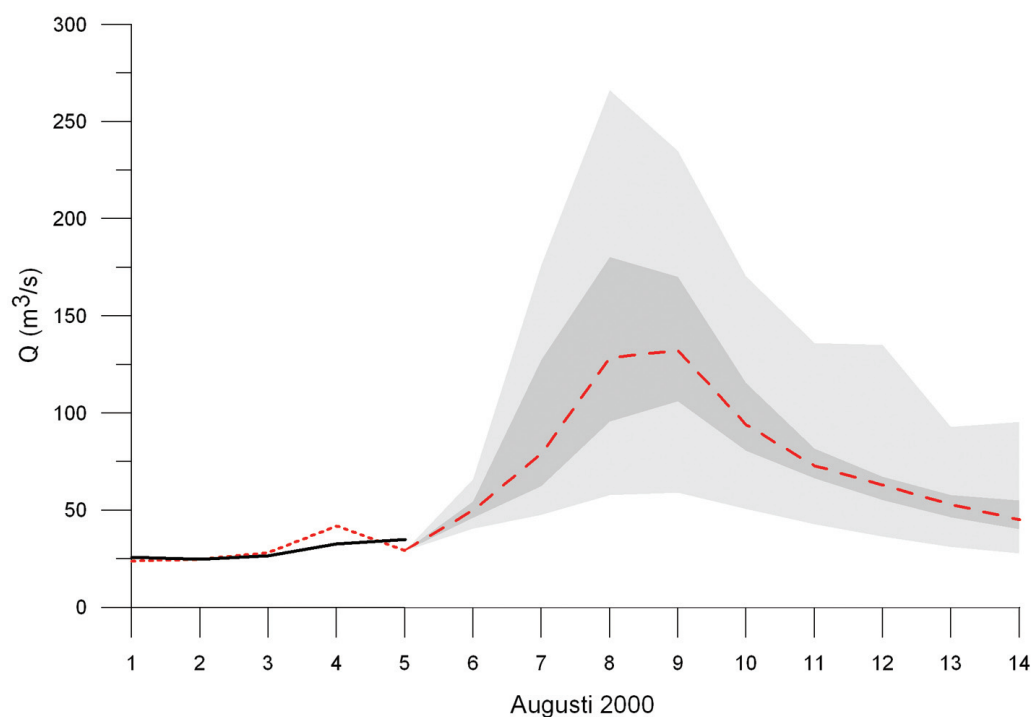




Hydrologiska ensembleprognoser

Jonas Olsson, Göran Lindström, Anna Johnell
och Karin Jacobsson

Hydrologiska ensembleprognoser

Jonas Olsson, Göran Lindström, Anna Johnell och Karin Jacobsson

Report Summary / Rapportsammanfattning

Issuing Agency/Utgivare Swedish Meteorological and Hydrological Institute S-601 76 NORRKÖPING Sweden		Report number/Publikation RH No. 21
Author (s)/Författare Jonas Olsson, Göran Lindström, Anna Johnell och Karin Jacobsson		Report date/Utgivningsdatum December 2006
Title (and Subtitle)/Titel Hydrological ensemble forecasts / Hydrologiska ensembleprognoser		
Abstract Since July 2004, a system for hydrological ensemble forecasting has been operational at SMHI. The system uses meteorological ensemble forecasts of precipitation and temperature from ECMWF as input to the hydrological HBV model, which generates an ensemble of discharge forecasts. In this report, the hydrological ensemble prediction system (EPS) is firstly described, along with some general features of the forecasts. Some preparatory analyses of the ECMWF meteorological forecasts and spring flood EPS forecasts are made. The main part of the report is an evaluation of 18 months of 9-day hydrological ensemble forecasts in 45 Swedish catchments. In the deterministic evaluation, the EPS median forecast is compared with the categorical PMP forecast. The results indicate an overall similar performance of the two forecast types. It is also shown that the spread of the EPS forecasts is related to the forecast error. In the probabilistic evaluation, the accuracy of probabilities calculated from the EPS spread is investigated. A percentile-based evaluation shows that the spread is underestimated. A threshold-based evaluation shows that the probability of exceeding some high discharge threshold level is overestimated. Finally, a simple method to correct the EPS spread is developed and tested, and different ways to present EPS forecasts are discussed.		
Sammandrag Sedan juli 2004 finns ett operationellt system för hydrologiska ensembleprognoser vid SMHI. Systemet använder meteorologiska ensembleprognoser för nederbörd och temperatur från ECMWF som indata till HBV-modellen, vilket genererar en ensemble av flödesprognoser. I denna rapport beskrivs inledningsvis detta system, kallat EPS (<i>ensemble prediction system</i>), tillsammans med några allmänna egenskaper hos prognoserna. Vissa förberedande analyser görs av dels de meteorologiska prognoserna från ECMWF, dels EPS vårflödesprognoser. Huvuddelen av rapporten är en utvärdering av 18 månaders 9-dygns hydrologiska ensembleprognoser i 45 avrinningsområden i Sverige. I den deterministiska utvärderingen jämförs EPS medianprognos med den kategoriska PMP prognosen. Resultaten visar på en likartad tillförlitlighet i de båda prognostyperna. Det visas också att EPS-prognosernas spridning är kopplad till prognosfelet. I den sannolikhetsbaserade utvärderingen undersöks noggrannheten av sannolikheter beräknade från EPS-spridningen. En percentilbaserad utvärdering visar att spridningen är underskattad. En tröskelbaserad utvärdering visar att sannolikheten att flödet överstiger en hög tröskelnivå är överskattad. Avslutningsvis utvecklas och testas en enkel metod för att korrigera EPS-spridningen, samt diskuteras olika sätt att presentera EPS prognoser.		
Key words/sök-, nyckelord Ensembleprognoser, EPS, sannolikhetsprognoser, flödesprognoser.		
Supplementary notes/Tillägg	Number of pages/Antal sidor 63	Language/Språk Swedish / Svenska
ISSN and title/ISSN och titel ISSN-0283-1104 SMHI Reports Hydrology		
Report available from/Rapporten kan köpas från: SMHI S-601 76 NORRKÖPING Sweden		

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING.....	1
2	ENSEMBLEPROGNOSER: SYSTEM OCH ANALYSERAT DATAMATERIAL	2
2.1	METEOROLOGISKA ENSEMBLEPROGNOSER VID ECMWF	2
2.2	HYDROLOGISKA ENSEMBLEPROGNOSER VID SMHI	5
2.3	ANALYSERAT DATAMATERIAL	6
3	HYDROLOGISKA ENSEMBLEPROGNOSER: ETT EXEMPEL	9
4	UTVÄRDERING AV ENSEMBLEPROGNOSER.....	13
4.1	DETERMINISTISK UTVÄRDERING	14
4.2	SANNOLIKHETSBASERAD UTVÄRDERING	15
4.3	REFERENSFLÖDEN.....	17
5	RESULTAT: UTVÄRDERING AV NEDERBÖRD OCH TEMPERATUR	19
5.1	NEDERBÖRD.....	20
5.2	TEMPERATUR	22
6	RESULTAT: VÄRFLÖDET 2005.....	24
7	RESULTAT: DETERMINISTISK UTVÄRDERING AV VATTENFÖRING.....	27
7.1	FÖRHÅLLET MELLAN SPRIDNING OCH UTFALL (<i>SPREAD-SKILL</i>)	35
8	RESULTAT: SANNOLIKHETSBASERAD UTVÄRDERING AV VATTENFÖRING	37
8.1	PERCENTILBASERAD UTVÄRDERING	37
8.2	TRÖSKELBASERAD UTVÄRDERING	42
9	TOLKNING OCH PRESENTATION AV ENSEMBLEPROGNOSER	47
9.1	KORRIGERING AV ENSEMBLEPROGNOSERNAS SPRIDNING	48
9.2	PRESENTATION AV ENSEMBLEPROGNOSER.....	54
10	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER	59
11	REKOMMENDATIONER FÖR FORTSATT UTVECKLING	61
12	TACKORD	62
13	REFERENSER.....	62

1 Inledning

HBV-modellen utvecklades på 1970-talet för hydrologiska prognoser och varningar [1]. De första operationella prognoserna gjordes 1975 i övre Ångermanälven. Metodiken för hydrologiska prognoser med HBV-modellen har därefter inte förändrats nämnvärt. Indata till den hydrologiska prognosmodellen är prognoser över kommande nederbörd och temperatur. Prognoserna delas traditionellt in i korttidsprognoser och långtidsprognoser.

Korttidsprognoserna sträcker sig ungefär en vecka framåt och baseras på resultat från numeriska vädermodeller. Eftersom tillförlitligheten i den meteorologiska prognosen är väldigt låg efter ungefär 10 dygn, används vid långtidsprognoser uppmätt väder från tidigare år. Normalt används alla tillgängliga tidigare väderutvecklingar och en statistisk bearbetning görs därefter.

Korttidsprognoserna som används är vanligen kategoriska, d.v.s. endast den väderutveckling simuleras som anses mest sannolik. Ibland kan dock ett antal alternativa utvecklingar användas, t.ex. ett alternativ med högre temperatur och ett med lägre temperatur under snösmältningen. Det är mycket svårt att därur bedöma exempelvis sannolikheten för att man skall nå upp till en kritisk flödesnivå under den kommande veckan. Dessa svagheter blev påtagliga i samband med översvämningarna under åren 2000 och 2001, inte minst vid bedömningen av Vänerns vattenstånd.

Eftersom atmosfären är icke-linjär (kaotisk) kan små skillnader i utgångstillstånd leda till helt olika utvecklingar på 5-10 dygns sikt. Detta är naturligtvis ett problem vid atmosfärisk modellering och meteorologiska prognoser, eftersom beskrivningen av atmosfärens initialtillstånd alltid är behäftad med osäkerheter. Den resulterande prognosen kan sålunda enbart ses som en av många tänkbara utvecklingar, inte nödvändigtvis den mest sannolika. Ett sätt att beakta atmosfärens icke-linjära natur är att producera s.k. ensembleprognoser. Genom att göra ett antal modellkörningar och före varje körning göra väl avvägda förändringar i atmosfärens initialtillstånd, erhålls en ensemble av möjliga utvecklingar. Dessa kan bearbetas statistiskt och omvandlas till sannolikheter för olika händelser, t.ex. nederbörd över ett visst tröskelvärde. Redan ur ensembleprognosernas spridning kan vissa slutsatser dras; är spridningen liten bör prognosen kunna betecknas som relativt säker, och vice versa. De viktigaste fördelarna med ensembletekniken är att man får relativt långa prognoser och att man fångar upp flera tänkbara väderutvecklingar som kan bli följden av ungefär samma starttillstånd i den meteorologiska modellen.

Ensembleprognoser har sedan en tid tillbaka utfärdats rutinmässigt vid meteorologiska institut, men har ännu i enbart liten utsträckning använts operationellt för hydrologiska prognoser och inte heller utvärderats vetenskapligt i någon större omfattning. De Roo m.fl. [2] använde ensembleprognoser som en del i ett Europeiskt system för översvänningsprognoser (EFFS), samt visade några fallstudier. Roulin och Vannitsem [3] utvärderade hydrologiska

ensembleprognoser i två Belgiska avrinningsområden och fann att de hade avsevärt högre träffsäkerhet än prognoser baserade på historisk nederbörd. Gouweleeuw m.fl. [4] utvärderade EFFS-systemet för två översvämningstillfällen (floderna Meuse och Odra) och konstaterade bl.a. att utvärdering av ensembleprognoser måste omfatta en lång tidsperiod med olika flödesnivåer. Pappenberger m.fl. [5] studerade Meuse-fallet genom att addera den osäkerhet som är kopplad till den hydrologiska modellen. Werner m.fl. [6] utvärderade EFFS-systemet för ett översvämningstillfälle i Rhen 1995 och föreslog en typ av presentation som kombinerar dagens ensembleprognoser med tidigare prognoser för att ge en bättre överblick över den förväntade utvecklingen. Roulin [7] undersökte hur ekonomiska överväganden kan kombineras med ensembleprognoser för att förbättra beslut vid översvämningssituationer.

I denna rapport redovisas resultaten från en utvärdering av 18 månaders dagliga 9-dygns ensembleprognoser i 45 avrinningsområden över hela Sverige. Detta är det största material som hydrologiska ensembleprognoser på denna tidsskala hittills har utvärderats för, åtminstone i Europa. Detta material beskrivs i kapitel 2, tillsammans med det system som kör de meteorologiska ensembleprognoserna genom den hydrologiska HBV-modellen. I kapitel 3 visas ett exempel på hydrologiska ensembleprognoser, och de utvärderingsmetoder som använts beskrivs i kapitel 4. Därefter följer några förberedande, kompletterande utvärderingar av de meteorologiska ensembleprognoserna (nederbörd och temperatur; kapitel 5) och vattenföringen under vårflödesperioden 2005 i tre områden (kapitel 6). De fullständiga resultaten från utvärderingen av de hydrologiska ensembleprognoserna redovisas i kapitel 7 och 8. Tolkning och presentation av ensembleprognoser behandlas i kapitel 9, i kapitel 10 dras några slutsatser och slutligen diskuteras i kapitel 11 hur de hydrologiska ensembleprognoserna kan utvecklas vidare.

2 Ensembleprognoser: system och analyserat datamaterial

Systemet för hydrologiska ensembleprognoser vid SMHI är baserat på meteorologiska ensembleprognoser från ECMWF, *European Centre for Medium-range Weather Forecasts*. I detta kapitel beskrivs detta system samt det datamaterial som extraherats och analyserats.

2.1 Meteorologiska ensembleprognoser vid ECMWF

Vid ECMWF i Reading, Storbritannien, har ensembleprognoser utfärdats operationellt i snart 15 år. Femtio oberoende 10-dygns ensembleprognoser (s.k. ensemblemedlemmar) utfärdas två gånger dagligen vid ECMWF:s *Ensemble Prediction System* (EPS). Ensembleprognoserna är baserade på förändringar i det initiella atmosfärstillståndet, jämfört med den operativa deterministiska prognos som ECMWF utfärdar. Förändringarna eller störningarna av initialtillståndet är baserade på en matematisk metod kallad singulära vektorer. Principen är att identifiera de mest instabila regionerna av atmosfären, i vilka små skillnader i tillstånd

skulle få störst effekt på en prognos. De femtio ensemblemedlemmarna utgörs av resultaten från 25 ursprungliga störningar, och 25 ytterligare för vilka de ursprungliga 25 vektorerna ”spegelvänts” genom att man ändrat störningarnas tecken. De slutliga prognoserna är rumsligt oberoende och antas vanligen vara av samma sannolikhet.

Det stora antalet ensembleprognoser medför att beräkningsbördan blir så stor att dessa måste beräknas med ungefär halva den horisontella upplösning (c:a 60×60 km) som används för den operativa deterministiska prognosen. Eftersom en grövre rumsupplösning används kan dessutom ett längre tidssteg användas. I den grövre upplösningen görs även en s.k. kontrollprognos, för vilken initialtillståndet inte förändrats jämfört med den deterministiska.

De resulterande ensembleprognoserna presenteras ofta som s.k. EPS meteogram, som visar medelvärden och spridningsmått för olika meteorologiska variabler och prognosdygn. Ett sådant visas som exempel för området kring Kultsjön i övre Ångermanälven i Figur 1. Dessutom kan ensemblemedlemmar med liknande egenskaper samlas i ”kluster” som representerar olika väderutvecklingar av olika sannolikhet. Tekniken med ensembleprognoser beskrivs utförligare i t.ex. [8] och [9]. Det ekonomiska värdet av ensembleprognoser har studerats av [10].

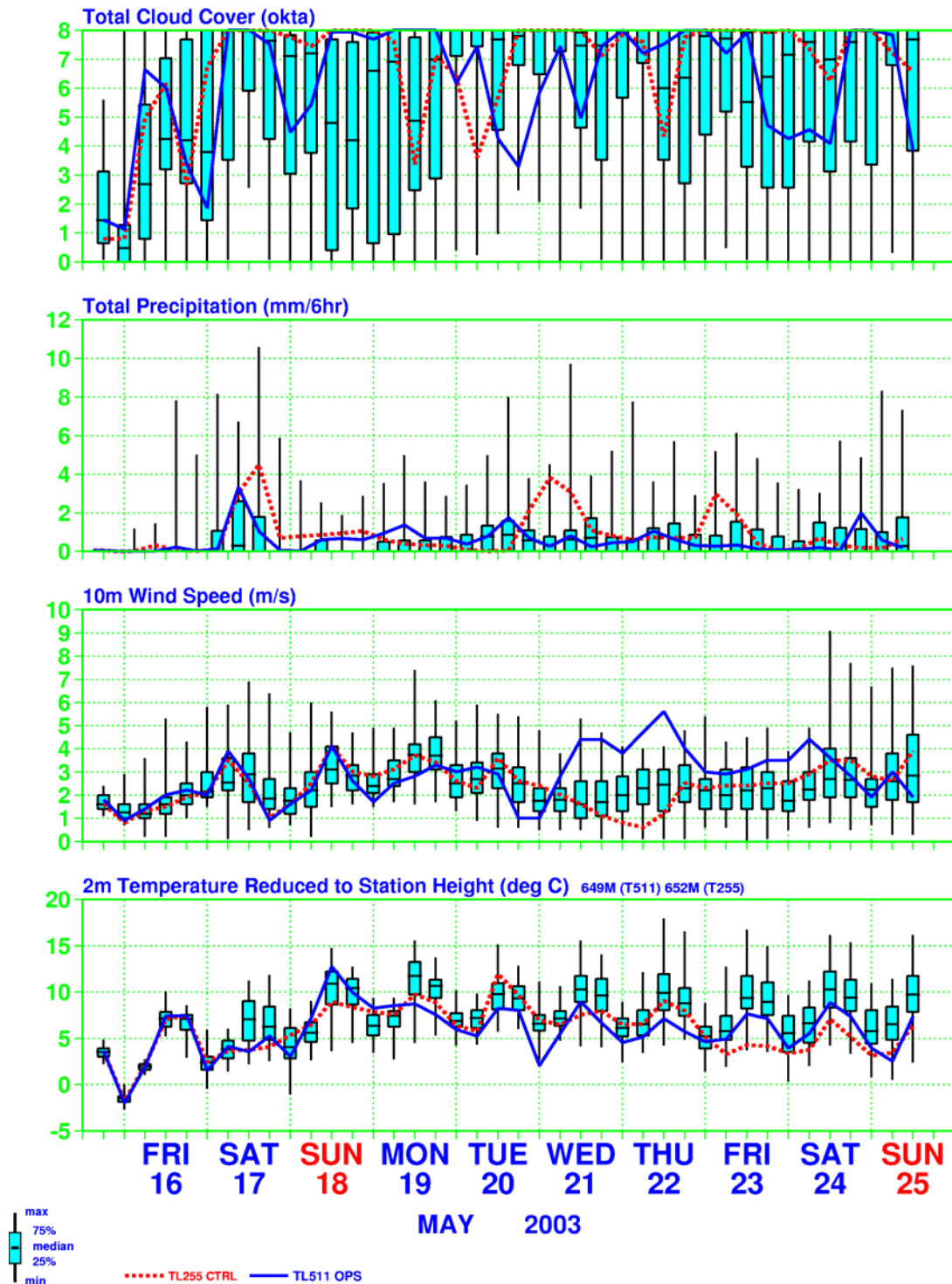
Det bör understrykas att de meteorologiska ensembleprognoserna är utvecklade främst för medellånga prognoser, alltså från ett par dagar, då den deterministiska prognosen normalt börjar bli osäker, upp till 1-2 veckor. Det kan därför inte förväntas att ensembleprognoserna är tydligt bättre än den deterministiska prognosen för de första dygnen av en prognos. Vidare är EPS-systemet vid ECMWF under kontinuerlig utvärdering varvid ny kunskap om dess effektivitet framkommer. T.ex. finns indikationer på att prognoskvaliteten hos de enskilda, ”störda” ensemblemedlemmarna är lägre än hos den ”ostörda” kontrollprognosen [11]. Systemet kommer att utvecklas vidare mot bakgrund av dessa och andra resultat från utvärderingen. En variant på ensembleprognoser är s.k. ”poor man’s ensemble”. Denna går ut på att nuvarande deterministisk prognos kombineras med deterministiska prognoser utfärdade en viss tid tillbaka, och p.s.s. skapas en ensembleprognos.

EPS Meteogram

Kultsjön 64.9° N 15.0° E

530M

Deterministic Forecasts and EPS Distribution 15 May 2003 12 UTC



Figur 1. EPS meteogram för området kring Kultsjön (65°N och 15°E) visande molnighet, nederbörd och temperatur under andra halvan av maj 2003. Ensembleprognoserna är framtagna med en modell med lägre upplösning än den kategoriska originalprognosen (T511).

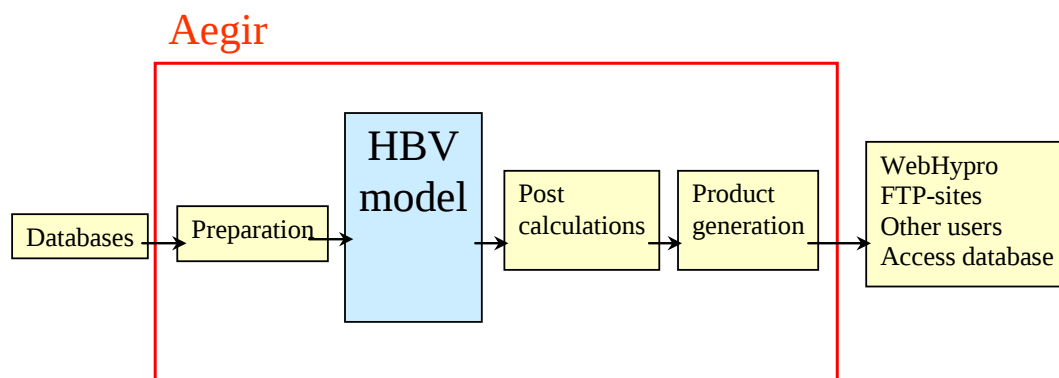
2.2 Hydrologiska ensembleprognoser vid SMHI

Ett uppenbart angreppssätt är att använda de meteorologiska ensemblemedlemmarna som indata till en kalibrerad hydrologisk modell, och på så sätt uppskatta den motsvarande spridningen av flödesutvecklingar. Vid SMHI används HBV-96-modellen för detta ändamål, se t.ex. [1] och [12]. I denna konceptuella hydrologiska modell används en grundläggande vattenbalansekvation som summerar volymen vatten i olika komponenter enligt

$$P - E - Q = \frac{d}{dt}[SP + SM + UZ + LZ + VL] \quad (1)$$

i vilken P betecknar nederbörd, E evapotranspiration, Q vattenföring, SP snötäcke, SM markfuktighet, UZ ett övre grundvattenmagasin, LZ ett lägre grundvattenmagasin och VL sjövolymen. De viktigaste indata är observationer av P och temperatur T. Modellen har subrutiner för interpolering av meteorologiska data, beräkning av ackumulering och smältning av snö, uppskattning av evapotranspiration, beräkning av markfuktighet och genererad vattenföring, samt för att koppla samman vattenföring från olika delavrinningsområden. Modellen är s.k. semidistribuerad vilket innebär att ett avrinningsområde kan delas in zoner med olika altitud och vegetationstyp. Modellen har ett antal fria parametrar vilka kalibreras genom en minimering av skillnaden mellan observerad och modellerad vattenföring.

Under sommaren 2004 driftsatte SMHI ett system för operationell användning av meteorologiska ensembleprognoser för att utfärda hydrologiska ensembleprognoser. I systemet sker hämtning av meteorologiska ensembleprognoser från ECMWF till produktionssystemet för hydrologiska prognoser, Aegir (Figur 2). Inom Aegir sker bearbetning av de meteorologiska prognoserna till en form lämplig som indata i HBV-modellen, d.v.s. ett medelvärde av P och T för varje delavrinningsområde och prognosdygn. Som värden för P och T ansätts värdena från den närmast belägna punkten i ECMWF:s EPS-modellgrid. Eftersom detta grid har upplösningen 60×60 km täcks ett delavrinningsområde nästan alltid av samma EPS-gridruta, varför ingen rumslig interpolering utförs.



Figur 2. System för automatiserade hydrologiska ensembleprognoser vid SMHI.

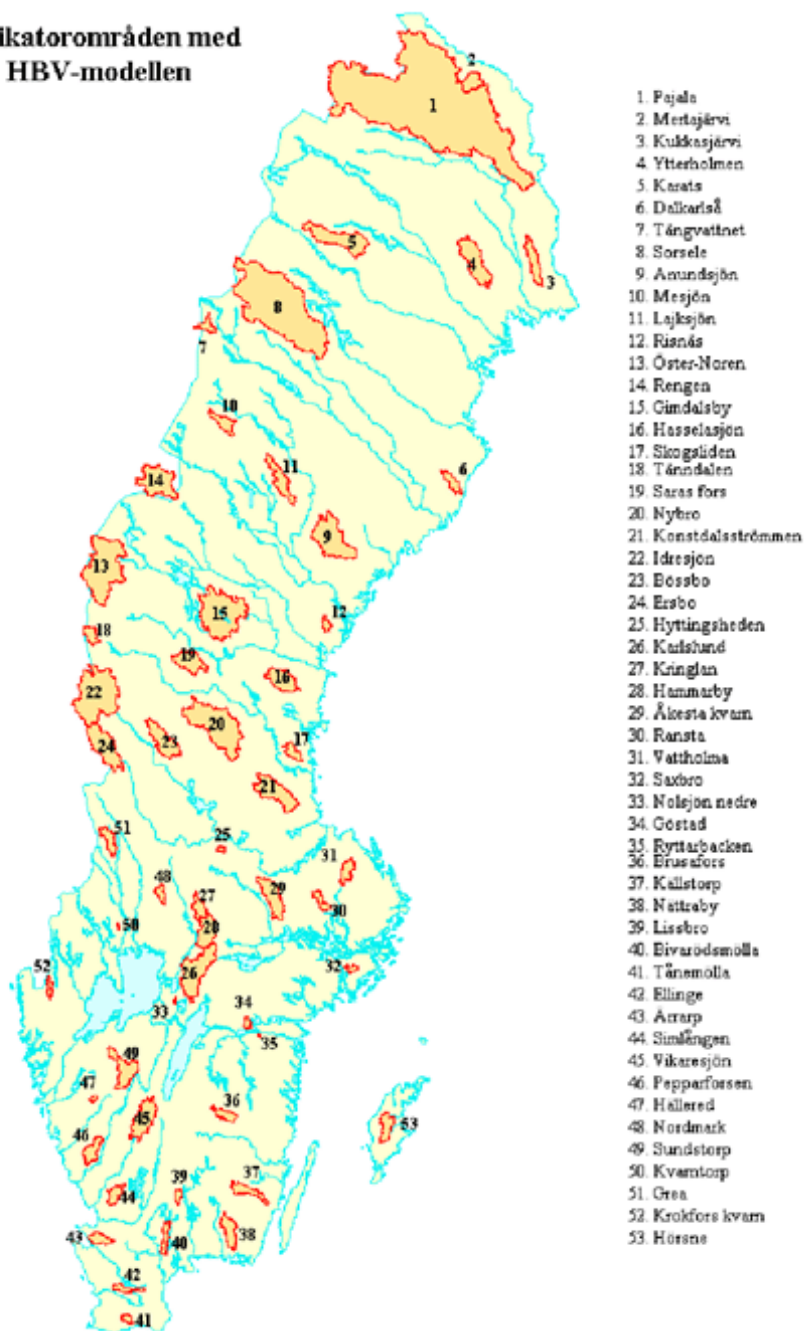
Därefter körs HBV-modellen med samtliga 51 prognoser (kontrollprognos + 50 ensemblemedlemmar) som indata för att generera hydrologiska ensembleprognoser, alltså vattenföring Q. Prognoserna uppdateras med den autoregressiva AR-metoden i vilken modellfelet, d.v.s. avvikelserna mellan modellerat och observerat flöde, för ett visst dygn i prognosen beskrivs som en funktion av modellfelet vid prognosens start (t.ex. [13] och [14]). De hydrologiska ensembleprognoserna bearbetas slutligen statistiskt (se kapitel 3 nedan) till produkter som lagras eller levereras vidare till andra system, exempelvis det grafiska gränssnittet för hydrologiska prognoser, WebHyPro. För utvärderingens skull lagras de meteorologiska ensembleprognoserna som textfiler och de hydrologiska ensembleprognoserna i en MS Access databas.

Ensembleprognoser utfärdas för drygt 50 s.k. indikatorområden i SMHI:s produktionssystem för dagliga automatiska vattenföringsprognoser (Figur 3). Resultaten för dessa områden används för att ge en indikation på den regionala hydrologiska situationen i främst små och medelstora vattendrag. De meteorologiska prognoserna gäller för 10 dygn framåt, men beroende på skillnaden i tidpunkt för prognosers utfärdande vid ECMWF respektive SMHI:s hydrologiska prognostjänst kan de första 12 timmarna i de meteorologiska prognoserna inte utnyttjas. Dessutom hämtas inte alla ECMWF-prognoser till SMHI utan endast ett urval. Mellan dessa är tidsavståndet inte är konstant, utan ökar med ökande prognoslängd. Generellt utfärdas prognoser i Aegir för 24-timmars perioder från 06:00, men för att kunna använda ECMWF-prognoserna i Aegir fick en speciallösning tillämpas, som leder till att dygn 5 i prognosen blir 30 timmar långt och att efterföljande dygn förskjuts 6 timmar framåt i tiden. Dygn 1-4 i prognosen gäller således 06:00-06:00, dygn 5 06:00-12:00 (30 timmar), och dygn 6-9 12:00-12:00. Totalt gäller prognoserna därför 9 dygn och 6 timmar framåt i tiden. Eftersom dagliga observationer av P, T, Q generellt gäller 06:00-06:00 är dessa inte helt jämförbara med prognoserna för dygn 5-9. Vad gäller P bör värdena dygn 5 ligga högre i prognoserna eftersom en längre ackumuleringsperiod används. Detsamma gäller T, eftersom medeltemperaturen 06:00-12:00 (30 timmar) är högre än medeltemperaturen 06:00-06:00 (24 timmar). För Q gäller att det medelvärdesbildats över en längre period i prognoserna, men någon systematisk skillnad jämfört med observationer är inte förväntad av denna orsak. För dygn 6-9 gäller för samtliga variabler att prognoser gällande 12:00-12:00 måste jämföras med observationer 6 timmar tidigare, 06:00-06:00. Detta har ingen inverkan för P och T eftersom dygnsmedelvärden av dessa variabler inte jämförs i denna studie. För Q jämförs dygnsmedelvärden, och denna jämförelse är således något missvisande eftersom olika perioder används.

2.3 Analyserat datamaterial

Det hydrologiska EPS-systemet vid SMHI togs i bruk i mitten av juli 2004 och föreliggande utvärdering startade i mitten av januari 2006. Därför är de flesta av resultaten nedan baserade

Indikatorområden med HBV-modellen



Figur 3. Indikatorområden vid hydrologiska varningstjänsten vid SMHI, för vilka hydrologiska ensembleprognoser utfärdas dagligen sedan sommaren 2004.

på c:a 18 månaders data. Vissa kompletterande analyser har även genomförts för data efter januari 2006.

Som nämnts körs EPS-systemet för över 50 indikatorområden (Figur 3). För vissa av dessa områden finns inga eller väldigt få observationer under utvärderingsperioden, dessa har således inte kunnat användas. I övriga områden finns variationer i HBV-modellens precision under perioden. I de allra flesta går modellen bra, i ett mindre antal sämre men acceptabelt,

Tabell 1. Egenskaper hos de utvärderade områdena: namn, nummer på karta (Figur 3), region, area (km²), normalt lägsta vattenföring under ett år (MLQ; m³/s), medelvattenföring (MQ; m³/s), normalt högsta vattenföring under ett år (MHQ; m³/s).

Område	Nr.	Region	Area	MLQ	MQ	MHQ
Gredeby	-	Götaland	450	0.2	3.3	13.8
Grea	51	Svealand	305	0.6	5	39
Krokfors Kvarn	52	Götaland	114	0.08	2.2	18.4
Ryttarbacken	35	Götaland	7.6	0.001	0.05	0.8
Pepparforsen	46	Götaland	386	0.7	7.7	43
Tånemölla	41	Götaland	93	0.08	0.87	6
Åkesta Kvarn	29	Svealand	730	0.55	5.9	29.6
Ersbo	24	Svealand	1101	5.3	25	200.7
Ransta	30	Svealand	198	0.13	1.7	12.2
Bivarödmölla	40	Götaland	215	0.12	2	12
Nordmark	48	Svealand	159	0.3	2.5	16.2
Brusafors	36	Götaland	236	0.25	1.8	8.9
Risnäs	12	Norrland	116	0.22	1.7	12.9
Källstorp	37	Götaland	344	0.15	2.4	14
Hörsne	53	Götaland	350	0.04	2.7	23.8
Dalkarlså	6	Norrland	250	0.15	2.6	34.5
Tännäddalen	18	Norrland	233	0.56	5.1	49.9
Tängvattnet	7	Norrland	197	0.55	7	53.2
Nolsjön Nedre	33	Götaland	18.2	0.003	0.17	1.3
Ellinge	42	Götaland	157	0.2	1.9	15.3
Kvarntorp	50	Svealand	11.1	0.004	0.13	0.8
Ärrarp	43	Götaland	268	0.7	3.7	23
Hyttingsheden	25	Svealand	49	0.03	0.78	9.3
Lissbro	39	Götaland	98	0.09	0.9	4.7
Göstad	34	Götaland	85	0.06	0.6	3.8
Hällered	47	Götaland	43	0.07	0.72	4.7
Sundstorp	49	Götaland	688	0.35	6.3	47.1
Mertajärvi	2	Norrland	370	0.85	4	33
Kukkasjärvi	3	Norrland	502	0.57	5.4	30
Ytterholmen	4	Norrland	1004	1.8	11.6	124.5
Karats	5	Norrland	1159	4.7	21	121.1
Sorsele	8	Norrland	6110	14.5	124	806
Anundsjön	9	Norrland	1449	3.8	15.2	98
Mesjön Övre	10	Norrland	315	1.2	8.7	
Lajksjön	11	Norrland	577	1.3	7.8	
Öster-Noren	13	Norrland	2389	6.6	64	350
Rengen	14	Norrland	1114	3.5	34	223
Gimdalsby	15	Norrland	2178	6.5	18.6	66
Hassela	16	Norrland	658	1.5	7.5	57.5
Konstdalsstr.	21	Norrland	994	2.7	10.5	
Idresjön	22	Norrland	2368	7.5	36	250
Hammarby	28	Svealand	890	1	10.6	39
Kringlan	27	Svealand	295	0.8	3.8	16.9
Simlången	44	Götaland	262	0.75	5.3	33.3
Vikaresjön	45	Götaland	826	2.3	11.5	42

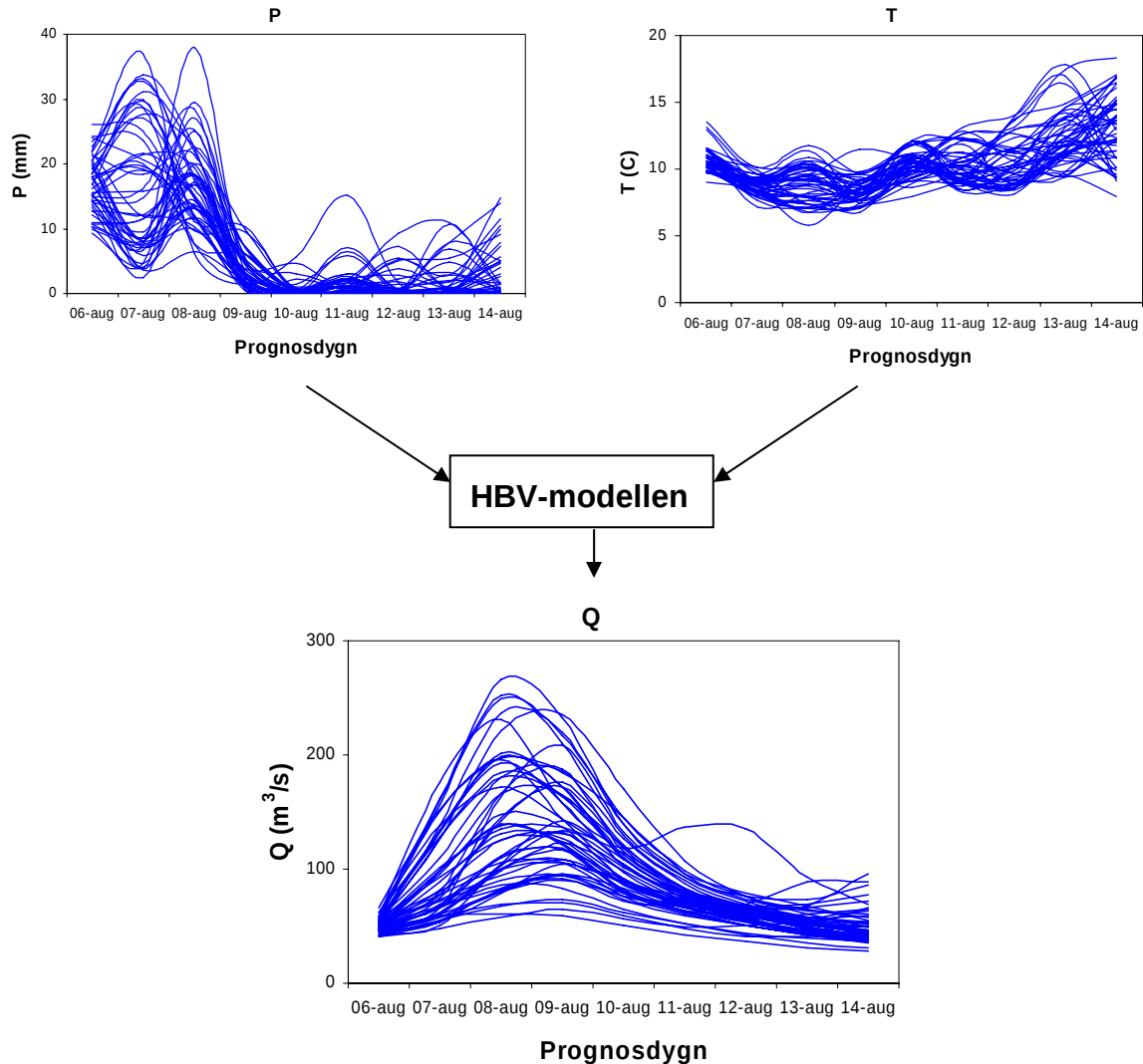
men i ett fåtal områden avviker modellerat vattenflöde ofta kraftigt från det observerade. Detta kan bero på att området har en komplicerad hydrologi som är svår att beskriva med den förhållandevis enkla HBV-modellen, och/eller att kalibreringen av någon anledning fungerar dåligt för de specifika hydrologiska förhållandena under perioden. Eftersom resultatet från dessa enskilda stationer kan ha en kraftig negativ påverkan på det totala resultatet har tre områden uteslutits från den totala sammanställningen. Det slutliga totala antalet områden som använts i utvärderingen är 45, och i Tabell 1 ovan redovisas några egenskaper hos dessa. Även för dessa områden finns avbrott och perioder med saknade data, under i genomsnitt c:a 9% av utvärderingsperioden.

