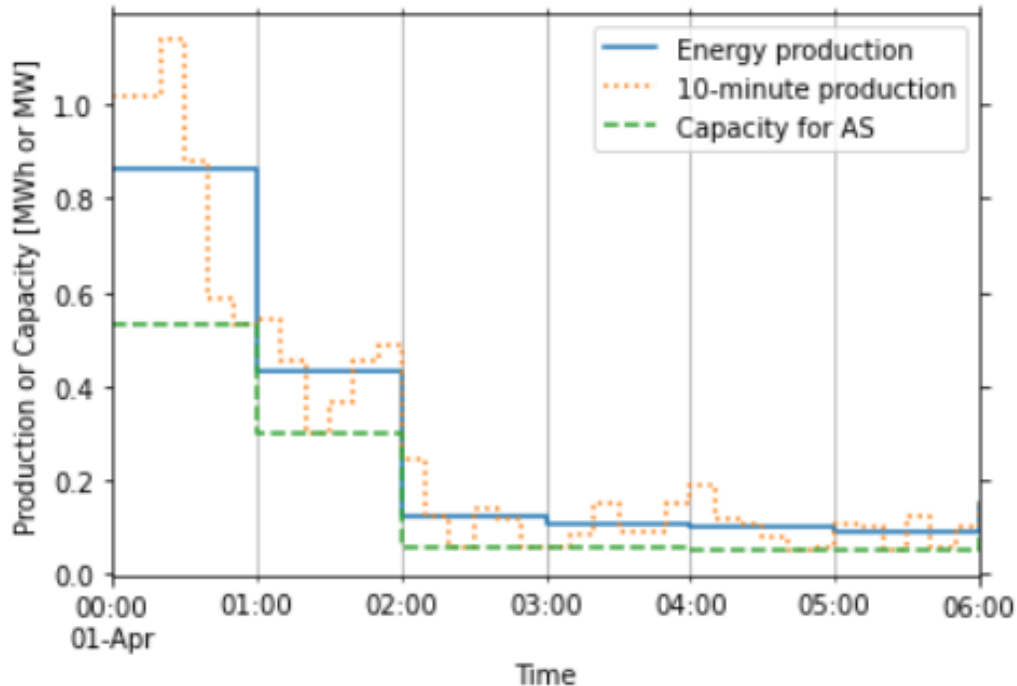
Vindkraftens deltagande idag - 2

Maximala budvolymen som inkommit under en enskild timme för **mFRR ned** under 2022

Kraftslag	SE1	SE2	SE3	SE4
Flexibel förbrukning	0	0	90	70
Gasturbin	0	0	90	0
Vattenkraft	2370	2330	550	10
Värmekraft	0	0	10	250
Vindkraft	110	1140	10	180

Källa: [Utbud på marknaderna för reserver | Svenska kraftnät \(svk.se\)](#)

Energibud och kapacitetsbud

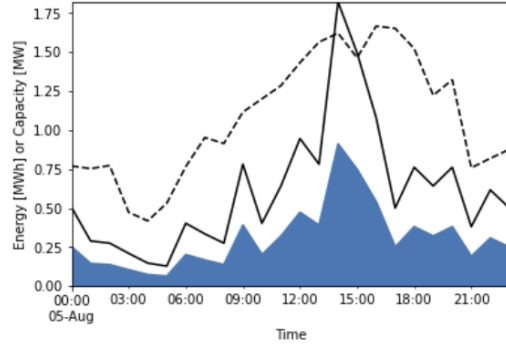


Energibud till spotmarknaden
Energiproduktion under timmen

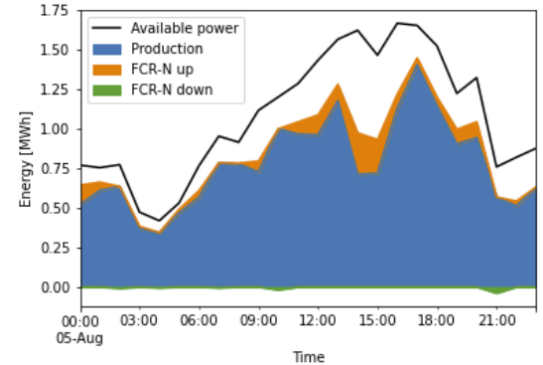
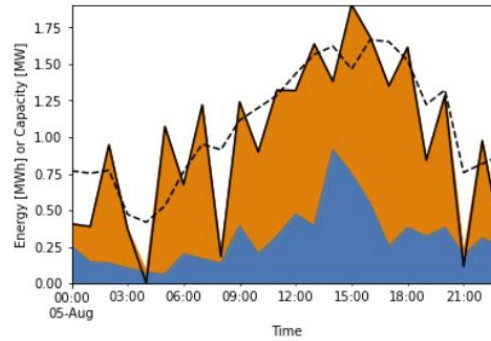
Kapacitetsbud till stödtjänstmarknaderna
Momentan produktion vid aktivering

Utvärderingsmetod

— FCR-N - Forecasted energy / capacity
- - - Available power
■ FCR-Nbid



— Day-ahead - Forecasted energy / capacity
- - - Available power
■ FCR-N bid
■ DA bid



