

KORREKTION AV SYSTEMATISKA FEL I METEOROLOGISKA PROGNOSE

RAPPORT 2015:201



Korrektion av systematiska fel i meteorologiska prognoser

En förstudie av vårflodsprognoser

PETER BERG, JONAS OLSSON, JOHAN SÖDLING

ISBN 978-91-7673-201-4 | © 2015 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Den metodik som idag används vid SMHI för vårflodsprognoser är klimatologisk, d.v.s. den antar att väderutvecklingen under vårflodsperioden blir normal. Med detta antagande kommer prognoserna att bli sämre under år med väder som avviker från det normala.

Meteorologiska säsongsprognoser kan potentiellt förbättra vårflodsprognoserna. I projektet har denna potential testats i Vindelälven och Ljusnan. Studien visar på möjligheter till förbättrade vårflödesprognoser för Vindelälven men inte för Ljusnan.

Den utvärderade metodiken kommer att användas tillsammans med ett antal andra angrepp i en för-operationell prototyp för förbättrade vårflodsprognoser som färdigställs vid SMHI under 2015.

Projektet har ingått i HUVA - Energiforsks arbetsgrupp för Hydrologiskt UtvecklingsArbete vars huvudinriktning är att förbättra vattenkraftindustrins prognosmodeller. HUVA innehåller utvecklingsprojekt, omvärldsbevakning, utbildning inom vattenkraftshydrologi (HUVA-kursen), HUVA-dagen och standardisering. I HUVA-gruppen ingår:

Peter Calla, Vattenregleringsföretagen (ordf.)
 Björn Norell, Vattenregleringsföretagen
 Stefan Busse, E.ON Vattenkraft
 Johan E. Andersson, Fortum
 Emma Wikner, Statkraft
 Knut Sand, Statkraft
 Susanne Nyström, Vattenfall
 Mikael Sundby, Vattenfall
 Lars Pettersson, Skellefteälvens vattenregleringsföretag
 Cristian Andersson, Energiforsk

E.ON Vattenkraft Sverige AB, Fortum Generation AB, Holmen Energi AB, Jämtkraft AB, Karlstads Energi AB, Skellefteå Kraft AB, Skellefteåforsens AB, Statkraft Sverige AB, Umeå Energi AB and Vattenfall Vattenkraft AB deltar i HUVA.

Ett stort tack riktas till SMHI som genomfört projektet.

Stockholm, november 2015



Cristian Andersson
 Energiforsk

Sammanfattning

I denna studie visar vi att meteorologiska säsongsprognoser (för nederbörd och temperatur) kan ge förbättrade prognoser av vårfloden i Vindelälven. Enligt olika statistiska mått ökar träffsäkerheten jämfört med dagens metodik. Förutom förbättrad uppskattning av vårflodens volym går det med någorlunda säkerhet att förutsäga tidpunkten för vårfloden c:a 1 månad i förväg. Dessa resultat visar på prognosernas potential för t.ex. effektiviserad reglering av kraftverksdammar. I Ljusnan gav de meteorologiska säsongsprognoserna dock inget tydligt mervärde, vilket tros bero dels på de mer komplexa hydrologiska processerna i denna region, dels en större osäkerhet i de metoder och modeller som använts.

Bakgrunden till studien är att den metodik som idag används vid SMHI för vårflodsprognoser är klimatologisk, d.v.s. den antar att väderutvecklingen under vårflodsperioden blir normal. Med detta antagande kommer prognoserna att bli sämre under år med väder som avviker från det normala (d.v.s. klimatet). Med meteorologiska säsongsprognoser kan emellertid vädret förutsägas, vilket potentiellt kan förbättra vårflodsprognoserna. Tidigare studier har visat att träffsäkerheten i meteorologiska säsongsprognoser är relativt låg, särskilt för nederbörd, och att de har ofta betydande systematiska fel.

I detta projekt har vi testat att korrigera de systematiska felen i meteorologiska säsongsprognoser innan vi använder dem för att ta fram vårflodsprognoser genom hydrologiska modeller. Metodiken går ut på att omtolka prognosen i termer av det lokala klimatet i avrinningsområdet och har visat sig effektiv i olika tidigare tillämpningar. Korrigerade historiska prognoser utfärdade 1 januari, 1 mars och 1 maj användes för att prognosera vårfloden (ackumulerat vattenflöde, d.v.s. volym) i Vindelälven och Ljusnan, och resultaten utvärderades mot observerade volymer.

I utvärderingen av vårflodsprognoser används normalt en fix tidsperiod under vilken vårfloden beräknas, t.ex. maj-juli. Detta leder dock till en osäkerhet i resultatet ifall vårfloden är väldigt tidig eller väldigt sen. I denna studie har vi också använt ett "glidande tidsfönster" för att beräkna dels den totala maximala volymen, dels tidpunkten för vårflodens huvudsakliga topp. På detta sätt kan vi särskilja mellan prognosfelets komponenter kopplade till fel i volym respektive fel i tidpunkt.

Den utvärderade metodiken kommer att användas tillsammans med ett antal andra angrepp i en för-operationell prototyp för förbättrade vårflodsprognoser som färdigställs vid SMHI under 2015.

Summary

In this study we show that meteorological seasonal forecasts (for precipitation and temperature) can produce improved forecasts of the spring flood in river Vindelälven. According to different statistical measures the performance increases as compared with today's methodology, based on a climatological ensemble of historical meteorological inputs. Besides an improved estimation of the accumulated spring flood discharge, it is possible to forecast the timing of the spring flood peak some 1 month in advance with a reasonable accuracy. These results indicate a potential of the forecasts to achieve e.g. a more efficient management of hydropower reservoirs. In river Ljusnan, however, the meteorological seasonal forecasts did not produce any apparent gain compared with today's procedure. We believe this is related partly to the more complex hydrological processes in this region, partly to larger uncertainties when applying the methods and the models for this river.

Innehåll

1	Inledning	7
2	Material	8
2.1	Områden och observationer	8
2.2	Hydrologiska modeller	9
2.3	Meteorologiska säsongsprognoser	9
3	Metodik	11
3.1	Bias-korrigerig av meteorologiska prognoser	11
3.2	Hydrologiska prognoser med HBV och S-HYPE	11
3.3	Utvärdering	12
4	Resultat	15
4.1	Meteorologiska prognoser	15
4.1.1	Bias-korrektion	15
4.1.2	Prediktabilitet	18
4.2	Hydrologiska prognoser med HBV	22
4.2.1	Fixt tidsfönster (maj-juli)	22
4.2.2	Glidande tidsfönster (3 månader)	25
4.2.3	Vårflodens tidpunkt	26
4.3	Hydrologiska prognoser med S-HYPE	29
5	Slutord	30
6	Tackord	31
7	Referenser	32

1 Inledning

Två huvudsakliga angrepp har hittills använts för vårflodsprognoser, d.v.s. främst att uppskatta den totala volymen (ackumulerad tillrinning) av den närmast framtida vårfloden. I ett rent statistiskt angrepp, som används i bl.a. USA, används statistiska samband mellan vårflodsvolymen och variabler såsom ackumulerad vinternederbörd och snöns vatteninnehåll vid prognostillfället (t.ex. Garen, 1992; Pagano m.fl., 2009). Det andra angreppet, som använts i Sverige sedan 1970-talet, är att driva en initialiserad (uppdaterad) hydrologisk modell (HBV i Sverige) med historiska tidsserier med nederbörd och temperatur för prognosperioden (t.ex. Day, 1985; Arheimer m.fl., 2011).

Eftersom initialtillståndet (främst snötäcket) vid prognostillfället spelar stor roll vid vårflodsprognoser (t.ex. Shukla och Lettenmaier, 2011) kan båda dessa angrepp ge värdefulla och användbara prognoser. En begränsning är dock att de är klimatologiska, d.v.s. vädret under prognosperioden förväntas bli det normala (klimatet). Ju mer vädret avviker från det normala under perioden, desto sämre noggrannhet kommer den klimatologiska prognosen att ha.

Ett alternativ är att försöka förutsäga vädret under prognosperioden. Olika möjligheter till detta har öppnats genom dels en ökad förståelse av klimatvariationer och storskaliga samband (s.k. teleconnections), dels utvecklingen av klimatmodeller för prognosändamål. I en tidigare HUVU-finansierad studie testades olika metoder för att förbättra vårflodsprognoser genom att utnyttja dessa möjligheter, med lovande resultat (Olsson m.fl., 2011), och fortsatt utveckling pågår f.n.

Ett av de spår som testades av Olsson m.fl. (2011) var att använda meteorologiska säsongsprognoser som indata till HBV, i stället för historiska tidsserier. Resultaten visade ingen tydlig förbättring jämfört med den klimatologiska prognosen. Ett skäl till detta var systematiska fel (bias) i de meteorologiska prognoserna vilka medförde kraftig bias också i vårflodsprognoserna. Det kan således antas att vårflodsprognoserna kan förbättras genom att bias-korrigera de meteorologiska prognoserna innan de används som indata till HBV.

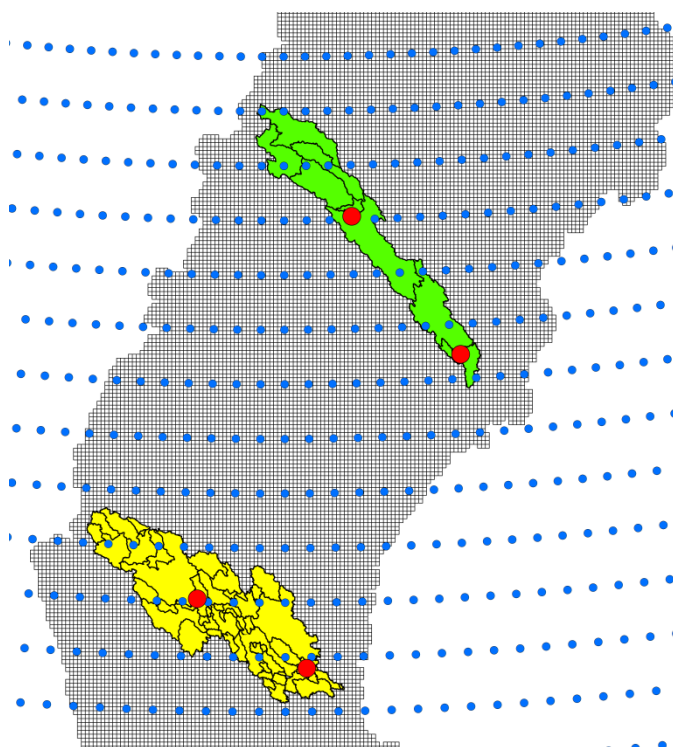
I denna studie testar vi bias-korrigerings genom s.k. quantile mapping (QM) (t.ex. Wood m.fl., 2002). I QM omtolkas prognoserna till det lokala klimatet genom en mappning av prognosernas sannolikhetsfördelning på den observerade. I denna studie utnyttjas en QM-metod kallad Distribution-Based Scaling (DBS) som utvecklats vid SMHI och tidigare använts främst vid hydrologiska klimateffektstudier (Yang et al., 2010). Metoden har testats för fyra stationer i två älvar över en 30-årsperiod. Den huvudsakliga utvärderingen har fokuserat på den ackumulerade tillrinningen under vårflodsperioden, och prognosernas kvalitet har kvantifierats i termer av dels bias och medelfel, dels spridningen i de ensembleprognoser som genererats. I två ytterligare experiment har vi undersökt dels möjligheten till att förutsäga vårflodens tidpunkt, dels hur prognoser med den nya S-HYPE-modellen står sig mot HBV-prognoser med likvärdiga indata.

