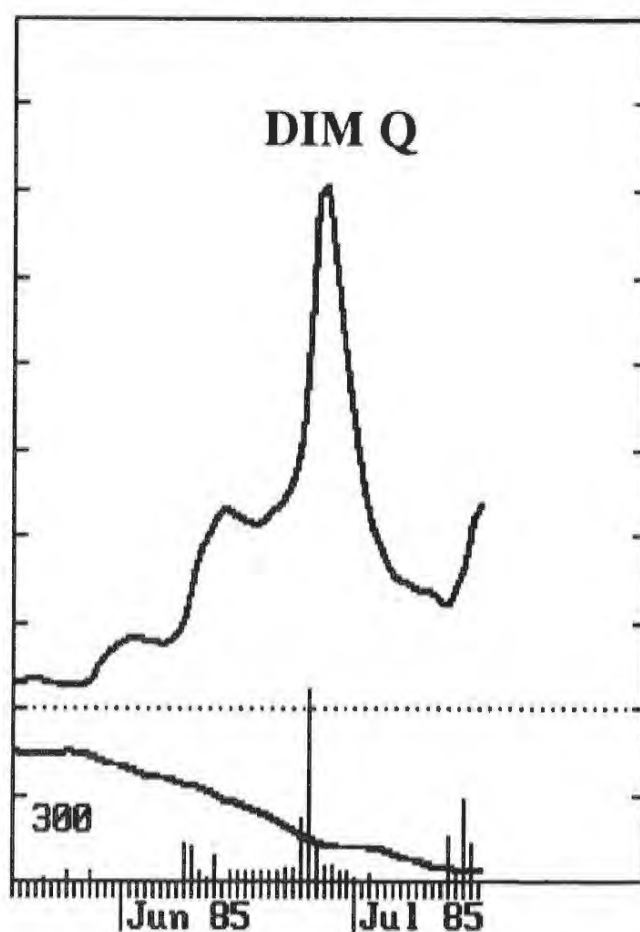




UPPFÖLJNING AV FLÖDESKOMMITTÉNS RIKTLINJER

Göran Lindström, Joakim Harlin, Judith Olofsson

UPPFÖLJNING AV FLÖDESKOMMITTÉNS RIKTLINJER

Göran Lindström, Joakim Harlin, Judith Olofsson

FÖRORD

Denna rapport är en slutredovisning av projektet "Uppföljning av Flödeskommitténs riktlinjer". Projektet finansierades av VASO-HUVA och arbetet utfördes vid SMHI. Joakim Harlin respektive Judith Olofsson ansvarade för kapitlen 7 och 8, medan Göran Lindström ansvarade för övriga avsnitt. Haldo Vedin ställde materialet om de stora nederbördsfall, som inträffade under perioden, till vårt förfogande. Claes Brandesten, Vattenfall Hydropower AB, lämnade uppgifter om utförda dimensioneringsberäkningar. Sten Bergström och Hans Alexandersson gav värdefulla synpunkter under arbetet. Vera Kuylenstierna hjälpte till med ordbehandling och layout. Utöver det arbete, som rapporteras här, har projektet även syftat till att presentera och pröva Flödeskommitténs riktlinjer i ett internationellt forum. En sammanställning av de publikationer, som har tillkommit med stöd av projektet, finns i slutet av rapporten. Till alla ovan nämnda samt andra, som har bidragit till detta projekt, riktas ett varmt tack.

SAMMANFATTNING

Flödeskommitténs förslag till nya riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar utkom 1990. Kontrollberäkningar enligt riktlinjerna visar att de dimensionerande flödena för hösten ligger något lägre än de preliminära beräkningarna i Flödeskommitténs rapport. Medelvärdet av de uppmätta flödena i relation till de dimensionerande är med det nu tillgängliga materialet 43 % för våren och 40 % för hösten. Det finns inga tydliga skillnader i säkerhetsmarginal mellan olika delar av landet, eller mellan vår och höst. Trots detta finns det en relativt stor spridning mellan stationerna.

Samtidigheten mellan hög snösmältning och hög nederbörd studerades. Resultaten visar att de två faktorerna sällan uppträder samtidigt. Genom att man i en dimensioneringsberäkning kombinerar kraftig snösmältning och extrem nederbörd fås en avsevärd säkerhetsmarginal, trots att ingen av de två faktorerna har extrapolerats utanför det observerade. De högsta flödena i oreglerade vattendrag i Norrland skapas i första hand av snösmältning. En mindre del av flödena är kombinationsflöden, och en ännu mindre andel domineras av regn. Höstflödena, som vanligtvis är lägre, domineras dock av regn. I södra Sverige orsakas de högsta flödena ofta av kombinationer av regn och snösmältning.

Det är mycket svårt att fastställa återkomsttiden för de dimensionerande flödena med någon större precision. Man kan inte förutsätta att de dimensionerande flödena har samma återkomsttid överallt. Det mesta talar dock för att återkomsttiden överstiger 10 000 år med god marginal i de flesta områdena. Risken för att ett dimensionerande flöde skall uppträda någonstans i landet under en hundraårsperiod, bör vara mycket liten. Säkerhetsmarginalen, eller återkomsttiden, tycks ligga på ungefär samma nivå för våren som för hösten. Det är mycket svårt att uppskatta de dimensionerande flödenas återkomsttid genom att utgå från återkomsttiden för det dimensionerande regnet på 24 timmar. Detta beror på att regnets återkomsttid ej är känd och att de högsta flödena i landet till största delen orsakas av snösmältning eller långvarigt regn.

Ett något mer homogent resultat vad beträffar det 30 åriga snötäcket i en dimensioneringsberäkning erhöles då snötäckena uppdaterades med hjälp av den uppmätta vattenföringsserien. Underlaget är dock ganska begränsat. Den justering av 30-årssnön som erhöles i de 2 testade områdena innebar en justering av tillrinningsmaximum med knappt 2 %. En ny förbättrad avdunsningsrutin i HBV-modellen, hade obetydlig effekt på de dimensionerande flödena på våren. De dimensionerande höstflödena i södra samt östra Sverige blev 10 - 22 % högre med den nya avdunsningsfunktionen.

De höga flödena under sommaren 1993 var i flera av de reglerade Norrlandsälvarna exceptionellt höga för årstiden, men däremot inte i förhållande till oreglerade vårflöden. Exempelvis skulle sommarens flödesnivå i Luleälven uppnås ungefär vart femte år om älven hade varit oreglerad. Nederbörds mängderna på ett dygn låg långt under Flödeskommitténs dimensionerande värden. Tillrinningstoppen till Parki och Letsi i Luleälven analyserades närmare. Långvarigt regn, och inte snösmältning, var den utlösande faktorn för flödestoppen.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sida</u>
FÖRORD	
1. BAKGRUND	1
1.1 Målsättning	2
2. SAMMANSTÄLLNING AV DIMENSIONERINGSBERÄKNINGAR	3
2.1 Bakgrund	3
2.2 Resultat	3
2.3 Slutsatser	13
3. STORA NEDERBÖRDSFALL SOM INTRÄFFAT SEDAN FLÖDES- KOMMITTÉNS RAPPORT LADES FRAM	14
4. SAMTIDIGHET AV HÖG NEDERBÖRD OCH SNÖSMÄLTNING	19
4.1 Metodik och data	20
4.2 Resultat	21
4.3 Slutsatser	25
5. BIDRAGEN AV REGN OCH SNÖSMÄLTNING TILL EXTREMA FLÖDEN	26
5.1 Metodik och data	26
5.2 Resultat	29
5.3 Slutsatser	35
6. ÅTERKOMSTTIDEN FÖR DE DIMENSIONERANDE FLÖDENA	36
6.1 Begreppet återkomsttid	36
6.2 Metodik och data	37
6.3 Resultat och diskussion	39
6.4 Slutsatser	43
7. UPPDATERING AV MODELLBERÄKNADE ÅRLIGA SNÖTÄCKEN VID FREKVENSPANALYS AV 30-ÅRSSNÖTÄCKET	45
7.1 Bakgrund och syfte	45
7.2 Metodik och data	45
7.3 Resultat	47
7.4 Diskussion och slutsatser	48
8. DIMENSIONERANDE FLÖDEN OCH VATTENSTÅND VID NY AVDUNSTNINGSFUNKTION	49
8.1 Bakgrund	49
8.2 Metodik och data	49
8.3 Resultat och slutsatser	51

	<u>Sida</u>
9. DE HÖGA FLÖDENA SOMMAREN 1993	54
9.1 Sommarens flöden i relation till tidigare flöden	54
9.2 Flödenas orsak	57
9.3 Slutsatser	59
10. PUBLIKATIONER FRÅN PROJEKTET	60
11. REFERENSER	60

1. BAKGRUND

Flödeskommitténs förslag till nya riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar utkom 1990. Innan dess hade Sverige i praktiken saknat fastlagda regler för hur dimensionerande flöden skulle beräknas. Ofta användes enkla tumregler såsom t ex en säkerhetsmarginal på 10 - 20 % över det högsta uppmätta flödet på platsen. Även frekvensanalys användes. Flödeskommittén tillkom på initiativ av vattenkraftindustrin och SMHI och påbörjade sitt arbete på våren 1985. Redan i september samma år underströks av en tillfällighet vikten av kommitténs arbete genom att kraftiga regn ledde till att ett trettital mindre dammar rasade. Det mest kända av dessa dammras är det, som inträffade i Noppikoski i Oreälven, ett biflöde till Österdalälven.

