



Utveckling av Nordic Variational (NOVA) Ocean Data Assimilation System på SMHI

Lars Axell
SMHI

Innehåll

- Bakgrund
- Varför NOVA?
- Olika *flavours* av *Ensemble Variational Data Assimilation*
- Exempel på tillämpningar idag
- Pågående projekt: CAISA

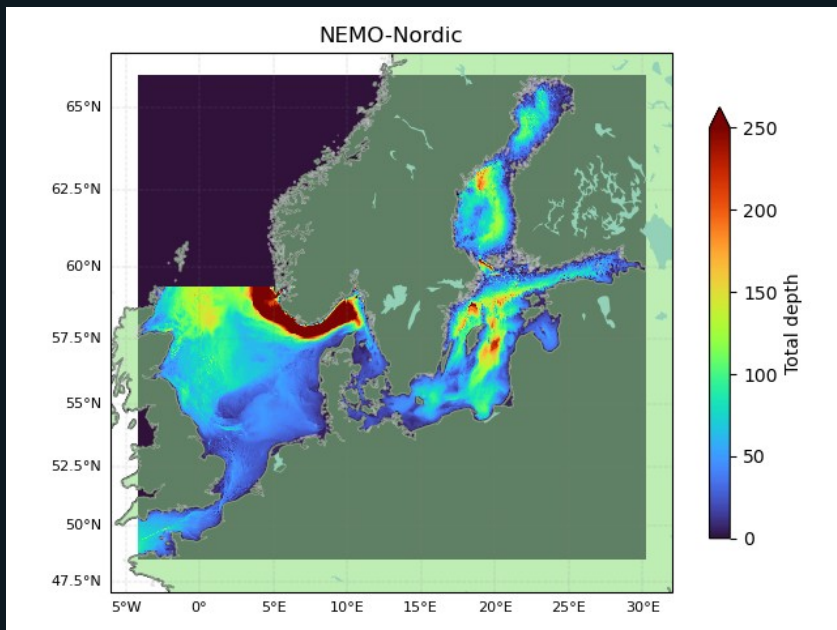
Bakgrund

- För att göra prognoser behövs:
 - En bra matematisk modell som kan räkna ut hur tillståndet förändras i tiden
 - Bra randvärden
 - Bra starttillstånd
- I vårt fall med Östersjön har vi
 - Havsmodellen “NEMO-Nordic”
 - Randvärden från väderprognosmodellen AROME, den hydrologiska prognosmodellen EHYPE och en annan havsmodell för Nordatlanten
 - Kort prognos från tidigare cykel, samt observationer ("dataassimilering")

Bakgrund: Havsmodellen NEMO-Nordic



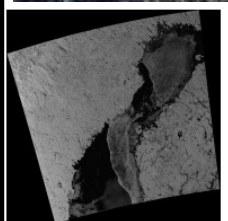
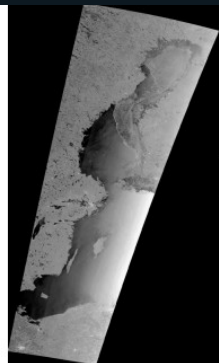
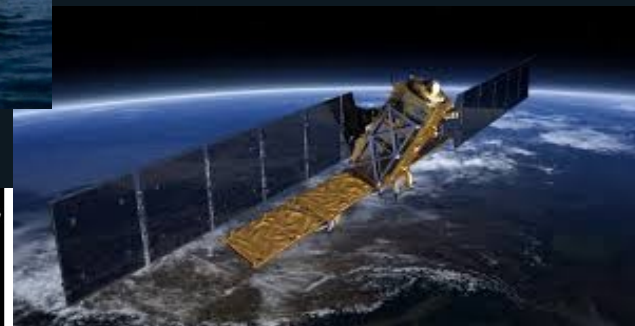
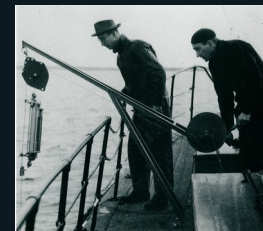
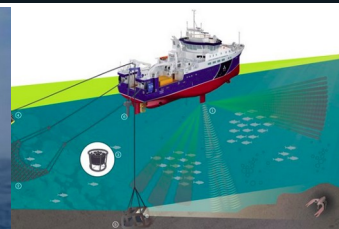
Nemo, vår maskot!
Vi har även ett analys-
verktyg som heter Doris!



- Område: Östersjön och Nordsjön
- Operationella prognoser:
 - 1.85 km upplösning
 - 1 m nära ytan
- Scenarier för klimat och havsmiljö:
 - 3.7 km upplösning
 - 3 m nära ytan
- Även högupplösta lokala uppsättningar:
 - Vänern (350 m)
 - Stockholms skärgård (115 m)
 - Brofjorden (60 m)
 - Orust-Tjörn (50 m)

Varför NOVA?