2 Material

2.1 OMRÅDEN OCH OBSERVATIONER

Vindelälven och Ljusnan har använts vid utvärderingen Figur 1. Vindelälven är oreglerad och Ljusnan är reglerad. I båda älvarna har två stationer använts vid utvärderingen, en belägen i den uppströms delen av älven och en vid utloppet Figur 1. I samtliga stationer finns tidsserier för nederbörd, temperatur och vattenföring sedan 1961.

Som huvudsaklig prediktand använder vi i denna studie *ackumulerad tillrinning under vårflodsperioden* och vi kallar i resten av rapporten detta värde för Q_{VF} (m^3). För att definiera vårflodsperioden har två angrepp använts. I det första används ett fixt tidsfönster (vilket är SMHI:s standardprocedur): maj-juli. Det bör påpekas att perioden maj-juli överensstämmer väl med vårflodsperioden i nordligaste Sverige (t.ex. Vindelälven) men i mellersta Sverige (t.ex. Ljusnan) börjar vårfloden ofta redan i april, varför det kunde varit bättre att fokusera på perioden april-juni i Ljusnan. För att i möjligaste mån kunna automatisera hanteringen av de meteorologiska säsongsprognoserna och de hydrologiska simuleringarna valde vi dock att ha samma vårflodsperiod och prognostillfällen (avsnitt 2.3) i båda älvarna, även om detta delvis försvårade utvärderingen i Ljusnan.



Figur 1 De studerade älvarna Vindelälven (grön) och Ljusnan (gul) med de båda stationerna markerade. Blå punkter: ECMWF grid; rutnät: PTHBV grid.

Tabell 1 Egenskaper för de stationer som använts i studien.

Älv	Station	Area (km ²)	Medel-Q _{VF} (m ³ /s)	HBV		S-HYPE	
				R ²	RVE	R ²	RVE
Vindelälven	Sorsele	6054	289	0.89	3.2	0.91	-1.0
	Vindeln*	11846	400	0.91	1.5	0.92	-1.7
Ljusnan	Svegsjön	8484	209	0.87	-0.6	0.83	0.7
	Dönje*	14743	291	0.85	0.5	0.49	3.2

*Utlöpp

En nackdel med ett fixt tidsfönster är att en del av vårfloden kan komma att hamna utanför fönstret, ifall vårfloden är ovanligt tidig eller sen. För observationer och klimatologiska prognoser bör detta problem vara litet, ifall tidsfönstret är långt nog att täcka vårfloden och centrerat på tidpunkten för dess normala topp. Icke-klimatologiska prognoser kan dock ha systematiska fel som gör att vårfloden systematiskt inträffar för tidigt eller för sent. Med ett fixt tidsfönster kommer detta att framstå som ett fel i ackumulerad tillrinning, fast det i själva verket kan vara främst ett fel i tidpunkten när vårfloden inträffar. Förutom ett fixt tidsfönster har vi därför också använt ett glidande 3-månadersfönster och beräknat den maximala 3-månaderstillrinningen under vårflodsperioden. Därmed elimineras effekten av eventuella tidsfel i vårfloden.

2.2 HYDROLOGISKA MODELLER

För båda älvarna fanns tillgång till de uppdaterade HBV-modeller (Lindström m.fl., 1997) som används i den operationella prognosverksamheten. Båda modellerna är uppsatta för griddad indata (PTHBV) och R²-värden på ~0.9 (Tabell 1) indikerar att de är väl kalibrerade.

Älvarna modellerades även med modellen S-HYPE, d.v.s. HYPE (Lindström m.fl., 2010) uppsatt för hela Sverige. Tillrinning för de båda stationerna i Vindelälven direkt kunde direkt beräknas med S-HYPE, och träffsäkerheten är lika god som för HBV-modellen (Tabell 1). För stationerna i Ljusnan krävdes däremot en del omstrukturering av S-HYPE, för att ta fram tillrinningar motsvarande de som beräknas med HBV. I princip frikopplades alla delområden från varandra varefter tillrinningar summerades för rätt delområden. På detta sätt kunde några mindre sjöar i Svegsjöns avrinningsområde, som inte ingår i HBV-modellen, kopplas bort samt tillrinningen inom Dönjes avrinningsområde exklusive Svegsjön beräknas. Svegsjön och Dönje kommer p.s.s. att fungera som två stora magasin. För Svegsjön går modellen likvärdigt med HBV men för Dönje är R²-värdet markant lägre (Tabell 1). Detta kan vara en konsekvens av de bortkopplade sjöarna och den därmed uteblivna dämpningen av flödesvariationer.

2.3 METEOROLOGISKA SÄSONSPROGNOSE

Säsongsprognoserna kommer från ECMWFs (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) nya prognosystem System 4. Prognoserna beräknas genom att en havsmodell (NEMO) initialiseras bäst möjligt till det observerade tillståndet i havet, kopplas sedan till en atmosfärmodell (IFS) varefter de båda modellerna integreras framåt i tiden för att prognosera den framtida utvecklingen. Eftersom initialtillståndet

inte är känt i tillräcklig detalj finns det utrymme för osäkerheter, vilket undersöks genom att köra en ensemble av 15 simuleringar, vardera med små variationer i starttillståndet. Prognoserna genereras ursprungligen på ett grid av upplösning 0.7° och mappas därefter om av ECMWF till ett 0.5° grid, vilket alltså är den upplösning som använts i denna studie.

I denna studie använder vi historiska prognoser i perioden 1981-2010 som körts om i efterhand med modellsystemet ovan. Dessa kallas på engelska *hindcasts*, för att skilja dem från *forecasts* som görs i realtid vid själva prognostillfället. Eftersom det inte finns någon etablerad svensk översättning av *hindcasts* (man skulle kunna tänka sig t.ex. "efterhandprognoser") använder vi i fortsättningen bara "prognoser" men alltså i betydelsen *hindcasts*. Variablerna som används i de hydrologiska prognoserna är dagliga medelvärden av temperaturen på 2m höjd över marken, samt nederbörd ackumulerad över ett dygn.

3 Metodik

3.1 BIAS-KORRIGERING AV METEOROLOGISKA PROGNOSE

Bias-korrigerig är ett samlingsnamn för metoder som främst syftar till korrigerig av systematiska fel (bias) i klimatmodeller, så att deras resultat ska vara användbara i t.ex. hydrologiska simuleringar. Exempel på systematiska fel kan vara ett avvikande medelvärde, eller för svaga extremer. Med en bias-korrigeringsmetod som arbetar med hela sannolikhetsfördelningen (t.ex. fördelningen av temperaturer) kan man korrigerig inte bara medelvärdet, utan även övriga statistiska moment, såsom variansen.

För att systematiska fel ska vara väldefinierade krävs långa tidsserier med robust statistik (Berg m.fl., 2012). Detta gör bias-korrigerig svår att använda för operationella väderprognoser eftersom det ständigt sker förändringar i prognosmodellen och därmed saknas tillförlitliga långa tidsserier att beräkna systematiska fel mot. I fallet med säsongprognoser som studeras här kan vi däremot använda de långa historiska tidsserierna med *hindcasts* (avsnitt 2.3) för att träna en biaskorrigerig. Den typiska ansatsen för en bias-korrigerig vore att välja en ensemblemedlem som får vara kontrollmedlem och beräkna korrigeringsfaktorer mot denna, och sedan applicera dessa faktorer på de övriga medlemmarna. Detta ger dessvärre en felaktig spridning i de korrigerade resultaten. Därför utnyttjar vi här även att vardera medlemmen är lika sannolik att simulera det verkliga skeendet och genom att träna biaskorrekturen mot alla medlemmar tillsammans fås en korrigerig som rättar varje enskild medlem med ett medelsystematiskt fel av alla medlemmar. Detta bibehåller den ursprungliga spridningen mellan medlemmarna.

Vi använder DBS-metoden (Yang m.fl., 2010) som är en form av bias-korrigerig som använder hela fördelningen av temperatur eller nederbörd. Det betyder att den korrigerar medelvärde likväl som extrema händelser. DBS gör detta genom att först anpassa en känd fördelning, t.ex. för nederbörd används Gamma-fördelningen, till observerade data och modelldata var för sig. Sedan beräknas en funktion för att transformera modellens värden så att den får en fördelning lik den observerade. För temperatur görs också en höjdkorrektion för att beskriva förändringen med altitud inom avrinningsområdet.

Korrektionerna utförs här för temperatur och för nederbörd och appliceras för perioden 1981 till 2010. För att tydligt separera biaskorrektion från nedskalning i rummet, så har korrektionerna utförts på modellens originalupplösning mot PTHBV-data som har mappats om till samma upplösning.

3.2 HYDROLOGISKA PROGNOSE MED HBV OCH S-HYPE

Prognoser kördes om för samtliga vårflöden i 30-årsperioden 1981-2010. Tre prognostillfällen utvärderades: 1 januari (1/1), 1 mars (1/3) och 1 maj (1/5). I samtliga fall kördes den hydrologiska modellen fram till prognostillfället varefter olika meteorologiska indata användes för att beskriva väderutvecklingen fram till slutet av juli.