Flödeskommitténs riktlinjer beskriver i detalj hur dimensionerande flöden skall beräknas med hjälp av extrema nederbördssekvenser och en hydrologisk avrinningsmodell. Under arbetet med de nya riktlinjerna gjordes ett stort antal kontrollberäkningar, där de dimensionerande flödena stämde av mot observationer av höga flöden. Detta gjordes för att man skulle kunna bedöma rimligheten i de uppkomna flödena samt upptäcka regionala skillnader i säkerhetsmarginalen. Man fann, att de dimensionerande flödena i allmänhet låg cirka 2 - 3 gånger så högt som de högsta uppmätta flödena på samma plats (se exempelvis Bergström m fl, 1989, eller Flödeskommittén, 1990, bilaga C). Dessa kontrollberäkningar gjordes emellertid enligt olika preliminära förslag till riktlinjer. När Flödeskommitténs slutrapport utkom fanns inte någon kontrollberäkning tillgänglig, som var gjord exakt enligt de slutliga anvisningarna, även om skillnaderna var relativt små.

Efter det att riktlinjerna kom ut vidtog en period av praktiska tillämpningar av förslaget. HBV-modellen anpassades för dimensioneringsberäkningar i flera älvar, och dimensioneringsberäkningar gjordes för flera kraftverk. Därigenom fick man tillgång till kontrollberäkningar utförda enligt de slutliga riktlinjerna. Vid den praktiska tillämpningen aktualiserades åter ett antal frågeställningar. Exempel på dessa är nederbördens höjdberoende, samtidigheten och varaktigheten av kritiska faktorer samt indelningen i riskklasser. Av stort intresse är givetvis också den risknivå, som motsvaras av flöden i den föreslagna storleksordningen. En för hög risknivå kan äventyra människoliv, medan en onödigt hög säkerhet innebär stora kostnader.

1.1 Målsättning

Målsättningen med detta projekt är

- att följa upp pågående dimensioneringsberäkningar i Sverige;
- att följa och delta i internationellt och nationellt forskningsarbete om dammsäkerhet och extrema flöden;
- att ytterligare utreda rimligheten av att kritiskt kombinera extrem nederbörd och extrem snösmältning;
- att belysa de dimensionerande flödenas återkomsttid;
- att testa inverkan på de dimensionerande flödena av en ny förbättrad modellrutin i HBV-modellen för temperaturens inverkan på avdunstningen;
- att utreda hur osäkerhet i kalibrering slår på frekvensanalys av det snötäcke med 30 års återkomsttid, som är ett av starttillstånden vid en dimensioneringsberäkning. Speciellt skall utredas om uppdatering av snötäcket före frekvensanalysen kan ge mer konsistenta resultat.

2. SAMMANSTÄLLNING AV DIMENSIONERINGSBERÄKNINGAR

2.1 Bakgrund

Skillnaderna mellan de olika preliminära kontrollberäkningar, som redovisades i Flödeskommitténs rapport (1990), och de beräkningar, som därefter har gjorts enligt de slutliga riktlinjerna, är främst att:

- Den föreskrivna justeringen av uppmätt nederbörd i anslutning till den dimensionerande nederbördssekvensen har införts.
- Steglängden vid framflyttandet av sekvensen har ändrats från 5 till 1 dygn.
- Gränserna för de olika nederbördsregionerna har justerats. Vid kontrollberäkningarna åt Flödeskommittén fanns region 5 över huvud taget inte.
- De flesta höstberäkningar, som gjordes till Flödeskommitténs rapport, gjordes med Kar-modellen (Andersson m fl, 1983) och med en fast höstkorrektur på 85 % av maxregnet.
- Åtskilliga av kontrollerna i Flödeskommitténs rapport gjordes med schablonräkning av effekten av att höjdberoendet sänktes mellan remissutgåvan och det slutliga förslaget.
- Endast en del områden räknades om efter sänkningen av säsongsfaktorn från 60 till 50 % på våren.

2.2 Resultat

Dimensioneringsberäkningar har fortlöpande samlats in och sammanställts med beräkningar, som har gjorts speciellt för detta projekt (tabell 2.1). Till de kompletterande kontrollberäkningarna användes prognosmodeller som inte har kalibrerats om för dimensioneringar. HBV-modellen (Bergström, 1976 och 1992) har använts vid alla beräkningar. Det totala antalet stationsår är för våren 2 373 och för hösten 2 201. Med vår avses här tiden före 1 augusti och hösten avser tiden därefter. Dimensioneringen för våren ger nästan alltid de högsta flödena. Vilken årstid som sedan blir den dimensionerande för ett regleringsmagasin beror förutom av flödet också på regleringsgrad och regleringsstrategi. Figur 2.1 visar det högsta uppmätta flödet i procent av det dimensionerande flödet för samma plats. Det finns inga tydliga skillnader i säkerhetsmarginal mellan olika delar av landet.

Jämfört med de preliminära kontrollberäkningar, som redovisades i Flödeskommitténs slutrapport, innebär de nya beräkningarna en liten sänkning av de dimensionerande flödena för hösten. Medelvärdet av de uppmätta flödena i relation till de dimensionerande är med det nu tillgängliga materialet 43 % för våren och 40 % för hösten, att jämföra med 43 respektive 34 % i Flödeskommitténs bilaga C (sid. 8). Denna sänkning av de dimensionerande flödena är i huvudsak en effekt av övergången till den fullständiga HBV-modellen, där bättre hänsyn tas till markens dämpande inverkan. Septemberflödet 1985 i Vässinjärvi var det högsta uppmätta flödet i relation till det dimensionerande värdet (76 %). En lägre procentsats (60%) fås emellertid om detta flöde relateras

till det dimensionerande flödet för våren.

Trots den regionala balansen i marginal mellan det högsta uppmätta flödet och det dimensionerande flödet finns det en stor spridning mellan stationerna. Denna spridning beror i allmänhet inte på att det förekommer enstaka höga flöden i vissa mätserier. Det finns oftast andra flöden som är i närheten av det högsta uppmätta. Lindström (1993) fann till exempel att de högsta flödena under en period på minst 60 år i allmänhet bara var cirka 10 % högre än det näst högsta flödet under samma period. Studien omfattade 39 stationer. Man kan inte utesluta att en del av spridningen i materialet kan bero på lokala klimatologiska skillnader som inte fångas upp av Flödeskommitténs riktlinjer.

En svårighet vid bedömningen av resultaten är osäkerheten i bestämningen av de uppmätta extremflödena. Dessa bygger ofta på extrapoleringar av avbördningskurvan, ibland långt utanför det intervall som har stöd av direkta vattenföringsmätningar. Särskilt stor osäkerhet finns det i de högsta uppmätta tillrinningarna till kraftverksmagasin, då dessa kan påverkas av snedställning av magasin etc, och inte alls utsätts för samma kvalitetskontroll som normala vattenföringsstationer i SMHIs stationsnät.

Att marginalen skall bero av observationsseriens längd (figur 2.2) är naturligt. Förutom detta är det svårt att finna systematiska skillnader. Inget systematiskt beroende av områdets specifika avrinning kan ses (figur 2.3). Marginalen är tämligen oberoende av medelhöjd och area (figurerna 2.4 och 2.5). Detta styrker rimligheten i de av Flödeskommittén föreslagna korrektionerna av den dimensionerande nederbörden. Möjligen kan man ana en viss tendens till att man i områden som reagerar långsamt (lågt värde på parametern K_0 i HBV-modellen), ligger något närmre de dimensionerande flödena än i snabba områden (figur 2.6). Materialet tillåter dock ingen säker slutsats på denna punkt.

En närmare kontroll av parametervärdena i HBV-modellen gjordes för några av de områden där säkerhetsmarginalen avvek väsentligt från medelförhållandena. Denna kontroll antydde att en del av spridningen i marginal troligen orsakas av osäkerheter i kalibreringen av HBV-modellens övre zon. Främst handlar det om parametrarna K_0 och U_{ZL} . Betydelsen av dessa parametrar vid simuleringen av extrema flöden har även påpekats av Lindström och Harlin (1992) och Harlin (1992).

