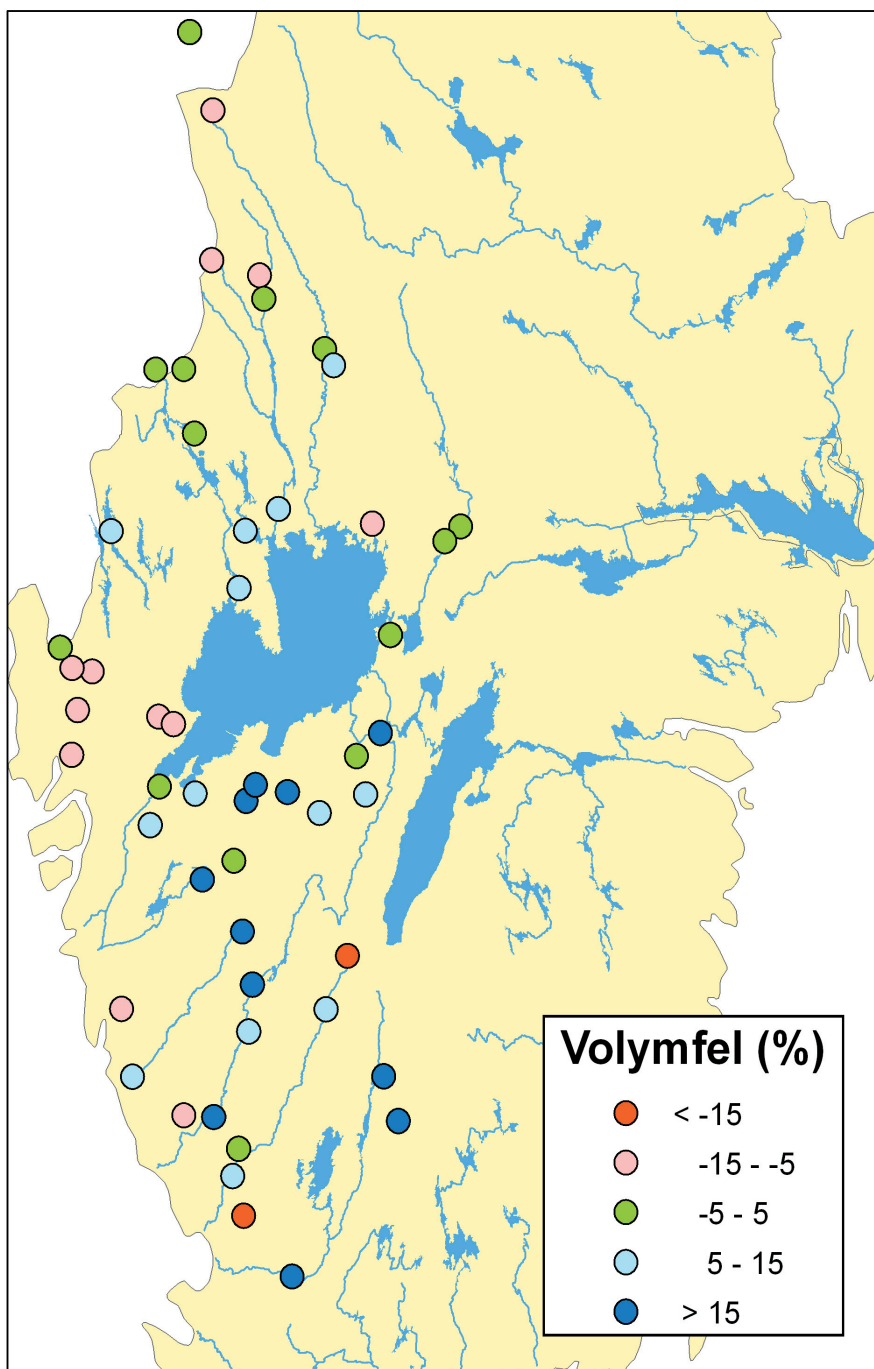




Regional kalibrering av HBV-modellen

Göran Lindström

Regional kalibrering av HBV-modellen

Göran Lindström

Report Summary / Rapportsammanfattning

Issuing Agency/Utgivare Swedish Meteorological and Hydrological Institute S-601 76 NORRKÖPING Sweden	Report number/Publikation Hydrologi nr 101 Report date/Utgivningsdatum Mars 2006	
Author (s)/Författare Göran Lindström		
Title (and Subtitle)/Titel Regional kalibrering av HBV-modellen		
Abstract/Sammandrag HBV-modellen, som används av den hydrologiska varningstjänsten vid SMHI, är en förenklad beskrivning av det hydrologiska kretsloppet. En befintlig metod för regional kalibrering av HBV-modellen vidareutvecklades. Parametrar tas fram som ger så god överensstämmelse som möjligt till flera vattenföringsstationer i en region. Dessa värden kan därefter användas för uppskattning av vattenföringen i en godtycklig punkt i regionen. Metoden testades i tre områden: Rönne å i Skåne, Dillområdet i Tyskland och den region som omfattar vattendragen till Västerhavet. Regionala utvidgningar av R^2 -värdet, volymfel och toppfel kombineras i ett optimeringskriterium. R^2 -värdet och toppfelet bör utvärderas endast i små, oreglerade områden med låg sjöprocent. Som övre gränser sattes en areal på 2000 km ² och en sjöprocent på 10 %. Det sistnämnda visade sig dock vara för högt satt. Volymfelet kan däremot utvärderas i samtliga ingående stationer, och få påverka kalibreringen. I de relativt små, homogena områdena Rönne å och Dill erhöles mycket goda resultat. Anpassningen blev något sämre med regionala parametrar än vad som kan uppnås genom lokal kalibrering i det stora testområdet, vattendragen till Västerhavet. I allmänhet underskattades toppflödena något. Fördelen är att man får parametervärden som användas i hela regionen.		
Key words/sök-, nyckelord HBV-modellen, regional kalibrering, R2, volymfel, toppfel, optimering		
Supplementary notes/Tillägg	Number of pages/Antal sidor 17	Language/Språk Swedish/Svenska
ISSN and title/ISSN och titel 0283-7722 SMHI Hydrologi		
Report available from/Rapporten kan köpas från: SMHI S-601 76 NORRKÖPING Sweden		