Ta fram kapacitetsbud till stödtjänst baserat på kapacitetsprognoser

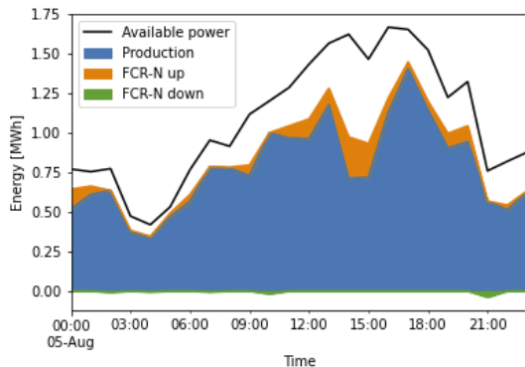
Kvarvarande kapacitet

Ta fram energibud till spot baserat på energiproduktionsprognoser

Simulera faktisk produktion och aktivering

Räkna på intäkter och kostnader

Utvärderingsmetod – forts.



Simulera
faktisk
produktion
och
aktivering

Räkna på
intäkter och
kostnader

Vinst från spot
Spotintäkter
- obalanskostnader

+

Vinst från stödtjänst
Kapacitetsersättning*
+ energiersättning*
- återköpskostnader

*när relevant

=

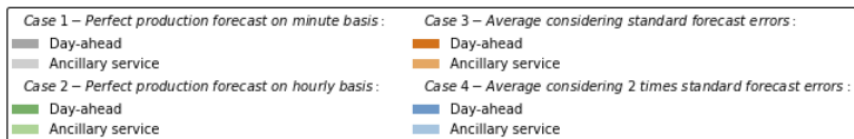
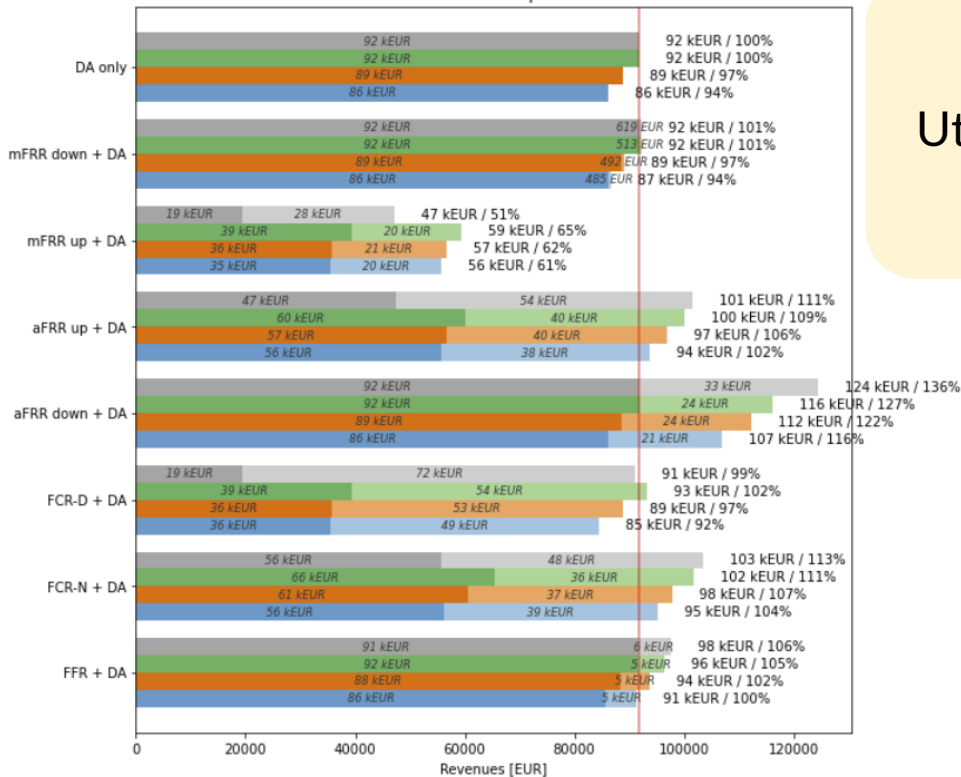
Total vinst timme per timme