De områden som kontrollerades på detta sätt var dock områden som inte har kalibrerats om för dimensioneringsberäkningar. Inför dimensioneringsberäkningar läggs större vikt vid kalibreringen av de aktuella parametrarna, än vid kalibreringen av modeller för prognosändamål. Spridningen i marginal mellan uppmätta och dimensionerande flöden är troligen något större i detta material än vad som skulle ha erhållits om endast dimensioneringsmodeller hade använts.

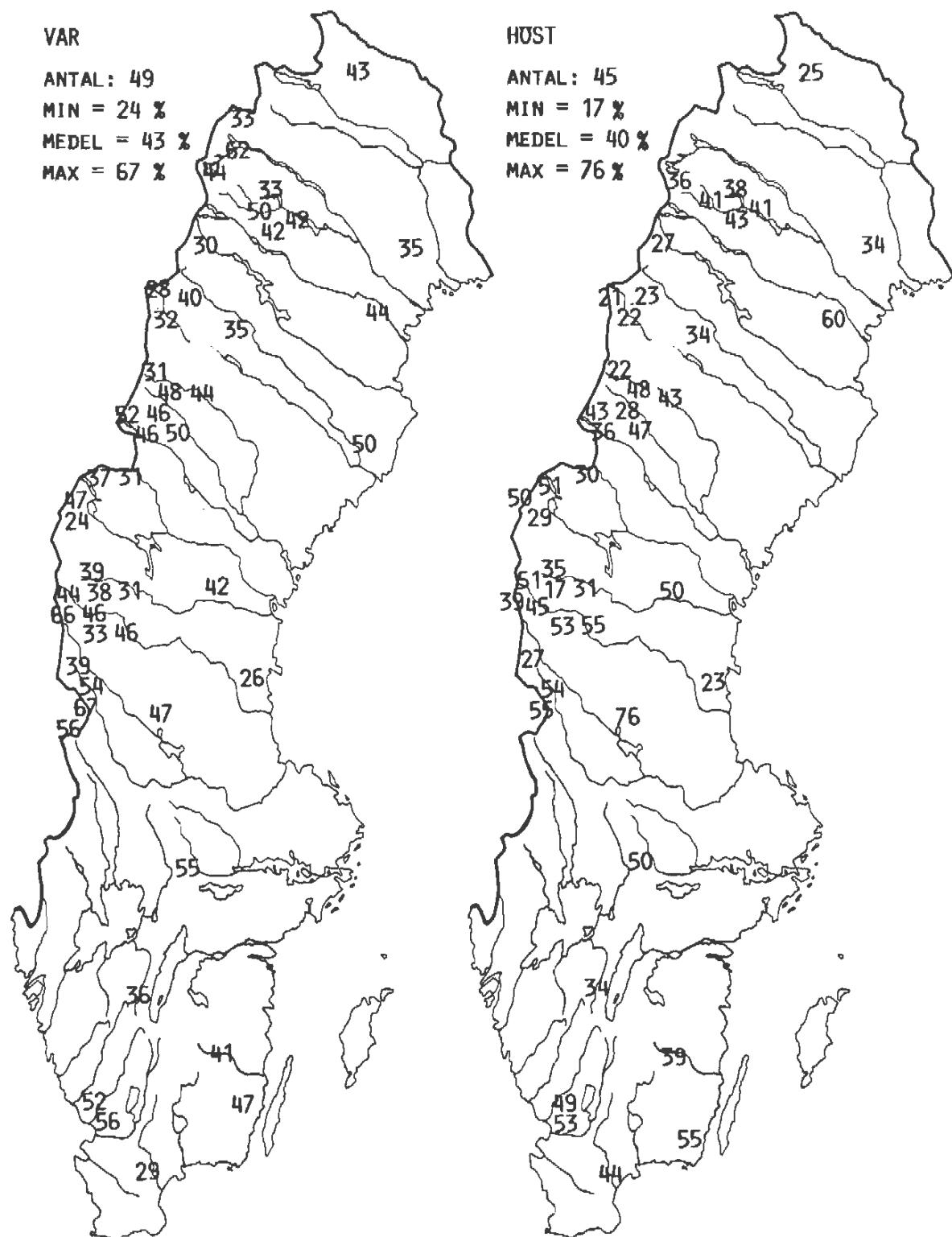
Som en ytterligare jämförelse utnyttjades uppmätta maxflöden, som hämtades från SMHI (1975). Därigenom erhöles en oberoende kontroll med ett större material av extremflöden (figur 2.7). Skillnaden är att dessa flöden inte har inträffat i exakt de områden, för vilka dimensioneringsberäkningar har gjorts. Även detta material visar på att de dimensionerande flödena i allmänhet ligger avsevärt högre än de högsta uppmätta.

Tabell 2.1. Kontrollberäkningar genomförda i enlighet med Flödeskommitténs slutliga riktlinjer, tillsammans med jämförelse med uppmätta maxflöden. Den högsta observerade kvoten avser det högsta uppmätta flödet i procent av det dimensionerade flödet.

Avrinnings- område	Flod- område	Typ av obser- va- tioner	Area (km ²)	Antal observa- tionsår		Dimension- erande flöde (m ³ /s)		Högsta obser- verade kvot (%)	
				Vår	Höst	Vår	Höst	Vår	Höst
Lannavaara	Torneälven	Pegel	3882	34	34	2054	1303	43	25
Ytterholmen	Råneälven	Pegel	1004	69	69	642	392	35	34
Satisjaure	Luleälven	Tillr	2324	-	-	1260	-	-	-
Sitasjaure	Luleälven	Tillr	982	24	-	1029	-	33	-
Virihaure	Luleälven	Pegel	1384	30	30	817	639	44	36
Suorva	Luleälven	Tillr	4681	56	-	2730	-	62	-
Tjaktjaure	Luleälven	Tillr	2267	13	57	1996	1752	33	38
Niavve	Luleälven	Pegel	1700	68	68	1159	962	50	41
Parki	Luleälven	Tillr	2596	17	17	1210	989	42	41
Karats	Luleälven	Pegel	1159	51	51	423	280	42	43
Sikfors krv	Piteälven	Pegel	10797	64	64	2367	1360	44	60
Sädvajaure	Skellefte- älven	Tillr	1444	80	80	1558	1307	30	27
Solberg	Umeälven	Pegel	1051	82	82	798	589	40	23
Överuman	Umeälven	Tillr	630	22	22	925	814	28	21
Abelvattnet	Umeälven	Tillr	370	13	13	416	339	32	22
Storjuktan	Umeälven	Tillr	1656	13	13	843	553	35	34
Vindeln ¹⁾	Umeälven	Pegel	11898	81	-	3300	-	50	-
Ransaren	Ångerman- älven	Tillr	578	34	34	602	489	31	22
Kultsjön	Ångerman- älven	Lok tillr	1050	34	34	970	754	48	48
Malgomaj	Ångerman- älven	Lok tillr	1757	34	34	1037	740	44	43
Borgasjön	Ångerman- älven	Tillr	508	58	56	471	395	46	28
Storsjouten	Ångerman- älven	Tillr	625	37	42	496	411	50	47

Ankar-vattnet	Ångerman-älven	Pegel	430	49	49	404	317	52	43
St Blåsjön	Ångerman-älven	Tillr	965	71	71	848	596	46	36
Äcklingen	Indalsälven	Pegel	157	54	54	174	147	47	50
Torrön	Indalsälven	Tillr	1369	70	68	1470	1201	37	51
Storrensjön	Indalsälven	Tillr	119	18	18	140	140	24	29
Burvattnet	Indalsälven	Tillr	117	15	15	158	136	31	30
Storsjön	Ljungan	Tillr	928	71	48	730	634	39	35
Torps-hammar	Ljungan	Tillr	4229	20	19	584	309	42	50
Hassela	Harmång-ersån	Pegel	658	74	74	378	279	26	23
Ljusnedal	Ljusnan	Pegel	340	68	68	273	223	44	51
Tännadalen	Ljusnan	Pegel	233	64	64	160	111	66	39
Lossen	Ljusnan	Tillr	1353	56	56	738	602	46	45
Grundsjön	Ljusnan	Tillr	566	13	13	514	420	38	17
Ö. Särvsjön	Ljusnan	Tillr	157	14	14	155	126	31	31
Lofssjön	Ljusnan	Tillr	398	16	16	317	270	33	53
Sveg	Ljusnan	Lok tillr	5860	27	74	2327	1352	46	55
Trängslet	Dalälven	Tillr	4483	26	26	2006	1464	39	27
Vässinjärvi	Dalälven	Tillr	340	17	17	262	206	47	76
Ersbo	Dalälven	Pegel	1101	81	81	595	492	67	55
Fulunäs	Dalälven	Pegel	882	80	80	367	328	54	54
Hammarby	Mälaren, Norrström	Pegel	876	67	67	195	111	55	50
Blankaström	Emån	Pegel	3446	64	64	535	335	41	39
Källstorp	Ljungbyån	Pegel	344	70	70	75	56	47	55
Torsebro krv	Helgaån	Pegel	3676	84	84	738	573	29	44
Gårdsilt	Fylleån	Pegel	55	64	64	31	30	56	49
Simlängen	Fylleån	Pegel	263	64	64	112	109	52	53
Moholm, Tidan	Vänern, Göta älv	Pegel	1172	63	63	370	303	36	34
Höljes	Klarälven	Tillr	5980	79	-	1500	-	56	-