För HBV-modellen användes först historiska indataserier enligt dagens klimatologiska ensemble-metod, för att skapa referensprognoser att utvärdera mot. Därefter användes

både okorrigerade och bias-korrigerade ECMWF-prognoser, vilka konverterats till HBV-indataformat (dygnsvärde per delavrinningsområde). För S-HYPE användes enbart bias-korrigerade ECMWF-prognoser, konverterat till S-HYPEs delavrinningsområden.

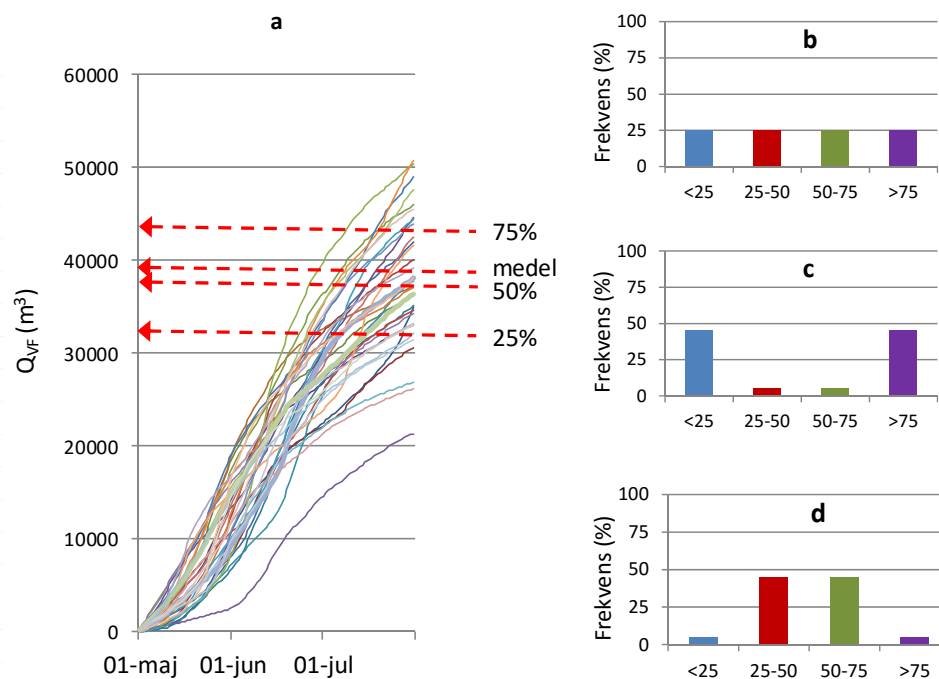
3.3 UTVÄRDERING

De meteorologiska säsongsprognoserna utvärderades med avseende på hela sannolikhetsfördelningen av dagliga temperaturer och nederbördsintensiteter i ett klimatologiskt perspektiv. Det innebär att utvärderingen sker av medelvärden över en 30-årsperiod, istället för att studera värden under en enskild säsong. Grundtanken är att "felet" under en säsong kan vara stort av många olika anledningar och resultaten kan ligga över eller under observationerna. För att utföra en generell korrektion av modellen måste vi identifiera systematiska fel, vilket kräver en längre tidsperiod.

Två aspekter av vårflodsprognoserna utvärderades: total volym (Q_{VF}) och tidsmässig tyngdpunkt. Tre mått på prognoskvaliteten har använts för Q_{VF} . I de första två har medelvärdet av de olika prognosensemblerna (Figur 2a) jämförts med observerad volym:

- Bias B (%): systematisk relativ över- eller underskattning av Q_{VF} .
- Mean Absolute Error MAE (m^3): medelvärdet av absolutbeloppet av skillnaden mellan observerad och prognoserad Q_{VF} , d.v.s. ett genomsnittligt fel.

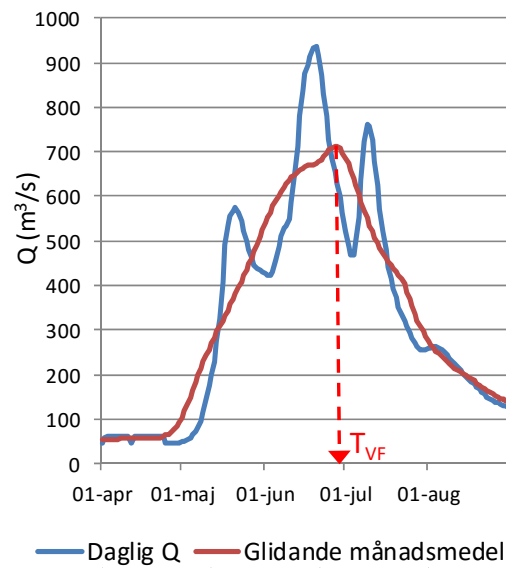
I det tredje måttet utvärderas spridningen i ensembleprognoserna. I en ensembleprognos uttrycker undre kvartil, median och övre kvartil sannolikheterna 25%, 50% respektive 75% att nivån underskrids (Figur 2a). Ifall prognosernas spridning är korrekt kommer således en utvärdering mot observationer att visa att i en fjärdedel av fallen ligger utfallet (d.v.s. den ackumulerade vattenföring som observerades) under den undre prognoskvartilen, i en fjärdedel mellan undre kvartil och median, i en fjärdedel mellan median och övre kvartil och i en fjärdedel över den övre kvartilen. D.v.s. frekvensen av observationer ska vara 25% i varje intervall; detta resultat illustreras i Figur 2b. Två typiska avvikelser från detta ideal kan noteras. Ifall prognosens spridning är för liten kommer för många observationer att hamna utanför kvartilerna, d.v.s. frekvensen av observationer i klasser <25 och <75 blir högre än 25% (Figur 2c). En för stor spridning kommer på motsvarande sätt att ge för många observationer mellan kvartilerna (Figur 2d). I båda fallen kommer prognoskvartilerna inte att motsvara 25% och 75% sannolikhet, d.v.s. prognoserna ger felaktigt uppskattade risker (i fallen i Figur 2c och Figur 2d kommer dock fortfarande medianen att motsvara 50% p.g.a. symmetrin).



Figur 2 Exempel på ensembleprognos för ackumulerad tillrinning Q_{VF} med medelvärde, median (50%) och kvartiler (25%, 75%) (a). Sannolikhetsbaserad utvärdering genom frekvens av observationer i varje prognosintervall: exempel på korrekt spridning (b), underskattad spridning (c) och överskattad spridning (d).

Den andra aspekten som utvärderats gäller möjligheten att förutsäga när vårfloden inträffar. Som ett mått på vårflodens tidpunkt har en "tidsmässig tyngdpunkt" T_{VF} beräknats genom att applicera ett glidande 1-månads medelvärde över vårflodsperioden, och definiera T_{VF} som den tidpunkt när detta medelvärde når sitt maximala värde (Figur 3). Metoden har verifierats för olika typer av tidsmässig utveckling av vårfloden och visat sig fungera överlag väl.

Angreppet med ett glidande medelvärde är alltså detsamma som används för att beräkna 3-månadersperioden med maximal Q_{VF} (avsnitt 2.1). Ofta ligger T_{VF} beräknat med 1- respektive 3-månaders fönster nära varandra, men i fall där vårfloden är utdragen, har flera toppar, etc., kan de skilja sig åt. I dessa fall kan "3-månaders- T_{VF} " hamna mellan olika toppar medan "1-månaders- T_{VF} " normalt hamnar på den kraftigaste toppen. Därför har vi använt ett 1-månadsfönster i denna analys, men detta ska ses som en första ansats att utforska vidare framöver.



Figur 3 Beräkning av vårflodens tidsmässiga tyngdpunkt T_{VF} .

4 Resultat

4.1 METEOROLOGISKA PROGNOSE

4.1.1 Bias-korrektion

Tabell 2 visar ECMWF-prognosernas bias B för medelnederbörd för varje enskild månad, starttidpunkt och avrinningsområde för perioden 1981-2010, före och efter korrigering. Värdena är beräknade av medelfelet i alla gridpunkter inom avrinningsområdet mellan varje enskild ensemblemedlem och PTHBV.

Tabell 2 Bias B (%) för nederbörd i de meteorologiska säsongsprognoserna före (ORG) och efter (DBS) bias-korrigering med DBS-metoden.

			Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul
Vindelälven	1/1	ORG	-6.9	10.3	7.7	29.5	15.9	7.3	-3.8
		DBS	0.7	3.1	2.1	7.2	6.0	1.3	0.7
	1/3	ORG			1.5	32.7	20.8	7.2	-1.9
		DBS			1.6	6.7	5.8	1.2	0.8
	1/5	ORG					31.8	18.2	0.6
		DBS					5.8	0.9	0.7
Ljusnan	1/1	ORG	4.5	10.8	8.4	4.4	13.9	1.8	4.4
		DBS	0.9	4.2	2.7	10.2	4.3	0.8	0.8
	1/3	ORG			8.0	13.5	19.0	-0.8	5.7
		DBS			2.7	10.5	4.3	0.9	0.8
	1/5	ORG					34.0	8.7	5.3
		DBS					4.4	0.7	0.7

Tabell 3 Bias B (°C) för temperatur i de meteorologiska säsongsprognoserna före (ORG) och efter (DBS) bias-korrigerig med DBS-metoden.