- Dataassimilering behövs för att förbättra första gissningen, som kommer från en kort prognos (6-24 h lång prognos)
- NOVA är en *sk ensemble-baserad* dataassimileringsmetod (möjliggör situationsberoende kovarianser)
- NOVA är en *variationell* dataassimileringsmetod (förenklar assimilering av icke-konventionella observationer och icke-linjära observationsoperatorer...)



observation of the state vector x is represented by the
 vector y which is the observation vector. The observation
 vector y is related to the state vector x by the observation
 operator H and the observation error d is given by
 $y = Hx + d$.
 The elements of the control vector w are set to zero to
 minimize a cost function J whose value depends on the
 control vector w :

$$J(w) = \frac{1}{2} w^T w + \frac{1}{2} (Hx_0 + w - d)^T O^{-1} (Hx_0 + w - d)$$
 where O^T denotes the transpose of a vector or matrix and
 is the observation error covariance matrix. Here we
 the common assumption that all off-diagonal
 elements are uncorrelated, which implies that all off-diagonal
 elements are zero and that the matrix inversion
 is needed to

Olika varianter (*flavours*) av *Ensemble Variational Data Assimilation*



- 2D EnVar
 - Endast ytan
 - Is
- 2.5D EnVar
 - Ytan + några ytnära lagrer
 - Is + SST + temperaturprofiler nära ytan
- 3D EnVar
 - Hela vattenkolumnen
 - Profiler av salthalt, temperatur, närsalter (NO₃, NH₄, PO₄, etc.)

Olika varianter (*flavours*) av *Ensemble Variational Data Assimilation*

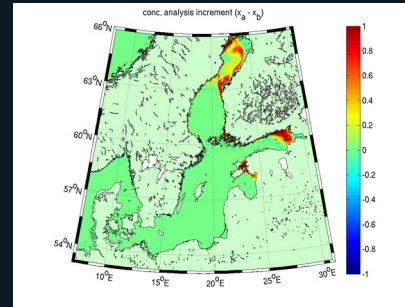
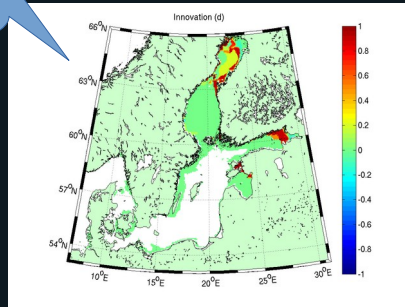


- 2D EnVar
 - Endast ytan
 - Is
- 2.5D EnVar
 - Ytan + några ytnära lagrer
 - Is + SST + temperaturprofiler nära ytan
- 3D EnVar
 - Hela vattenkolumnen
 - Profiler av salthalt, temperatur, närsalter (NO₃, NH₄, PO₄, etc.)
- 3D EnVar FGAT (“3.5D EnVar”)
 - *First Guess at Appropriate Time*; tar delvis hänsyn till tidsdimensionen
 - Bättre för ytströmmar och vattenstånd
- 4D EnVar
 - Tar full hänsyn till tidsdimensionen
 - Kräver ett fullständigt ensembleprognossystem (långt ord!)
 - Bäst för alla typer av observationer? Om vi har råd att köra ett ensembleprognossystem...

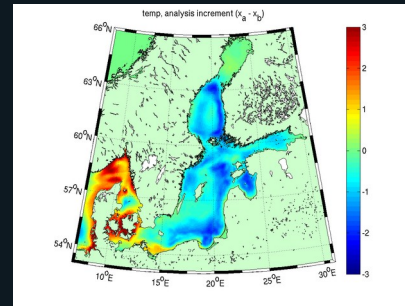
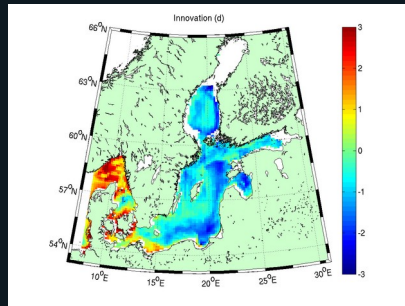
Exempel på tillämpningar idag: SIC och SST