Bakgrund

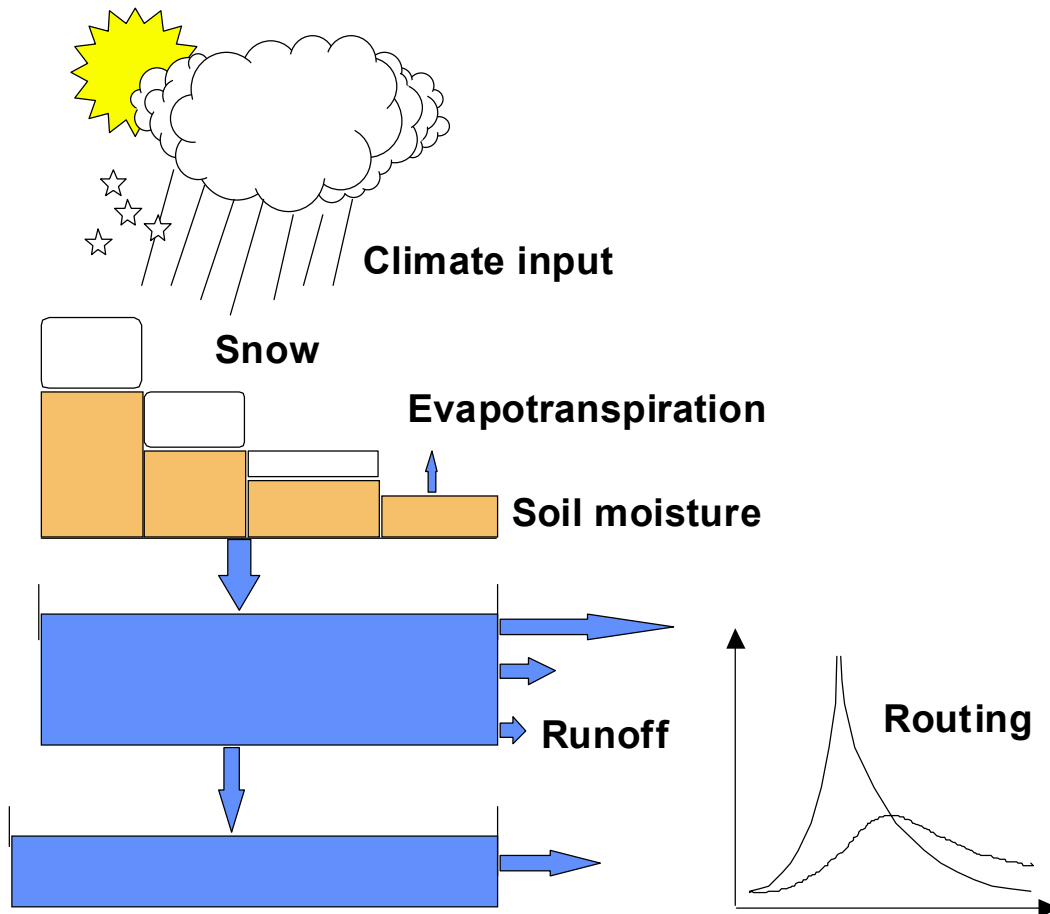
Den hydrologiska varningstjänsten vid SMHI gör dagliga vattenföringsprognoser för ett sextiotal oreglerade avrinningsområden. De flesta områdena svarar snabbt på nederbörd, och används som indikatorer på kommande höga flöden i större vattendrag. Ett annat verktyg för varningstjänsten är den synoptiska vattenbalanskartan. Där görs prognoser för fiktiva avrinningsområden runt de realtidsrapporterande meteorologiska stationerna. Informationen används för att ge en överblick över läget i landet och risken för översvämningar. Som prognosverktyg används HBV-modellen (Bergström, 1976, Lindström m.fl., 1996).

HBV-modellen drivs av uppmätt nederbörd och temperatur och är en förenklad sammanfattning av de viktigaste processerna i det hydrologiska kretsloppet (figur 1). Vid tillämpningen av modellen måste man sätta värden på ett antal modellparametrar som beror av avrinningsområdets egenskaper. Parametrarna beskriver t.ex. snösmältningens hastighet, markens vattenhållande förmåga och magasinering i sjöar och vattendrag. Oftast används modellen för prognoser i områden där det finns uppmätt vattenföring, med vars hjälp modellens parametrar kan kalibreras (t.ex. Lindström, 1997). Det finns dock inte vattenföringsstationer att kalibrera mot i alla de punkter som är intressanta i ett rikstäckande prognosystem. För ouppmätta områden måste parametrarna bestämmas på annat sätt. Uppskattning av vattenföringen i ouppmätta punkter är för övrigt den stora satsningen, kallad PUB ("Prediction in Ungauged Basins"), inom IAHS (International Association of Hydrological Sciences) under tioårsperioden 2003-2012.

Vissa av parametervärdena i HBV-modellen uppvisar en regional variation (Bergström, 1990). Till exempel gäller detta markens vattenhållande förmåga. Hittills har det dock visat svårt att direkt koppla parametervärden till egenskaper som jordart, växtlighet och topografi (Johansson, 1994). Ett mer framkomligt angreppssätt är att dela in områden i homogena regioner där samma parametervärden används (Johansson, 1992). En av de tidigaste tillämpningarna av denna teknik gjordes för Södermanlands län (Johansson, 1986). Tekniken, kallad "Q-i-län", byggde från början på manuell kalibrering. En möjlighet till automatisering infördes i IHMS/HBV-96 (Lindström m.fl., 1996). Denna regionala kalibrering utvärderades för Luleälven av Carlsson (2002). Regional kalibrering användes även i viss utsträckning vid framtagandet av en rikstäckande HBV-modell inom TRK-projektet (Transport – Retention – Källfördelning, Brandt & Ejhed, 2002). Den hydrologiska indelning som gjordes i TRK-projektet kommer även att utnyttjas i den hydrologiska varningstjänsten vid SMHI som en vidareutveckling av indikatorområdena och vattenbalanskartan.

En hörnsten i TRK-projektet är en homogen, rikstäckande analys av nederbörden för hela Sverige (Johansson, 2002). Erfarenheterna från praktisk tillämpning av regional kalibrering har dock inte varit entydigt goda. Bland annat var en av erfarenheterna från TRK-projektet att metodiken för regional kalibrering behöver utvecklas. Man kan behöva dela in stora områden i mindre, homogenare delområden. I Norge har man nyligen knutit parametervärden i HBV-modellen till områdesegenskaper, och tagit fram parametervärden för hela landet genom en utvidgad regional kalibrering (Beldring, m.fl., 2003). En alternativ

regional kalibrering av HBV-modellen testades i ett tyskt område (i Schwarzwald) av Seibert m.fl. (2000).



Figur 1. Principskiss för HBV-modellen.

Som en del av utvecklingen av metoder för ett rikstäckande system för vattenförings- och vattenståndsprognoser (finansierat av Räddningsverket) genomfördes denna delstudie med syfte att:

- Föreslå kriterier för hur regional kalibrering skall gå till, med särskilt tonvikt på anpassningen mot höga flöden.
- Studera vilken noggrannhet som uppnås vid regional kalibrering.

Förslag till kalibreringskriterier

Det anpassningsmått som oftast används vid kalibrering och utvärdering av HBV-modellen kallas R^2 (Nash & Sutcliffe, 1970) och definieras som:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_C(i) - Q_R(i))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_R(i) - MQ_R)^2}$$

där

$Q_C(i)$ = beräknad vattenföring dag i
 $Q_R(i)$ = uppmätt vattenföring dag i
 MQ_R = uppmätt medelvattenföring.