Delprojektets fokus ligger på hydrologiska ensembleprognoser, alltså vattenföring Q , och denna variabel har därför utvärderats mest grundligt. Viss utvärdering har emellertid även utförts för de meteorologiska indata från ECMWF, genom jämförelser med främst observerad nederbörd P men även temperatur T . Nederbörden är den huvudsakliga drivande variabeln i HBV-modellen och eventuella avvikelser mellan observerad och förutsagd vattenföring bör således tolkas mot bakgrund av överensstämmelsen mellan observerad och förutsagd nederbörd.

Utvärderingen av nederbörd och vattenföring har vidare omfattat jämförelser även med den deterministiska prognos som f.n. utfärdas vid SMHI, kallad PMP. PMP är en bearbetad kombination av de operationella prognoserna från SMHI:s meteorologiska modell HIRLAM och ECMWF:s kategoriska modell. Denna används som indata till HBV-modellen, på samma sätt som de olika ensemblemedlemmarna. Meteorologiska och hydrologiska PMP-prognoser under den aktuella perioden har extraherats från databaser på SMHI.

3 Hydrologiska ensembleprognoser: ett exempel

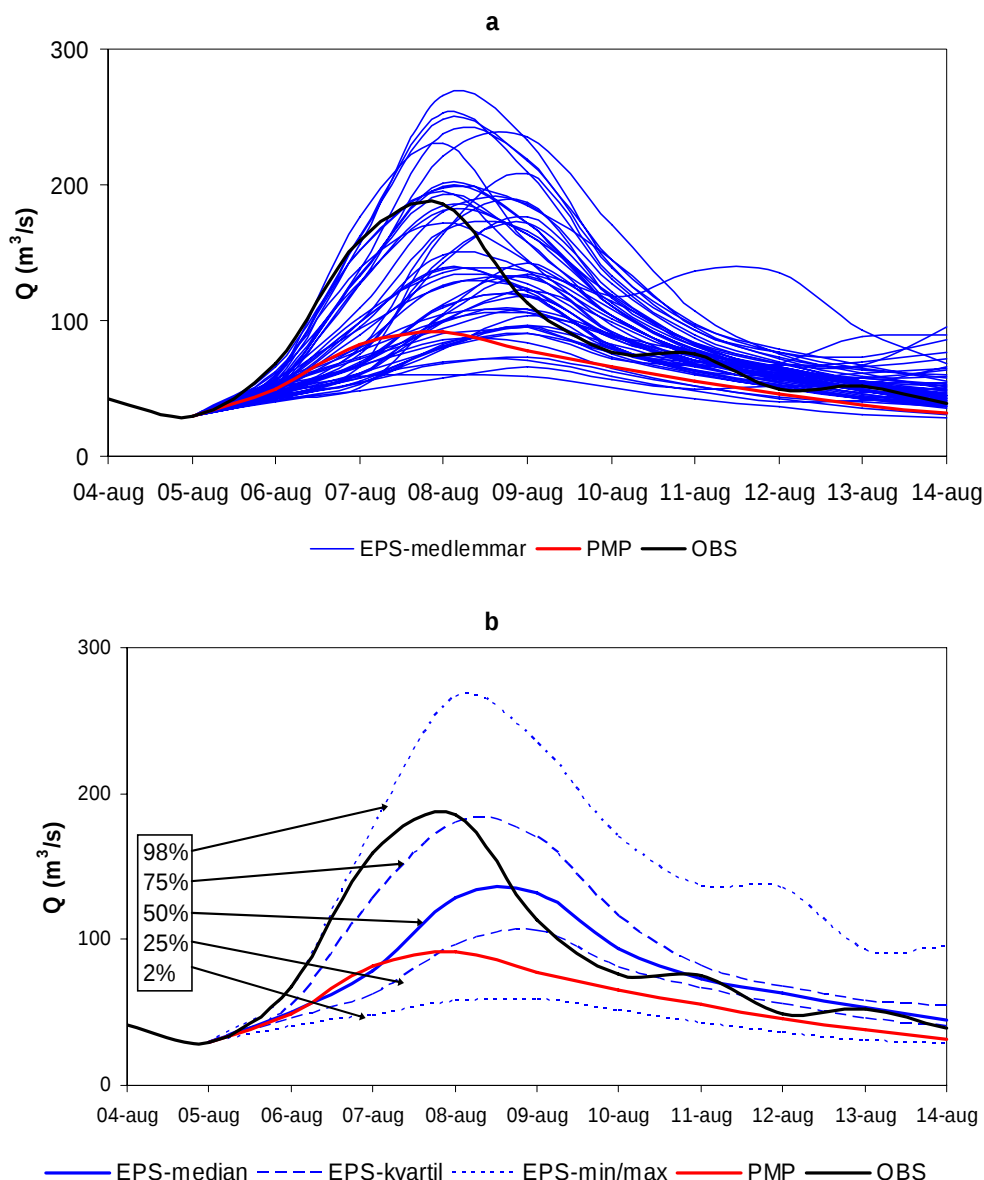
I detta kapitel redovisas ett illustrativt exempel på hydrologiska ensembleprognoser (EPS), för att introducera några centrala begrepp samt att visa på några generella mönster. Exemplet är hämtat från en tidigare studie av ett höglödestillfälle i Kultsjöns avrinningsområde sommaren 2000. Figur 4 visar ett exempel på meteorologiska ensembleprognoser (P , T) under en 9-dygnsperiod, utfärdade den 5 aug och gällande för 6-14 aug, samt den med HBV-modellen framräknade korresponderade hydrologiska ensembleprognosen (Q). Den meteorologiska prognosen förutsäger kraftig nederbörd över området under de kommande tre dyggen, i genomsnitt 20 mm per dygn med en spridning mellan c:a 5 och 35 mm. För dygn 4-8 indikeras bara liten nederbörd, de allra flesta ensemblemedlemmar ligger nära 0 mm, medan det dygn 9 finns en spridning mellan 0 och drygt 10 mm. Temperaturprognosen ligger stabilt runt 10°C med liten spridning de första sex dyggen, varefter spridningen ökar något och så även den förväntade temperaturen. Den resulterande vattenföringsprognosen indikerar en kraftig flödesökning de kommande dyggen, från ett utgångsläge på c:a 50 m³/s upp till drygt



Figur 4. Principen för hur ensembleprognoser för nederbörd (P) och temperatur (T) körs genom HBV-modellen för att generera ensembleprognoser för vattenföring (Q). Exemplet är från område Kultsjön år 2000.

250 m³/s i de mest extrema prognoserna. Spridningen är dock väldigt stor dygn 3, för att därefter minska i samband med att flödet avklingar. Kring dygn 7 förutsägs med hög säkerhet, d.v.s. liten spridning, att flödet har återgått till utgångsnivån.

I Figur 5a visas de hydrologiska ensembleprognoserna i Figur 4 jämförda med dels den operationella, deterministiska prognosen (PMP), dels med verklig inträffad vattenföring (OBS). Den operationella prognosen indikerade enbart en mindre flödesökning upp till knappt 100 m³/s den 8 aug, men det verkliga toppflödet blev i stället knappt 200 m³/s. Bilden illustrerar väl hur man enbart av medlemmarnas spridning kan dra slutsatser angående osäkerheten i prognosen – en liten spridning kan antas indikera en säker prognos och vice versa – vilket inte är möjligt för en deterministisk prognos. Mot bakgrund av enbart den



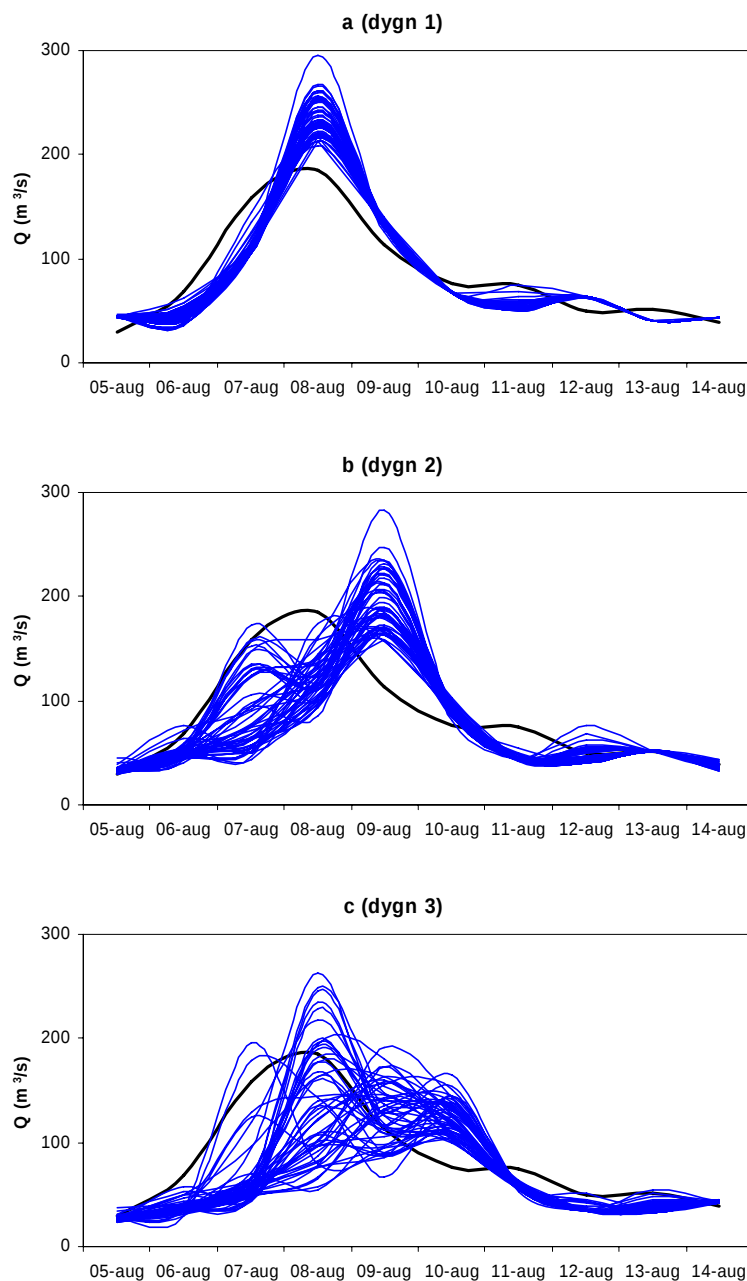
Figur 5. Exempel på observerad vattenföring, PMP-prognos och ensembleprognoser som enskilda medlemmar (a) eller omvandlade till statistiska percentiler (b).

deterministiska prognosen verkar flödessituationen lugn, emedan ensembleprognosernas spridning visar på en tydlig risk för en nära förestående kraftig ökning. Det är troligt att de olika prognoserna i en praktisk situation lett till helt olika beslut.

I Figur 5b har de 50 ensemblemedlemmarna i Figur 5a behandlats statistiskt och omvandlats till percentiler representerande olika sannolikheter för *underskridande*. Medianen har 50% risk för underskridande, kvartilerna 75% (övre) respektive 25% (undre), minimum 2% och maximum 98%. Utvärderingen av de hydrologiska ensembleprognoserna i föreliggande rapport är till största delen baserad på dessa percentiler, vilka beräknas automatiskt i systemet Aegir (Figur 2). Det kan understrykas att de EPS-kurvor som visas i Figur 5b alltså inte

beskriver olika kontinuerliga prognoser under perioden (som kurvorna i Figur 5a), utan den vattenföring som motsvarar kurvans sannolikhet för underskridande på aktuellt dygn.

I Figur 4 och Figur 5 visas prognosen utfärdad en specifik dag (5 aug) för samtliga prognosperiodens nio dygn framåt. Ett annat perspektiv på prognoserna kan fås genom att för samtliga dygn i prognosperioden plotta de prognoser som gjordes ett visst antal dygn tidigare. I Figur 6 visas de prognoser som utfärdades ett till tre dygn tidigare. För varje datum på x-



Figur 6. Principskiss över hur spridningen i vattenföringsprognoserna ökar med ökande tidsavstånd mellan prognosens utfärdande och det dygn för vilket prognosen gäller.

axeln i Figur 6a visas således prognoserna gjorda ett dygn tidigare. Det är uppenbart att spridningen i prognoserna oftast är liten, förutom kring den förväntade flödestoppen 8 aug. En anledning till den begränsade spridningen är den fördröjning och utjämning i HBV-modellen som representerar nederbördens transport genom och lagring i avrinningsområdet. Föregående dygns nederbörd har därför enbart en begränsad inverkan på vattenföringen, en inverkan som vidare minskar med ökande storlek på avrinningsområdet. Därför dämpas ofta spridningen i nederbördsprognoserna betydligt när den transformeras till vattenföring i HBV-modellen (se också prognosdygn 1 i Figur 4).

P.g.a. den begränsade spridningen hamnar den observerade vattenföringen ofta helt utanför ”ensemblespannet”, även då modellen överlag relativt väl beskriver den observerade flödesutvecklingen (Figur 6a). Detta faktum, att ensemblespannet ofta inte omfattar observationen, komplicerar utvärderingen av prognoserna, eftersom observationerna då ofta inte kan kopplas till en viss sannolikhet. Mervärdet av ensembleprognoser blir begränsat, jämfört med en traditionell, deterministisk prognos.

I prognoserna utfärdade två dygn tidigare har spridningen ökat (Figur 6b). Detta beror delvis på att spridningen i nederbördsprognoserna ”ackumulerats”, eftersom prognoserna för vattenföring dygn 2 är beräknade på basis av nederbördsprognoserna från två föregående dygn. En annan anledning är att osäkerheten i nederbördsprognosen ökar med tiden från prognosens utfärdande, vilket leder till större spridning. I prognoserna utfärdade tre dygn tidigare har spridningen ökat ytterligare (Figur 6c), och ensemblespannet omfattar nu för det mesta den observerade vattenföringen.

Exemplet i detta kapitel visar på både möjligheter och problem med hydrologiska ensembleprognoser. Att kunna få en uppfattning om osäkerheten i en prognos, inklusive realistiska extremutvecklingar, bör kunna vara värdefullt i många praktiska tillämpningar, inte minst vid översvämningssprognoser. Dock kräver detta att spridningen i prognoserna korrekt avspeglar verkliga sannolikheter, vilket inte är självklart.

4 Utvärdering av ensembleprognoser

Två olika angreppssätt finns för utvärdering av ensembleprognoser. Ett är att på statistisk väg från ensemblemedlemmarna extrahera en enda prognos, som därefter utvärderas efter samma principer som en vanlig, kategorisk prognos. Ett annat sätt är att beakta och utvärdera ensembleprognosernas sannolikhetsfördelning. I detta kapitel beskrivs utvärderingsprinciperna inom dessa båda angreppssätt. Dessutom beskrivs två olika referensflöden som använts i utvärderingen.

4.1 Deterministisk utvärdering

Vid deterministisk utvärdering reduceras skaran av ensemblemedlemmar till en enskild prognos, som kan jämföras både med den operativa deterministiska prognosen och den verkligt inträffade vattenföringen. En på förhand naturlig kandidat är medianen, som ligger mitt i prognosintervallet (Figur 5b). Emellertid kan systematiska fel i såväl de meteorologiska prognoserna som i den hydrologiska modellen leda till att de beräknade vattenföringsprognoserna ligger systematiskt för högt eller för lågt. Därför kan det t.ex. hända att någon av kvartilerna i genomsnitt bättre överensstämmer med observerad vattenföring.

Utvärderingen av utvalda, enskilda prognoser kan ske i termer av traditionellt använda statistiska mått (t.ex. [15]). Ett sådant är medelfel (*ME*; *mean error*), som kan uttryckas på olika sätt. Ett är som medelvärde av absolutbeloppet för skillnaden mellan prognos och observation (*MAE*; *mean absolute error*). En annan ofta använd variant är *RMSE* (*root mean square error*)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Q_f(i) - Q_o(i)]^2} \quad (2)$$

där $Q_f(i)$ betecknar prognostiserad och $Q_o(i)$ observerad vattenföring under den n -dagars utvärderingsperioden. Felen kan vidare delas upp i en systematisk och en slumpmässig komponent. Systematisk avvikelse kan uttryckas genom måttet *bias* B

$$B = \overline{Q_f} - \overline{Q_o} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_f(i) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_o(i) \quad (3)$$

d.v.s. skillnaden i medelvärde mellan prognoser och observationer, eller absolutbeloppet $B_{abs} = |\overline{Q_f} - \overline{Q_o}|$. Slumpmässig variation kan kvantifieras genom skillnadernas varians (V) eller genom korrelationskoefficienten R (eller kvadraten R^2) mellan prognoserna och observationerna. För en perfekt prognos är $ME=MAE=RMSE=B=V=0$ och $R=R^2=1$.

I den sannolikhetsbaserade utvärderingen som beskrivs i nästa avsnitt utvärderas ensembleprognosernas spridning och ifall de verkliga sannolikheter överensstämmer med de beräknade. Som förberedelse har en annan, mera kvalitativ utvärdering gjorts av spridningen. I kapitel 3 visades hur spridningen i en ensembleprognos kan antas indikera osäkerheten i prognos; stor spridning indikerar stor osäkerhet, alltså ett stort möjligt prognosfel, och vice versa. Detta förhållande brukar kallas spridning-utfall (*spread-skill*), vilket ger en grundläggande beskrivning av ensembleprognosernas karaktär och användbarhet. I denna studie har förhållandet mellan spridning och utfall studerats genom att jämföra spridningen med prognosfelet för motsvarande deterministisk prognos. För att beskriva spridningen i en prognos har använts avståndet mellan övre och undre EPS-kvartil (75% och 25%; Figur 5b). För att beskriva utfallet i en prognos har använts den absoluta

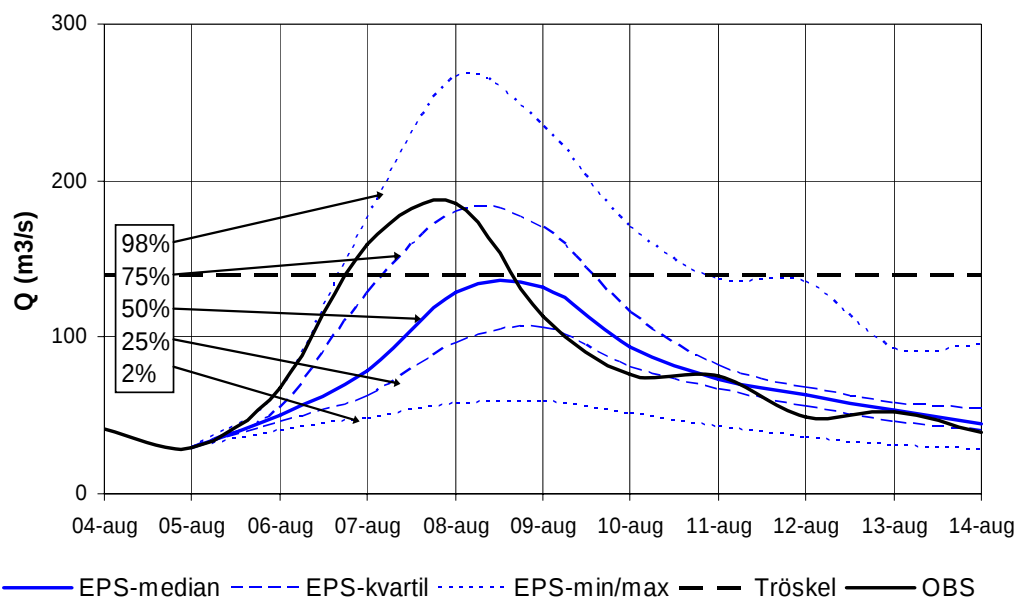
skillnaden mellan EPS-median och verkligt inträffad observation (Figur 5b), alltså medianens prognosfel. I undersökningen har spridningen delats in i fem klasser: ”mycket låg”, ”låg”, ”medel”, ”hög”, ”mycket hög”. Klasserna innehåller lika många dygn, alltså 20% av det totala antalet dygn under utvärderingsperioden. För varje område och klass har ett medelvärde av utfallet beräknats i termer av *MAE*, alltså

$$MAE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |Q_f(i) - Q_o(i)| \quad (4)$$

där medelvärdesbildning görs över de m dagarna i varje spridningsklass.

4.2 Sannolikhetsbaserad utvärdering

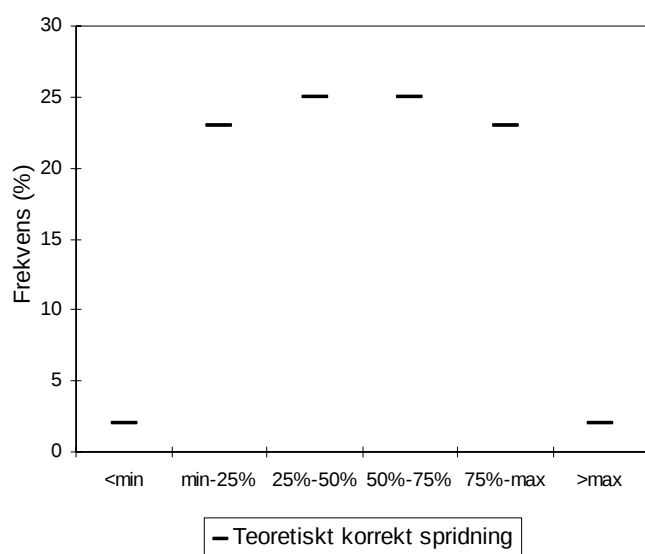
En mera omfattande sannolikhetsbaserad utvärdering av ensembleprognoserna kan göras, i vilken prognosernas spridning eller hela sannolikhetsfördelning studeras samtidigt, till skillnad från den deterministiska utvärderingen. Denna typ av utvärdering är välutvecklad inom meteorologin och klimatologin (t.ex. [16] och [9]), men har inte förrän helt nyligen börjat användas inom hydrologin (t.ex. [17]). Figur 7, en något bearbetad variant av Figur 5b, används för att förtydliga de sannolikhetsbaserade utvärderingsmetoderna.



Figur 7. Exempel på observerad vattenföring, EPS-percentiler, samt tröskelnivå på 140 m³/s.

En fullständig sannolikhetsbaserad utvärdering har gjorts genom att beräkna frekvensen av observationer som hamnar mellan eller utanför de olika EPS-percentilerna (Figur 7). Denna typ av utvärdering kallas i det följande percentilbaserad utvärdering. Är spridningen korrekt

ska observationerna över en längre tidsperiod vara relaterade till percentilerna i enlighet med de sistnämndas sannolikhetsnivåer. Till exempel har EPS-maximum 2% sannolikhet för överskridande, således bör 2% av observationerna överskrida maximum (omvänt för EPS-minimum). På motsvarande sätt bör 23% av observationerna hamna mellan maximum och övre kvartil (såsom observationen t.ex. gör den 7 aug i Figur 7), lika många mellan minimum och undre kvartil (t.ex. den 10 aug), och 25% mellan kvartilerna och medianen. Figur 8 visar grafiskt frekvenserna av observationer för en teoretiskt korrekt EPS-spridning. Detta motsvarar ett s.k. *Talagrand diagram*, som används inom meteorologin (t.ex. [9]).



Figur 8. Principskiss för frekvens av observationer mellan olika EPS-percentiler för prognoser med korrekt spridning.

Den percentilbaserade utvärderingen ovan utgår från de flödesnivåer som representeras av EPS-percentilerna. Ett alternativt angreppssätt är att i stället utgå från en fixerad tröskelnivå på flödet, vi kallar detta tröskelbaserad utvärdering. Två olika tröskelnivåer har använts i utvärderingen: "högt flöde" och "mycket högt flöde". Dessa nivåer har definierats mot bakgrund av det observerade flödet i det aktuella avrinningsområdet under utvärderingsperioden, för att säkerställa ett tillräckligt antal inträffade fall. Som "högt flöde" har använts det flöde som överskrider under 30% av tiden och som "mycket högt flöde" det som överskrider under 10%. Vid den tröskelbaserade utvärderingen har vi enbart beaktat de fall då flödet vid prognostillfället ligger *under* tröskelnivån, och det således finns risk för att tröskelnivån överskrider under prognosperioden. Vi har således inte beaktat de fall när flödet vid prognostillfället redan överstiger tröskelnivån. Detta beror på att den tröghet som finns i hydrologiska system medför att flödet under en viss tid framåt med hög sannolikhet ligger

kvar över en viss nivå efter att denna nivå överskridits. Prognoserna är då i princip triviala. Vidare motsvarar den beskrivna situationen, alltså ett flöde lägre än tröskelnivån vid prognostillfället, den verkliga situationen vid utfärdandet av hydrologiska varningar, då den kritiska frågeställningen just är ifall en specifik tröskelnivå (i praktiken t.ex. 2-årsflödet eller 10-årsflödet) kommer att överskridas inom den närmaste framtiden.

En grundläggande typ av tröskelbaserad utvärdering kallas kategorisk. I detta fall väljs en specifik EPS-percentil ut och jämförs med det inträffade flödet, i förhållande till en tröskelnivå. Detta är således formellt en deterministisk typ av utvärdering, men den beskrivs här eftersom den använts som komplement till den mera fullständiga sannolikhetsbaserade utvärderingen som beskrivs nedan. Någon fullständig kategorisk utvärdering har inte genomförts, utan förekomsten av två specifika typer av prognosutfall har studerats:

- Falska alarm (FA). Vid dessa fall ligger EPS-minimum över tröskelnivån, vilket innebär 98% sannolikhet för överskridande, medan flödet i verkligheten inte överskred tröskelnivån.
- Totala missar (TM). Vid dessa fall ligger EPS-maximum under tröskelnivån, vilket innebär 2% sannolikhet för överskridande, medan flödet i verkligheten överskred tröskelnivån.

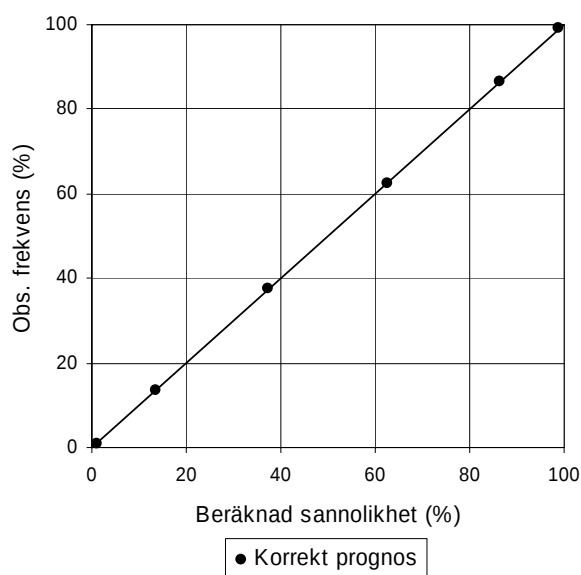
Både FA och TM bör vara 2% om spridningen i ensembleprognoserna är korrekt.

I en fullständig utvärdering beräknas m.h.a. alla EPS-percentilerna med vilken sannolikhet en viss tröskelnivå ska överskridas. Hamnar tröskelnivån t.ex. ovanför EPS-maximum (såsom t.ex. den 6 aug i Figur 7) är det 2% sannolikhet att tröskeln överskrids, som nämnts ovan. Hamnar tröskelnivån mellan maximum och övre kvartil (t.ex. den 7 aug) är det mellan 2% och 25% (i medeltal 13.5%) sannolikhet för överskridande, o.s.v. Dessa beräknade sannolikheter kan därefter p.s.s. som i den percentilbaserade utvärderingen jämföras med det inträffade flödet. För t.ex. de tillfällen då EPS-maximum hamnade under tröskelnivån bör i 2% av fallen det inträffade flödet ha överskridit tröskelnivån.

Resultatet av en tröskelbaserad utvärdering kan presenteras i ett s.k. *reliability diagram* (t.ex. [16]), vilket grafiskt beskriver hur ofta en observation inträffar, givet en viss prognos. I ett *reliability diagram* beskrivs korrekta prognoser av linjen $x=y$ (Figur 9). Ur avvikelser från $x=y$ -linjen kan slutsatser dras angående prognoskvaliteten och möjliga statistiska justeringar för att öka denna.

4.3 Referensflöden

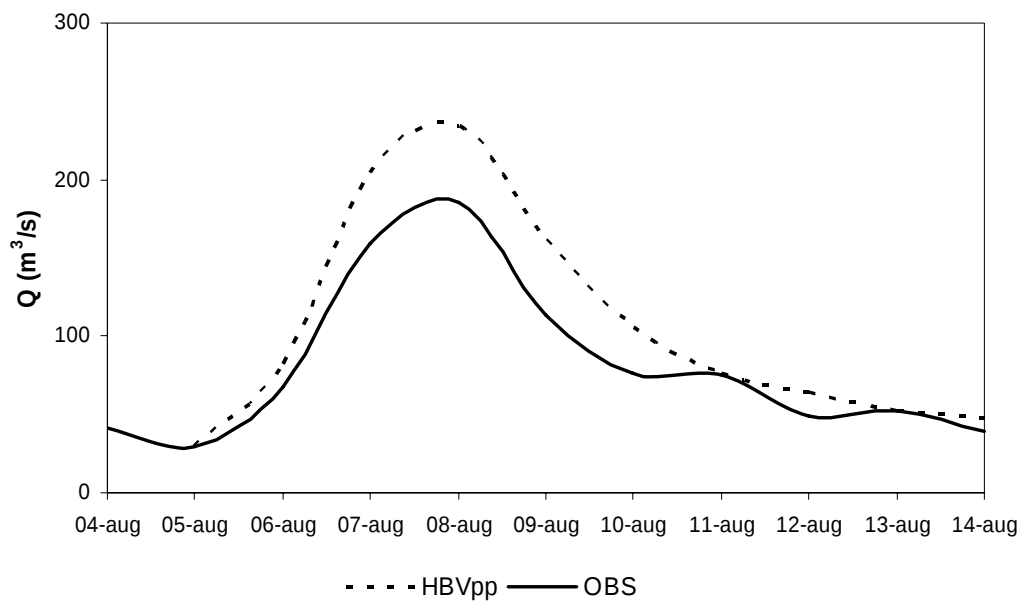
Vid utvärderingen av de hydrologiska ensembleprognoserna har dessa jämförts med ett referensflöde. Två typer av referensflöden har använts. Det mest uppenbara referensflödet är den i verkligheten observerade vattenföringen (OBS), vilken ju prognoserna avser att förutsäga. Skillnaden mellan prognosflöde och observation – prognosfelet – innehåller



Figur 9. Principskiss för förhållande mellan beräknad sannolikhet för och observerad frekvens av överskridande av flödeströskel för korrekta prognoser.

emellertid två komponenter. Den första är felet i den meteorologiska prognosen, alltså avvikelserna mellan prognostiserade och observerade värden på P och T. Den andra komponenten är felet i den hydrologiska modellen, som avspeglar det faktum att modellen är en förenklad approximation. Även om den meteorologiska prognosen är perfekt avviker därför den modellerade vattenföringen från den observerade. Ett alternativt referensflöde är därför en "perfekt HBV-prognos" (HBVpp), alltså en prognos som har simulerats i efterhand med de värden på P och T som verkligen inträffade och därmed bara innehåller modellfelet. Figur 10 visar referensflödena OBS och HBVpp för exemplet i Figur 5. I prognosen den 5 aug skulle alltså den observerade flödestoppen överskattas även med exakt rätta meteorologiska indata, beroende på osäkerheter kopplade till modellens struktur, parametervärden och initialtillstånd vid prognostillfället. Den kan tilläggas att även observationer är förknippade med fel och således enbart uppskattningar av verkliga förhållanden.

I den deterministiska utvärderingen ligger fokus på jämförelse mellan EPS-medianen och den operationella PMP-prognosen (avsnitt 2.3) med inriktning mot direkt praktisk tillämpning för flödesprognoser. I denna utvärdering har referensflöde OBS använts. De beräknade felen innehåller således komponenter från både meteorologisk prognos och hydrologisk modell, men eftersom modellfelen är identiska i båda typerna av prognoser speglar resultaten i själva verket skillnaderna i prognosen. I den sannolikhetsbaserade utvärderingen ligger fokus inte på jämförelser mellan olika typer av prognoser, utan på att studera precisionen i den spridning hos flödesprognoserna som erhålls från de meteorologiska ensembleprognoserna. För att kunna isolera effekten av egenskaperna i den meteorologiska prognosen måste modellfelet



Figur 10. Exempel på observerad vattenföring (OBS) och vattenföring genererad av HBV-modellen med uppmätta värden för P och T (perfekt prognos; HBVpp).

elimineras, vilket kan göras genom att använda referensflöde HBVpp. Då jämförs modellresultat (EPS-prognoser) med modellresultat (HBVpp). Effekten av modellfelet försvinner eftersom detta är identiskt och resultatet speglar p.s.s. även här enbart egenskaperna hos den meteorologiska prognosen. I den sannolikhetsbaserade utvärderingen har emellertid även referensflöde OBS använts som komplement. Genom att jämföra resultaten från de båda referensflödena kan en uppskattning av storleksförhållandet mellan de båda felkomponenterna göras. Detta är ett viktigt för ökad förståelse av det hydrologiska prognosystemet och vidare utveckling mot bättre prognoser.

5 Resultat: utvärdering av nederbörd och temperatur

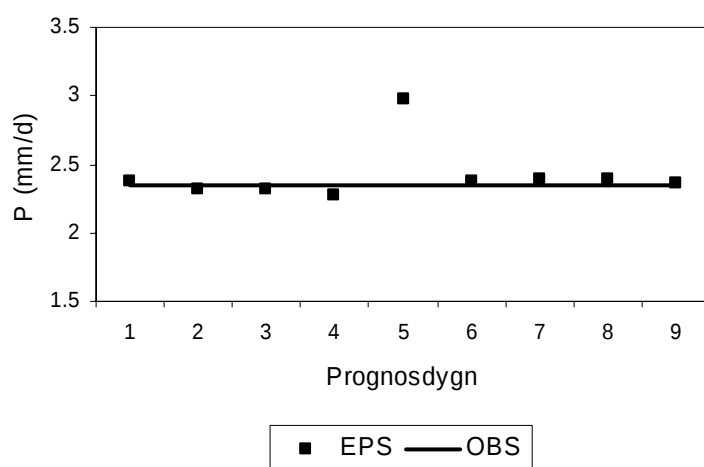
Även om delprojektets syfte är att utvärdera hydrologiska ensembleprognoser (Q) krävs även en viss utvärdering av de meteorologiska ensembleprognoser (P , T) som utgör indata till systemet. Eftersom den meteorologiska EPS-modellen vid ECMWF körs med en lägre rumslig upplösning än den operationella modellen finns en ökad risk för systematiska fel i indata för ett specifikt avrinningsområde. Kunskap om dessa fel är nödvändig för att kunna tolka eventuella avvikelser i de hydrologiska ensembleprognoserna.