SIC =
Sea Ice
Concentration

SIC



SST



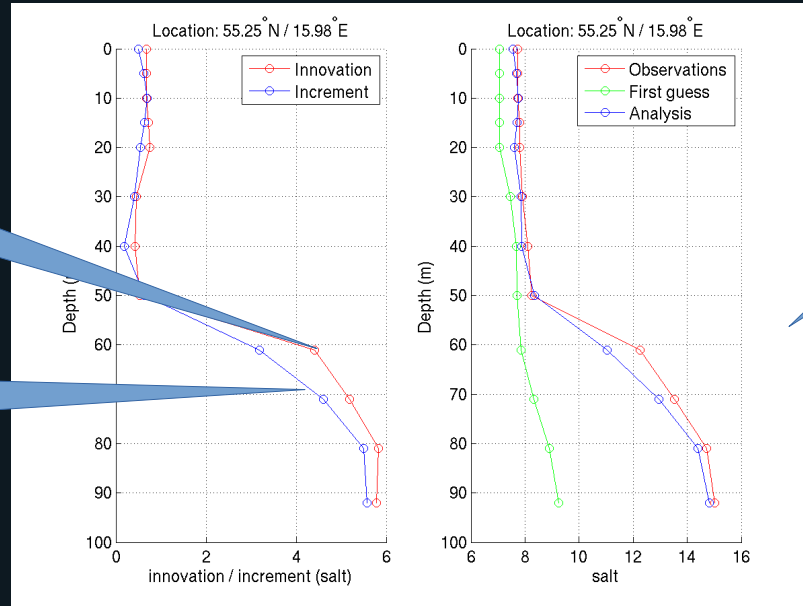
Observation minus första gissningen

Korrektion från assimileringen

Exempel på tillämpningar idag: Profiler av salthalt

“Innovation =
obs minus
1:a gissning

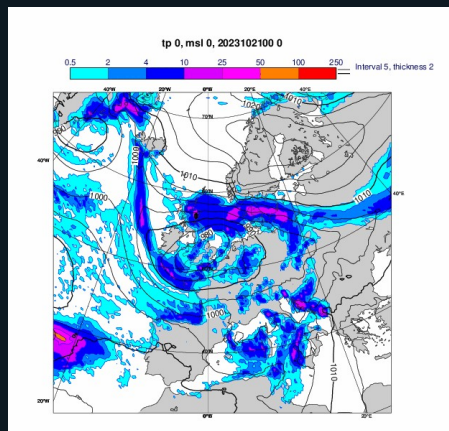
“Increment =
Korrektion
mha DA



Saltprofiler:
Före och efter
assimilering

Exempel på testtillämpningar idag: Assimilering av vattenstånd

- Stormen “Babet” slog till i sydvästra Östersjön i mitten av oktober 2023
- Starka ostliga vindar
- Extremt höga vattenstånd:
 - Flensburg, Tyskland: > 2.2 m
 - Eckernförde, Tyskland: > 2.0 m
 - Sønderborg, Danmark: > 2.0 m
 - Skanör, Sverige: ~ 1.5 m
 - Simrishamn, Sverige: > 1.3 m
- Resulterade i översvämningar och kraftig stranderosion



ECMWF-analys av MSLP
och regn 2023-10-21 00
UTC

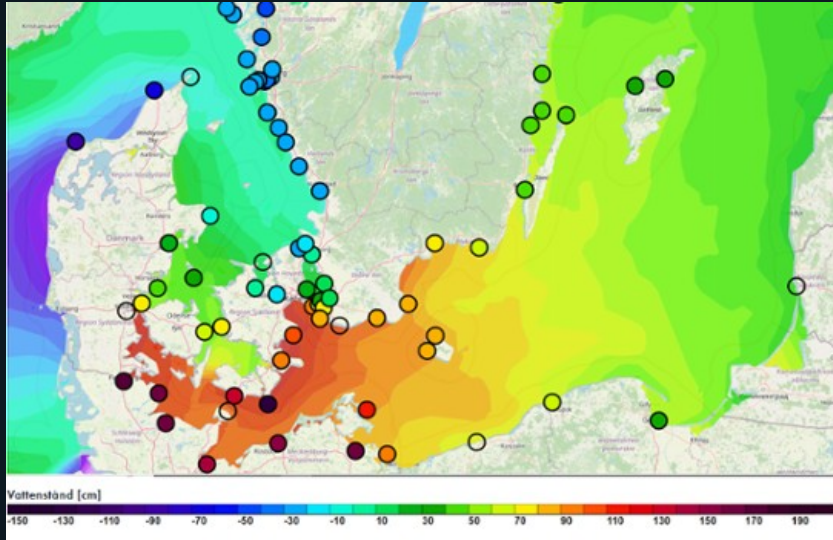


Strand vid Smygehamn,
Sverige, innan stormen...

