

Ensemblemetoder för vindkraftprognoser i kallt klimat



Jennie Molinder

Uppsala Universitet
Kontakt: jennie.molinder@geo.uu.se

Heiner Körnich (SMHI), Esbjörn Olsson
(SMHI), Anna Sjöblom (UU), Hans
Bergström (UU), Peter Hessling (Kap)

Varför

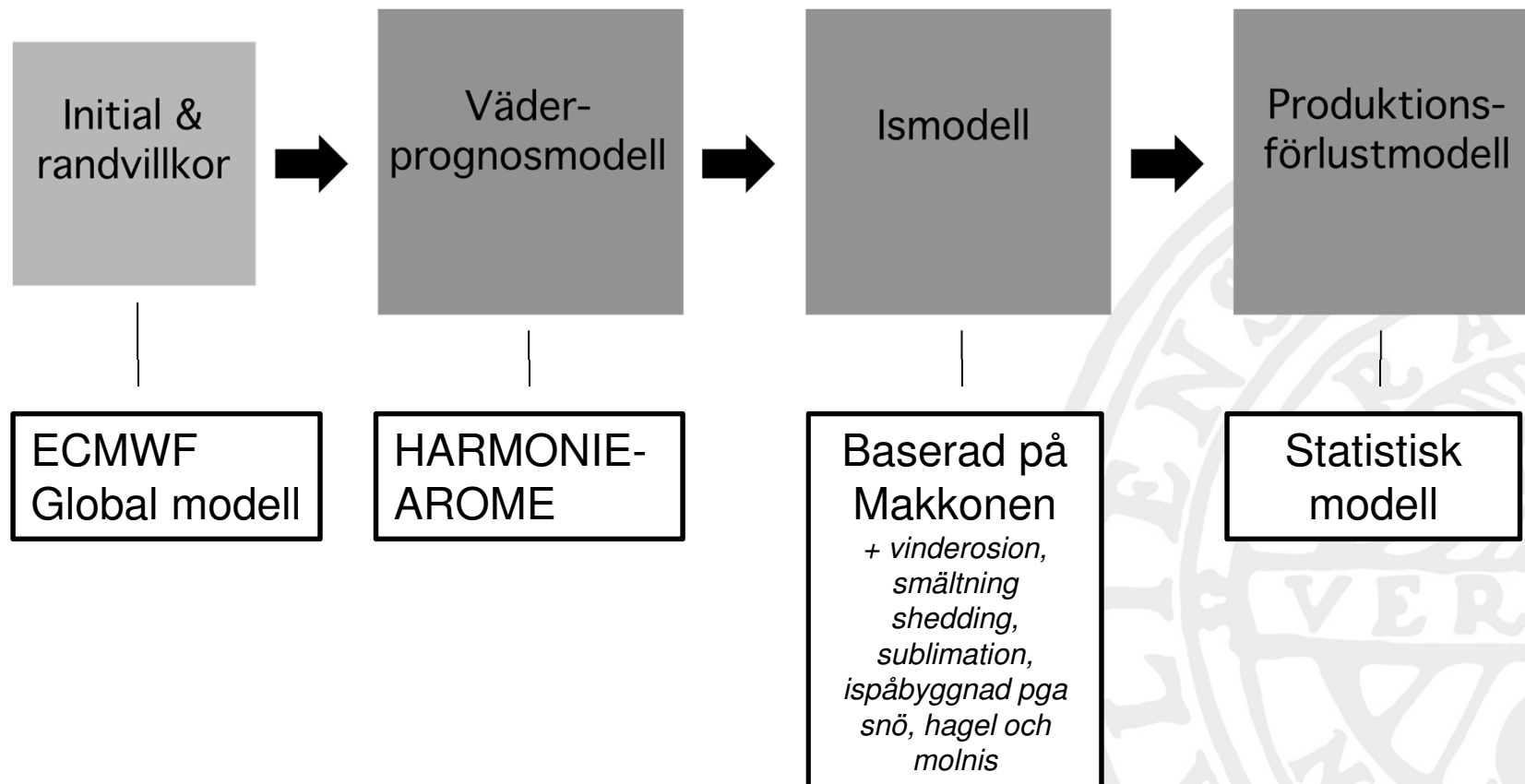
- Prognoser för nedisning på vindkraftverk är viktiga för produktionsuppskattningar
- Prognoserna är osäkra – kan ensembleprognoser ge bättre resultat?
- Ensembleprognoser ger även en uppskattning om osäkerheten i prognosen

När sker isbildning på vindturbinens vingar?

- I moln eller dimma vid låga temperaturer
- Vid underkylt regn
- Vid snöfall eller hagel, om tillräckligt mycket fukt finns

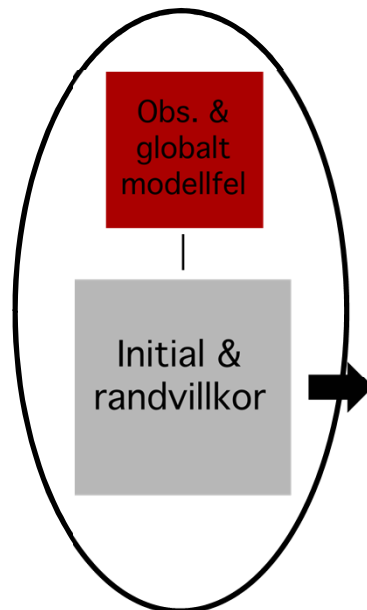


Modellkedja

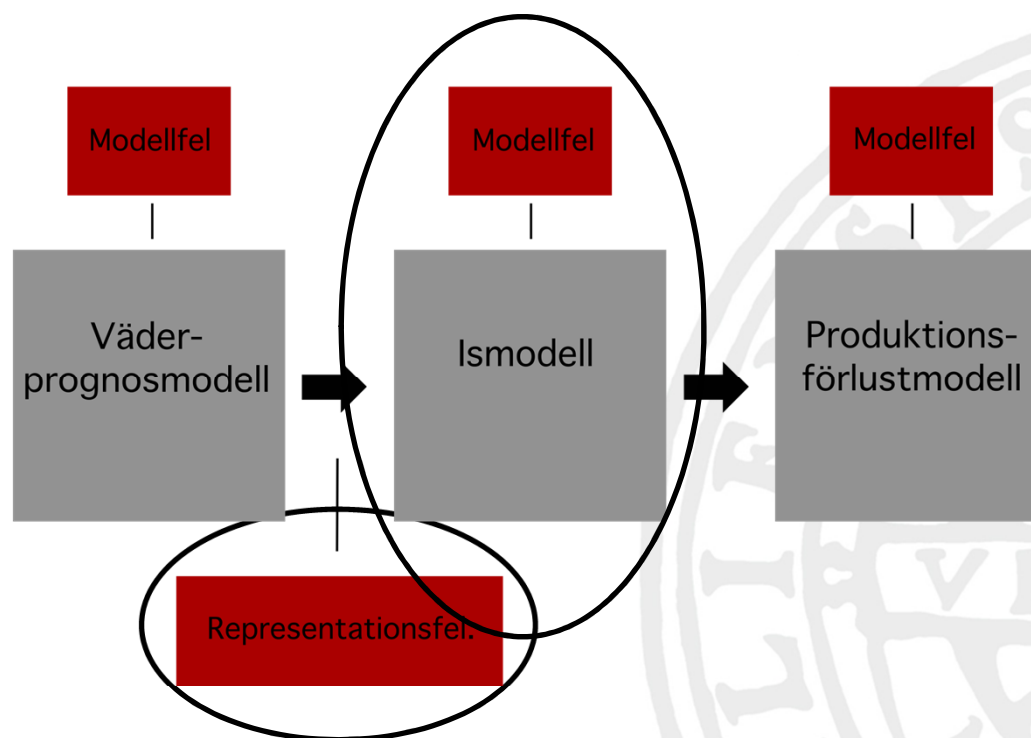


Ensembleprognoser skapade med hänsyn till olika osäkerheter

NWP-ensemble



Ismodellensemble



Grannmetoden

Innehåll

- NWP-ensemble och grannmetod testad på två-veckors fallstudie
- Ismodellensemble skapad med deterministisk sampling (22 veckor data)
- Ismodellensemble+NWP-ensemble (10 veckor data)

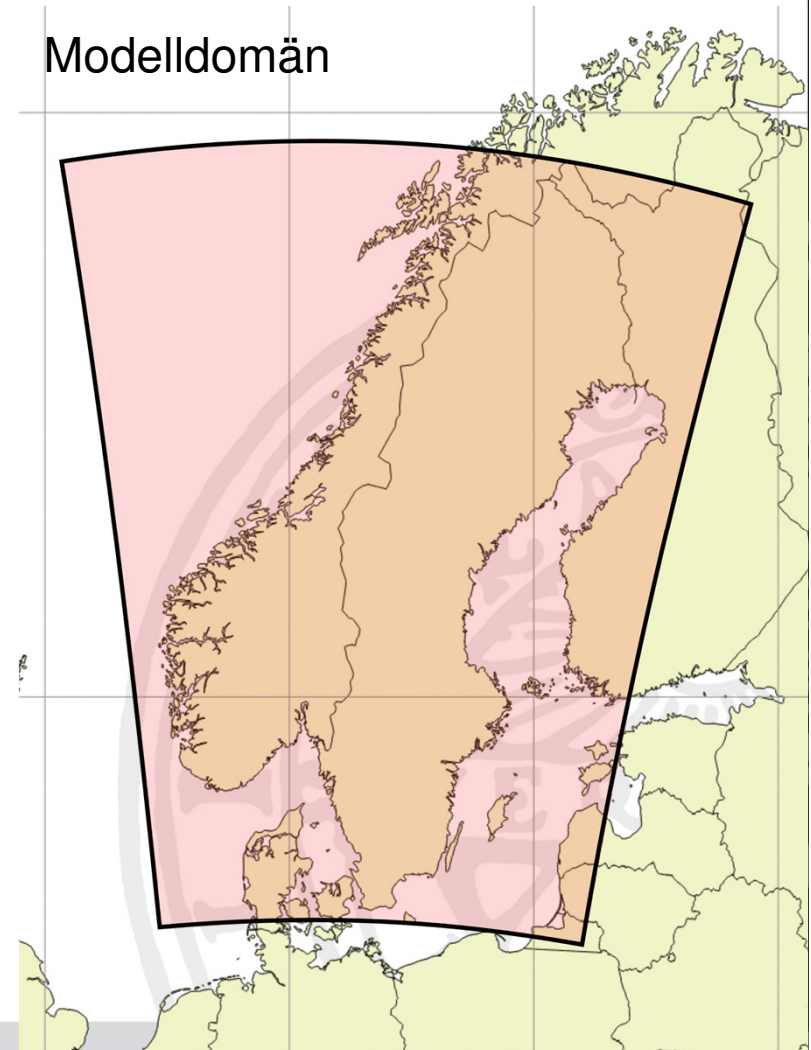
NWP-ensemble och grannmetod

Två veckor vintern 2011/12

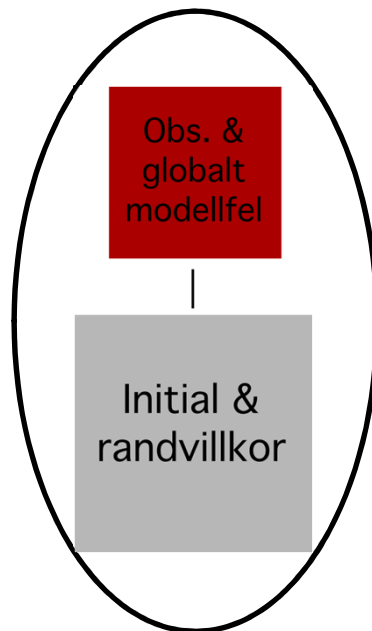
Observationer

- 3 vindparker med produktionsdata
- Verifieras mot produktionsförlust-observationer (finns osäkra isobsar)
- 60-100 m över marken