I detta kapitel redovisas resultaten från en översiktlig jämförelse mellan dels observerade P och T , dels värden från den meteorologiska ensemblemodellen, under den 18-månaders utvärderingsperioden. Utvärderingen är gjord för dagliga areella medelvärden i varje avrinningsområde. För EPS-data motsvarar detta värdena på P och T i närmast belägna

modellgridruta, såsom beskrivits i avsnitt 2.2. Vad gäller observationer är de areella medelvärdena beräknade från data ifrån de meteorologiska stationer som är belägna inom avrinningsområdet. Dessa värden har därefter justerats i HBV-modellen, t.ex. för att kompensera för skillnader i altitud mellan stationers lägen och höjdzoner inom avrinningsområdet.

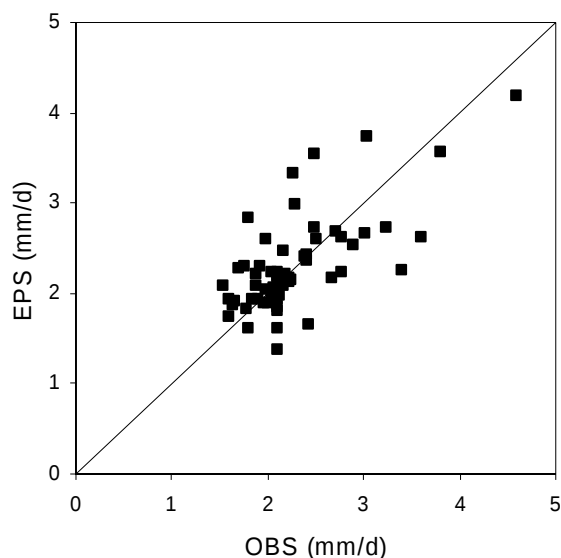
5.1 Nederbörd

Figur 11 visar dygnsnederbörd i dels observationerna, dels EPS-medlemmarna för prognosdygn 1-9, medelvärdesbildat över samtliga områden och hela utvärderingsperioden. Den observerade medelnederbörden i hela materialet är 2.34 mm/d, vilket motsvarar drygt 850 mm/år (Appendix 1). Medelnederbörden i EPS-prognoserna ligger för prognosdygn 1-4 och 6-9 väldigt nära detta värde; genomsnittet för dessa prognosdygn är 2.35 mm/d, vilket motsvarar en positiv relativ bias RB på under 0.5%. För prognosdygn 5 är emellertid medelnederbörden i EPS-prognoserna 2.97 mm/d, som en konsekvens av att dygn 5 i prognoserna är 30 timmar långt (avsnitt 2.2). I den resterande P-utvärderingen har dygn 5 uteslutits.



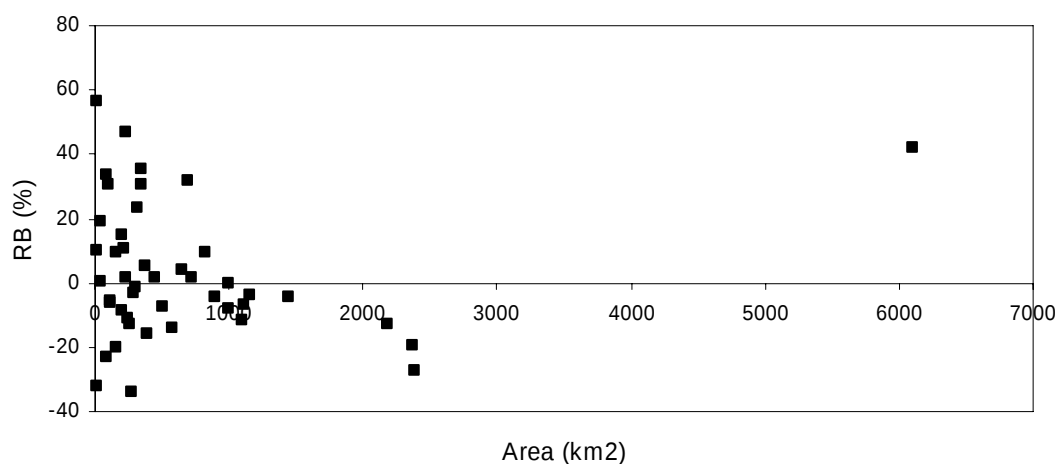
Figur 11. Observerad medelnederbörd (OBS) och medelnederbörd i ensembleprognoserna (EPS) för prognosdygn 1-9, medelvärdesbildat över alla 45 områden.

Figur 11 visar således att sett över alla områden över hela landet finns enbart en mindre bias i EPS-nederbörden. Emellertid kan nederbörden i ett enskilt område ha en ganska stor bias, vilket visas i Figur 12, där varje punkt motsvarar ett område och resultaten från samtliga prognosdygn (utom 5) har slagits samman. Det finns områden med såväl positiv som negativ bias på över 1 mm/d (Appendix 1), alltså knappt 400 mm/år. I relativa termer motsvarar detta en relativ bias på upp till drygt 50%.



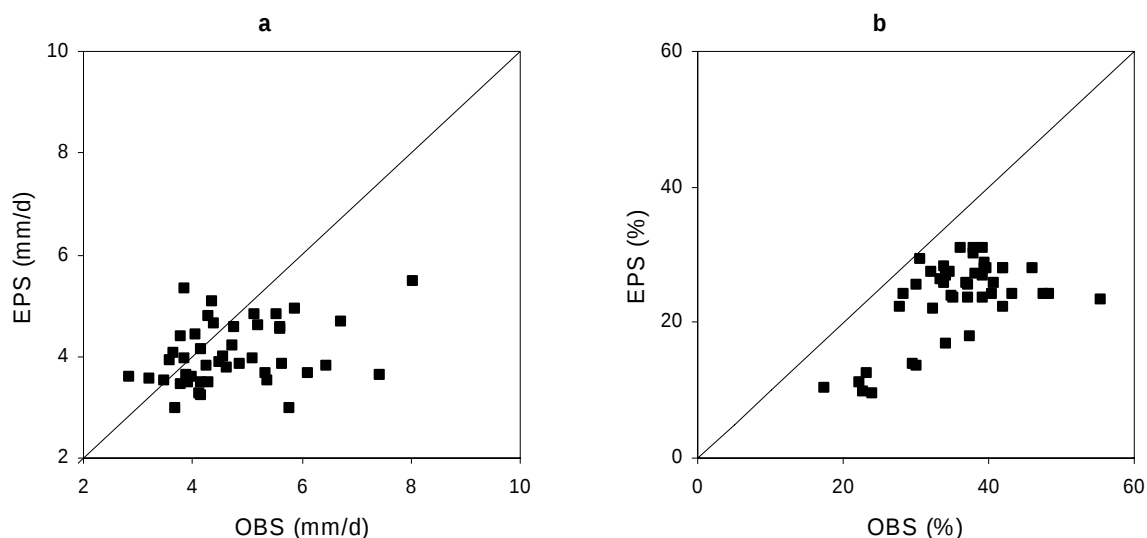
Figur 12. Förhållande mellan observerad medelnederbörd (OBS) och medelnederbörd i ensembleprognoserna (EPS) för de 45 områdena.

Figur 13 visar förhållandet mellan relativ bias RB och områdets area. Eftersom den meteorologiska EPS-modellens rumsupplösning är låg kan det förväntas att absolutvärdet för RB är lägre för stora områden, för vilka medelvärdet från en modellgridruta bör vara ganska representativt. För små områden finns det större risk att värdet från en modellgridruta ligger systematiskt fel. Bilden i Figur 13 överensstämmer i stort med detta förväntade mönster, med en stor spridning i RB för de minsta områdena, och därefter successivt lägre spridning för större områden. För de största områdena ($>2000 \text{ km}^2$) är emellertid absolutvärdena för RB förvånansvärt stora, vilket indikerar att även andra faktorer än områdesstorlek spelar in.



Figur 13. Relativ bias RB i medelnederbörd som funktion av områdets area.

Figur 14a visar en jämförelse mellan daglig standardavvikelse i observerad och modellerad nederbörd, för alla områden. Emedan den observerade standardavvikelsen varierar mellan c:a 3 och 8 mm/d ligger den modellerade relativt konstant på c:a 4 ± 1 mm/d (Appendix 1). Detta innebär att i områden med hög standardavvikelse underskattas denna kraftigt i modellen, med upp till 50%, vilket indikerar att hög nederbörd underskattas. I genomsnitt över alla områden underskattas standardavvikelsen med 15%. I Figur 14b jämförs den observerade och modellerade frekvensen av dygn utan nederbörd. I EPS-data är frekvensen systematiskt underskattad, med mellan 1 och 32%, i genomsnitt 12%. Således förekommer nederbörd för ofta i EPS-prognoserna, vilket är förväntat med tanke på rumsupplösningen i modellen. Det faktum att EPS-prognoserna trots det hade enbart en liten bias i medelnederbörd (3%) sett över alla områden visar att intensiteten under dygn med nederbörd är underskattad, vilket också indikerades i Figur 14a. För enbart dygn med nederbörd är medelintensiteten över alla områden i observationerna 3.64 mm/d och i EPS-prognoserna 3.06 mm/d (Appendix 1), de senare underskattar således intensiteten med drygt 15% för de dagar nederbörd faller.

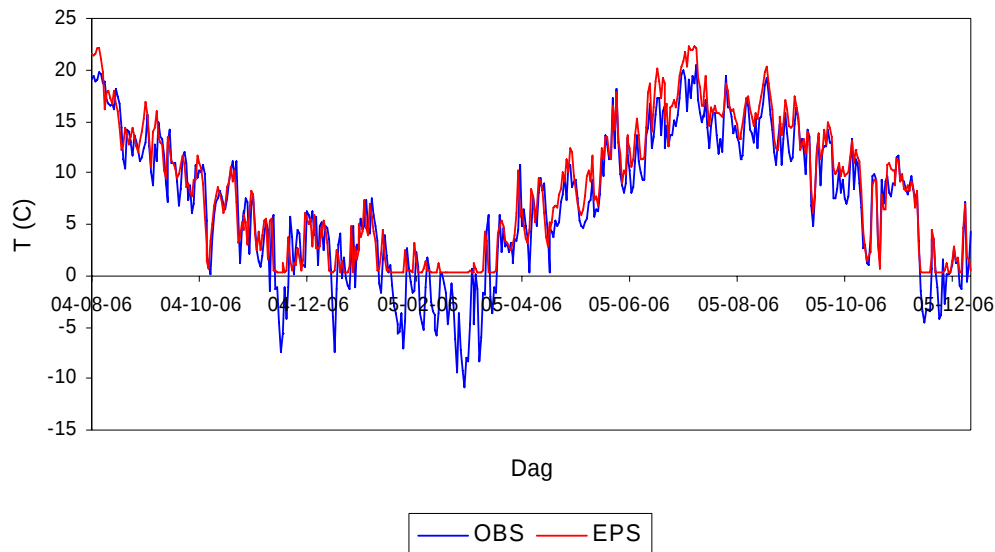


Figur 14. Förhållande mellan observationer och ensembleprognoser i de 45 områdena för standardavvikelse (a) och frekvens av dygn utan nederbörd (b).

Resultatet från P-utvärderingen för samtliga områden finns redovisat i Appendix 1.

5.2 Temperatur

Figur 15 visar observerad temperatur och medeltemperatur i EPS-prognoserna för området Pepparforsen, under större delen av utvärderingsperioden. På grund av en miss i överföringen av EPS-prognoser från ECMWF till HBV-indata ersattes negativa temperaturer med ett värde

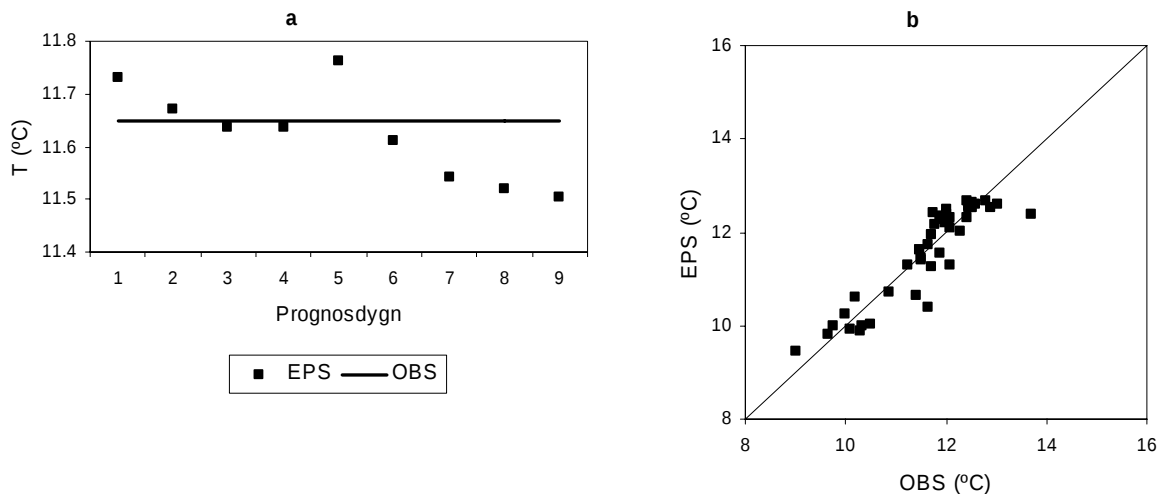


Figur 15. Observerad temperatur (OBS) och medeltemperatur i ensembleprognoserna (EPS) för område Pepparforsen.

nära 0°C. Detta värde är olika för olika stationer och varierar mellan 1.4°C och -1.2°C. Som en konsekvens är givetvis medeltemperaturen under perioden för hög i EPS-prognoserna, i genomsnitt med c:a 1.4°C.

Mot bakgrund av problemet ovan genomfördes enbart en mindre utvärdering av temperaturer över 5°C i observationer och prognoser, och några resultat visas i Figur 16. Figur 16a visar en jämförelse mellan observerad medeltemperatur och medeltemperaturen för olika EPS-prognosdygn. I genomsnitt är EPS-temperaturen 11.62°C, vilket överensstämmer väl med det observerade medelvärdet 11.65°C, men det finns en svagt fallande trend i prognoserna från knappt 11.8°C dygn 1 till 11.5°C dygn 9. Dessutom utmärker sig dygn 5 med ett för högt värde, som förväntat mot bakgrund av att dygn 5 är 30 timmar långt (avsnitt 2.2). Figur 16b visar en jämförelse mellan dygnsmedelvärdet av observerad och modellerad (prognosdygn 1-4 och 6-9) temperatur för alla områden. Överensstämmelsen är god.

Felet att negativa temperaturer ersatts med ett konstant värde nära 0°C i EPS-prognoserna (Figur 15) kan antas påverka vattenföringsprognoserna från HBV-modellen på olika sätt. I det fall att det konstanta värdet är positivt kommer en mindre snösmältning att felaktigt genereras för perioder då snötäcke finns och temperaturen i verkligheten var under 0°C. Dessutom kan det få effekten att nederbörd i form av snö felaktigt tolkas som regn i HBV-modellen. Dock kan effekterna förmodas vara ganska små eftersom de konstanta felaktiga temperaturerna ligger nära 0°C.

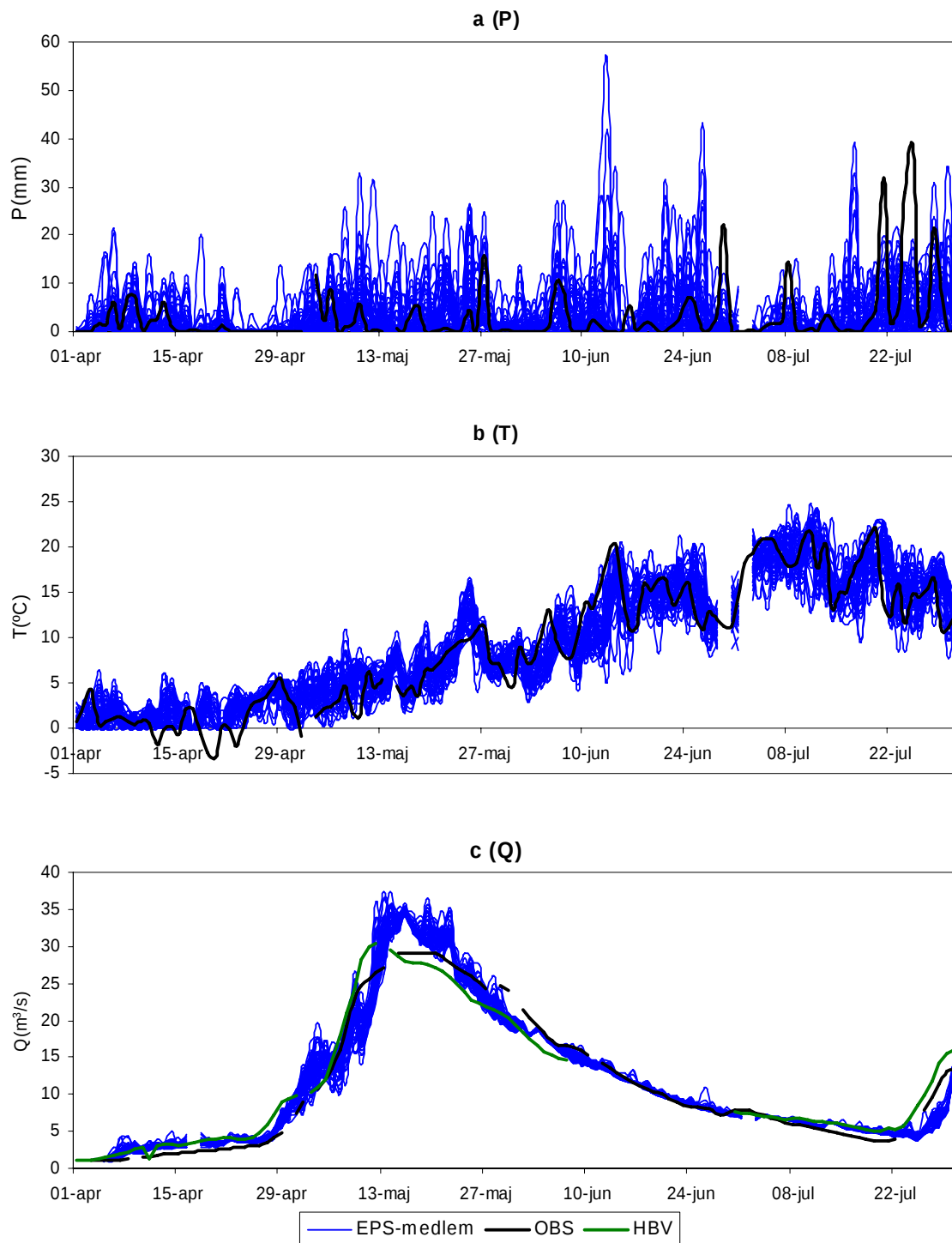


Figur 16. Observerad medeltemperatur (OBS) och medelnederbörd i ensembleprognoserna (EPS) för prognosdygn 1-9, medelvärdesbildat över alla 45 områden (a), samt förhållande mellan OBS och EPS för de 45 områdena (b).

6 Resultat: vårflödet 2005

Vad gäller vattenföring Q redovisas det fullständiga resultatet från hela materialet, d.v.s. data från 45 områden under 18 månader, i kapitel 7 och 8. Som ett komplement till denna totala utvärdering ville vi också studera en delperiod av särskilt intresse för hydrologiska prognoser, och ett naturligt val är då perioden för vårflödet 2005. För denna utvärdering utvaldes fem områden i norra Sverige med lite olika karaktär på utvecklingen under vårflödet: Kukkasjärvi, Sorsele, Tängvattnet, Mesjön och Öster-Noren. Utvärderingen är kvalitativ och baserad enbart på plottade diagram över P , T och Q under vårflödesperioden. Olika prognosdygn studerades, men här redovisas enbart dygn 5. Mot bakgrund av att dygn 5 är 30 timmar långt (avsnitt 2.2), och jämförelser med observationer därför något mera osäkra än för tidigare dygn, kan tyckas att ett annat prognosdygn borde valts. Dock var vi vid tidpunkten för utvärderingen inte medvetna om att dygn 5 var 30 timmar långt, därav valet. Det kan också understrykas att i övriga analyser verkar resultatet för dygn 5 inte märkbart avvika från de mönster som erhålls från övriga prognosdygn (se kapitel 7 och 8).

Figur 17 visar EPS-prognoserna dygn 5 för området Kukkasjärvi. I detta område karakteriserades vårflödet 2005 av en kraftig flödesökning under första halvan av maj, ett distinkt flödesmaximum i mitten av maj, och därefter en långsam avklingning. Vad gäller P -prognoserna (Figur 17a) uppvisar dessa en kraftig men inte orimlig spridning. Noterbart är främst de kraftiga observerade regnen i slutet av perioden, vilka underskattades i EPS-prognoserna. Vad gäller T -prognoserna (Figur 17b) syns i början av perioden att EPS-prognoserna inte understiger 0°C (avsnitt 5.2). För övrigt omsluter EPS-intervallet mestadels den observerade temperaturen, även om det finns perioder då prognoserna över- eller

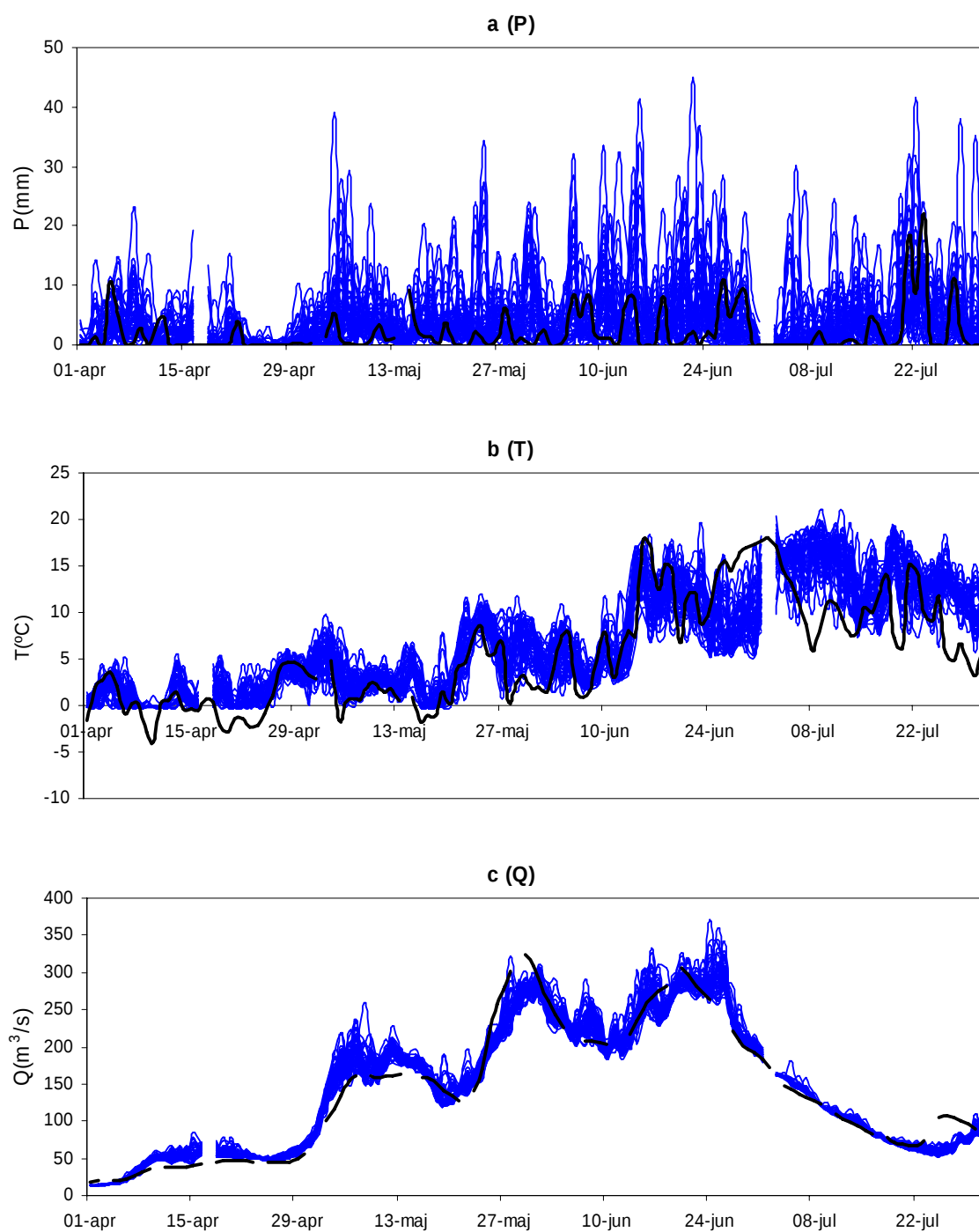


Figur 17. Nederbörd (a), temperatur (b) och vattenföring (c) i Kukkassjärvi, vårfloeden 2005.

underskattar. Vattenföringen (Figur 17c) överskattas i början av perioden p.g.a. T-felet. Tidpunkten för vårfloedets början kring månadsskiftet mars-april är korrekt i prognoserna, men den initiella flödesökningen för kraftig, vilket kan härledas till överskattade temperaturer i början av maj. Tidpunkten för flödesmaximum är bra förutsagd i prognoserna, dock är värdet överskattat, vilket hänger samman med viss överskattning av både P och T kring mitten av

maj. Under större delen av perioden är spridningen i EPS-Q-prognoserna liten och det är inte ovanligt att observationen ligger utanför EPS-intervallet.

Figur 18 visar resultatet för område Öster-Noren. I detta område hade vårfloden 2005 en mera komplex dynamik med tre separata flödestoppar under maj och juni (Figur 18c). Under denna



Figur 18. Nederbörd (a), temperatur (b) och vattenföring (c) i Öster-Noren, vårfloden 2005.

period föll relativt små mängder nederbörd i området (Figur 18a). Vårflödesförloppet styrdes därför främst av temperaturutvecklingen, vilken i stort avspeglar formen på flödeskurvan, med hastiga temperaturökningar strax före varje flödestopp (Figur 18b). Den första flödestoppen överskattas i prognoserna p.g.a. överskattade temperaturer i början av maj. Den andra flödestoppen underskattas däremot, vilket är svårt att förklara mot bakgrund av temperaturprognoserna eftersom de överlag överskattar även här. Möjligen har nederbörden den 28 maj, vilken underskattades i prognoserna, fått ett stort genomslag på flödet. Den sista flödestoppen är totalt sett väl beskriven i prognoserna.

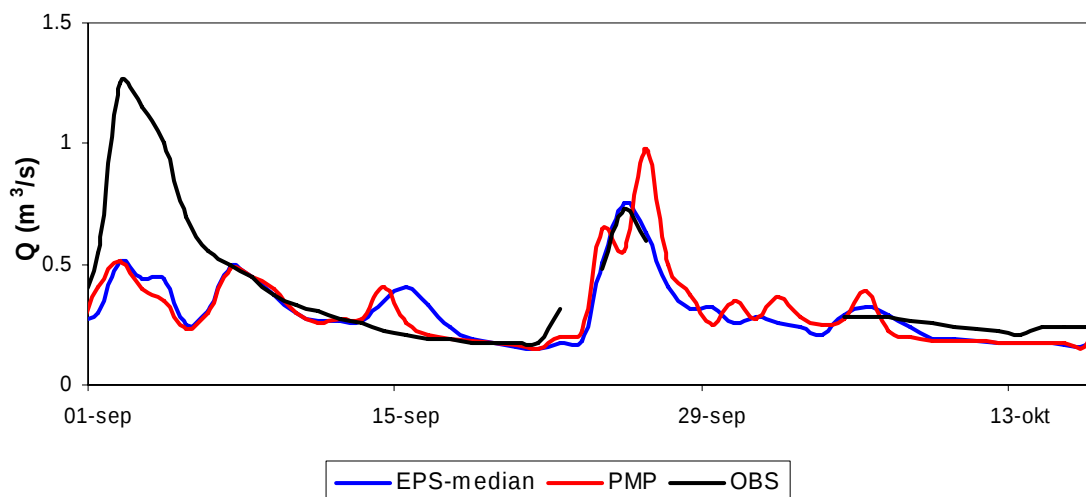
För de övriga områden som analyserades – Tängvattnet, Sorsele och Mesjön – var överensstämmelsen mellan observationer och EPS-prognoser kvalitativt densamma som i ovan redovisade områden.

Resultatet från utvärderingen av vårflödet 2005 understryker det som visades i kapitel 3 (Figur 6), nämligen att spridningen av EPS-prognoserna för vattenföring är liten. Under perioder med stabilt eller avklingande flöde är spridningen ofta väldigt liten, vilket leder till att observationen ofta hamnar utanför EPS-intervallet även om HBV-modellen egentligen väl beskriver det observerade flödet. Spridningen ökar kring vårflödestoppen (eller topparna), men eftersom maxnivån och tidpunkten för toppen är känsliga för mindre avvikelser i P och T hamnar observationerna ofta utanför EPS-intervallet även i dessa perioder. Med denna begränsade spridning i EPS-prognoserna blir också mervärdet jämfört med en deterministisk prognos begränsat.

7 Resultat: deterministisk utvärdering av vattenföring

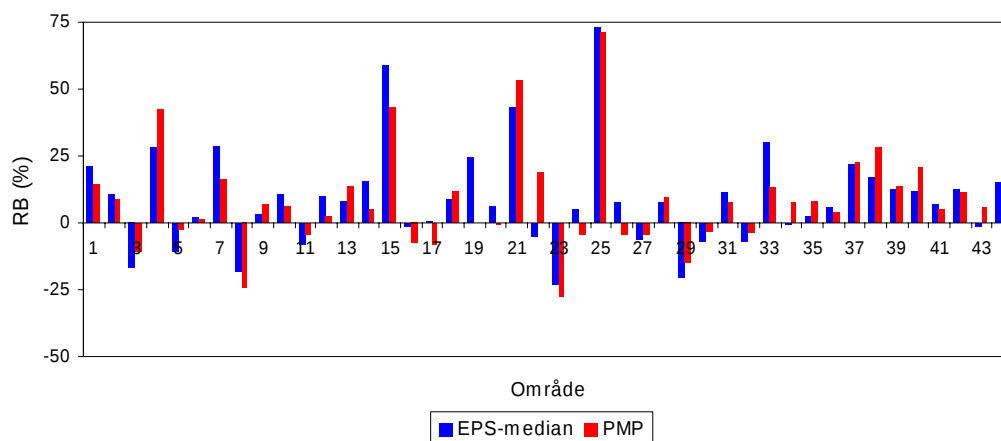
I detta kapitel redovisas resultaten från den deterministiska utvärderingen av ensembleprognoserna. Huvudsyftet är att jämföra EPS-medianen med den operationella PMP-prognosen m.a.p. överensstämmelse med observerat flöde. I Figur 19 visas dessa för ett område, en tidsperiod och en prognosdygn ur utvärderingsmaterialet: Tånemölla, 1 sep till 15 okt 2004, prognosdygn 5. I detta fall är EPS-median och PMP-prognos överlag lika, båda missar t.ex. flödestoppen i början av perioden. Som nämnts ovan finns avbrott i observationerna, t.ex. kring månadsskiftet sep/okt i Figur 19, och dessa dygn har uteslutits ur utvärderingen.

Systematiska skillnader mellan observationer och prognoser kan studeras genom måttet bias B , som uttrycker skillnaden mellan observationernas och prognosernas medelvärden under utvärderingsperioden (avsnitt 4.1). Eftersom storleken på vattenföringen i ett avrinningsområde beror av områdets storlek är det vid jämförelser mellan områden lämpligt att använda relativ bias RB (%), där B dividerats med områdets medelvattenföring $\overline{Q}_0$.



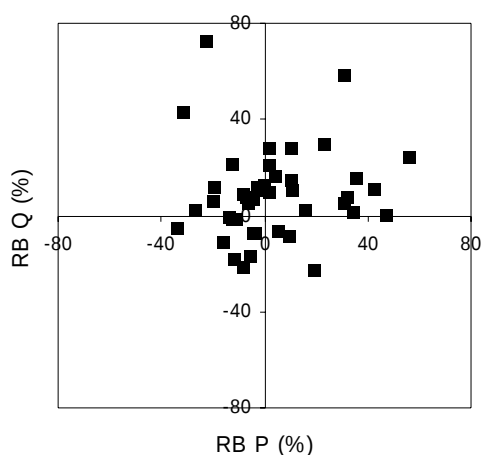
Figur 19. Exempel på observerad vattenföring, PMP-prognos och EPS-median, från område Tånemölla år 2004.

Figur 20 visar översiktligt hur RB för EPS-median och PMP varierar mellan de 45 utvärderade områdena för prognosdygn 5. I ett fåtal områden visar RB på en skillnad i medelvärden som överstiger 25%, och t.o.m. 50%, men skillnaden är oftast under 25%. Värdena för EPS-median och PMP-prognos är överlag lika, tecknet är detsamma förutom i ett fåtal fall och även storleken är likartad. Det kan vidare noteras att RB är oftast positiv, medelvärdet för RB är 9.0% för EPS-median och 8.3% för PMP, alltså överskattar prognoserna oftast vattenföringen. Medelvärdet för absolutbeloppet av RB (RB_{abs}), vilket bättre avspeglar prognosernas kvalitet för individuella områden, är 14.7% för EPS-median och 13.8% för PMP.



Figur 20. Relativ bias RB för PMP-prognos och EPS-median i de 45 områdena, prognosdygn 5.

Ett skäl till bias i den modellerade medelvattenföringen kan vara bias i den nederbörd som används som indata. Som visats i Figur 12 finns områden med P-bias på upp till 50%, både positiv och negativ. I Figur 21 har för varje område RB för nederbörd ($RB P$) plottats mot RB för vattenföring ($RB Q$). Det är uppenbart att sambandet är svagt och att bias i vattenföring ofta inte kan kopplas till bias i nederbörd, utan snarare till egenskaper hos HBV-modellen (inställningar, kalibrering, etc.).



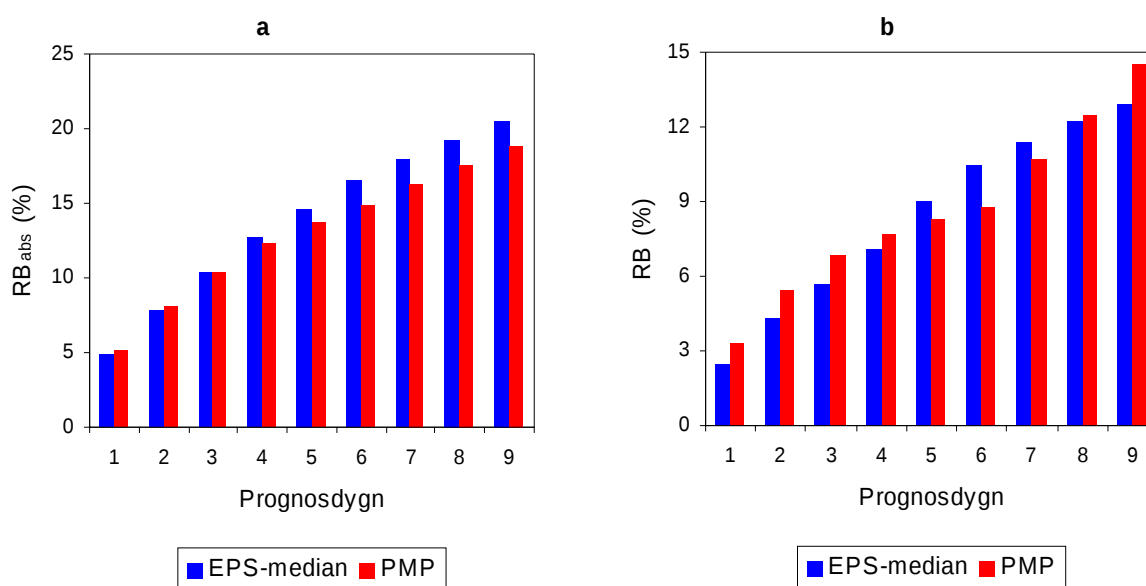
Figur 21. Förhållande mellan relativ bias för nederbörd ($RB P$) och för vattenföring ($RB Q$) i de 45 områdena.

Ett annat skäl till bias i vattenföringen kan vara det fel i temperaturprognoserna som beskrivs i avsnitt 5.2, alltså att negativa temperaturer ersatts med en konstant temperatur nära 0°C . Detta kan leda till att avsmältning felaktigt genererats under kalla perioder, vilket då ökat medelvattenföringen. För att grovt undersöka effekten av T-felet gjordes vid författandet av denna rapport ett mindre test med prognoser genererade av EPS-systemet efter att felet upptäckts och korrigerats. Denna period motsvarar c:a 4 månaders data (april-juli 2006). För denna period beräknades RB och jämfördes med RB för den ordinarie utvärderingsperioden (med T-fel), för ett antal stationer. Resultatet indikerade att temperaturfelet kan ha medfört en något förhöjd bias. Det var dock svårt att dra någon slutsats om storleken på denna förhöjning, dels eftersom resultatet varierade mellan stationer, dels eftersom 4-månaders perioden utan T-fel är kort och beräknad bias därför osäker.