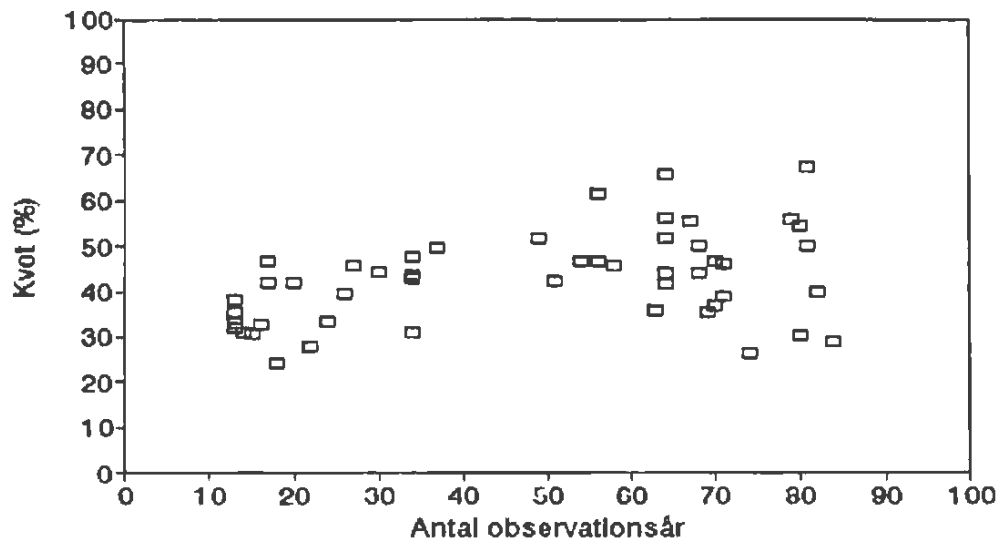
¹⁾ Det dimensionerande flödet för Vindeln uppskattades ur en lokal dimensionering för Stomorrors, och värdet är därför något osäkert.



Figur 2.1. De högsta uppmätta vattenföringarna i procent av de beräknade dimensionerande flödena enligt Flödeskommitténs riktlinjer (dygnsvärden).

Vårflöden i % av det dim. flödet

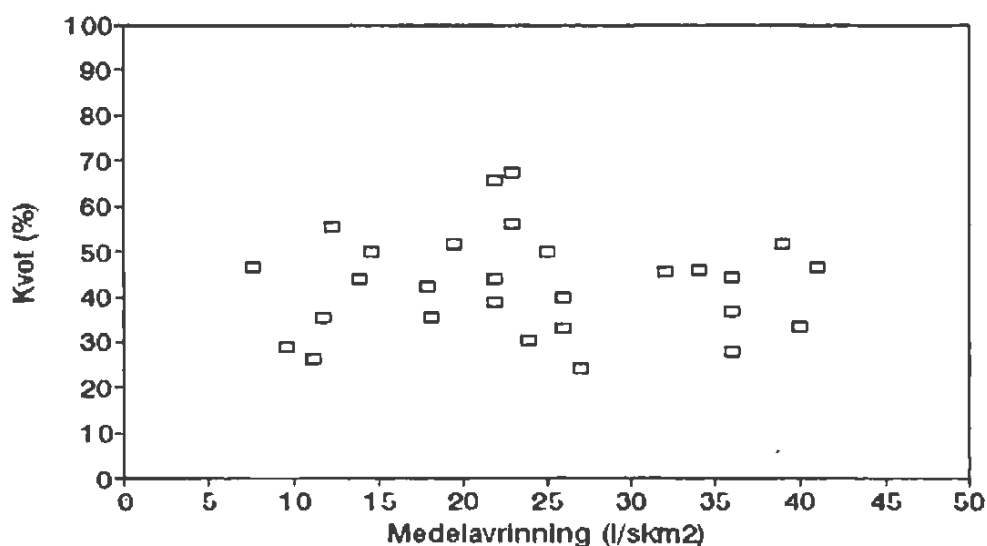
Uppmätta flöden (1 dygn) Hela Sverige



Figur 2.2. Kvoten mellan högsta uppmätta och dimensionerande flöden avsatt mot observationsperiodens längd.

Vårflöden i % av det dim. flödet

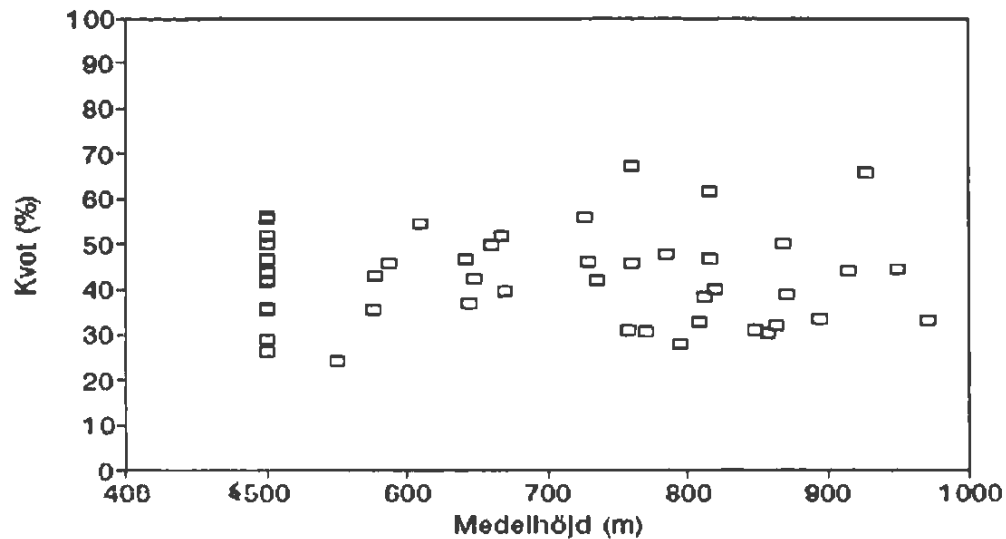
Uppmätta flöden (1 dygn) Hela Sverige



Figur 2.3. Kvoten mellan högsta uppmätta och dimensionerande flöden avsatt mot den specifika avrinningen i l/skm².