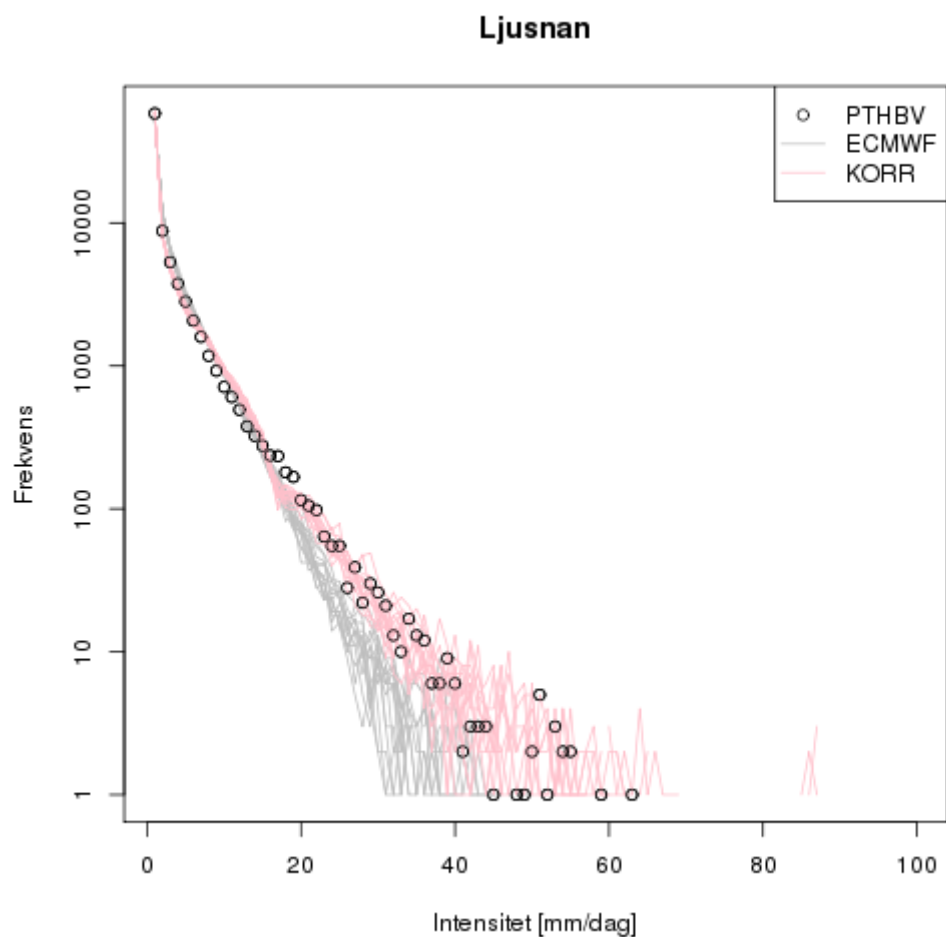
			Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul
Vindelälven	1/1	ORG	-0.6	-0.3	-1.1	-1.6	-1.7	-1.2	-1.0
		DBS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/3	ORG			-1.1	-1.5	-1.8	-1.4	-1.0
		DBS			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/5	ORG					-0.7	-0.3	-0.6
		DBS					0.0	0.0	0.0
Ljusnan	1/1	ORG	-1.2	-0.5	-1.3	-1.5	-0.9	-0.1	-1.0
		DBS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/3	ORG			-1.3	-1.4	-1.1	-0.2	-0.9
		DBS			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/5	ORG					0.1	0.5	-0.5
		DBS					0.0	0.0	0.0

Vad gäller de okorrigerade prognoserna ses att nederbörden generellt överskattas, med undantag för januari och juli i Vindelälven (Tabell 2). I Vindelälven sker den största överskattningen i april-maj med ~30%, och en liknande överskattning syns i maj för Ljusnan. Bias för en specifik månad är generellt likartad oberoende av prognostillfälle, även om skillnader finns. Överskattningen av nederbörd åtföljs av en generell underskattning av temperaturen, i genomsnitt ~1°C med liten variation mellan stationer och månader. Denna underskattning förklaras troligtvis av nederbördens avkylande inverkan på marktemperaturen.

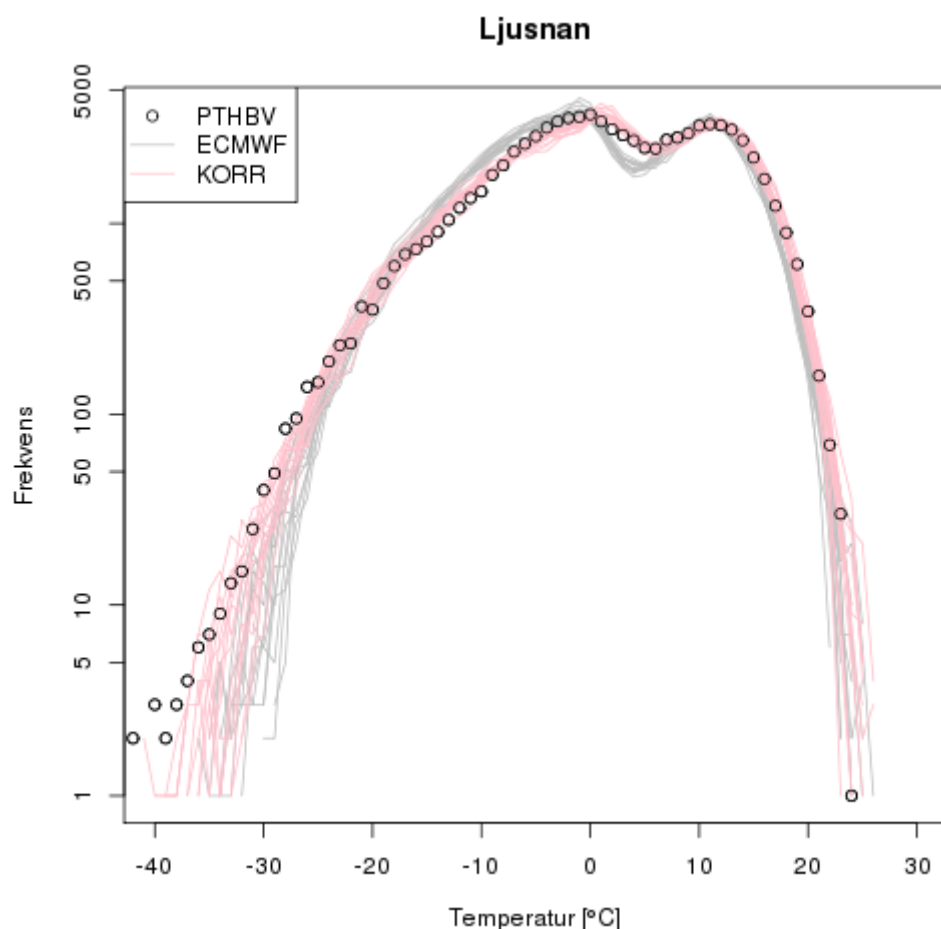
Efter bias-korrektur avviker nederbörden för de flesta månader med endast ett par procent från PTHBV (Tabell 2). Under april-maj, med störst bias i de ursprungliga prognoserna, återstår dock en bias ~5-10% även efter korrigeringen. Att inte felet helt försvinner beror på att nederbörden korrigeras med avseende på hela fördelningen vilket inte nödvändigtvis leder till en exakt korrigering av medelvärdet. Figur 4 visar ett exempel på hur nederbördsfördelningen ser ut före och efter korrektionen för Ljusnan. ECMWF-prognoserna överskattar moderata intensiteter (~5 mm/d) och underskattar intensiteter över ~20 mm/d. Spridningen är ganska liten mellan de olika medlemmarna förutom mot högre intensiteter där variabiliteten är stor på grund av att dessa intensiteter uppträder så sällan. De korrigerade prognoserna ligger nära PTHBV, medan spridningen mellan olika ensemblemedlemmar är i stort sett intakt.

Den underskattning av temperatur som fanns i de ursprungliga prognoserna elimineras helt genom bias-korrigeringen, vilket är en direkt effekt av hur korrigeringen går till. Ett exempel av fördelningen av temperaturerna för Ljusnan med prognoser med starttid den 1:a januari visas i Figur 5. ECMWF-prognoserna

överskattar de allra lägsta temperaturerna under $\sim 20^{\circ}\text{C}$, överskattar temperaturer mellan -20 och 0°C och underskattar igen vid få plusgrader. De korrigerade värdena ligger återigen närmare de observerade även om en viss systematisk överskattning av de allra lägsta temperaturerna kvarstår.



Figur 4 Histogram av nederbördsintensiteter för perioden januari-juli åren 1981-2010 för Ljusnans avrinningsområde. Cirklarna visar PTHBV, gråa (rosa) linjer visar okorrigerade (bias-korrigerade) ensemble-medlemmar från ECMWF-prognoserna.



Figur 5 Histogram av temperaturer för perioden januari till juli åren 1981-2010 för Ljusnans avrinningsområde. Cirkelarna visar PTHBV, gråa linjer visar varje enskild medlem från ECMWF-prognoserna och de rosa linjerna för de biaskorrigerade prognoserna.

I jämförelse med tidigare prognosystem från ECMWF (System 3; se Olsson m.fl., 2011) ser System 4-prognoserna mycket bättre ut, men det återstår tydliga systematiska fel. Den presenterade metoden har visat sig väl kapabel att korrigera dessa fel, både för temperatur och nederbörd.

4.1.2 Prediktabilitet

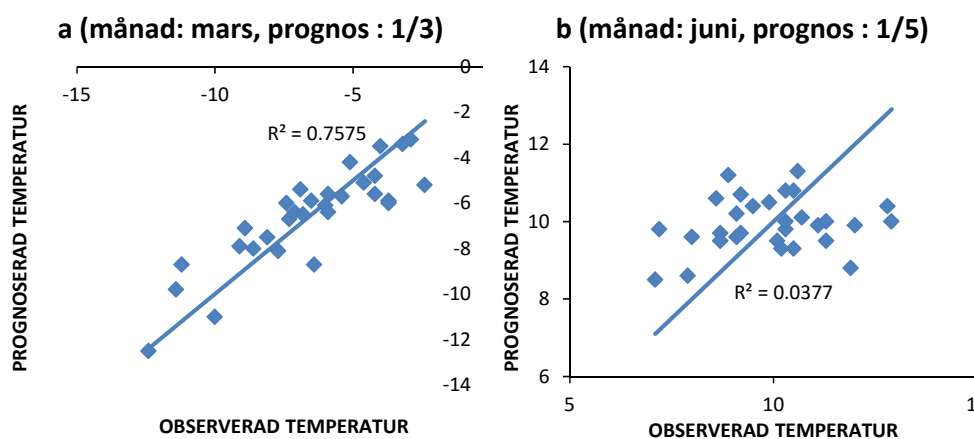
En grundläggande förutsättning för att säsongsprognoiser ska ge ett mervärde jämfört med ett klimatologiskt angrepp är att prognoserna verkligen kan förutsäga avvikelser från klimatet. För att undersöka detta analyserades med vilken träffsäkerhet månadsmedeltemperaturer kunde förutsägas i de båda älvarna.