R^2 -värdet mäter modellens effektivitet, och kan som bäst uppgå till 1.0. Det finns ingen undre gräns. Det finns ingen definition för vad som är ett acceptabelt R^2 -värde, eftersom värdet beror av områdets karaktär. I stora områden kan man som regel nå upp till över 0.8 eller till och med 0.9, men i små områden kan det vara svårt att nå så höga värden. Vid automatisk regional kalibrering har man på SMHI hittills optimerat ett regionalt medelvärde av R^2 för de enskilda stationerna:

$$R_{REG}^2 = c_1 R_1^2 + c_2 R_2^2 + \dots + c_N R_N^2$$

Vanligen har vikterna (c_i) antingen satts lika, eller proportionellt mot områdenas arealer. En nackdel med detta enkla medelvärde är att anpassningen i de stationer som går sämst får störst inverkan. I R^2 -värdet kvadreras felen. Kriteriet lägger därigenom tonvikt på höga flöden, vilket i och för sig kan förefalla lämpligt då modellen tillämpas för översvämningsprognoser. Kriteriet är å andra sidan känsligt för fel i tiden. I praktiken visar det sig att de högsta flödena ofta underskattas systematiskt vid kalibrering med R^2 som enda kriterium (Olofsson & Lindström, 2000). Därför måste man införa någon slags kompensation för detta, vilket även gjordes av Olofsson och Lindström. Som mått på den systematiska underskattningen användes toppfelet:

$$Tf = \frac{MHQ_C - MHQ_R}{MHQ_R}$$

där MHQ_C är medelvärdet av de högsta beräknade flödena för varje år, och MHQ_R är motsvarande värde för uppmätta flöden. En regional tolkning av R^2 -värdet kan erhållas genom att felen summeras i både tid (t) och rum (p):

$$R^2_{REG} = 1 - \frac{\sum_{t,p} (Q_C(i) - Q_R(i))^2}{\sum_{t,p} (Q_R(i) - MQ_R)^2}$$

Med MQ_R avses här medelvärde av alla uppmätta vattenföringar, i både tid och rum. Följden av att kriteriet utvärderas i alla mätpunkter blir att stora områden får större vikt än små områden, samt att skillnader i varians inte slår igenom lika mycket. En regional utvidgning av toppfelskriteriet blir:

$$Tf_{REG} = \frac{MHQ_C - MHQ_R}{MHQ_R}$$

där MHQ_C är medelvärde av de högsta beräknade flödena för varje år och kalibreringspunkt, och MHQ_R är motsvarande värde för uppmätta flöden. För att undvika systematiska skillnader i volym kan även ett regionalt volymfel inkluderas i kalibreringen:

$$VF_{REG} = \frac{MQ_C - MQ_R}{MQ_R}$$

Volymfelet kan naturligtvis även beräknas lokalt för varje kalibreringspunkt. I denna studie testades en kombination av ovanstående regionalt tolkade kriterier som anpassningsmått i optimeringen (*optcrit*):

$$optcrit = R^2_{REG} - w_{TF} |TF_{REG}| - w_{VF} |VF_{REG}|.$$

Kalibreringen blir därmed i stort sett en maximering av R^2 -värdet, men med en bestraffning för systematiska över- eller underskattningar av flödestoppar respektive volym. Vikterna w_{TF} och w_{VF} sattes till 0.1.

I praktiken är inte alla stationer lika lämpliga som kalibreringspunkter. Reglerade stationer är olämpliga för kalibrering av R^2 -värde och toppfel. Däremot kan man använda sig av den uppmätta volymen. Samma problem gäller även sjörika vattendrag, där flödesdynamiken främst bestäms av magasinering i sjöar. Därför gjordes i denna studie en indelning av vattenföringsstationer i två kategorier; A och B:

Kategori A: Oreglerade områden, med liten area och låg sjöprocent.

Kategori B: Alla områden.

Följande optimeringskriterium användes därför slutligt:

$$optcrit = R^2_{REGA} - w_{TF} |TF_{REGA}| - w_{VF} |VF_{REGB}|.$$

Data

Den ovan beskrivna metodiken testades i tre områden:

1. Rönne å i Skåne
2. Dill i Tyskland
3. De svenska vattendrag som mynnar till Västerhavet.

1. Rönne å

Inom det Vattenstrategiska Forskningsprogrammet VASTRA tillämpades HBV-modellen för Rönne å (totalt ca 1900 km²) i Skåne (figur 2). Rönne å delades i modellen var in i 64 delområden. Den föreslagna metoden tillämpades på de fyra oreglerade vattenföringsstationer i området: Heåkra, Klippan, Fastarp och Ärrarp, som alla bedömdes tillhöra kategori A.

2. Dill

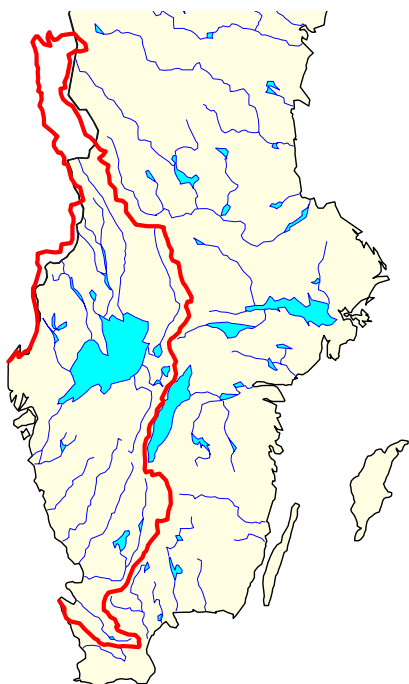
Inom projektet “Ensembled Modeling of Land Use Change Scenarios” sattes HBV-modellen upp för Dill-området strax norr om Frankfurt. Områdets area är 693 km². En indelning i 10 delområden gjordes. Regional kalibrering gjordes med hjälp av fyra vattenföringsstationer: Obere Dill, Dietzhölze, Aar och Dill, alla tillhörande kategori A.

3. Vattendragen till Västerhavet

Som huvudregion för utvärdering av den regionala kalibreringen valdes de svenska vattendrag som mynnar till Västerhavet (figur 3). Det är en region med blandat klimat och många olika typer av markanvändning, innehållande allt från fjäll i Norge till områden dominerade av jordbruk i Västergötland. Totalt ingick 55 vattenföringsstationer i analysen. Av dessa bedömdes 20 stycken vara lämpliga för kalibrering av dynamik och flödestoppar, och alltså tillhöra kategori A. Gränsen för lämplig övre gräns för areal och sjöprocent för kategori A valdes till 2000 km² respektive 10 %. 2000 km² är övre gränsen för medelstora vattendrag enligt SMHI:s benämning. De 20 utvalda områdena i kategori A sammanfattas i tabell 1. Kalibreringen av volymfelet baserades på alla de 55 stationerna. Antalet delområden i modellen var 189. Eftersom kalibreringarna var mycket tidskrävande gjordes de endast över fem år: 1984-10-01 – 1989-09-30.



Figur 2. Rönne å i Skåne, indelat i 64 delområden, och de fyra oreglerade vattenföringsstationerna. Delområdena visas överlagrade med en höjddatabas.



Figur 3. Testregionen Vattendragen till Västerhavet.

Tabell 1. Stationerna i kategori A i testområdet Vattendragen till Västerhavet. Stationsnumret avser SMHI:s numrering.

Stationsnummer	Namn	Area (km ²)	Sjöprocent	Vattendrag
2362	Fryele	593.8	4.2	Lagan
1575	Simlångan	259.7	5.0	Fylleån
2364	Alabo	498.5	3.7	Nissan
2340	Snapparp	490.0	6.8	Nissan
2341	Pepparforsen	383.5	7.2	Ätran
2211	Bosgården	354.7	5.3	Viskan
2309	Grea	309.1	3.6	Magnslidälven
10016	Magnor	359.5	4.3	Vrängsälven
2311	Arnestorp	184.2	2.1	Ölman
1639	Törnestorp	167.1	0.3	Ösan
2344	Frösve 2	457.4	0.4	Ösan
2347	Slöta	101.7	0.0	Lannaån
2345	Valtorp	274.4	0.2	Flían
2213	Eggvena	332.3	3.1	Nossan
2348	Grästorps	742.3	1.6	Nossan
1236	Sundstorp	687.7	0.3	Lidan
2215	Krokfors kvarn	116.2	3.5	Töftedalsån
2122	Gunnarsbo	614.5	2.8	Örekilsälven
1623	Vrångebäcken	277.8	4.6	Slumpån
257	Munkedal 2	1334.5	4.1	Örekilsälven

Resultat och diskussion

1. Rönne å

Ett kalibreringsexempel för Rönne å visas i figur 4, med god överensstämmelse i alla de fyra kalibreringspunkterna ($R^2 = 0.86$ som sämst).