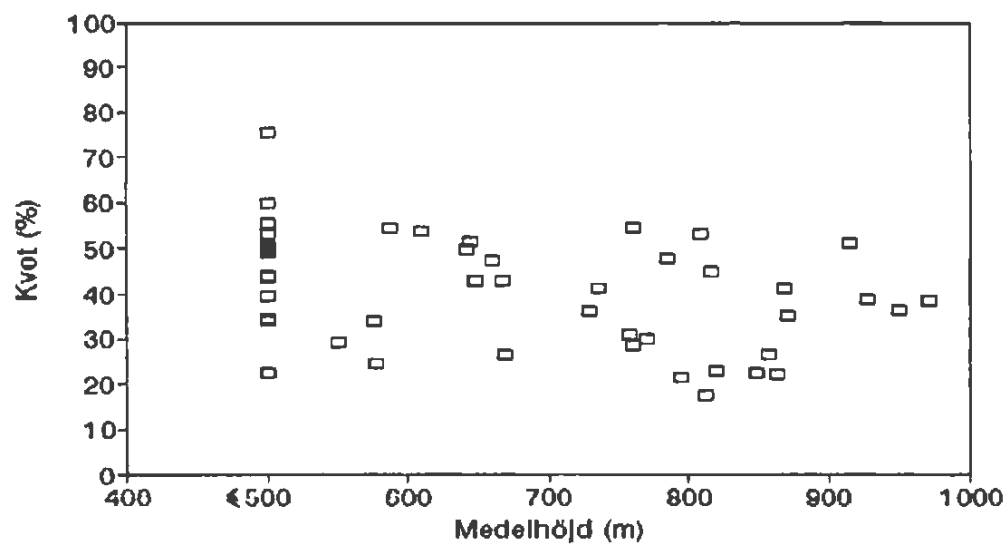
Vårflöden i % av det dim. flödet

Uppmätta flöden (1 dygn) Hela Sverige



Höstflöden i % av det dim. flödet

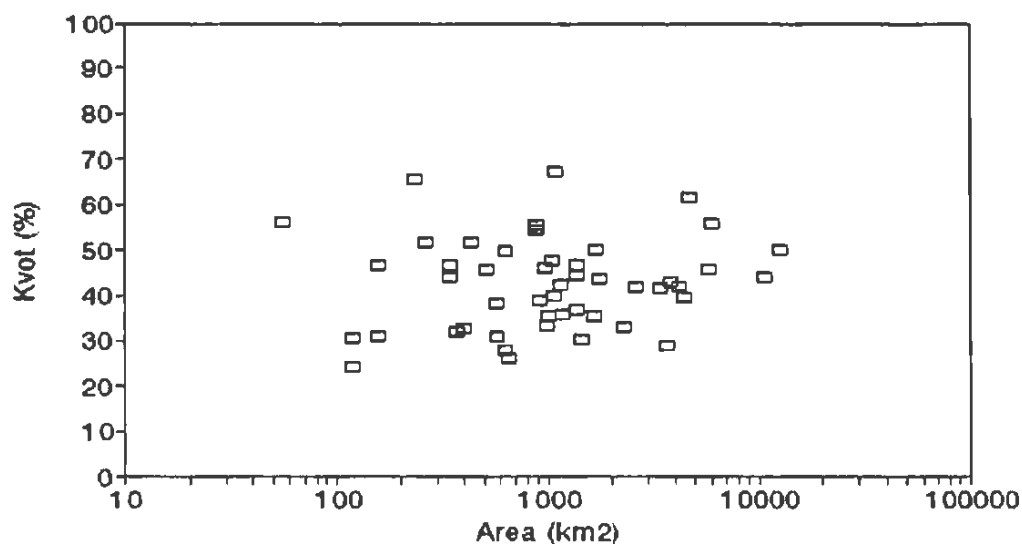
Uppmätta flöden (1 dygn) Hela Sverige



Figur 2.4. Kvoten mellan högsta uppmätta och dimensionerande flöden avsatt mot områdets medelhöjd.

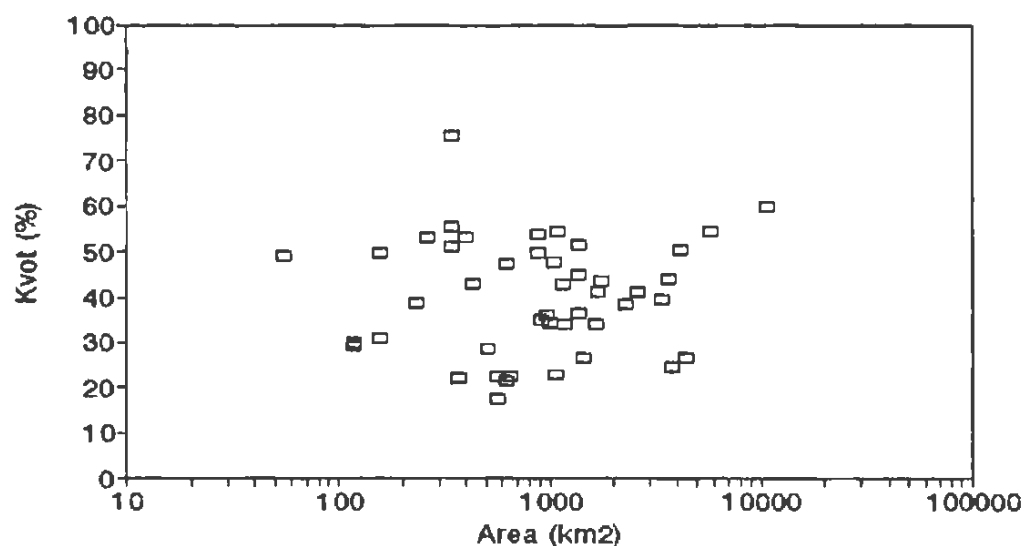
Vårflöden i % av det dim. flödet

Uppmätta flöden (1 dygn) Hela Sverige



Höstflöden i % av det dim. flödet

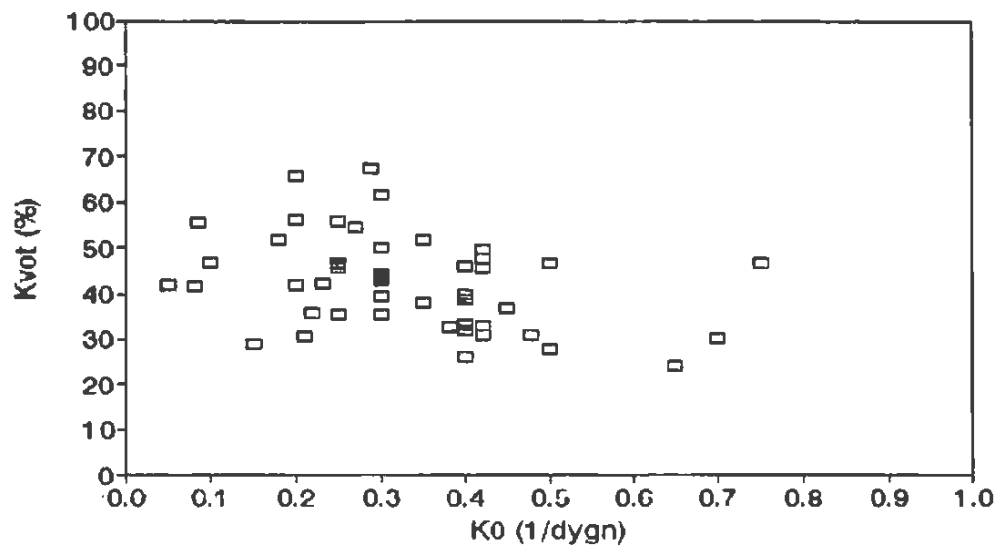
Uppmätta flöden (1 dygn) Hela Sverige



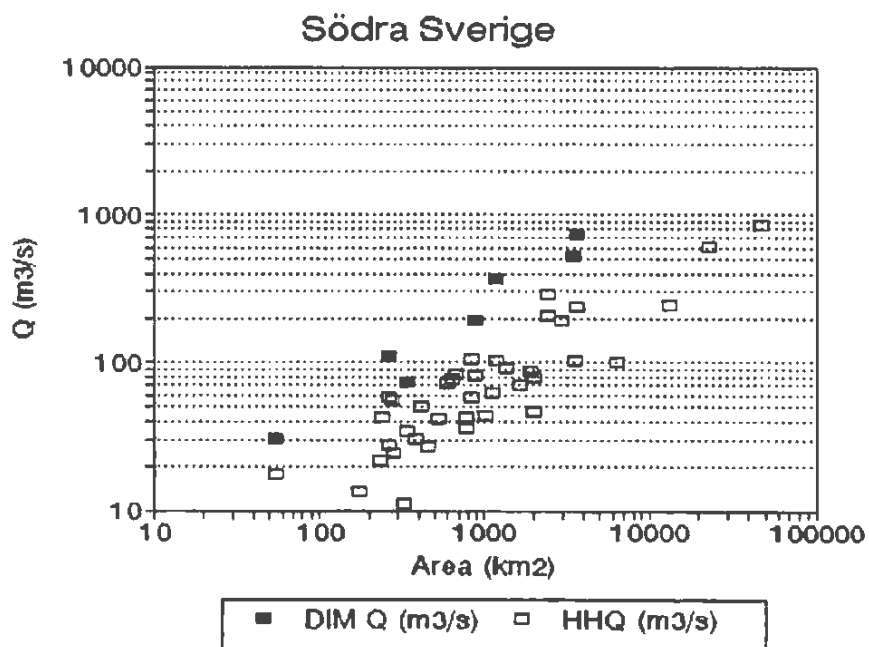
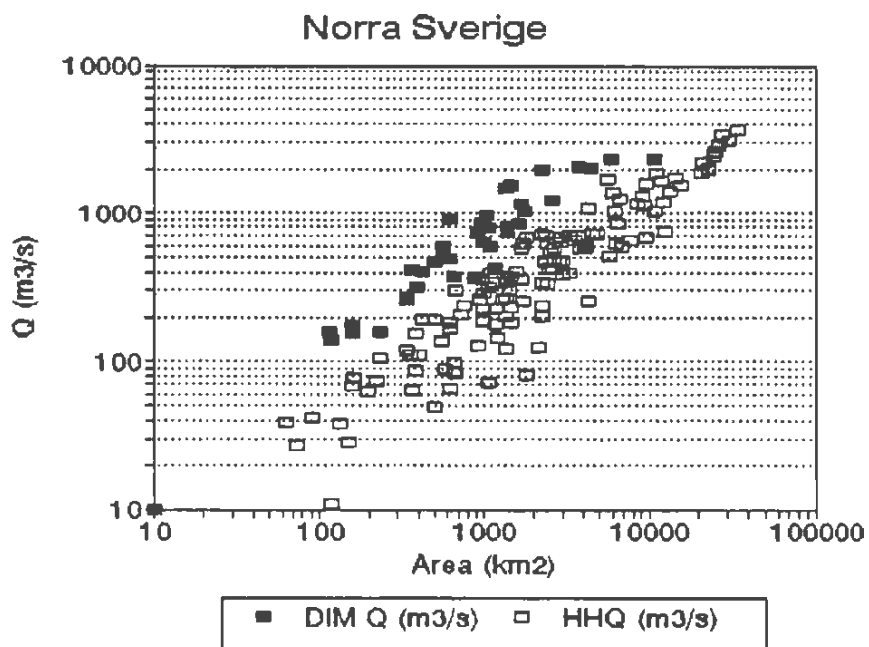
Figur 2.5. Kvoten mellan högsta uppmätta och dimensionerande flöden avsatt mot områdets area.