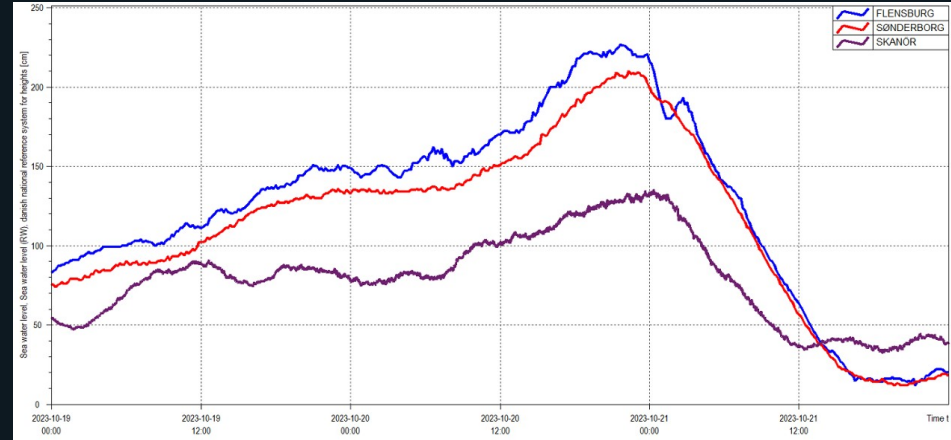


...och efter stormen.

Stormen Babet (forts.)



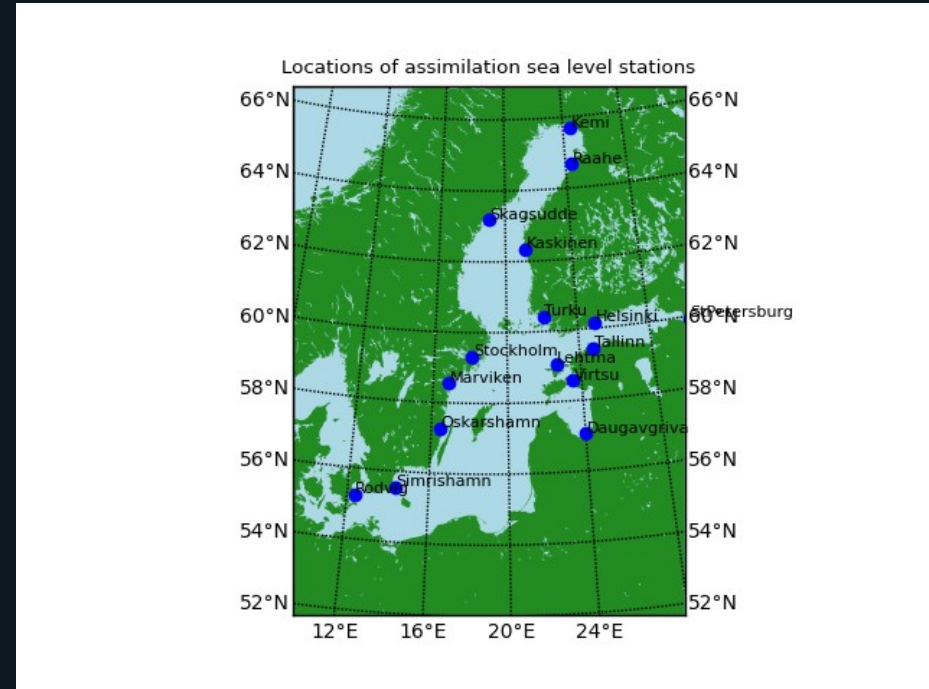
Prognos giltig 02:00 den 21 oktober 2023



Högsta observerade vattenstånd i Tyskland, Danmark och Sverige

Stormen Babet (forts.)