Figur 22 visar hur av RB_{abs} och RB , medelvärdesbildade över samtliga 45 områden, varierar med prognosdygnet. Värdet för RB_{abs} är något lägre för EPS-median under prognosdygn 1 och 2, samma som PMP-prognosen dygn 3, men för ökande prognoslängd är RB_{abs} systematiskt högre för EPS-median än för PMP (Figur 22a). Således utgör EPS-medianen enligt detta mått ingen tydlig förbättring jämfört med PMP-prognosen. Figur 22b visar resultatet för RB , vilket

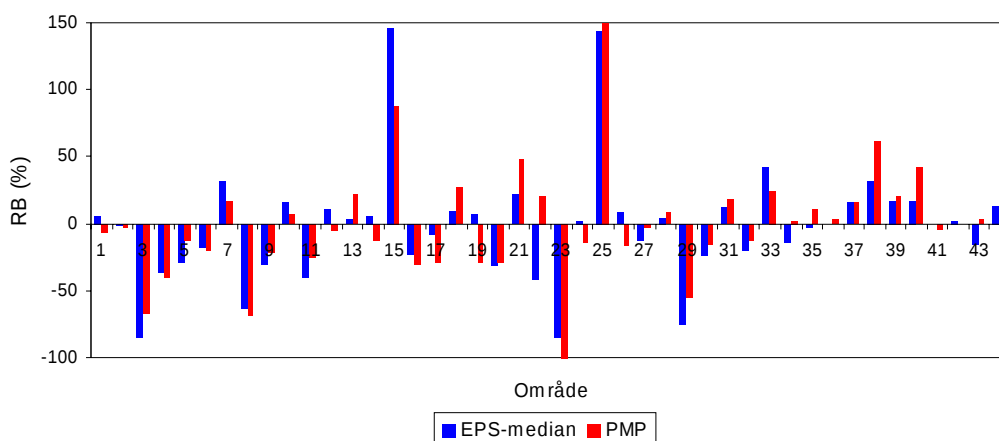
är mindre tydligt. Det mest noterbara är att RB i genomsnitt över alla områden tydligt ökar med ökande prognoslängd. Alltså ökar medelvattenföringen gradvis med ökande prognoslängd, sett i genomsnitt över alla områden. Eftersom detta sker både för EPS-median och PMP-prognos är det sannolikt inte huvudsakligen kopplat till egenskaper hos de meteorologiska EPS-prognoserna, t.ex. temperaturfelet. Troligen är mönstret kopplat till någon egenskap hos det hydrologiska prognossystemet, men detta har inte kunnat undersökas närmare inom föreliggande studie.

RB för samtliga områden, prognosdygn 1, 5 och 9, redovisas i Appendix 2.



Figur 22. Absolut RB (a) och RB (b), medelvärdesbildade över alla 45 områden, som funktion av prognosdygn.

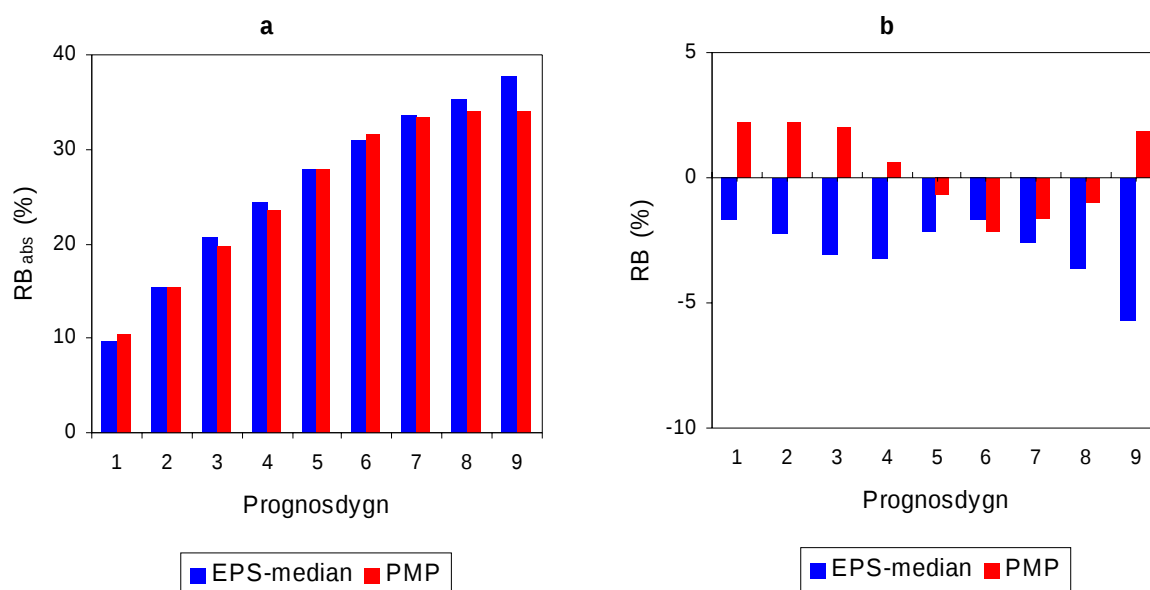
De hittills presenterade bias-resultaten gäller för vattenföringen under hela utvärderingsperioden. Av intresse är också att studera resultatet för enbart höga flöden, vilka är mest intressanta ur varningssynpunkt. Figur 23 visar samma diagram som Figur 20 men enbart beräknade för dygn då det observerade flödet var över utvärderingsperiodens medelvattenföring i varje område. För dessa flöden överstiger $RB \pm 100\%$ i ett fåtal områden, men oftast är $RB_{abs} < 25\%$. Både storleksordning och tecken är oftast desamma för EPS och PMP. I motsats till resultatet för samtliga flöden är emellertid RB något oftare negativ än positiv. Medelvärdet för RB är -2.1% för EPS-median och -0.7% för PMP, alltså underskattar prognoserna oftast vattenföringen vid flöden över medelvattenföringen. Eftersom medelvattenföringen totalt sett överskattas dygn 5 (Figur 22) innebär detta att denna överskattning främst sker för låga flöden. Medelvärdet för RB_{abs} är 27.8% för EPS-median



Figur 23. Relativ bias RB för PMP-prognos och EPS-median för flöden över medelvattenföringen i de 45 områdena, prognosdygn 5.

och 27.9% för PMP.

Figur 24 visar samma diagram som Figur 22 men enbart beräknade för flöden över utvärderingsperiodens medelvattenföring. Vad gäller RB_{abs} är denna överlag ungefär dubbelt så hög som i Figur 22 men tendensen är densamma, att EPS-median har oftast något högre bias än PMP-prognosen, även om skillnaden är liten. Vad gäller RB är denna överlag liten, oftast mindre än $\pm 3\%$ (Figur 24b). För EPS-median är RB alltid negativ, i genomsnitt -2.9% över dygn 1-9, alltså underskattas systematiskt höga flöden något. Totalt sett sker alltså i EPS-

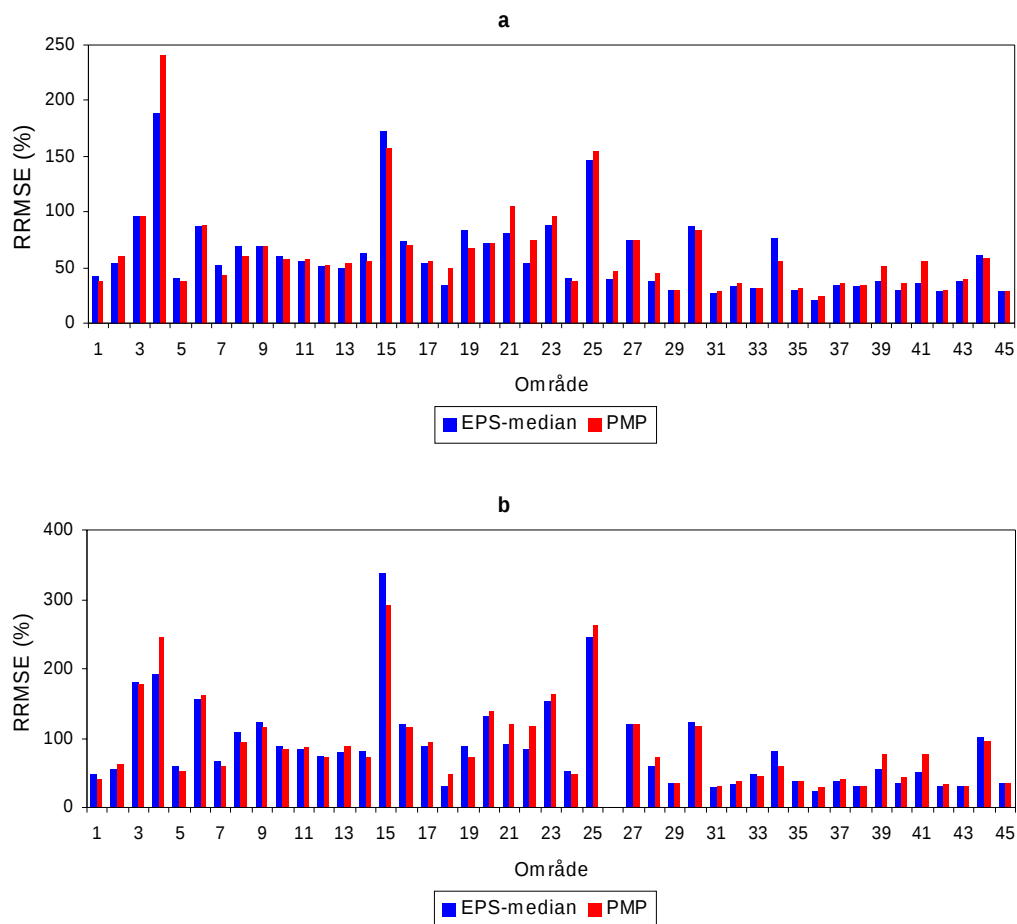


Figur 24. Absolut RB (a) och RB (b) för flöden över medelvattenföringen, medelvärdesbildade över alla 45 områden, som funktion av prognosdygn.

prognoserna en underskattning av höga flöden och en överskattning av låga flöden, vilket är förväntat eftersom EPS-medianen till sin natur är utjämnad. PMP-prognosen har totalt sett en obetydlig *RB* för höga flöden, i genomsnitt 0.4% över dygn 1-9.

Som ett komplement till bias *RB* beräknades i den deterministiska utvärderingen också måttet *RMSE*. Medan *RB* beskriver systematisk över- eller underskattning över en längre tidsperiod, beskriver *RMSE* storleken på dagliga avvikelser mellan prognoser och observationer (se avsnitt 4.1). För att kunna jämföra olika områden har även *RMSE* dividerats med områdets medelvattenföring $\overline{Q}_o$ och uttrycker således ett relativt fel *RRMSE* (%).

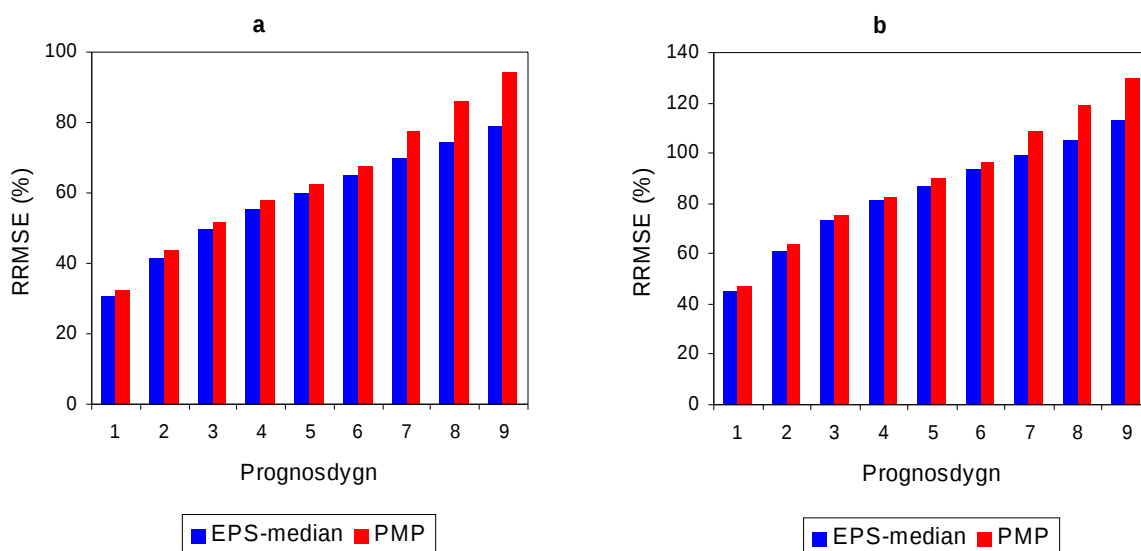
Figur 25 visar hur *RRMSE* för EPS-median och PMP varierar mellan de 45 utvärderade områdena för prognosdygn 5. Figur 25a visar resultatet för alla flöden och i ett fåtal områden överstiger *RRMSE* 100% (och t.o.m. 200%; detta område är emellertid väldigt litet varför små fel i vattenföring kan ge ett stort procentuellt utslag), men oftast är *RRMSE* omkring eller under 50%. Värdena för EPS-median och PMP-prognos är överlag lika, medelvärde för EPS-



Figur 25. *RRMSE* för PMP-prognos och EPS-median i de 45 områdena för alla flöden (a) och flöden över medelvattenföringen (b).

median är 60.2% och för PMP-prognos 62.6%. Figur 25b visar resultatet för flöden över utvärderingsperiodens medelvattenföring. I ett fåtal områden överstiger $RRMSE$ 200% (och t.o.m. 300), men oftast är $RRMSE$ omkring eller under 100%. Återigen är EPS-median och PMP-prognos lika, medelvärdena är 87.4% respektive 89.7%.

Figur 26a visar hur $RRMSE$, medelvärdesbildat över samtliga 45 områden, varierar med prognosdygn. Felet ökar som förväntat med ökande prognoslängd, och med detta mått är EPS-median systematiskt något bättre än PMP-prognosen, speciellt för de längsta prognoserna (7-9 dygn). Figur 26b visar $RRMSE$ för flöden över medelvattenföringen. Situationen är likartad den för alla flöden (Figur 26a), den enda egentliga skillnaden är att $RRMSE$ är överlag högre vilket är förväntat eftersom flödena är högre. Figur 26 visar alltså att EPS-medianen i genomsnitt har ett något lägre dagligt prognosfel än PMP-prognosen, trots att EPS-medianen har totalt sett något högre systematiskt fel. Skillnaderna är dock små.



Figur 26. $RRMSE$, medelvärdesbildad över alla 45 områden, som funktion av prognosdygn för alla flöden (a) och flöden över medelvattenföringen (b).

$RRMSE$ för samtliga områden, prognosdygn 1, 5 och 9, redovisas i Appendix 2.

Förutom RB och $RRMSE$ har även andra statistiska mått beräknats för EPS-medianen och PMP-prognosen, t.ex. standardavvikelse och R^2 (korrelationskoefficienten R i kvadrat, avsnitt 4.1). Dessa påvisar emellertid ingen tydlig skillnad mellan de båda prognostyperna och redovisas därför inte här.

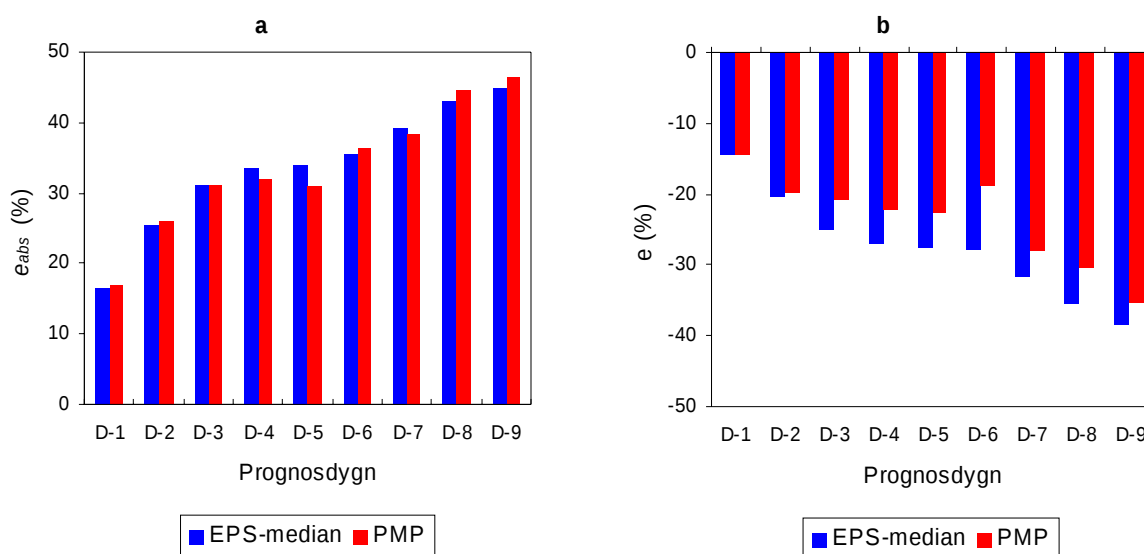
En mindre analys har gjorts för att bedöma de båda prognostypernas förmåga att förutsäga de allra högsta flödena, vilka är mest intressanta ur varningssynpunkt. Utvärderingsperioden

delades därför in i tre 6-månadersperioder. I varje period identifierades det högsta observerade värdet $Q_o^{\max}$ i varje område, samt de prognoser Q_p som gjordes 1-9 dygn innan detta värde inträffade. För varje dygn och område beräknades prognosens procentuella fel e som

$$e = 100 \left(\frac{Q_p - Q_o^{\max}}{Q_o^{\max}} \right) \quad (5)$$

samt absolutbeloppet e_{abs} , vilka slutligen medelvärdesbildades över alla områden och samtliga tre 6-månadersperioder.

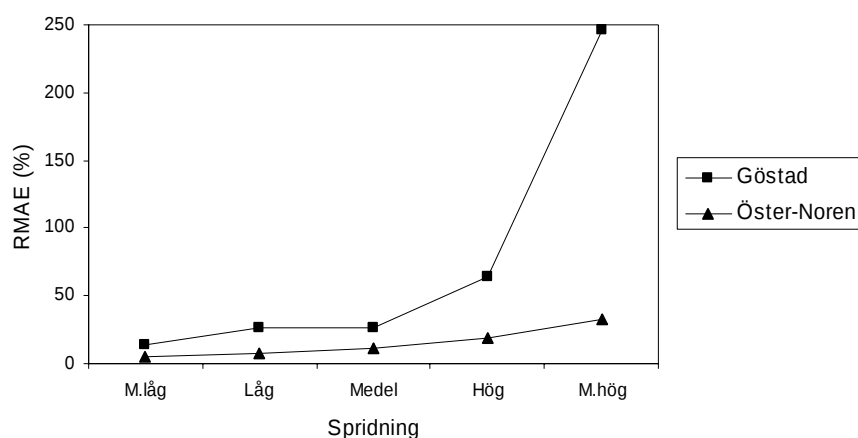
Resultatet visas i Figur 27, där på x-axeln D-1 betecknar dagen före $Q_o^{\max}$ inträffade och D-9 nio dagar tidigare. Vad gäller e_{abs} (Figur 27a) är skillnaden mellan EPS-median och PMP prognos för enskilda prognosdygn väldigt liten och för dygn 1-9 i genomsnitt 0%. Vad gäller e (Figur 27b) är det först och främst uppenbart att $Q_o^{\max}$ underskattas i prognoserna, med ~10% dygn D-1 och ~40% dygn D-9. Det bör understrykas att denna underskattning är delvis relaterad till metodiken att göra jämförelsen för dygn med höga observerade flöden. Beroende på osäkerheter i den hydrologiska modellen finns i modellerad vattenföring ofta avvikelser vad gäller både tidpunkt och storlek av höga flöden. Ett toppflöde kan i modellen ofta inträffa en eller ett par dagar tidigare eller senare än i verkligheten, och även om tidpunkten är korrekt är storleken ofta något underskattad. Således är bilden i Figur 27b inte oväntad. Vad gäller skillnaden mellan EPS-median och PMP prognos är för samtliga prognosdygn utom det första underskattningen något större i EPS-medianen, vilket troligen beror på att denna är utjämnad och således inte fullt kapabel att beskriva extrema värden.



Figur 27. Felet e_{abs} (a) och e (b) i prognoserna gjorda 1-9 dygn tidigare, medelvärdesbildat över alla 45 områden.

7.1 Förhållandet mellan spridning och utfall (spread-skill)

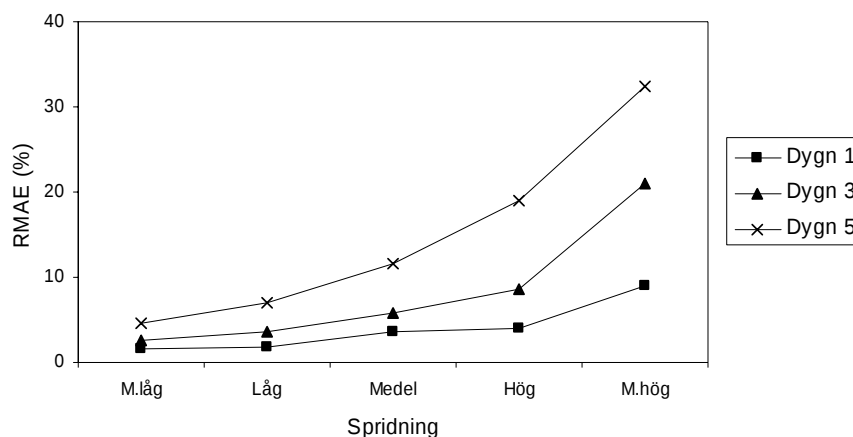
Figur 28 visar några exempel på förhållandet mellan spridning och utfall i ensembleprognoserna, för områdena Göstad och Öster-Noren, prognosdygn 5. I denna analys har förekomsten av modellfel liten betydelse, därför har referensflöde OBS använts. För båda områdena ökar medelfelet $RMAE$, alltså MAE dividerats med områdets medelvattenföring $\overline{Q_o}$, med spridningen i prognosen. Detta visar på en fundamental egenskap hos EPS-prognoserna, att de verkligen fungerar som kvalitativ indikator på prognosens osäkerhet. Är spridningen i en prognos hög kommer EPS-medianen i genomsnitt att avvika mer från det verkliga flödet, än ifall spridningen varit låg. Kurvorna indikerar vidare att det är liten skillnad mellan $RMAE$ för spridningsklasser ”mycket låg”, ”låg” och ”medel”. Det är först när spridningen blir hög eller mycket hög som $RMAE$ markant ökar. Figur 28 visar dock på stora kvantitativa skillnader mellan områden. För Öster-Noren är $RMAE \leq 10\%$ för låg till medelstor spridning och ökar till c:a 30% för mycket hög spridning. För Göstad är $RMAE$ c:a 15% för mycket låg spridning och ökar till 250% då spridningen är mycket hög. Skillnaden avspeglar storleksskillnaden mellan områdena. Göstad är litet varför flödet är känsligt för osäkerheter i korttidsprognoser, det omvända gäller för Öster-Noren (Tabell 1).



Figur 28. Förhållande mellan spridning i ensembleprognoserna och utfall ($RMAE$ för EPS-median) i områden Göstad och Öster-Noren, prognosdygn 5.

Som förväntat ökar $RMAE$ med ökande prognoslängd, vilket exemplifieras i Figur 29 för Öster-Noren, prognosdygn 1, 3 och 5. Det generella sambandet mellan spridning och utfall är likartat för de olika prognosdygnen.

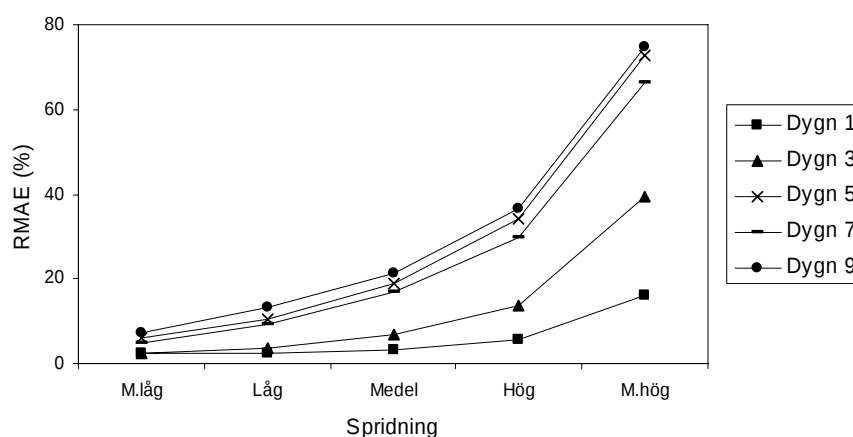
Figur 30 visar hur *spread-skill* förhållandet ser ut i genomsnitt för alla områden, prognosdygn 1, 3, 5, 7 och 9. Formen på kurvorna överensstämmer med figurerna ovan, alltså ökande $RMAE$ för ökande spridning, särskilt då spridningen blir hög eller mycket hög. Det kan



Figur 29. Förhållande mellan spridning i ensembleprognoserna och utfall (RMAE för EPS-median) i område Öster-Noren, prognosdygn 1, 3 och 5.

noteras att skillnaden mellan kurvorna för prognosdygn 5, 7 och 9 är relativt liten, vilket indikerar att EPS-prognosernas träffsäkerhet i termer av *RMAE* inte markant försämras efter prognosdygn 5. Samma tendens, dock något svagare, kan ses i *RRMSE*-resultatet från den deterministiska utvärderingen (Figur 26). Detta indikerar att EPS-prognoserna har sin huvudsakliga styrka i slutet av den 9-dygns prognosperioden.

Tabeller med *RMAE* för alla områden, prognosdygn 1, 5 och 9, finns i Appendix 3.



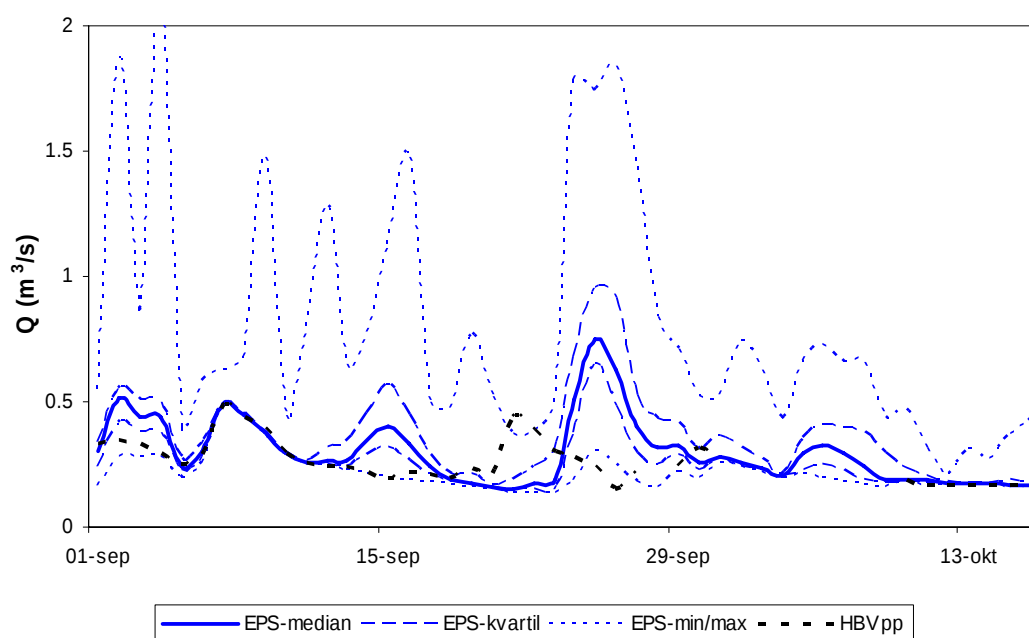
Figur 30. Förhållande mellan spridning i ensembleprognoserna och utfall (RMAE för EPS-median), medelvärdesbildat över alla 45 områden, för prognosdygn 1, 3, 5, 7 och 9.

Resultaten i detta avsnitt möjliggör en typ av användning av ensembleprognoser; som kvalitativ indikator på prognososäkerhet. Denna typ av information kan vara värdefull vid

olika tillämpningar, men det verkliga värdet av ensembleprognoserna ligger i möjligheten till kvantitativa sannolikhetsprognoser. En sådan användning kräver att prognosernas spridning motsvarar den verkliga variationen hos flödet, och detta förhållande studeras närmare i följande avsnitt.

8 Resultat: sannolikhetsbaserad utvärdering av vattenföring

I detta kapitel redovisas resultaten från den sannolikhetsbaserade utvärderingen av ensembleprognoserna. Syftet är att utröna ifall spridningen i prognoserna är korrekt och användbar för utfärdande av sannolikhetsprognoser. Som tidigare nämnts (avsnitt 4.3) har främst referensflöde HBVpp använts i den sannolikhetsbaserade utvärderingen, för att eliminera inverkan av felet i den hydrologiska modellen. Således har utvärderingen i huvudsak omfattat jämförelser mellan EPS-percentilerna (Figur 5b) och HBVpp. I Figur 31 visas dessa för samma område, tidsperiod och prognosdygn som i Figur 19; Tånemölla, 1 sep till 15 okt 2004, dygn 5. Eftersom det är prognosdygn 5 är EPS-spridningen ganska kraftig och omfattar för det mesta HBVpp, även om undantag finns. Eftersom det finns avbrott i observationernas tidsserier finns det avbrott även i HBVpp, vilken uppdaterats mot observationerna. Även referensflöde OBS har använts ibland och detta är då specifikt angivet; i annat fall gäller referensflöde HBVpp.

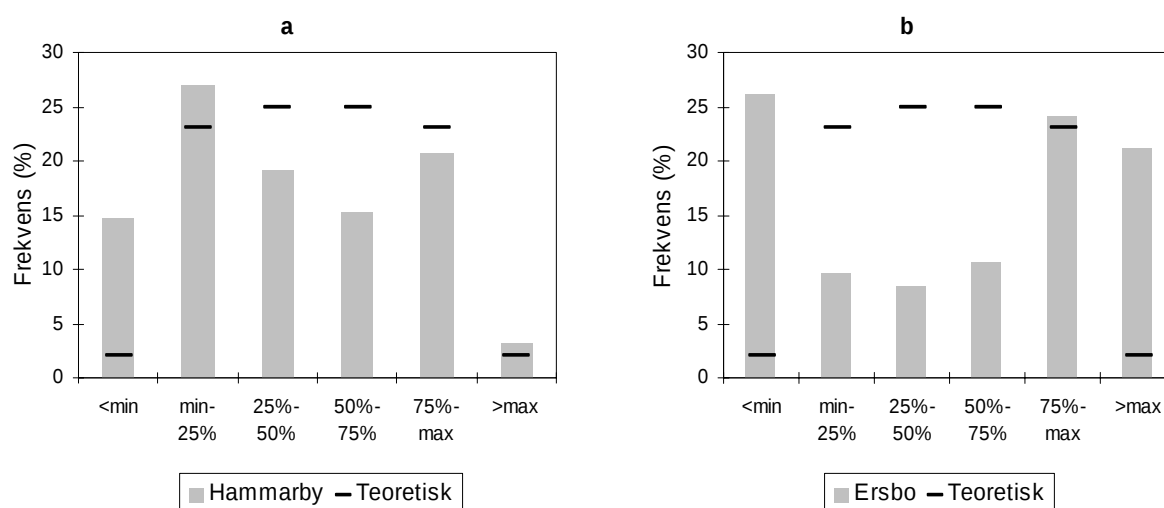


Figur 31. Exempel på HBVpp och EPS-percentiler, från område Tånemölla år 2004.

8.1 Percentilbaserad utvärdering

Figur 32 visar två exempel på resultat från den percentilbaserade utvärderingen, i form av

diagrammet i Figur 8. I Figur 32a visas resultatet för Hammarby, prognosdygn 5, vilket får representera områden med relativt sett bra EPS-spridning. I detta fall överensstämmer de observerade frekvenserna någorlunda väl med den teoretiska fördelningen. En markant avvikelse är att frekvenserna av observationer som hamnar mellan median och kvartiler (25%-50% respektive 50%-75% på x-axeln i Figur 32) är 5-10% för låga. Detta innebär att avståndet mellan kvartilerna i genomsnitt är för litet för att tillräckligt ofta omfatta referensflödet. Den andra tydliga avvikelser är att frekvensen av observationer som hamnar under EPS-min (<min i Figur 32) är drygt 10% för hög. Detta kan bero på att minimiprognosen överskattas i EPS-systemet, men troligen spelar även felet i temperaturprognoserna (se avsnitt 5.2) in här. Att negativa temperaturer ersätts med en temperatur nära 0°C kan få HBV-modellen att under de aktuella dygnen felaktigt smälta av en mindre mängd snö som ökar flödet något. Detta innebär att hela skaran av ensembleprognoser förflyttas något uppåt, varvid referensflödet kan komma att felaktigt hamna utanför spridningen.

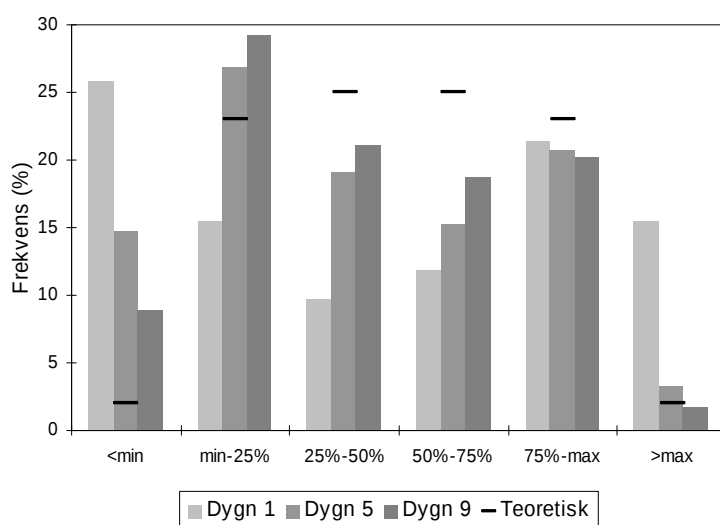


Figur 32. Frekvens av observationer mellan EPS-percentiler i områden Hammarby (a) och Ersbo (b), prognosdygn 5.

I Figur 32b visas resultatet för Ersbo, prognosdygn 5, vilket får representera områden med relativt sett dålig EPS-spridning. I detta fall hamnar referensflödet alldeles för ofta utanför EPS-spridningen, nästan 50% av tiden jämfört med 4% teoretiskt sett. Som i Hammarby (Figur 32a) hamnar referensflödet alldeles för ofta under EPS-min, men i Ersbo överstiger referensflödet också alldeles för ofta EPS-max. I detta fall är således hela EPS-spridningen alldeles för snäv. Det kan nämnas att även i de meteorologiska ensembleprognoserna har spridningen funnits vara för snäv, med c:a 10-20% av observationerna utanför EPS-spridningen, se t.ex. [9] och [11]. Detta kan delvis förklara den underskattade spridningen

också i de hydrologiska ensembleprognoserna.