Resultaten visar att det generellt finns någorlunda prediktabilitet en månad framåt i tiden men inte längre. I Tabell 4 redovisas korrelationskoefficienten mellan observerad och prognoserad (ensemblemedelvärde) medeltemperatur och höga värden befanns enbart för januari i 1/1-prognosen och mars i 1/3-prognosen, d.v.s. månads medeltemperatur kunde förutsägas med hög noggrannhet på dagens första månad. För maj befanns prediktabiliteten dock låg även för 1/5-prognosen. Värdena för juli i Vindelälven är tämligen höga, särskilt för 1/3-prognosen, men framtida undersökningar

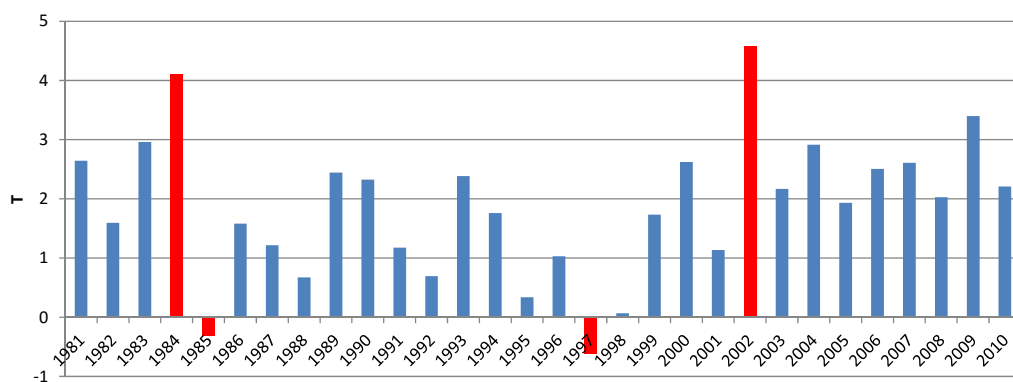
får utreda ifall detta är en tillfällighet eller en verklig signal. Figur 6 illustrerar korrelationen för två fall.

Tabell 4 Korrelationskoefficient (R^2) mellan observerad och prognoserad månadsmedeltemperatur i Vindelälven och Ljusnan för prognoserna gjorda 1/1, 1/3 och 1/5.

		Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul
1/1	Vindelälven	0.659	0.058	0.006	0.030	0.035	0.068	0.095
	Ljusnan	0.655	0.083	0.001	0.086	0.079	0.067	0.009
1/3	Vindelälven			0.758	0.009	0.007	0.001	0.214
	Ljusnan			0.715	0.029	0.036	0.006	0.017
1/5	Vindelälven					0.122	0.038	0.165
	Ljusnan					0.201	0.001	0.058



Figur 6 Två exempel på korrelation mellan observation och prognos i Vindelälven: (a) det fall med högst prediktabilitet och (b) ett genomsnittligt fall.



Figur 7 Observerad medeltemperatur för april-maj (d.v.s. 1/4-31/5) i Vindelälven mellan 1981 och 2010.

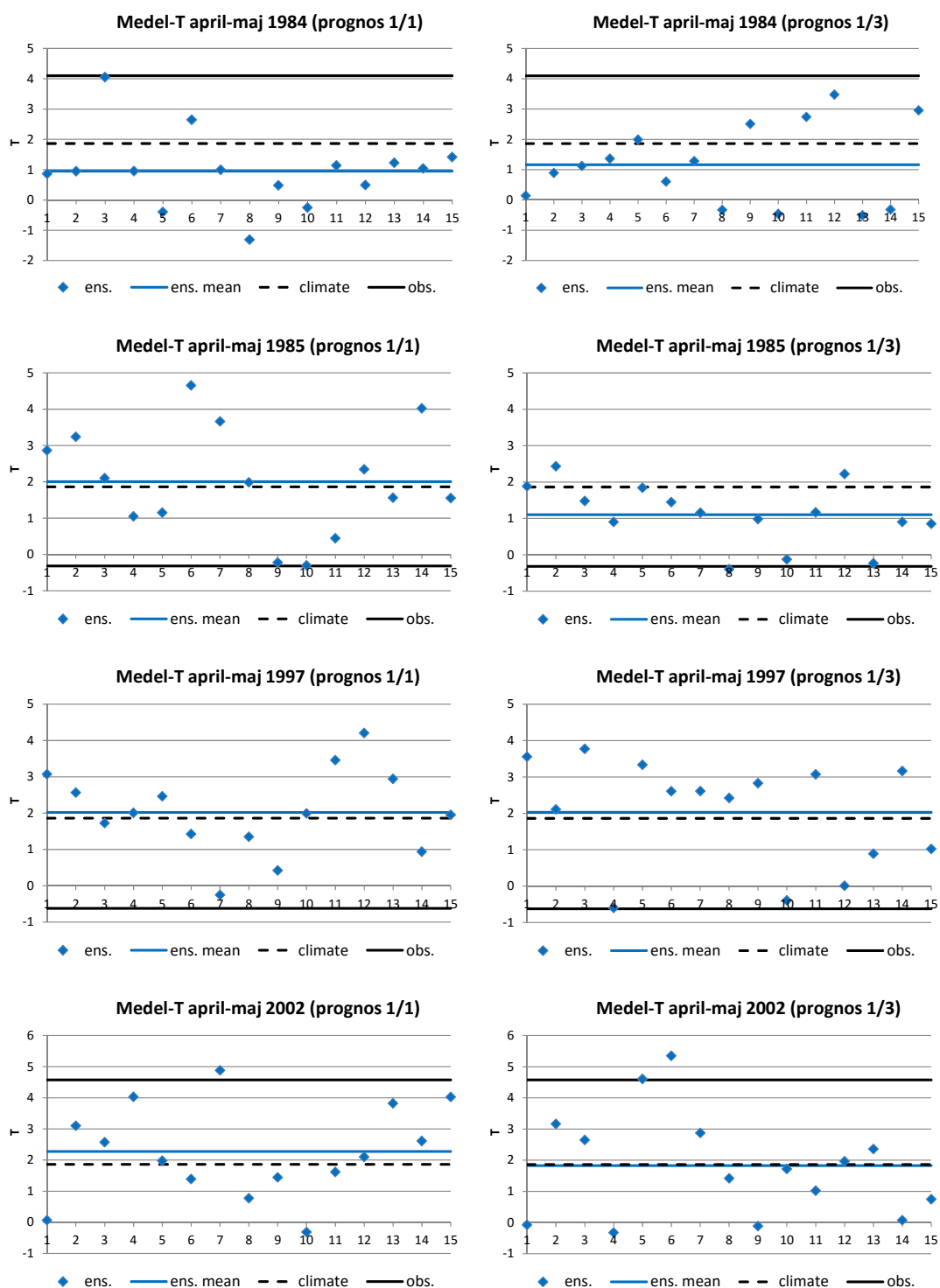
Resultaten för månadsmedelnederbörd är principiellt likartade, d.v.s. viss prediktabilitet för januari (i 1/1-prognos) och mars (i 1/3-prognos), dock med avsevärt lägre R^2 -värden (0.2-0.3). I övrigt enbart mycket låga värden.

En specifik frågeställning gäller huruvida det går att få någon tidig signal på ifall årets vårflod kommer att bli tidig eller sen. Ovanstående resultat indikerar att denna möjlighet är liten, men en mera explicit och ensemble-baserad analys gjordes för att studera frågan. I denna analys antogs att medeltemperaturen under april-maj kan användas som ett mått på tidig eller sen vårflod. Figur 7 visar denna temperatur i perioden 1981-2010 och det finns två år då temperaturen var ovanligt hög, över 4°C (1985 och 1997) samt två år då den var ovanligt låg, under 0°C (1984 och 2002). Frågan är ifall ensembleprognoserna hade kunnat ge någon tidig signal för dessa år.

Resultatet visas i Figur 8 och kan sammanfattas enligt följande:

- 1984 (varmt): I 1/1-prognosen indikerar en ensemblemedlem en temperatur nära den observerade, men ensemblemedelvärdet indikerar en ovanligt kall april-maj (d.v.s. kallare än klimatet). 1/3-prognosen är likartad och båda slog alltså fel.
- 1985 (kallt): 1/1-prognosen indikerar en temperatur nära klimatet; två ensemblemedlemmar träffar rätt. 1/3-prognosen visar på en ovanligt kall april-maj, alltså rätt.
- 1997 (kallt): Båda prognoserna indikerar en temperatur nära klimatet med enstaka medlemmar nära den rätta temperaturen.
- 2002 (varmt): I princip samma utfall som 1997.

Resultaten indikerar en begränsad förmåga att förutsäga när vårfloden startar långt i förväg. Ytterligare analys av vårflodens tidpunkt sker i avsnitt 4.2.3 nedan.



Figur 8 Prognoser för medeltemperaturen i april-maj år (uppfifrån ned) 1984, 1985, 1997 och 2002. Vänster kolumn är 1/1-prognos; höger kolumn 1/3-prognos. Svart streckad linje är klimatologisk temperatur, blåa punkter (linje) är ensemblemedlemmar (-medelvärde), svart heldragen linje är observerad temperatur.

4.2 HYDROLOGISKA PROGNOSE MED HBV

4.2.1 Fixt tidsfönster (maj-juli)

Tabell 5 visar gensomsnittlig bias B för vårflodsprognoserna 1981-2010 genererade med de olika typerna av indata. Emedan IHMS ger en överlag likartad bias ($\sim \pm 10\%$) i de båda älvarna har ECMWF-prognoserna väldigt olika resultat (men likartat för de båda stationerna i varje område).

Tabell 5 Bias B (%) för vårflodsprognoser genererade med IHMS samt okorrigerade (EC_{ORG}) och korrigerade (EC_{DBS}) ECMWF-prognoser.

