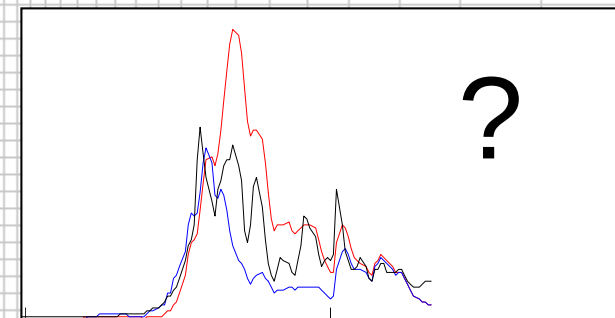
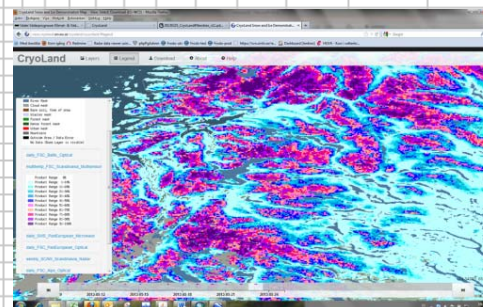


Vårflodsprognoser med snöuppdatering

David Gustafsson, Göran Lindström, Anna Kuentz

HUVA-dagen, 2015-12-02, Stockholm



Operationella snöobservationer i Sverige

Sedan 1800-talet

- **Snödjup:** 600+ stationer, dagliga (SMHI)

Sedan 1960-70 talet (?)

- **Snövattenekvivalent (VE):** ~20 x 1km(?) årliga transekter (olika vattenkraftsbolag)

Sedan 1990-talet

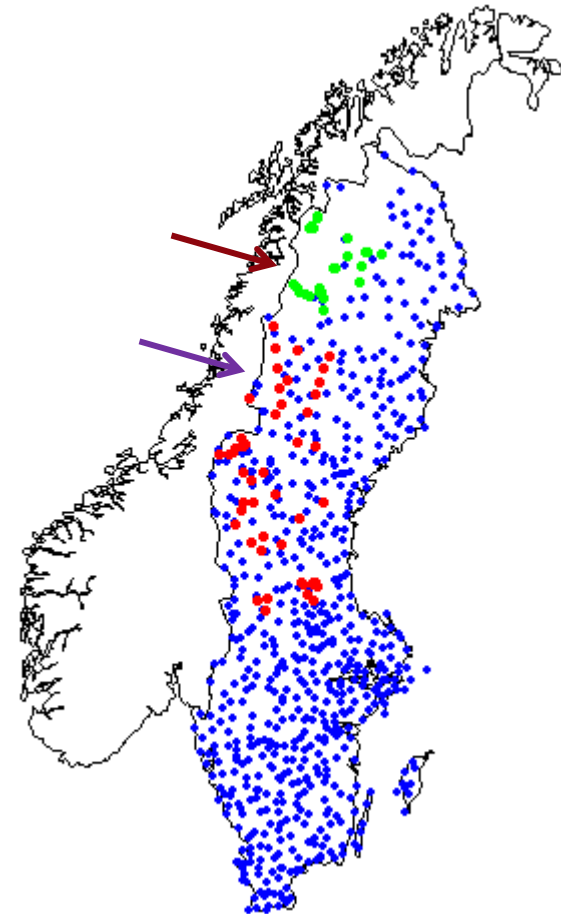
- **VE:** ~10² km, helikopter-markradar, årligen (Radarteam, Vattenregleringsföretagen, Vattenfall AB)

Sedan 2010

- **VE:** vid ~50 regleringsdammar, 1-2 veckor (Vattenregleringsföretagen AB)

2007-2015

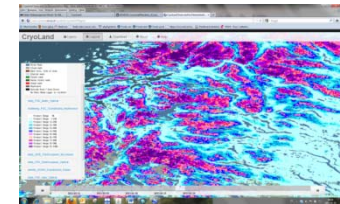
- **VE:** ~30 km skoter-markradar (KTH/SMHI/SU/VRF)



Satellitbaserad snöinformation

Befintliga tjänster

- CryoLand, www.cryoland.eu
- GlobSnow www.globsnow.info
- MODIS nsidc.org
- AMSR2 mfl



Snövariabler

- Snötäckningsgrad - optiska sensorer – känsliga för moln och låg sol
- Snötäckningsgrad - radarsensorer – dyrare/färre dataset
- Snövattenekvivalent – Passiv mikrovåg + markobservationer
- Blöt snö - baserad på radar – ej känslig för moln!

Framtida tjänster/sensorer

- Europeiska satellitserien Sentinel:
 - Högre täckningsgrad, högre upplösning, flera olika sensorer (dock inte passiv mikrovåg)
 - Fritt tillgängliga data
 - Kostsam bearbetning – så räkna med betaltjänster!

Snödjup

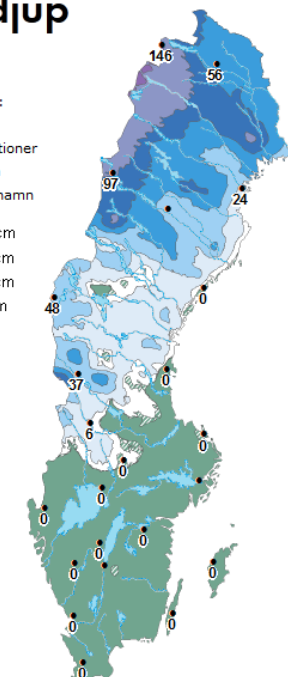
2015-03-18

[Mindre bild](#)

Visa i kartan:

- ☒ Vatten
- ☒ Observationer
- ☐ Ortnamn
- ☐ Stationsnamn

- över 200 cm
- 150-200 cm
- 100-150 cm
- 75-100 cm
- 50-75 cm
- 30-50 cm
- 10-30 cm
- 3-10 cm
- >0-3 cm
- Barmark



Hur passar alla dessa data ihop?

Indata

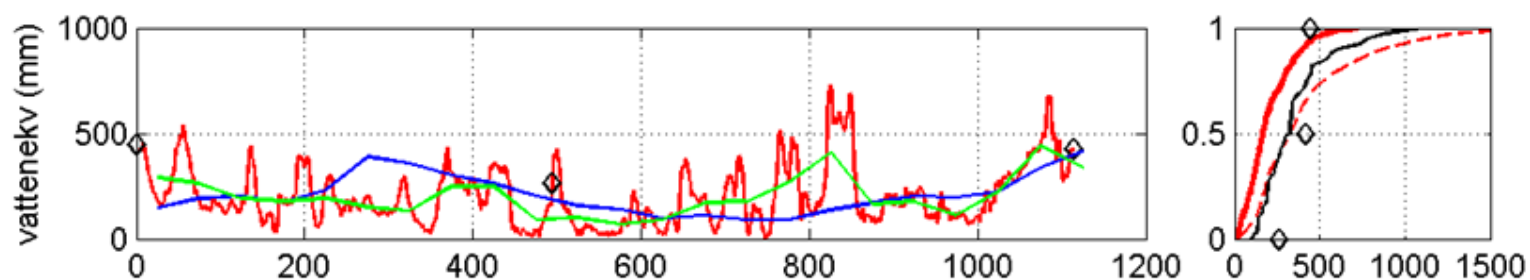
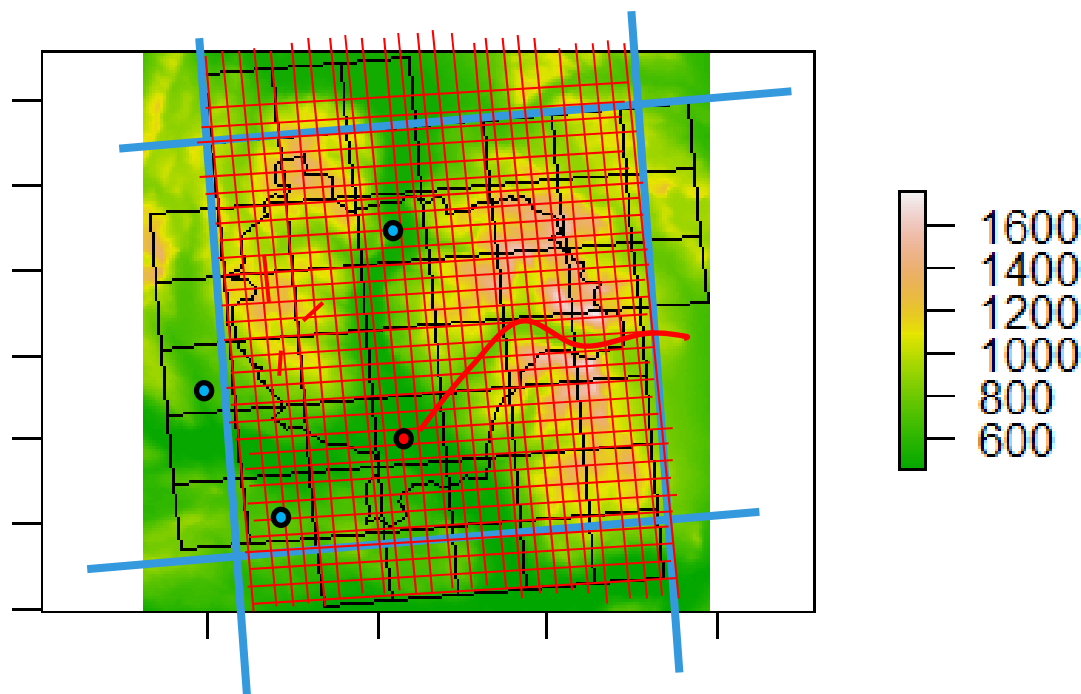
- P och T PTHBV-grid (4x4 km²)
- Höjddata EU-DEM, 25x25 m²