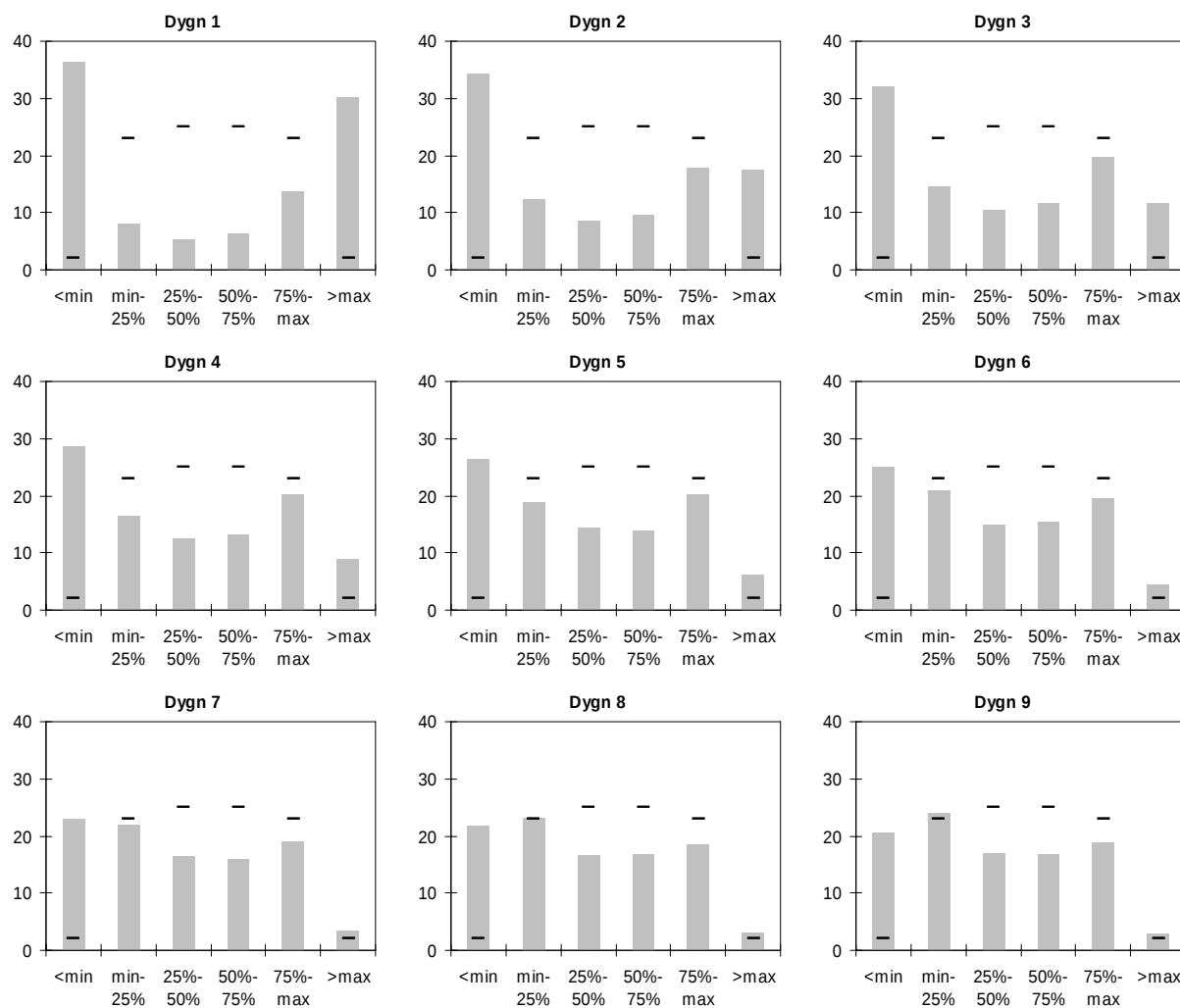
Figur 33 visar resultatet för Hammarby, prognosdygn 1, 5 och 9. Det är tydligt att EPS-spridningens överensstämmelse med den teoretiska spridningen ökar med ökad prognoslängd. Dygn 1 hamnar referensflödet utanför EPS-spridningen under c:a 40% av tiden, medan detta sker under bara c:a 10% dygn 9 (teoretiskt: 4%). Mellan EPS-kvartilerna hamnar flödet bara c:a 20% av tiden dygn 1, jämfört med 40% dygn 9 (teoretiskt: 50%).



Figur 33. Frekvens av observationer mellan EPS-percentiler i område Hammarby, prognosdygn 1, 5 och 9.

I Figur 34 visas diagram som medelvärdesbildats över samtliga 45 områden. Prognosdygn 1 hamnar referensflödet inom EPS-spridningen under bara c:a 33% av tiden, för att öka till drygt 75% dygn 9 (teoretiskt: 96%). Den överskattade frekvensen av referensflöden som hamnar under EPS-min är tydlig för alla prognoslängder. Tabeller med frekvenser för alla områden, prognosdygn 1, 5 och 9, finns i Appendix 4.

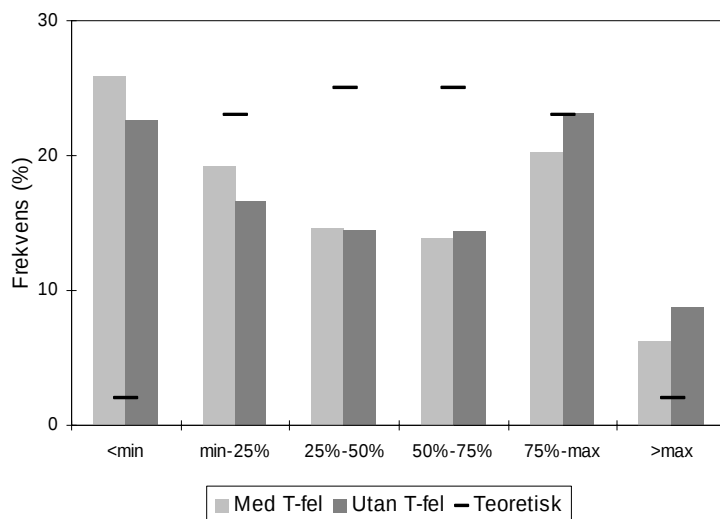
För att undersöka effekten av det ovan nämnda felet i temperaturprognoserna (avsnitt 5.2) gjordes vid författandet av denna rapport ett mindre test med prognoser genererade av EPS-systemet efter att felet upptäckts och korrigerats. Denna period motsvarar c:a 4 månaders data (april-juli 2006). För denna period utfördes den percentilbaserade utvärderingen p.s.s. som för den huvudsakliga 18-månaders utvärderingsperioden. I Figur 35 visas resultatet för prognosdygn 5 i form av diagram som medelvärdesbildats över samtliga områden (staplar "Med T-fel" motsvarar således Dygn 5 i Figur 34). Diagrammen visar att temperaturfelet verkar ha ökat frekvensen av tillfällen då referensflödet ligger under EPS-min, såsom diskuterats ovan. Dock är ökningen ganska liten, c:a 4%. I gengäld är frekvensen av



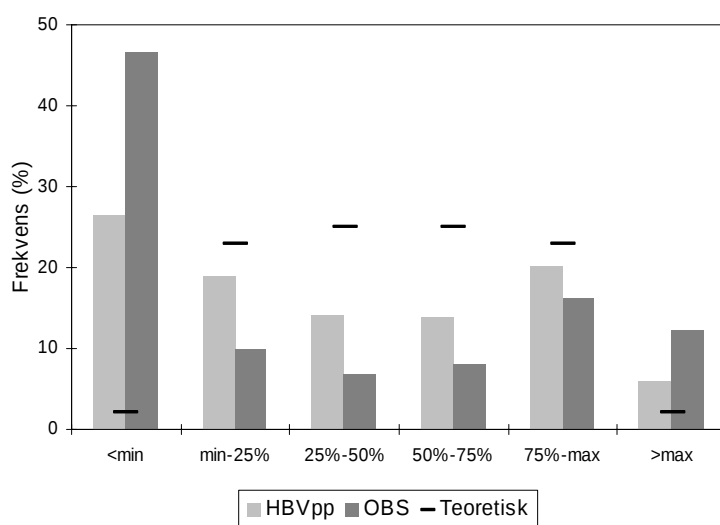
Figur 34. Frekvens av observationer mellan EPS-percentiler, medelvärdesbildad över alla 45 områden, för prognosdygn 1-9.

referensflöden som hamnar över EPS-maximum något högre utan temperaturfelet. Figur 35 indikerar emellertid att inverkan av temperaturfelet är överlag tämligen litet, och att resultaten från den huvudsakliga 18-månadersperioden (med temperaturfel) därför bör vara överlag tillförlitligt och representativt för EPS-systemets verkliga funktion. Det bör dock understrykas att perioden efter temperaturfelets korrigering är kort och resultaten därför osäkra, en mera omfattande utredning av temperaturfelets inverkan kräver en längre period med data.

De percentilbaserade resultaten ovan gäller alltså för referensflöde HBVpp och avspeglar därför enbart felet i den meteorologiska prognosen. Dessa resultat kan jämföras med resultat från en utvärdering mot referensflöde OBS, som avspeglar de sammanlagda felen i meteorologisk prognos och hydrologisk modell. På så sätt kan en bedömning göras av storleksförhållandet mellan prognosfel och modellfel. Figur 36 visar en jämförelse mellan diagrammen för HBVpp och OBS, prognosdygn 5, medelvärdesbildat över alla områden. Frekvensen av flöden som hamnar innanför EPS-spridningen för OBS (41%) är nästan



Figur 35. Frekvens av observationer mellan EPS-percentiler, medelvärdesbildad över alla 45 områden, för prognosdygn 5 med och utan temperaturfel.



Figur 36. Frekvens av observationer mellan EPS-percentiler, medelvärdesbildad över alla 45 områden, för prognosdygn 5 med referensflöden OBS och HBVpp.

halverad jämfört med HBVpp (67%). Se också Appendix 4.

Tabell 2 illustrerar skillnaden mellan HBVpp och OBS för samtliga prognosdygn. Andelen tid flödet hamnar mellan EPS-kvartilerna går från 12% dygn 1 till 34% dygn 9 för HBVpp och från 4% till 22% för OBS. Förhållandet är likartat för andelen tid flödet hamnar mellan EPS-min och EPS-max, alltså inom EPS-spridningen. Värdena för HBVpp är i genomsnitt 1.9 gånger större än värdena för OBS, alltså omfattar EPS-spridningen referensflöde HBVpp

ungefär dubbelt så ofta som den omfattar referensflöde OBS. Detta indikerar att felet i den meteorologiska prognosen och felet i den hydrologiska modellen har ungefär lika stor inverkan på det totala felet i denna percentilbaserade typ av utvärdering.

Tabell 2. Frekvens av observationer mellan EPS-percentiler, medelvärdesbildad över alla 45 områden, för referensflöden OBS och HBVpp, prognosdygn 1-9.

Intervall	Ref.	Frekvens inom intervall (%)								
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
25%-75%	HBVpp	11.8	18.1	22.1	25.6	28.2	30.3	32.3	33.5	33.7
	OBS	4.1	7.1	9.6	12.1	15.0	17.2	19.0	20.9	21.8
min-max	HBVpp	33.5	48.3	56.4	62.3	67.4	70.6	73.4	75.1	76.6
	OBS	13.3	21.4	28.8	35.1	41.2	45.7	49.1	51.9	54.4

8.2 Tröskelbaserad utvärdering

I den tröskelbaserade utvärderingen har resultaten från de nio olika prognoslängderna (1-9 dygn) slagits ihop, för varje område. Detta beror på att antalet tillfällen då ensembleprognoserna indikerar att en tröskelnivå ska komma att överskridas, från ett utgångsläge under nivån vid prognostillfället, är litet. Oftast är antingen hela skaran av ensembleprognoser under tröskelnivån, eller flödet redan över nivån vid prognostillfället. För en enskild prognoslängd finns därför bara ett fåtal användbara tillfällen. Problemet är störst för korta prognoslängder, eftersom EPS-spridningen då är minst. Till exempel, för prognosdygn 1 finns i genomsnitt över alla områden bara två tillfällen under utvärderingsperioden då tröskelnivån "högt flöde" förutsägs överskridas med 75-98% (i medeltal 86.5%) sannolikhet. För längre prognoser ökar EPS-spridningen och därmed antalet användbara fall, vilket dock sällan markant överstiger ett tiotal. Det begränsade antalet fall gör att de uppskattade observerade frekvenserna av överskridande blir väldigt osäkra för enskilda prognoslängder. Genom att slå samman alla prognoslängder (1-9 dygn) blir antalet fall för varje område tillräckligt stort för att en godtagbart stabil uppskattning av frekvenserna ska kunna göras. Antalet fall i genomsnitt per område i det sammanslagna materialet varierar från c:a 100 för höga sannolikheter till 500-1500 för låga.

I den kategoriska utvärderingen studerades förekomsten av s.k. falska alarm (FA) och totala missar (TM), som en förberedelse till den mera fullständiga tröskelbaserade utvärderingen. Tabell 3 visar det totala resultatet från den kategoriska utvärderingen, som tagits fram genom medelvärdesbildning över samtliga 45 områden och alla nio prognosdygn. För referensflöde HBVpp är FA c:a 20%, vilket innebär att var femte gång EPS-min hamnade ovanför tröskelnivån överskreds nivån inte i verkligheten. Detta är 10 gånger oftare än de förväntade

2% av tillfällena. Problemet avspeglar troligen den underskattade EPS-spridning som upptäcktes i föregående avsnitt. En kraftigare spridning kan förväntas innebära att EPS-min oftare hamnar under tröskelnivån och därmed en lägre frekvens av falska alarm, såsom de definierats här. TM, å andra sidan, är lägre än 2%. Fallet att referensflödet överskrider tröskelnivån trots att EPS-max hamnat under densamma inträffar således något för sällan. Detta indikerar snarast för liten EPS-spridning, att EPS-max oftare borde hamnat under tröskelnivån. TM-analysen är dock något svårtolkad p.g.a. det stora antalet fall som beaktas, också sådana när både EPS-percentiler och referensflöde är långt under tröskelnivån under hela prognosperioden. En möjligen mera rättvisande, och med FA-analysen mer överensstämmande, TM-analys med enbart fall då referensflödet ligger i närheten av tröskelnivån vid prognostillfället är tänkbar men inte genomförd här.

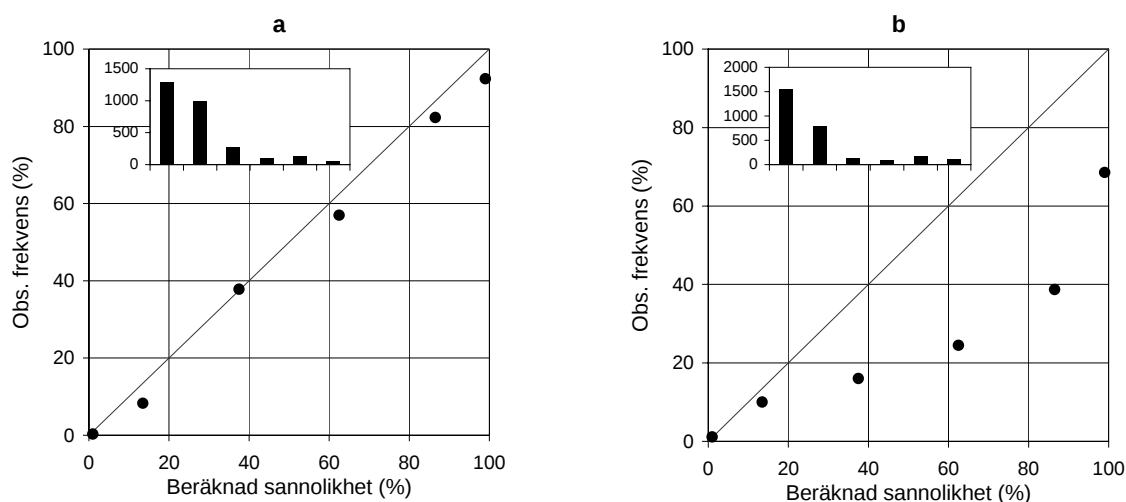
För referensflöde OBS är FA ungefär fördubblat (Tabell 3), vilket p.s.s. som den percentilbaserade utvärderingen indikerar att det meteorologiska prognosfelet och det hydrologiska modellfelet är av samma storleksordning. För ”högt flöde” är FA närmare 60%, i genomsnitt skulle således tre av fem alarm vara falska. Det kan vidare noteras att för både HBVpp och OBS är FA något lägre för tröskelnivå ”mycket högt flöde” jämfört med ”högt flöde”. Vad gäller TM är detta värde för OBS närmare det korrekta värdet 2%, än vad var fallet för HBVpp. Eftersom resultatet för OBS inte rimligen kan vara systematiskt bättre än HBVpp avspeglar detta snarast svårigheten att tolka TM-analysen.

Tabell 3. Frekvenserna av ”falska alarm” (FA) och ”totala missar” (TM) för referensflöden HBVpp och OBS, tröskelnivåer ”högt flöde” och ”mycket högt flöde”.

		FA (%)	TM (%)
Högt flöde	HBVpp	23.8	0.6
	OBS	56.8	1.4
Mycket högt flöde	HBVpp	18.5	0.3
	OBS	40.0	0.6

Figur 37 visar två exempel på resultat från den fullständiga tröskelbaserade utvärderingen, i form av *reliability diagram* (Figur 9) för två områden, tröskel ”högt flöde”. I Figur 37a visas resultatet för Krokfors kvarn, vilket får representera områden med god överensstämmelse mellan beräknade sannolikheter och observerade frekvenser av överskridande. För detta område ligger de observerade frekvenserna mycket nära de beräknade sannolikheterna för alla sannolikhetsnivåer. Till exempel, i 52 fall är den beräknade sannolikheten 98% (se infällt diagram samt Appendix 5), d.v.s. EPS-min överstiger tröskelnivån. I 48 av dessa överskrider tröskeln också i verkligheten, vilket ger en observerad frekvens på 92.3%. I Figur 37b visas

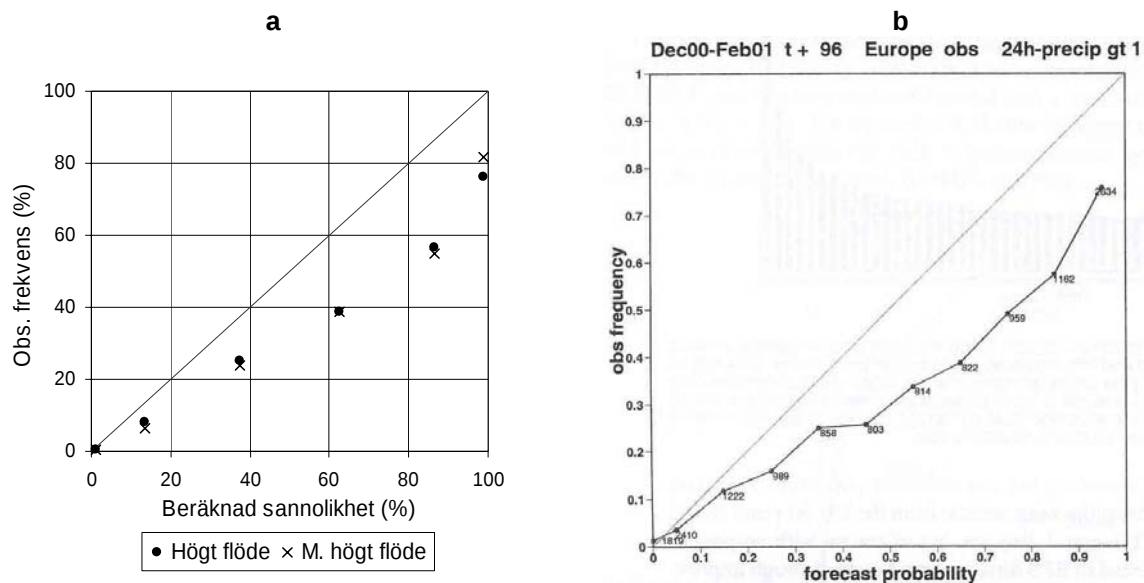
resultatet för Åkesta kvarn (912), vilket får representera områden med sämre överensstämmelse mellan beräknade sannolikheter och observerade frekvenser. För detta område överskattar EPS-systemet sannolikheterna för överskridande. I detta fall finns 105 fall då sannolikheten beräknats till 98% (Appendix 5), men i bara 72 av dessa (68.6%) överskreds tröskeln. De gånger tröskelöverskridande beräknades ske med 86.5% sannolikhet skedde det i verkligheten bara i 40% av fallen. Överskattningen är kraftigast för höga sannolikheter och något mindre för låga.



Figur 37. Förhållande mellan beräknad sannolikhet för och observerad frekvens av överskridande av tröskel "högt flöde" för områden Krokfors kvarn (a) och Åkesta kvarn (b). Infällt diagram visar antalet fall för varje beräknad sannolikhet mellan 2% (längst till vänster i infällt diagram) och 98% (längst till höger).

Figur 38a visar det totala resultatet från den tröskelbaserade utvärderingen av "högt flöde", som tagits fram genom medelvärdesbildning över samtliga 45 områden och alla nio prognosdygn. Kurvan ligger i stort sett mitt emellan de båda exemplen i Figur 37, med en överskattning av sannolikheter som ökar från ett fåtal procent för låga sannolikheter till drygt 20% för höga. EPS-systemet kommer således att varna för ofta. I de fall systemet varnar för att tröskelnivån nästan säkert ska överskridas (98%) kommer detta att ske i knappt 80% av fallen, d.v.s. i genomsnitt var femte varning är ett falskt alarm, såsom också visat i den kategoriska utvärderingen (Tabell 3).

I Figur 38a visas även det totala resultatet för tröskelnivå "mycket högt flöde". Kurvan är närmast identisk med kurvan för "högt flöde". Även resultatet för enskilda områden är mestadels snarlikt för båda tröskelnivåer. En skillnad är att antalet fall är mindre för "mycket

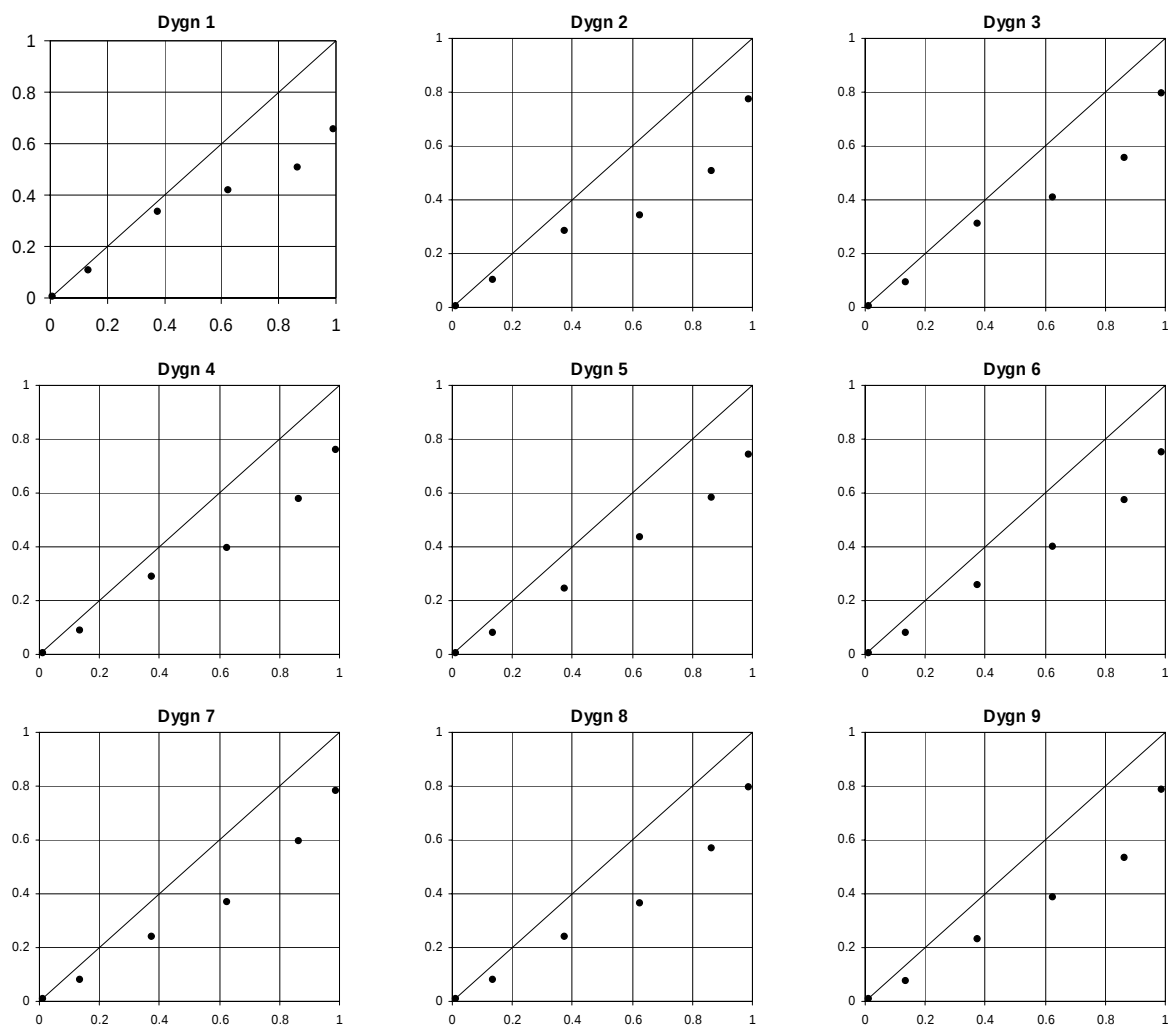


Figur 38. Förhållande mellan beräknad sannolikhet för och observerad frekvens av överskridande av trösklar ”högt flöde” och ”mycket högt flöde”, medelvärdesbildat över all 45 områden (a). Exempel på reliability diagram för nederbörd från ECMWF, från [9] (b).

högt flöde”, c:a hälften av antalet för ”högt flöde” för de högre sannolikhetsnivåerna (Appendix 5), vilket gör uppskattningen av observerade frekvenser mer osäker. I Appendix 5 redovisas det totala resultatet, sammanslaget för prognosdygn 1-9, för samtliga 45 områden och båda tröskelnivåer.

Som en jämförelse med Figur 38a visas i Figur 38b ett *reliability diagram* från ECMWF, som avspeglar sannolikheten att nederbörden över ett visst område under 24 timmar överskrider en viss tröskel [9]. Likheten med Figur 38a är slående, vilket indikerar att de överskattade sannolikheterna i flödesprognoserna åtminstone delvis kan härröra från överskattade sannolikheter i den meteorologiska prognosen. Det kan nämnas att sannolikheterna i ett *reliability diagram* med ett utseende såsom i Figur 38a, ungefär rät linje genom origo men mindre lutning än $x=y$ -linjen, kan kalibreras på ett enkelt sätt. Genom att multiplicera alla beräknade sannolikheter i Figur 38a med c:a 0.7 kommer de att överensstämma väldigt väl med de observerade frekvenserna. Dock kommer då inga högre sannolikheter än 70% att kunna förutsägas i prognoserna.

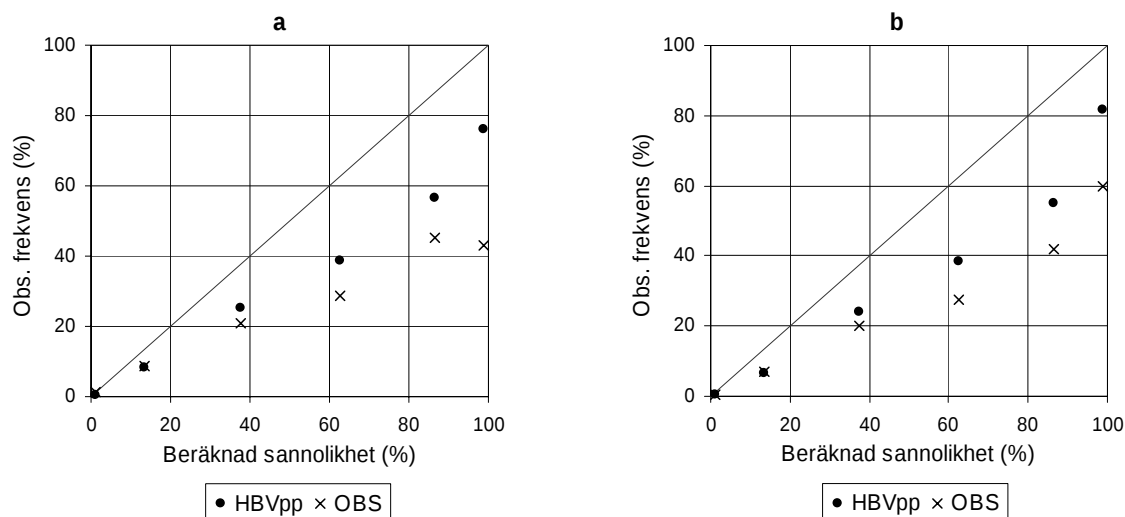
Om resultatet från samtliga områden medelvärdesbildas kan även variationen över olika prognosdygn studeras, och i Figur 39 visas detta medelvärdesbildade resultat för dygn 1-9, ”högt flöde”. För samtliga dygn är bilden väldigt lik det totala resultatet i Figur 38a. En svag tendens finns till att låga sannolikheter är mindre överskattade för korta prognoser än för långa. Resultatet är likartat för ”mycket högt flöde”.



Figur 39. Förhållande mellan beräknad sannolikhet för och observerad frekvens av överskridande av tröskel "höst flöde", medelvärdesbildat över all 45 områden, för prognosdygn 1-9.

I Figur 40 visas en jämförelse mellan det totala resultatet för referensflöde HBVpp respektive OBS. För referensflöde OBS är överskattningen av sannolikheter markant kraftigare. Situationen är likartad för "höst flöde" och "mycket höst flöde", förutom viss skillnad för den högsta sannolikhetsnivån 98%. För nivå "höst flöde" inträffar t.ex. de tröskelöverskridanden som förutsägs med 98% sannolikhet enbart i drygt 40% av fallen (se också Tabell 3). Avvikelsen från den perfekta $x=y$ -linjen är totalt sett c:a 40% större för OBS än för HBVpp (drygt 70% om enbart de tre högsta sannolikheterna beaktas). Detta kan tas som en indikation på att i termer av sannolikhet för överskridande av tröskelnivå är inverkan av felet i den hydrologiska modellen totalt sett mindre än felet i den meteorologiska prognosen.

Det fullständiga resultatet för referensflöde OBS finns redovisat i Appendix 5.



Figur 40. Förhållande mellan beräknad sannolikhet för och observerad frekvens av överskridande av trösklar "högt flöde" (a) och "mycket högt flöde" (b), medelvärdesbildat över alla 45 områden, för referensflöden HBVpp och OBS.

9 Tolkning och presentation av ensembleprognoser

I kapitel 6, 7 och 8 har ensembleprognoserna för vattenföring utvärderats. Resultaten visar på både fördelar och problem med prognoserna. Positivt är att EPS-medianen verkar vara likvärdig med PMP-prognosen och att EPS-spridningen kan fungera som ett kvalitativt mått på prognosens osäkerhet. Dock är spridningen tydligt underskattad vilket gör att sannolikheten för de framräknade percentilerna inte överensstämmer med de teoretiska. Därför bör EPS-percentilerna direkt från prognossystemet inte användas kvantitativt

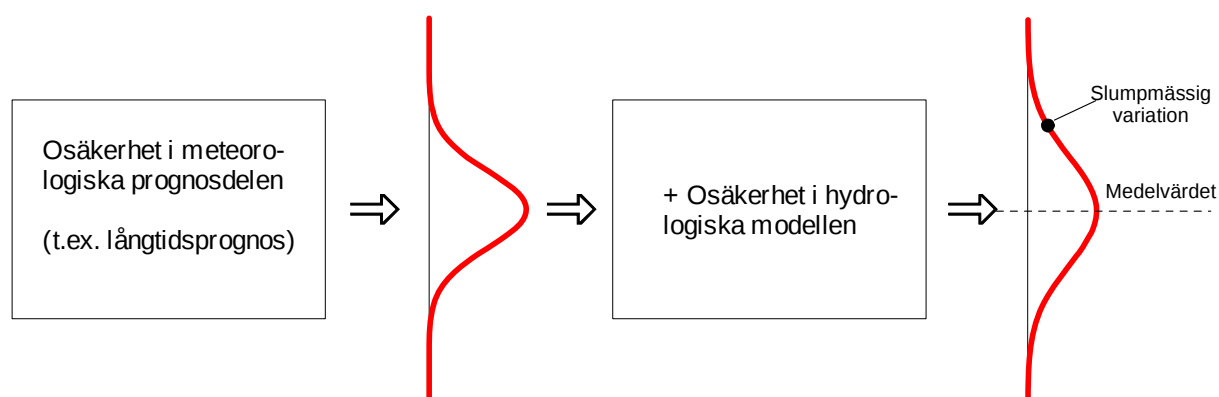
I detta kapitel ligger fokus på användningen av ensembleprognoserna. Det handlar dels om att kunna tolka dem på ett sätt som gör dem maximalt användbara. Ett grundläggande villkor i detta avseende är att de framräknade sannolikheterna är kvantitativt korrekta. Eftersom detta inte gäller för de direkt framräknade EPS-percentilerna krävs någon typ av korrigering i efterhand. Denna korrigering kan antas ha två huvudsakliga komponenter. Den första är en justering av den underskattade EPS-spridningen. Metoder för att i efterhand justera underskattad spridning har utvecklats och testats för meteorologiska ensembleprognoser av t.ex. [18] och [19]. Den andra komponenten är en beskrivning av osäkerheten i den hydrologiska modellen, HBV-modellen i detta fall. Kopplingen mellan EPS-prognososäkerhet och hydrologisk modellosäkerhet har studerats av t.ex. [5]. I avsnitt 9.1 diskuteras inledningsvis de båda komponenterna, varefter en total korrigeringsmetod beskrivs och utvärderas.

Förutom tolkningen av prognoserna är det viktigt att dessa därefter presenteras på ett sätt som är begripligt och användbart för slutanvändarna. I avsnitt 9.2 redovisas några förslag på hur

sådan presentation kan utformas, samt några kommentarer från slutanvändare på dessa förslag.

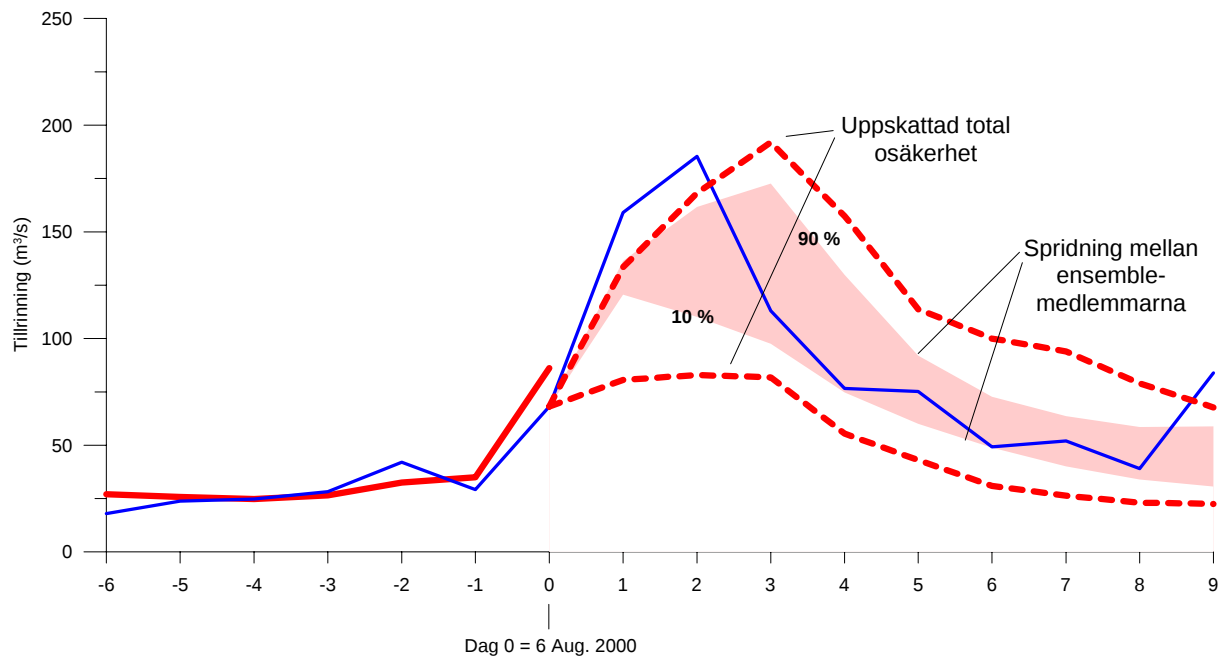
9.1 Korrigering av ensembleprognosernas spridning

Det långsiktiga målet med hydrologiska tillämpningar av meteorologiska ensembleprognoser är hydrologiska sannolikhetsprognoser. Spridningen mellan de beräknade ensemblemedlemmarna underskattar dock den verkliga osäkerheten i sådana prognoser, som visats ovan. Den totala prognososäkerheten har bidrag från dels osäkerheten i den meteorologiska prognosen, dels osäkerheten i den hydrologiska modellen (Figur 41). Den senare medför att modellen inte korrekt simulerar en uppmätt vattenföringsserie ens då den drivs av uppmätta väderförhållanden (Figur 10). Å andra sidan kan man genom systemets tröghet uppskatta vattenföringens utveckling under de första dygnet i en prognos. Det förväntade felet kan uppskattas genom en enkel autoregressiv prognos på hur felet i allmänhet växer till med prognosens längd, kallad AR-metoden. AR-metoden testades i HBV-modellen av Lundberg [14], infördes i SMHI:s HBV-modell i samband med ett HUVÅ-projekt [13] och används idag rutinmässigt i de indikatorområden som körs i daglig drift (Figur 3).



Figur 41. Principskiss för tillskott till den totala osäkerheten i den hydrologiska prognosen från den hydrologiska modellen.

AR-metoden utnyttjades i denna studie som en ansats för att uppskatta modellfelets tillväxt och överlagrades spridningen mellan ensemblemedlemmarna. Överlagringen kan göras på olika sätt men den principiella effekten av en överlagrad störning illustreras i Figur 42 för Kultsjön. Metoden utvärderades översiktligt för enstaka områden och befanns förbättra resultatet både för percentilbaserad och tröskelbaserad utvärdering.