Modelldomän

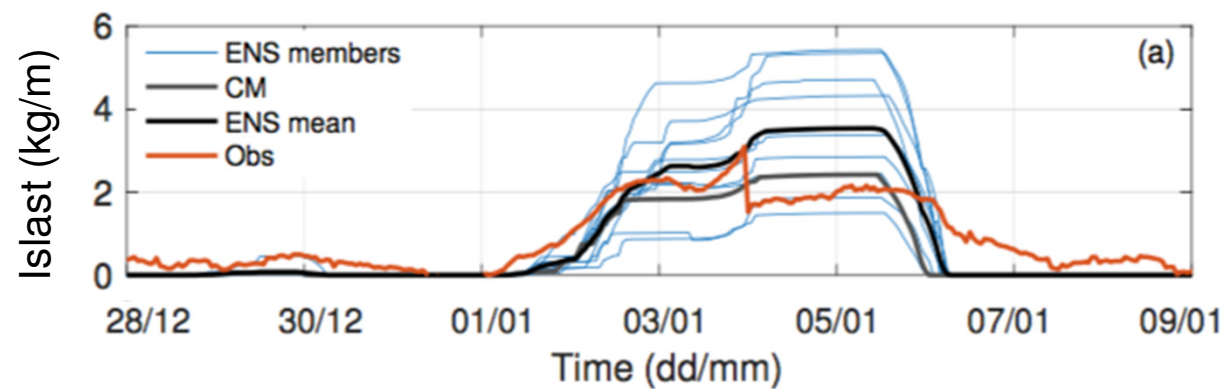


NWP-ensemble

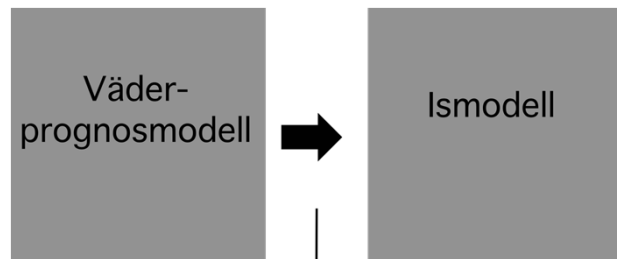


HarmonEPS

- 11 medlemmar, 10 med perturberade initialtillstånd
- ECMWF EPS-ränder
- Prognos 06 UTC+42 h (18-42 h för elhandeln)
- 2.5 km horisontell upplösning



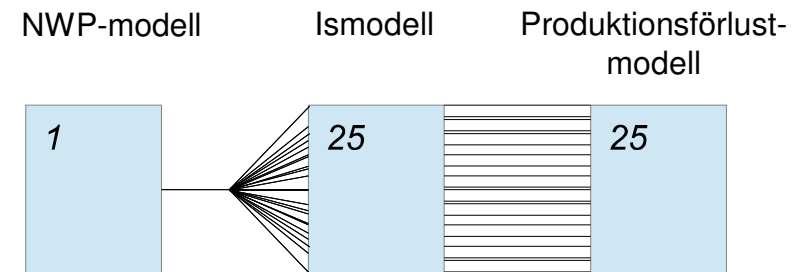
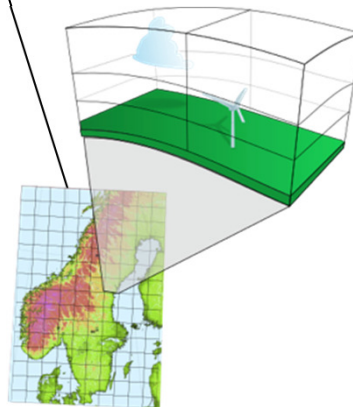
Grannmetoden



Representationsfel.

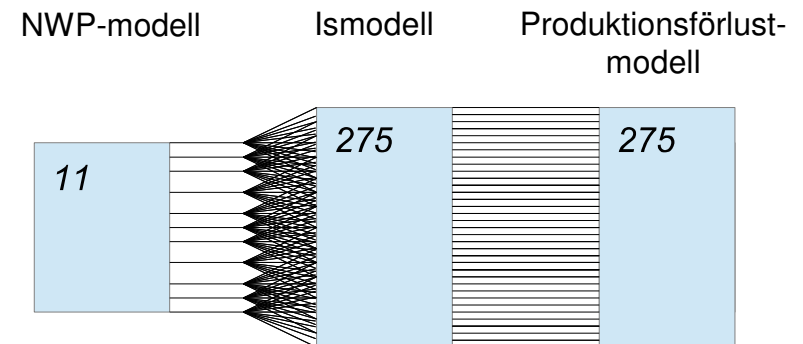
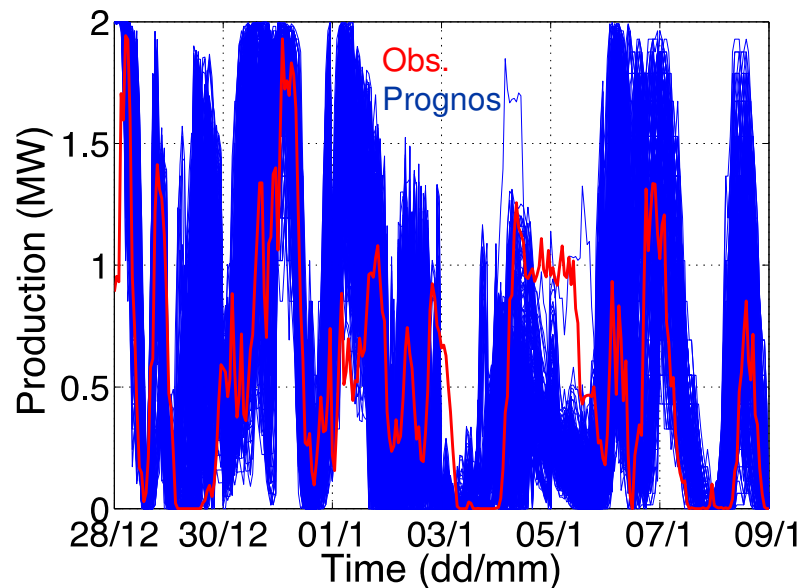
Grannmetoden -
horisontell

- 25 närmaste gridpunkterna
- Lika troliga



Grannmetoden + NWP-ensemble

Kombinerad grannmetod + NWP ensemble
(275 medlemmar)



Resultat: Minskat prognosfel

Prognosfel

	Produktion (MW)	Prod. förlust (%)
Deterministisk	0.46	26
Grannmetod	0.44	23
NWP Ensemble	0.44	21
NWP Ensemble+Grann	0.41	21

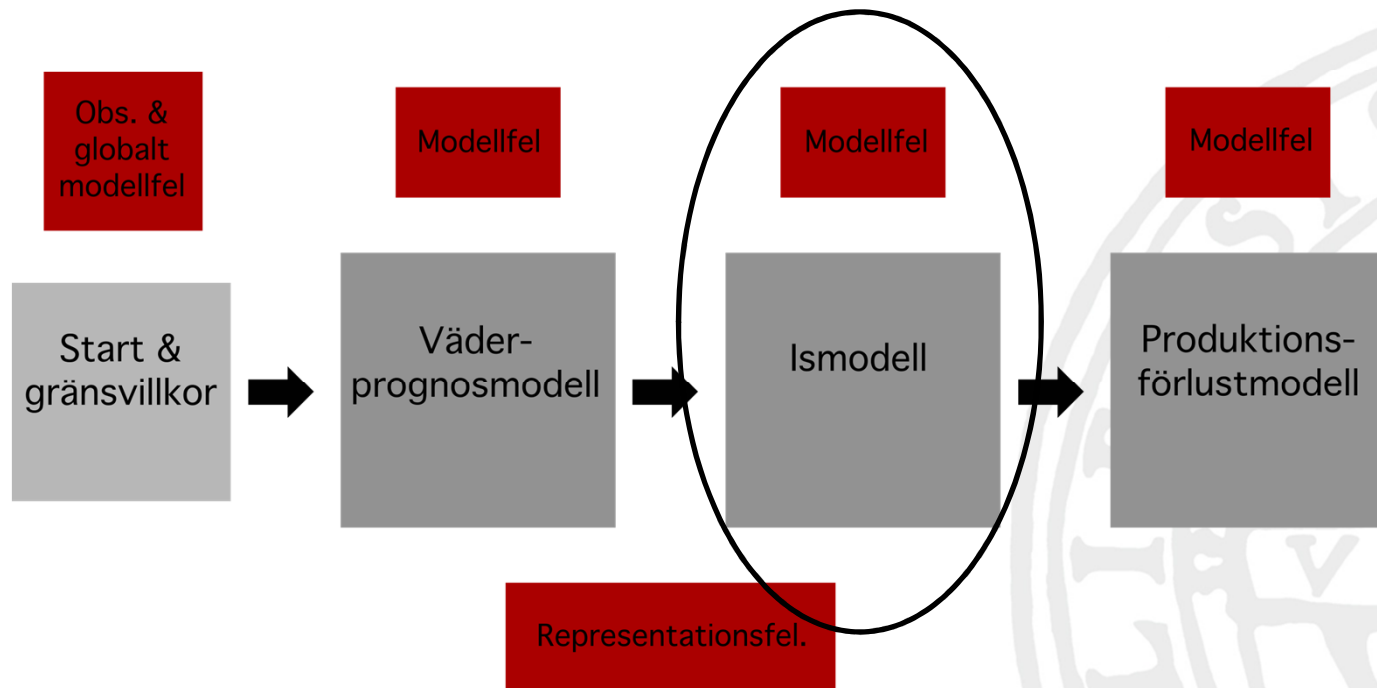
Verifikation

Ensemblemedelvärdets
prognosfel jämförs med
kontrollmedlemmens

Kombination av metoderna
ger bäst resultat

Ismodellensemble

Fokus på ismodellens osäkerheter



Ismodellensemble

Uppskatta osäkra
parametrar i modellen
(Medel + STD)