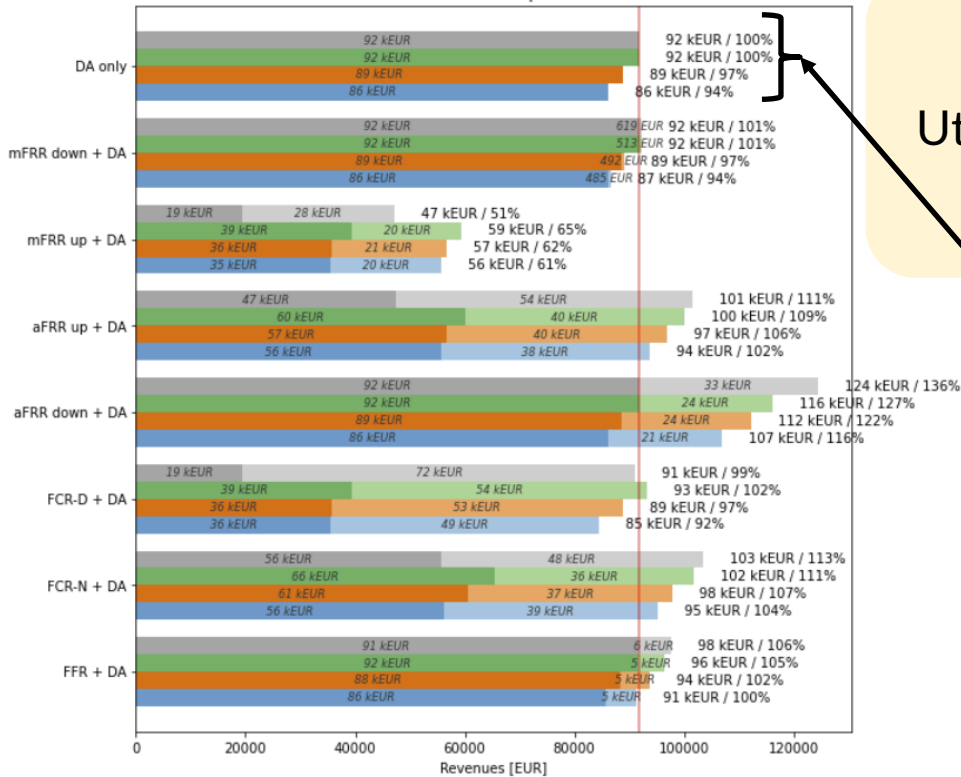
Fallstudier

- Vindkraftverk 2 MW i SE3. All data från 2020 och 2021.
- Fallstudier för produktionsprognoser:
 - Fallstudie 1: Perfekt prognos på minutbasis.
 - Fallstudie 2: Perfekt prognos på timbasis.
 - Fallstudie 3: Prognosfel
 - Fallstudie 4: Prognosfel x 2.
- Fallstudier för prisprognoser:
 - Fallstudie A: Ingen prisprognos.
 - Fallstudie B: Perfekt prisprognos.

Totalt 8 fallstudier för 2020 och 2021 med olika antaganden på produktions- och prisprognoser.

Vinst för fallstudierna 1-4 och ingen prisprognos i 2020
 Utan prisprognos prioriteras stödtjänster, dvs så mycket som möjligt budas in på stödtjänstmarknaden



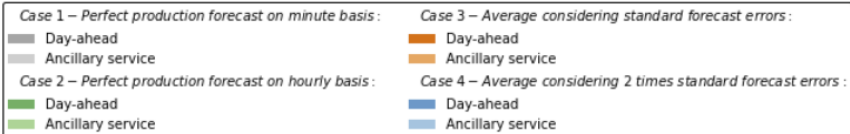


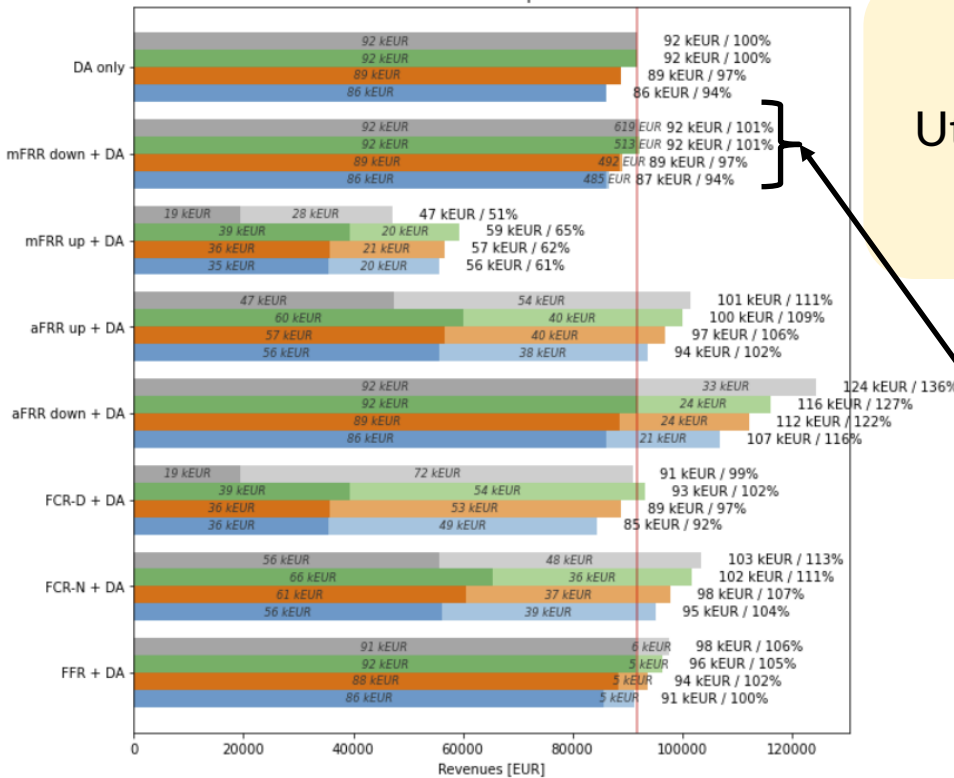
Vinst för fallstudierna 1-4 och ingen prisprognos i 2020

Utan prisprognos prioriteras stödtjänster, dvs så mycket som möjligt budas in på stödtjänstmarknaden

Vinst för deltagande i spotmarknaden är referensen

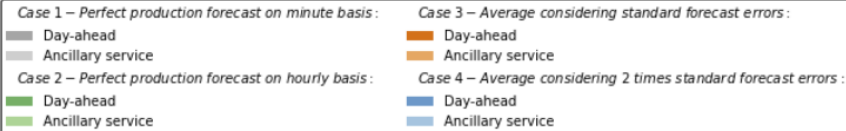
Produktionsprognosfel minskar vinsten från spot med 3%

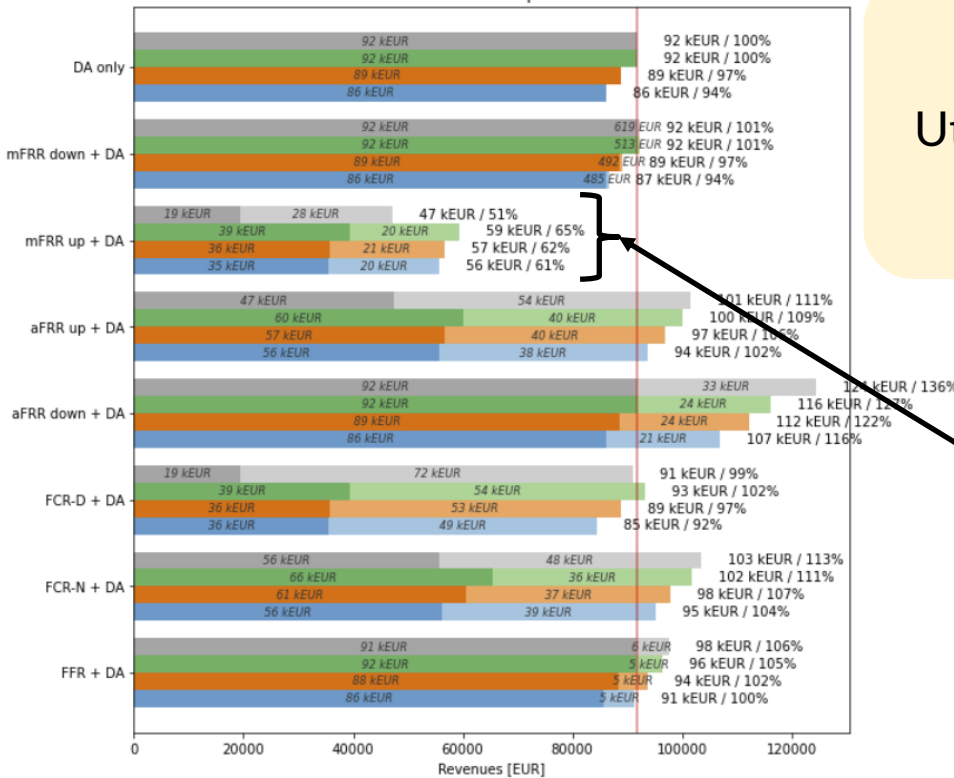




Vinst för fallstudierna 1-4 och ingen prisprognos i 2020
 Utan prisprognos prioriteras stödtjänster, dvs så mycket som möjligt budas in på stödtjänstmarknaden

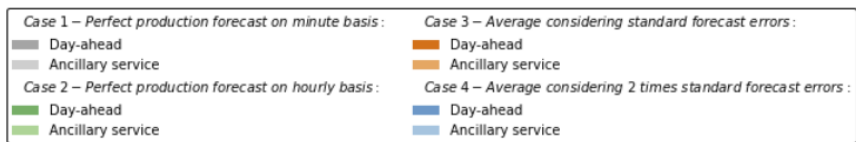
Marginell vinstökning med deltagande i mFRR ner
 Endast lönsamt att delta vid negativa mFRR-priser. Mycket sällan.

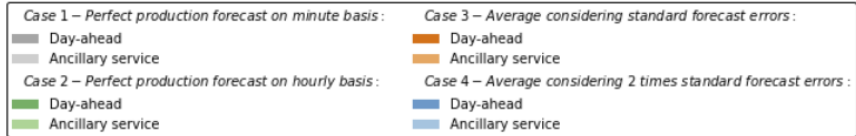
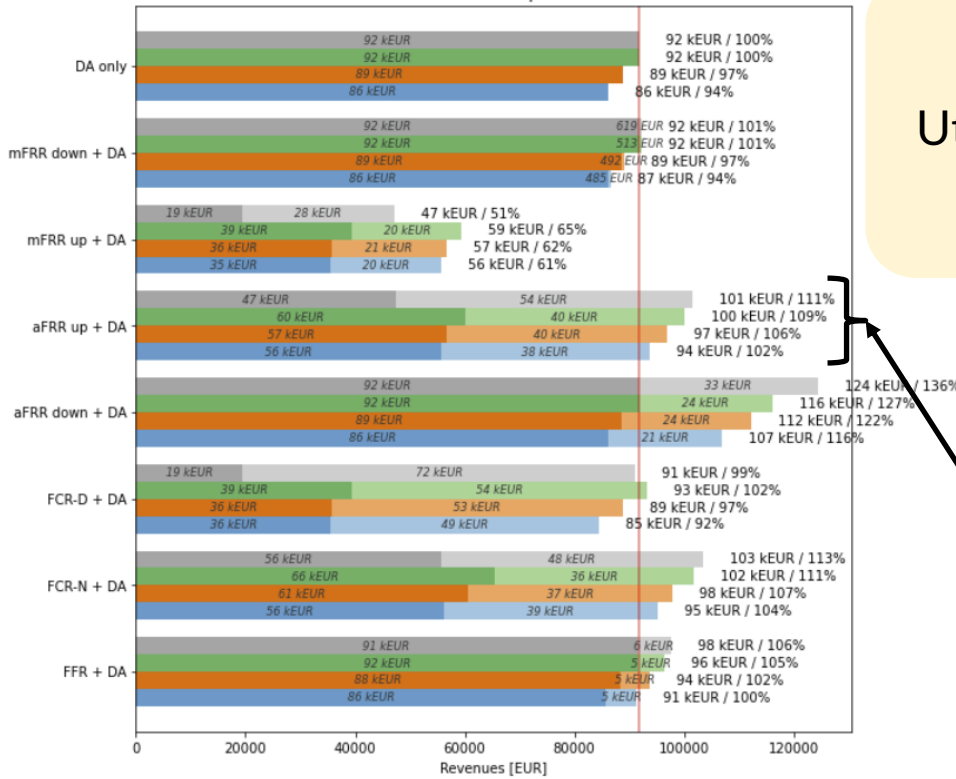




Vinst för fallstudierna 1-4 och ingen prisprognos i 2020
 Utan prisprognos prioriteras stödtjänster, dvs så mycket som möjligt budas in på stödtjänstmarknaden

Stort tapp i vinst vid deltagande i mFRR upp
 Kapacitet hålls undan från spot men får enbart ersättning vid aktivering.

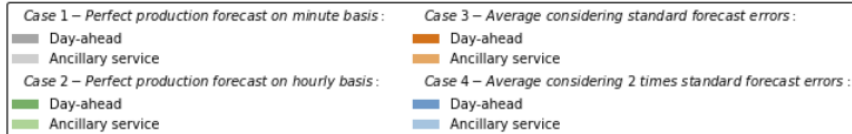
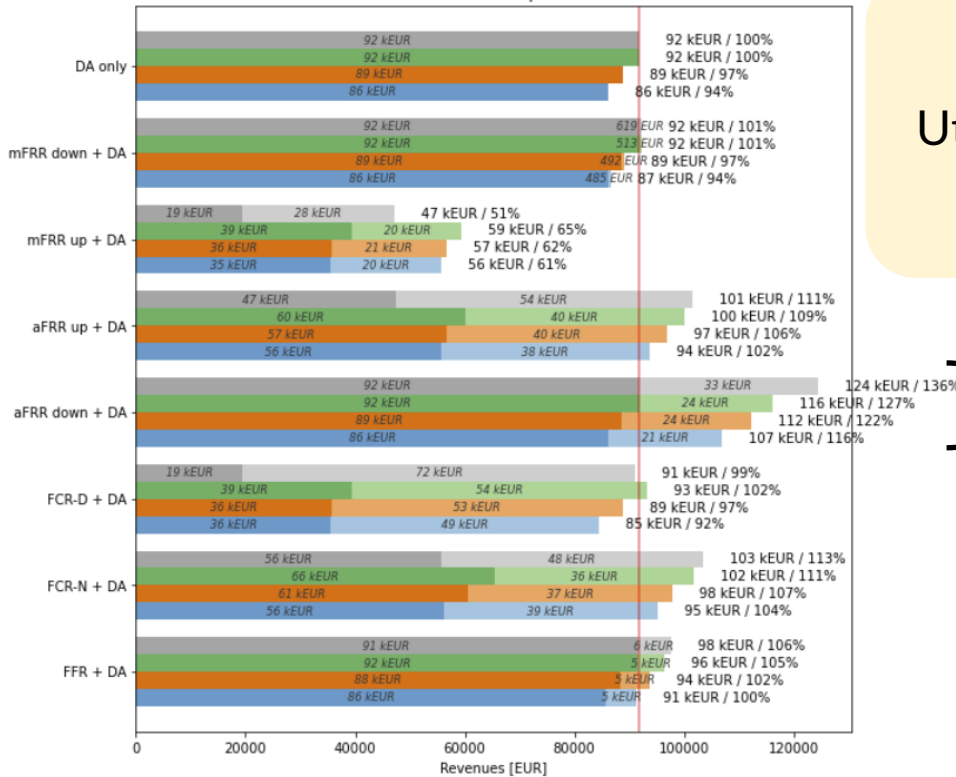




Vinst för fallstudierna 1-4 och ingen prisprognos i 2020
 Utan prisprognos prioriteras stödtjänster, dvs så mycket som möjligt budas in på stödtjänstmarknaden

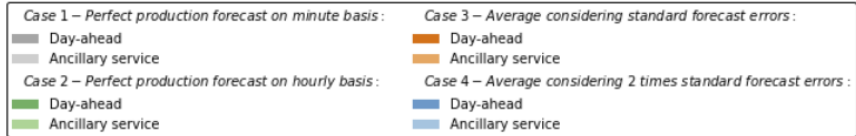
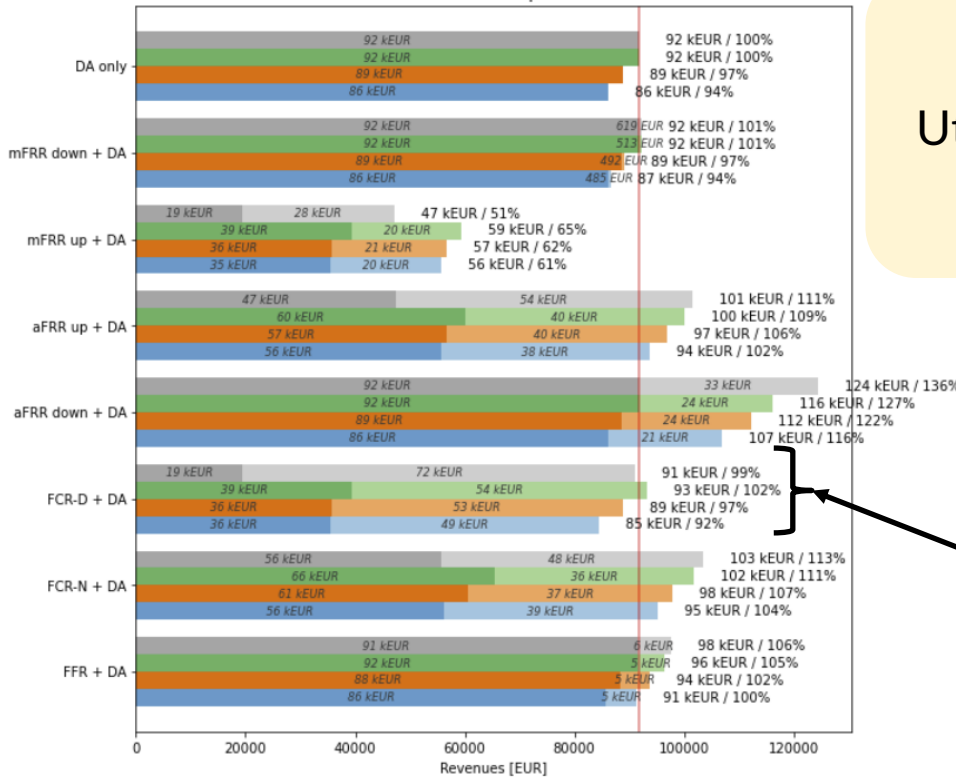
Vinstökning på 8-10% vid deltagande i aFRR upp.
 Kapacitet hålls undan från spot. Ersättning för både kapacitet och aktivering.
 Intäkter från aFRR = 20% för aktiveringen och 80% för kapaciteten





Vinst för fallstudierna 1-4 och ingen prisprognos i 2020
 Utan prisprognos prioriteras stödtjänster, dvs så mycket som möjligt budas in på stödtjänstmarknaden

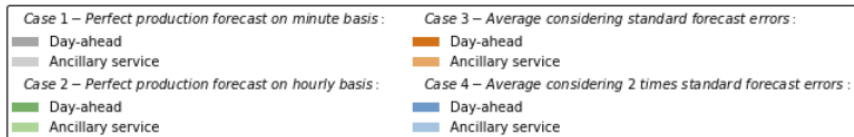
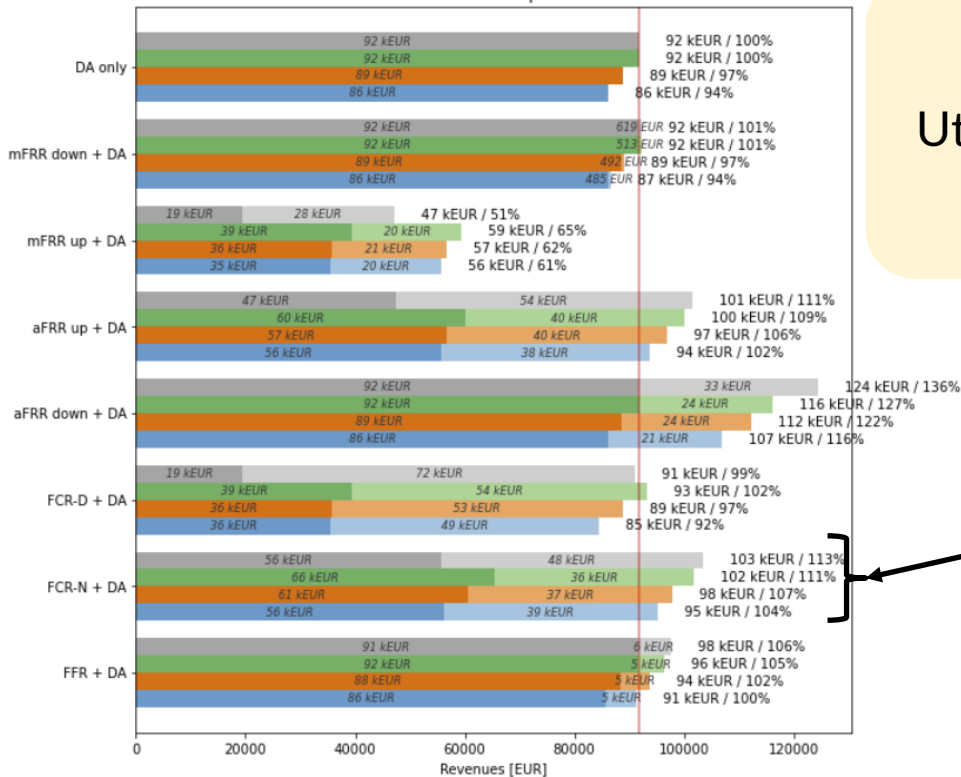
Vinstökning på 20-35% vid deltagande i aFRR ner.
 Inget behov att hålla undan kapacitet från spot.
 Ersättning för både kapacitet och aktivering.



Vinst för fallstudierna 1-4 och ingen prisprognos i 2020
 Utan prisprognos prioriteras stödtjänster, dvs så mycket som möjligt budas in på stödtjänstmarknaden

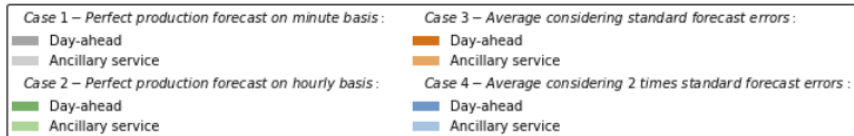
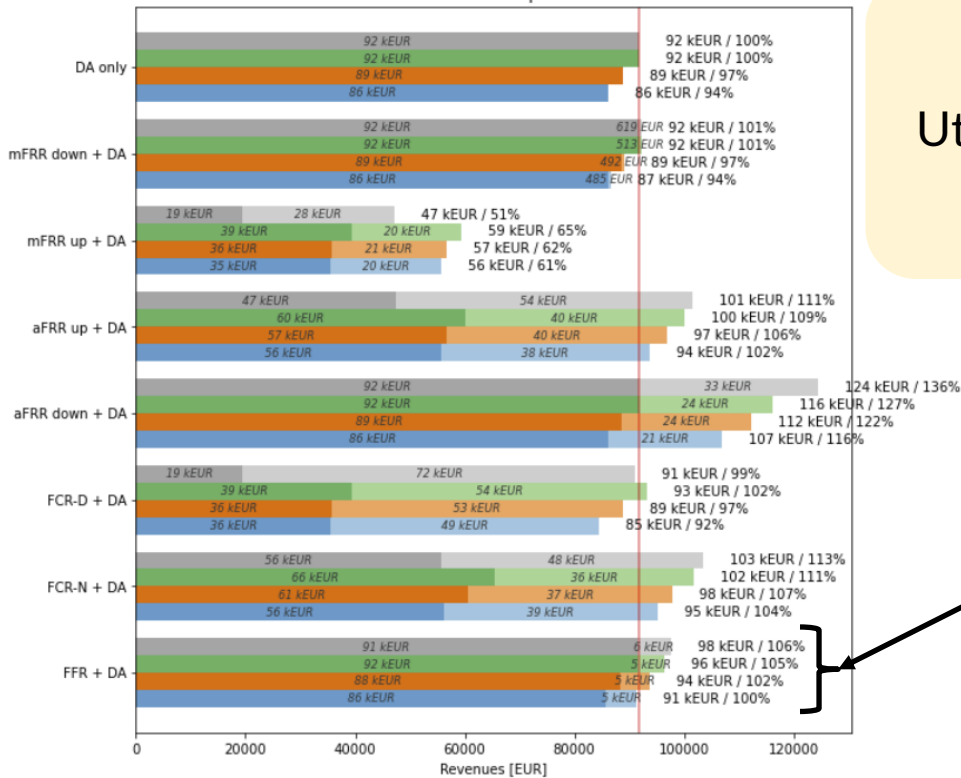
Marginell vinstökning/minskning vid deltagande i FCR-D upp.
 Kapacitet hålls undan från spot. Ersättning för endast kapaciteten. Ersättningen täcker knappt bortfallet av intäkterna från spot.





Vinst för fallstudierna 1-4 och ingen prisprognos i 2020
 Utan prisprognos prioriteras stödtjänster, dvs så mycket som möjligt budas in på stödtjänstmarknaden

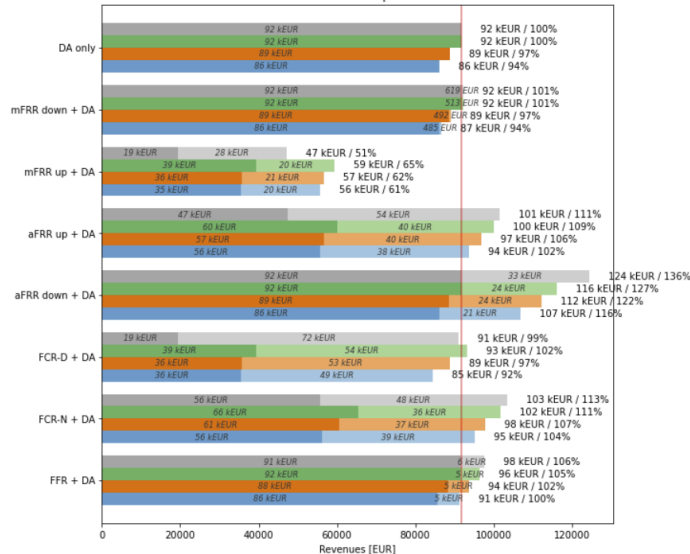
Ca 10% vinstökning vid deltagande i FCR-N
 Kapacitet hålls undan från spot men inte lika mycket som t.ex. FCR-D.
 Ersättning för både kapacitet och aktivering.



Vinst för fallstudierna 1-4 och ingen prisprognos i 2020

Utan prisprognos prioriteras stödtjänster, dvs så mycket som möjligt budas in på stödtjänstmarknaden

Ca 6% vinstökning vid deltagande i FFR
 Inget behov att hålla undan kapacitet från spot.
 Ersättning för enbart kapaciteten. Upphandling endast under vissa månader.
 Höga intäkter sett till antalet timmar med upphandling.



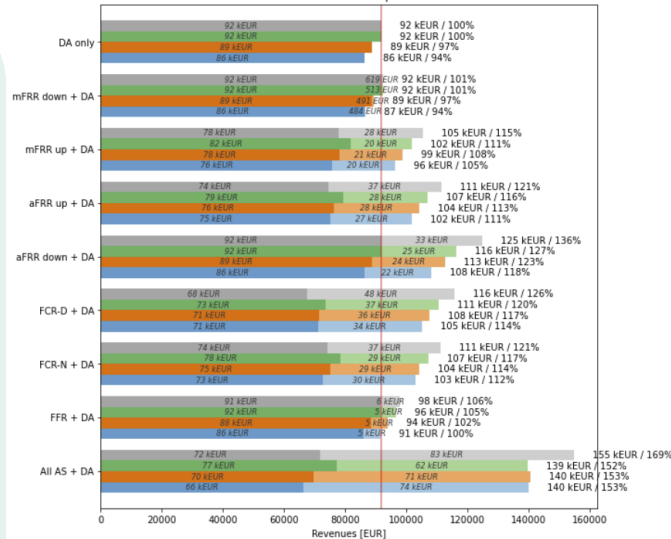
Case 1 – Perfect production forecast on minute basis:
 Day-ahead (green), Ancillary service (grey), Day-ahead (orange)

Case 2 – Perfect production forecast on hourly basis:
 Day-ahead (green), Ancillary service (grey), Day-ahead (orange)

Case 3 – Average considering standard forecast errors:
 Day-ahead (green), Ancillary service (grey), Day-ahead (orange)

Case 4 – Average considering 2 times standard forecast errors:
 Day-ahead (green), Ancillary service (grey), Day-ahead (orange)

Med prisprognoser kan den lönsammaste marknaden väljas
 (a) Påverkar marknader med behov att undanhålla kapacitet från spot.
 (b) Ger möjlighet att agera på flera stödtjänstmarknader (dvs välja den lönsammaste timme för timme)



Case 1 – Perfect production forecast on minute basis:
 Day-ahead (green), Ancillary service (grey), Day-ahead (orange)

Case 2 – Perfect production forecast on hourly basis:
 Day-ahead (green), Ancillary service (grey), Day-ahead (orange)

Case 3 – Average considering standard forecast errors:
 Day-ahead (green), Ancillary service (grey), Day-ahead (orange)

Case 4 – Average considering 2 times standard forecast errors:
 Day-ahead (green), Ancillary service (grey), Day-ahead (orange)

Vinst för fallstudierna 1-4 och ingen prisprognos i 2020
 Utan prisprognos prioriteras stödtjänster, dvs så mycket som möjligt budas in på stödtjänstmarknaden

Vinst för fallstudierna 1-4 och perfekt prisprognos i 2020
 Med prisprognos väljes den lönsammaste marknaden dit kapaciteten budas

Slutsatser

- Det finns pengar att tjäna på stödtjänster!
- Vinstmöjligheter ändras år för år beroende på förhållandena mellan spotpriser och stödtjänstpriser.
- aFRR ned är ett säkert kort. Inga prisprognoser behövs.
- Förbättring av produktionsprognoser halverar förluster pga prognosfel.
- Prisprognoser ger mycket flexibilitet att välja mellan olika marknader, om de är träffsäkra.

Slutrapport och artikel

- Länk till slutrapporten med mer detalj om utvärderingsmetoden och mer resultat: [Wind power participation in frequency regulation: a profitability assessment for Sweden \(diva-portal.org\)](#)
- En vetenskaplig artikel om resultaten från projektet:

Possible wind farm earnings from frequency regulation markets in Nordic power system, October 2022, Cigre session 2022 , Paris.

Camille Hamon

camille.hamon@ri.se

Mattias Persson

mattias.persson@ri.se