Vårflöden i % av det dim. flödet

Uppmätta flöden (1 dygn) Hela Sverige



Figur 2.6. Kvoten mellan högsta uppmätta och dimensionerande flöden avsatt mot parametern K_0 i HBV-modellen. Parametern anger hur snabbt ett område reagerar på regn. Ett lågt K_0 ger en långsam respons, och ett högt K_0 ger en snabb respons.



Figur 2.7. Dimensionerande flöden (DIM Q, fyllda) och högsta uppmätta flöden (HHQ, ofyllda) avsatt mot avrinningsområdets area. Figuren avser årsmax.

2.3 Slutsatser

De nya beräkningarna innebär en liten sänkning av de dimensionerande flödena för hösten jämfört med de preliminära kontrollberäkningarna i Flödeskommitténs rapport. Medelvärde av de uppmätta flödena i relation till de dimensionerande är med det nu tillgängliga materialet 43 % för våren och 40 % för hösten, att jämföra med 43 respektive 34 % tidigare.

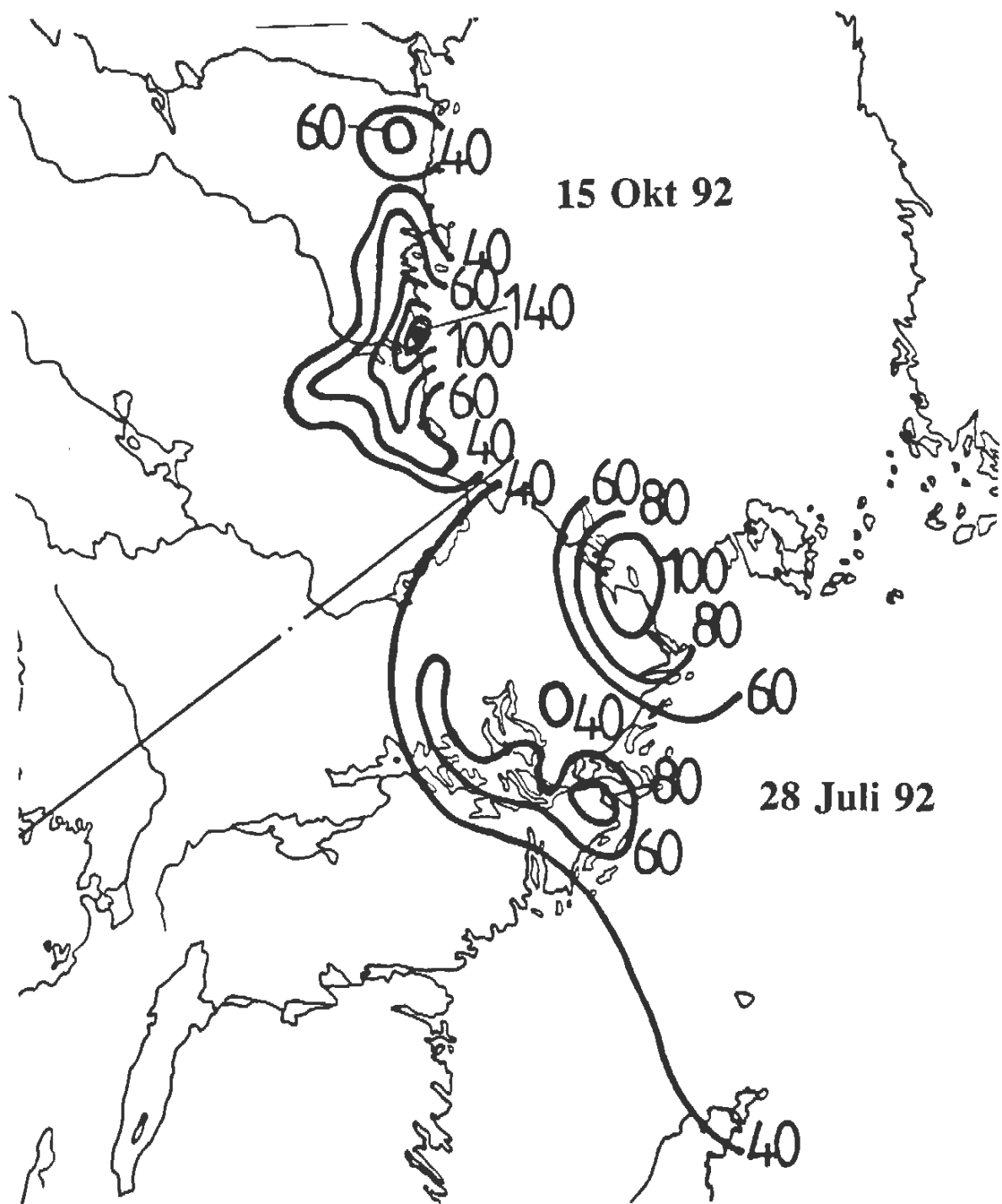
Man kan inte se några tydliga skillnader i säkerhetsmarginal mellan olika delar av landet. Trots denna regionala balans i marginal mellan de högsta uppmätta och de dimensionerande flödena finns det en relativt stor spridning mellan stationerna. Det kan inte uteslutas att säkerhetsmarginalen kan skilja sig mellan olika områden beroende på lokala klimatologiska skillnader som inte fångas upp av Flödeskommitténs riktlinjer. Det är dock svårt att identifiera några faktorer som systematiskt påverkar marginalen till det dimensionerande flödet. En orsak till spridningen kan vara osäkerheter på grund av extrapoleringen av den hydrologiska modellen till flöden som är flera gånger större än de högsta uppmätta. Osäkerheten i modellparametrar, främst K0 och UZL har ett stort inflytande på flödestoppens storlek. Man bör även ha i minnet den osäkerhet som finns i bestämningen av de uppmätta extremflödena som utgör grunden för jämförelsen. Särskilt osäkra är bestämningarna av de uppmätta tillrinningarna till regleringsmagasin.