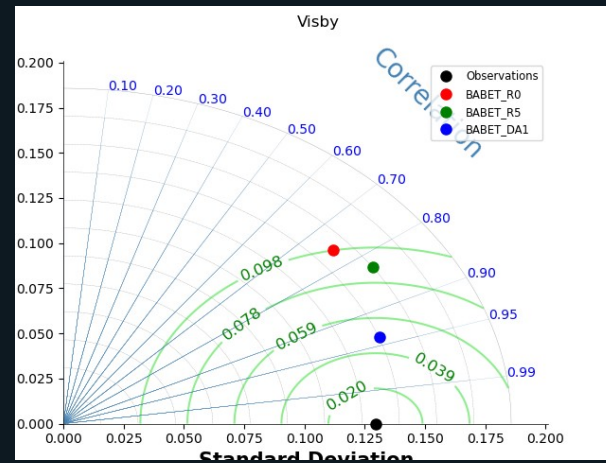
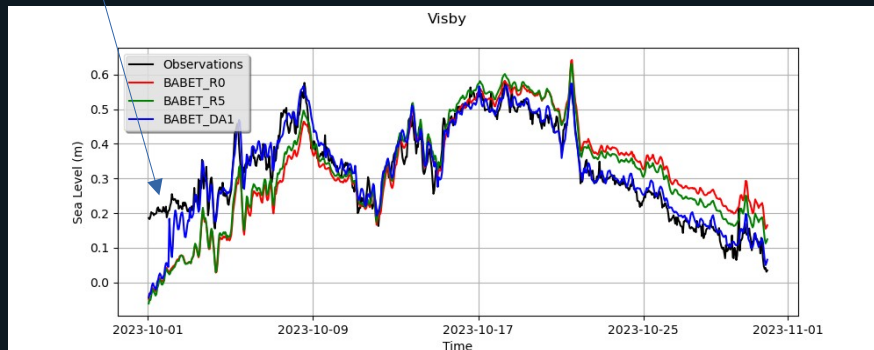
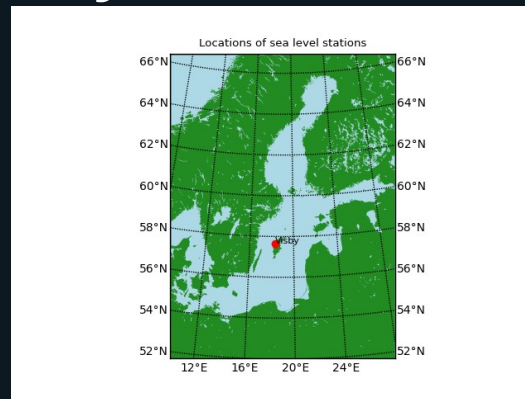
- Simulerad tidsperiod: 1-31 oktober 2023
- Dataassimilering (3D EnVar FGAT) av 17 utvalda vattenståndsstationer (ej använda för validering)
- Assimilering borde förbättra initialtillståndet i havsmodellen, men hjälper det vid extrema havsvattenstånd?
- Tillfälliga **problem**: Två av vattenståndsstationerna i modellen hamnade...
 - ...utanför modellområdet (St. Petersburg);
 - respektive
 - **på land (Rødvig).**
 - (går att fixa)



Resultat: Visby

- Svart: Observationer
- Röd: Standard pre-operationell modell på SMHI
- Grön: Förbättrad modellversion
- Blå: Dataassimilering av vattenståndsstationer

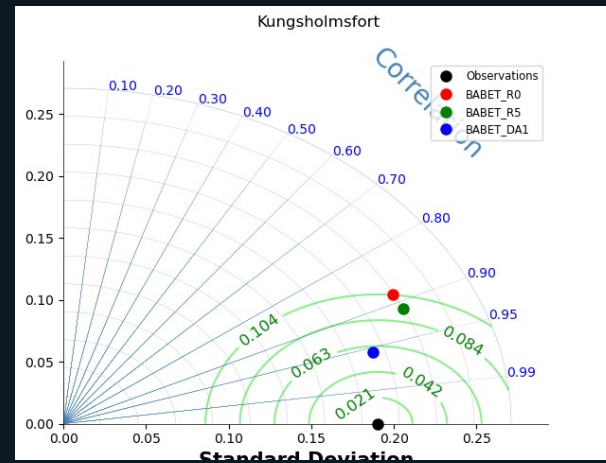
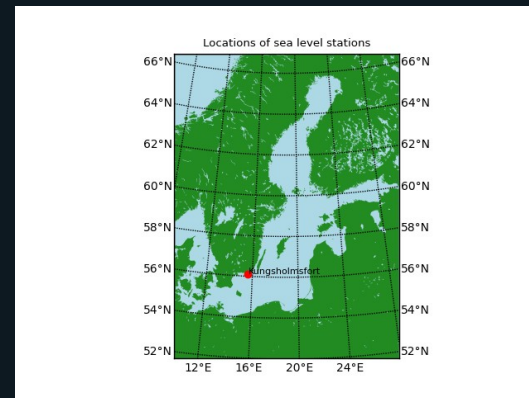
Dataassimilering startar!



Resultat: Kungsholmsfort

Svart: Observationer
Röd: Standard pre-operationell modell på SMHI
Grön: Förbättrad modellversion
Blå: Dataassimilering av vattenståndsstationer