2. Dill

Ett kalibreringsexempel för Dill visas i figur 5. Även här uppnåddes god överensstämmelse i alla de fyra kalibreringspunkterna ($R^2 = 0.87$ som sämst i kalibreringen och 0.81 som sämst i en oberoende period). Anpassningen, i form av lokala R^2 -värden, sammanfattas i tabell 2.

3. Vattendragen till Västerhavet

Tabell 3 sammanfattar anpassningen som erhöles vid kalibrering av hela testområdet som en enda region. Medelvärde av de lokala R^2 -värdena blev 0.73 (tabell 3, till vänster). Volymfelet varierade mellan -10 och +10% i 29 av 53 områden, som sämst -22.5 % (figur 6). Figuren visar 53 områden eftersom det under kalibreringsperioden var två stationer som inte hade några observationer. Man kan notera att Vargöns kraftverk i Göta älv, som omfattar en stor del av testområdet, hade ett volymfel på endast 3 %.

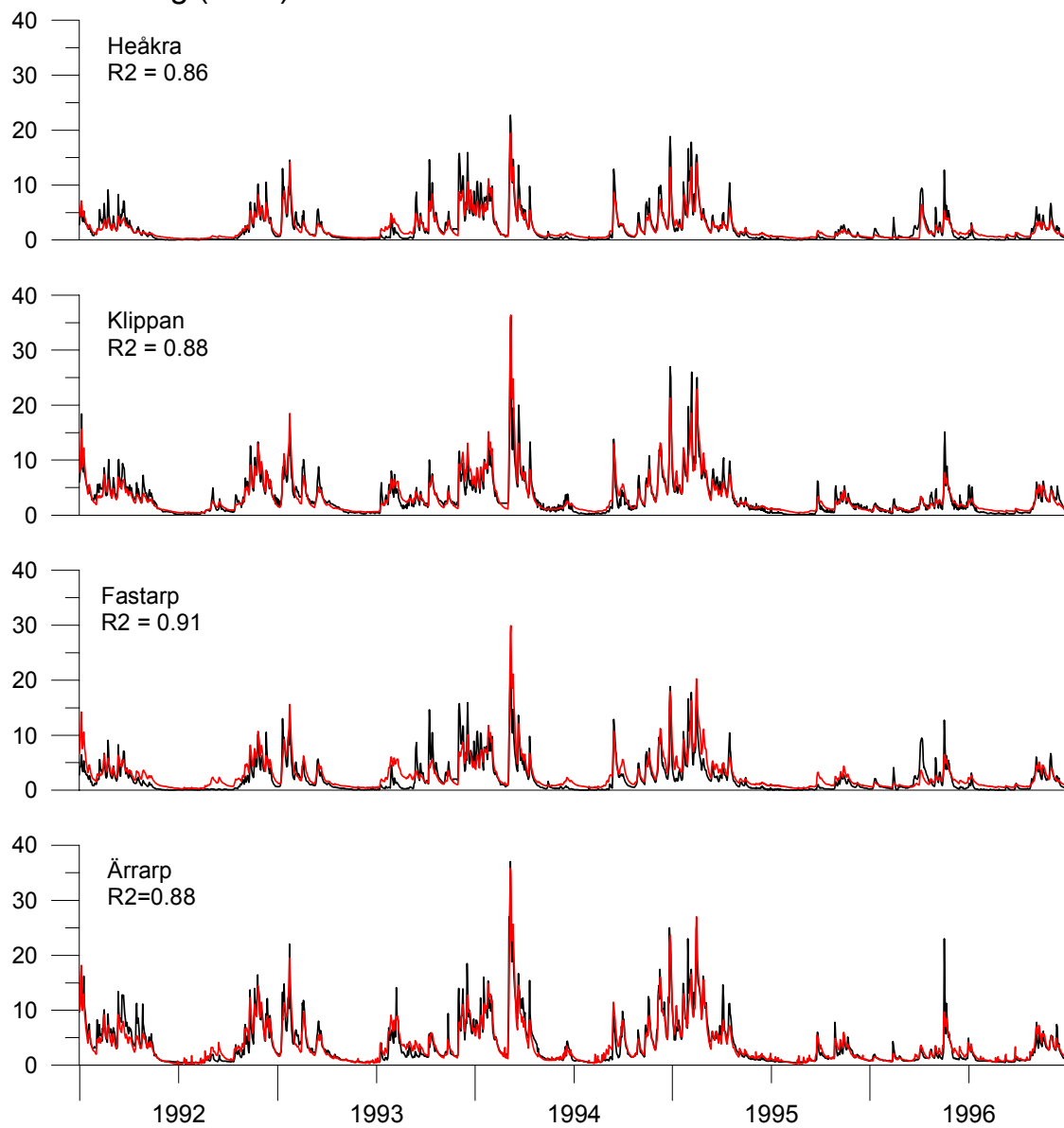
Flödestopparna underskattades med i genomsnitt 10 % (tabell 3). Vid enstaka stationer var den genomsnittliga nivån på flödestopparna dock långt ifrån tillfredsställande, till exempel Bosgården och Slöta.

En regional analys av volymfelet visade att det finns systematiska skillnader mellan olika delar av området (figur 7). Resultaten från en kalibrering över en stor region kan möjligen användas för indelning i mindre, mer homogena regioner. Exempelvis överskattas volymen, medan flödestopparna underskattas, i vattendragen i Västergötland, söder om Väneren. En indelning i mer homogena regioner skulle kunna tas från den synoptiska vattenbalanskarta (Häggström, m.fl., 1996) som används i hydrologiska varningstjänsten vid SMHI. Här gjordes en indelning av hela det stora testområdet i tre delar:

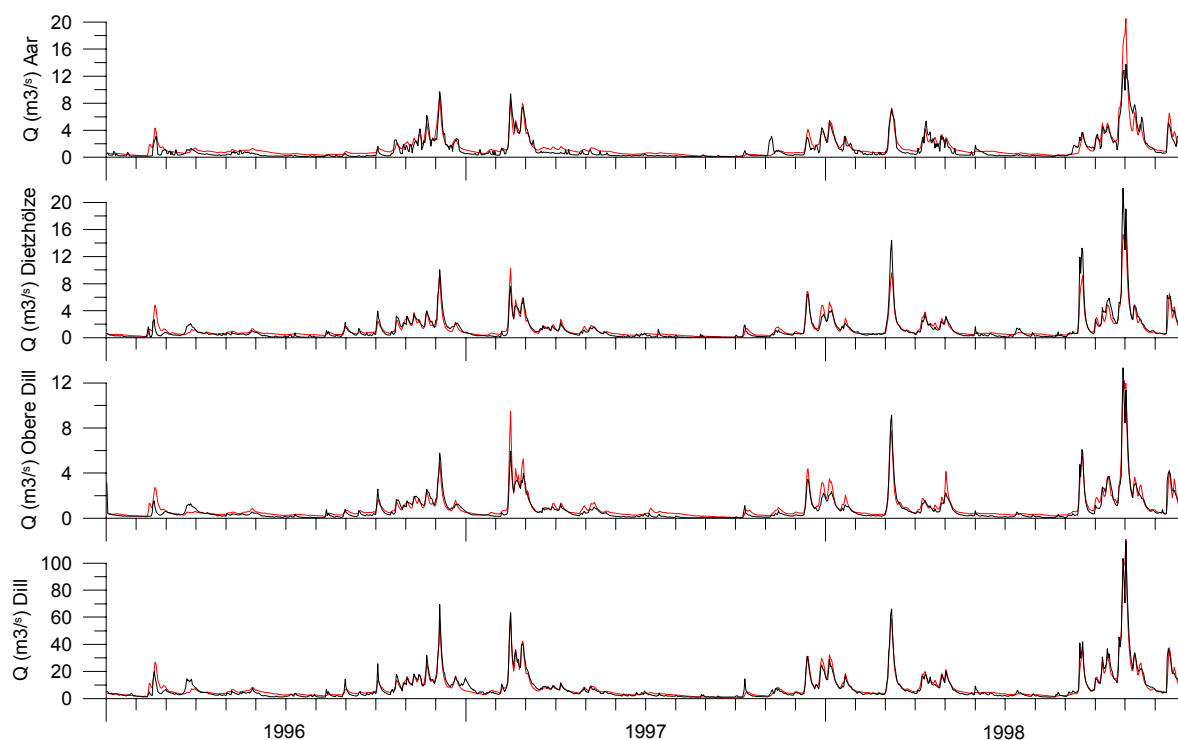
1. Vattendragen norr om Väneren
2. Vattendragen söder om Väneren
3. Västkustens vattendrag.

I kalibreringen av dessa mindre regioner gjordes ingen anpassning av volymen för alla stationer, utan endast stationerna i tabell 3 ingick. Resultaten blev något bättre än då hela området behandlades som en region. Medelvärde av de lokala R^2 -värdena ökade från 0.73 till 0.78 (tabell 3). Volymerna blev endast något bättre, men toppflödenas nivå förbättrades från ett medelabsolutfel på 24 % till 16 %. R^2 -värden och volymfel sammanfattas i figur 8. Figur 9 visar anpassningen för tre stationer med R^2 -värden som är representativa för var och en av de tre regionerna (Grea: $R^2 = 0.80$, Valtorp: $R^2 = 0.77$ och Fryele: $R^2 = 0.82$). Basflödesperioderna simuleras inte särskilt bra i två av de tre områdena, men detta är inte särskilt allvarligt då syftet är att prognostisera höga flöden.

Vattenföring (m^3/s)



Figur 4. Exempel på regional kalibrering av vattenföringen för fyra stationer i Rönne å. De angivna R^2 -värdena avser respektive station. Röd kurva = modellberäknad vattenföring, svart kurva = uppmätt vattenföring.



Figur 5. Exempel på regional kalibrering av vattenföringen för fyra stationer i Dill-området i Tyskland. Figuren visar de tre sista åren i den oberoende perioden. Röd kurva = modellberäknad vattenföring, svart kurva = uppmätt vattenföring.

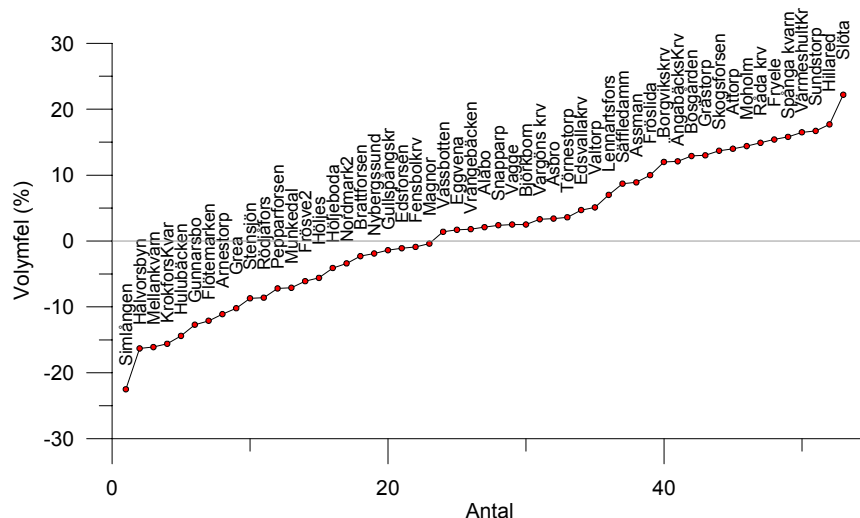
Tabell 2. Anpassningsmått vid regional kalibrering för fyra vattenföringsstationer i Dill-området i Tyskland, lokala R^2 -värden.

Station	R^2 Kalibreringsperiod	R^2 Oberoende period
Dill	0.93	0.93
Aar	0.88	0.81
Dietzhölze	0.91	0.92
Obere Dill	0.87	0.90

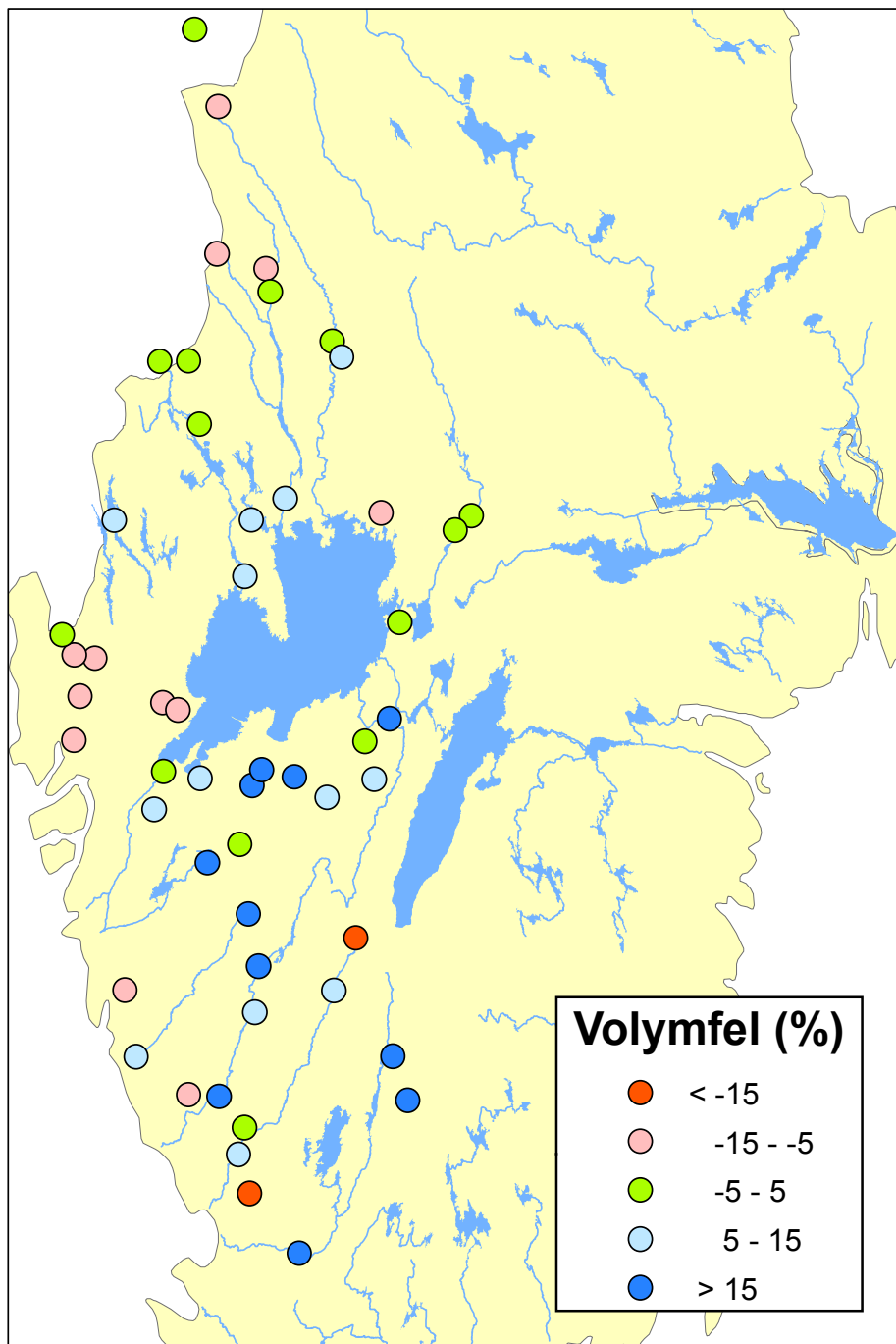
En analys visade att det fanns ett samband mellan toppfelet, å ena sidan, och area och sjöprocent, å andra sidan. Figur 10 illustrerar detta för kalibreringen i vilken hela testområdet behandlades som en enda region. Flödestopparna underskattas alltså systematiskt i sjöfattiga områden och överskattas i sjörika områden. Detta systematiska fel visar dels att gränsen på 10 % sjö var för högt satt, och dels att det kan finnas utrymme för en förbättrad modellbeskrivning av flödesdämpningen i sjöar.

Tabell 3. Kalibreringsresultat för de 20 stationerna i kategori A. Röd färg anger vattendragen norr om Väneren, grönt anger västkustens vattendrag och gult anger vattendragen söder om Väneren. ¹⁾ Volymfelet i Simlängen beror till största delen på att stationen hade fått en felaktig areal i den använda modellen.

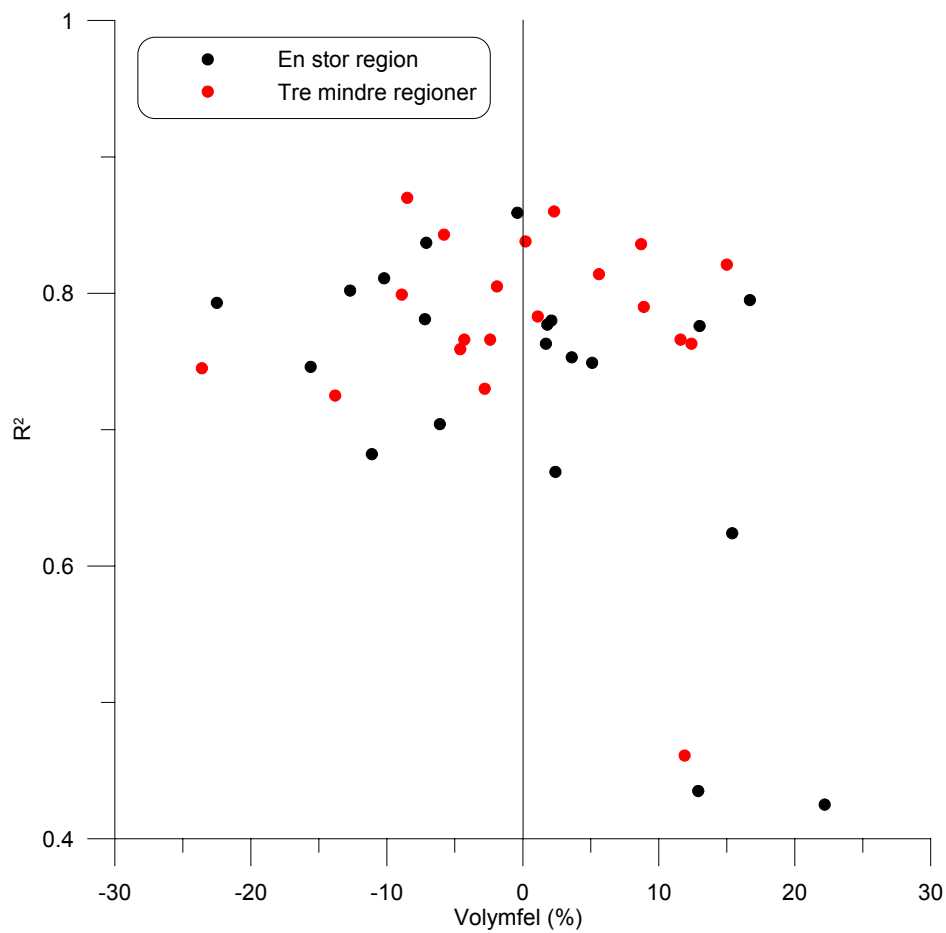
Namn	En stor region			Tre mindre regioner		
	R ²	VF (%)	TF (%)	R ²	VF (%)	TF (%)
Fryele	0.624	15.4	25.7	0.821	15	-4.0
Simlängen ¹⁾	0.793	-22.5	-13.5	0.745	-23.6	-34.8
Alabo	0.780	2.1	15.0	0.860	2.3	-15.4
Snapparp	0.669	2.4	15.4	0.783	1.1	-11.6
Pepparforsen	0.781	-7.2	16.8	0.870	-8.5	-9.1
Bosgården	0.435	12.9	78.1	0.763	12.4	32.9
Grea	0.811	-10.2	-10.9	0.805	-1.9	0.7
Magnor	0.859	-0.4	-10.6	0.836	8.7	2.5
Arnestorp	0.682	-11.1	-49.3	0.730	-2.8	-40.5
Törnesticp	0.753	3.6	-22.1	0.766	-4.3	-12.4
Frösve 2	0.704	-6.1	-45.6	0.725	-13.8	-41.4
Slöta	0.425	22.2	-60.7	0.461	11.9	-57.4
Valtorp	0.749	5.1	-12.1	0.766	-2.4	-1.5
Eggvena	0.763	1.7	-11.5	0.759	-4.6	1.4
Grästorp	0.776	13	-9.8	0.814	5.6	0.7
Sundstorp	0.795	16.7	-5.1	0.790	8.9	8.2
Krokfors kvarn	0.746	-15.6	-29.9	0.799	-8.9	-20.4
Gunnarsbo	0.802	-12.7	-19.5	0.843	-5.8	-8.8
Vrångebacken	0.777	1.8	-12.1	0.766	11.6	6.6
Munkedal 2	0.837	-7.1	-6.3	0.838	0.2	6.3
Medel	0.728	2.6	-9.0	0.777	0.1	-9.9
Median	0.770			0.786		
Medel av absolutvärdena		9.5	23.5		7.7	15.8



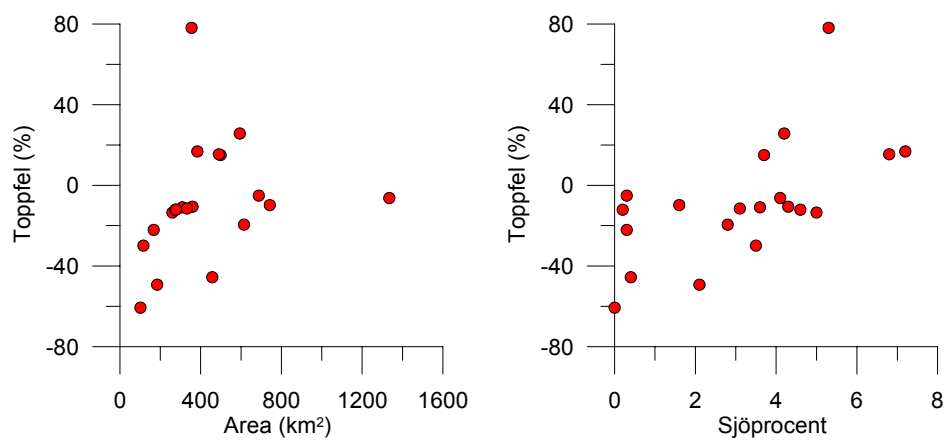
Figur 6. Volymfelets fördelning i kalibreringen med en enda region.



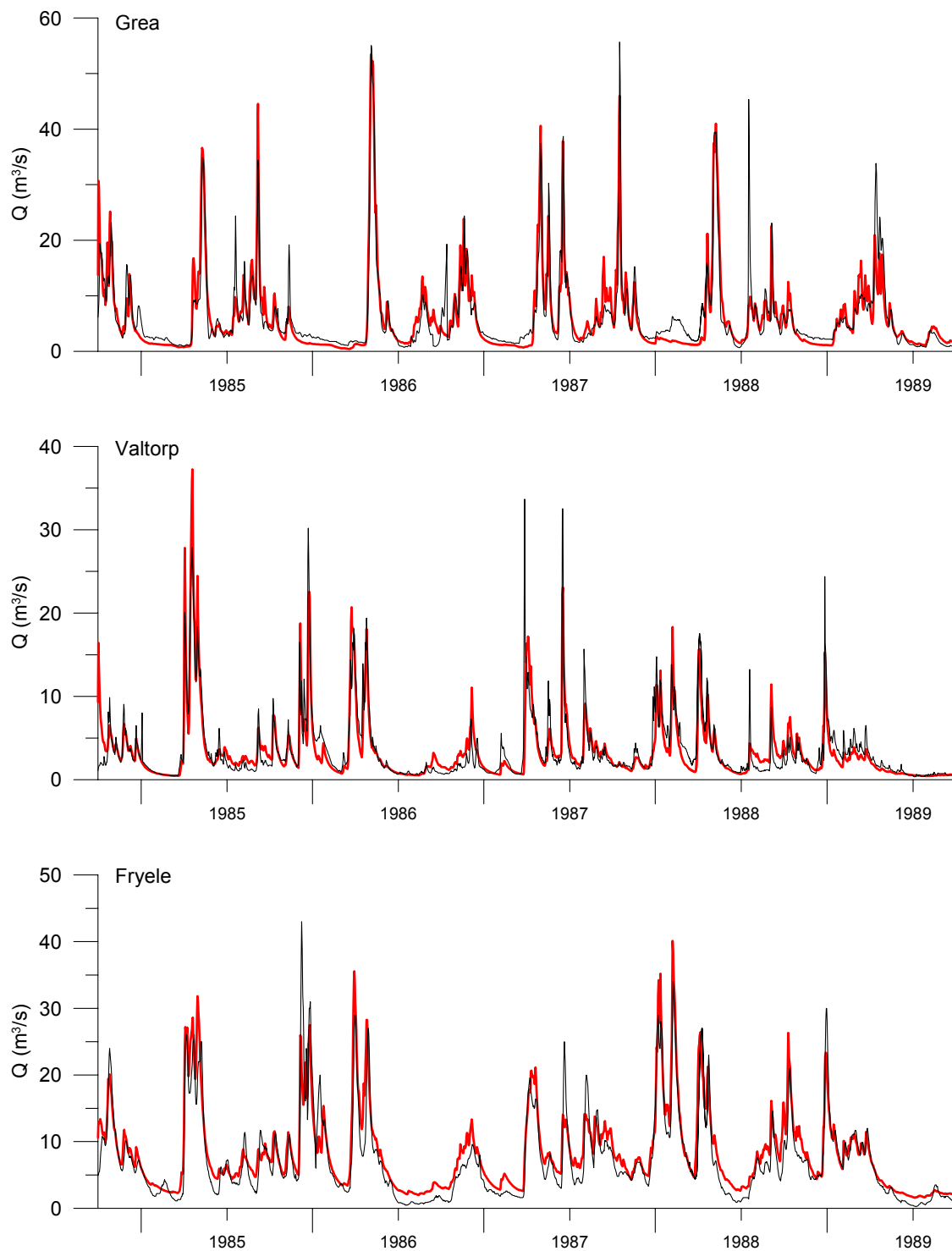
Figur 7. Regionvis fördelning av relativa volymfelet från kalibreringen som en enda region.



Figur 8. R^2 -värden och volymfel från kalibreringen som en stor region respektive tre mindre regioner.



Figur 9. Toppfellets beroende av area och sjöprocent från kalibreringen som en enda region.

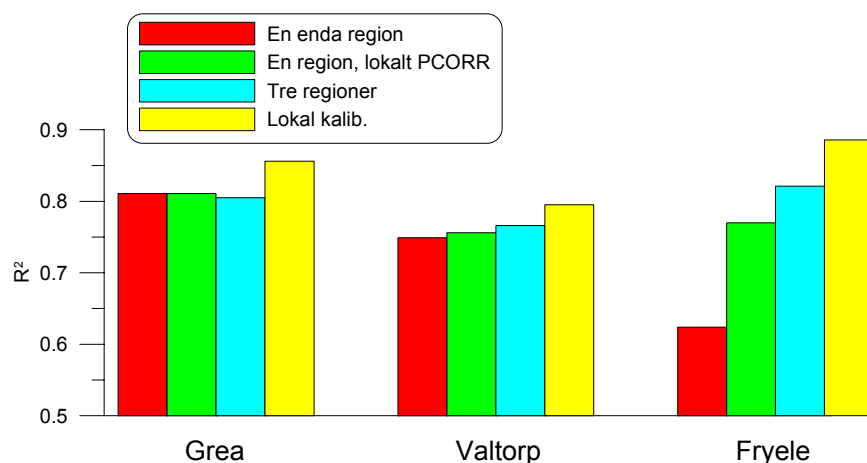


Figur 10. Tre kalibreringar som var och en är representativa (i R^2 mätt) för sin region.

Lokal kalibrering gav något bättre resultat än regional kalibrering i de tre representativa områdena: Grea, Valtorp och Fryele (tabell 4 och figur 11). Medelvärde för R^2 i dessa tre områden ökade från 0.73 till 0.85. Förbättringen härrör främst från Fryele, som gick ganska dåligt i den regionala kalibreringen som en enda region. Den största andelen av förbättringen erhöles redan vid indelningen i tre homogena regioner ($R^2 = 0.80$). Även en region kalibrering med en enda region, men med lokalt anpassade korrektionsfaktorer för nederbörden (PCORR) gav en förbättring från 0.73 till 0.78. Lokalt anpassade nederbördskorrektioner torde i allmänhet förbättra resultaten. Det rumsliga mönstret i volymfel (figur 7) tyder på att man skulle kunna göra en rumslig interpolation av nederbördskorrektionen. Å andra sidan kan volymfel även orsakas av systematiska fel i uppmätt vattenföring.

Tabell 4. Kalibreringsresultat för tre områden och olika typer av kalibrering.

Namn	En stor region			Lokalt PCORR			Tre mindre regioner			Lokal kalibrering		
	R2	VF (%)	TF (%)	R2	VF (%)	TF (%)	R2	VF (%)	TF (%)	R2	VF (%)	TF (%)
Grea	0.811	-10.2	-10.9	0.811	-2.3	-3.3	0.805	-1.9	0.7	0.856	0.0	-3.0
Valtorp	0.749	5.1	-12.1	0.756	+1.7	-15.9	0.766	-2.4	-1.5	0.795	0.0	-9.7
Fryele	0.624	15.4	25.7	0.770	-6.3	+7.1	0.821	15.0	-4.0	0.886	1.3	-5.4
Medel	0.728	-	-	0.779	-	-	0.797	-	-	0.846	-	-



Figur 11. Kalibreringsresultat (R^2) för tre områden och olika typer av kalibrering.

Slutsatser och rekommendationer

För små homogena områdena gav den föreslagna metodiken bra kalibreringsresultat. Stora områden, såsom området med alla vattendrag som mynnar ut i Västerhavet, bör delas in i mindre regioner. Den föreslagna metodiken kan sammanfattas i:

- En indelning i homogena regioner görs.
- Regionala utvidgningar av R^2 -värdet, volymfel och toppfel kombineras i ett optimeringskriterium.
- Stationerna inom en region delas in i två kategorier. R^2 -värdet och toppfelet utvärderas endast i oreglerade, små, sjöfattiga områden. Volymfelet kan däremot utvärderas i samtliga stationer.

I denna studie sattes gränserna för små och sjöfattiga områden till en area på 2000 km² och en sjöandel på 10 %. Den övre gränsen för andel sjö visade sig dock vara för högt satt.

Topparna underskattades i genomsnitt med 10 % efter den regionala kalibreringen. I många områden stämde dock topparna mycket dåligt. I ett prognossystem kan detta möjligen kompenseras av att man relaterar flödena till modellberäknade förhållanden.

Toppfelets samvariation med sjöprocenten, och i viss mån även arean, visar att det kan finnas utrymme till en förbättring av själva modellformuleringen. Modellrutinerna för vattendrag och sjöar bör formuleras på ett sådant sätt att regionalisering blir enklare. Flera faktorer som talar för att det nu finns bättre förutsättningar för förbättringar i modellen än tidigare är:

- Bättre beräkningskapacitet
- Bättre modellsystem
- Rikstäckande HBV-modeller
- Areella indata från GIS
- Bättre nederbördsanalys.

Tackord

Detta arbete var ett moment i forskningsprojektet ”Översvämningsprognoser - Utveckling av metoder för ett rikstäckande system för vattenförings- och vattenståndsprognoser” som finansierats av Räddningsverket. Arbetet har utförts vid SMHI:s forskningsavdelning.

Referenser

- Beldring, S., Engeland, K., Roald, L.A., Saelthun, N.R. & Voksö, A. (2003) Estimation of parameters in a distributed precipitation-runoff model for Norway. *Hydrology and Earth System Sciences*. 7(3), 304-316.
- Bergström, S. (1976) Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI Reports RHO, No. 7, Norrköping.

Bergström, S. (1990) Parametervärden för HBV-modellen i Sverige. Erfarenheter från modellkalibreringar under perioden 1975-1989. SMHI, Rapport Hydrologi Nr 28.

Brandt, M. & Ejhed, H. (2002) TRK Transport - Retention - Källfördelning. Belastning på havet. Naturvårdsverket Rapport 5247.

Carlsson, B. (2002) Test av regional kalibrering med HBV-modellen. SMHI Rapport 2002 Nr. 07.

Häggström, M., Lindell, S. & Lindström, G. (1996) Daily automatic hydrological forecasting in Sweden. Contribution to the Nordic Hydrological Conference in Akureyri, Iceland, 13-15 August 1996, NHP-Report No. 40, pp. 186-195.

Johansson, B. (1986) Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län ett försöksprojekt. SMHI Rapport Hydrologi Nr 6.

Johansson, B. (1994) The relationship between catchment characteristics and the parameters of a conceptual runoff model. A study in the South of Sweden. In: FRIEND: Flow Regimes from International Experimental and Network Data. IAHS Publication No. 221, s. 475-482.

Johansson, B. (2002) Estimation of areal precipitation for hydrological modelling in Sweden. Earth Sciences Centre, Department of Physical Geography, Göteborg University. Doctoral Thesis A76.

Lindström, G., Gardelin, M., Johansson, B., Persson, M. & Bergström, S. (1996) HBV-96 - En areellt fördelad modell för vattenkrafthydrologin. SMHI RH No. 12.

Lindström, G. (1997) A simple automatic calibration routine for the HBV model. Nordic Hydrology, Vol. 28 s. 153-168.

Nash, J.E. & Sutcliffe, J.V. (1970) River flow forecasting through conceptual models. Part I - A discussion of principles. Journal of Hydrology, Vol. 10(3), pp. 282-290.

Olofsson, J. & Lindström, G. (2000) Automatisk kalibrering och toppflöden. Rapport från HUVA projekt.

Seibert, J., Uhlenbrook, S., Leibundgut, C. & Halldin, S. (2000) Multiscale calibration and validation of a conceptual rainfall-runoff model, Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 25, No. 1, 59-64.

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 studieresa 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-äl-
ven 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 Öre-
sund.
- 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 fältforsknings-
områden 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 Söder-
köpingsåns 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 Koucheiki (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 Develop-
ment 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
- 85 Bengt Carlsson och Göran Lindström (2001)
HBV-modellen och flödesprognoser
- 86 Josef Källgården (2001)
Snow distribution in a mountainous region. A remote sensing study.
- 87 Johan Andréasson, Anders Gyllander, Barbro Johansson, Josef Källgården, Sten Lindell, Judith Olofsson, Angela Lundberg (2001)
Snötaxering med georadar - Bättre vårflödesprognoser med HBV-modellen?
- 88 Deliang Chen, Barbro Johansson (2003)
Temperaturens höjdberoende – En studie i Indalsälvens avrinningsområde.
- 89 Agne Lärke, Håkan Sanner, Anna Johnell (2003)
Utvärdering av SMHI:s prognos- och varningstjänsts verksamhet under flödena januari t o m mars 2002 i sydvästra Sverige
- 90 Barbro Johansson, Johan Andreasson och Johan Jansson (2003)
Satellite data on snow cover in the HBV model. Method development and evaluation
- 91 Charlotta Pers (2003)
BIOLA – BIOgeochemical LAke Model Manual

- 92 Carl Granström (2003)
Utvärdering av SMHIs prognos- och
varningstjänsts verksamhet under flödet i
området runt Emån juli 2003
- 93 Carl Granström (2003)
Modell för prognos av tidpunkt och karaktär
för islossningen i Torne älv.
- 94 Maja Brandt och Gun Grahm, SMHI.
Erik Årnfelt och Niclas Bäckman,
Länsstyrelsen Östergötland (2004)
Anpassning av TRK-systemet från nationell
till regional nivå samt scenarioberäkningar
för kväve – Tester för Motala Ström
- 95 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under flödet i
södra Lappland juli 2004.
- 96 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under flödet i
Småland juli 2004.
- 97 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under flödet i
nordvästra Lappland juli 2004.
- 98 Tahsin Yacoub, Ylwa Westman, Håkan
Sanner, Bernth Samuelsson (2005)
Detaljerad översvämningskarta för
Eskilstunaån. Ett projekt inom KRIS-GIS
- 99 Carl Granström (2005)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under vårfloden i
fjällen juni 2005
- 100 Tahsin Yacoub, Håkan Sanner (2006)
Vattenståndsprognoser baserade på
översiktlig kartering. En fallstudie.



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