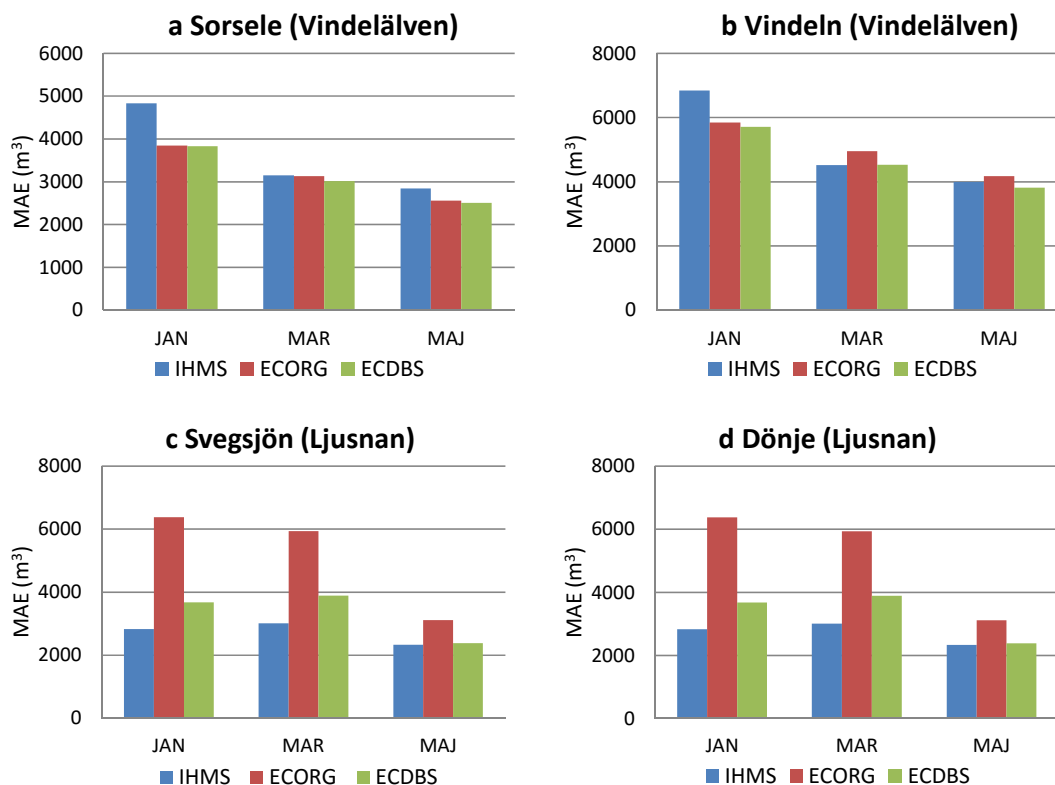
		Vindelälven		Ljusnan	
		Sorsele	Vindeln	Svegsjön	Dönje
1/1	IHMS	-6.7	-5.8	5.4	13.5
	EC_{ORG}	3.6	8.1	63.1	71.5
	EC_{DBS}	2.8	0.8	27.3	21.9
1/3	IHMS	-3.9	-3.2	6.9	13.9
	EC_{ORG}	2.3	6.6	54.2	61.6
	EC_{DBS}	1.0	-0.3	24.2	21.8
1/5	IHMS	-4.1	-4.5	-3.3	0.9
	EC_{ORG}	2.8	3.6	24.4	23.5
	EC_{DBS}	0.3	0.1	12.3	12.8

I Vindelälven underskattar IHMS Q_{VF} med $\sim 5\%$. Redan den okorrigerade ECMWF-prognosen EC_{ORG} har ofta en lägre bias. Denna bias är positiv, men avsevärt lägre än den överskattade nederbörden i dessa prognoser (Tabell 2), vilket delvis lär bero på den volymmässiga underskattning i HBV-modellen som indikeras av IHMS-prognoserna. Efter korrigering återstår endast en obetydlig bias på någon procent i EC_{DBS} .

I Ljusnan överskattar IHMS Q_{VF} med 5-10%. Här överskattar EC_{ORG} kraftigt Q_{VF} med 60-70% i 1/1- och 1/3-prognoserna, vilket torde vara en kombinerad effekt av nederbördsbias, positivt volymfel i HBV-modellen och osäkerhet i vårflodens tidpunkt (se avsnitt 4.2.2). De korrigerade prognoserna är markant bättre men har fortfarande tydligt större bias än IHMS.

Vad gäller genomsnittligt medelfel MAE i perioden 1981-2010 är detta markant lägre för EC_{DBS} än för IHMS i 1/1-prognoserna för Vindelälven, förbättringen är $\sim 20\%$ (Figur 9a-b). Även 1/3- och 1/5-prognoserna är överlag något bättre ($\sim 5\%$) med EC_{DBS} än med IHMS. Effekten av korrigering är ganska liten.

I Ljusnan förbättrar korrigeringen kraftigt resultatet för ECMWF-prognoserna, precis som var fallet för bias (Figur 9c-d). Även de korrigerade prognoserna har dock generellt högre medelfel än IHMS, i genomsnitt 20% för 1/1- och 1/3-prognoserna. Prognoserna 1/5 har emellertid samma träffsäkerhet.

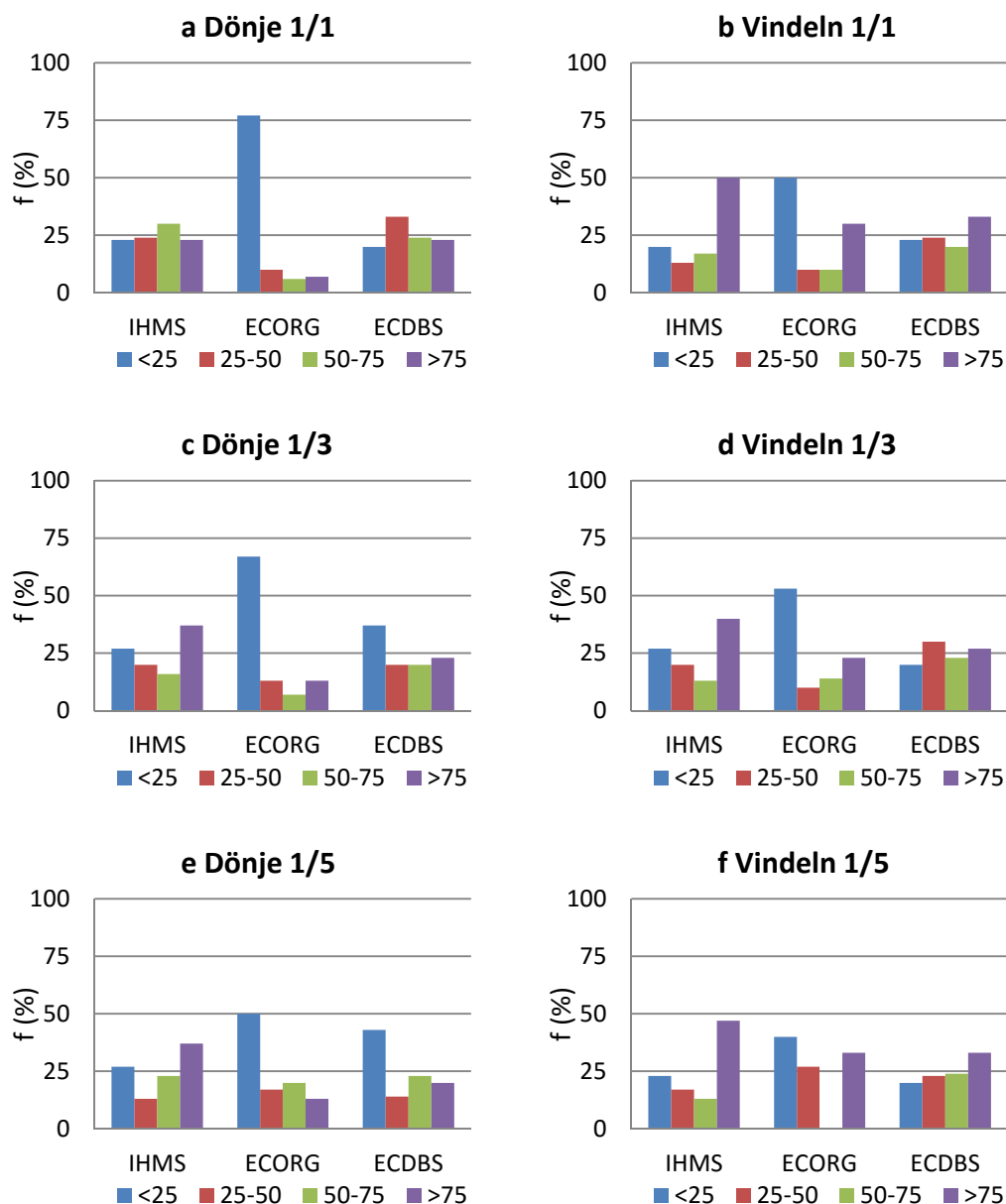


Figur 9 Medelfel MAE (m^3) för vårfloidsprognoser genererade med IHMS samt okorrigerade (EC_{ORG}) och korrigerade (EC_{DBS}) ECMWF-prognoser.

Figur 10 visar resultatet från utvärderingen av spridningen i ensemblerna från de olika prognostyperna. Resultaten visas enbart för älvarnas utlopp i Dönje och Vindeln; resultatet för den andra stationen i varje älv är likartat.

För Dönje visar IHMS ett nästan helt korrekt resultat för 1/1-prognosen (Figur 10a), med ~25% av observationerna inom varje intervall. För 1/3- och 1/5-prognoserna hamnar för få observationer mellan kvartilerna, vilket alltså betyder att spridningen är för liten (Figur 10c,e). I EC_{ORG} hamnar observationerna alldeles för ofta i intervallet "<25" (Figur 10a,c,e), d.v.s. prognoserna överskattar kraftigt Q_{VF} vilket var uppenbart också från bias-analysen (Tabell 5). Efter bias-korrigerings blir kvaliteten på spridningen i EC_{DBS} likartad den i IHMS.

I Vindeln hamnar IHMS observationerna för samtliga prognostillfällen för ofta i intervallet ">75" (Figur 10b), i linje med den systematiska underskattning som tidigare konstaterats (Tabell 5). I EC_{ORG} är spridningen tydligt underskattad men efter bias-korrigerings blir spridningen nästan helt korrekt och tydligt bättre än för IHMS (Figur 10d,f).



Figur 10 Frekvens f (%) av observationer mellan olika percentiler i vårfloedsprognoser genererade med IHMS samt okorrigerade (ECORG) och korrigerade (ECDBS) ECMWF-prognoser.

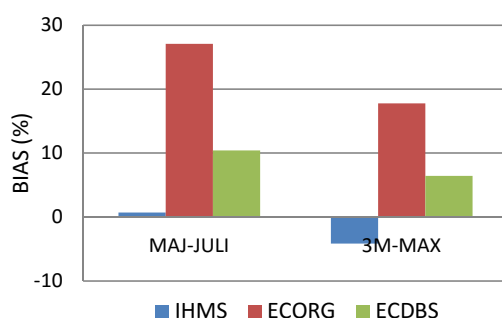
Såsom beskrivits ovan definierades vårfloidsperioden som maj-juli både i Vindelälven och i Ljusnan, trots att april-juni är en mera relevant period för Ljusnan. En fråga är om och i så fall hur detta påverkade resultaten. I en analys gjordes utvärderingen av 1/1- och 1/3-prognoserna för Ljusnan om med april-juni som vårfloidsperiod. Resultaten (Tabell 6Fel! Ogiltig självreferens i bokmärke.) visar att inte heller med denna vårfloidsperiod är ECMWF-prognoserna bättre än IHMS-prognoserna, d.v.s. valet av period hade ingen större betydelse.