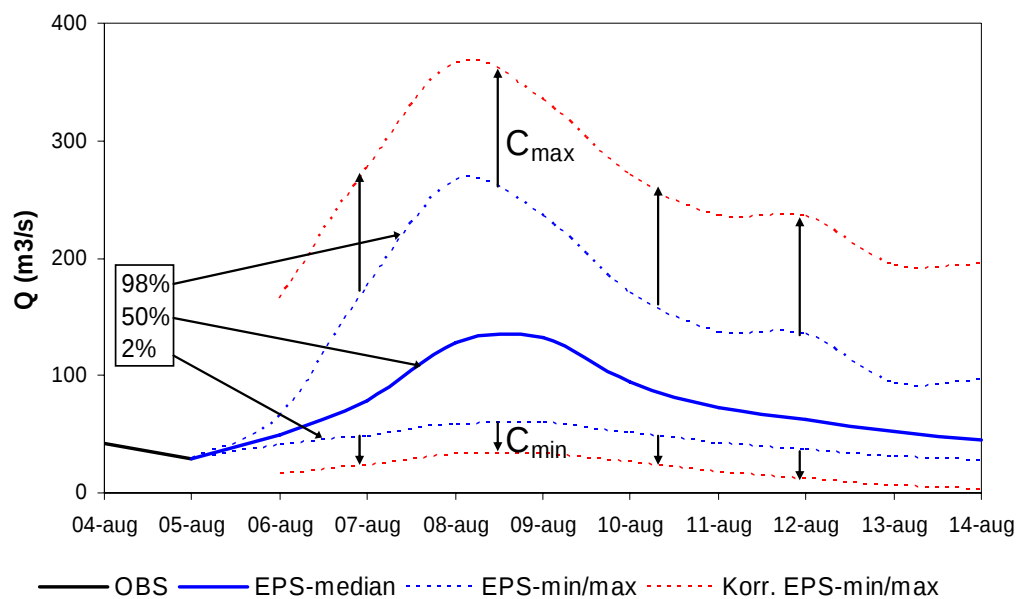
Figur 42. Exempel på ensembleprognoser för tillrinning till Kultsjön, nio dygn från den 6 augusti 2000. Spridningen mellan ensemblemedlemmarna jämförs med den uppskattade totala osäkerheten.

Ett alternativ till att separat beskriva effekten av modellens osäkerhet är att i en total korrigeringsmetod kombinera denna beskrivning med den justering av EPS-spridningen som befunnits nödvändig. Eftersom modellens osäkerhet ökar med ökande prognoslängd behöver EPS-spridningen ökas förhållandevis lite i början och mycket i slutet av prognosen, för att kompensera för modellosäkerheten. Detta avspeglas i resultaten från den sannolikhetsbaserade utvärderingen ovan. I Tabell 2 utvärderas EPS-spridningen för både referensflöde HBVpp (utan modellfel) och OBS (med modellfel). För prognosdygn 1 är andelen observationer som hamnar mellan EPS-kvartilerna 11.8% för HBVpp och 4.1% för OBS, alltså en skillnad på 7.7%. För prognosdygn 2 är skillnaden 11.1%, för att därefter ligga runt 13% för prognosdygn 3-9. Resultatet för andelen observationer mellan EPS-minimum och -maximum är mindre tydligt, men även här är skillnaden lägst för prognosdygn 1.

Vad gäller den erforderliga justeringen av EPS-spridningen följer denna i princip ett omvänt mönster, se Figur 34. I början av prognosen är spridningen kraftigt underskattad, men i slutet av prognosen är underskattningen avsevärt mindre. För att justera EPS-spridningen behöver denna således ökas mycket i början och lite i slutet av prognosen.

Den justering av spridningen som krävs för de båda komponenterna alltså är av motsatt karaktär, ökande respektive minskande med prognoslängd. Som en första ansats är därför en metod tänkbar i vilken korrigeringen av EPS-spridningen är konstant, oberoende av prognoslängd. Detta förutsätter att effekten av de båda komponenterna är av ungefär samma storlek, vilket resultaten i avsnitt 0 indikerade (Tabell 2). I termer av EPS-percentiler kan en

konstant korrigering utföras genom en parallellförflyttning av dessa. Eftersom spridningen ska öka bör i princip EPS-maximum och övre kvartil förflyttas uppåt medan EPS-minimum och undre kvartil förflyttas nedåt, även om andra varianter är tänkbara. Figur 43 visar effekten av en parallellförflyttning av EPS-minimum och EPS-maximum, där $C_{\min}$ betecknar den konstant med vilken EPS-minimum förflyttas nedåt och $C_{\max}$ den med vilken EPS-maximum förflyttas uppåt.



Figur 43. Princip för korrigering av EPS-spridning genom parallellförflyttning av percentiler.

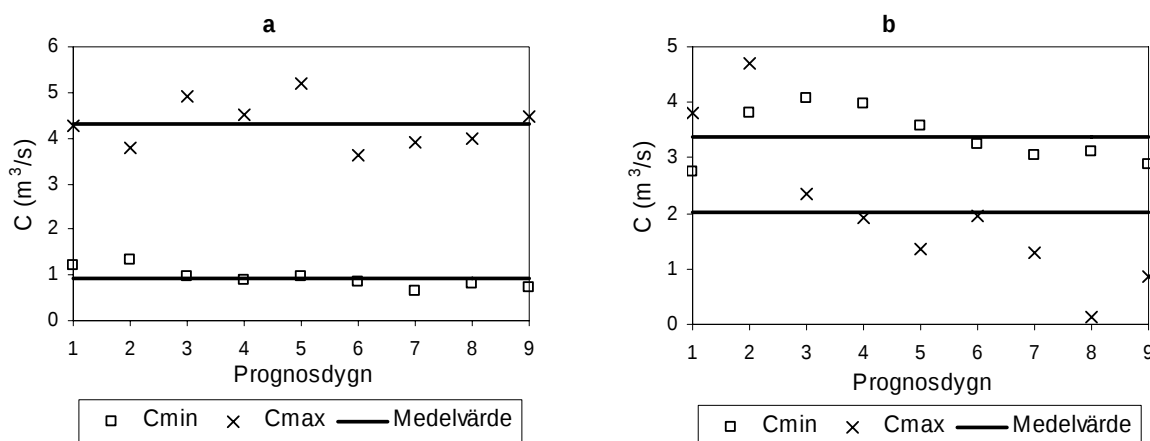
Metoden har utvärderats för fem områden: Pepparforsen, Simlången, Krokfors kvarn, Hyttingsheden och Sundstorp. Utvärderingen har innefattat två huvudsakliga frågeställningar:

- Är en konstant parallellförflyttning av percentiler en lämplig approximation av den förändring av EPS-spridningen som behövs?
- Vilka värden antar parametrarna $C_{\min}$ och $C_{\max}$ och kan dessa kopplas till områdeskaraktistika?

Den första frågeställningen utvärderades genom en "baklängesanalys" där, för varje område och prognosdygn, de korrekta värdena för EPS-minimum och EPS-maximum uppskattades. Alltså, med vilken konstanta faktorer $C_{\min}$ och $C_{\max}$ ska EPS-minimum och EPS-maximum förändras för att de ska motsvara sina teoretiska sannolikheter för överskridande (98% respektive 2%)? Eftersom utvärderingsperioden omfattar 550 dygn innebär de teoretiska

sannolikheterna att EPS-minimum bör underskridas 11 av dessa dygn och EPS-maximum överskridas lika många. I en "trial-and-error" procedur justerades EPS-minimum och EPS-maximum med olika konstanta faktorer $C_{\min}$ och $C_{\max}$, tills ett korrekt antal under- respektive överskridanden erhöles.

Figur 44 visar resultatet av utvärderingen för två av områdena, Pepparforsen och Sundstorp. För Pepparforsen (Figur 44a) ligger $C_{\min}$ tämligen konstant på ett värde nära $1 \text{ m}^3/\text{s}$, som minskar svagt med ökande prognoslängd. Parametern $C_{\max}$ varierar mer, från knappt $4 \text{ m}^3/\text{s}$ till drygt $5 \text{ m}^3/\text{s}$, men ligger även den relativt stabilt runt ett medelvärde $\bar{C}_{\max} = 4.3 \text{ m}^3/\text{s}$. För Sundstorp (Figur 44b) ligger $C_{\min}$ relativt stabilt runt medelvärdet $\bar{C}_{\min} = 3.4 \text{ m}^3/\text{s}$ emedan $C_{\max}$ varierar mellan 0 och $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\bar{C}_{\max} = 2.0 \text{ m}^3/\text{s}$) och tydligt minskar med ökande prognoslängd.



Figur 44. Justeringsparametrar $C_{\min}$ och $C_{\max}$ som funktion av prognosdygn för områden Pepparforsen (a) och Sundstorp (b), samt medelvärdena av $C_{\min}$ och $C_{\max}$ över alla prognosdygn.

Resultatet för de övriga tre områdena är likartat det som visas i Figur 44. I vissa fall är variationen mellan olika prognosdygn betydande och i vissa fall finns tydliga trender, men totalt sett förefaller medelvärdet över alla prognosdygn vara en rimlig första approximation. I det fall trender finns verkar de oftast vara såsom för $C_{\min}$ i Figur 44a eller $C_{\max}$ i Figur 44b, alltså att storleken på korrigeringen svagt eller starkt minskar med ökande prognoslängd. Detta kan indikera att korrigeringen för den underskattade EPS-spridningen dominerar något över korrigeringen för modellosäkerhet. I Tabell 4 redovisas $\bar{C}_{\min}$ och $\bar{C}_{\max}$ för de fem områdena.

Vad gäller EPS-kvartilerna utvärderades även möjligheten till konstant korrigering av dessa, och resultaten indikerade att denna korrigering kan göras med ett värde beräknat som en andel k av $\bar{C}_{\min}$ respektive $\bar{C}_{\max}$. Alltså, den övre kvartilen parallellförflyttas med $k\bar{C}_{\max}$ och den

Tabell 4. Medelvattenföring (MQ) och parametrar $\bar{C}_{\max}$, $\bar{C}_{\min}$ och k i metoden för korrigering av EPS-spridning för fem områden.

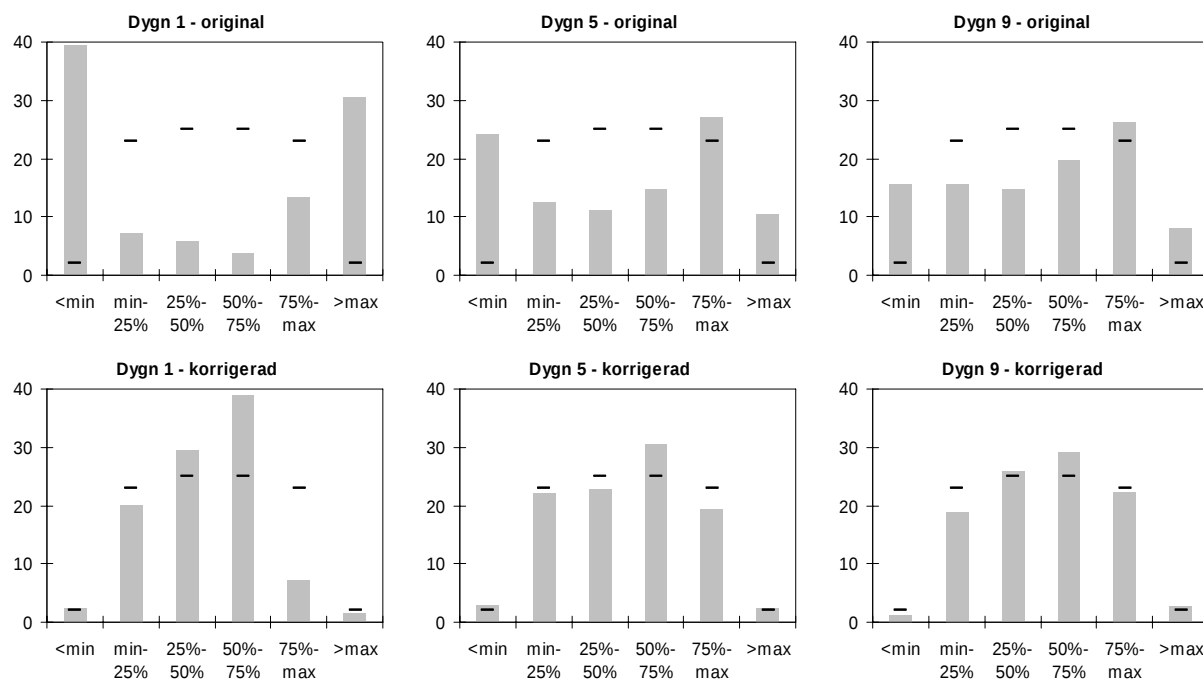
	MQ	$\bar{C}_{\max}$	$\bar{C}_{\min}$	$\bar{C}_{\max}/MQ$	$\bar{C}_{\min}/MQ$	k
Krokfors kvarn	2.2	2.8	0.6	1.27	0.27	0.15
Pepparforsen	7.7	4.3	0.93	0.56	0.12	0.2
Hyttingsheden	0.78	0.72	0.15	0.92	0.19	0.1
Sundstorp	6.3	2	3.4	0.32	0.54	0.15
Simlängen	5.3	3.5	3	0.66	0.57	0.15
Medel				0.75	0.34	0.15

undre med $k\bar{C}_{\min}$. Värdet på k befanns ligga i intervallet 0.1-0.2 och i Tabell 4 redovisas k för de fem områdena.

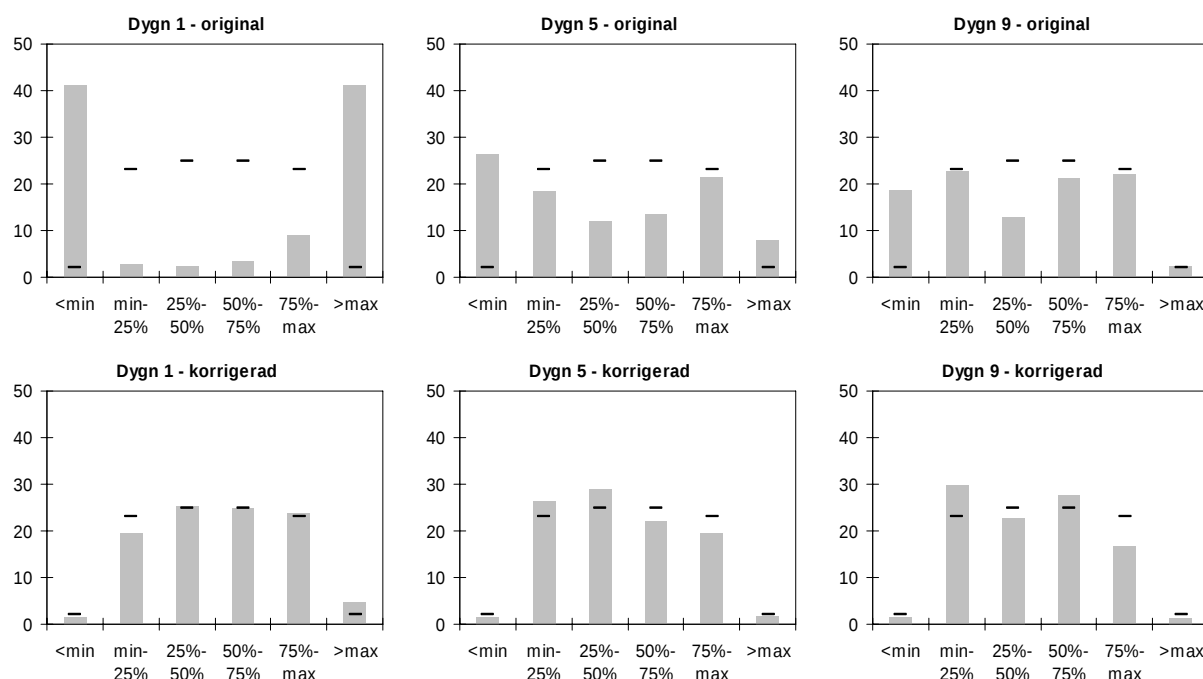
För att bedöma möjligheten till generalisering (regionalisering) av metoden har i Tabell 4 även kvoten mellan parametrarna ($\bar{C}_{\min}$, $\bar{C}_{\max}$) och medelvattenföringen MQ beräknats. Viss variation mellan områdena är uppenbar, men intervallen är relativt begränsade ($\bar{C}_{\max}/MQ$: 0.32-1.27; $\bar{C}_{\min}/MQ$: 0.12-0.57) och medelvärdena således tämligen representativa. I en första version av operationellt implementerad metod skulle således korrigeringen kunna genomföras med parametrar $\bar{C}_{\max}=0.75MQ$, $\bar{C}_{\min}=0.34MQ$ och $k=0.15$.

För att testa metoden implementerades den i EPS-utvärderingssystemet, genom att efter inläsningen av EPS-percentilerna ge möjlighet att korrigera dessa enligt $\bar{C}_{\min}$, $\bar{C}_{\max}$ och k . För vart och ett av de fem områdena genomfördes korrigeringen, varefter den sannolikhetsbaserade utvärderingen gjordes om. Figur 45 visar frekvensen av observationer mellan EPS-percentilerna i område Pepparforsen utan och med korrigering, prognosdygn 1, 5 och 9. Överensstämmelsen med de teoretiska frekvenserna är kraftigt förbättrad med korrigeringen. Detta gäller speciellt frekvenserna "<min" och ">max", vilket är naturligt eftersom de huvudsakliga parametrarna $C_{\min}$ och $C_{\max}$ är anpassade för dessa percentiler (EPS-minimum och -maximum). Den grövre korrigeringen av EPS-kvartilerna medför att dessa inte reproduceras riktigt lika väl efter korrigeringen, men dock avsevärt bättre än utan den.

I Figur 46 visas resultatet för område Sundstorp, och även i detta fall är överensstämmelsen med teoretiska frekvenser markant bättre med korrigeringen. I detta fall är även kvartilerna konstant väl reproducerade. Det kan noteras att frekvensen av observationer över EPS-maximum (">max") är något överskattat prognosdygn 1 och något underskattat prognosdygn 9, vilket är i linje med hur $C_{\max}$ för Sundstorp varierar med prognosdygnet (Figur 44b). Eftersom $C_{\max}$ systematiskt minskar med ökande prognoslängd medför medelvärdesapproximationen att korrigeringen underskattas dygn 1 och överskattas dygn 9. Dock är effekten på resultatet relativt liten, vilket indikerar att korrigering med medelvärdet $\bar{C}$ fungerar väl som approximation även då C följer en tydlig trend.



Figur 45. Frekvens av observationer mellan EPS-percentiler för område Pepparforsen utan (övre rad) och med (nedre rad) korrigering, prognosdygn 1, 5 och 9.



Figur 46. Frekvens av observationer mellan EPS-percentiler för område Sundstorp före (övre rad) och efter (nedre rad) korrigering, prognosdygn 1, 5 och 9.

De korrigerade EPS-percentilerna utvärderades också m.a.p. överskridande av tröskelnivåer. Resultaten indikerade en marginell förbättring jämfört med resultatet utan korrigering, men

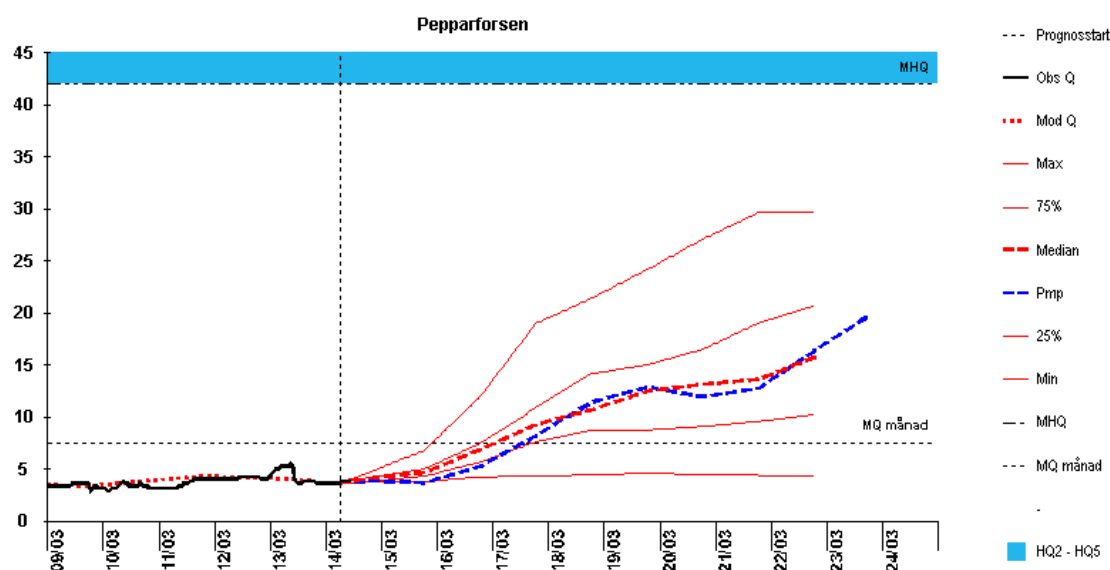
överlag är resultaten snarlika de som redovisades i avsnitt 0.

En omvänd variant av korrigeringsmetoden testades också där $\bar{C}_{75}$ och $\bar{C}_{25}$, alltså korrigeringen av EPS-kvartilerna (övre och undre), först bestämdes varefter $\bar{C}_{\max}$ och $\bar{C}_{\min}$ anges som ett antal av dessa kvartilkorrigeringar. En statistisk fördel med detta angrepp är att $\bar{C}_{75}$ och $\bar{C}_{25}$ generellt är mer välbestämda än $\bar{C}_{\max}$ och $\bar{C}_{\min}$, eftersom de sistnämnda baseras på enbart ett mindre antal extrema värden. En nackdel kan dock vara att korrigeringen av EPS-minimum och EPS-maximum blir mera osäker. Den förbättring som erhöles befanns likartad den visad i Figur 45 och Figur 46, och lämpliga parameteruppskattningar blev i detta fall $\bar{C}_{75} = \bar{C}_{25} = \bar{C}_k = 0.06MQ$, $\bar{C}_{\max} = 12\bar{C}_k$, $\bar{C}_{\min} = 6\bar{C}_k$. Denna variant är implementerad i systemet HBV-Sverige som producerar hydrologiska prognoser för samtliga avrinningsområden i Sverige.

Det bör understrykas att den föreslagna metodiken med konstant korrigering utgör en första ansats som ska utvärderas och därefter kan komma att vidareutvecklas. Till exempel finns problemet att EPS-minimum och den undre kvartilen efter korrigering kan bli negativa och då måste sättas till noll. En tänkbar förbättring kan vara att låta korrigeringen bero av flödesnivån, eftersom höga flöden kan förväntas kräva en större korrigering än låga flöden.

9.2 Presentation av ensembleprognoser

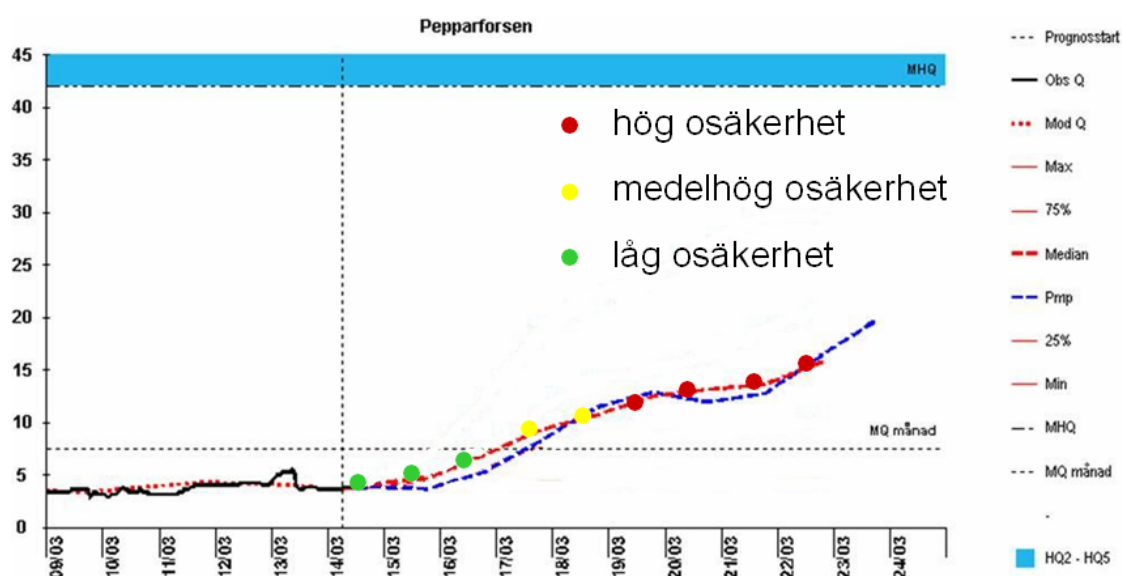
Avslutningsvis måste ensembleprognoserna presenteras på ett sätt som kan förstås och användas av slutanvändare. I dagsläget presenteras ensembleprognoserna (utan korrigering) grafiskt i WebHyPro, SMHI:s grafiska system för presentation av hydrologiska prognoser, enligt Figur 47. De olika percentilerna plottas som röda linjer där EPS-median är tjock och



Figur 47. Presentation av en ensembleprognos i WebHyPro.

streckad och de övriga tunna och heldragna. Presentationen har utformats enkel med tanke på grafiska begränsningar i WebHyPro och ett flertal alternativa varianter är tänkbara.

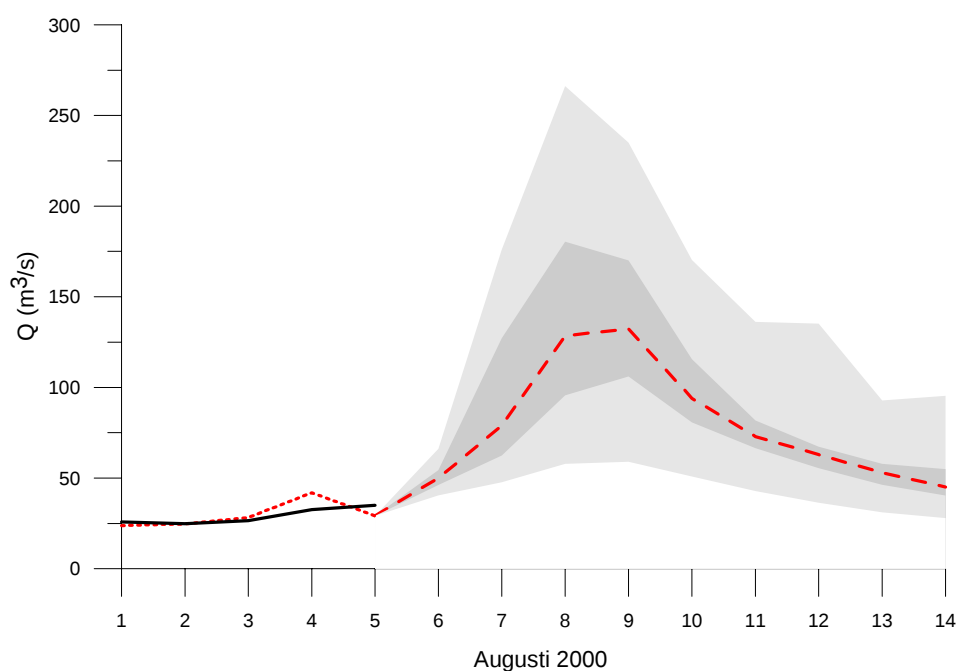
Som visats i utvärderingen ovan (avsnitt 8) är spridningen i ensembleprognoserna underskattad och därför motsvarar prognosernas sannolikheter inte sina teoretiska värden. Ett sätt att tackla detta är att korrigera sannolikheterna såsom beskrevs i avsnitt 9.1. Alternativt kan ensembleprognoserna användas enbart kvalitativt för att ge en indikation på prognosens osäkerhet, i enlighet med spridning-utfall resultaten i avsnitt 7.1. Med utgångspunkt i ensembleprognosernas spridning skulle ett antal "osäkerhetsklasser" kunna definieras, t.ex. hög, medelhög och låg osäkerhet. En kategorisk prognos, t.ex. EPS-medianen, skulle sedan kunna kompletteras med en indikator på prognosens osäkerhet, såsom visas i Figur 48. Av naturliga skäl ökar osäkerheten generellt med prognoslängden, men en kvalitativ presentation kan ändå ge ett mervärde, t.ex. hur långt fram i tiden prognosen kan bedömas vara relativt säker. Det kan också finnas situationer, t.ex. i närheten av en flödestopp, när osäkerheten minskar i slutet av prognosen (Figur 5). En nackdel med den kvalitativa varianten kan vara att det inte är tydligt vad som menas med "hög" respektive "låg" osäkerhet och att det därmed kan vara svårt för enskilda användare att tolka prognosen.



Figur 48. Kvalitativ presentation av en ensembleprognos.

Vad gäller möjliga förbättringar av dagens presentation (Figur 47) bör i första hand korrigerade percentiler användas (avsnitt 9.1). Dessutom kan det vara missvisande att ha percentilerna enbart som linjer eftersom detta indikerar en möjlig kontinuerlig utveckling, vilket (normalt) inte är fallet. Till exempel kan EPS-maximum för två olika dygn i prognosen komma från olika ensemblemedlemmar (se t.ex. 8 aug och 12 aug i Figur 5), och en

kontinuerlig utveckling enligt EPS-maximum percentilen kan i det fallet mycket väl vara orealistisk. I stället för linjer kan därför prognoserna presenteras som fält mellan percentilerna, vilket tydligare visar att det handlar om sannolikhetsintervall och inte enskilda prognoser (Figur 49). Denna typ av presentation används operationellt vid t.ex. Finlands miljöcentral (SYKE).



Figur 49. Exempel på presentation där intervallet mellan EPS-kvartiler markerats mörkgrått och intervallet mellan EPS-minimum och EPS-maximum ljusgrått. Legend i övrigt enligt Figur 47.

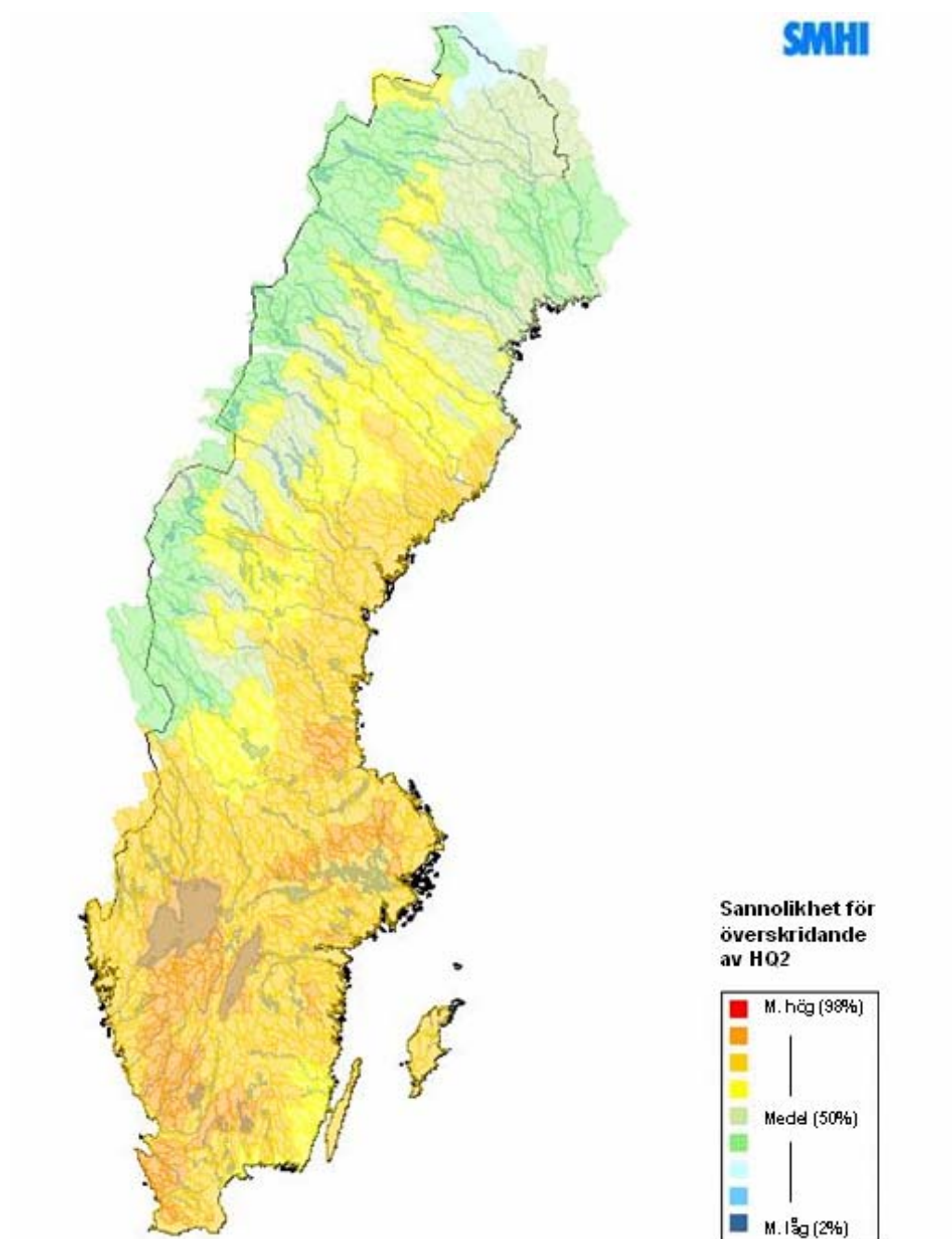
I figurerna ovan ligger fokus på fasta sannolikheter (2%, 25%, 50%, 75%, 98%) och vilka flödesnivåer dessa motsvarar. Ett kompletterande sätt att presentera prognoserna är att i stället fokusera på fasta flödesnivåer och med vilken sannolikhet dessa kommer att överskridas. För den hydrologiska varningstjänsten vid SMHI gäller att s.k. "klass 1-varning" ska utfärdas då det är mer än 50% sannolikhet för överskridande av ett flöde med 2 års återkomsttid, HQ2. Klass 2-varning kräver en nivå motsvarande 10 års återkomsttid (HQ10), och klass 3-varning 50 år (HQ50). I Figur 50 visas ett exempel på hur en tabellpresentation skulle kunna se ut där en färgkodning visar sannolikheten för överskridande av dessa nivåer för ett antal dagar framåt, för ett visst område. Fördelen är framför allt att det är lätt att få en snabb överblick över läget.

Sannolikhet för överskridande av MHQ, HQ2, HQ10, HQ50				
Mycket hög (98%)	Hög (75%)	Medelstor (50%)	Låg (25%)	Mycket låg (2%)
Dag	MHQ	HQ2	HQ10	HQ50
06-11-17				
06-11-18				
06-11-19				
06-11-20				
06-11-21				

Figur 50. Exempel på tabell med färgkod som representerar sannolikheten för överskridande av flöden med olika återkomsttid: 1 år (MHQ), 2 år (HQ2), 10 år (HQ10) och 50 år (HQ50).

De hittills beskrivna presentationerna gäller för (en specifik del av) ett specifikt vattendrag. Även en rumslig, heltäckande presentation kommer emellertid att vara möjlig tack vare systemet HBV-Sverige, i vilket prognoser kommer att göras för samtliga avrinningsområden i Sverige. Systemet är tänkt att driftsättas under 2007. Med detta system blir det möjligt att se sannolikheterna i ett regionalt perspektiv. I Figur 51 visas ett exempel på sådan rumslig presentation i form av en Sverige-karta med sannolikheter för att flödet överskrider HQ2. Enligt figuren är sannolikheten under 50% i norra Norrland och i fjällkedjan, men över 50% i större delen av landet och högst i västra Götaland samt i några områden norr om Mälaren.

De olika typerna av presentationer som visas i Figur 47 till Figur 51 visades för ett antal slutanvändare vid ett WebHyPro-användarmöte i november 2006. Dessa användare har via WebHyPro haft tillgång till EPS-prognoserna, men i olika utsträckning använt sig av dem. En del av mötet behandlade sannolikhetsprognoser och mötesdeltagarna var inledningsvis överens om att en sannolikhetsprognos har ett klart mervärde jämfört med en kategorisk prognos. Vad gäller vilken information som bör presenteras gick emellertid åsikterna isär. Vissa tyckte att de percentiler som visas idag är tillräckligt, medan andra hade föredragit att få tillgång till samtliga ensemblemedlemmar för att själva kunna bearbeta dessa och göra en egen bedömning av läget. Den önskade informationen är naturligtvis delvis kopplat till användarens erfarenhet och kompetens. Å andra sidan är det viktigt att informationen är renodlad och konsekvent för att undvika missförstånd i kommunikationen mellan olika användare, inklusive SMHI. Även kvaliteten på EPS-prognoserna diskuterades och det kan nämnas att mötesdeltagare noterat att spridningen verkar underskattad och i behov av korrigering (avsnitt 9.1).