Ensemblekörningar

Osäkerhet i
prognosen

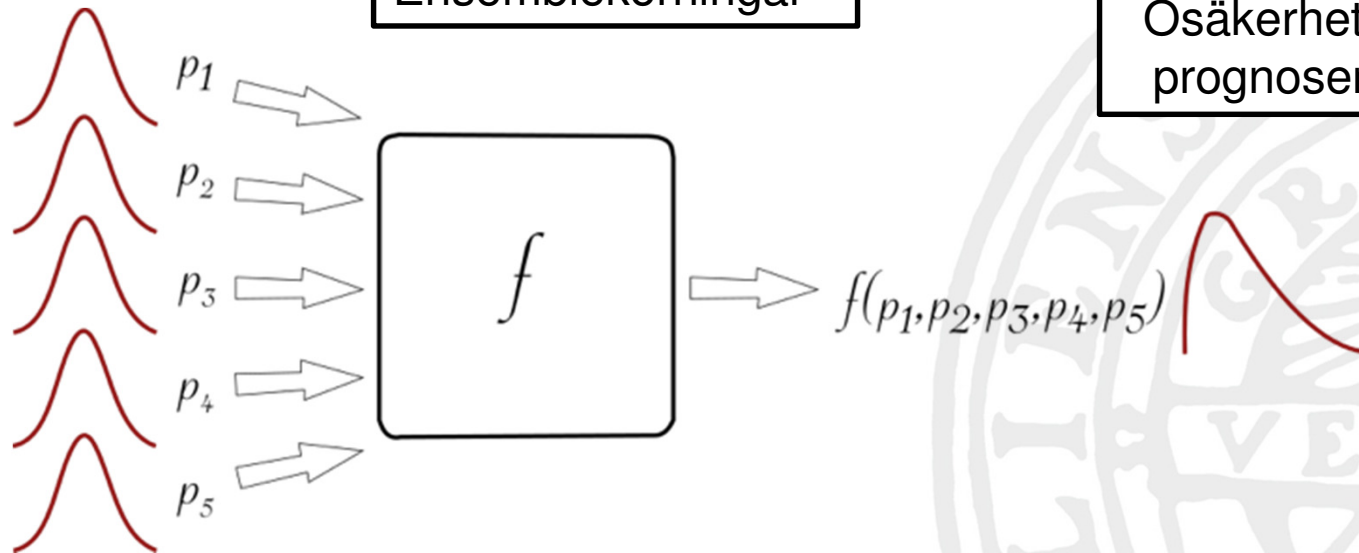


Figure based on: Ensemble for deterministic sampling with positive weights, 2016, A. Sahlberg. <http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:941626/FULLTEXT01.pdf>

Osäkra parametrar i ismodellen

Fem parametrar baserat på litteraturstudier

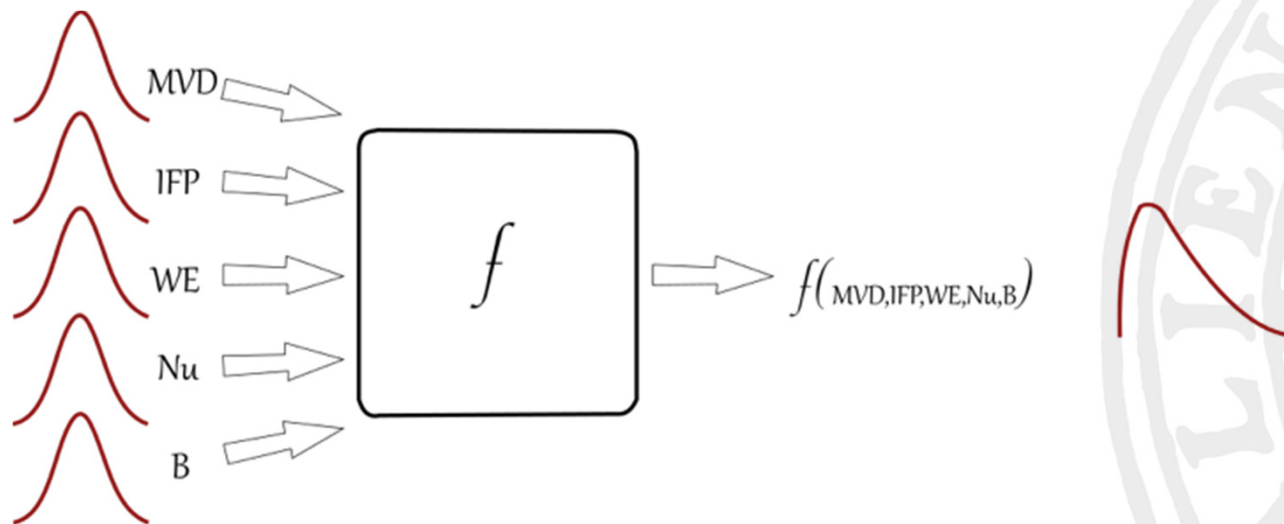
MVD – Droppstorlek, påverkar hur bra isen sätts samman samt kollisionseffektiviteten

IFP – Påverkar hur snabbt is faller av vid smältning

WE – Vinderosion

Nu – Nusselt number, påverkar hur bra isen sätts samman samt sublimationen

β – Påverkar hur bra snö och snöhagel fastnar på vingen



Ismodellensemble genom deterministisk sampling

Deterministisk sampling för 5 parametrar

- 9 ensemblemedlemmar
- Slumpmässig sampling och deterministisk sampling ger i vårt fall väldigt lika resultat

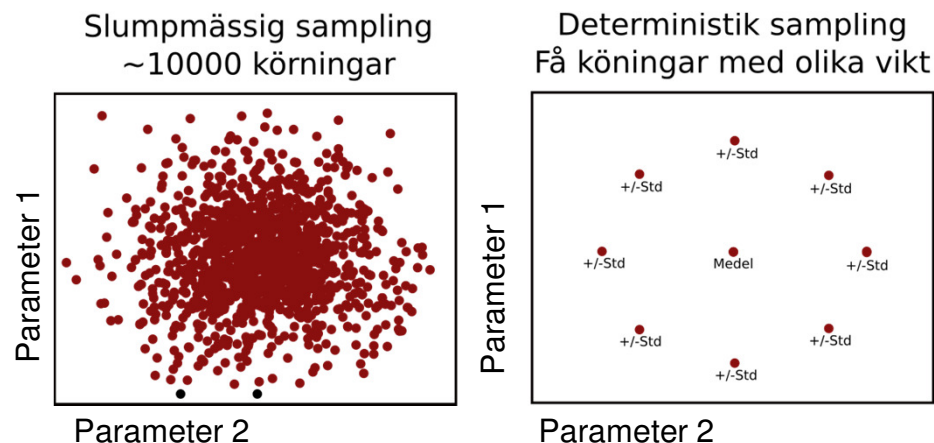
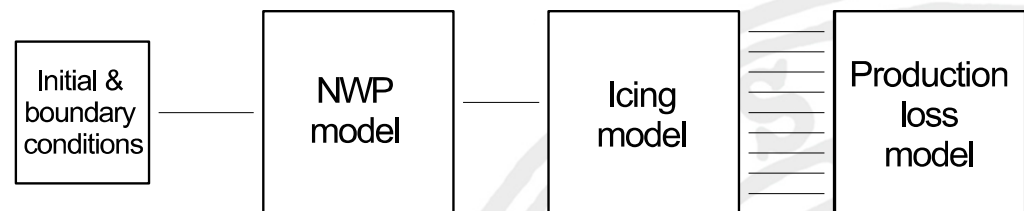


Figure based on: Ensemble for deterministic sampling with positive weights, 2016, A. Sahlberg. <http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:941626/FULLTEXT01.pdf>

Testperiod och observationer

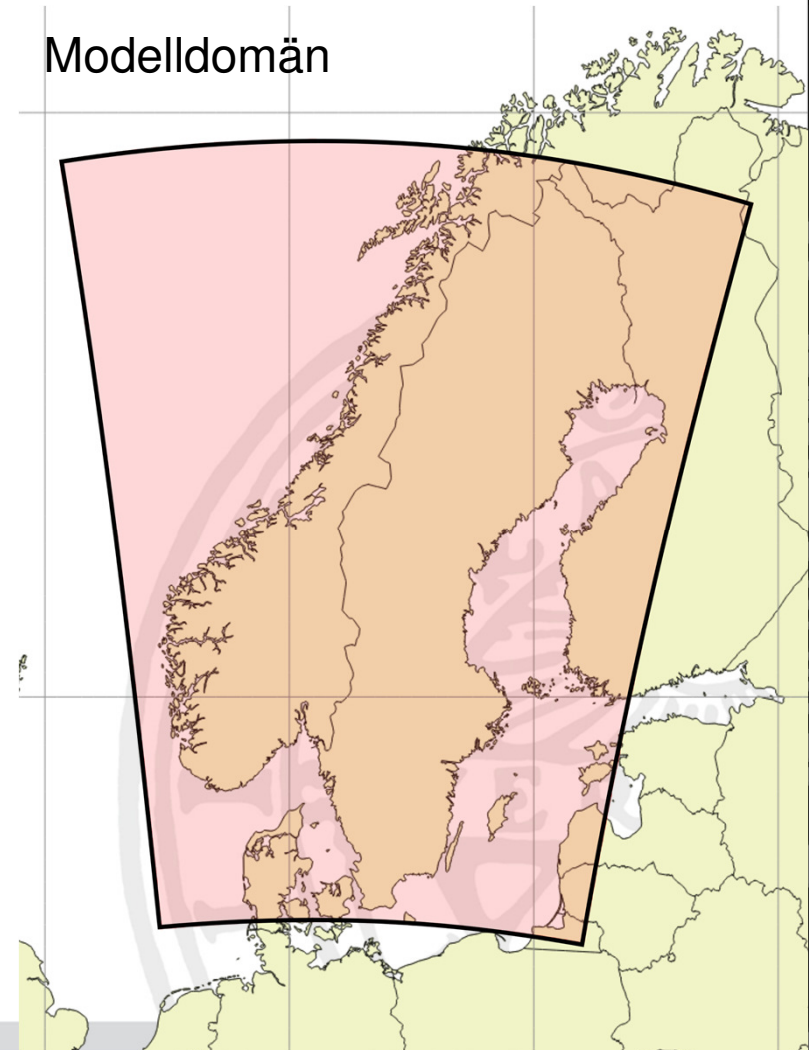
Vintern 2013/14 och 2014/15, 22 veckor

- HarmonEPS (endast CM)
(HARMONIE-AROME 40h1.1)
- 06 UTC +42 h (18-42 h)

Observationer

- 4 stationer med produktionsdata
och meteorologiska mätdata
- Finns ismätningar – osäkra
- Verifieras mot produktionsförlust-
observationer