Tabell 6 Bias B (%) och medelfel MAE (%) för vårflodsprognoser i Ljusnan genererade med IHMS samt okorrigerade (EC_{ORG}) och korrigerade (EC_{DBS}) ECMWF-prognoser. Vårflodsperiod: april-juni.

SFV bias		SFV Bias B		SFV MAE	
		Svegsjön	Dönje	Svegsjön	Dönje
1/1	IHMS	-5.3	-2.9	15.0	19.8
	EC _{ORG}	30.01	32.0	33.0	35.6
	EC _{DBS}	6.0	8.5	22.9	23.5
1/3	IHMS	-3.7	-2.2	15.5	20.7
	EC _{ORG}	22.2	24.0	25.9	31.2
	EC _{DBS}	12.1	9.1	20.4	25.3

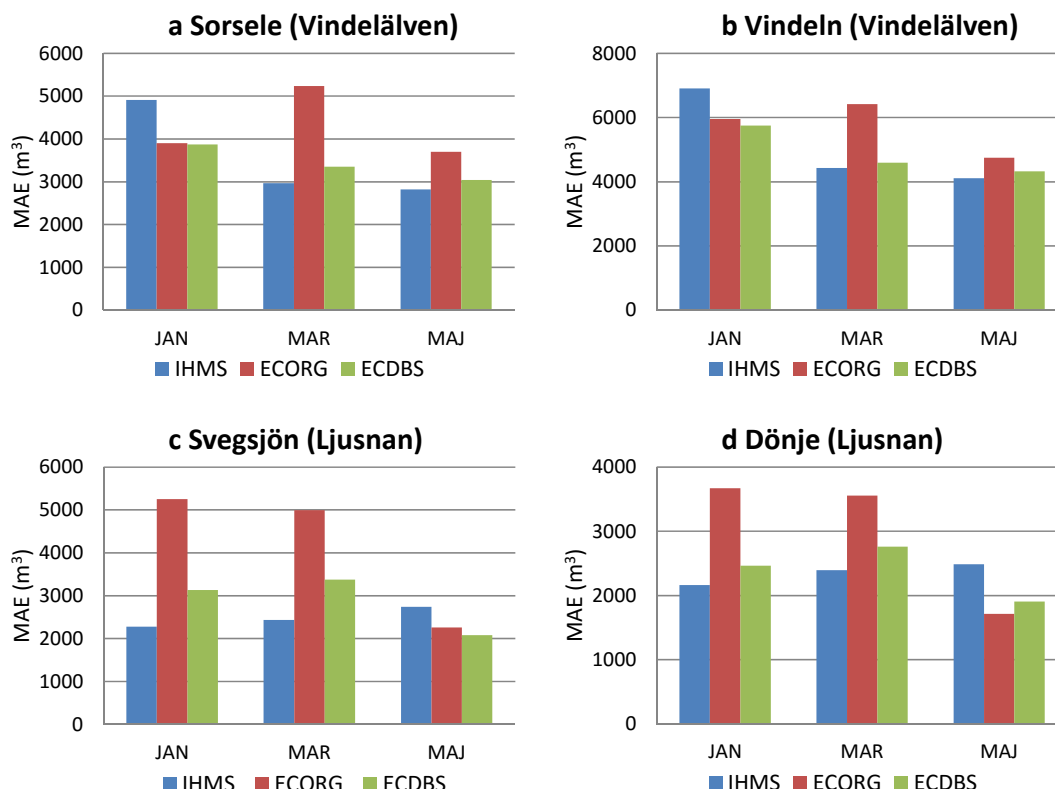
4.2.2 Glidande tidsfönster (3 månader)

Figur 11 visar genomsnittlig bias, medelvärdesbildat över samtliga stationer och prognostillfällen, för de olika prognostyperna, med vårflodsperioden definierad både som maj-juli och som den 3-månadersperiod med maximal ackumulerad tillrinning Q_{VF} . Värdena för kategori MAJ-JULI är medelvärdesbildade från värdena i Tabell 5.



Figur 11 Genomsnittlig Bias B (%) i Q_{VF} beräknad i intervallet maj-juni (MAJ-JUNI) samt i 3-månadersintervallet med maximal Q_{VF} (3M-MAX) för vårflodsprognoser genererade med IHMS samt okorrigerade (EC_{ORG}) och korrigerade (EC_{DBS}) ECMWF-prognoser.

Med utvärdering för maj-juli har IHMS en obetydlig positiv bias men med utvärdering för maximal Q_{VF} -period sker en underskattning på ~4%. EC_{ORG} hade en väldigt kraftig positiv bias i Ljusnan, vilken delvis visade sig bero på att den prognoserade vårfloden inträffade senare än den observerade. Därav hamnade en större andel av vårfloden inom maj-juli-fönstret än i observationerna. Utvärdering för maximal Q_{VF} -period visar en fortsatt positiv bias men avsevärt lägre (ungefär hälften så stor för enbart Ljusnan). Den återstående överskattningen i Ljusnan antas bero på överskattad nederbörd samt modellvolymfel.



Figur 12 Medelfel MAE (m^3) i Q_{VF} beräknad i 3-månadersintervallet med maximal Q_{VF} (3M-MAX) för vårfloidsprognoser genererade med IHMS samt okorrigerade (EC_{ORG}) och korrigerade (EC_{DBS}) ECMWF-prognoser.

Inverkan av utvärderingsperioden på medelfelet MAE visas i Figur 12, som alltså ska jämföras med Figur 9 där utvärdering görs för maj-juli. Resultaten är totalt sett likartade, vilket tyder på att vilken period som används för att definiera vårfloiden har mindre betydelse för detta utvärderingsmått.

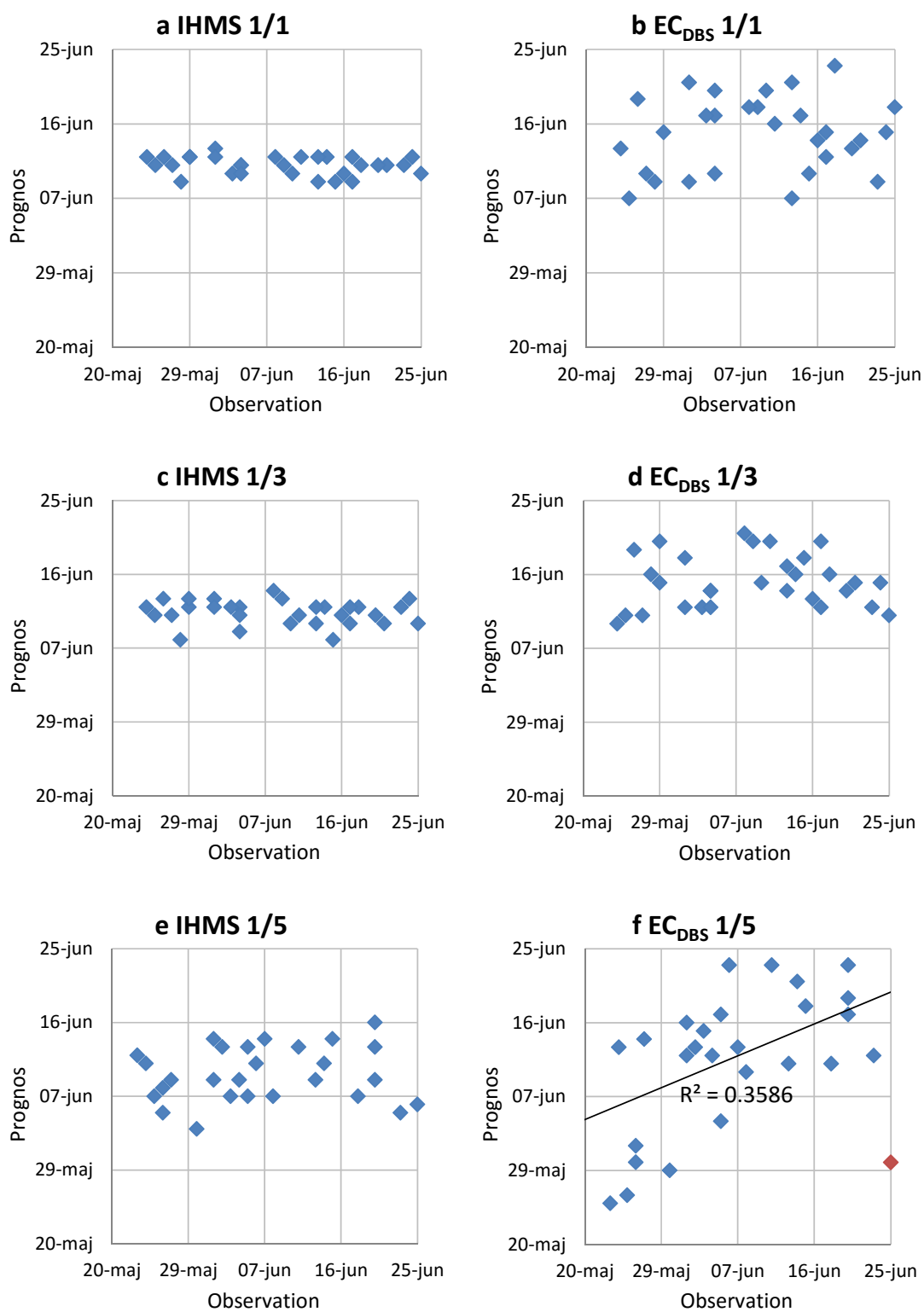
4.2.3 Vårflodens tidpunkt

Figur 13 visar plottar av observerad mot prognoserad (med IHMS och EC_{ORG}) tidsmässig tyngdpunkt T_{VF} för vårfloiden i Vindeln. Observerad T_{VF} ligger i perioden 25 maj till 25 juni med medelvärdet 8 juni. Eftersom IHMS är klimatologisk kommer den alltid att förutsäga att tyngdpunkten kommer att inträffa nära det observerade medelvärdet (Figur 13a,c,e). Att spridningen ökar ju närmare vårfloiden prognosen utfärdas är en effekt av att initialtillståndet i modellen får allt större betydelse jämfört med väderutvecklingen.