Figur 51. Hypotetiskt exempel på Sverige-karta med färgkod för sannolikheten att flödet överskrider HQ2.

Vad gäller själva presentationen var deltagarna överlag relativt nöjda med dagens variant där percentilerna visas som separata linjer (Figur 47), trots faran att dessa kan tolkas som individuella prognoser. Vad gäller den mera kvalitativa presentationen (Figur 48) ansåg någon att begreppet "osäkerhet" inte var så lämpligt, kanske "stor spridning" respektive "liten spridning". Varianten med fält (Figur 49) ansågs otydligare än dagens variant med linjer (Figur 47) och svårare att tolka, speciellt för en mindre erfaren användare. Tabellvarianten (Figur 50) ansågs innehålla för mycket information och därmed vara svårtolkad, möjligen

bättre att visa bara en dag (och olika flödesnivåer) eller en flödesnivå (och olika dagar). Sverige-kartan (Figur 51) togs överlag emot positivt. Ett önskemål framkom om möjligheten att i denna kunna se resultat för inte bara en dag utan även ett intervall av dagar, alltså t.ex. sannolikheten att flödet någon gång i en viss period överstiger HQ2. Totalt sett avspeglar kommentarerna troligen det faktum att man är van vid dagens presentation och att det är svårt att direkt ta till sig nya varianter. En testperiod där man kan få känna på och utvärdera nya varianter, helst för sitt ”eget” vattendrag, efterlystes och möjligheten till detta ska undersökas.

Avslutningsvis kan påpekas att även om en korrekt ensembleprognos innehåller en mängd ytterligare information jämfört med en kategorisk prognos vad gäller tänkbara flödesutvecklingar, måste denna ytterligare information också kunna användas för att ge ett verkligt mervärde. Detta ställer kravet på slutanvändarna att de kan anpassa sin verksamhet och sina rutiner efter sannolikhetsbaserad information. En kritisk generell frågeställning är vid vilken sannolikhet en viss åtgärd bör utföras för att ge maximal nytta. Som exempel kan tas invallning vid översvämningsrisk. Väljer man att invalla redan vid låg sannolikhet kommer det ofta att vara i onödan; väljer man en hög sannolikhet kommer man att missa översvämningar. Genom att uppskatta kostnader för dels invallningen, dels den skada som en översvämning orsakar, kan den mest kostnadseffektiva sannolikhetsnivån uppskattas vid vilken invallning bör ske [10].

10 Sammanfattning och slutsatser

De viktigaste slutsatserna angående de utvärderade hydrologiska ensembleprognoserna kan sammanfattas enligt följande.

- Träffsäkerheten i EPS medianprognos och den kategoriska PMP-prognosen är likartad.
- Storleken på EPS-prognosernas spridning är tydligt kopplad till prognosfelet.
- Spridningen är underskattad i EPS-prognoserna.
- Sannolikheten för överskridande av hög flödeströskel är överskattad i EPS-prognoserna.
- EPS-prognosernas spridning kan korrigeras i efterhand med en enkel metod.

Ett datamaterial omfattande 18 månaders hydrologiska 9-dygns ensembleprognoser i 45 avrinningsområden har utvärderats. Materialet har producerats automatiskt i SMHI:s hydrologiska prognossystem Aegir, i vilket meteorologiska ensembleprognoser från ECMWF hämtas och används som indata i HBV-modellen.

I en förberedande studie utvärderades nederbörden (P) och temperaturen (T) i de meteorologiska ensembleprognoserna. Vad gäller P befanns medelnederbörden i genomsnitt över de 45 områdena väl överensstämmande med observationer, men med en avvikelse på upp till 50% för enskilda områden. Vidare genereras nederbörd för ofta i den meteorologiska modellen, frekvensen dygn utan nederbörd underskattas med drygt 10% i genomsnitt, och

således underskattas volymen under dygn med nederbörd. Vad gäller T fanns ett fel i systemet vilket medförde att negativa prognostemperaturer ersattes med ett värde nära 0°C (felet är numera korrigerat). För positiva temperaturer var överensstämmelsen med observationer god.

De hydrologiska ensembleprognosernas vattenföring (Q) utvärderades först översiktligt i fem avrinningsområden under vårflödesperioden 2005. Prognosernas träffsäkerhet var acceptabel men utvärderingen visade att spridningen i de hydrologiska ensembleprognoserna är liten och att ensemblespannet relativt ofta missar den verkligt inträffade flödet. Vidare visades hur meteorologiska prognosfel under kritiska perioder kan medföra att toppflödet blir mindre väl prognostiserat.

I den deterministiska utvärderingen av Q jämfördes ensembleprognosernas median (EPS-median) med dagens operationella, kategoriska s.k. PMP-prognos. Resultaten visade att uttryckt som medelfel (RMSE) är prognosfelet något mindre i EPS-medianen än i PMP-prognosen. Uttryckt som systematisk avvikelse (BIAS) är dock felet något större i EPS-medianen, vilken i något högre grad än PMP-prognosen underskattar höga flöden. En kvalitativ jämförelse mellan ensembleprognosernas spridning och det resulterande utfallet (prognosfelet) visade att dessa är tydligt relaterade, således kan spridningen tas som ett kvalitativt mått på prognosens osäkerhet.

I den sannolikhetsbaserade utvärderingen av Q studerades i första delen i vilket utsträckning de beräknade percentilerna motsvarar de verkliga observationerna. Som indikerades i vårflödesutvärderingen befanns spridningen överlag vara kraftigt underskattad, manifesterat i att observationen befann sig utanför ensemblespannet avsevärt oftare än de teoretiskt förväntade 4% av tiden. Underskattningen är kraftigast för prognosdygn 1 och därefter allt mindre med ökande prognoslängd. I andra delen av den sannolikhetsbaserade utvärderingen jämfördes beräknade sannolikheter med observerade frekvenser av överskridande av fasta tröskelnivåer. Resultatet visade att sannolikheten för överskridande överlag överskattas i ensembleprognoserna med upp till c:a 20%.

En enkel metod för att i efterhand korrigera de beräknade ensemblepercentilerna utvecklades och testades för fem områden. Metoden går ut på att spridningen ökas genom att percentilerna under hela den 9-dygns prognosperioden parallellförflyttas uppåt (EPS-maximum och övre kvartil) eller nedåt (EPS-minimum och undre kvartil) med ett konstant värde kopplat till områdets medelvattenföring. Metoden visades avsevärt förbättra spridningen i samtliga testade områden. Avslutningsvis diskuterades några olika sätt att presentera hydrologiska ensembleprognoser på.

Utvärderingen visar således att betraktad som en deterministisk prognos är träffsäkerheten i EPS-medianen på det hela taget jämförbar med dagens PMP-prognos. Ensembleprognoserna ger även genom sin spridning åtminstone en kvalitativ indikation på prognosens osäkerhet,

vilket PMP-prognosen inte kan ge. Detta är ett odiskutabelt mervärde från ensembleprognoserna.

Vad gäller kvantitativ användning av de sannolikheter som beräknas i EPS-systemet visar utvärderingen att spridningen är systematiskt underskattad och därmed avspeglar inte de beräknade percentilerna den verkliga spridningen. Till exempel kan percentilen EPS-maximum, som teoretiskt har 2% sannolikhet att överskridas, i praktiken överskridas under mer än 40% av tiden. Denna underskattning orsakas både av att spridningen är underskattad också i de meteorologiska prognoserna och av att ingen hänsyn tas till den osäkerhet som är kopplad till den hydrologiska modellen. En direkt användning av de EPS-percentiler som genereras kan således inte rekommenderas. Den enkla metod som utvecklats för att utöka ensembleprognosernas spridning, genom en parallellförflyttning av percentilerna, verkar fungera tillfredsställande totalt sett men bör ses som ett första försök inriktat mot praktisk tillämpning.

En ytterligare slutsats från studien gäller storleksförhållandet mellan felet i den meteorologiska prognosen respektive felet i den hydrologiska modellen. Utvärderingen mot två olika referensflöden (observation respektive ”perfekt prognos”) indikerade allmänt att i SMHI:s prognossystem är de båda felen av ungefär samma storleksordning. Av den tröskelbaserade utvärderingen att döma kan dock det meteorologiska prognosfelet ha en större inverkan.

11 Rekommendationer för fortsatt utveckling

Den fortsatta utvecklingen av de hydrologiska ensembleprognoserna bör inriktas mot att ta fram en mera avancerad metod för att korrigera ensembleprognosernas spridning. Detta kan innebära t.ex. en korrigering som är relaterad till den aktuella vattenföringen (höga flöden kan förmodas kräva större korrigering än låga) eller en mera teoretiskt förankrad beskrivning av osäkerheten i den hydrologiska modellen.

En annan aktivitet för framtiden kan vara att studera effekten av och utveckla metoder för korrigering av de systematiska fel som finns i de meteorologiska ensembleprognoserna, framför allt nederbörd P. Typiskt förekommer nederbörd för ofta i prognoserna, och då med underskattad volym; dessa avvikelser kan tas om hand genom s.k. biaskorrigering.

En tredje möjlig fortsättning är att studera s.k. ”poor man’s” ensembleprognoser. I denna variant används tidigare utfärdade kategoriska prognoser för att skapa en ensembleprognos. Antalet ensemblemedlemmar blir lägre än i EPS-systemet, och beräknade sannolikheter därmed mindre väldefinierade, men å andra sidan minskar beräkningsbördan kraftigt. En annan fördel kan vara bättre tidsmässig kontinuitet. Prognoser kan i vissa fall skilja sig kraftigt åt från en dag till en annan, särskilt vid osäkra atmosfäriska situationer. I en ”poor

man's" ensemble jämnas sådan "hoppighet" ut vilket kan leda till stabilare prognoser.

En av de viktigaste uppgifterna för framtiden är avslutningsvis att i samarbete med slutanvändare komma fram till hur sannolikhetsprognoser bäst kan utnyttjas. Avgörande är att slutanvändarna kan direkt tolka de prognoser som produceras samt omsätta dem i termer relevanta för sin egen verksamhet. För detta krävs en gemensam diskussion där dels prognoshydrologer redovisar EPS-systemets alla möjligheter, dels slutanvändare identifierar sina krav m.a.p. sannolikhetsbaserad information. Förhoppningen är sannolikhetsprognoser kommer att underlätta och förbättra beslutsfattandet vid t.ex. översvämningssituationer.

12 Tackord

Arbetet som redovisas i denna utvärderingsrapport har finansierats av Räddningsverket, Elforsks arbetsgrupp för hydrologiskt utvecklingsarbete (HUVA) och SMHI.

Operationaliseringen och driften av systemet med hydrologiska ensembleprognoser har utförts av den hydrologiska prognos- och varningstjänsten vid SMHI. Vi tackar Anders Persson för många givande EPS-diskussioner samt Karen Lundholm och Karin Tiderman för hjälp med kommentarerna från slutanvändare (avsnitt 9.2).

13 Referenser

- [1] Bergström, S.; "Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments", SMHI Norrköping, Rapport RHO nr. 7, 1976.
- [2] De Roo, A., Gouweleeuw, B., Thielen, J., Bartholmes, J., Bongioannini-Cerlini, P., Todini, E., Bates, P., Horritt, M., Hunter, N., Beven, K., Pappenburger, F., Heise, E., Rivin, G., Hils, M., Hollingsworth, A., Holst, B., Kwadijk, J., Reggiani, P., van Dijk, M., Sattler, K., Sprokkereef, E.; "Development of a European flood forecasting system", International Journal of River Basin Management, 1:49-59, 2003.
- [3] Roulin, E., Vannitsem, S.; "Skill of medium-range hydrological ensemble predictions", Journal of Hydrometeorology, 6:729-744, 2005.
- [4] Gouweleeuw, B.T., Thielen, J., Franchello, G., De Roo, A.P.J., Buizza, R.; "Flood forecasting using medium-range probabilistic weather prediction", Hydrology and Earth System Sciences, 9:365-380, 2005.
- [5] Pappenberger, F., Beven, K.J., Hunter, N.M., Bates, P.D., Gouweleeuw, B.T., Thielen, J., De Roo, A.P.J.; "Cascading model uncertainty from medium range weather forecasts (10 days) through a rainfall-runoff model to flood inundation predictions with the European Flood Forecasting System (EFFS)", Hydrology and Earth System Sciences, 9:381-393, 2005.
- [6] Werner, M., Reggiani, P., De Roo, A., Bates, P., Sprokkereef, E.; "Flood forecasting and warning at the river basin and at the European scale", Natural Hazards, 36:25-42, 2005.

- [7] Roulin, E.; "Skill and relative economic value of medium-range hydrological ensemble predictions", *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 3:1369-1406, 2006.
- [8] Molteni, F., Buizza, R., Palmer, T.N., Petroliagis, T.; "The ECMWF ensemble prediction system: methodology and validation", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 122:73-119, 1996.
- [9] Persson, A.; "User guide to EWMWF forecast products", *Meteorological Bulletin M3.2 ECMWF*, 2001 (http://www.ecmwf.int/products/forecasts/user_guide.pdf).
- [10] Richardson, D.S.; "Skill and relative economic value of the ECMWF Ensemble Prediction System", *ECMWF Research Department, Technical Memorandum No. 262*, 1998.
- [11] Persson, A., personlig kommunikation, 2006.
- [12] Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M., Bergström, S.; "Development and test of the distributed HBV-96 model", *Journal of Hydrology*, 201:272-288, 1997.
- [13] Carlsson, B., Lindström, G.; "HBV-modellen och flödesprognoser", *SMHI Norrköping, Rapport Hydrologi nr 85*, 2001.
- [14] Lundberg, A.; "Combination of a conceptual model and an autoregressive error model for improving short time forecasting", *Nordic Hydrology*, 13: 233-246, 1982.
- [15] Maidment, D.R. (Ed.); "Handbook of hydrology", *McGraw-Hill*, New York, 1993.
- [16] Wilks, D.S.; "Statistical models in the atmospheric sciences", *Academic*, San Diego, 1995.
- [17] Franz, K.J., Hartmann, H.C., Sorooshian, S., Bales, R.; "Verification of National Weather Service ensemble streamflow predictions for water supply forecasting in the Colorado River basin", *Journal of Hydrometeorology*, 4:1105-1118, 2003.
- [18] Hamill, T.M., Colucci, S.J.; "Verification of Eta-RSM short-range ensemble forecasts", *Monthly Weather Review*, 125:1312-1327, 1997.
- [19] Raftery, A.E., Gneiting, T., Balabdaoui, F., Polakowski, M.; "Using Bayesian averaging to calibrate forecast ensembles", *Monthly Weather Review*, 133:1155-1174, 2005.

Appendix 1

Utvärdering av EPS-nederbörd, medelvärdesbildad över prognosdygn 1-4 och 6-9.

Område	Medel (mm/d)		Medel ₁₋₉ (mm/d)		Std.av. (mm/d)		Torra dygn (%)	
	OBS	EPS	OBS	EPS	OBS	EPS	OBS	EPS
Gredeby	2.10	2.14	3.34	2.80	3.88	3.63	37.2	23.6
Grea	2.72	2.68	3.92	3.78	5.54	4.81	30.6	29.3
Krokbors Kv.	2.78	2.62	4.60	3.64	5.61	4.57	39.7	27.9
Ryttarbacken	1.59	1.75	2.74	2.43	2.84	3.59	42.1	28.0
Pepparforsen	3.23	2.72	4.62	3.64	5.62	4.53	30.2	25.4
Tånemölla	1.70	2.27	3.80	2.97	3.64	4.05	55.4	23.3
Åkesta Kvarn	1.79	1.82	3.32	2.53	4.13	3.26	46.1	27.9
Ersbo	3.01	2.66	5.05	3.50	6.71	4.70	40.4	24.2
Ransta	1.66	1.91	2.67	2.74	3.85	3.95	38.1	30.2
Bivarödmölla	1.89	2.09	3.65	2.75	3.98	3.58	48.3	24.1
Nordmark	2.04	2.23	3.10	3.05	4.58	3.99	34.2	26.8
Brusafors	1.91	1.94	2.95	2.54	3.50	3.52	35.0	23.8
Risnäs	2.01	1.88	3.25	2.73	4.62	3.78	38.1	31.0
Källstorp	1.54	2.09	2.94	2.75	3.21	3.57	47.7	24.1
Hörsne	1.76	2.30	3.10	3.03	3.58	3.94	43.2	24.2
Dalkarlså	1.81	1.61	2.76	2.21	3.70	2.99	34.6	27.3
Tänndalen	2.27	3.33	2.96	3.81	4.28	4.77	23.3	12.5
Tängvattnet	4.59	4.18	6.04	4.63	8.05	5.48	24.0	9.6
Nolsjön Nedre	1.81	2.83	3.06	3.81	3.87	5.31	40.8	25.7
Ellinge	2.78	2.22	4.57	2.91	6.47	3.80	39.2	23.6
Kvarntorp	2.42	1.65	4.00	2.31	5.77	2.99	39.5	28.7
Ärrarp	3.41	2.24	5.26	2.94	5.63	3.83	35.2	23.6
Hytingsheden	1.93	2.30	3.20	3.18	4.06	4.43	39.5	27.9
Lissbro	2.28	2.98	3.94	3.82	4.35	5.06	42.1	22.1
Göstad	2.10	1.62	3.61	2.25	4.16	3.22	41.9	28.1
Hällered	2.41	2.43	3.91	3.33	4.17	4.15	38.3	27.1
Sundstorp	1.98	2.61	3.00	3.52	3.78	4.38	33.9	25.9
Mertajärvi	1.85	1.94	2.97	2.36	4.16	3.48	37.5	17.8
Kukkasjärvi	2.12	1.96	2.94	2.52	4.31	3.47	27.9	22.1
Ytterholmen	2.11	1.94	3.18	2.63	5.35	3.68	33.5	26.4
Karats	2.24	2.15	3.41	2.59	4.25	3.82	34.2	16.9
Sorsele	2.49	3.54	3.02	3.95	4.41	4.64	17.5	10.3
Anundsjön	1.97	1.88	3.08	2.73	4.49	3.87	36.1	31.1
Mesjön Övre	3.03	3.73	3.92	4.13	5.13	4.83	22.8	9.7
Lajksjön	2.10	1.80	3.10	2.31	3.79	3.44	32.4	22.1
Öster-Noren	3.61	2.63	5.17	3.04	6.11	3.67	30.2	13.5
Rengen	3.81	3.56	4.91	4.00	5.87	4.93	22.4	11.1
Gimdalsby	2.11	1.84	2.94	2.43	7.42	3.64	28.4	24.3
Hassela	2.10	2.18	3.46	3.15	5.21	4.62	39.3	30.9
Konstdalsstr.	2.07	2.07	3.13	2.89	5.09	3.96	33.9	28.3
Idresjön	2.68	2.16	3.80	2.51	5.39	3.52	29.5	13.9
Hammarby	2.05	1.96	3.02	2.70	3.94	3.50	32.1	27.5
Kringlan	2.23	2.16	3.67	2.95	4.87	3.86	39.3	26.9
Simlångan	2.90	2.53	4.60	3.41	4.72	4.22	37.0	25.8
Vikaresjön	2.48	2.72	3.96	3.65	4.76	4.57	37.3	25.6
Medel	2.34	2.35	3.64	3.06	4.73	4.04	35.8	23.6

Appendix 2a

Deterministisk utvärdering, RB (%) för EPS och PMP, prognosdygn 1, 5, 9.

Område	Dygn 1		Dygn 5		Dygn 9	
	EPS	PMP	EPS	PMP	EPS	PMP
Gredeby	6.62	5.66	21.25	14.53	29.75	14.66
Grea	4.26	3.57	10.94	8.92	10.29	13.11
Krokfors Kv.	-2.25	0.39	-16.88	-10.43	-27.16	-10.42
Ryttarbacken	13.93	31.67	28.32	42.64	14.36	84.06
Pepparforsen	-2.79	-2.06	-10.69	-2.70	-16.22	-1.23
Tånemölla	-1.14	-1.53	1.91	1.34	5.21	8.59
Åkesta Kvarn	7.41	6.52	28.60	16.54	42.49	25.16
Ersbo	-16.06	-10.88	-18.26	-24.24	-20.48	-24.29
Ransta	2.18	2.70	2.83	7.04	3.20	10.81
Bivarödmölla	2.08	1.68	10.78	6.07	20.19	11.88
Nordmark	-2.47	-1.03	-8.43	-4.21	-7.46	-1.13
Brusafors	1.86	5.42	10.25	2.51	16.86	1.84
Risnäs	2.08	3.58	8.03	13.46	9.71	16.69
Källstorp	2.98	1.81	15.57	5.06	26.05	9.16
Hörsne	17.59	15.05	58.87	42.87	68.53	63.16
Dalkarlså	-2.50	-1.93	-1.06	-7.35	8.73	13.84
Tänndalen	-3.44	-4.88	0.44	-8.20	6.77	2.76
Tängvattnet	0.84	3.27	8.97	11.78	13.85	5.03
Nolsjön Nedre	5.18	1.86	24.52	-0.31	37.82	1.04
Ellinge	8.16	4.31	6.49	-0.50	10.59	5.12
Kvarntorp	22.28	14.89	43.11	53.25	49.86	87.94
Ärrarp	-1.12	3.41	-4.97	18.90	-9.24	29.76
Hyttingsheden	-6.37	-4.50	-22.82	-27.37	-33.73	-33.21
Lissbro	0.04	-0.09	5.30	-4.27	12.55	-6.22
Göstad	24.30	25.07	72.82	71.00	103.24	100.27
Hällered	-1.31	-0.77	-5.08	-2.93	-8.44	-1.13
Sundstorp	-1.77	-2.40	7.49	-4.38	10.10	2.12
Mertajärvi	-2.11	-3.25	-6.21	-4.45	-7.99	-2.06
Kukkasjärvi	2.36	2.51	7.63	9.59	13.20	17.90
Ytterholmen	-6.68	-4.48	-20.81	-15.16	-18.72	-11.77
Karats	-2.68	-1.54	-6.82	-3.09	-8.33	-0.03
Sorsele	0.10	0.48	11.13	7.35	23.99	8.38
Anundsjön	-1.60	-1.17	-6.82	-3.87	-9.97	-5.00
Mesjön Övre	3.68	3.62	29.94	13.28	51.35	20.53
Lajksjön	1.64	1.75	-0.32	7.35	-2.60	16.34
Öster-Noren	0.45	1.14	2.26	8.32	5.17	13.95
Rengen	0.40	0.69	5.33	3.46	12.54	5.69
Gimdalsby	7.53	7.60	21.86	22.38	28.22	29.52
Hassela	5.44	21.09	16.84	28.02	16.00	26.40
Konstdalsstr.	3.52	3.48	12.75	13.85	17.52	14.08
Idresjön	3.72	2.67	11.94	20.68	17.46	35.54
Hammarby	1.63	1.82	7.16	4.80	10.56	2.36
Kringlan	3.90	3.64	12.30	11.51	17.02	9.55
Simlången	-0.04	0.95	-0.98	5.69	-4.40	10.42
Vikaresjön	3.98	3.18	15.06	12.95	23.22	17.71
Medel	2.43	3.31	8.99	8.29	12.96	14.55

Appendix 2b

Deterministisk utvärdering, RRMSE(%) för EPS och PMP, prognosdygn 1, 5, 9.

Område	Dygn 1		Dygn 5		Dygn 9	
	EPS	PMP	EPS	PMP	EPS	PMP
Gredeby	15.4	14.0	41.9	36.8	54.2	45.3
Grea	24.6	24.8	54.0	59.5	66.9	94.9
Krokfors Kv.	41.0	42.0	96.4	95.7	122.6	134.4
Ryttarbacken	138.5	172.3	188.3	241.4	248.6	438.2
Pepparforsen	20.7	20.1	40.9	37.2	52.2	59.7
Tånemölla	51.0	53.2	86.2	88.9	100.0	119.4
Åkesta Kvarn	22.3	22.4	52.3	42.9	75.9	67.0
Ersbo	63.6	39.8	69.1	59.7	74.4	78.0
Ransta	34.5	34.2	69.1	68.3	93.0	101.5
Bivarödmölla	29.9	30.4	59.6	56.6	77.8	81.9
Nordmark	25.8	27.1	54.8	56.8	68.6	92.1
Brusafors	21.0	43.4	51.5	51.7	72.2	68.7
Risnäs	11.8	14.2	49.2	53.6	81.3	83.4
Källstorp	25.0	24.7	63.0	55.7	81.4	71.8
Hörsne	78.0	75.4	172.2	157.2	145.9	182.9
Dalkarlså	38.1	32.7	73.0	71.1	105.4	153.3
Tänndalen	31.9	25.3	54.2	54.9	87.6	88.6
Tängvattnet	16.2	16.0	34.3	49.2	90.8	98.4
Nolsjön Nedre	33.2	29.5	83.2	66.6	116.9	99.8
Ellinge	77.5	75.9	71.9	72.0	100.3	113.3
Kvarntorp	52.5	43.1	80.2	105.1	99.6	173.2
Ärrarp	40.2	42.4	53.7	75.3	60.9	106.0
Hyttingsheden	45.3	48.9	89.0	95.9	109.4	129.1
Lissbro	15.6	15.2	40.4	37.4	58.5	54.2
Göstad	67.9	70.1	146.5	154.0	192.2	210.1
Hällered	18.7	18.0	38.8	46.2	55.2	62.2
Sundstorp	33.4	33.5	74.6	74.5	95.5	105.2
Mertajärvi	15.1	26.2	38.2	45.6	48.7	65.8
Kukkasjärvi	9.8	9.0	29.4	30.0	42.3	49.8
Ytterholmen	31.6	24.7	87.6	84.2	98.5	107.8
Karats	13.0	11.2	26.6	27.9	35.0	44.0
Sorsele	11.9	10.2	32.6	35.3	56.0	56.1
Anundsjön	11.4	9.9	32.1	31.8	45.8	45.4
Mesjön Övre	36.5	35.5	75.8	54.9	112.7	120.6
Lajksjön	12.9	12.8	30.2	32.1	34.4	59.9
Öster-Noren	9.1	9.1	20.9	24.6	33.8	43.8
Rengen	17.5	16.8	34.4	35.8	45.1	60.0
Gimdalsby	12.0	11.9	33.7	34.8	45.4	49.3
Hassela	12.1	42.3	37.1	50.6	56.4	62.8
Konstdalsstr.	11.3	11.2	29.9	35.4	40.8	41.4
Idresjön	13.1	40.3	35.9	55.6	47.6	91.0
Hammarby	13.3	13.5	28.5	29.5	35.8	38.7
Kringlan	13.3	12.6	37.6	39.2	46.2	49.0
Simlångan	33.4	33.5	61.8	58.7	74.0	82.9
Vikaresjön	10.9	10.0	28.7	28.6	39.9	40.4
Medel	30.5	32.1	60.2	62.6	78.9	94.5

Appendix 3a

Spridning-utfall utvärdering, prognosdygn 1.

Område	RMAE (%) för spridningsklass				
	Mycket låg	Låg	Medel	Hög	Mycket hög
Gredeby	11.7	11.7	11.7	12.1	12.3
Grea	7.1	6.9	7.2	19.5	30.0
Krokfors Kv.	11.1	11.1	11.2	21.4	54.0
Ryttarbacken	18.3	18.3	18.3	33.5	143.0
Pepparforsen	3.1	3.2	6.6	11.6	16.7
Tånemölla	10.7	11.3	10.7	15.3	46.7
Åkesta Kvarn	8.1	8.3	10.4	15.1	27.4
Ersbo	40.7	38.0	32.0	30.6	44.8
Ransta	8.7	8.7	10.3	16.7	32.7
Bivarödmölla	8.8	8.8	9.4	11.4	30.2
Nordmark	9.4	11.5	12.1	14.3	20.6
Brusafors	7.3	7.3	7.9	16.0	18.4
Risnäs	4.3	4.3	4.3	4.3	12.9
Källstorp	9.6	8.9	9.6	10.6	25.8
Hörsne	8.9	8.9	9.8	37.8	109.2
Dalkarlså	8.7	8.7	11.7	19.2	41.2
Tänndalen	4.8	4.8	5.9	17.8	32.6
Tängvattnet	2.7	2.7	2.7	3.4	6.8
Nolsjön Nedre	13.8	13.8	13.8	13.8	33.1
Ellinge	10.5	10.5	10.9	17.0	64.2
Kvarntorp	33.8	33.8	33.8	28.1	41.3
Ärrarp	11.0	10.2	18.2	30.8	33.9
Hyttingsheden	9.2	9.2	9.2	11.3	47.5
Lissbro	6.5	6.5	6.5	7.0	12.8
Göstad	12.7	12.7	17.0	25.7	82.3
Hällered	7.9	7.9	8.7	12.0	20.9
Sundstorp	9.7	9.9	13.8	14.8	26.0
Mertajärvi	3.8	4.2	5.6	8.0	10.6
Kukkasjärvi	4.5	4.5	4.5	4.5	5.9
Ytterholmen	3.3	3.3	3.3	4.5	36.1
Karats	3.0	3.0	3.0	3.0	4.5
Sorsele	1.5	3.0	2.3	3.5	4.9
Anundsjön	4.8	5.2	6.4	6.8	9.1
Mesjön Övre	2.1	2.5	6.9	12.2	23.5
Lajksjön	4.7	4.7	4.7	5.2	15.0
Öster-Noren	1.7	1.8	3.5	4.0	9.0
Rengen	2.2	2.3	5.0	7.3	14.4
Gimdalsby	7.5	7.5	7.5	7.5	11.0
Hassela	4.6	4.6	4.6	4.7	14.1
Konstdalsstr.	5.7	6.1	8.2	8.1	8.5
Idresjön	3.8	3.9	5.3	7.8	15.9
Hammarby	8.5	8.7	8.7	10.5	11.9
Kringlan	7.0	7.0	7.0	7.1	12.0
Simlången	5.1	5.9	7.7	15.5	42.8
Vikaresjön	6.1	6.3	6.8	5.8	8.1
Medel	8.4	8.5	9.4	13.3	29.4

Appendix 3b

Spridning-utfall utvärdering, prognosdygn 5.

Område	RMAE (%) för spridningsklass				
	Mycket låg	Låg	Medel	Hög	Mycket hög
Gredeby	39.1	32.7	25.9	43.3	46.1
Grea	14.8	23.8	29.5	63.2	83.6
Krokfors Kv.	11.1	19.1	51.7	141.9	175.0
Ryttarbacken	21.3	121.7	45.6	173.4	322.5
Pepparforsen	15.6	12.7	26.7	42.3	72.2
Tånemölla	9.8	24.4	39.8	66.0	202.2
Åkesta Kvarn	21.6	36.4	35.5	43.7	67.6
Ersbo	75.2	46.1	24.0	45.1	93.0
Ransta	14.3	14.2	56.8	79.2	136.9
Bivarödmölla	16.6	24.7	27.8	54.5	112.9
Nordmark	35.9	36.9	64.1	47.1	83.7
Brusafors	22.5	34.3	41.0	65.3	56.4
Risnäs	6.1	15.4	23.1	27.0	88.5
Källstorp	47.3	23.4	39.6	56.6	91.7
Hörsne	11.6	11.2	116.8	186.2	267.2
Dalkarlså	14.8	21.7	40.6	52.9	143.4
Tänndalen	7.1	6.8	22.0	37.1	102.0
Tängvattnet	4.0	9.3	13.8	19.2	33.4
Nolsjön Nedre	26.6	27.5	65.2	80.8	127.6
Ellinge	37.6	33.1	43.9	67.1	152.0
Kvarntorp	43.1	43.1	63.8	75.0	110.6
Ärrarp	19.9	35.6	45.5	55.1	90.5
Hyttingsheden	32.8	33.1	81.3	70.6	160.2
Lissbro	14.0	21.0	31.3	37.0	57.1
Göstad	14.4	26.3	26.6	64.1	246.1
Hällered	15.3	21.1	34.5	44.1	77.3
Sundstorp	26.9	31.4	44.7	71.8	128.5
Mertajärvi	8.7	8.6	12.0	14.0	86.3
Kukkasjärvi	8.8	12.1	20.6	22.8	46.8
Ytterholmen	6.2	6.0	13.0	47.7	171.0
Karats	1.9	7.7	13.5	15.5	33.5
Sorsele	6.2	11.6	17.6	17.9	33.0
Anundsjön	11.6	12.4	18.5	30.7	55.2
Mesjön Övre	6.2	18.8	29.0	43.5	89.9
Lajksjön	7.4	7.0	16.8	23.9	56.9
Öster-Noren	4.6	7.0	11.7	19.0	32.3
Rengen	3.0	14.1	19.0	26.3	48.5
Gimdalsby	12.9	16.7	16.4	17.2	36.7
Hassela	9.4	12.5	15.8	17.8	52.8
Konstdalsstr.	16.0	17.9	20.7	28.8	34.9
Idresjön	6.2	8.3	18.1	21.1	65.7
Hammarby	21.1	26.2	25.2	31.5	35.9
Kringlan	23.7	27.6	39.9	42.0	39.7
Simlången	7.6	15.0	32.7	61.5	132.0
Vikaresjön	14.6	14.1	22.3	28.1	33.5
Medel	17.7	22.9	33.9	51.5	98.1

Appendix 3c

Spridning-utfall utvärdering, prognosdygn 9.

Område	RMAE (%) för spridningsklass				
	Mycket låg	Låg	Medel	Hög	Mycket hög
Gredeby	30.9	39.4	45.1	49.8	61.5
Grea	11.5	26.4	35.7	63.1	83.3
Krokfors Kv.	16.3	35.5	54.7	135.6	109.5
Ryttarbacken	12.2	39.5	63.9	76.1	264.7
Pepparforsen	11.6	17.3	27.7	42.1	62.6
Tånemölla	12.9	25.0	34.7	69.1	137.4
Åkesta Kvarn	20.5	39.0	47.8	69.8	110.3
Ersbo	66.5	29.6	23.4	32.8	72.6
Ransta	24.9	32.0	50.3	59.9	121.5
Bivarödsmölla	10.6	24.1	48.6	65.5	109.1
Nordmark	27.7	36.0	34.6	51.2	86.6
Brusafors	17.9	24.5	37.9	50.5	91.1
Risnäs	7.0	14.3	22.7	36.5	109.6
Källstorp	18.2	27.7	46.6	57.7	107.0
Hörsne	9.2	7.8	22.4	161.0	278.8
Dalkarlså	22.0	38.2	45.8	62.9	140.6
Tänndalen	6.0	7.7	15.6	36.0	121.9
Tängvattnet	5.1	14.9	22.1	29.5	46.5
Nolsjön Nedre	16.5	40.4	79.0	78.1	166.2
Ellinge	20.4	27.1	40.4	73.9	128.7
Kvarntorp	26.3	50.6	69.4	103.1	138.8
Ärrarp	24.7	27.9	34.2	40.5	60.8
Hyttingsheden	29.1	30.5	44.7	74.7	97.4
Lissbro	21.5	20.8	33.8	50.7	74.8
Göstad	29.5	50.0	74.5	136.3	310.5
Hällered	18.9	24.1	46.3	44.5	72.2
Sundstorp	15.5	26.1	53.9	63.9	121.7
Mertajärvi	5.7	6.0	18.7	20.2	67.5
Kukkasjärvi	8.1	9.7	22.9	32.4	61.5
Ytterholmen	3.8	3.9	21.1	45.7	144.4
Karats	5.7	5.9	10.3	16.2	33.6
Sorsele	10.3	16.6	21.9	30.5	58.0
Anundsjön	7.3	9.8	20.2	30.2	62.5
Mesjön Övre	22.5	40.6	55.9	58.2	126.6
Lajksjön	7.5	13.9	19.6	24.2	41.3
Öster-Noren	5.0	11.5	17.4	23.7	41.0
Rengen	6.6	21.5	32.1	30.5	49.5
Gimdalsby	11.1	19.4	37.7	49.4	40.5
Hassela	6.5	13.0	22.6	27.4	78.1
Konstdalsstr.	19.2	18.9	26.5	40.1	53.0
Idresjön	6.7	11.6	18.2	28.2	67.3
Hammarby	18.7	23.9	30.6	35.0	38.7
Kringlan	12.4	21.5	33.9	41.0	51.7
Simlången	9.6	20.7	28.7	45.0	113.9
Vikaresjön	16.1	23.5	27.5	29.6	54.9
Medel	15.9	23.8	36.0	53.8	99.3

Appendix 4a

Percentilbaserad utvärdering, prognosdygn 1, referensflöde HBVpp.

Område	Frekvens av flöden (%)					
	<min	min-25%	25%-50%	50%-75%	75%-max	>max
Gredeby	36.7	8.8	4.9	8.6	16.2	24.8
Grea	33.4	9.4	8.3	9.2	14.4	25.3
Krokfors Kv.	31.1	12.1	6.4	9	15.7	25.7
Ryttarbacken	34.4	6.2	6.2	7.4	15.6	30.2
Pepparforsen	33.8	11.8	7.1	10	19.4	17.9
Tånemölla	38.7	11	8.2	8.8	15.5	17.8
Åkesta Kvarn	33.5	18.9	8.1	7.8	14.5	17.2
Ersbo	38.9	1.4	0.6	2	6.4	50.7
Ransta	32.9	7	5.7	7.2	15.7	31.5
Bivarödmölla	40.6	9.7	5	8.7	12.4	23.6
Nordmark	34.4	10.2	7.8	8.7	18.9	20
Brusafors	43	8.2	4.8	6.6	13.1	24.3
Risnäs	38.9	1.4	2.6	3.3	10.2	43.6
Källstorp	45.7	14	7.7	7.7	12.6	12.3
Hörsne	33.7	5.7	4.5	8.1	15.1	32.9
Dalkarlså	44	3.7	4	3.9	10.6	33.8
Tänndalen	28.5	3.1	3.2	2.9	8.5	53.8
Tängvattnet	43.2	3.1	1.4	2.3	8.9	41.1
Nolsjön Nedre	39.4	8	4.3	5.5	16.6	26.2
Ellinge	52.1	6.7	4.8	6.2	10.2	20
Kvarntorp	54.2	3.6	3.9	3.5	8.1	26.7
Ärrarp	32.6	9.6	6.5	6.9	24.2	20.2
Hyttingsheden	32.3	7.6	7.3	6	11.4	35.4
Lissbro	40.3	6.7	4.5	6.7	14.3	27.5
Göstad	40.6	6.1	4.5	9	20.3	19.5
Hällered	34.3	7.4	5.3	6.9	16.6	29.5
Sundstorp	42.8	14	7.4	7.2	12.8	15.8
Mertajärvi	29.9	15.4	11	10.3	15.2	18.2
Kukkasjärvi	29.5	1.4	1.7	3.1	8.3	56
Ytterholmen	32	2.4	1.7	3	6.4	54.5
Karats	30	3.2	1.3	2.3	8.7	54.5
Sorsele	58.7	9.9	3.9	4.3	10.7	12.5
Anundsjön	25.2	13.8	11.4	9.9	22.6	17.1
Mesjön Övre	46.6	9.6	3.7	5.7	8.6	25.8
Lajksjön	31.8	3.9	2.3	5.5	9.6	46.9
Öster-Noren	34.2	7.8	7	6.4	16.4	28.2
Rengen	34.1	8.1	7	3.7	12.7	34.4
Gimdalsby	23	0.8	2	4	10.9	59.3
Hassela	10.8	1.1	1.2	1.4	8.6	76.9
Konstdalsstr.	40	13.1	6.9	7.3	13.9	18.8
Idresjön	38.2	10.4	7.5	7.3	12.4	24.2
Hammarby	25.9	15.5	9.8	11.9	21.4	15.5
Kringlan	30.6	5.1	2.9	5.7	12.8	42.9
Simlången	36.2	10	8.6	9.2	21.2	14.8
Vikaresjön	43	12.8	7.5	7.2	16.3	13.2
Medel	36.3	8	5.4	6.4	13.7	30.2

Appendix 4b

Percentilbaserad utvärdering, prognosdygn 5, referensflöde HBVpp.

Område	Frekvens av flöden (%)					
	<min	min-25%	25%-50%	50%-75%	75%-max	>max
Gredeby	22.9	26	18.5	12.4	16.5	3.7
Grea	23.8	22.9	16.7	14.3	18.4	3.9
Krokfors Kv.	12.5	23.4	16.1	17.3	24.4	6.3
Ryttarbacken	24.8	13.1	16.8	18.6	21.9	4.8
Pepparforsen	17.1	13.6	15.4	21.3	27.5	5.1
Tånemölla	25.3	26.8	15.9	15.2	14.7	2.1
Åkesta Kvarn	28.6	27.6	15	11.6	14.5	2.7
Ersbo	26.1	9.6	8.5	10.6	24	21.2
Ransta	22.2	14.5	14.3	19.1	23.7	6.2
Bivarödmölla	27.8	22	17.6	11.7	18.7	2.2
Nordmark	23	21.8	15.2	17	19.1	3.9
Brusafors	36.5	16.7	15.3	11.5	16.2	3.8
Risnäs	16.8	18.9	14.5	20.8	23.8	5.2
Källstorp	29.1	35	13.5	11	10.6	0.8
Hörsne	27.7	15.6	11.1	13.5	25.9	6.2
Dalkarlså	34.7	11.4	12	14.4	24	3.5
Tännådal	19.6	13	11	10.5	21.3	24.6
Tängvattnet	29.7	18.9	12.5	12	18.7	8.2
Nolsjön Nedre	20.1	23.3	18.2	14.6	19.7	4.1
Ellinge	32.7	17.9	11.3	13.7	17.1	7.3
Kvarntorp	46.5	11.1	11.8	8.3	14.4	7.9
Ärrarp	16.1	14.1	14.6	18.2	27.9	9.1
Hyttingsheden	16	12.8	16.2	16.4	26.6	12
Lissbro	27.7	28.9	18.1	10.9	11.8	2.6
Göstad	22.5	20.3	16.9	18.1	20.1	2.1
Hällered	13.3	19.3	19.6	18.1	25	4.7
Sundstorp	26.3	29.4	17	12.1	13.9	1.3
Mertajärvi	20.3	23.2	20.1	14.5	17.9	4
Kukkasjärvi	19.8	19.1	17.5	11.8	23.4	8.4
Ytterholmen	23.6	22.2	12.3	9.3	18	14.6
Karats	15	23.5	17.1	16.3	21.1	7
Sorsele	66.5	10.2	4.8	5.6	8.7	4.2
Anundsjön	28.7	19.4	12.9	11.2	21.3	6.5
Mesjön Övre	58.8	17.1	6.8	5.2	10.8	1.3
Lajksjön	15.5	14.2	13.3	19.5	30.7	6.8
Öster-Noren	28.5	18.2	12.8	13.1	18.8	8.6
Rengen	42	12.6	6.6	12.8	20.2	5.8
Gimdalsby	12.7	13.7	16.1	23.2	27.4	6.9
Hassela	7.5	8.1	13.2	17.5	43.5	10.2
Konstdalsstr.	34	21.7	17.2	10.7	13.3	3.1
Idresjön	48.2	10.2	10.4	11	14.4	5.8
Hammarby	14.7	26.9	19.1	15.3	20.7	3.3
Kringlan	21.7	19.9	14.5	15.7	21.4	6.8
Simlångan	22.2	22.1	12.2	16.1	25.2	2.2
Vikaresjön	39.3	23.3	11.2	7.4	13.4	5.4
Medel	26.4	19	14.3	14	20.2	6.1

Appendix 4c

Percentilbaserad utvärdering, prognosdygn 9, referensflöde HBVpp.

Område	Frekvens av flöden (%)					
	<min	min-25%	25%-50%	50%-75%	75%-max	>max
Gredeby	15.9	29.5	19.6	16.1	18.1	0.8
Grea	16.2	24.7	20.3	18.5	18.6	1.7
Krokfors Kv.	8.3	25.1	17.5	18.7	24.9	5.5
Ryttarbacken	20.2	14.9	21.2	19.2	23.2	1.3
Pepparforsen	7.6	16.8	20.5	24.4	26.4	4.3
Tånemölla	17.8	31.8	18.6	18	13.2	0.6
Åkesta Kvarn	22.2	31.2	16.1	10.8	16.5	3.2
Ersbo	22.7	14.4	14.6	18	22.5	7.8
Ransta	11.9	21.4	22	20.3	22.3	2.1
Bivarödmölla	19.8	27.7	17.4	18.9	16	0.2
Nordmark	14	29.2	19.5	17.2	17.8	2.3
Brusafors	29.6	20.5	15.6	16.4	16.8	1.1
Risnäs	11	27.8	21.8	16.1	19.7	3.6
Källstorp	20.5	37.5	16.4	16.5	7.8	1.3
Hörsne	24	20.9	17	17.9	18.5	1.7
Dalkarlså	35	21.8	12.6	13.7	15	1.9
Tännaldalen	13.3	20	14.6	16.2	25.4	10.5
Tängvattnet	29.5	28.8	15	14.7	11.1	0.9
Nolsjön Nedre	14.3	32.3	20.3	16.5	15.9	0.7
Ellinge	20	21.8	17	18.1	18.2	4.9
Kvarntorp	34	16.4	12.7	11.6	21.1	4.2
Ärrarp	8.9	15.6	13.1	15.8	37.7	8.9
Hyttingsheden	9.7	17.6	21	17.8	29.2	4.7
Lissbro	20	35.5	16	17.6	10.2	0.7
Göstad	17	28	18.7	19.7	16	0.6
Hällered	7.2	25.9	19.9	19.7	25.1	2.2
Sundstorp	21.1	33.9	17.3	14.5	12.1	1.1
Mertajärvi	17.8	23.8	18.4	21.3	17.8	0.9
Kukkasjärvi	14.5	27.1	16.6	15	20.9	5.9
Ytterholmen	23.7	28.6	12.4	12.2	16.5	6.6
Karats	15	26.3	19.9	17.2	18.9	2.7
Sorsele	60.2	17.7	7.2	6.2	8.7	0
Anundsjön	26.9	16.6	16.2	14.8	23.4	2.1
Mesjön Övre	51.5	21.4	11.6	7.5	7.5	0.5
Lajksjön	13.4	18.5	16.4	21.1	28.5	2.1
Öster-Noren	27.7	24.3	10.4	13.6	17.6	6.4
Rengen	35.9	19.1	13.9	16.4	13.9	0.8
Gimdalsby	8.4	19.1	22.4	23.1	23.8	3.2
Hassela	4.4	16.2	22	25.6	30.5	1.3
Konstdalsstr.	28.5	25.6	17.8	14.8	11.6	1.7
Idresjön	44.1	15	12.6	10.7	16.3	1.3
Hammarby	8.9	29.2	21.1	18.8	20.3	1.7
Kringlan	15.4	28.6	19.2	15.2	17.4	4.2
Simlången	13.6	22.5	15.7	19.9	24.5	3.8
Vikaresjön	24.3	31.4	13.7	16.3	13.2	1.1
Medel	20.6	24	17	16.7	18.9	2.8

Appendix 4d

Percentilbaserad utvärdering, prognosdygn 5, referensflöde OBS.

Område	Frekvens av flöden (%)					
	<min	min-25%	25%-50%	50%-75%	75%-max	>max
Gredeby	65.8	8.4	3.7	4.6	7.3	10.2
Grea	25.5	14.7	9.9	13.5	24.6	11.8
Krokfors Kv.	35.7	13.4	10.6	15	18.4	6.9
Ryttarbacken	52.3	11.8	10.6	9.1	13.9	2.3
Pepparforsen	24.2	12.5	11	14.8	27.1	10.4
Tånemölla	41.2	17	9.4	12	15.4	5
Åkesta Kvarn	64.9	13.3	6.6	8.5	5	1.7
Ersbo	23.5	8.5	6.9	8.3	22.2	30.6
Ransta	59.7	7	4.6	7.5	13.7	7.5
Bivarödmölla	41.9	14.6	9.7	11.1	16.1	6.6
Nordmark	29.3	13.1	10.4	14.1	22.9	10.2
Brusafors	52.7	13.4	6.9	7.3	10.7	9
Risnäs	57	7.2	4.6	4	14.3	12.9
Källstorp	53.9	13.5	5.5	7.4	14.6	5.1
Hörsne	61.8	11.1	7.5	5.6	10.2	3.8
Dalkarlså	30	12.2	8.9	10.8	27.3	10.8
Tännådal	23.6	11	7	10.4	21.9	26.1
Tängvattnet	37.1	13.3	8.5	8.4	17.9	14.8
Nolsjön Nedre	40	18.9	10.8	11	12.4	6.9
Ellinge	49.6	11.7	8.2	8.2	16.2	6.1
Kvarntorp	70.4	6.6	5	4.5	8.5	5
Ärrarp	46.8	8.9	6.4	8.5	18.4	11
Hyttingsheden	21.8	7.1	8.5	12.7	27.7	22.2
Lissbro	40.8	11.4	9.6	7.4	16.8	14
Göstad	87.3	4.2	2.5	1.2	2.9	1.9
Hällered	35.8	7.9	8.6	12.1	27.2	8.4
Sundstorp	26.4	18.4	12.1	13.6	21.6	7.9
Mertajärvi	10.6	4.9	8.4	10.8	31.2	34.1
Kukkasjärvi	49.6	3.7	2.3	4.6	8.7	31.1
Ytterholmen	20.6	4.7	3.3	4.7	20.9	45.8
Karats	54	2.2	2.4	4	16.4	21
Sorsele	50.5	11.5	7.7	5.5	17.5	7.3
Anundsjön	25.5	10.5	11.2	9.2	27.3	16.3
Mesjön Övre	53.8	11.1	10.8	9.3	11.8	3.2
Lajksjön	50.1	7.4	2.4	7.4	19.8	12.9
Öster-Noren	53.5	7.9	5	6.3	15.5	11.8
Rengen	52.8	11.8	4.5	7.2	13.1	10.6
Gimdalsby	84.1	3.2	0.8	1	5.1	5.8
Hassela	63	4.4	2.2	4.4	8.1	17.9
Konstdalsstr.	57.9	10.6	4.5	4.2	11	11.8
Idresjön	60.3	8.9	4.2	7.4	12.6	6.6
Hammarby	50	6.4	5	5	19.7	13.9
Kringlan	59.5	4.2	3.9	4.6	11.4	16.4
Simlångan	35.8	15.4	11.8	11.5	17.7	7.8
Vikaresjön	68.1	8.7	6.6	5	6.8	4.8
Medel	46.6	10	6.9	8.1	16.2	12.2

Appendix 5a

Tröskelbaserad utvärdering, tröskel "högt flöde", alla prognosdygn, referensflöde HBVpp.

Område	Obs. frekvens för beräknad sannolikhet (%)						Antal fall					
	98	86.5	62.5	37.5	13.5	2	98	86.5	62.5	37.5	13.5	2
Gredeby	95.3	97.3	50.0	27.8	8.2	0.1	64	37	30	36	158	2486
Grea	67.6	60.6	31.9	22.5	10.5	1.1	188	246	185	182	721	1353
Krokbors Kv.	92.3	82.3	57.0	37.8	8.3	0.3	52	130	107	275	990	1295
Ryttarbacken	95.7	72.4	42.7	26.5	10.6	1.3	93	145	227	396	1045	915
Pepparforsen	90.0	89.0	65.7	60.8	11.6	0.7	20	91	70	79	596	1926
Tånemölla	90.3	59.1	27.2	10.5	2.9	0.1	113	71	70	191	987	1396
Åkesta Kvarn	68.6	38.7	24.5	16.0	10.0	1.1	105	168	90	137	789	1544
Ersbo	70.3	73.3	64.3	46.2	15.0	2.7	91	90	143	197	532	1798
Ransta	95.6	79.1	42.4	27.7	6.7	0.3	114	86	99	209	865	1449
Bivarödmölla	91.7	66.7	31.1	15.9	3.4	0.2	60	54	45	145	700	1623
Nordmark	97.4	49.3	41.2	29.6	13.2	1.0	76	146	223	253	591	1551
Brusafors	84.2	46.9	39.3	18.8	3.6	0.1	76	81	56	144	576	1828
Risnäs	87.9	68.7	39.4	23.4	7.7	0.6	66	48	33	94	455	2116
Källstorp	53.7	59.8	35.0	9.2	2.3	0.4	67	82	40	98	604	1876
Hörsne	74.0	38.9	27.3	12.5	2.3	0.0	119	108	55	48	427	2048
Dalkarlså	92.2	70.7	34.4	14.5	8.0	0.7	51	82	154	290	935	1337
Tänndalen	55.7	53.8	44.3	26.6	4.3	0.0	156	225	149	139	421	1761
Tängvattnet	59.5	52.1	36.9	27.2	3.1	0.0	131	146	84	151	451	1794
Nolsjön Nedre	77.9	29.9	26.9	14.6	2.9	0.7	104	254	212	301	686	1084
Ellinge	50.3	52.5	34.4	40.3	15.1	1.7	292	120	93	154	715	1454
Kvarntorp	38.5	15.6	11.1	13.5	11.9	1.0	247	122	126	200	632	1568
Ärrarp	88.6	56.4	64.6	37.8	16.8	3.7	70	62	65	135	690	1822
Hyttingsheden	96.3	84.9	51.5	25.8	7.3	0.9	54	126	165	205	872	1398
Lissbro	90.0	72.8	56.0	27.3	6.7	0.7	70	125	50	110	564	1750
Göstad	71.1	33.2	22.1	9.7	2.4	0.1	76	205	163	207	777	1392
Hällered	96.6	76.1	54.5	30.6	7.2	0.3	59	130	143	193	627	1276
Sundstorp	79.1	49.0	21.0	17.7	2.7	0.0	134	200	181	198	781	1359
Mertajärvi	87.8	75.0	46.4	27.3	15.7	0.3	49	56	56	66	198	2200
Kukkasjärvi	86.7	72.4	40.0	24.0	10.0	0.3	75	29	35	79	180	2204
Ytterholmen	93.3	82.2	72.7	85.7	7.9	0.1	89	28	11	14	76	1776
Karats	95.7	100.0	81.8	56.7	20.6	0.8	47	12	33	30	102	1467
Sorsele	82.3	34.1	19.5	16.7	3.3	0.2	68	85	87	126	460	1972
Anundsjön	91.7	72.7	65.3	37.7	13.2	0.6	48	44	49	93	522	1873
Mesjön Övre	64.2	42.1	32.8	34.4	16.6	0.9	109	126	134	157	343	853
Lajksjön	60.8	91.7	84.4	59.2	13.7	0.0	51	24	32	54	226	1344
Öster-Noren	82.3	56.2	53.8	39.3	27.5	1.2	68	32	39	28	127	1467
Rengen	67.3	45.7	21.4	19.7	14.1	1.2	110	81	56	71	255	1177
Gimdalsby	71.4	100.0	100.0	-	2.6	0.0	21	4	2	0	38	1622
Hassela	97.9	75.0	15.4	28.6	3.2	0.1	48	12	13	35	312	2410
Konstdalsstr.	94.2	75.0	44.6	17.2	7.6	0.7	191	88	83	169	484	1798
Idresjön	82.7	72.6	43.1	38.5	5.9	0.1	81	51	51	65	236	1256
Hammarby	87.5	53.2	25.9	22.9	6.9	0.0	80	62	58	70	433	2127
Kringlan	82.4	47.2	28.8	30.5	12.8	0.7	182	53	59	105	282	2131
Simlången	97.1	61.8	45.2	37.2	14.0	0.3	34	136	84	94	499	1518
Vikaresjön	77.3	34.9	22.4	7.3	1.4	0.0	66	86	76	137	428	2035
Medel	76.2	56.4	38.9	25.2	8.2	0.6	93	98	89	137	520	1654

Appendix 5b

Tröskelbaserad utvärdering, tröskel "mycket högt flöde", alla prognosdygn, referensflöde HBVpp.

Område	Obs. frekvens för beräknad sannolikhet (%)						Antal fall					
	98	86.5	62.5	37.5	13.5	2	98	86.5	62.5	37.5	13.5	2
Gredeby	98.7	68.8	46.7	44.2	14.8	0.0	78	64	15	43	216	3183
Grea	87.9	67.3	36.0	15.9	3.7	0.2	58	104	111	270	817	2299
Krokfors Kv.	100.0	80.0	57.6	42.9	14.6	0.7	10	35	66	140	913	2460
Ryttarbacken	94.6	56.9	36.0	17.0	3.7	0.2	55	116	114	235	1400	1640
Pepparforsen	100.0	60.7	64.3	55.2	15.7	0.2	10	28	14	58	453	2983
Tånemölla	92.9	64.9	28.4	14.7	5.0	0.0	42	77	102	116	681	2593
Åkesta Kvarn	69.8	38.5	28.4	4.5	3.8	0.2	86	65	74	134	524	2729
Ersbo	55.6	34.2	23.2	31.1	14.9	1.7	63	76	56	87	717	2639
Ransta	86.7	77.4	41.7	36.8	2.9	0.0	45	53	72	106	917	2428
Bivarödmölla	96.3	71.9	43.3	23.0	0.3	0.0	27	103	67	74	379	2698
Nordmark	85.0	44.4	54.8	19.3	11.3	1.7	20	45	84	109	914	2460
Brusafors	93.3	86.4	38.8	32.4	2.3	0.0	30	44	67	111	438	2899
Risnäs	71.7	73.7	100.0	58.8	21.2	0.0	53	19	5	17	85	3423
Källstorp	70.6	42.6	29.9	19.0	2.1	0.0	102	115	77	84	426	2768
Hörsne	54.2	42.2	20.0	9.2	2.0	0.1	144	249	100	131	342	2618
Dalkarlså	75.8	76.2	86.7	25.7	3.7	0.0	33	21	15	78	971	2554
Tännaldalen	40.0	75.6	73.9	36.1	3.9	0.0	5	45	23	122	635	2881
Tängvattnet	91.5	78.6	51.6	23.5	4.1	0.1	47	14	31	68	362	3036
Nolsjön Nedre	78.4	29.6	16.2	5.2	3.2	0.3	51	98	142	252	934	1908
Ellinge	82.6	63.0	50.0	18.0	7.1	0.8	46	46	74	100	591	2729
Kvarntorp	71.3	50.0	23.4	15.2	4.1	0.2	94	50	47	66	534	2847
Ärrarp	86.4	94.7	63.8	64.7	11.9	0.8	22	38	47	51	422	3069
Hyttingsheden	100.0	80.3	46.5	23.7	10.4	0.4	10	66	86	245	1081	2132
Lissbro	96.4	65.7	61.3	24.6	1.8	0.1	55	73	62	65	387	2768
Göstad	94.0	52.5	26.1	22.2	2.4	0.0	84	61	23	27	460	2949
Hällered	100.0	78.1	55.3	30.5	10.8	0.1	6	41	56	131	705	2191
Sundstorp	78.2	59.7	45.1	11.2	2.3	0.1	55	124	102	134	736	2455
Mertajärvi	100.0	94.7	100.0	41.6	7.1	0.3	20	38	15	24	294	3020
Kukkasjärvi	92.5	63.6	22.2	75.0	17.5	0.3	40	22	9	16	63	3196
Ytterholmen	79.5	30.4	28.6	72.2	20.0	0.3	39	23	7	18	45	2403
Karats	96.3	66.7	50.0	85.7	6.3	0.2	54	15	8	14	158	2010
Sorsele	90.5	27.9	23.2	16.7	2.0	0.0	63	129	56	78	437	2893
Anundsjön	69.2	69.2	85.7	57.1	18.5	0.4	39	13	21	21	211	3042
Mesjön Övre	70.7	19.2	12.0	7.8	4.4	0.8	75	120	125	154	527	1287
Lajksjön	100.0	50.0	35.3	56.0	10.6	0.4	29	4	17	25	189	1997
Öster-Noren	96.6	80.0	71.4	42.9	6.3	0.4	29	15	7	14	95	2145
Rengen	67.7	47.1	80.0	51.0	11.7	0.1	34	17	20	51	180	1982
Gimdalsby	93.5	67.7	42.9	27.3	3.8	0.3	31	31	21	33	53	2066
Hassela	93.3	100.0	66.7	42.9	3.4	0.0	75	24	15	21	117	3385
Konstdalsstr.	100.0	75.6	33.3	25.7	2.3	0.0	63	41	63	74	535	2835
Idresjön	71.4	62.5	41.7	15.0	8.9	0.1	49	24	12	20	248	1929
Hammarby	92.6	85.7	75.0	29.7	5.1	0.0	54	35	8	37	334	3157
Kringlan	87.5	59.4	23.4	18.7	7.6	0.3	88	64	47	75	342	2998
Simlångan	63.8	36.0	37.5	39.2	9.6	0.1	58	75	40	74	447	2290
Vikaresjön	77.0	20.7	35.4	31.2	7.8	0.1	113	58	48	61	267	3090
Medel	81.5	55.0	38.5	24.0	6.5	0.3	51	58	50	86	480	2601

Appendix 5c

Tröskelbaserad utvärdering, tröskel "högt flöde", alla prognosdygn, referensflöde OBS.

Område	Obs. frekvens för beräknad sannolikhet (%)						Antal fall					
	98	86.5	62.5	37.5	13.5	2	98	86.5	62.5	37.5	13.5	2
Gredeby	53.3	44.1	34.6	17.4	5.4	0.0	120	77	26	23	167	2464
Grea	34.5	49.2	29.0	16.1	7.7	1.6	287	254	186	211	700	1281
Krokfors Kv.	88.7	72.3	52.9	43.1	8.2	0.6	62	137	102	262	1026	1329
Ryttarbacken	19.9	37.6	20.3	11.9	1.0	1.1	176	197	271	369	793	629
Pepparforsen	100.0	91.0	60.0	43.5	16.8	2.2	18	78	80	69	511	2094
Tånemölla	83.8	81.6	65.3	36.8	7.1	1.8	74	49	49	136	912	1674
Åkesta Kvarn	37.6	22.0	13.5	11.8	6.2	1.0	263	141	111	228	784	1365
Ersbo	46.2	48.5	28.0	34.4	13.7	5.7	78	103	100	189	725	1767
Ransta	79.5	62.0	34.7	27.0	9.4	0.6	166	100	121	248	863	1399
Bivarödmölla	79.8	66.7	13.0	13.8	10.8	2.2	99	60	46	138	676	1634
Nordmark	83.9	48.9	40.4	31.4	11.7	2.4	31	94	198	271	659	1640
Brusafors	53.5	28.2	31.0	13.2	6.0	2.4	157	117	58	144	533	1841
Risnäs	19.7	19.6	22.2	12.5	4.1	0.5	218	92	63	120	540	1859
Källstorp	26.3	15.5	6.9	3.5	2.7	0.3	194	84	58	116	632	1750
Hörsne	62.2	37.9	8.8	0.0	0.0	0.0	185	116	34	42	501	1994
Dalkarlså	95.3	78.4	47.5	29.7	12.1	1.2	43	88	118	303	927	1426
Tänndalen	50.3	45.5	35.4	15.6	2.1	0.0	171	224	147	128	427	1784
Tängvattnet	58.3	52.7	39.2	17.4	2.9	0.2	127	146	92	144	476	1862
Nolsjön Nedre	55.7	28.8	12.7	13.9	5.8	1.4	140	250	197	318	693	1098
Ellinge	48.1	52.3	41.5	24.1	9.0	1.0	260	130	130	191	720	1433
Kvarntorp	21.0	15.4	10.6	7.8	3.9	1.1	458	162	141	218	586	1358
Ärrarp	63.6	61.6	46.4	22.9	17.2	7.0	44	86	84	144	803	1768
Hyttingsheden	80.5	80.6	54.7	34.4	9.1	3.2	41	124	150	244	865	1474
Lissbro	76.8	57.0	11.5	17.6	15.7	3.3	69	114	61	108	535	1861
Göstad	21.0	15.8	6.6	8.6	2.7	0.2	519	330	227	198	582	1032
Hällered	86.0	76.9	48.3	32.7	17.2	2.5	43	95	116	168	708	1394
Sundstorp	50.0	47.6	21.0	22.4	4.2	0.8	130	189	181	205	793	1443
Mertajärvi	66.7	78.7	46.4	27.7	24.0	0.8	84	61	28	65	208	2279
Kukkasjärvi	13.3	17.9	3.7	20.9	3.3	2.3	413	56	27	43	152	1966
Ytterholmen	65.3	27.8	0.0	13.3	23.3	0.6	49	18	13	30	73	1897
Karats	95.5	69.2	85.7	50.0	16.0	0.0	44	13	14	28	131	1493
Sorsele	97.8	60.0	20.8	14.4	11.1	0.7	45	30	72	104	479	2135
Anundsjön	72.9	74.5	37.5	45.3	12.5	1.6	48	47	40	75	478	1988
Mesjön Övre	61.9	37.3	30.2	21.3	11.8	1.2	84	118	106	174	391	904
Lajksjön	40.0	61.1	83.3	58.6	22.0	1.1	30	18	18	29	241	1432
Öster-Noren	71.6	41.8	47.2	36.8	20.8	0.8	74	43	36	38	154	1441
Rengen	50.8	27.6	20.8	11.5	12.9	3.6	122	58	53	61	280	1209
Gimdalsby	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	255	24	23	26	87	1321
Hassela	38.3	48.8	16.4	3.7	1.2	0.2	196	41	49	137	414	2050
Konstdalsstr.	70.0	37.8	11.8	2.7	2.5	0.2	310	119	152	185	444	1679
Idresjön	78.1	72.3	37.0	14.1	6.0	0.8	96	112	54	78	234	1197
Hammarby	33.9	10.6	13.5	3.1	9.3	1.1	62	66	52	98	451	2188
Kringlan	18.5	26.0	7.9	10.9	4.6	0.6	308	131	89	101	261	1979
Simlången	43.5	77.8	34.5	29.3	13.1	2.7	23	126	87	75	541	1587
Vikaresjön	82.5	46.8	29.2	25.0	9.9	0.9	63	62	65	96	454	2173
Medel	43.2	45.1	28.5	20.7	8.7	1.4	144	106	92	142	525	1635

Appendix 5d

Tröskelbaserad utvärdering, tröskel "mycket högt flöde", alla prognosdygn, referensflöde OBS.

Område	Obs. frekvens för beräknad sannolikhet (%)						Antal fall					
	98	86.5	62.5	37.5	13.5	2	98	86.5	62.5	37.5	13.5	2
Gredeby	76.9	68.4	50.0	39.0	17.0	0.2	52	76	30	41	218	3280
Grea	39.1	55.5	40.0	18.0	4.2	0.2	87	137	135	267	832	2285
Krokfors Kv.	83.3	71.0	39.7	37.9	12.8	0.9	12	31	68	137	975	2472
Ryttarbacken	66.7	27.8	15.7	13.1	2.5	0.2	57	162	197	405	1408	1413
Pepparforsen	40.0	77.8	64.0	63.8	19.8	0.9	5	27	25	47	455	3087
Tånemölla	94.7	90.0	36.5	16.7	8.6	0.7	38	50	85	96	670	2754
Åkesta Kvarn	25.7	18.8	2.3	7.0	0.9	0.8	222	176	129	142	773	2272
Ersbo	69.8	61.7	29.2	17.8	10.4	1.8	43	60	48	90	715	2760
Ransta	74.2	74.5	40.0	48.9	6.2	1.4	31	51	50	90	870	2621
Bivarödmölla	100.0	79.0	39.2	21.8	4.0	0.3	25	105	74	78	403	2768
Nordmark	90.0	50.0	46.4	37.3	10.4	1.9	10	8	41	91	887	2694
Brusafors	67.2	34.0	15.1	6.3	5.4	0.6	64	97	99	110	541	2779
Risnäs	82.8	78.6	75.0	58.8	18.6	0.1	64	28	4	17	97	3494
Källstorp	39.3	26.3	33.3	12.6	3.2	0.5	61	118	81	87	415	2865
Hörsne	36.6	21.9	7.6	1.5	1.7	0.5	161	242	132	137	355	2649
Dalkarlså	73.0	77.3	68.7	33.3	6.7	0.0	37	22	16	45	873	2768
Tännådal	66.7	70.0	75.0	38.2	7.3	0.2	3	30	16	68	672	3027
Tängvattnet	91.4	87.5	40.9	48.6	3.5	0.2	35	8	22	72	374	3153
Nolsjön Nedre	68.1	34.6	15.6	11.5	5.4	0.4	47	130	128	262	963	1911
Ellinge	44.7	56.2	24.1	13.4	6.0	0.9	94	73	58	112	655	2668
Kvarntorp	45.5	31.9	17.3	10.9	4.1	0.7	123	94	75	92	638	2704
Ärrarp	100.0	69.8	75.0	50.8	16.3	2.8	4	43	32	65	363	3227
Hyttingsheden	100.0	60.0	46.4	30.6	13.7	1.7	4	35	69	183	1090	2327
Lissbro	48.4	66.3	52.2	19.0	4.0	0.6	91	92	46	79	445	2767
Göstad	59.0	52.6	8.7	6.6	1.7	0.0	156	38	46	121	698	2633
Hällered	100.0	75.0	49.1	41.7	12.0	0.3	10	28	57	127	738	2267
Sundstorp	88.9	52.4	53.7	27.9	5.8	0.8	9	84	121	111	670	2707
Mertajärvi	73.9	33.3	25.0	3.2	0.3	0.0	46	42	12	62	319	3030
Kukkasjärvi	74.5	25.8	8.3	25.0	6.1	0.3	47	31	12	12	131	3197
Ytterholmen	96.0	44.4	0.0	9.1	18.6	0.6	25	18	6	11	43	2534
Karats	96.7	50.0	0.0	0.0	15.9	1.2	30	8	4	6	88	2199
Sorsele	67.2	22.6	11.3	9.7	0.5	0.0	58	93	80	62	391	3049
Anundsjön	69.0	55.2	76.7	60.0	16.2	0.4	29	29	30	25	222	3113
Mesjön Övre	70.4	16.3	11.2	5.1	5.7	0.8	71	92	134	118	544	1328
Lajksjön	92.0	50.0	52.9	29.6	11.1	0.4	25	8	17	27	217	2011
Öster-Noren	96.6	62.5	12.5	25.0	3.8	0.5	29	8	8	8	53	2241
Rengen	71.8	72.7	25.0	15.4	2.4	0.1	39	22	28	26	208	1993
Gimdalsby	67.6	15.2	28.6	14.3	12.5	0.7	71	46	7	14	48	2099
Hassela	86.7	88.9	53.9	40.0	2.0	0.0	83	27	13	15	150	3445
Konstdalsstr.	64.3	27.3	3.8	1.5	0.2	0.0	168	139	79	130	625	2573
Idresjön	54.4	50.0	11.1	11.0	2.4	0.0	57	12	27	73	334	1833
Hammarby	66.4	41.7	13.3	8.4	5.7	0.3	134	36	30	95	404	3024
Kringlan	71.4	28.6	4.7	2.6	5.6	0.4	84	49	43	78	389	3066
Simlångan	10.2	30.9	42.5	45.1	17.6	0.7	59	68	40	71	444	2434
Vikaresjön	60.3	8.8	36.0	14.8	2.8	0.0	141	68	50	81	289	3112
Medel	60.0	42.1	27.7	19.9	6.9	0.6	61	63	56	91	504	2636

SMHIs publications

SMHI publishes six report series. Three of these, the R-series, are intended for international readers and are in most cases written in English. For the others the Swedish language is used.

Names of the Series	Published since
RMK (Report Meteorology och Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

Earlier issues published in serie RH

1. Sten Bergström, Per Sandén and Marie Gardelin (1990)
Analysis of climate-induced hydrochemical variations in till aquifers.
2. Maja Brandt (1990)
Human impacts and weather-dependent effects on water balance and water quality in some Swedish river basins.
3. Joakim Harlin (1992)
Hydrological modelling of extreme floods in Sweden.
4. Sten Bergström (1992)
The HBV model - its structure and applications.
5. Per Sandén and Per Warfvinge (1992)
Modelling groundwater response to acidification.
6. Göran Lindström (1993)
Floods in Sweden — Trends and occurrence.
7. Sten Bergström and Bengt Carlsson (1993)
Hydrology of the Baltic Basin. Inflow of fresh water from rivers and land for the period 1950 - 1990.
8. Barbro Johansson (1993)
Modelling the effects of wetland drainage on high flows.
9. Bengt Carlsson and Håkan Sanner (1994)
Influence of river regulation on runoff to the Gulf of Bothnia. Gulf of Bothnia Year 1991.
10. Göran Lindström, Marie Gardelin and Magnus Persson (1994)
Conceptual modelling of evapotranspiration for simulations of climate change effects.
11. Vacant
12. Göran Lindström, Marie Gardelin, Barbro Johansson, Magnus Persson och Sten Bergström (1996)
HBV-96 - En areellt fördelad modell för vattenkrafthydrologin.
13. Berit Arheimer, Maja Brandt, Gun Grahn, Elisabet Roos och Allan Sjöö (1997)
Modellerad kvävetransport, retention och källfördelning för södra Sverige.
14. Bengt Carlsson, Sten Bergström (1998)
The TELFLOOD project. Rainfall –Runoff Modelling and forecasting.
15. Barbro Johansson (2000)
Precipitation and Temperature in the HBV Model
A Comparison of Interpolation Methods.

16. Charlotta Pers (2002)
Model description of BIOLA - a
biogeochemical lake model.
17. Malva Ahlkrona (2002)
Phosphorous in a Biogeochemical Lake
Model.
18. Göran Lindström (2002)
Vattentillgång och höga flöden i Sverige
under 1900-talet.
19. Bengt Carlsson, Sten Bergström, Johan
Andréasson, Sara-Sofia Hellström (2006)
Framtidens översvämningsrisker
20. Sten Bergström, Sara-Sofia Hellström, Johan
Andréasson (2006)
Nivåer och flöden i Vänerns och Mälarens
vattensystem - Hydrologiskt underlag till
Klimat- och sårbarhetsutredningen



Swedish Meteorological and Hydrological Institute
SE-601 76 Norrköping · Sweden
Tel +46 11 495 80 00 · Fax +46 11 495 80 01