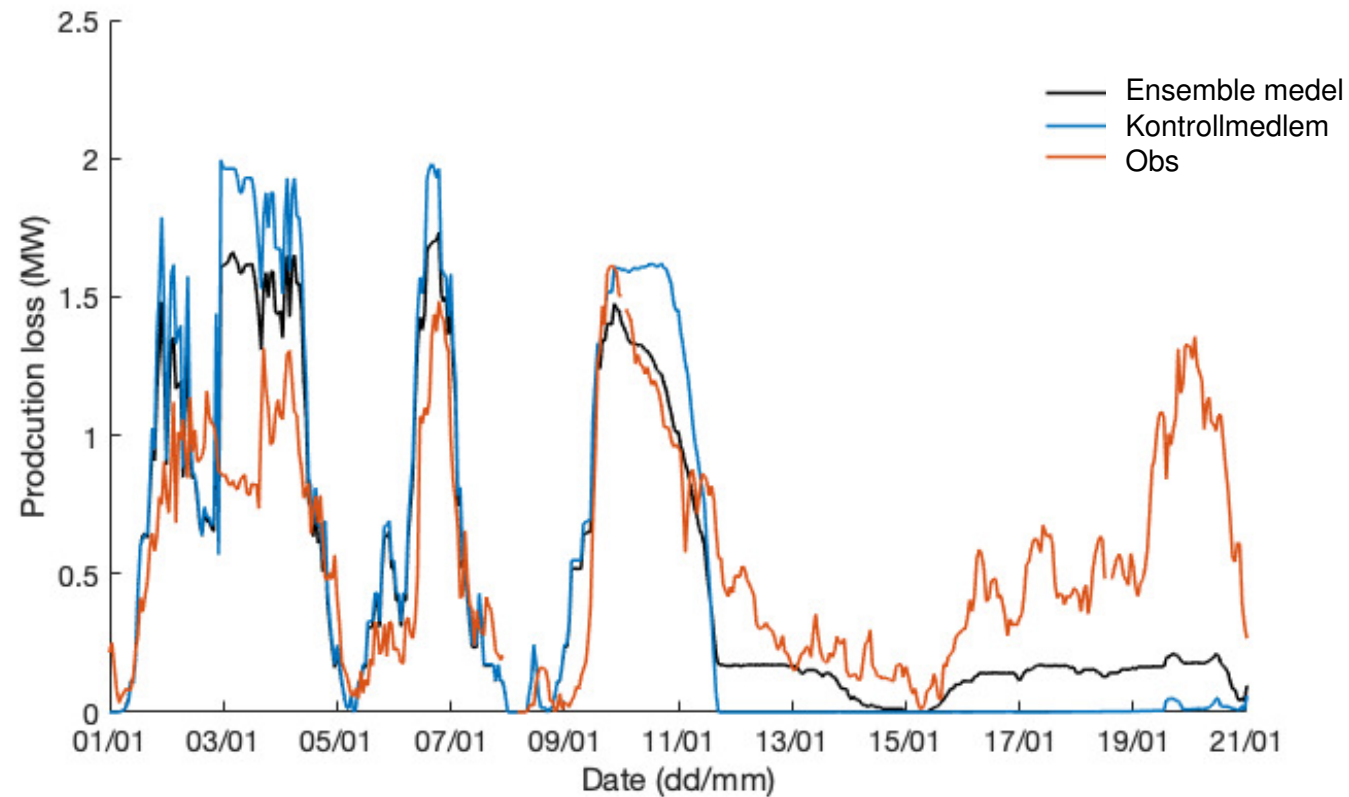
Modelldomän





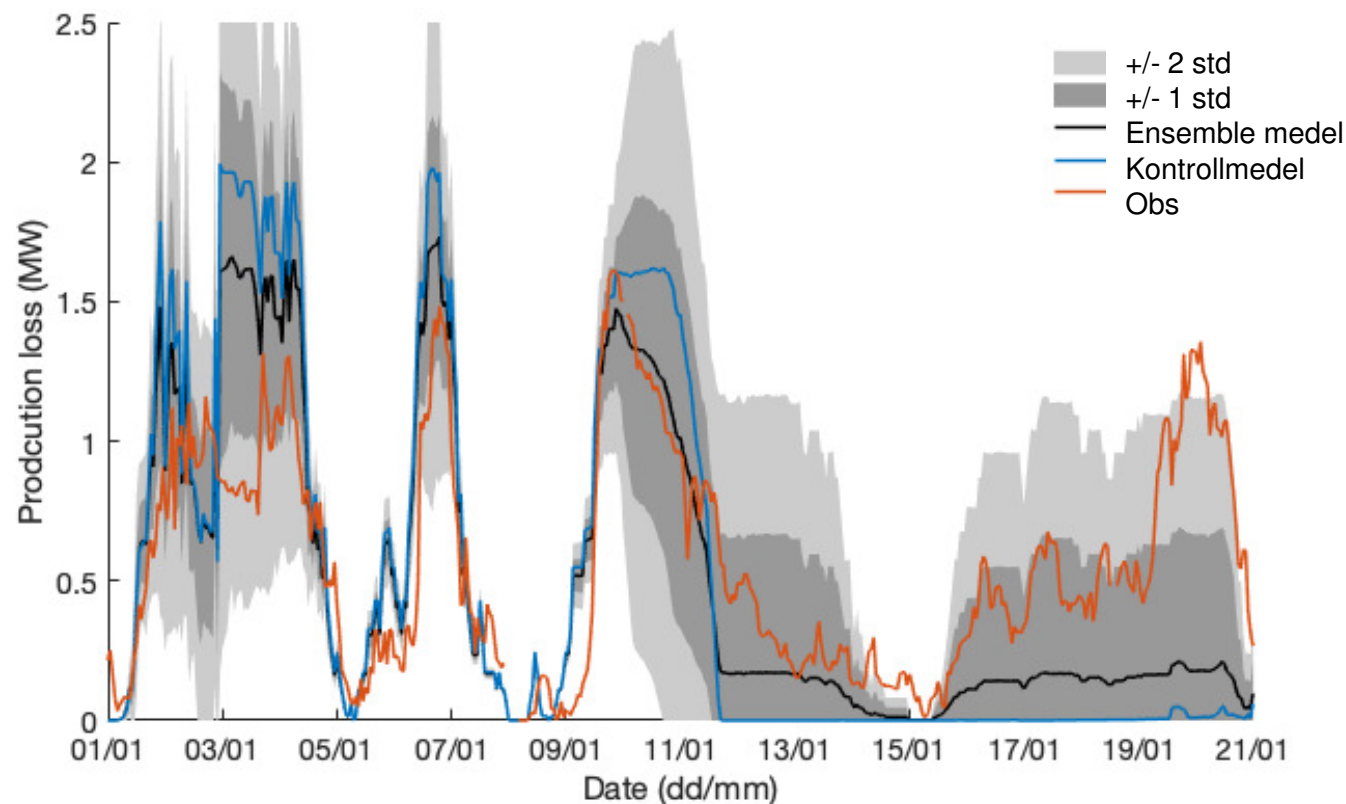
UPPSALA
UNIVERSITET

Resultat – Exempel



Resultat – Sannolikhetsprognos

Ensemblens spridning (std) ger information om prognososäkerhet
(spread/skill $\approx 0.6-0.7$)



Resultat – Minskat prognosfel

Prognosfel produktionsförlust (MW)

Period 1, 2013-2014

Vindpark	A	B	C	D
Kontrollmedlem	0.52	0.48	0.33	0.44
Ensemble-medel	0.42	0.45	0.29	0.42

Felet reduceras
mellan 5 och 25%

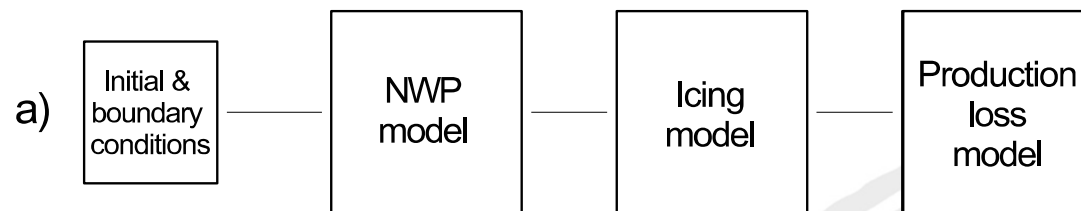
Period 2, 2014-2015

Vindpark	A	B	C	D
Kontrollmedlem	0.44	0.38	0.40	0.42
Ensemble-medel	0.33	0.31	0.31	0.32

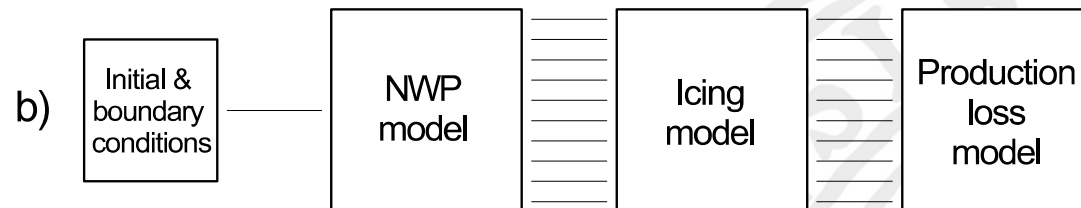
Jämförelse mellan NWP-ensemble och Ismodellensemble

Baserat på 10 veckor 2013-2014, 4 vindparker

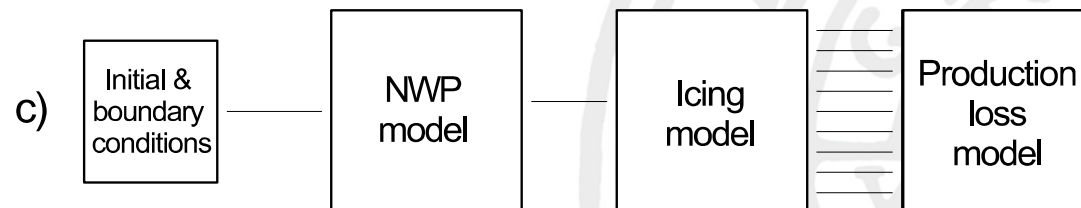
Deterministisk



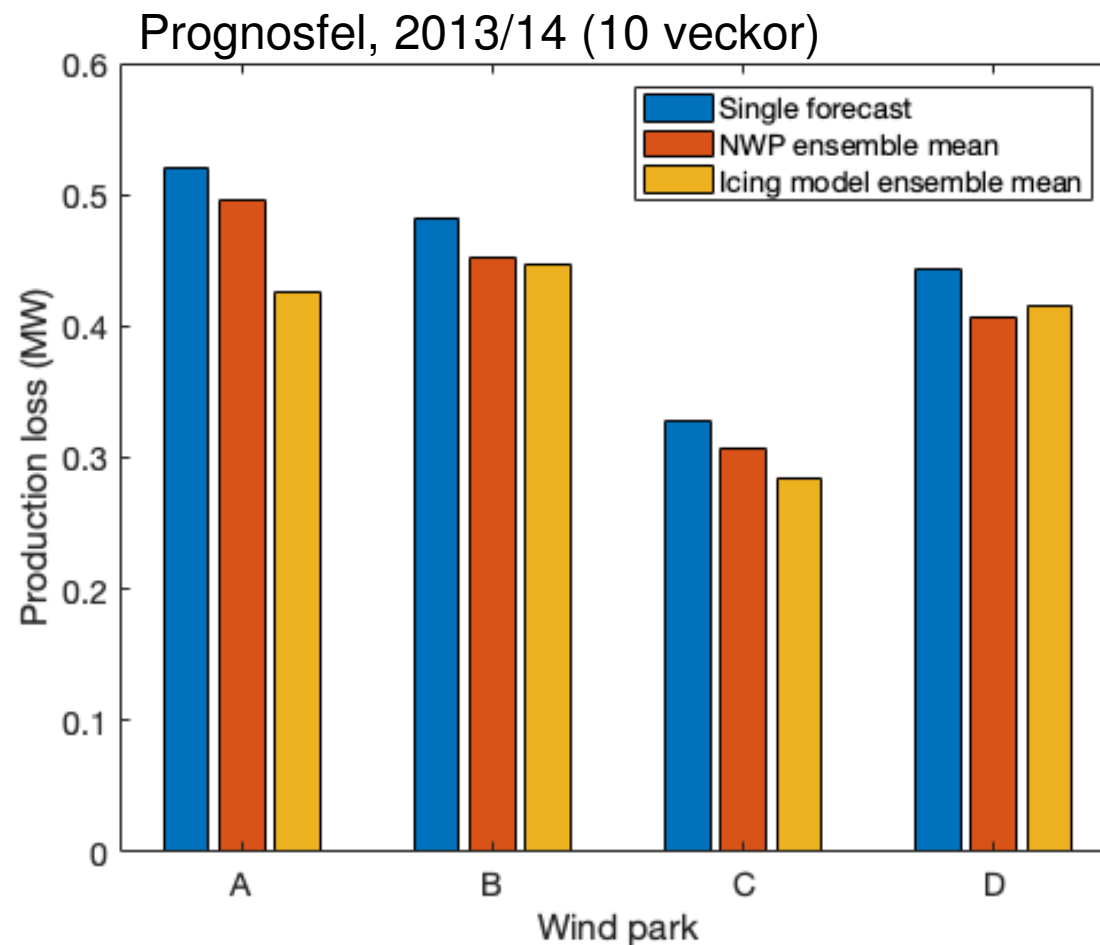
NWP ensemble
(pert. initialtillstånd.)



Ismodell-ensemble



Jämförelse mellan NWP-ensemble och Ismodellensemble



Ismodellensemblen har
liknande eller lägre
prognosfel jämfört med
NWP-ensemblen
gällande
produktionsförlustprognosen

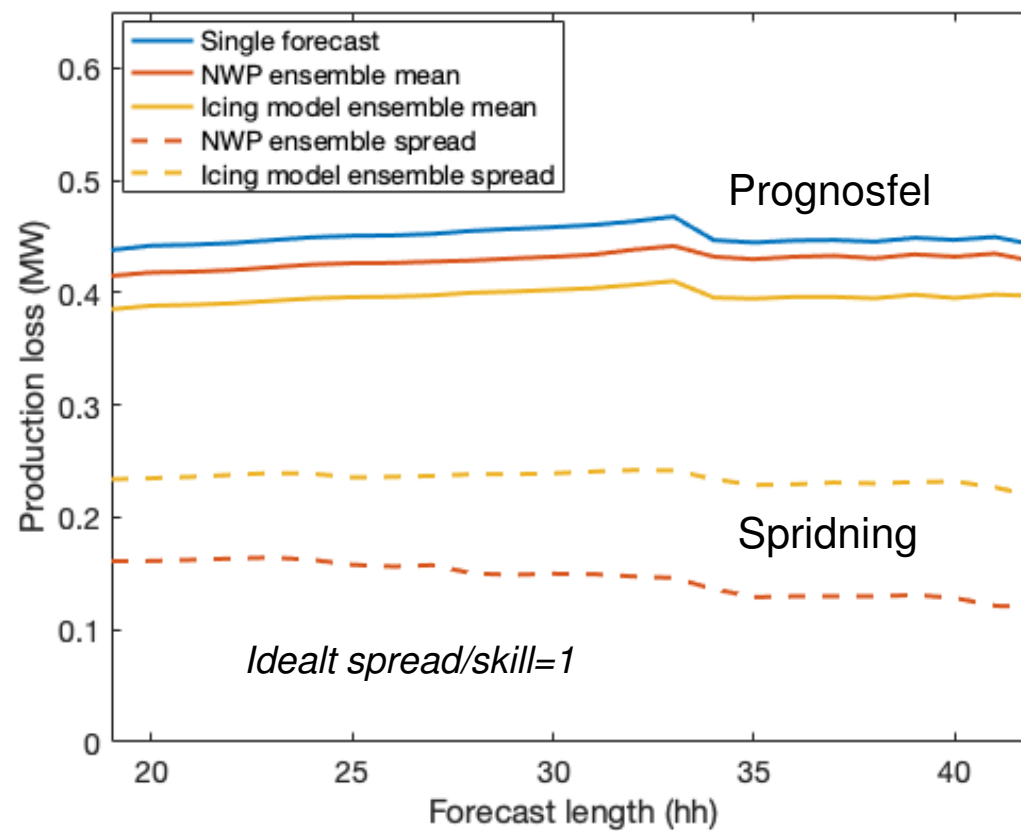
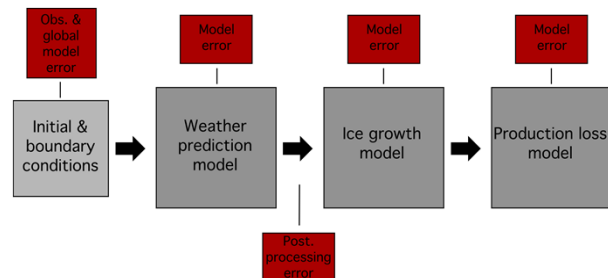
Jämförelse mellan NWP-ensemble och Ismodell-ensemble

2013/14 (10 veckor)

Medelvärdesbildat för de 4 vindkraftparkerna

Ismodellensemblen har
högre spread/skill

Alla osäkerheter är inte
adresserade – en perfekt
ensemble är inte förväntad



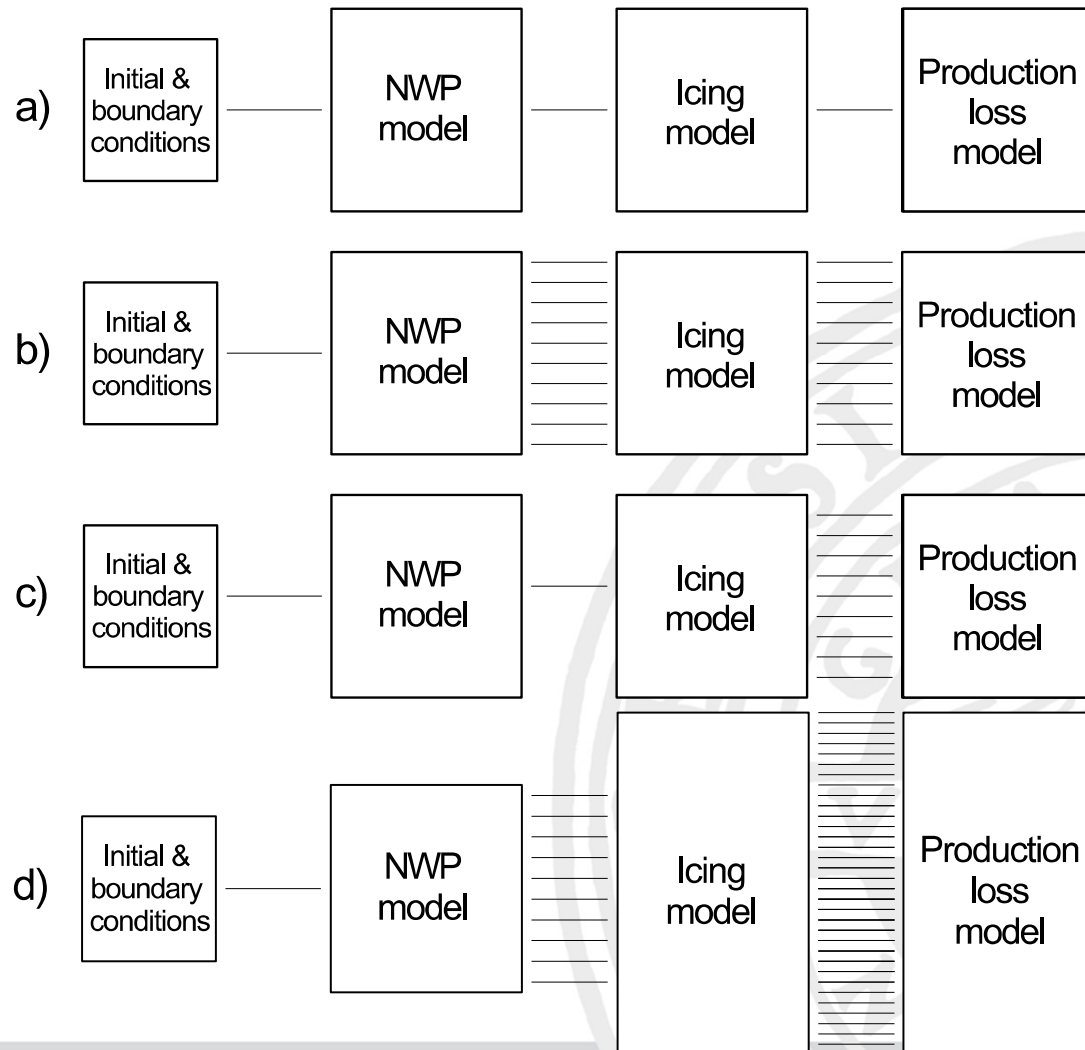
Om vi kombinerar NWP-ensemble och ismodellensemblen då?

Deterministisk

NWP-ensemble
(pert. initialtillstånd.)

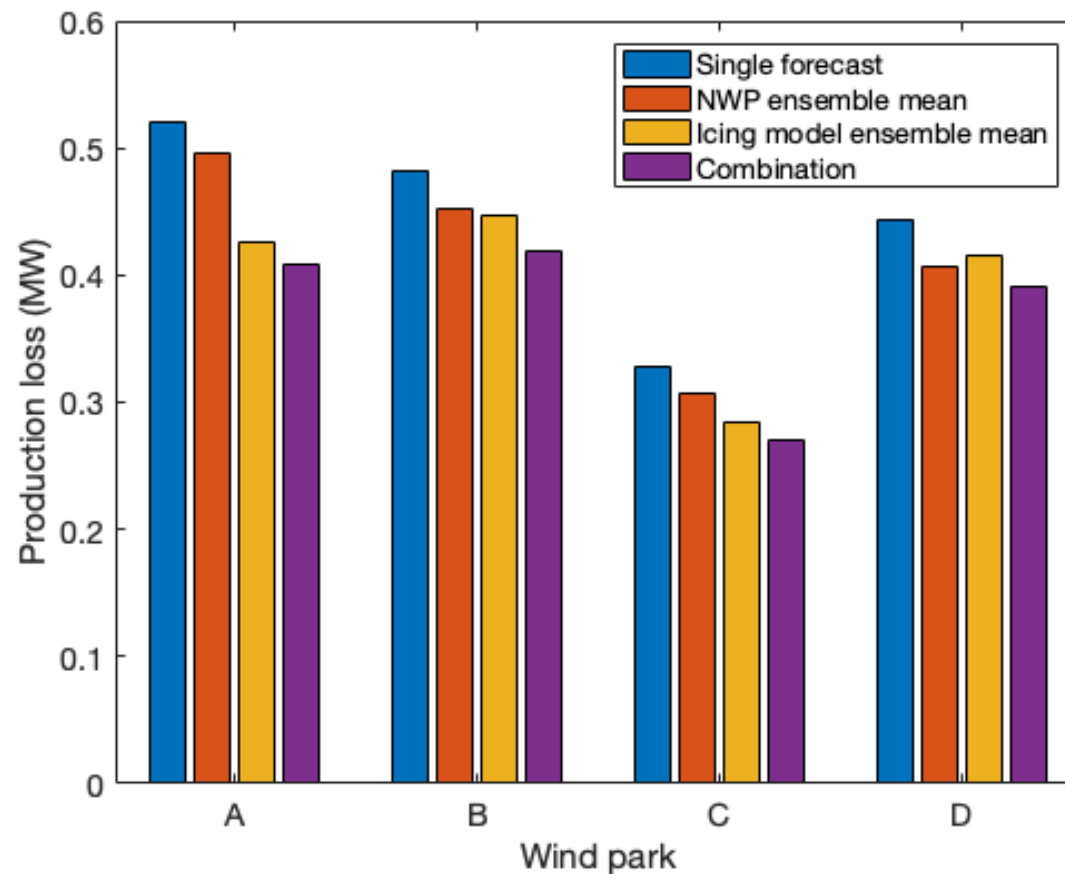
Ismodell-
ensemble

Kombination
NWP-ensemble
+ Ismodell-
ensemble



Om vi kombinerar NWP-ensemble och ismodellensemblen då?

Prognosfel, 2013/14 (10 veckor)

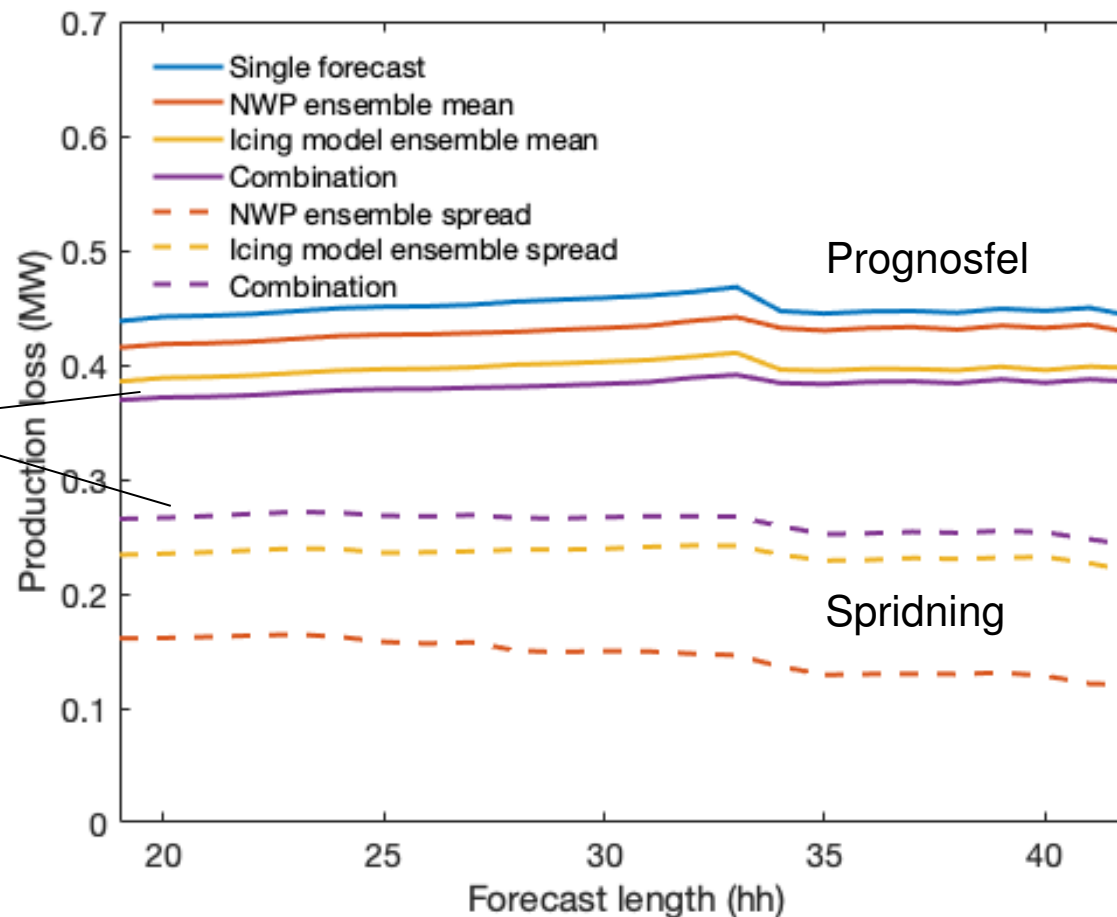


Kombinationen ger
bäst prognos!

Om vi kombinerar NWP-ensemble och ismodellensembeln då?

2013/14 (10 veckor)

Medelvärdesbildat för de 4 vindkraftparkerna



Kombinationen ökar spridningen och därmed spread/skill

Sammanfattning

- Ensembleprognoser kan användas för att minska felet i produktionsprognoser för vindenergi i kallt klimat
- De tre ensemblemetoderna som testats, Grannmetoden, NWP-ensemblen samt ismodellensemblen, ger alla en förbättrad prognos
- Sannolikhetsprognoser ger även en uppskattning om osäkerheten i prognosen och därmed bättre underlag för att fatta beslut

Tack!

Artiklar:

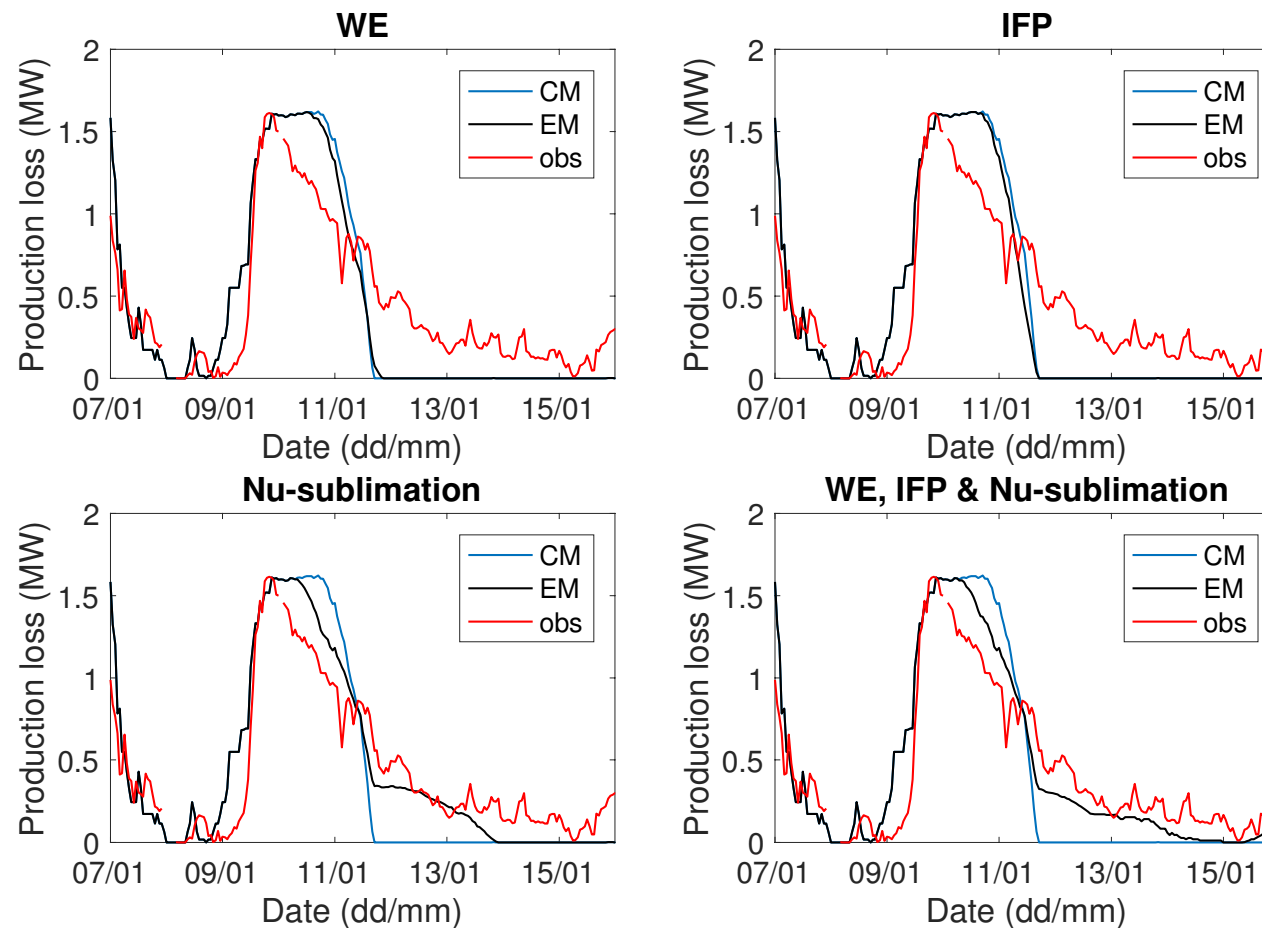
Probabilistic forecasting of wind power production losses in cold climates: A case study, Molinder, J., Körnich, H., Olsson, E., Sjöblom A., and Bergström H., *Wind Energy Science*, <https://doi.org/10.5194/wes-3-667-2018>

The use of uncertainty quantification for the empirical modelling of wind turbine icing, Molinder, J., Körnich, H., Olsson E. and Hessling P., *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, DOI: 10.1175/JAMC-D-18-0160.1



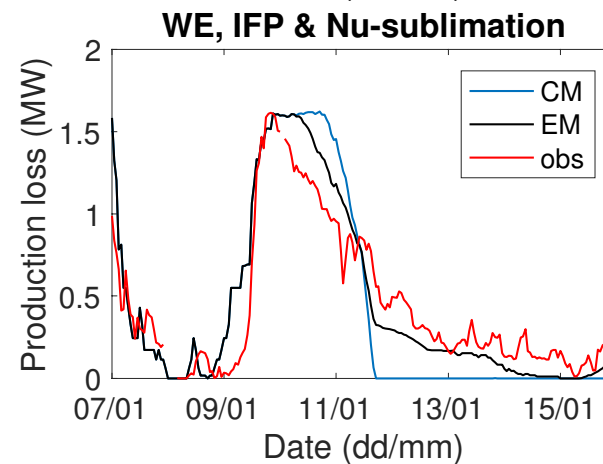
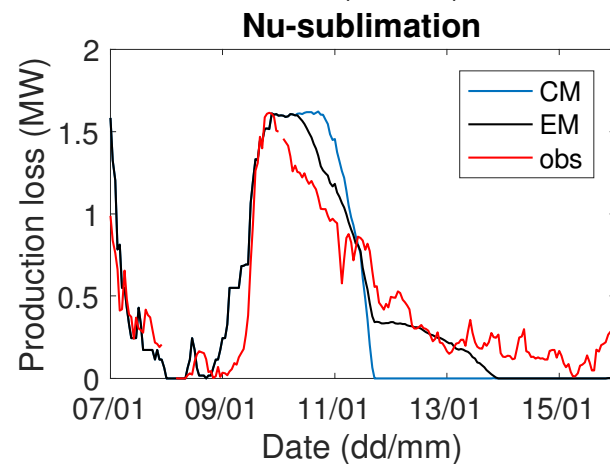
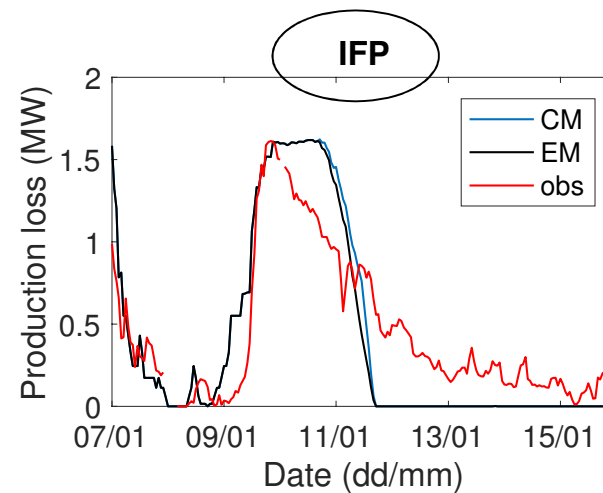
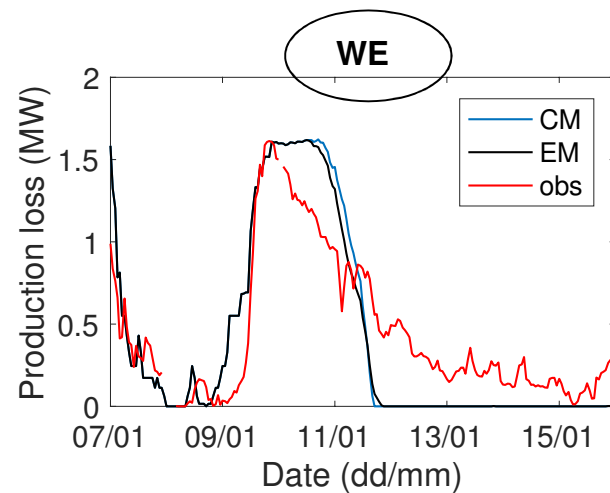
Känslighetsstudie

Exempel, parametrar som påverkar reduceringen av isen

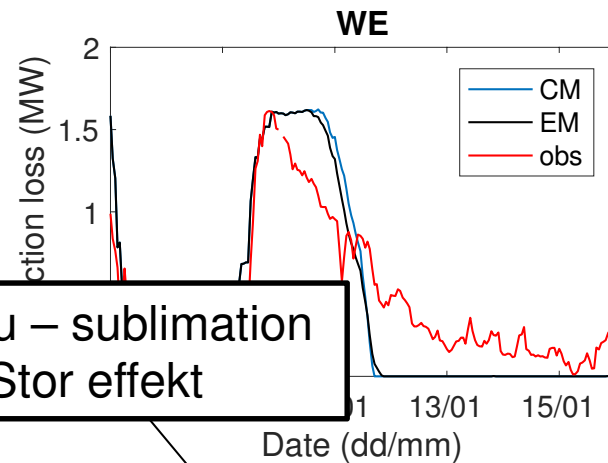


Känslighetsstudie

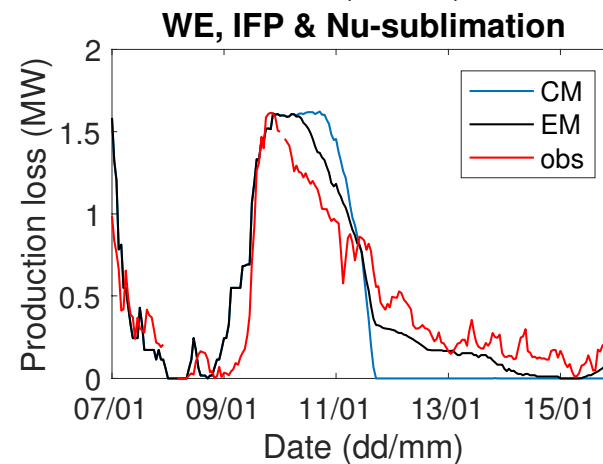
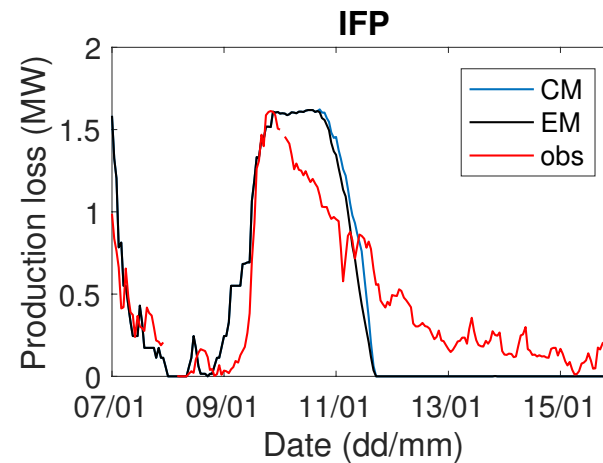
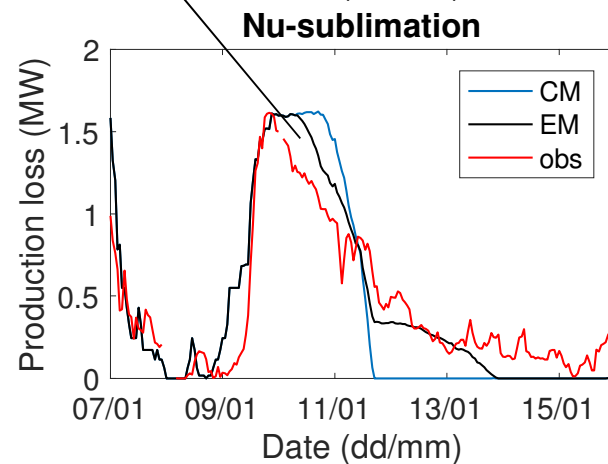
IFP & WE
- Liten effekt



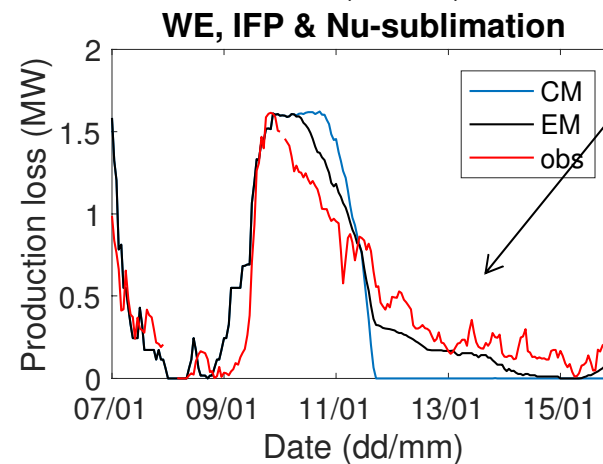
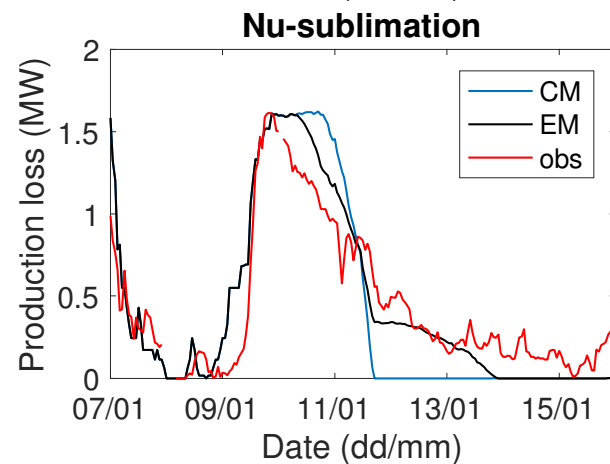
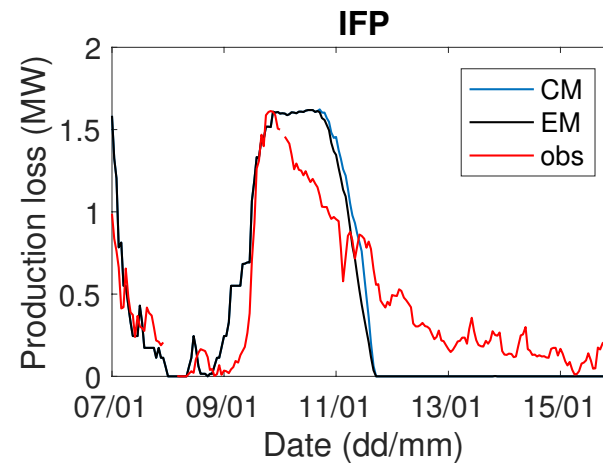
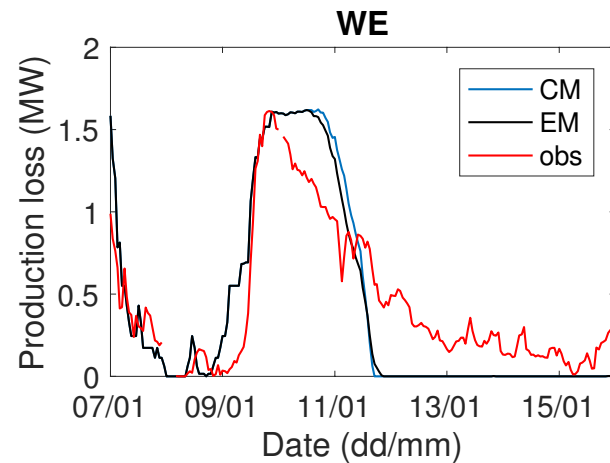
Känslighetsstudie



Nu – sublimation
- Stor effekt



Känslighetsstudie



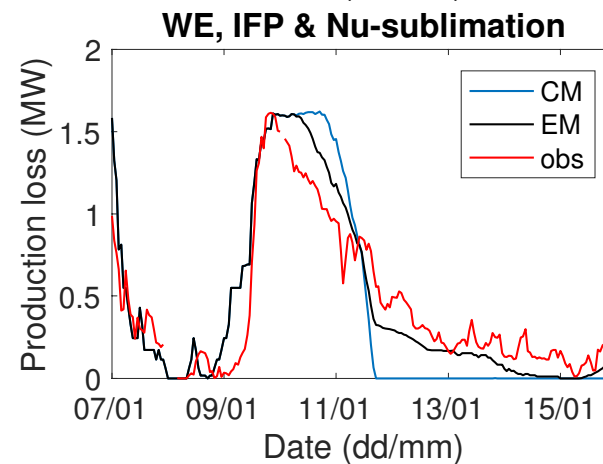
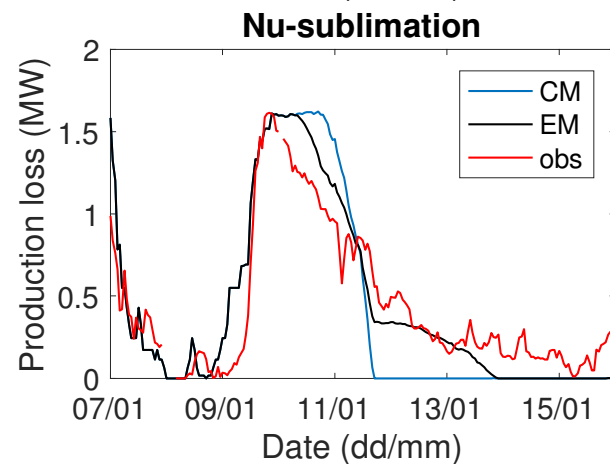
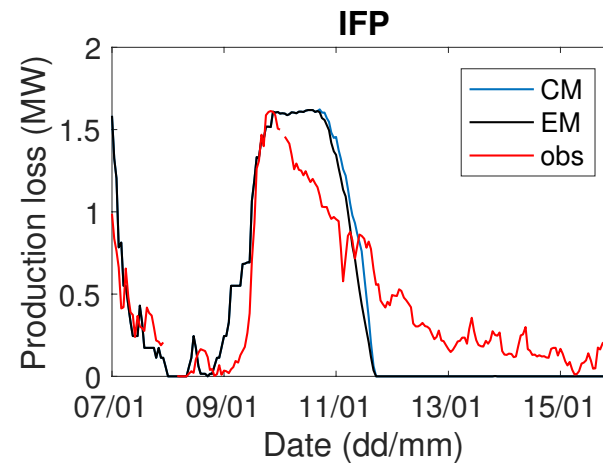
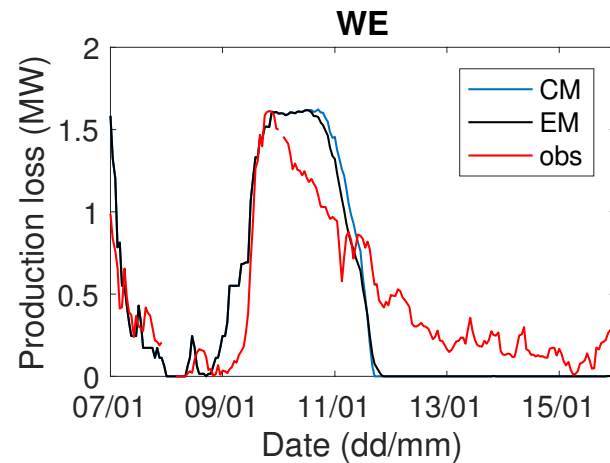
Bäst prognos när alla parametrar tas med i ensembleprognosen

Känslighetsstudie

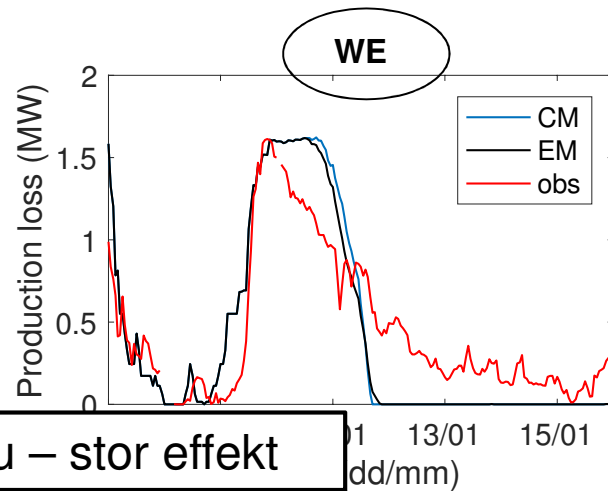
Parameter	Påverkan på ensemblens spridning
WE	0.02
IFP	0.03
B	0.12
MVD	0.16
Nu (Subl, AE)	0.11 (0.08, 0.03)
All	0.22

} β , MVD och Nu Har störst
påverkan på resultatet

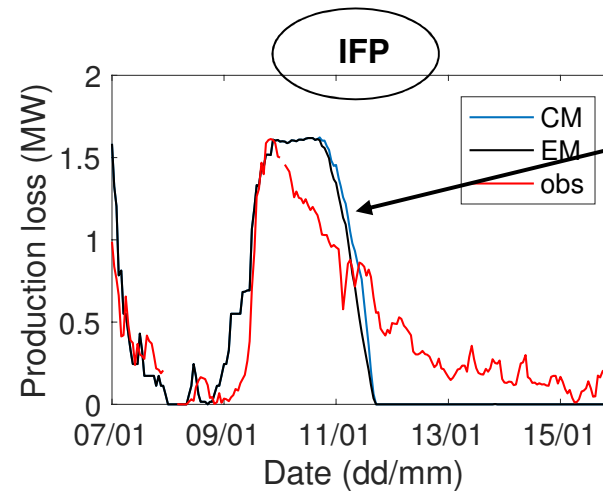
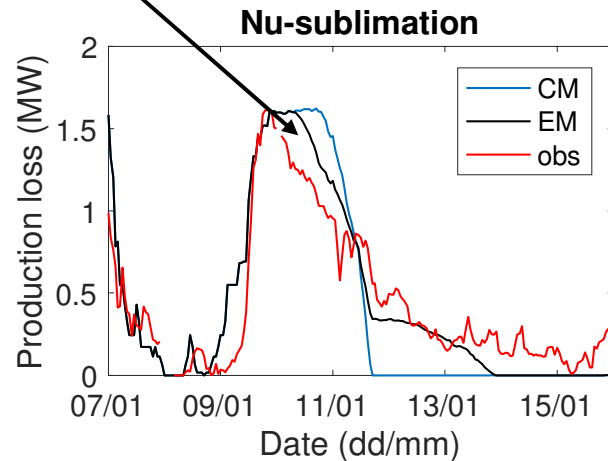
Känslighetsstudie



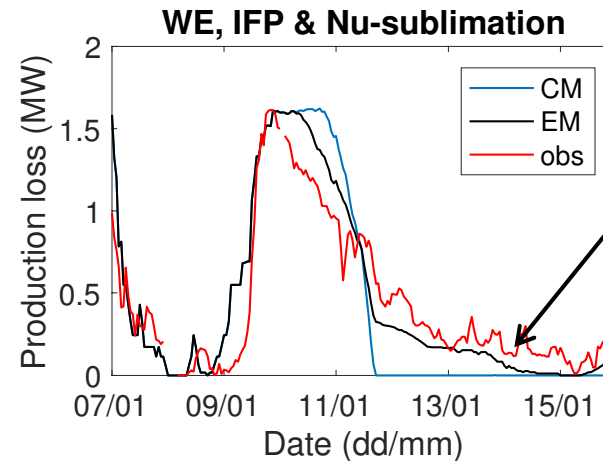
Känslighetsstudie



Nu – stor effekt

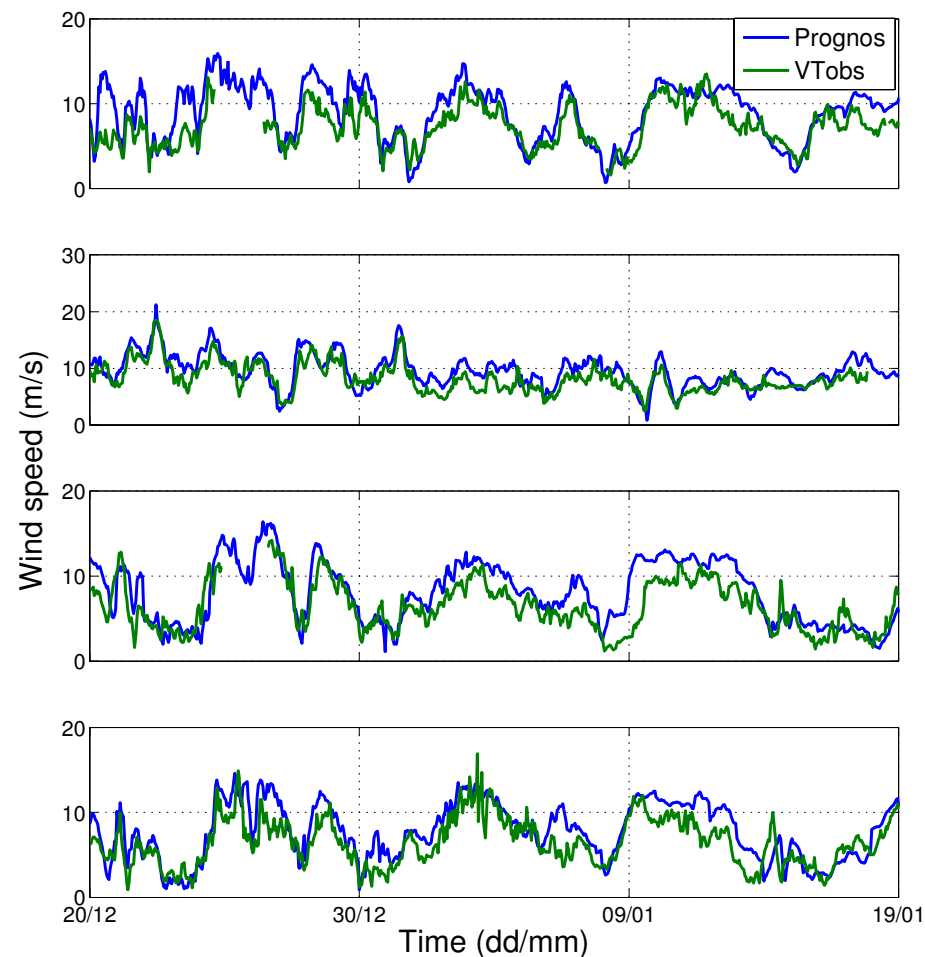


IFP & WE
- Liten effekt



Bättre att
inkludera alla
parametrar

Stor bias i vindhastighet



Den observerade potentiella
produktionen blir lägre än
prognosen

⇒ Svårt att validera
produktionen