Snöobservationer

- SMHI snödjupstation (punkt, dagliga)
- VRF snöpinnar, djup, densitet, vattenekvivalent (punkter, 1-2 v)
- Vattenfall, SVF, VRF snölinjer (1/år)

Satellitdata (CryoLand, HSAF, mfl)

- Snötäckningsgrad 1x1 km²
- Vattenekvivalent 25x25 km²



Problemställning

- Det finns mycket snöobservationer som inte utnyttjas i hydrologiska prognoser
- Svårt att förbättra vårflodsprognoser genom uppdatering med snöobservationer

Syften

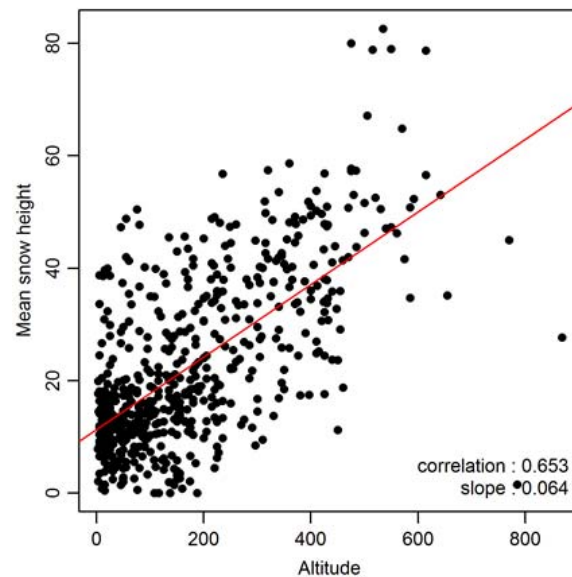
Att utveckla och utvärdera:

- 1) en enkel metod för regional uppdatering av en hydrologisk modell med hjälp av operationella snödjupsobservationer från SMHI
- 2) modelluppdatering genom så kallad data-assimilering av satellitbaserad snöinformation i kombination med markbaserade snömätningar

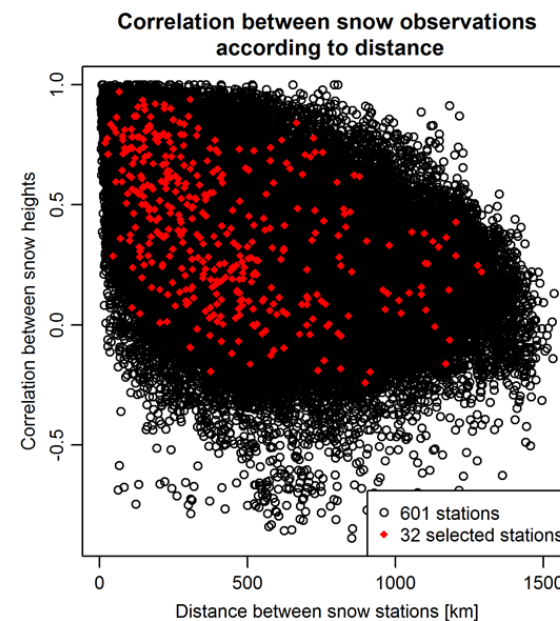
Snödjupskarta baserad på mätningar

601 stationer totalt

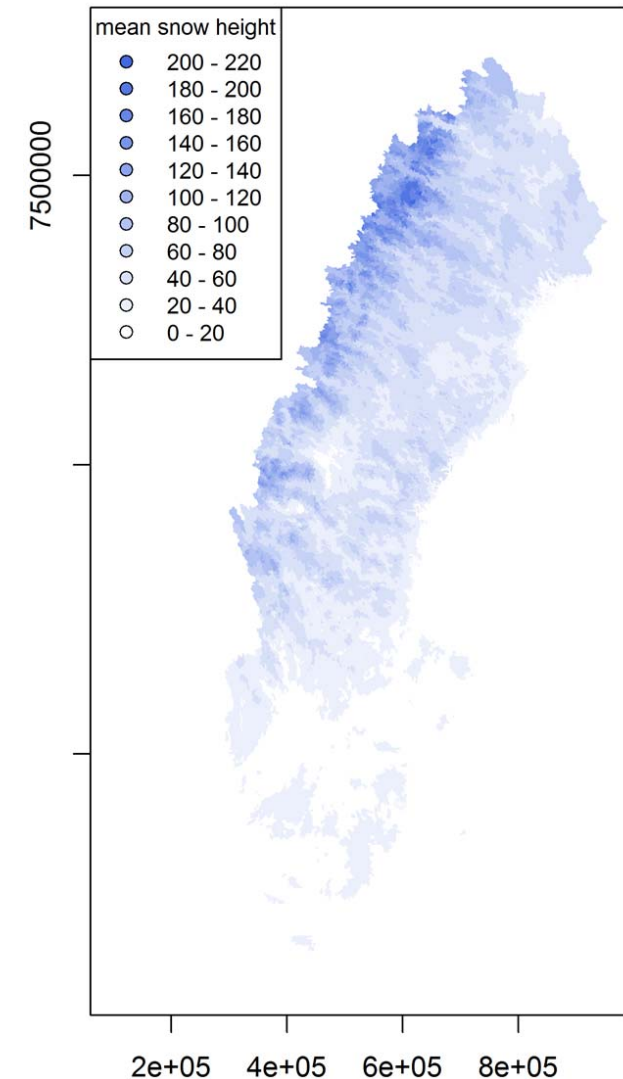
32 stationer med bra kvalitet



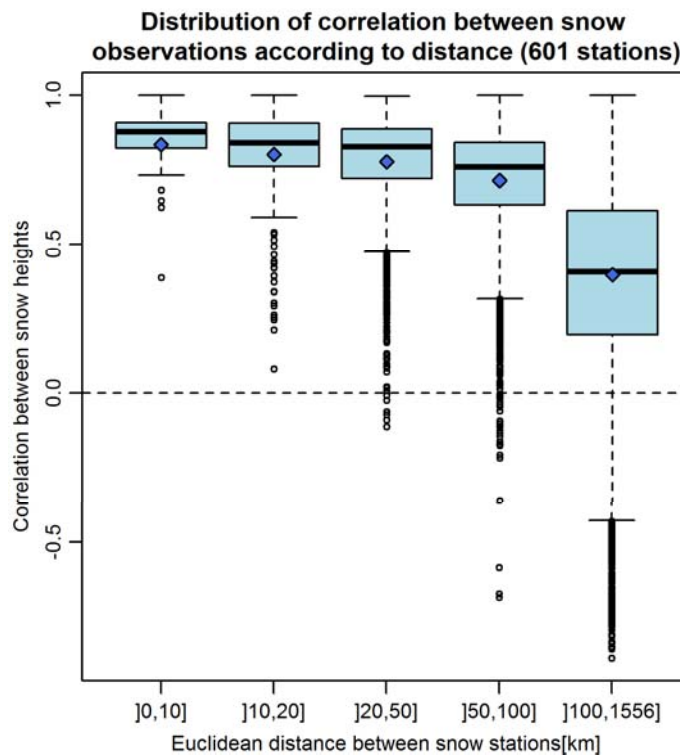
Medelsnödjup(höjd)



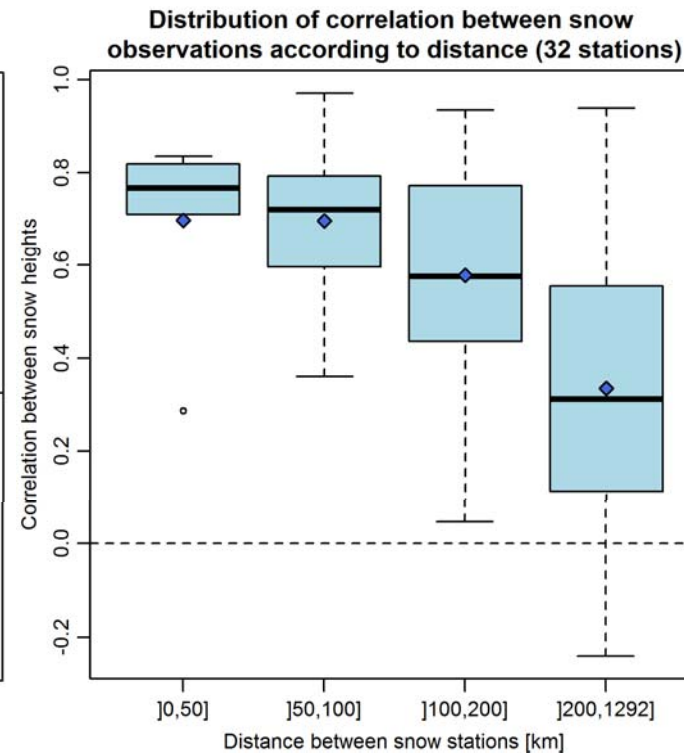
Korrelation(avstånd)



Snödjupen samvarierar över långa avstånd

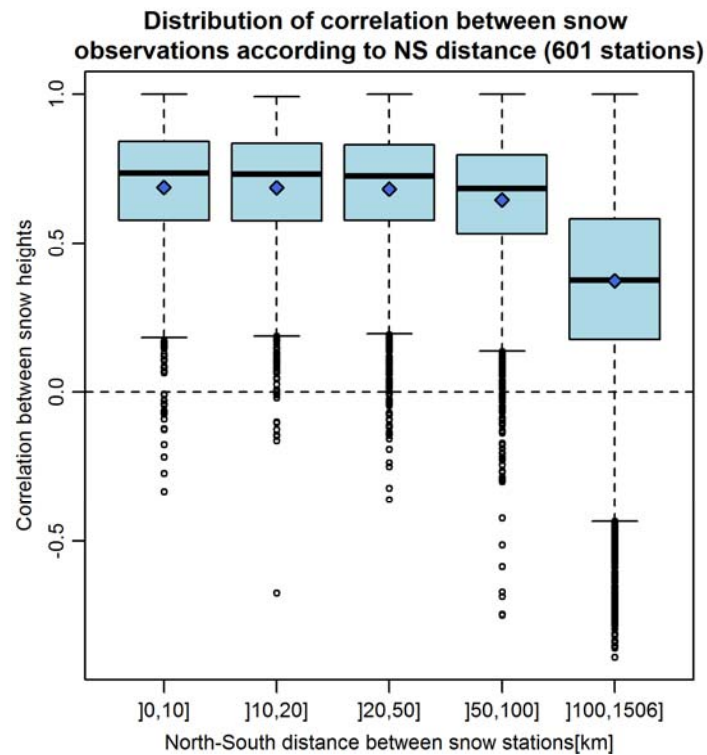


601 stationer

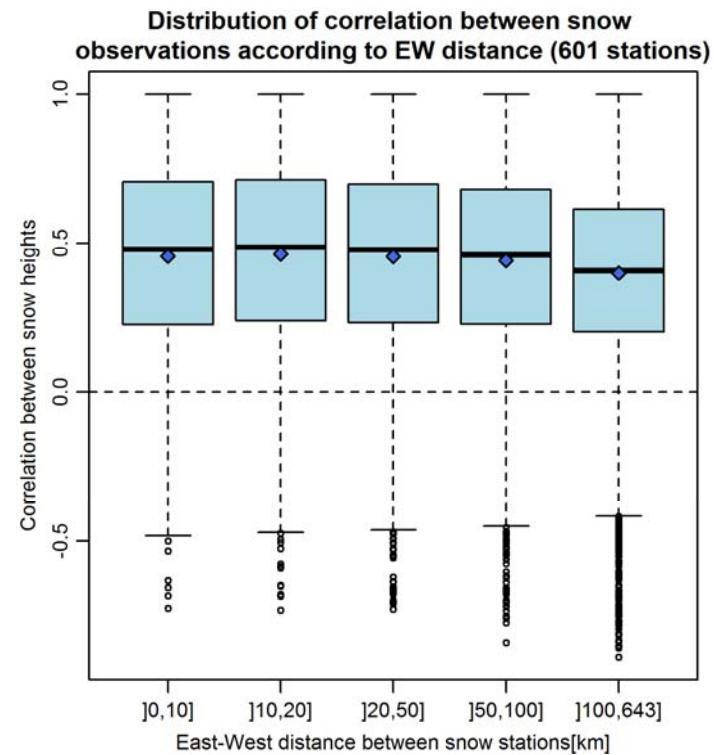


32 stationer
(bra kvalitet)

Samvarierar mer i nord-sydlig riktning än i öst-västlig riktning (på korta avstånd)



Nord-syd



Öst-väst

Modellering av Q och snödjup

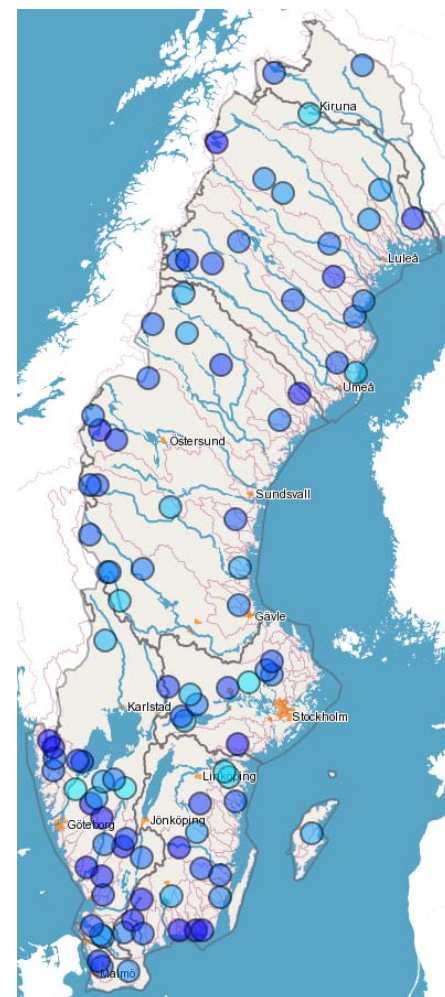
Förenklad HBV-modell

97 vattenföringsstationer:

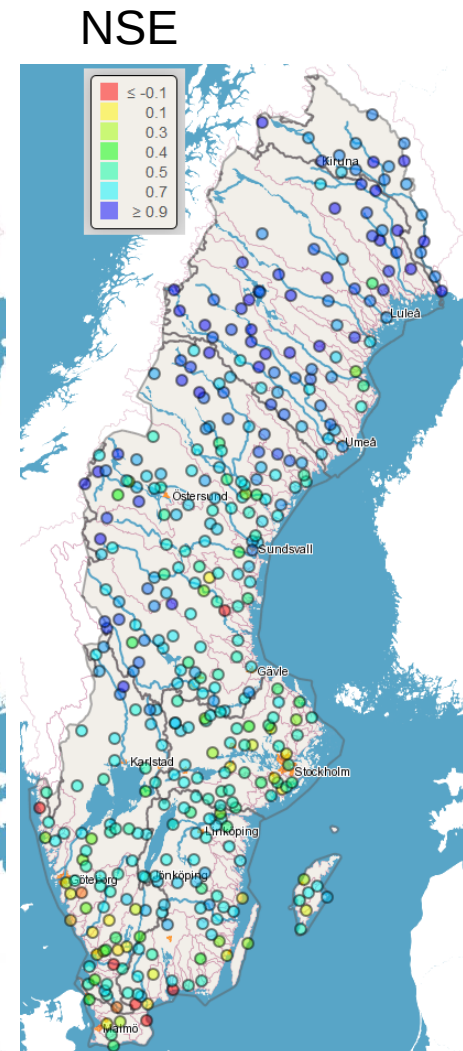
- 200 - 2000 km²
- Låg regleringsgrad
- 4 parametrar per område kalibrerades
- $\langle \text{NSE} \rangle = 0.85$ (S-HYPE: 0.87)

413 snödjupsstationer:

- 2 parametrar per station kalibrerades
- $\langle \text{NSE} \rangle = 0.63$



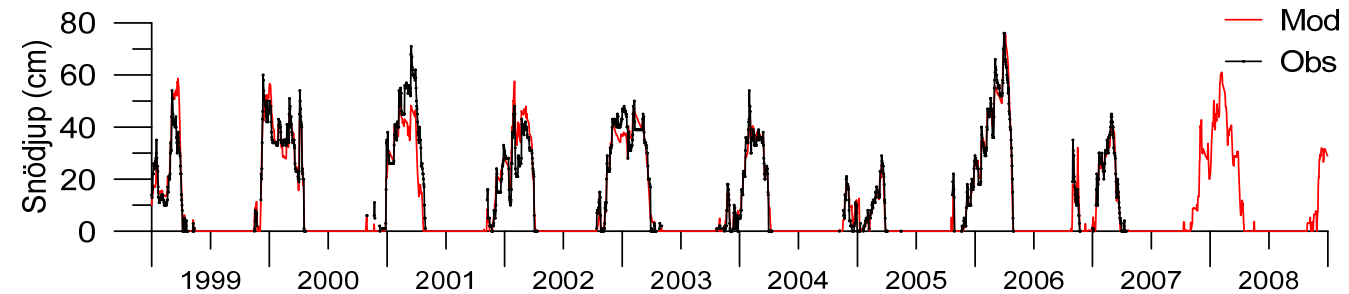
Vattenföring



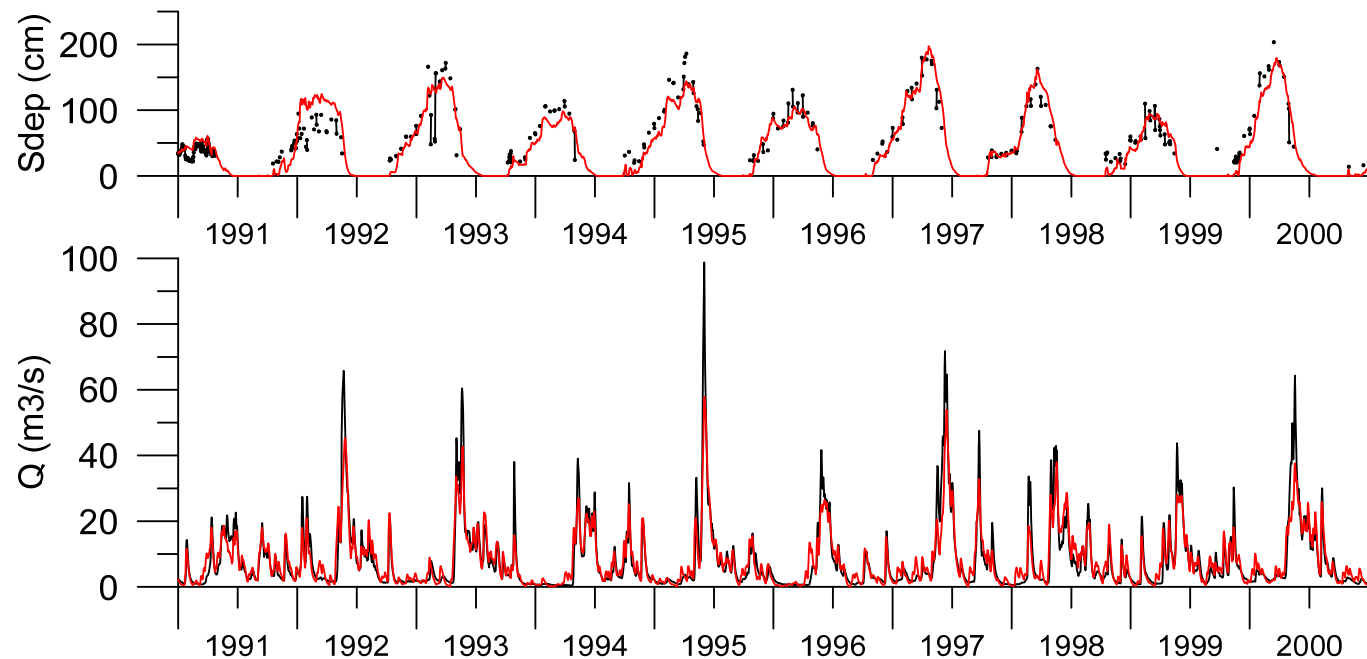
Snödjup

Exempel

1) Snödjup
Malungs
klimatstation



2) Vattenföring
och snödjup,
Medstugusjöns
avrinningsområde
Snödjup från
snödjupskartan



Testade uppdateringsmetoder

Direkta metoder eller indexmetoder

- 1. Uppskattning av snödjupet i varje delområde:** Direkt ersättning av modellerat snödjup med uppmätt (interpolerat) snödjup enligt snödjupskartan. Systematiska skillnader mellan de uppmätta snödjupen och modellen rättades först i varje avrinningsområde.
- 2. Överföring av felen vid mätpunkter:** I varje avrinningsområde uppskattades ett förväntat fel i snödjup med hjälp av felen i snödjup vid de tre närmaste snödjupsstationerna. Dessa fel viktades med hänsyn till avståndet.
- 3. Överföring av avvikelser från normalvärden:** Avvikelsen i snödjup från ett normalvärde för den aktuella dagen enligt snödjupskartan överfördes till modellen så att samma avvikelse från modellens normalvärden erhöles.
- 4. Som 1.,** men med snöns höjdkorrektion i %/100 m i stället för cm/100 m.

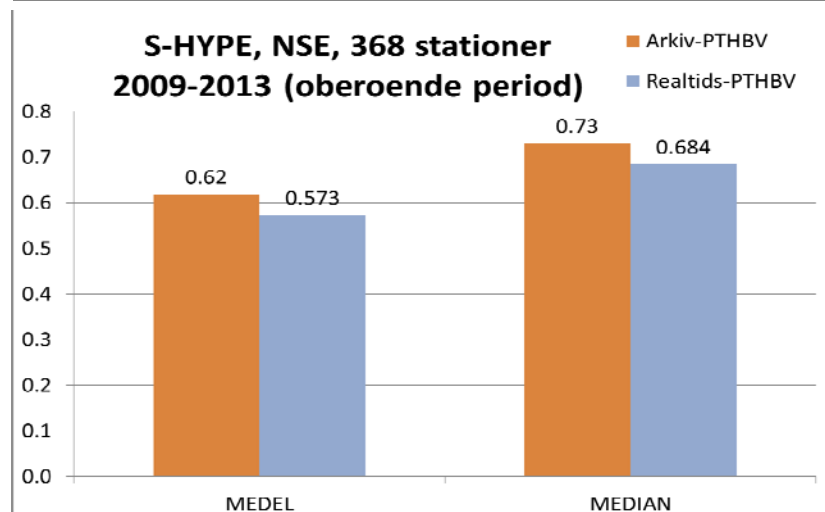
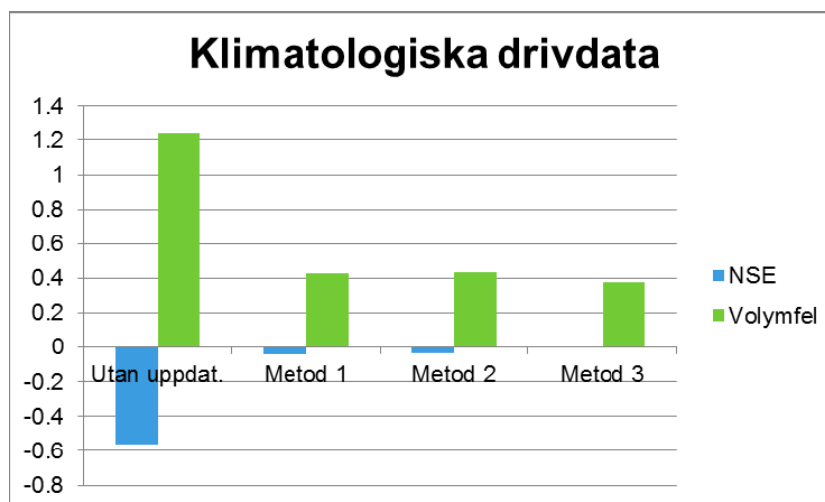
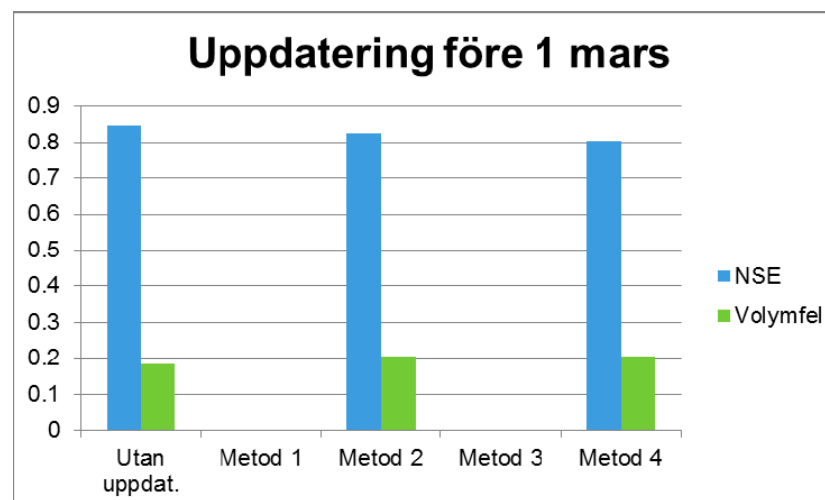
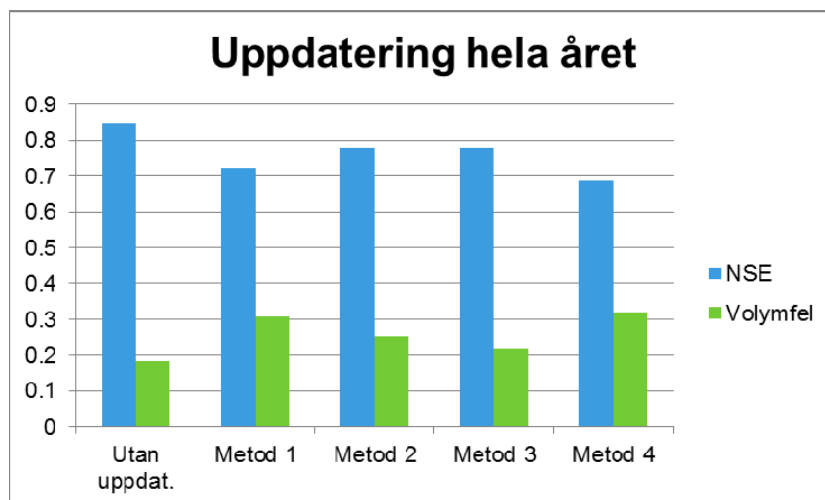
I alla metoderna kan en följsamhet < 1 anges.

Densiteten förändras inte vid uppdateringarna.

Nyttan mäts mha NSE (R2) och volymfel över vårfloden (1/4 – 30/6)

Resultat

Uppdateringen försämrar utom för klimatologiska drivdata
Men Realtids-PTHBV är mycket bättre än klimatologi
Uppdatering under smältperioden kan leda till tidsförskjutningar



Varför hjälpte inte uppdateringen?

Nederbörd = snöfallets vatteninnehåll

- Snödjupet mäts vid nederbördsstationer, punkter där man redan mäter nederbördens vatteninnehåll (snö får tina inomhus)
- Modellen fungerade relativt bra innan uppdateringen, $\langle \text{NSE} \rangle = 0.85$.
- Kvaliteten i snödjupsmätningarna tveksam, sporadiska mätningar
- ...?



Från www.smhi.se

Slutsatser och rekommendationer

- Snödjupen är korrelerade i rummet, vilket kan användas till att ta fram en snödjupskarta baserad på mätvärdena.
- Uppdateringen med hjälp av SMHIs snödjupsdata försämrade resultaten jämfört med en modell driven med Arkiv-PTHBV.
- Jämfört med klimatologiska drivdata gav uppdateringen förbättringar, men Realtids-PTHBV är å andra sidan betydligt bättre än klimatologiska data.
- Möjligen är det bättre att endast uppdatera under ackumulationsfasen (här före 1 mars).
- En förbättrad densitetsmodell togs fram.
- Snödjupen mäts på samma plats som nederbörden. Det är möjligt att nya punkter där nederbörden inte mäts skulle kunna förbättra resultaten.

Assimilering av satellit- och markbaserade snöobservationer

Distribuerad snömodell

- Distribuerad snömodell (4x4 km²) för PTHBV-grid
- Extra delområden för varje snöobservationspunkt

Snödata

- Satellitdata (täckningsgrad och vattenekvivalent) från CryoLand
- Snödjup (SMHI + VRF dammar)
- Vattenekvivalent (VRF dammar, VF linjer, SVF punkter)

Modelluppdatering med Ensemble Kalman filter

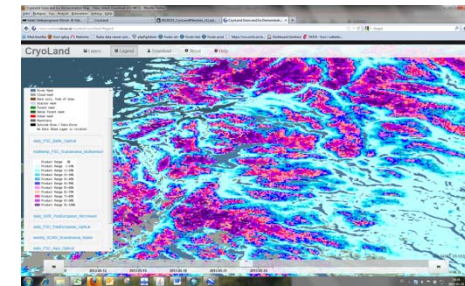
- Modellensemble med slumpmässigt genererad variation i drivdata
- Uppdatering enligt kovarians modelltillstånd och skillnad modell-snöobs
- Alla modelltillstånd uppdateras (inte bara snödjup eller snövattenekvivalent)

Integrering av satellitdata i EU-projektet CryoLand



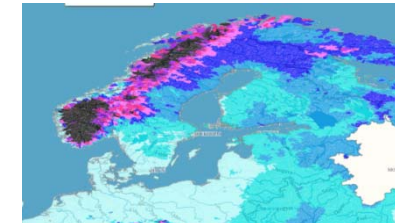
EU FP7 CryoLand 2011-2015

- Produkter och webbtjänster för satellitbaserad snö- och isdata



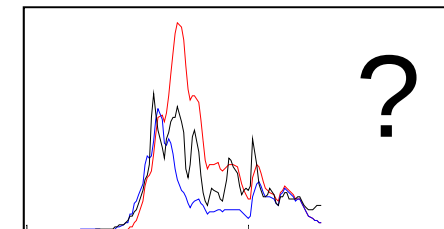
Data integration

- Verktyg för integrering av CryoLands snöprodukter i hydrologiska prognossystem:
 - Nedladdning, processering och assimilering



Hydrologisk modellering

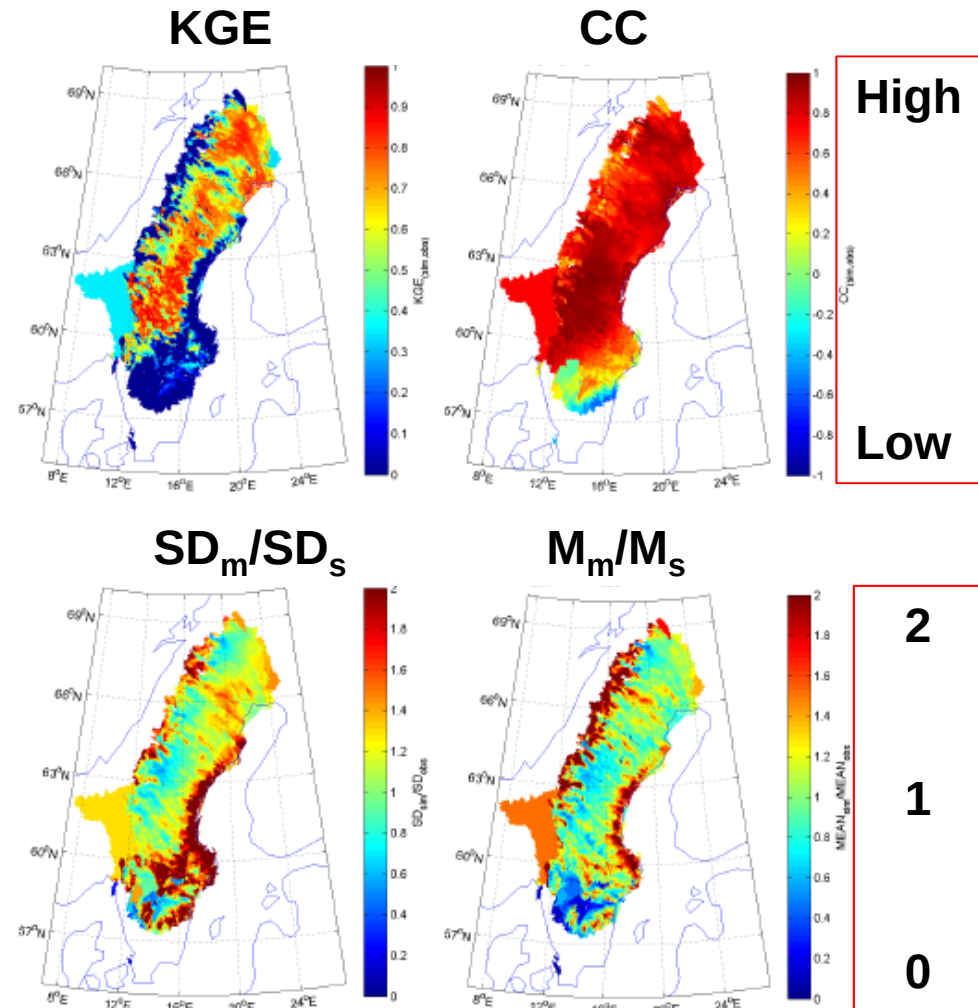
- Utvärdera effekt på simulerad vattenföring vid assimilering av CryoLands snödata



CryoLand SWE vs S-HYPE modellen

Pan-European SWE product (FMI)

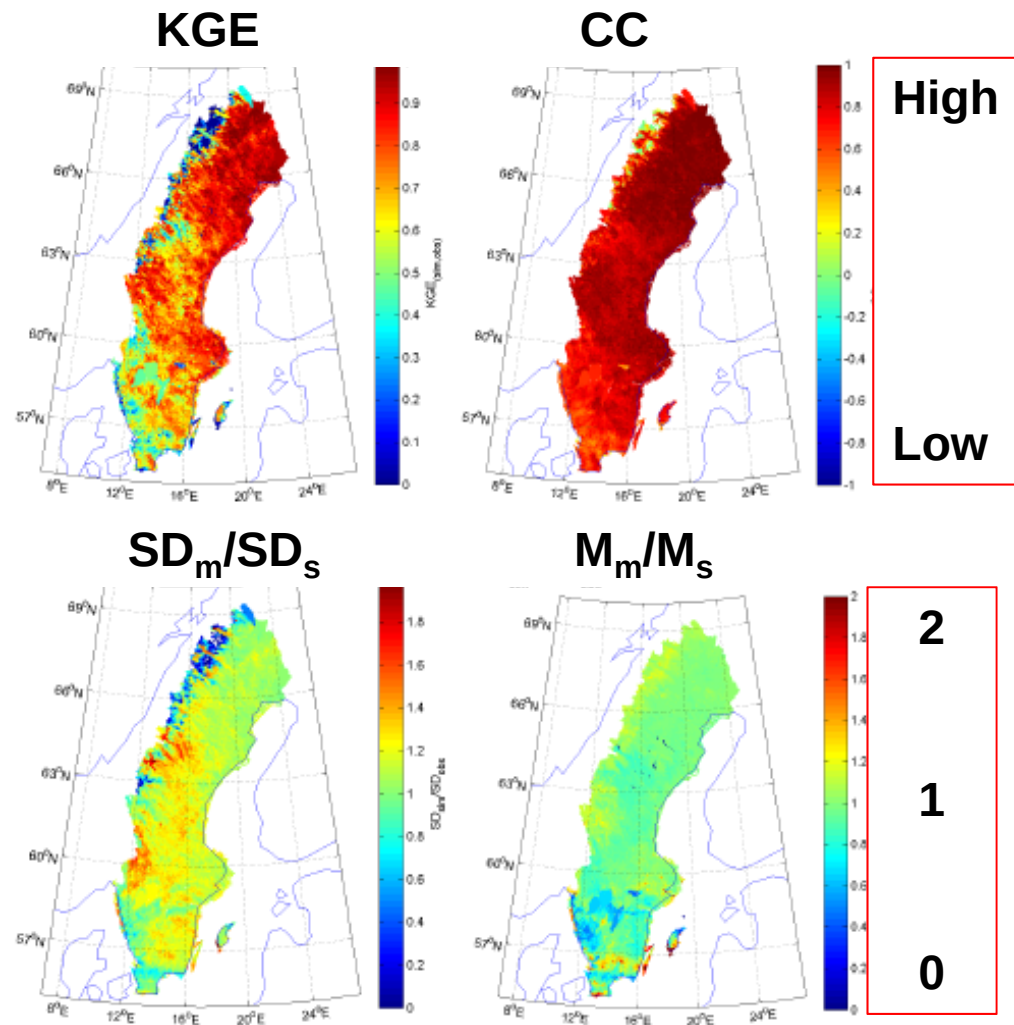
- **Good agreement** in central part of middle and northern Sweden:
 - Forests
 - Non-mountain areas
- **Correlation is high** (except for the south)
- **Variability and Mean value differs:**
 - In the south (little snow and lakes)
 - along the east coast
 - western mountain range
- **Problem for the satellite or model?**
 - Mountains, surface water, coastal areas, areas with small amount of snow



Model and data comparison – FSC

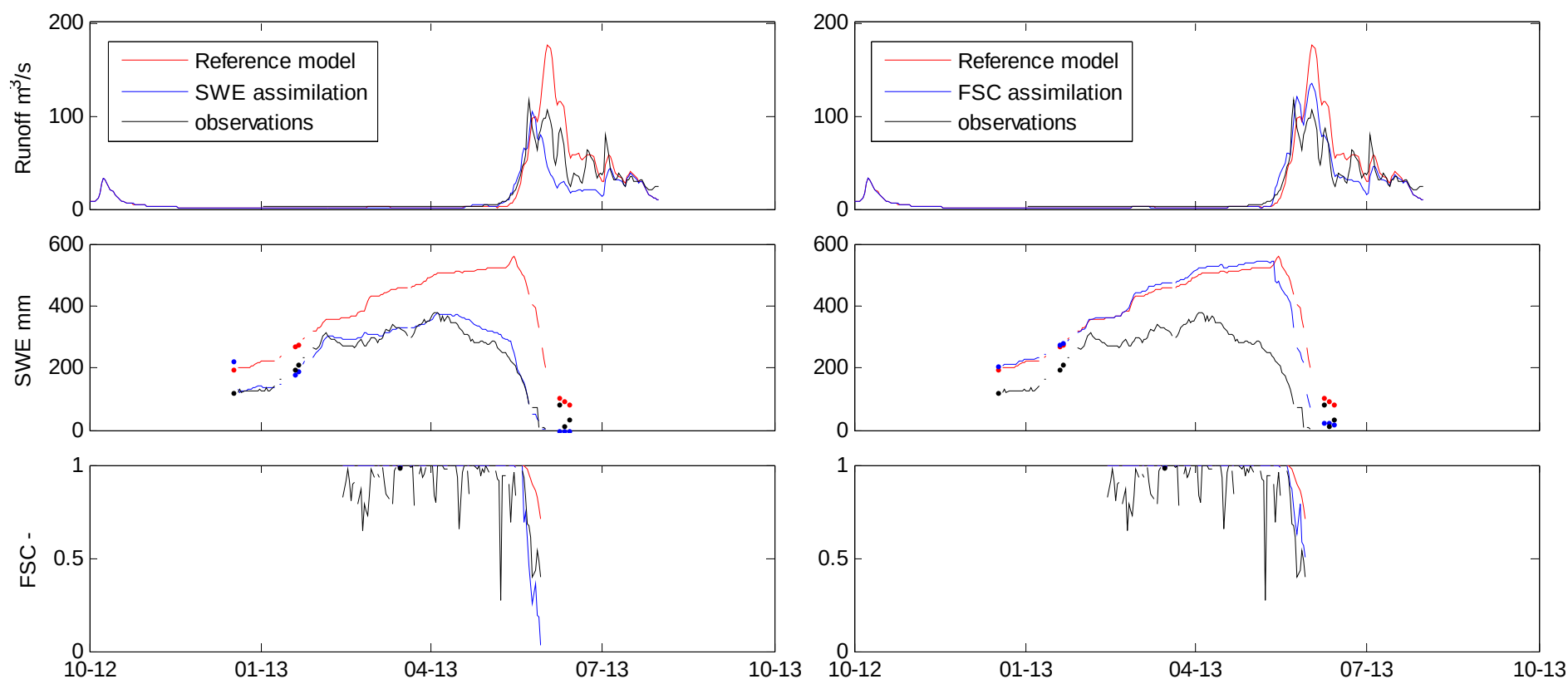
Pan-European optical product ENVEO/SYKE

- In general a very good **agreement** between model and satellite data throughout Sweden
- However, the **temporal variability is different** in the most alpine part of the mountains in northern Sweden
- **Transmissivity model** is well-adapted to boreal forests.



Good exmple: Abiskojokki, northern Sweden.

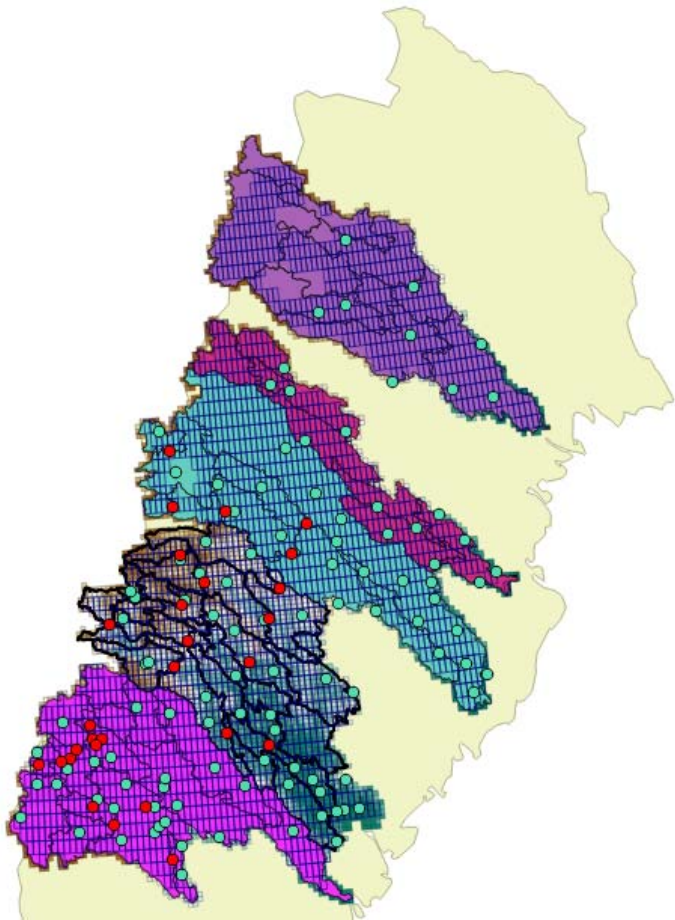
Both SWE and FSC data improve stream flow simulations



Förbättring av simulerad vattenföring?

- Små förändringar – bara att införa ensemblerna ger viss förbättring
- SWE-assimilation försämrade modellen i 7 fall och förbättrade i 2 fall.
- FSC-assimilation förbättrade modellen i 5 av 9 fall.

Simulation	KGE	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Improved/reduced performance (sum)
Deterministic	Q	0.44	0.84	0.55	0.67	0.41	0.82	0.82	0.88	0.57	reference
Ensemble	Q	0.47	0.86	<i>0.53</i>	<i>0.64</i>	0.44	0.85	0.82	0.90	<i>0.56</i>	5 improved, 3 reduced (+2)
EnKF_SWE	Q	0.83	<i>0.80</i>	<i>0.19</i>	<i>0.34</i>	0.55	<i>0.49</i>	<i>0.81</i>	<i>0.53</i>	<i>0.56</i>	2 improved, 7 reduced (-5)
EnKF_FSC	Q	0.61	0.85	0.56	0.72	<i>-0.04</i>	<i>0.64</i>	0.82	0.88	0.62	5 improved, 2 reduced (+3)
EnKF_FSCM	Q	<i>0.41</i>	<i>0.68</i>	0.55	<i>0.54</i>	0.47	<i>0.64</i>	<i>0.58</i>	<i>0.80</i>	<i>0.54</i>	1 improved, 7 reduced (-6)

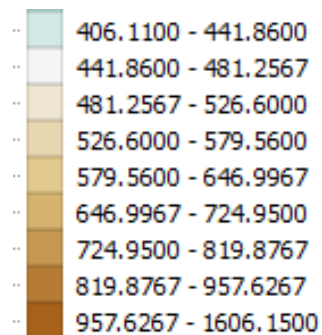
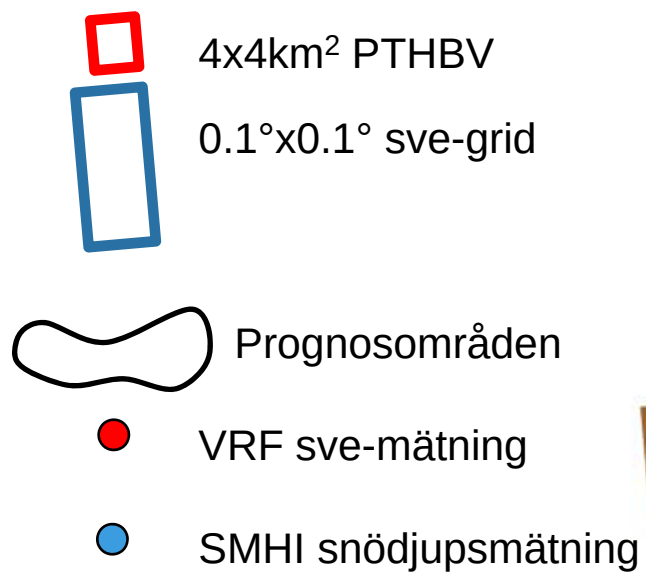


HOPE model application

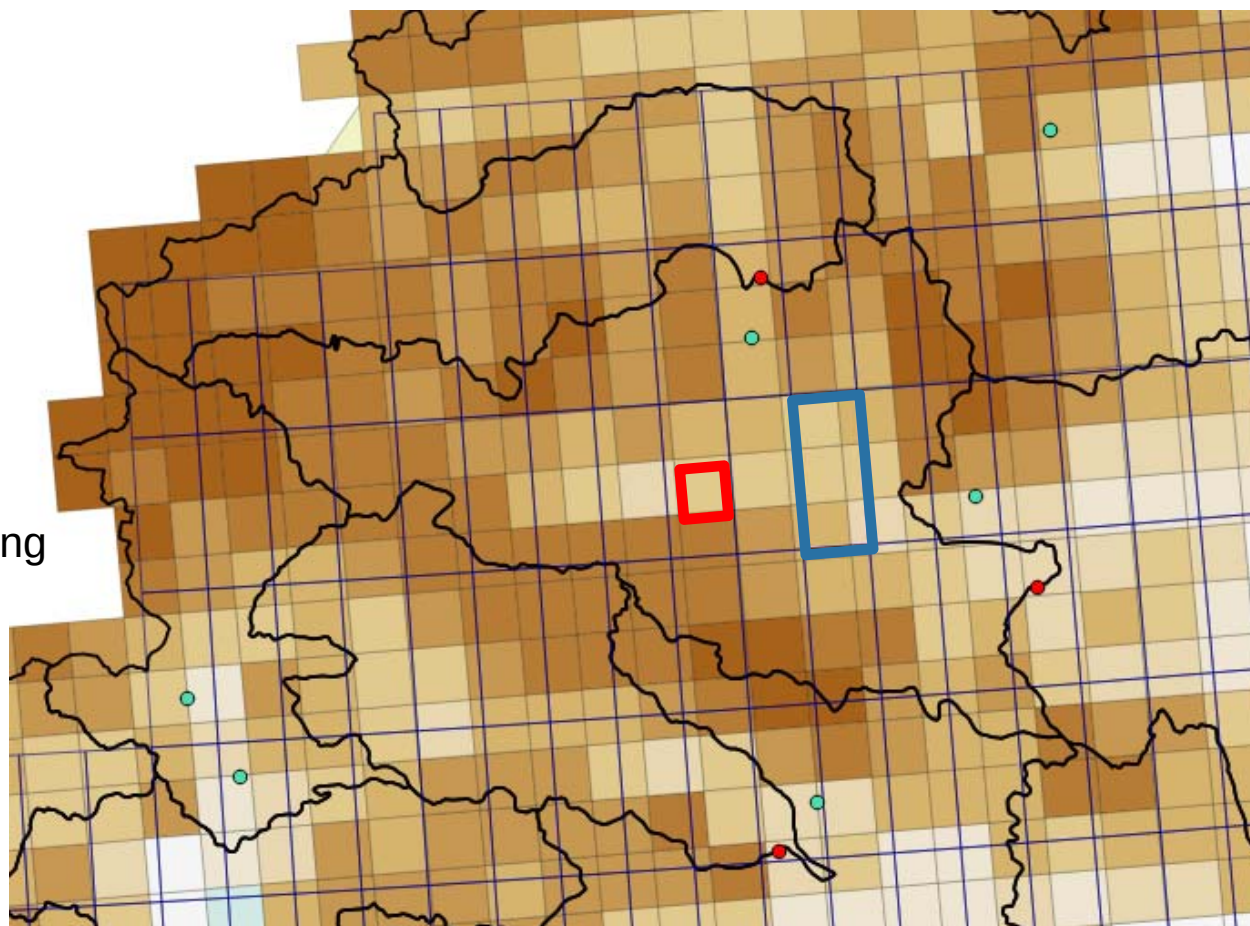
- Simple HBV type of snow/soil model on the 4x4 km² PTHBV grid
- Up to 160 SLC classes for different snow accumulation/melt regimes
- Runoff is aggregated for the VRF forecast areas in Lule river, Skellefte river, Ume river, Ångerman river and Indals river.

Snow data

- **SMHI** snow depth stations
- **VRF/VF/SVF** snow water equivalent point data at regulation dams
- CryoLand SWE and Snow cover (satellite)
- Local runoff estimated for each forecast area



m över havet



Assimilering i vårflodsprognoser med HOPE

- 5 testområden (prognosområden hos VRF/VF/SVF)
- 6 år med snöobservationer (2010-2015)
- Initialisering av modell inför prognoser 15/2, 15/4 och 15/6 med assimilering av:
 - tillrinning (Q)
 - Snövattenekvivalent (SWE) – markbaserad!
 - Snödjup (SD)
 - Snötäckningsgrad (FSC) – från CryoLand

Område	Älv	Area km ²	Snömagasin (medel 2010-2015)			
			15/2	15/4	15/6	15/6 (% av 15/4)
Tjaktjajaure	Luleälven	2256	376	520	258	50%
Riebnesjaure	Skellefteälven	976	290	440	147	33%
Överuman	Umeälven	653	402	663	236	36%
Kultsjön	Ångermanälven	1095	357	498	118	24%
Landösjön	Indalsälven	1453	148	182	11	6%

Resultat under assimileringssimuleringar

- Assimilering av snödata genom hela vårfloden (1/10 – 30/9)
- Referenssimuleringen som regel minst lika bra som vid uppdatering
- Snötäckningsgrad ger mest förbättring

Relativt volymfel (%) (medel av absolut volym fel 2010-2015)

Område	Ref	Ens0	EnsQ	EnsSWE	EnsSD	EnsFSC	EnsAll
Tjaktjajaure	7.8	7.9	14.9	7.9	5.6	9.7	31.1
Riebnesjaure	2.4	2.5	10.5	2.8	14.5	13.9	24.0
Överuman	13.5	13.5	19.6	23.3	32.9	11.9	36.0
Kultsjön	4.1	3.9	7.1	6.1	18.1	5.3	22.0
Landösjön	2.9	3.0	12.2	11.6	9.1	41.9	10.0
Antal lägst	2	1	0	0	1	1	0
Antal lägst (enskilda år)	11	5	0	3	3	10	0

Resultat för vårflodsprognoser

- Assimilering fram till prognosstart – därefter prognos med ensemble av historiska år
- Referenssimuleringen överträffas av de flesta Uppdaterade prognoserna
- Både manuella SWE och satellitbaserade snötäckningsgrad ger mest förbättringar

Relativt volymfel (%) (medel av absolut volym fel 2010-2015)

Prognos 15/4-31/7

Område	Ref	Ens0	EnsQ	EnsSWE	EnsSD	EnsFSC	EnsAll
Tjaktjajaure	74.8	71.2	70.0	39.8	41.6	301.4	46.7
Riebnes	35.2	31.6	41.2	15.3	18.8	28.9	25.5
Överuman	20.8	20.1	22.3	20.1	21.6	12.8	26.9
Kultsjön	10.2	9.3	15.4	16.0	32.9	5.4	42.2
Landösjön	26.4	24.8	40.9	23.7	15.2	14.6	23.2
antal lägst fel				2		3	
antal < Ref		5	1	4	3	4	3

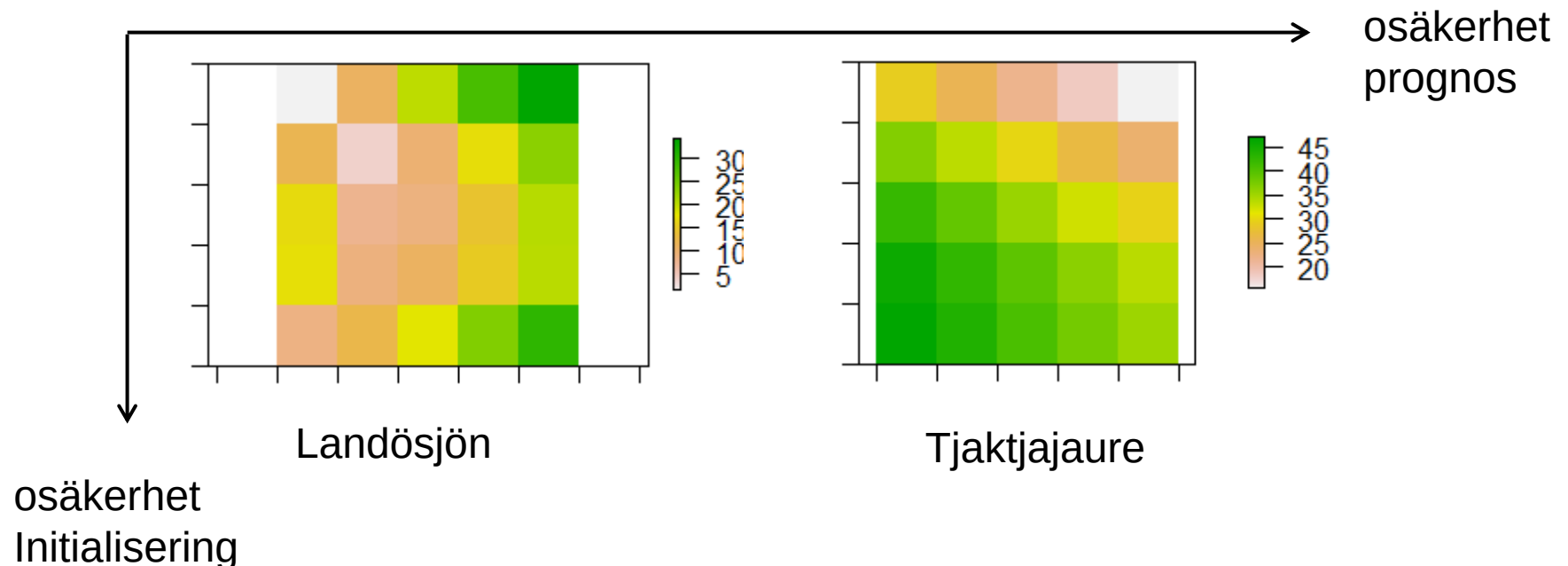
Vårflodsprognos 15/2 15/4 och 15/6

- Betydelse av assimilering av snödata under olika del av vintern/vårflod
- Relativa volymfelet senare på året
- Förbättring med VRF's snödata större senare på året

		Ref	Ens0	EnsQ	EnsSWE	EnsSD	EnsFSC	EnsAll
Relativt volymfel (%)	15/2	12.8	12.6	15.1	13.5	15.9	12.6	15.9
	15/4	23.1	21.5	29.9	18.8	22.1	15.4	29.4
	15/6	28.6	26.8	34.6	23.0	23.1	22.8	27.6
Relativ förbättring (%)	15/2		-2	20	-13	19	-26	26
	15/4		-7	37	-48	14	-29	61
	15/6		-6	27	-41	0	-1	17

Bonusresultat: "VESPA"

- Metod för att jämföra betydelse av osäkerhet i Initialiseringsperiod och prognosperiod (osäkerhet i meteorologiska drivdata)
- Genera vårflodsprognoser med osäkerhet både i uppvärmningsdata och prognosdata
- Exempel från Landösjön och Tjaktjajaure:



Slutsatser

- Fortsatt svårt att se tydliga förbättringar med uppdatering med snöobservationer
- Viktigt att undersöka betydelse av osäkerhet i initialisering och prognosperiod för att förstå betydelse av snöuppdatering
- Assimilering av satellit och markbaserade snöobservationer gav i denna studie en relativ förbättring av vårflodsprognoserna med mellan 5 och 50%.
- Markbaserade snövattenekvivalentobservationer och satellitbaserad snötäckningsgrad tycks vara de bästa snöobservationerna

Tack för uppmärksamheten .