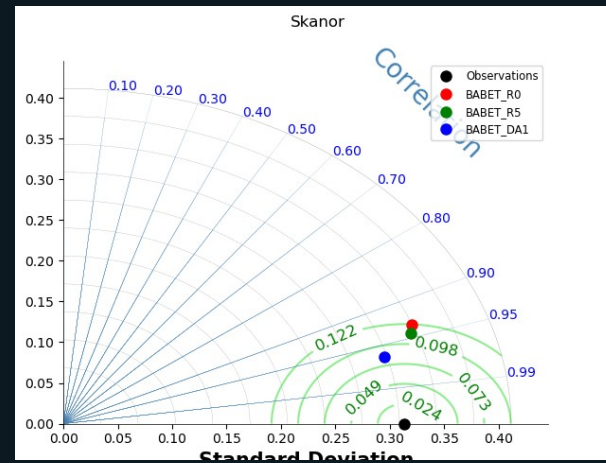
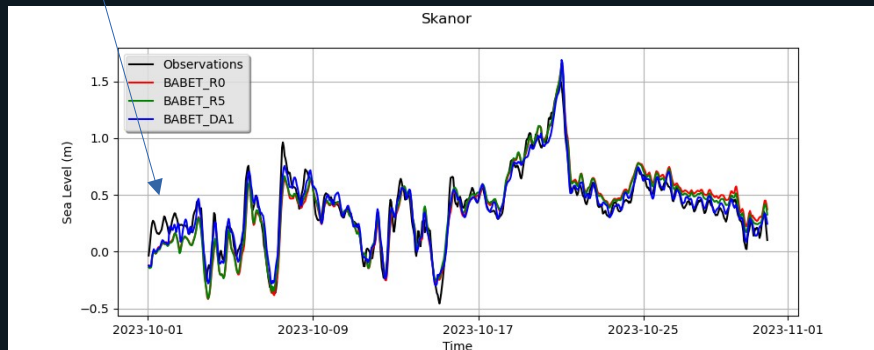
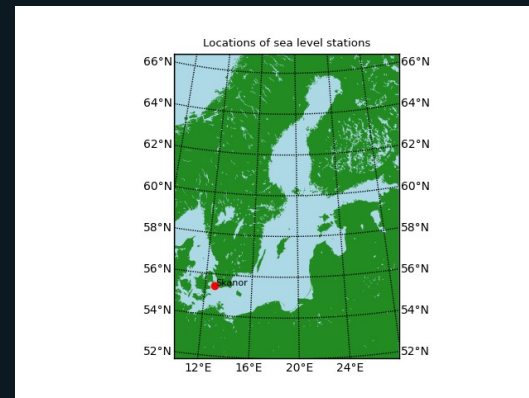
Dataassimilering startar!



Resultat: Skanör

Svart: Observationer
Röd: Standard pre-operationell modell på SMHI
Grön: Förbättrad modellversion
Blå: Dataassimilering av vattenståndsstationer

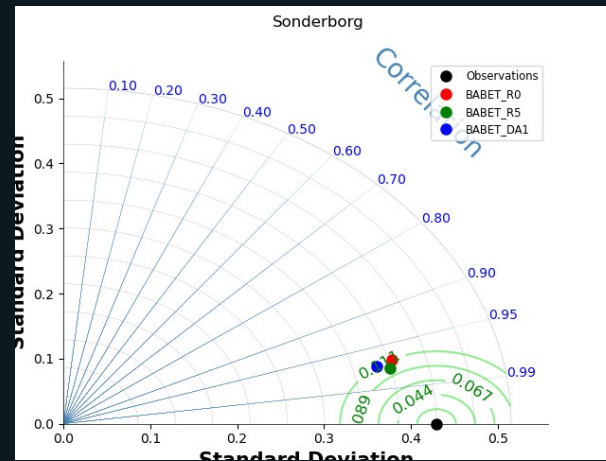
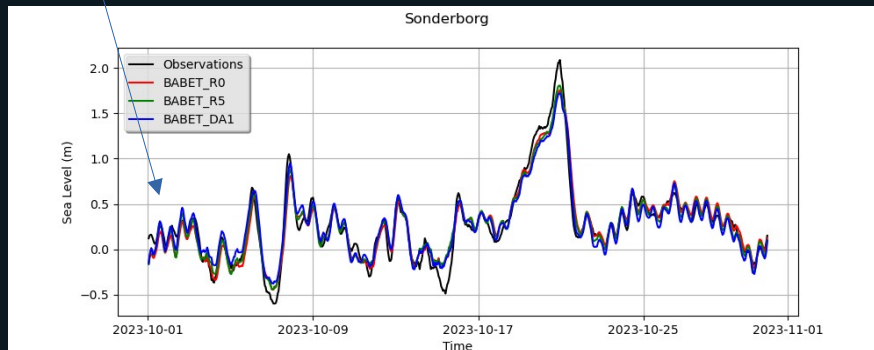
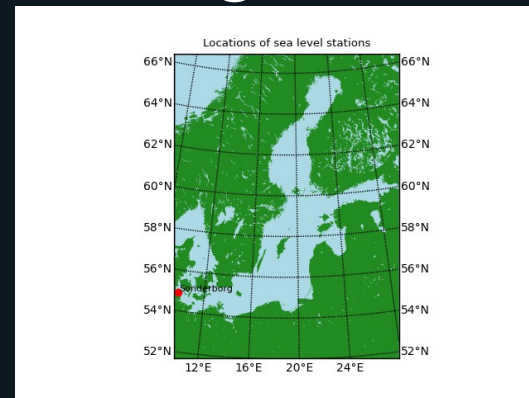
Dataassimilering startar!