I EC_{DBS} finns en tydligt större spridning i den prognoserade tyngdpunkten T_{VF} . I 1/1- och 1/3-prognoserna finns emellertid inget samband med den observerade tidpunkten och dessutom förutsägs T_{VF} i genomsnitt inträffa c:a 1 vecka senare än den observerade medeltidpunkten 8 juni (Figur 13b,d). Detta kan ha olika förklaringar. Som visats i Tabell 2 finns kvarstår en del överskattning av nederbörd efter bias-korrigeringen, vilken kan leda till ett för tjockt snötäcke vid vårfloiden start och därmed en mera utdragen vårflojd. En annan faktor kan vara skaleffekter; att lokala klimatgradienter inte representeras fullt ut med den rumsliga upplösning som används i ECMWF-prognoserna.

I 1/5-prognosen finns emellertid ett någorlunda starkt samband (Figur 13f). Detta indikerar alltså att man den 1/5 med någorlunda säkerhet kan avgöra ifall vårfloden kommer att ha sitt maximum en eller två månader senare genom att använda bias-korrigerade ECMWF-prognoser.

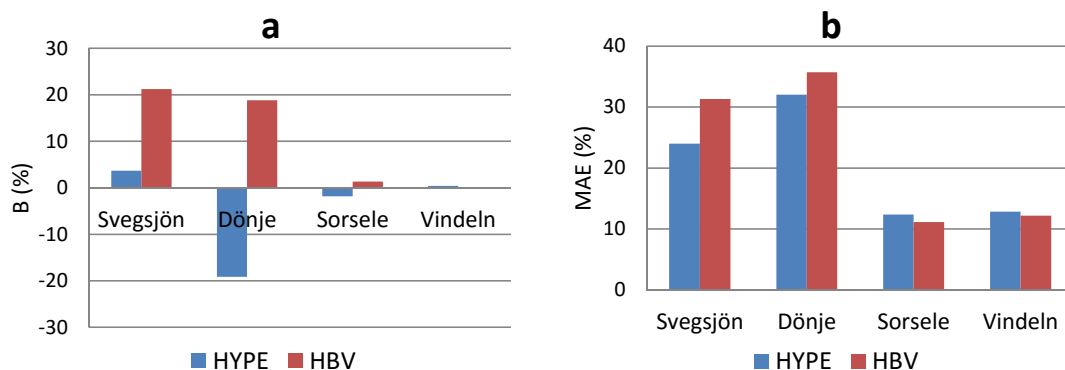
Generellt är T_{VF} mindre väldefinierat i Ljusnan än i Vindelälven p.g.a. vårflodens kraftigare tidsmässiga variabilitet, förekomsten av dubbla toppar, etc. Resultaten för Ljusnan är dock principiellt likartade de som redovisats för Vindelälven i Figur 14, med skillnaden att T_{VF} i genomsnitt inträffar c:a en månad tidigare. Som tidigare nämnts medför detta att 1/5-prognoserna har ett begränsat värde, då vårfloden ofta redan kommit igång vid denna tidpunkt.



Figur 13 Observerad tidsmässig tyngdpunkt T_v i Vindelälven plottad mot T_v prognoserad med IHMS (a,c,e) och korregerade ECMWF-prognoser (b,d,f). I (f) användes inte den röda punkten i den linjära regressionen.

4.3 HYDROLOGISKA PROGNOSE MED S-HYPE

En jämförelse mellan HBV och S-HYPE, båda drivna med bias-korrigerade ECMWF-prognoser i perioden 1981-2010, visas i Figur 14. Resultatet har medelvärdesbildats över samtliga tre prognostillfällen; skillnader mellan prognostillfällen i S-HYPE-resultaten är överlag likartade de för HBV som visats i Tabell 5 och Figur 9.



Figur 14 Bias B (%) (a) och medelfel MAE (m³/s) (b) för vårfloppsprognoserna genererade med HBV och S-HYPE, i båda fallen med korrigerade ECMWF-prognoser som indata.

Överlag är träffsäkerheten likartad i prognoserna de båda modellerna. Den största skillnaden syns för bias B i Svegsjön, vilken är avsevärt lägre i S-HYPE än i HBV (Figur 14a). I Dönje har modellerna likartad bias men med omvänt tecken. I Vindelälven har båda modellerna endast en marginell bias. Vad gäller medelfel MAE är detta för Ljusnan ~6 procentenheter lägre i S-HYPE än i HBV emedan det för Vindelälven är ~1 procentenhet lägre i HBV (Figur 14b). Någon mera ingående analys av orsaker till skillnaderna har inte varit möjlig inom projektets resurser, men rekommenderas för framtida studier.

I en mindre analys testades hypotesen att ett medelvärde av HBV och S-HYPE skulle ge en bättre prognos än de båda enskilda modellerna. Men eftersom de båda modellerna ofta ger ett tämligen likartat resultat blev effekten av detta angrepp begränsat och det kombinerade resultat likartat de enskilda modellernas.

5 Slutord

De huvudsakliga resultaten från projektet kan sammanfattas enligt följande.

- Säsongsprognoserna från ECMWFs System 4 för norra Sverige har i perioden januari-juli en överskattad nederbörd med ~10% (~20% i april-maj) och en underskattad temperatur med ~1°C (på månadsbasis). Genom bias-korrigeringsmetoden kunde bias i nederbörd minskas till ~3% och bias i temperatur helt elimineras.
- Månadsmedeltemperatur och månadsmedelnederbörd kan förutsägas med god (temperatur) eller någorlunda (nederbörd) träffsäkerhet för månaden direkt efter prognostillfället; därefter är träffsäkerheten låg.
- HBV-prognoser för Vindelälven: Redan okorrigerade ECMWF-prognoser gav ett något bättre resultat än dagens IHMS-procedur. Med bias-korrigeringsmetod förbättras resultatet ytterligare, både i termer av vårflodens bias, medelfel (särskilt för tidig prognos) och ensemble-spridning. Med någorlunda säkerhet kan även vårflodens tidpunkt förutsägas den 1/5.
- HBV-prognoser för Ljusnan: Okorrigerade ECMWF-prognoser ger ett avsevärt sämre resultat än IHMS. Med bias-korrigeringsmetod förbättras resultatet markant, dock utan att utgöra någon förbättring jämfört med IHMS.
- HBV vs. S-HYPE: Med bias-korrigerade ECMWF-prognoser är träffsäkerheten i de båda modellerna totalt sett likartad. S-HYPE går något bättre i Ljusnan medan det är tvärtom i Vindelälven.

Resultaten är något svårtolkade eftersom de skiljer sig så mellan de båda älvarna. Resultaten för Vindelälven indikerar ett tydligt mervärde av de bias-korrigerade ECMWF-prognoserna i alla aspekter, jämfört med dagens klimatologiska procedur, vilket borde kunna utnyttjas inom vattenkraftproduktionen. De svagare resultaten för Ljusnan har troligen olika orsaker. En är vårflodens kraftigare variabilitet, som är kopplad till temperaturvariationer både innan vårflodens start (som leder till tillfälliga avsmältningar) och under vårflodsperioden (som kan leda till perioder med avstannad avsmältning, dubbla flödestoppar, etc.). Tillkommer gör större osäkerheter i både bias-korrigeringen och den hydrologiska modellen (t.ex. regleringsrutinerna) i Ljusnan.

Att S-HYPE-prognoserna uppnår samma träffsäkerhet som HBV indikerar att den mera generella kalibreringen i S-HYPE fungerar väl för vårflodsprognoser.

Den utvärderade metodiken kommer att användas tillsammans med ett antal andra angrepp i en för-operationell prototyp för förbättrade vårflodsprognoser som färdigställs vid SMHI under 2015.

6 Tackord

Varma tack till Gitte Berglöv, Henrik Spångmyr och Jörgen Rosberg för hjälp med olika delar av beräkningarna.

7 Referenser

- Arheimer, B., Lindström, G., and Olsson, J.: A systematic review of sensitivities in the Swedish flood-forecasting system, *Atmos. Res.*, 100, 275-284, 2011.
- Berg, P., Feldmann, H., and Panitz, H.-J.: Bias correction of high resolution regional climate model data, *J. Hydrol.*, 448, 80-92, 2012.
- Day, G.: Extended streamflow forecasting using NWSRFS, *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 111, 157-170, 1985.
- Garen, D.: Improved techniques in regression-based streamflow volume forecasting, *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 118, 654-670, 1992.
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M., and Bergström, S.: Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model, *J. Hydrol.*, 201, 272-288, 1997.
- Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., Strömqvist, J., and Arheimer, B.: Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales, *Hydrol. Res.*, 41, 295-319, 2010.
- Olsson, J., Uvo, C. B., Foster, K., Yang, W., Södling, J., German, J., and Johansson, B.: A multi-model system for spring flood forecasts, *Elforsk Rapport 11:72*, The Swedish Electrical Utilities R&D Company, Stockholm, 29 pp., 2011.
- Pagano, T. C., Garen, D. C., Perkins, T. R., and Pasteris, P. A.: Daily updating of operational statistical seasonal water supply forecasts for the western U.S., *J. Am. Water Resour. As.*, 45, 767-778, 2009.
- Shukla, S. and Lettenmaier, D. P.: Seasonal hydrologic prediction in the United States: understanding the role of initial hydrologic conditions and seasonal climate forecast skill, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 3529-3538, doi:10.5194/hess-15-3529-2011, 2011.
- Wood, A. W., Maurer, E. P., Kumar, A., and Lettenmaier, D.: Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States, *J. Geophys. Res.*, 107, 4429, doi:10.1029/2001JD000659, 2002.
- Yang, W., Andréasson, J., Graham, L. P., Olsson, J., Rosberg, J., and Wetterhall, F.: Distribution-based scaling to improve usability of regional climate model projections for hydrological climate change impact studies, *Hydrol. Res.*, 41, 211-229, 2010.

KORREKTION AV SYSTEMATISKA FEL I METEOROLOGISKA PROGNOSE

Den metodik som idag används vid SMHI för vårflodsprognoser är klimatologisk, d.v.s. den antar att väderutvecklingen under vårflodsperioden blir normal. Med detta antagande kommer prognoserna att bli sämre under år med väder som avviker från det normala.

Meteorologiska säsongsprognoser kan potentiellt förbättra vårflodsprognoserna. I projektet har denna potential testats i Vindelälven och Ljusnan. Studien visar på möjligheter till förbättrade vårflödesprognoser för Vindelälven men inte för Ljusnan.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk