

HBV-modellen och flödesprognoser

HBV-modellen och flödesprognoser

Bengt Carlsson
Göran Lindström

Sammanfattning

- Olika uppdateringsmetoder för HBV-modellen har utvecklats och jämförts. Metoderna har utvärderats i simuleringsexperiment där modellkörningar med observerade data användes som meteorologisk prognos. De olika uppdateringsmetoder som testats är dels autoregressiva, dvs de bygger på en korrektion av uppmätt fel före prognosens början, dels sådana som bygger på en uppdatering av indata dvs nederbörd och temperatur och slutligen sådana där modellens tillståndsvariabler uppdateras. Resultaten visar att alla metoderna medför en förbättrad avrinningsprognos. Ingen av metoderna kan dock sägas vara den bästa vid alla tillfällen. AR-metoden gav bäst resultat vid högsta flöden, t ex i samband med snösmältning, medan uppdatering av modellens tillstånd gav något bättre resultat vid regnflöden. Om en modell skall användas för prognoser i samband med höga flöden är det viktigt att man redan vid kalibreringen tar hänsyn till detta och kalibrerar med hänsyn till just toppflöden, som annars systematiskt kommer att underskattas.
- Effekten av en uppdatering avklingar jämförelsevis snabbt. Vid långtidsprognoser är det troligt att en kombination av nu testade metoder och uppdatering av t ex snömagasin och de faktorer som speciellt påverkar snösmältningen, dvs. temperatur och kanske t o m modellens graddagfaktor, skulle ge en bättre prognos.

Förord

Detta projektet har finansierats av ELFORSK genom arbetsgruppen för hydrologiskt utvecklingsarbete, HUVA, samt med bidrag från SMHI. Delrapportering från arbetet har gjorts bl.a. vid HUVAs arbetsmöten och vid Nordisk Hydrologisk Konferens i Uppsala, juni 2000.

Vid Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) har arbetet utförts av den hydrologiska forskningsavdelningen. Förutom författarna har många medarbetare vid SMHI lämnat värdefulla bidrag till arbetets genomförande. Ett stort tack till alla som deltagit i projektet.

1. BAKGRUND	1
1.1 Korrektion av indata till modellen	2
1.2 Korrektion av modellens tillståndsvariabler	3
1.3 Korrektion av utdata - prognos på felet.....	3
1.4 Korrektion av modellens parametrar inför en prognos	3
2. SYFTE	4
3. METODIK OCH DATA	4
3.1 Del 1 - tester i en förenklad modell.....	6
3.2 Del 2 - tester i IHMS	9
3.3 Konfidensintervall för AR1-prognoser	10
4. RESULTAT OCH DISKUSSION	11
4.1 Del 1 - tester i en förenklad modell.....	11
4.2 Del 2 - tester i IHMS	12
4.3 Toppkalibrering.....	16
4.4 Långtidsprognoser	17
5. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	18
6. REFERENSER	18

1. BAKGRUND

HBV-modellen utvecklades ursprungligen av Bergström (1976) för hydrologiska flödesprognoser. Flödesprognoser är fortfarande ett av de viktigaste användningsområdena. Man skiljer härvidlag på långa och korta prognoser. Med korta prognoser avses flödesutvecklingen framåt i tiden något eller några dygn. Korta prognoser är främst av intresse i samband med höga flöden och översvämningar. Långa prognoser avser normalt flödesutvecklingen under flera veckor framåt, t ex över vårfloden.

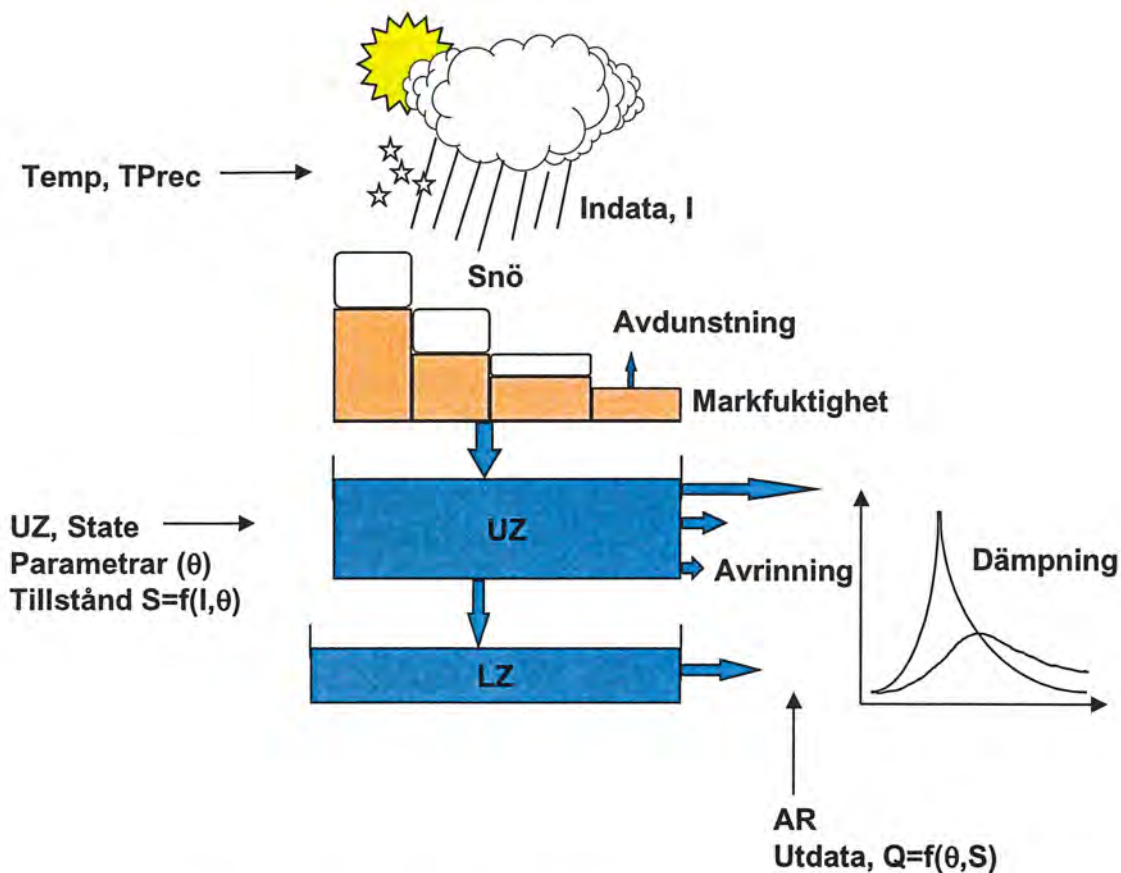
Såväl korta som långa prognoser är i hög grad beroende av väderutvecklingen, dvs den meteorologiska prognosen. Meteorologiska prognoser med HIRLAM och det nya systemet att optimera dessa med hjälp av data från klimat- och synopstationer, MESAN (Häggmark, m. fl. (1997), behandlades nyligen i ett EU-projekt, TELFLOOD (Gollvik, 1997), med tilläggsfinansiering från ELFORSK /HUVA. Inom samma projekt gjordes även en studie av HBV-modellens prognosrutiner (Carlsson och Bergström, 1998). Flera andra projekt, varav en del med stöd av ELFORSK/HUVA, har också varit inne på ämnet hydrologiska prognoser med HBV-modellen, t.ex. Lundberg (1982), Larsson och Lidén (1996) och Lindell m.fl. (1997). Även Iritz (1990) har arbetat med uppdatering inför hydrologiska prognoser.

Det förtjänar att påpekas att grunden för en god prognos är en god simulering. Detta var en av slutsatserna i WMO:s internationella jämförelse av uppdateringsmetoder och korttidsprognoser (WMO, 1992), i vilken SMHI deltog med HBV-modellen. En ständig vidareutveckling av HBV-modellen har också skett genom åren. En omfattande genomgång av modellen skedde i och med HBV-96 (Lindström m.fl. 1996, 1997). Efter detta har ytterligare förändringar gjorts (Bergström m.fl. 1997, Carlsson och Bergström 1998).

Inför en prognos är det viktigt att modellen så väl som möjligt beskriver den rådande hydrologiska situationen. Om modellen ligger på fel flödesnivå, eller med felaktigt snömagasin vid prognosens start är det troligt att detta fel pga systemets tröghet kommer att påverka även prognosen. Felen i hydrologiska modellberäkningar är ofta beroende av varandra i tiden, så att ett fel med ett visst tecken ofta följs av ett fel med samma tecken. Felen är inte slumpmässiga utan autokorrelerade. Detta gäller alla hydrologiska modeller, och påvisades för HBV-modellen av t.ex. Svensson (1977) och Lundberg (1982). Modellen måste alltså inför en prognos fås att bättre överensstämma med de uppmätta förhållandena. Detta kallas ofta för uppdatering, och är en återkopplingsprocess där modellberäknade värden jämförs med uppmätta värden och indata eller modellberäkningar sedan justeras bakåt i tiden för bästa överensstämmelse. Detta kan göras på åtminstone fyra olika sätt:

1. Korrektion av indata till modellen.
2. Korrektion av modellens tillståndsvariabler.
3. Korrektion av utdata - prognos på felet.
4. Korrektion av modellens parametrar inför en prognos.

Figur 1 sammanfattar HBV-modellens olika uppdateringsmöjligheter och var i modellen som dessa verkar.



Figur 1. Principalskiss över HBV-modellen och var i modellen som de testade uppdateringsmetoderna verkar. Uppdateringsmetoderna beskrivs nedan.

1.1 Korrektion av indata till modellen

I SMHI:s HBV-modell har man främst använt uppdatering av indata (Bergström, 1976). Man lägger på korrektioner på temperaturen och/eller nederbörden tills dess att man erhållit en avrinning som nära överensstämmer med den uppmätta. Traditionellt har korrektionerna valts ut manuellt. Modellen körs om med hänsyn taget till de utvalda korrektionerna i en iterativ process tills hydrologen är nöjd med resultatet. Processen är tidskrävande och i praktiken har modellen endast uppdaterats vid ganska stora fel. Småfel vid prognosens start har dessutom ganska liten betydelse vid långtidsprognoser över kvarvarande tillrinning.

En rutin för automatisk beräkning av korrektioner utvecklades till IHMS. Programmet bestämmer själv lämpliga korrektioner inom förutbestämda ramar. Denna metod används främst vid uppdatering av modellen inför korttidsprognoser för de s.k. indikatorområdena, små avrinningsområden som utnyttjas inom den hydrologiska överblicken och varnings-tjänsten.

Fördelen med uppdatering av indata är att man kan undvika orealistiska kombinationer av modelltillstånd. Man kan t.ex. rätta till tillfällena då modellen felaktigt tolkat ett snöfall som regn och vice versa. Beräkning av arealnederbörd och temperatur är naturligtvis behäftade med osäkerheter, varför man kan tillåta sig att justera dessa något. Ett problem är dock att man oftast endast har uppmätt vattenföring att uppdatera mot, och att man inte vet om man

skall justera temperaturen eller nederbördsmängden. Många invänder också emot att man ändrar i mätdata, snarare än i modellen.

1.2 Korrektion av modellens tillståndsvariabler

En korrektion av indata resulterar i en förändring av modellens tillståndsvariabler, t.ex. snömagasin, markfuktighet och grundvattennivåer. Därför är skillnaden mellan uppdatering av indata och direkt uppdatering av tillstånden inte så stor som en första anblick kan ge vid handen. Carlsson och Bergström (1998) visade att man genom uppdatering av modellens tillstånd fick förbättrade korttidsprognoser, jämfört med uppdateringen av indata. Deras rutin korrigerade nivån i HBV-modellens övre grundvattenbox, UZ, i stället för att korrigera nederbörd och temperatur. Metoden testades inom TELFLOOD-projektet på områden i Sverige, Italien och Irland för tillfällen med både bra och dåliga simuleringar, och med 12- och 24-timmarsprognoser. De testade områdena var dock förhållandevis små, upp till ca 1000 km², samt snöfattiga. I en del fall uppstod ett visst tidsfel i prognosen. Detta kan bero antingen på hur själva rutinen fungerar eller på hur den fungerar ihop med IHMS.

Man kan också införa betydligt mera komplicerade metoder för uppdatering av tillstånd, t.ex. Kalmanfilter. Erfarenheter från tillämpning av Kalmanfilter i den danska NAM-modellen, som liknar HBV-modellen, tyder knappast på att metoden medför förbättringar som motiverar den ökande komplexiteten (t.ex. Refsgaard, 1997). Komplexiteten i Kalmanfiltret är knappast i harmoni med enkelheten i HBV-modellen.

Ett problem vid uppdatering av tillstånden är att man endast har uppmätta värden på vattenföringen att utgå ifrån. Man har alltså bara indirekt information om modellens verkliga tillstånd. Normalt kan man dessutom bara observera förhållandena, dvs flödet, i sista delområdet i ett större vattendrag med sjöar och vattendragssträckor. Uppdateringen som kan antas gälla i sista delområdet måste på något sätt generaliseras uppströms. En ytterligare nackdel med tillståndsuppdatering är att formuleringen blir avhängig av modellens struktur. Om man inför en ändring i modellens struktur måste alltså uppdateringsrutinen omformuleras.

1.3 Korrektion av utdata - prognos på felet

Det kanske enklaste sättet att ta hänsyn till att modellen ligger fel inför en prognos är att även göra en prognos av felet och sedan korrigera det modellberäknade flödet med felprognosen. Man utgår då från det faktum att felet är inbördes beroende av varandra i tiden, dvs auto-korrelerade. Uppdatering av denna typ är mycket vanligt förekommande (WMO, 1992). Den används i olika varianter i Norge, och testades i Sverige redan av Lundberg (1982) med lovande resultat för Emån.

1.4 Korrektion av modellens parametrar inför en prognos

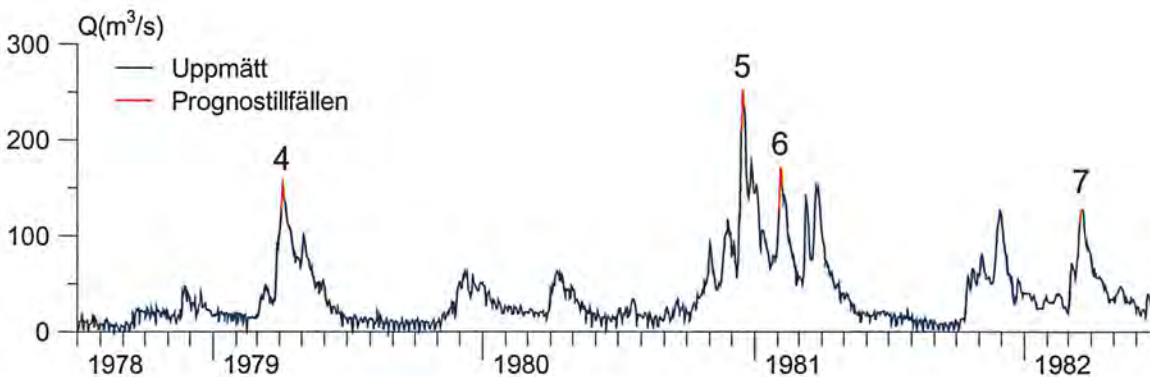
Denna metod innebär att man kalibrerar om vissa av modellens parametrar inför en prognos för att förbättra överensstämmelsen. HBV-modellens parametrar antas dock vara konstanta i tiden, med undantag för inhomogeniteter i indata och förändrad markanvändning etc. Det var därför inte aktuellt att testa korrektion av modellparametrarna i detta projekt.

2. SYFTE

Projektet syftar till att utveckla och utvärdera metoder för uppdatering av HBV-modellen, och att implementera dessa i IHMS. De framtagna uppdateringsrutinerna testas på ett antal typområden så att val av lämpligaste prognosmetod kan rekommenderas.

3. METODIK OCH DATA

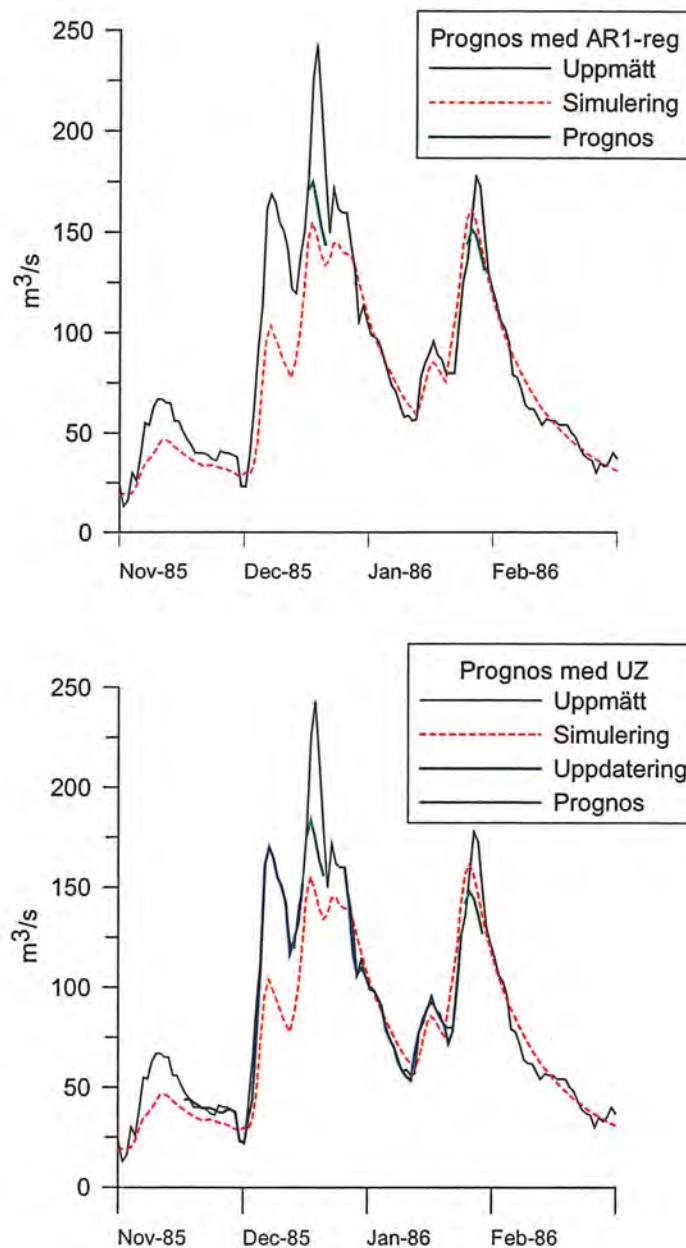
Som hydrologisk modell användes HBV-96 (Lindström, m.fl., 1997). Arbetet inriktades främst på korttidsprognoser, men resultaten kan även få betydelse för långtidsprognoser. För att göra det möjligt att utvärdera hur bra olika uppdateringsmetoder fungerade, särskilt i samband med höga flöden, var det nödvändigt att göra ett stort antal testprognoser. Testprognoser gjordes över utvalda flödestoppar. En första utgångspunkt var att det högsta flödet varje år valdes ut ur en lång tidsserie. Ingen åtskillnad gjordes här mellan regnflöden och flöden orsakade av snösmältning. I en andra omgång valdes endast regnflöden, dvs tillfällen då marken var snöfri och då flödena inte orsakades av snösmältning. Vissa automatiskt utvalda flödestillfällen fick dock bytas ut mot andra tillfällen, t.ex. pga. osäkra data. Alla beräkningar gjordes med dygnssteg i indata. Femdygnsprognoser gjordes över de utvalda flödestopparna. Längre korttidsprognoser än fem dagar blir knappast meningsfulla eftersom verkliga prognoser, i synnerhet prognoser över nederbörd, blir mycket osäkra för längre tidsperioder. Prognosperioderna valdes ut symmetriskt över den uppmätta toppen, dvs den uppmätta toppen inträffade dag 3 i en prognos. Ett exempel på valda flödestillfällen visas i figur 2.



Figur 2. Exempel på flödestillfällen för vilka testprognoser gjordes. Teststillfällena nummer 4 till 7 i den oberoende perioden för Torsebro visas.

Testprognoserna gjordes med vad som kan kallas perfekta meteorologiska prognoser. Modellen kördes helt enkelt med de verkligt uppmätta temperaturerna och nederbördsmängderna som prognos. Uppdatering mot uppmätt vattenföring gjordes endast fram till och med dagen före prognosens start. För att förenkla och snabba upp beräkningarna genomfördes uppdateringen endast under sista månaden före prognosens start. Att använda längre uppdateringsperiod är ej heller nödvändigt eftersom de flesta av modellens magasin gott och väl hinner ställa in sig på denna tid. Metodiken illustreras i figur 3 med ett exempel från Torsebro på uppdatering och prognos med tillståndsvariabeln UZ, samt prognos med AR-1. Vid prognos med den autoregressiva metoden AR-1 används endast felet den sista dagen som prognosansats. Detta sätt att med hjälp av perfekta prognoser utvärdera olika uppdateringsmetoder användes även i WMO:s (1992) stora modelljämförelse. Som mått på hur bra

modellen gick tillsammans med de olika uppdateringsrutinerna användes det vanliga effektivitetsmättet R^2 (Nash och Sutcliffe, 1970), utvärderat över alla gjorda femdygnsprognoser för det aktuella området. Detta mått kallas nedan för R^2_{FORC}



Figur 3. Exempel på uppdatering med påföljande testprognoser (med start 1985-12-16 resp. 1986-01-23) för Torsebro som illustration till metodiken.

Åtta prognosområden valdes ut för testerna (tabell 1). Områdena ligger väl spridda över Sverige och de flesta är av stort intresse i vattenkraftsammanhang. För att möjliggöra ett stort antal tester och körningar delades arbetet upp i två delar. I den första fasen testades ett stort antal uppdateringsmetoder med en förenklad HBV-modell, utanför IHMS. I modellen förekommer inga delområden, utan den beskriver bäst förhållandena i randområden. En delredovisning av detta arbete gavs vid Nordisk Hydrologisk Konferens i Uppsala i juni 2000 (Lindström och Carlsson, 2000).

De mest lovande av metoderna från första fasen valdes ut och ingick i nästa fas. Här lades dessa metoder in i IHMS och jämfördes med de metoder för automatisk uppdatering av indata och tillstånd som redan fanns i IHMS. De sistnämnda metoderna tog mycket lång tid vid beräkningarna pga att korrektionerna itereras fram i ett stort antal modellberäkningar.

Vid testerna i den förenklade HBV-modellen kalibrerades modellen för hela den tillgängliga tidsperioden. Autokorrelationen för felen, samt andra parametrar i de testade metoderna, uppskattades för samma period. I genomsnitt gjordes ca 30 testprognoser för varje område. Vid testerna i IHMS kalibrerades HBV-96 först för en kalibreringsperiod, för vilken parametrarna i de testade uppdateringsmetoderna togs fram. Cirka en tredjedel av den totalt tillgängliga tidsperioden, dvs ca 10 år, utnyttjades för denna kalibrering (tabell 1). De värden som därigenom erhöles utnyttjades sedan vid utvärderingen av de olika uppdateringsmetoderna över den oberoende tidsperioden, ca 20 år. Utvärdering mot oberoende data är någorlunda lik situationen vid verkliga prognoser.

Tabell 1. Testområden, samt tidsperioder i slutttesterna som gjordes i IHMS (del 2 nedan). N_{KAL} och N_{UTV} = antal prognoser i kalibreringen resp. utvärderingen.

Område	Area (km ²)	Kalibreringsperiod	N_{KAL}	Utvärderingsperiod	N_{UTV}
1 Suorva	4691	620901-701231	8	740101-971231	23
2 Kultsjön	1097	621001-730831	10	730901-971231	25
3 Torrön	1369	691001-790930	10	791001-001231	21
4 Sveg	5974	630101-721231	9	730101-931231	21
5 Trängslet	4521	620101-721001	11	721002-001015	28
6 Höljes	6001	620901-730831	11	730901-971231	24
7 Torsebro	3664	610101-751231	10	760101-971231	22
8 Pepparforsen	384	840901-890831	6	890901-000915	11



3.1 Del 1 - tester i en förenklad modell

Ett antal olika uppdateringsmetoder formulerades och testades i den förenklade modellen. De beskrivs nedan efter respektive beteckning:

No upd.

Modellen kördes som en vanlig simulering över prognosperioden utan föregående uppdatering.

AR1

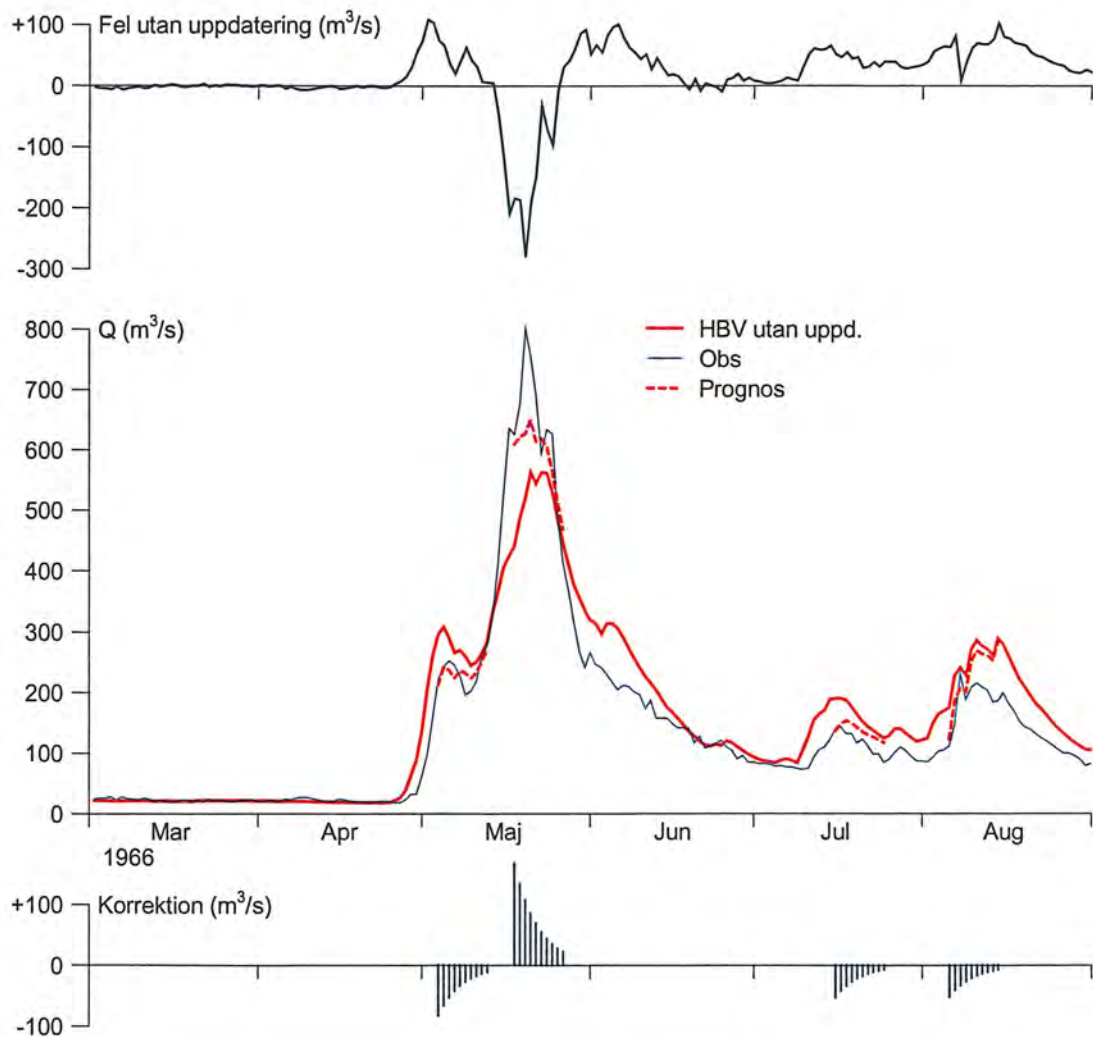
Den enklast möjliga autoregressiva modellen, ofta betecknad AR(1), användes här, pss som av t.ex. Lundberg (1982). Felen, $E(t)$, dvs avvikelserna mellan beräknat och uppmätt flöde ($qsim(t) - qobs(t)$), modelleras enligt tidsserien:

$$E(t+1) = a \cdot E(t) + \varepsilon(t+1) \quad (1)$$

där a är en modellparameter och ε är ett slumpmässigt fel. Parametern a skattas av autokorrelationen, r , för felen. Prognosfelet, $\hat{E}(i)$, i dagar framåt, skattas därför i praktiken som:

$$\hat{E}(i) = r^i \cdot E(0) \quad (2)$$

där r är autokorrelationen för felet, och $E(0)$ är felet vid sista mättillfället. Det prognosticerade flödet korrigeras sedan med det förväntade felet (se figur 4). AR(1)-modellen är enligt Bras och Rodríguez-Iturbe (1985) den tidsseriemodell som oftast används inom hydrologin. Ytterligare detaljer ges av t.ex. Box och Jenkins (1979) och Bras och Rodríguez-Iturbe (1985).



Figur 4. Exempel på testprognoser över 10 dygn (streckade kurvor) för Höljes, med AR1-metoden. Autokorrelationen i felet utnyttjas och en prognosticerad korrektion läggs på det modellberäknade flödet.

AR2

En enkel utvidgning av AR(1)-metoden är att hänsyn tas till felet under de två sista mättillfällena. Denna rutin har två parametrar, a och b :

$$E(t+1) = a \cdot E(t) + b \cdot E(t-1) + \varepsilon(t+1). \quad (3)$$

Denna utvidgning kan verka naturlig t.ex. då man har att göra med osäkert bestämda tillrinningar och inte vill låta sig luras av enstaka felmätningar. Parametrarna a och b bestäms ur de s.k. Yule-Walker-ekvationerna (se t.ex. Bras och Rodríguez-Iturbe, 1985). Tidsskillnader på 2 tidssteg, som i AR(2), är den största tidsskillnaden som normalt används inom hydrologin (Bras och Rodríguez).

AR1-Opt

Eftersom autokorrelationen för felet antagligen inte är oberoende av flödesnivån, behandlades r som en fri parameter och optimerades. Det värde på r som gav bäst anpassning över prognostillfällena, R^2_{FORC} , valdes här som parameter.

AR1-Reg

Även här betraktades r som en fri parameter, men i stället för att varje område optimerades för sig, valdes det värde på r som gav bäst anpassning i genomsnitt över de åtta testområdena. Det blir alltså i princip en regional kalibrering.

AR1-3d

Ett sätt att undvika att låta sig luras av enstaka felmätningar i indata kan vara att göra en utjämning av den observerade mätserien innan uppdateringen. Detta testades här genom att medelvärdet för felet under de tre senaste dyggen användes som ingångsvärde till uppdateringen. Värdet på parametern r bestämdes genom optimering av R^2_{FORC} för vart och ett av områdena. Liknande filtrering förekommer i Norge (Lundquist, 1996).

AR1-Log

En AR1-modell anpassades för avvikelserna efter logaritmering; $\log(qsim) - \log(qobs)$. Liknande logaritmerade modeller testas i Norge (t.ex. Langsholt, 1999).

AR1-Rot

En AR1-modell anpassades här för skillnaderna $\sqrt{qsim} - \sqrt{qobs}$. Fördelen med denna formulering är att variansen för dessa fel blir mindre beroende av flödesnivån (se t.ex. Xu, 2000). Även för denna metod testades en variant i vilken parametern r optimerades. Resultaten blev dock inte bättre än med motsvarande AR1-metod och de redovisas därför inte nedan.

AR över olika tröskelflöden

I tillägg till vad som beskrivits ovan testades olika varianter på AR-1 och AR-2 i vilka parametern a skattades såsom autokorrelationen för felet för flöden över en tröskel (MQ resp. MHQ/2). Man skulle kunna tänka sig att denna autokorrelation är mer representativ för flödesförhållanden än den korrelation man får baserat på alla dagarna. Resultaten blev dock inte bättre än med den vanliga AR-metoderna och de redovisas därför inte i detalj i denna rapport.

STATE

En enkel metod för uppdatering av modellens tillstånd formulerades. En korrektionsfaktor, $corr$, bestämdes för varje dag enligt:

$$corr = w \cdot \frac{qobs}{qsim} + (1 - w) \cdot 1. \quad (4)$$

Nivåerna i responsfunktionen (UZ och LZ) och i transformationsfunktionen (MAXBAS) uppdaterades så att utflödet ur respektive magasin ökades eller minskades med den beräknade faktorn. Hänsyn måste tas till att vissa magasin är icke-linjära. Vikten w styr hur följsam uppdateringen blir, dvs hur snabbt som modellen skall ställa in sig efter nya observationer. Korrektionsfaktorn, $corr$, blir ett viktat medelvärde mellan ursprungsmodellen ($w=0$) och full uppdatering ($w=1$). Modellen ställer alltså in sig efter mätningarna så snart som $w > 0$, men man har möjlighet att inte slaviskt följa efter observationerna om man t.ex. har att göra med osäkra bestämningar av tillrinning. Metoden liknar Kalmanfiltrering, med skillnaden att följsamhetsparametern w här måste bestämmas subjektivt. Å andra sidan bygger Kalmanfiltreringen på ett antal idealiserade förhållanden som knappast är uppfyllda i den hydrologiska verkligheten.

Parametern w betraktades i denna tillämpning som en modellparameter som optimerades mha R^2_{FORC} , på samma sätt som i AR1-Opt ovan. Tester gjordes även med geometriskt medelvärde i ekv. (4), utan förbättringar.

STATE-Reg

Här valdes det värde på parametern w som gav bästa anpassningen i genomsnitt över de åtta områdena.

STATE-SM

Försök gjordes av att innefatta en uppdatering av markfuktigheten, SM , i tillståndsuppdateringen. Infiltrationen, $INSM$, till markrutinen uppdaterades med den ovan beskrivna korrektionen. Avrinningens andel av infiltrationen ges i modellen av $(SM/FC)^{BETA}$, och den resterande andelen, $1-(SM/FC)^{BETA}$, fastnar i marken och höjer markfuktigheten. Här antogs därför att denna resterande andel, av det tillskott i infiltrationen som uppstod genom uppdateringen, lades till markrutinen. Uppdatering av markrutinen sker således endast under dagar med regn eller snösmältning.

3.2 Del 2 - tester i IHMS

De metoder som endast testades inom IHMS beskrivs nedan. De bygger på den uppdatering av indata som utvecklades till IHMS (SMHI, odat.), samt vidareutvecklades m.a.p. uppdatering av UZ av Carlsson och Bergström (1998). De parametervärden som användes i testerna sammanfattas i tabell 2. I samtliga av testerna sattes $corrlag = 1$, $mindiff = 0.1$ och $winlength = 2$. Som kriterium användes mad .

IHMS-TPrec

Detta är den ursprungliga uppdateringsmetoden i IHMS. Uppdatering av temperatur och nederbörd sker automatiskt så att simulerat flöde anpassas till uppmätt. Temperaturförändringen anges i uppdateringsrutinen i hela grader medan nederbördsförändringen sker via en positiv faktor med vilken den uppmätta nederbörden multipliceras. Nederbörden kan därvid inte bli negativ. Beräkning av korrektionen kan ske över valt antal dagar.

IHMS-Temp

Fungerar på samma sätt som TPrec men med försiktigare uppdatering av nederbörden. Togs fram för att speciellt under snöperioder undvika orimlig tillväxt av snömagasinet.

IHMS-UZ

Påverkar till skillnad från IHMS-TPrec och IHMS-Temp modellens tillstånd direkt. *UZ* är ett mått på vattennivån i den övre av modellens responsboxar.

Tabell 2. Parametervärden i den automatiska uppdateringen i IHMS.

Metod	par	min	max	tol1	ltemp	utemp
TPrec	temp	-3.	+3	0.005	-1	10
	prec	0.1	3.0	0.005	0	-
UZ	uz	-20	20	0.1	-	-
Temp	temp	-3	+4	0.005	-4	10
	prec	0.5	3.0	0.005	6	-

STATE

Tillståndsuppdateringen som beskrevs ovan behövde utvidgas något från den förenklade modellen till införandet i IHMS, eftersom de flesta områden i IHMS var indelade i delområden. Samma korrektionsfaktor, *corr*, antogs därvid gälla över hela området, dvs i alla delområden och i alla magasin. Uppdateringen gjordes alltså i responsfunktion, transformationsfunktionen, Muskingumroutingen och sjöarna så att utflödet ur dessa blev korrigerade med faktorn *corr*.

3.3 Konfidensintervall för AR1-prognoser

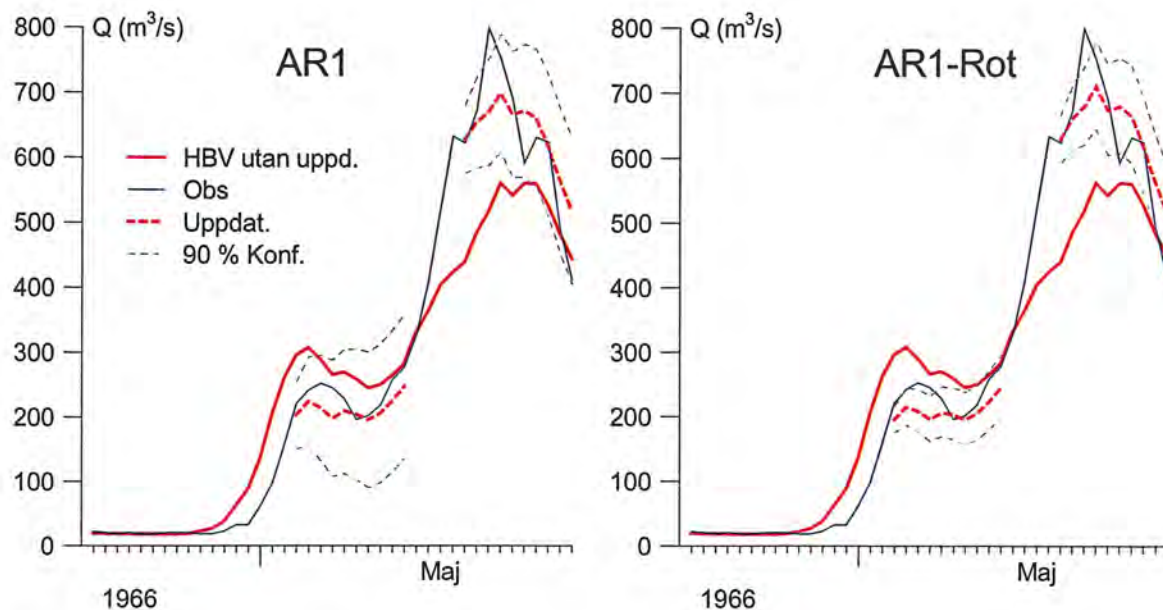
För AR1-metoden kan man enkelt konstruera ungefärliga konfidensintervall för en prognos. Korrelation mellan felet för två på varandra följande dagar ges just av autokorrelationen r . Korrelationen över längre tidssteg klingar av med faktorn r för varje dag. Eftersom den förklarade variansen i en regression ges av kvadraten på korrelationskoefficienten (r^2) blir felets varians lika med den resterande andelen ($1-r^2$). Ett mått på tillförlitligheten i en prognos fås av prognosfelets uppskattade varians, σ_i :

$$\sigma_i = (1 - r^{2i}) \sigma_E \quad (5)$$

där i betecknar prognoslängden i t.ex. dagar, och σ_E betecknar variansen hos felet utan uppdatering. Med en autokorrelation på 0.8 kan man tolka det som att uppdateringen reducerar felet med 64% (0.8^2) första dagen, 40 % (0.8^4) andra dagen, 26 % (0.8^6) för dag 3 osv, jämfört med vad man skulle ha fått utan uppdateringen.

Om man vet hur stort felet normalt brukar vara vid en viss typ av prognossituation kan man alltså konstruera ungefärliga konfidensintervall runt prognosen. Exempel på sådana ungefärliga konfidensintervall som med sannolikheten 90% bör täcka in det verkliga utfallet visas i figur 5. Figuren illustrerar hur osäkerheten i prognosen ökar med prognoslängden. Här har variansen för felet vid flödestoppar under kalibreringen använts, dvs med verkliga klimatobservationer som drivdata till HBV-modellen. I en verklig tillämpning får man vidare intervall eftersom felet blir ännu större då man driver modellen med prognosticerad nederbörd och temperatur. Men om man har en uppfattning om prognosfelets varians under sådana omständigheter skulle detta kunna utnyttjas. En ytterligare komplikation i sammanhanget är att felet är heteroskedastiska, dvs att variansen inte är oberoende av flödesnivån. Om man använder en och samma varians i hela flödesregistret, och normalfördelade fel (som i figur 5

t.v.) får man överdrivet pessimistiska konfidensgränser för låga flöden. Antingen får man använda olika varianser för olika flödesnivåer eller en annan modell för felet, såsom t.ex. i figur 5 t.h. där avvikelserna $\sqrt{q_{sim}} - \sqrt{q_{obs}}$ antas vara normalfördelade. Dessa avvikelser är mindre heteroskedastiska (se t.ex. Xu, 2000). En förutsättning för att konfidensintervallen skall gälla är att modellen inte systematiskt över- eller underskattar den typ av flöden som studeras.



Figur 5. Exempel på testprognoser över 10 dygn, samt 90 % konfidensgränser, för Höljes, med AR1-metoden (t.v.) och AR1-Rot (t.h.), båda med autokorrelation $r = 0.9$.

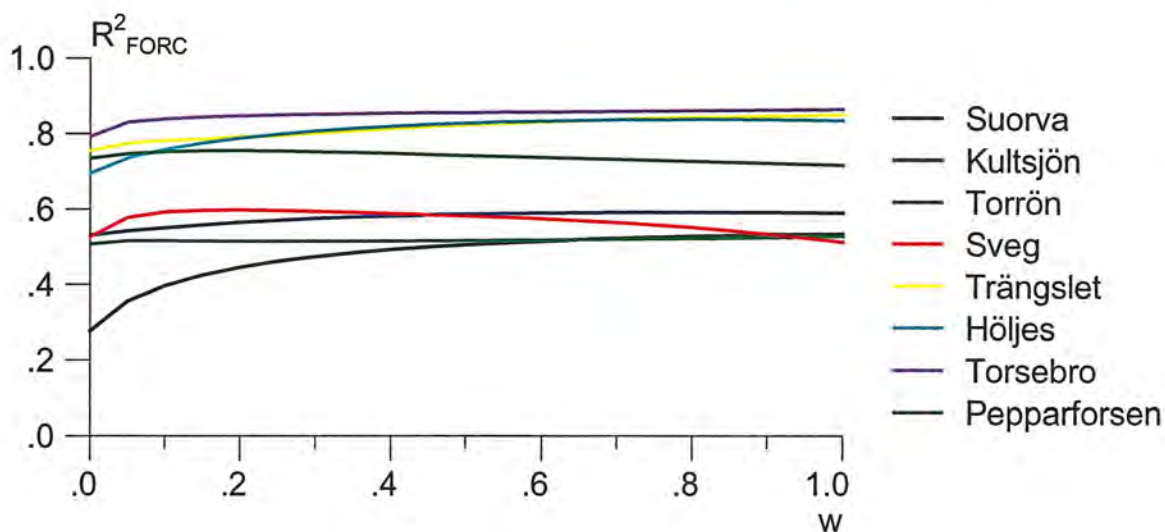
4. RESULTAT OCH DISKUSSION

4.1 Del 1 - tester i en förenklad modell

Resultaten från testerna med den förenklade modellen sammanfattas i tabell 3. Alla de testade metoderna förbättrade prognoserna, i genomsnitt, jämfört med körningen utan uppdatering, även om det naturligtvis även fanns gott om tillfällen som försämrades genom uppdateringen. De bästa resultaten erhöles med den optimerade AR1-metoden. Den logaritmiska modellen gick en aning sämre än övriga metoder. Som regional skattning för autokorrelationen erhöles $r = 0.8$, vilket alltså är det värde som användes i AR1-Reg. Tillståndsuppdateringen fungerade ungefär lika bra som AR-metoden. Metoden visade sig vara relativt okänslig för valet av följsamhetsvikten w (se figur 6). Detta underlättar vid tillämpningar eftersom det inte är helt avgörande att man väljer exakt optimalt värde på parametern. Bäst resultat i genomsnitt över alla områden erhöles då man som regionalt värde använde $w = 0.75$, vilket alltså användes i metoden State-Reg. Uppdateringen av markfuktigheten (State-SM) gav mycket liten förbättring jämfört med den enklare tillståndsuppdateringen (State).

Tabell 3. Anpassningsmättet R^2_{FORC} för testprognoserna i den förenklade modellen. No upd. = ingen uppdatering.

Område	No upd.	AR1	AR2	AR1-Opt	AR1-Reg	AR1-3d	AR1-Log	AR1-Rot	State	State-Reg	State-SM
Suorva	0.28	0.38	0.45	0.53	0.51	0.47	0.37	0.39	0.53	0.52	0.53
Kultsjön	0.53	0.57	0.60	0.62	0.62	0.61	0.54	0.55	0.59	0.59	0.59
Torrön	0.51	0.52	0.53	0.54	0.53	0.53	0.52	0.52	0.53	0.52	0.54
Sveg	0.53	0.58	0.59	0.61	0.58	0.60	0.59	0.60	0.60	0.56	0.59
Trängslet	0.76	0.84	0.83	0.85	0.85	0.80	0.78	0.81	0.85	0.84	0.85
Höljes	0.70	0.85	0.85	0.85	0.84	0.82	0.80	0.84	0.84	0.84	0.83
Torsebro	0.79	0.85	0.86	0.87	0.86	0.85	0.83	0.84	0.86	0.86	0.87
Pepparforsen	0.73	0.74	0.74	0.74	0.74	0.76	0.66	0.71	0.75	0.73	0.75
Medel	0.60	0.67	0.68	0.70	0.69	0.68	0.64	0.66	0.69	0.68	0.69



Figur 6. Känsligheten för val av följsamhetsvikten, w , i tillståndsuppdateringen State.

4.2 Del 2 - tester i IHMS

De parametervärden som erhöles i IHMS-tillämpningen visas i tabell 4 för kalibreringsperioden. Dessa värden användes sedan i sluttesterna över den oberoende verifieringsperioden. Resultaten från dessa tester sammanfattas i tabellerna 5 och 6 samt i figur 7. Figur 8 visar alla testperioderna över fem dygn i den oberoende perioden för Torsebro, för ett urval av de använda uppdateringsmetoderna.

Liksom i testerna i den förenklade modellen förbättrade alla uppdateringsmetoderna resultaten i genomsnitt. Bäst resultat vid maxflöden erhöles med den regionala AR-metoden. De två andra AR-metoderna gick här något sämre, troligen beroende på att parametern r bestämdes ur en kortare period än i testerna i den förenklade modellen ovan. Särskilt gäller detta optimeringen av r , och även av följsamhetsvikten w , över ett förhållandevis litet antal flödestillfällen å 5 dagar under kalibreringsperioden. Det noterades att enstaka orimliga tillrinningsvärden i kalibreringsperioden påverkade uppskattningen av autokorrelationen på ett olämpligt sätt. Ett regionalt parametervärde är då att föredra.

Tabell 4. Parametrar erhållna över kalibreringsperioden i IHMS. r = autokorrelationen för alla felen, och r_{OPT} och w_{OPT} är de värden som erhöles vid optimeringen av R^2_{FORC} .

Område	r	r_{OPT}	w_{OPT}
Suorva	0.50	0.00	0.00
Kultsjön	0.37	0.68	0.20
Torrön	0.32	0.90	0.45
Sveg	0.83	0.45	0.15
Trängslet	0.37	1.00	1.00
Höljes	0.84	0.95	0.95
Torsebro	0.88	1.00	1.00
Pepparforsen	0.90	0.60	0.00

Tabell 5. Anpassningsmättet R^2_{FORC} för testprognoserna vid maxflöden i den oberoende verifieringsperioden i IHMS. No upd. = ingen uppdatering.

Område	No upd.	ARI	ARI-Opt	ARI-Reg	State	State-Reg	IHMS-UZ	IHMS-TPrec	IHMS-Temp
Suorva	0.22	0.38	0.22	0.56	0.22	0.49	0.51	0.36	0.31
Kultsjön	0.31	0.41	0.46	0.60	0.40	0.51	0.42	0.30	0.34
Torrön	0.53	0.55	0.52	0.54	0.54	0.54	0.55	0.57	0.58
Sveg	0.18	0.51	0.31	0.49	0.27	0.47	0.50	0.25	0.30
Trängslet	0.41	0.51	0.33	0.59	0.65	0.64	0.66	0.44	0.50
Höljes	0.63	0.77	0.78	0.76	0.76	0.76	0.77	0.70	0.68
Torsebro	0.68	0.82	0.78	0.82	0.78	0.79	0.81	0.76	0.69
Pepparforsen	0.70	0.65	0.70	0.67	0.70	0.64	0.63	0.71	0.69
Medel	0.46	0.57	0.51	0.63	0.54	0.60	0.60	0.51	0.51

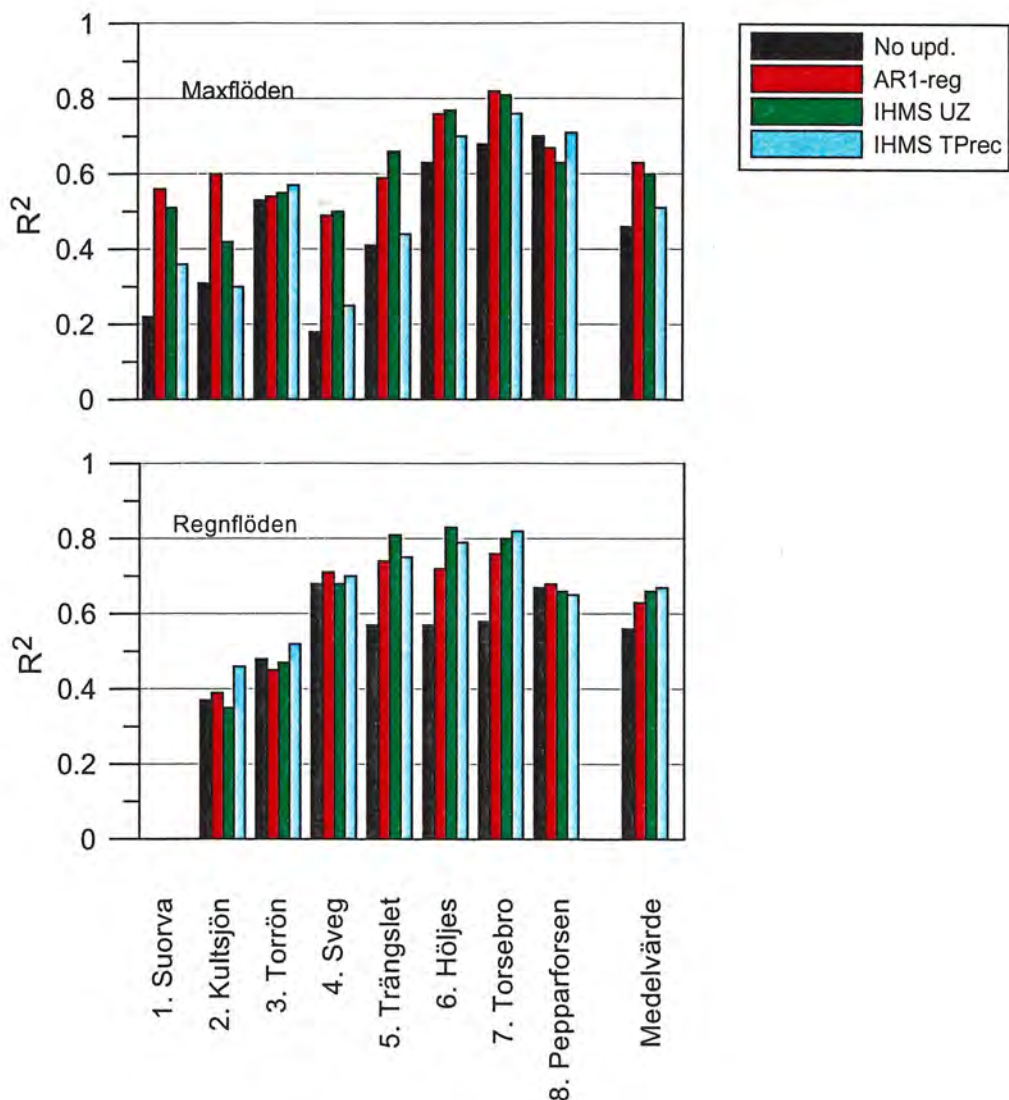
Tabell 6. Anpassningsmättet R^2_{FORC} för testprognoserna vid regnflöden i den oberoende verifieringsperioden i IHMS. No upd. = ingen uppdatering.

Område	No upd.	ARI	ARI-Reg	IHMS-UZ	IHMS-TPrec
Kultsjön	0.37	0.38	0.39	0.35	0.46
Torrön	0.48	0.48	0.45	0.47	0.52
Sveg	0.68	0.71	0.71	0.68	0.70
Trängslet	0.57	0.61	0.74	0.81	0.75
Höljes	0.57	0.73	0.72	0.83	0.79
Torsebro	0.58	0.79	0.76	0.80	0.82
Pepparforsen	0.67	0.67	0.68	0.66	0.65
Medel	0.56	0.62	0.63	0.66	0.67

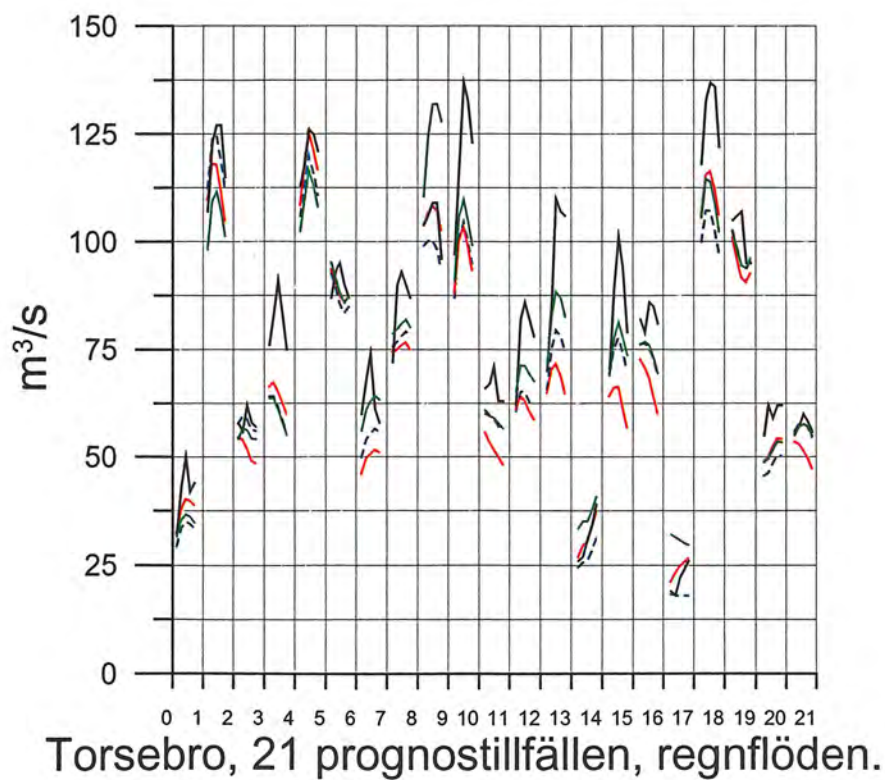
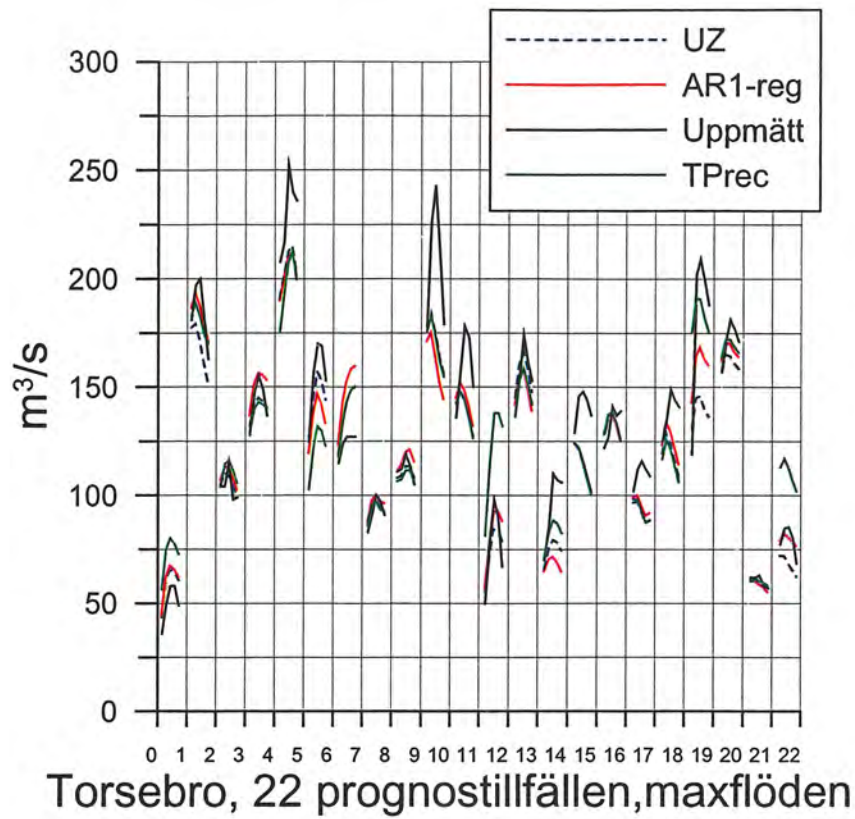
Av IHMS-metoderna gick uppdateringen av UZ sammantaget bäst. Uppdateringen av både temperatur och nederbörd är svår då det kan förekomma snö, vilket kan vara en förklaring till att dessa båda metoder gick något sämre. Ett skäl till att TPrec gav allra bäst resultat vid regnflödena (tabell 6, figur 7) kan vara att man genom att uppdatera indata på ett naturligt sätt även uppdaterar markfuktigheten, vilket inte de andra metoderna gör.

Ovanstående slutsatser grundar sig på metodernas medelvärden över alla testområdena. Resultaten områdesvis avviker ibland markant från dessa medelvärden. Se t ex maxflöden för Suorva, Kultsjön och Sveg i figur 7. Att AR1-Reg i genomsnitt framstår som bästa val av prognosmetod vid maxflöden, möjligen med undantag av Trängslet, framgår också av figur 7. Vid regnflöden är metoderna överlag mera likvärdiga. Dock bör påpekas att skillnaderna vid enstaka prognostillfällen inom samma område kan vara avsevärda såsom framgår av figur 8.

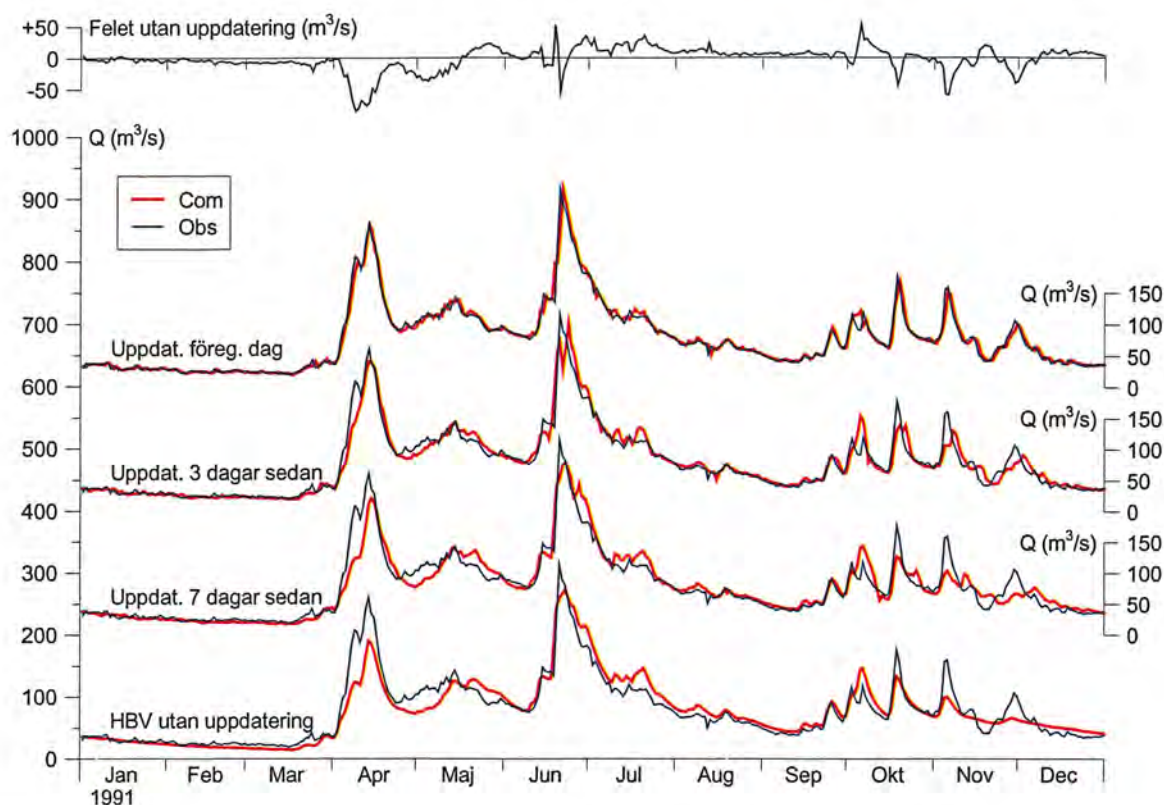
Vi har således ovan visat att AR-metoden för maxflöden är minst lika bra som övriga testade prognosmetoder om man gör analysen över en 5-dygnspanning. I figur 9 visas hur metoden fungerar med olika prognoslängd. Man kan där konstatera att man för korta prognoser, t ex 1 dygn framåt, får en mycket nära anslutning till uppmätt värde.



Figur 7. Anpassningsmättet R^2_{FORC} för testprognoserna, i den oberoende verifieringsperioden, i IHMS, och för några utvalda uppdateringsmetoder.



Figur 8. Exempel på hur de olika prognoserna gått i den oberoende verifieringsperioden efter tre olika uppdateringsmetoder.



Figur 9. Exempel på prognos av felet för Höljes med AR-metoden 1991.

4.3 Toppkalibrering

Det är ganska vanligt att man efter en modellkalibrering har en viss kvarvarande underskattning av toppflödena. Även i testprognoserna låg modellen i genomsnitt ca 2-5 % för lågt (se även figur 8). Eftersom modellen är inställd för att gå rätt i genomsnitt kommer den ofta att underskatta de högsta uppmätta flödena, men som kompensation överskatta andra flöden. Man kan alltså nästan utgå från att modellen inte kommer att orka upp till rätt nivå vid verkliga flödestillfällen. Om man kalibrerade modellen till att i genomsnitt nå upp till de uppmätta toppflödena skulle detta leda till att modellen dessutom kommer att simulera ett antal andra mindre flöden alldeles för högt.

Man bör dock sträva efter att de högsta beräknade och uppmätta flödena under varje år i medeltal ligger lika högt. Olofsson och Lindström (2000) införde därför ett kriterium för toppfelet, Tf , i den automatiska kalibreringen av HBV-modellen. Kriteriet mäter den systematiska avvikelserna mellan de högsta beräknade och uppmätta flödena varje år. De beräknade och uppmätta maxvärdena behöver inte ha inträffat under samma dygn. Optimeringskriteriet är en kompromiss mellan det vanliga R^2 , det relativa volymfelet och toppfelet.

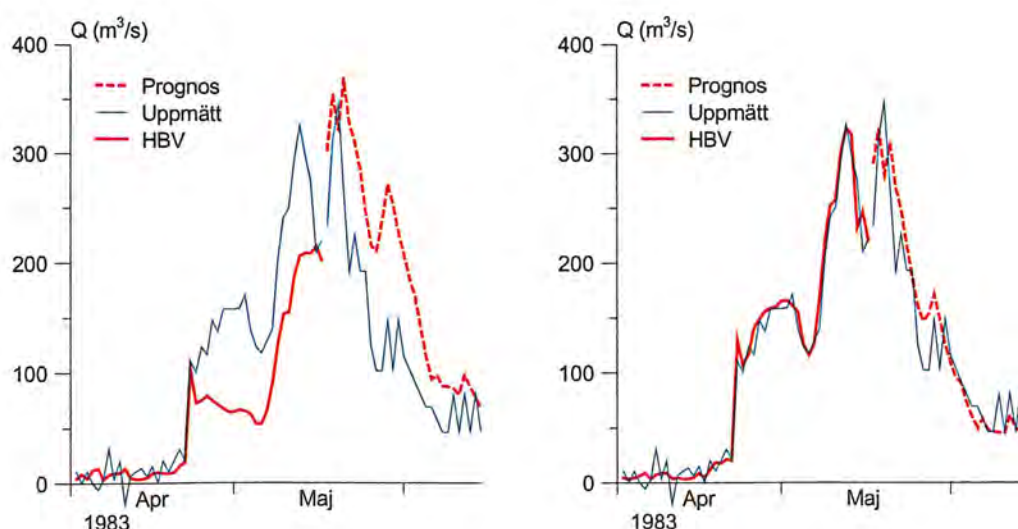
Testprognoserna med AR1 och $r = 0.8$ kördes om i den förenklade modellen efter omkalibrering med detta nya kriterium. Resultaten, mätt som R^2 , blev betydligt bättre efter omkalibreringen (tabell 7). Den systematiska underskattningen över prognoserna halverades i stort sett.

Tabell 7. Anpassningsmättet R^2_{FORC} för testprognoser i den förenklade modellen, med AR1 och $r = 0.8$. Normalt kalibrerade modeller (t.v.) och efter toppkalibrering (t.h.)

Område	Normal	Efter toppkalibrering
Suorva	0.51	0.57
Kultsjön	0.62	0.63
Torrön	0.53	0.47
Sveg	0.58	0.61
Trängslet	0.85	0.86
Höljes	0.84	0.86
Torsebro	0.86	0.89
Pepparforsen	0.74	0.81
Medel	0.69	0.71

4.4 Långtidsprognoser

De ovan redovisade testerna avser korttidsprognoser. Värdet av vissa av dessa uppdateringar är ganska begränsat i samband med långtidsprognoser under vårfloden. Efter en vecka är t.ex. effekten av en AR1-uppdatering tämligen försumbar. I stället har snömagasinets utveckling en avgörande betydelse, och detta magasin är inte direkt observerbart ur vattenföringsmätningarna. Genom att uppdatera temperaturen kan man dock påverka avsmältningsförloppet och i vissa fall undvika fASFel under snösmältningen. Ett ovanligt lyckat exempel på sådan uppdatering visas i figur 10. Här har en kraftigare uppdatering av temperaturen tillåtits än i testerna ovan. Det går dock även att finna mycket mindre lyckade exempel på denna typ av uppdatering. Att den autoregressiva uppdateringen har liten betydelse vid denna typ av prognos illustreras i den vänstra delen av figur 10. En möjlighet vore att kombinera dessa två typer av prognoser och låta uppdateringen av temperaturen korrigera felaktigheter i snötäcket och låta AR-metoden slipa bort eventuella småfel i början av prognosen. Exemplet i figur 10 måste närmast betraktas som ett stickprov men utgör ändock ett första steg mot förbättrade metoder för långtidsprognoser.



Figur 10. Exempel på långtidsprognos för Torrön, med AR1 (t.v.) och efter automatisk uppdatering av temperaturen under 2 månader före prognosen (t.h.). Uppmätta klimatdata användes under hela perioden, dvs även under prognosdelen.

5. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

- Alla de testade uppdateringsmetoderna förbättrade i genomsnitt korttidsprognoserna, och de flesta av dem fungerade ungefär lika bra. Ingen av metoderna kan alltså sägas vara överlägsen de andra. De komplicerade metoderna gav inte bättre resultat än de enkla.
- Autoregressiv prognos på felet, AR(1), fungerade bra och är mycket enkel. Den fungerade någorlunda bra vid både snösmältning och regn. Standardvärdet 0.8 på parametern i metoden kan användas såvida man inte har särskild anledning att välja något annat värde.
- Vid regnflöde erhöles något bättre resultat med uppdatering av indata, än med AR-metoden. Bäst av IHMS-metoderna fungerade i allmänhet uppdateringen av UZ. Att uppdatera nederbörds mängden är riskabelt då temperaturen är nära noll grader, eftersom nederbörden kan ackumuleras som snö och smälta av senare.
- Om en modell skall användas för prognoser i samband med höga flöden är det viktigt att modellen har kalibrerats med hänsyn till toppflöden, annars riskerar man att systematiskt underskatta topparna.
- AR-metoden och uppdateringen av UZ har begränsat värde vid en långtidsprognos inför vårfloden eftersom effekten av uppdateringen snabbt klingar av, och utvecklingen då domineras av snötillgången.

6. REFERENSER

Bergström, S. (1976) Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI RHO 7, Norrköping.

Bergström, S., Carlsson, B., Grahn, G. and Johansson, B. (1997) A more consistent approach to catchment response in the HBV model. Vannet i Norden, Vol. 30, 6-12.

Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1979) Time Series Analysis and Control: Forecasting and Control. Revised Edition, Holden-Day, San Francisco, USA.

Bras, R. and Rodríguez-Iturbe, I. (1985) Random Functions and Hydrology. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, USA.

Carlsson, B. and Bergström, S. (1998) The TELFLOOD Project, Rainfall - Runoff Modelling and Forecasting. SMHI RH 14, Norrköping.

Gollvik, S. (1997) The TELFLOOD Project, estimation of precipitation over drainage basins. SMHI RMK 77, Norrköping

Häggmark, L., Ivarsson, K-I. and Olofsson, P-O. (1997) MESAN, Mesoskalig analys. SMHI RMK 75, Norrköping.

Iritz, L. (1990). Real-time River Flood Forecasting. Uppsala University. Department of Physical Geography. Division of Hydrology.

Langsholt, E. (1999) Quantifying uncertainty in HBV runoff forecasts. Rantakokko, K. and Vehviläinen, B. (ed.) Nordic Workshop on HBV and similar runoff models. Suomen ympäristökeskuksen moniste 173, Helsinki, ISBN 952-11-0618-2, ISSN 1455-0792, 30-35.

- Larsson, S. och Lidén, R. (1996) Stationstäthet och hydrologiska prognoser. SMHI Hydrologi 68, Norrköping.
- Lindell, S., Ericsson, L-O., Sanner, H., Göransson, K., Mierkiewicz, M., and Kadlubowski, A. (1997) Integrated Hydrological Monitoring and Forecasting System for the Vistula River Basin. SMHI Hydrology 72, Norrköping.
- Lindström, G. and Carlsson, B. (2000) Evaluation of updating methods for short range forecasting by the HBV model. Proceedings XXI Nordic Hydrological Conference in Uppsala, 26-30 June 2000, NHP-Report 46, 380-386.
- Lindström, G., Gardelin, M., Johansson, B., Persson, M. och Bergström, S. (1996) HBV-96 - En areellt fördelad modell för vattenkrafthydrologin. SMHI RH 12, Norrköping.
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. and Bergström, S. (1997) Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. Journal of Hydrology, Vol. 201, 272-288.
- Lundberg, A. (1982) Combination of a Conceptual Model and an Autoregressive Error Model for Improving Short Time Forecasting. Nordic Hydrology, Vol. 13, 233-246.
- Lundquist, D. (1996) Flomvarslning i praksis. Nordic Hydrological Conference in Akureyri, Iceland, 13-15 August, NHP-Report No. 40, 486-495.
- Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V. (1970) River flow forecasting through conceptual models. Part I: A discussion of principles, Journal of Hydrology, Vol. 10, 282-290.
- Olofsson, J. och Lindström, G. (2000) Automatisk kalibrering och toppflöden. Rapport från HUVA projekt.
- Refsgaard, J.C. (1997) Validation and Intercomparison of Different Updating Procedures for Real-Time Forecasting. Nordic Hydrology, Vol. 28, 65-84.
- SMHI (odat.) IHMS Integrated Hydrological Modelling System. Manual Version 4.0
- Svensson, S. (1977) A statistical study for automatic calibration of a conceptual runoff model. SMHI RHO 10, Norrköping.
- WMO (1992) Simulated Real-time Intercomparison of Hydrological Models. Operational Hydrological Report No. 38, Geneva, Switzerland.
- Xu, C-Y. (2000) Statistical analysis of a rainfall-runoff model. Proceedings XXI Nordic Hydrological Conference in Uppsala, 26-30 June 2000, NHP-Report 46, 304-311.

SMHI ger ut sex rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Rapport Meteorologi och Klimatologi)	1974
RH (Rapport Hydrologi)	1990
RO (Rapport Oceanografi)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

I serien HYDROLOGI har tidigare utgivits:

- | | |
|--|---|
| <p>1 Bengt Carlsson (1985)
Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena.</p> <p>2 Martin Häggström och Magnus Persson (1986)
Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser.</p> <p>3 Sten Bergström, Ulf Ehlin, SMHI, och Per-Eric Ohlsson, VASO (1986)
Riktlinjer och praxis vid dimensionering av utskov och dammar i USA. Rapport från en studieresä i oktober 1985.</p> <p>4 Barbro Johansson, Erland Bergstrand och Torbjörn Jutman (1986)
Skåneprojektet - Hydrologisk och oceanografisk information för vattenplanering - Ett pilotprojekt.</p> <p>5 Martin Häggström (1986)
Översiktlig sammanställning av den geografiska fördelningen av skador främst på dammar i samband med septemberflödet 1985.</p> <p>6 Barbro Johansson (1986)
Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett försöksprojekt.</p> <p>7 Maja Brandt (1986)
Areella snöstudier.</p> <p>8 Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt och Göran Lindström (1987)
PULS-modellen: Struktur och tillämpningar.</p> | <p>9 Lennart Funkquist (1987)
Numerisk beräkning av vågor i kraftverksdammar.</p> <p>10 Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Aranibar and Robert Llobet (1987)
Application of the HBV model to Bolivian basins.</p> <p>11 Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar and Roberto Llobet (1987)
Monthly streamflow simulation in Bolivian basins with a stochastic model.</p> <p>12 Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor Milanov (1987)
De svenska huvudvattendragens namn och mynningspunkter.</p> <p>13 Göran Lindström (1987)
Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn.</p> <p>14 Maja Brandt, Sten Bergström, Marie Gardelin och Göran Lindström (1987)
Modellberäkning av extrem effektiv nederbörd.</p> <p>15 Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist (1987)
Sjökarte- och sjöuppgifter. Register 1987.</p> <p>16 Martin Häggström och Magnus Persson (1987)
Utvärdering av 1986 års vårflödesprognoser.</p> |
|--|---|

- 17 Bertil Eriksson, Barbro Johansson, Katarina Losjö och Haldo Vedin (1987)
Skogsskador - klimat.
- 18 Maja Brandt (1987)
Bestämning av optimalt klimatstationsnät för hydrologiska prognoser.
- 19 Martin Häggström och Magnus Persson (1988)
Utvärdering av 1987 års vårflödesprognoser.
- 20 Todor Milanov (1988)
Frysförluster av vatten.
- 21 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval and Maria Elvira Vega (1988)
Application of the HBV model to the upper Río Cauca basin.
- 22 Mats Moberg och Maja Brandt (1988)
Snökartläggning med satellitdata i Kultsjöns avrinningsområde.
- 23 Martin Gotthardsson och Sten Lindell (1989)
Hydrologiska stationsnät 1989. Svenskt Vattenarkiv.
- 24 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval y Maria Elvira Vega (1989)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca superior del Río Cauca.
- 25 Gun Zachrisson (1989)
Svåra islossningar i Torneälven. Förslag till skadeförebyggande åtgärder.
- 26 Martin Häggström (1989)
Anpassning av HBV-modellen till Torneälven.
- 27 Martin Häggström and Göran Lindström (1990)
Application of the HBV model for flood forecasting in six Central American rivers.
- 28 Sten Bergström (1990)
Parametervärden för HBV-modellen i Sverige. Erfarenheter från modellkalibreringar under perioden 1975 - 1989.
- 29 Urban Svensson och Ingemar Holmström (1990)
Spridningsstudier i Glan.
- 30 Torbjörn Jutman (1991)
Analys av avrinningens trender i Sverige.
- 31 Mercedes Rodriguez, Barbro Johansson, Göran Lindström, Eduardo Planos y Alfredo Remont (1991)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca del Río Cauto en Cuba.
- 32 Erik Arnér (1991)
Simulering av vårflöden med HBV-modellen.
- 33 Maja Brandt (1991)
Snömätning med georadar och snötaxeringar i övre Luleälven.
- 34 Bent Göransson, Maja Brandt och Hans Bertil Wittgren (1991)
Markläckage och vattendragstransport av kväve och fosfor i Roxen/Glan-systemet, Östergötland.
- 35 Ulf Ehlin och Per-Eric Ohlsson, VASO (1991)
Utbyggd hydrologisk prognos- och varningstjänst.
Rapport från studieresa i USA
1991-04-22--30.
- 36 Martin Gotthardsson, Pia Rystam och Sven-Erik Westman (1992)
Hydrologiska stationsnät 1992/Hydrological network. Svenskt Vattenarkiv.
- 37 Maja Brandt (1992)
Skogens inverkan på vattenbalansen.
- 38 Joakim Harlin, Göran Lindström, Mikael Sundby (SMHI) och Claes-Olof Brandesten (Vattenfall Hydropower AB) (1992)
Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionering av hel älv.
- 39 Sten Lindell (1993)
Realtidsbestämning av arealnederbörd.
- 40 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 1. Vattendrag till Bottenviken.
- 41 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 2. Vattendrag till Bottenhavet.
- 42 Svenskt Vattenarkiv (1993)

- Vattenföring i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön.
- 43 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Vattenföring i Sverige. Del 4. Vattendrag till Västerhavet.
- 44 Martin Häggström och Jörgen Sahlberg (1993)
Analys av snösmältningsförlopp.
- 45 Magnus Persson (1993)
Utnyttjande av temperaturens persistens vid beräkning av volymsprognoser med HBV-modellen.
- 46 Göran Lindström, Joakim Harlin och Judith Olofsson (1993)
Uppföljning av Flödeskommitténs riktlinjer.
- 47 Bengt Carlsson (1993)
Alkalinitets- och pH-förändringar i Ume-älven orsakade av minimitappning.
- 48 Håkan Sanner, Joakim Harlin and Magnus Persson (1994)
Application of the HBV model to the Upper Indus River for inflow forecasting to the Tarbela dam.
- 49 Maja Brandt, Torbjörn Jutman och Hans Alexandersson (1994)
Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärden 1961 - 1990 av nederbörd, avdunstning och avrinning.
- 50 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Avrinningsområden i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön och Öresund.
- 51 Martin Gotthardsson (1994)
Svenskt Vattenarkiv. Översvämningskänsliga områden i Sverige.
- 52 Åsa Evremar (1994)
Avdunstningens höjdberoende i svenska fjällområden bestämd ur vattenbalans och med modellering.
- 53 Magnus Edström och Pia Rystam (1994)
FFO - Stationsnät för fältforskningsområden 1994.
- 54 Zhang Xingnan (1994)
A comparative study of the HBV model and development of an automatic calibration scheme.
- 55 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Svenskt dammregister - Södra Sverige.
- 56 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Svenskt dammregister - Norra Sverige.
- 57 Martin Häggström (1994)
Snökartering i svenska fjällområdet med NOAA-satellitbilder.
- 58 Hans Bertil Wittgren (1995)
Kvävetransport till Slätbaken från Söderköpingsåns avrinningsområde
- 59 Ola Pettersson (1995)
Vattenbalans för fältforskningsområden.
- 60 Barbro Johansson, Katarina Losjö, Nils Sjödin, Remigio Chikwanha and Joseph Merka (1995)
Assessment of surface water resources in the Manyame catchment - Zimbabwe.
- 61 Behzad Koucheqi (1995)
Älvtemperaturers variationer i Sverige under en tioårsperiod.
- 62 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Sänkta och torrlagda sjöar.
- 63 Malin Kanth (1995)
Hydrokemi i fältforskningsområden.
- 64 Mikael Sundby, Rikard Lidén, Nils Sjödin, Helmer Rodriguez, Enrique Aranibar (1995)
Hydrometeorological Monitoring and Modelling for Water Resources Development and Hydropower Optimisation in Bolivia.
- 65 Maja Brandt, Kurt Ehlert (1996)
Avrinningen från Sverige till omgivande hav.
- 66 Sten Lindell, Håkan Sanner, Irena Nikolushkina, Inita Stikute (1996)
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Latvia
- 67 Sten Lindell, Bengt Carlsson, Håkan Sanner, Alvina Reihan, Rimma Vedom (1996)
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Estonia

- 68 Sara Larsson, Rikard Lidén (1996)
Stationstäthet och hydrologiska prognoser.
- 69 Maja Brandt (1996)
Sedimenttransport i svenska vattendrag
exempel från 1967-1994.
- 70 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Avrinningsområden i Sverige. Del 4.
Vattendrag till Västerhavet.
- 71 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Svenskt sjöregister. 2 delar
- 72 Sten Lindell, Lars O Ericsson, Håkan Sanner,
Karin Göransson SMHI
Malgorzata Mierkiewicz , Andrzej
Kadlubowski, IMGW (1997)
Integrated Hydrological Monitoring and
Forecasting System for the Vistula River
Basin. Final report.
- 73 Maja Brandt, Gun Grahn (1998)
Avdunstning och avrinningskoefficient i
Sverige 1961-1990. Beräkningar med HBV-
modellen.
- 74 Anna Eklund (1998)
Vattentemperaturer i sjöar, sommar och vinter
- resultat från SMHIs mätningar.
- 75 Barbro Johansson, Magnus Edström, Katarina
Losjö och Sten Bergström (1998)
Analys och beräkning av
snösmältningsförlopp.
- 76 Anna Eklund (1998)
Istjocklek på sjöar.
- 77 Björn Bringfelt (1998)
An evapotranspiration model using SYNOP
weather observations in the Penman-Monteith
equation
- 78 Svenskt Vattenarkiv (1998)
Avrinningsområden i Sverige. Del 2
Vattendrag till Bottenhavet.
- 79 Maja Brandt, Anna Eklund (1999)
Snöns vatteninnehåll Modellberäkningar
och statistik för Sverige
- 80 Bengt Carlsson (1999)
Some facts about the Torne and Kalix
River Basins.
A contribution to the NEWBALTIC II
workshop in Abisko June 1999.
- 81 Anna Eklund (1999)
Isläggning och islossning i svenska sjöar.
- 82 Svenskt Vattenarkiv (2000)
Avrinningsområden i Sverige. Del 1.
Vattendrag till Bottenviken.
- 83 Anna Eklund, Marie Gardelin, Anders
Lindroth (2000)
Vinteravdunstning i HBV-modellen -
jämförelse med mätdata
- 84 Göran Lindström, Mikael Ottosson Löfvenius
(2000)
Tjäle och avrinning i Svartberget – studier
med HBV-modellen



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping
Tel 011-495 80 00 · Fax 011-495 80 01