Resultat: Sönderborg

Svart: Observationer
Röd: Standard pre-operationell modell på SMHI
Grön: Förbättrad modellversion
Blå: Dataassimilering av vattenståndsstationer

Dataassimilering startar!



Slutsatser: Assimilering av vattenstånd **SMHI**

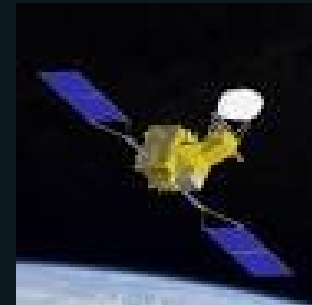
- Viktigt att ha god täckning av vattenståndsdata
- Satellitdata kan även användas (har testats tidigare)
- Assimilering av vattenståndsstationer “hjälpes i vanliga fall”,
men...
- ...vid extrema fall som vid stormen *Babet*, är modellfysiken viktigast

Pågående projekt: CAISA

- *Consistent Air-Ice-Sea Data Assimilation of Satellite Observations (CAISA)*
- Finansierat av Rymdstyrelsen, 2022 – 2024 (2025)
- Samarbete mellan oceanografiska och meteorologiska forskningsenheterna på SMHI, samt Chalmers! :-)
- Test av direkt assimilering av satellitdata in i havsmodellen NEMO:
 - SAR-data (reflektioner av aktiv radar, Sentinel-1 C-SAR)
 - AMSR2-data (vissa mikrovågskanaler, passivt instrument)



Sentinel-1



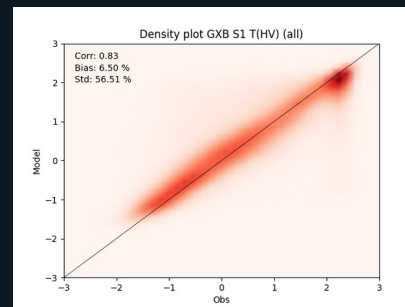
GCOM-W1

Pågående projekt: CAISA (forts.)

- Inget beroende av existerande, automatiska satellitbaserade isprodukter (exempelvis OSI-SAF)
- Istället: Direkt assimilering av (kallibrerade) rådata från satelliter
- Icke-linjär “observationsoperator” i NOVA, baserad på *Machine Learning* som tränat på fall med is och öppet vatten



Credit: Satellitexpertis och *Machine Learning*-expertis: Tomas Landelius, SMHI.

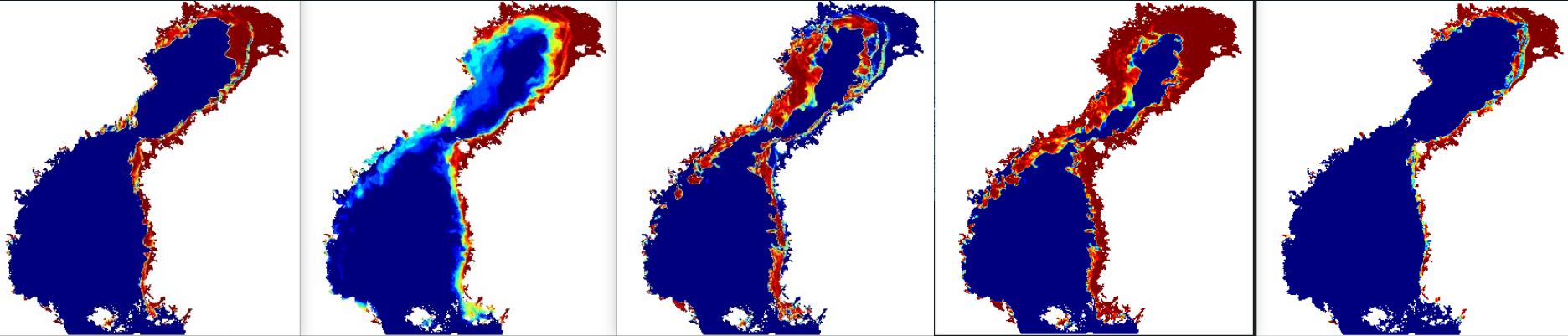
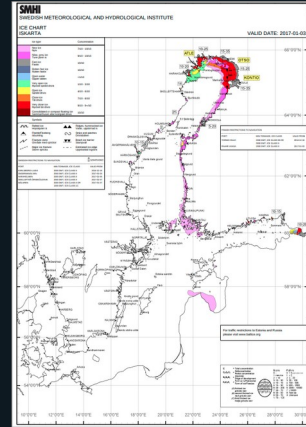


Exempel på densitetsplot; observationer vs. modell under träning på data.

Ensembleprognossystem med NEMO

- 4D EnVar dataassimilering I NOVA
- 20 medlemmar
- Störd atmosfärsdrivning
- Störda parametrar I NEMO och I NEMO:s ismodell

Iskarta, SMHI/FMI



Ostörd medlem

Medel

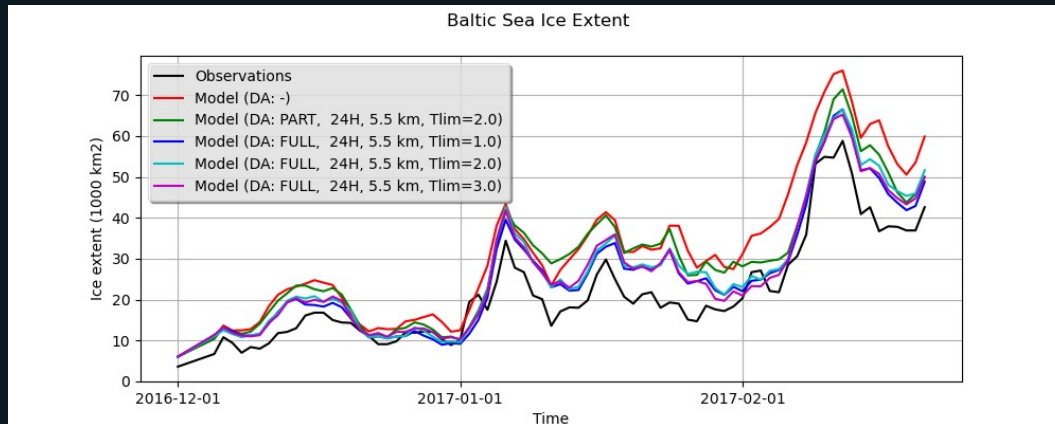
Std

Max

Min

Preliminära CAISA-resultat: Isutbredning

- Test av isutbredning i Östersjön
- Svart: Observerad (iskartor)
- Röd: Ingen dataassimilering
- Grön-Blå-Cyan-Magenta: olika experiment med direkt assimilering av Sentinel-1 C-SAR
- Halvering av *Mean Absolute Error*



Mean Absolute Errors (1000 km²):

Röd: 10.6

Grön: 8.0

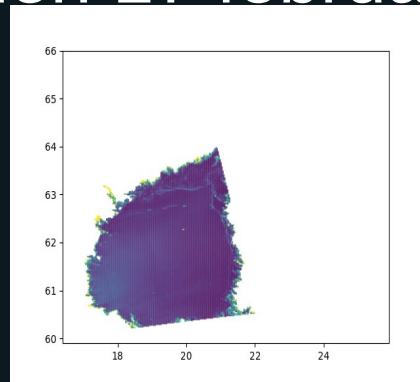
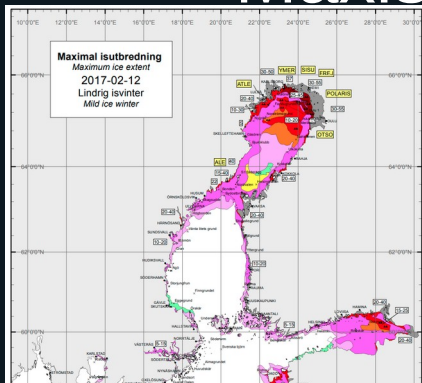
Blå: 5.0

Cyan: 5.8

Magenta: 5.3

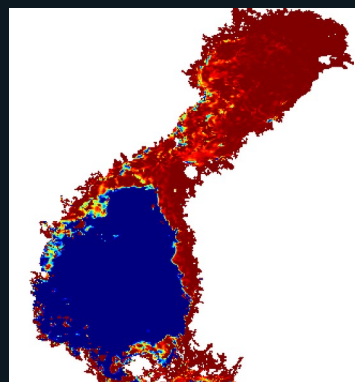
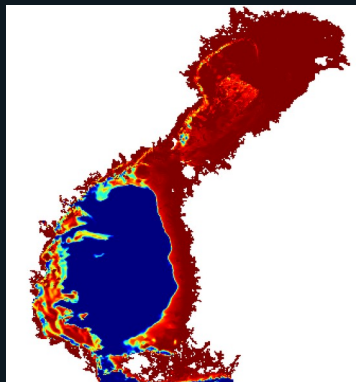
Preliminära CAISA-resultat: Maxisdatum den 17 februari 2017

SMHI



Iskarta (ej använd i DA)

Sentinel-1 C-SAR HH backscatter



Referens (ingen DA)

DA av Sentinel-1 C-SAR HH backscatter

Slutsatser

- Assimilering av is, SST och profildata är numera standard med NOVA (2D/3D EnVar)
- Assimilering av vattenstånd börjar bli moget för operationell driftsättning (3D EnVar FGAT)
- Direkt assimilering av råa satellitdata kräver fortfarande mycket utvecklingsarbete och mycket datorkraft med ensembleprognossystem (4D EnVar)

Tack!
(Väck din granne!)