3. STORA NEDERBÖRDSFALL SOM INTRÄFFAT SEDAN FLÖDESKOMMITTENS RAPPORT LADES FRAM

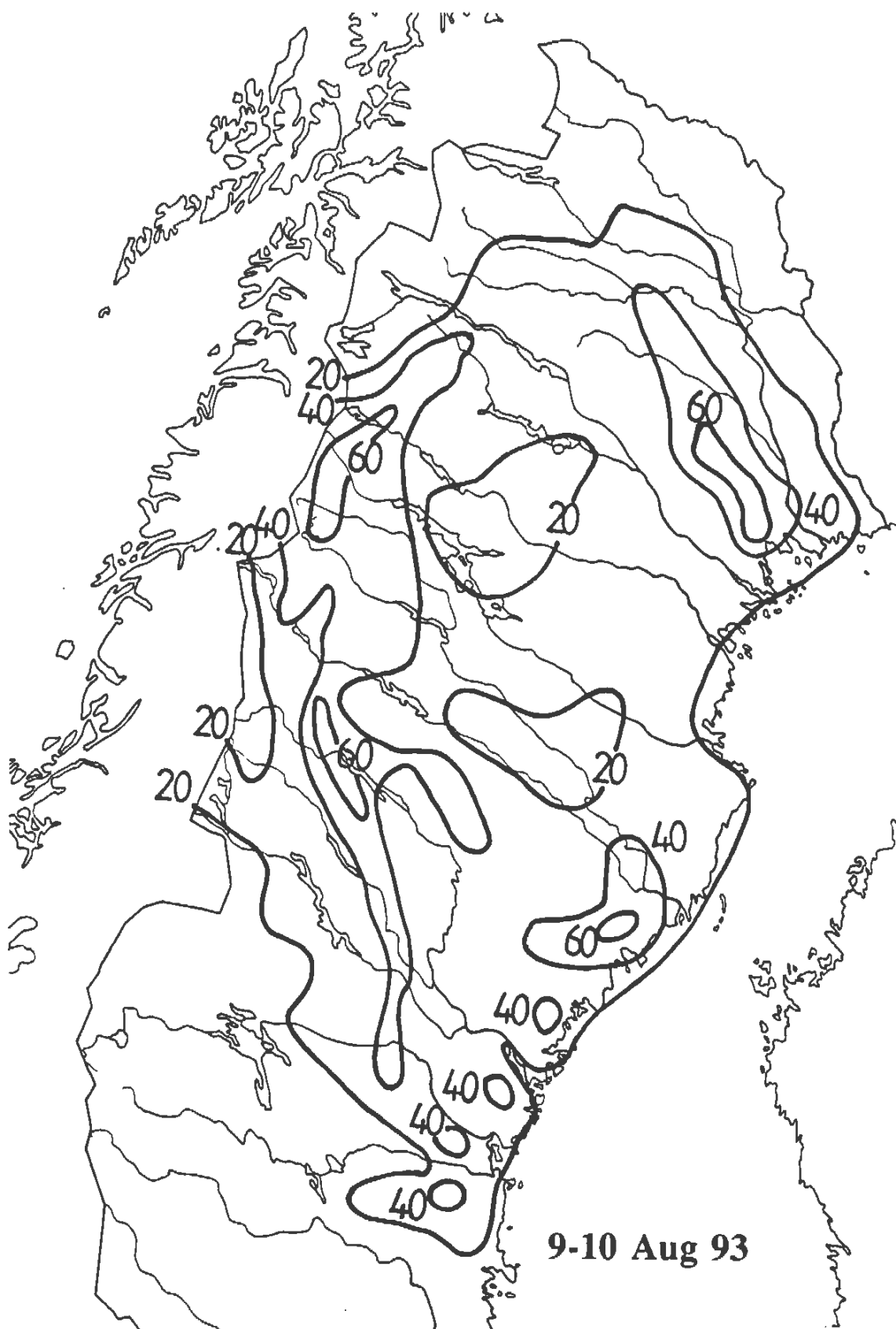
En av hörnstenarna i Flödeskommitténs arbete är den studie av arealutbredningen vid stora nederbördstillfällen, som gjordes av Vedin och Eriksson (1988). De analyserade alla fall, då minst en station i SMHIs nät uppvisade 60 mm nederbörd eller mer under ett kalenderdygn. Sedan dess har ytterligare 5 tillfällen med stor nederbörd identifierats och analyserats. Analysen har gjorts av Haldor Vedin vid SMHI. Endast 2 av dessa tillfällen nådde dock upp till den uppsatta gränsen på 90 mm på 24 timmar över 1000 km². Alla 5 tillfällena redovisas i tabell 3.1 med samma uppställning som den, som användes av Vedin och Eriksson. Majregnet 1991 föll över i första hand Ångermanälvens och Indalsälvens avrinningsområden. Arealutbredningen visas i figur 3.1 för de båda regnen 1992. Figuren 3.2 och 3.3 visar utbredningen på de regn, som föll i början av augusti över stora delar av Norrland. Nederbördsmängden på ett enskilt dygn och 1000 km² var inte exceptionell, men kombination av långvarigt regn och välfyllda magasin gjorde att flödena i de reglerade älvarna blev mycket höga. Figur 3.4 visar att de tre första tillfällena ligger i närheten av riktlinjernas värden för motsvarande årstid och region.

Tabell 3.1. Stora nederbördstillfällen efter 1990, med beteckningar enligt Vedin och Eriksson (1988). Observera att endast de två tillfällena under 1992 gav så stora mängder, att de är stora nederbördsfall i Vedin och Erikssons (1988) bemärkelse. ¹⁾ Avser nederbörd över 2 dygn och inte 24 timmar.

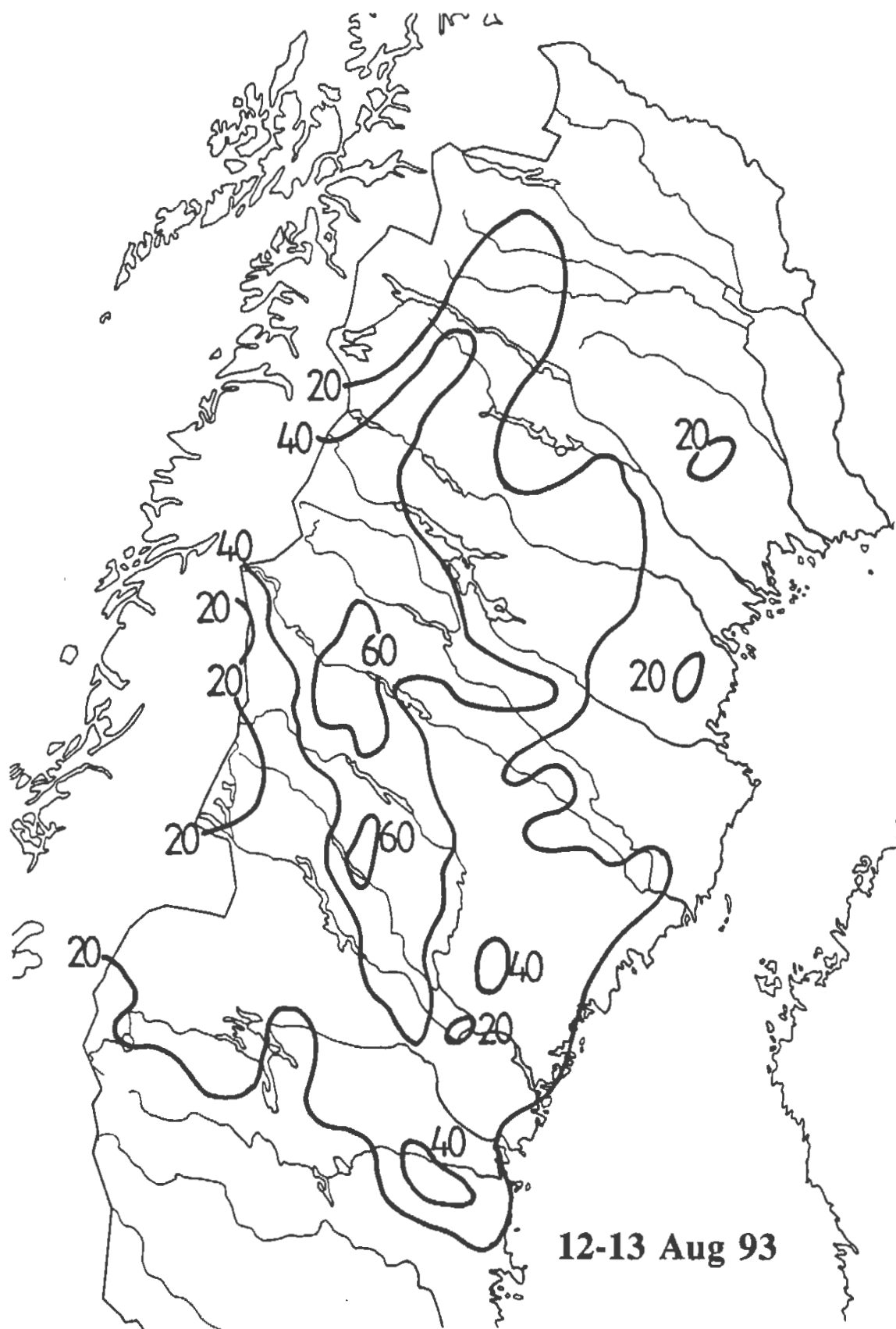
Datum	Område	Punktmängder (mm)		Korrektion för fast mät-tillfälle (%)	Arealmängder (mm) och areal-reduktionsfaktor (%)			
		Största noterade dygnsmängd	Största uppskattade 24-timmars-mängd		1000 km ²		10 000 km ²	
					(mm)	(%)	(mm)	(%)
1991-05-14	IF	-	-	-	≈65	-	-	-
1992-07-28	KS	115	122	106	110	90	80	66
1992-10-15	KS	127	155	122	104	67	77	50
1993-08-10	IF	-	-	-	≈65 ¹⁾	-	-	-
1993-08-13	IF	-	-	-	≈65 ¹⁾	-	-	-



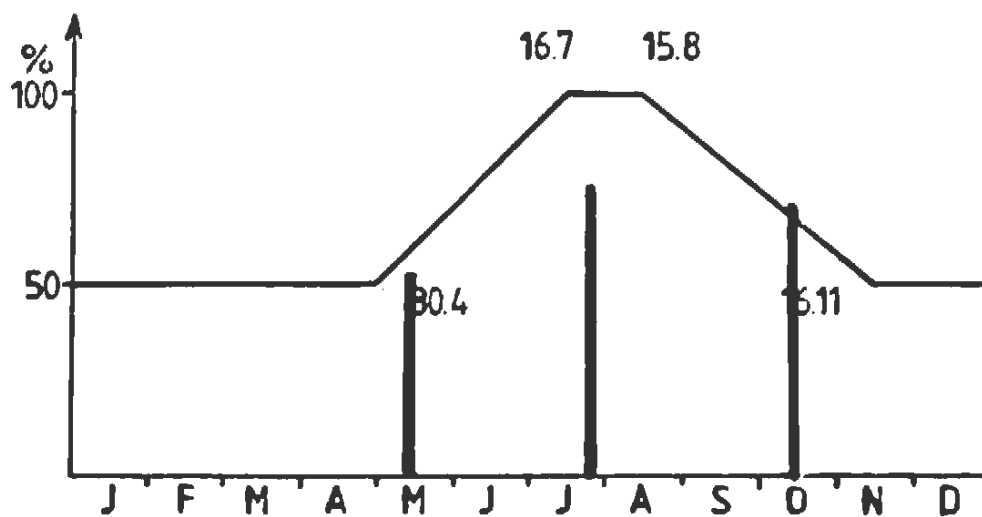
Figur 3.1. Karta över den största 24-timmarsmängden under nederbördsfallen under 1992.



Figur 3.2. Karta över nederbörden över de 2 dyggen 9-10 augusti 1993.



Figur 3.3. Karta över nederbörden över de 2 dyggen 12-13 augusti 1993.

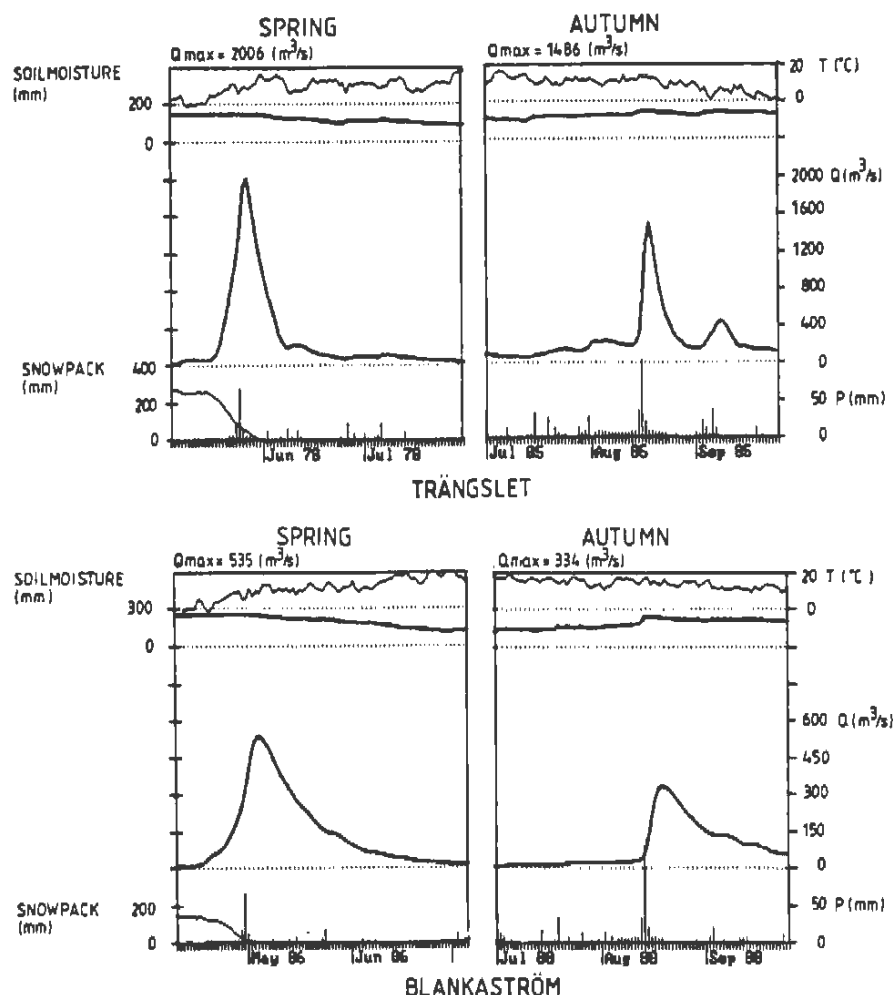


Figur 3.4. Årstidskorrektion av de dimensionerande nederbördssekvenserna för regionerna 2 - 4 (största delen av Sverige) samt av toppvärdet (dag 9) i sekvensen för region 5 (från Flödeskommittén, 1990). De tre analyserade tillfällena (1991-05-14, 1992-07-28 och 1992-10-15) är inprickade i figuren.

4.

SAMTIDIGHET AV HÖG NEDERBÖRD OCH SNÖSMÄLTNING

I de hydrologiska studier, som låg bakom Flödeskommitténs förslag, konstaterades bland annat att de högsta flödena i Sverige ofta orsakas av kombinationer av hög markfuktighet, regn och eller snösmältning, snarare än av extremt regn enbart (Brandt et al., 1987). I enlighet med detta föreskriver riktlinjerna, att dimensionerande flöden skall beräknas genom kombinationer av extrem nederbörd och kraftig snösmältning, som var för sig har upplevts, dock ej samtidigt. I allmänhet uppstår de högsta simulerade flödena när den extrema nederbörden inträffar mitt under vårfloden (se t ex figur 4.1). I riktlinjerna anges att den uppmätta temperaturen under våren skall sänkas med 3 grader från och med den värsta dagen i sekvensen (dag 9). Detta infördes "för att undvika orealistiska kombinationer av hög nederbörd och hög temperatur under vårfloden" (Flödeskommittén, 1990). Lindström och Harlin (1992) fann att effekten av denna temperaturreduktion är en minskning av de dimensionerande flödena med mellan 1 och 6 % i 4 undersökta områden (Tjaktjajaure, Torrön, Trängslet och Blankaström). Den förhållandevis ringa effekten är antagligen en följd av att temperaturen bara reduceras från och med dag 9 och inte under flödets uppbyggnad.



Figur 4.1. De högsta simulerade tillrinningarna vid dimensioneringsberäkningar för Trängslet (Dalälven) och Blankaström (Emån).

Frågan om rimligheten i att anta att den extrema nederbörden faller mitt under vårfloden kan inte besvaras med hjälp av enbart klimatologiska uppgifter. Det visar sig att hög nederbörd ofta uppträder vid temperaturomslag, d v s frontpassager. Det är emellertid inte tillräckligt att bara studera temperaturen vid hög nederbörd, utan man måste även ta hänsyn till snötillgången. Detta kan enklast göras genom att man använder en hydrologisk modell, som fortlöpande beräknar snöförhållandena i ett avrinningsområde.

4.1 Metodik och data

HBV-modellen (Bergström, 1976 och 1992) användes för simulering av tidsserier av nederbörd (PREC), regn (RAIN) och snösmältning (MELT). Med regn menas här den andel av nederbörden, som faller i vätskeform. Arealmedelvärden från modellberäkningar av dessa variabler extraherades dygnsvis. För denna studie gjordes några förenklingar i HBV-modellens snörutin. Dessa var följande:

- Allt regn på snö antogs rinna förbi snötäcket. Endast smältvatten lagrades i snön.
- Återfrysningen av smältvattnet i snön sattes till noll.
- Frigörandet av smältvatten i smältande snö, p g a minskande vattenhållande förmåga, inkluderades i variabeln MELT.
- Glaciärsmältning försumrades.

Samtidigheten mellan hög nederbörd och hög snösmältning studerades genom att korrelationskoefficienten mellan dygnsvärden på de två variablerna beräknades för varje kalendermånad. En negativ korrelation innebär att de två variablerna har en tendens till att utesluta varandra, och en positiv korrelation innebär att de ofta uppträder samtidigt. I tillägg till korrelationen beräknades den relativa frekvensen av hög snösmältning för olika klasser av nederbörd. Nederbörden delades in i klasserna 0 - 1 mm, 1 - 10 mm och > 10 mm på ett dygn. Som gräns för hög snösmältning sattes en smältning av minst 50 % av det högsta beräknade värdet för hela beräkningsperioden och den aktuella månaden.

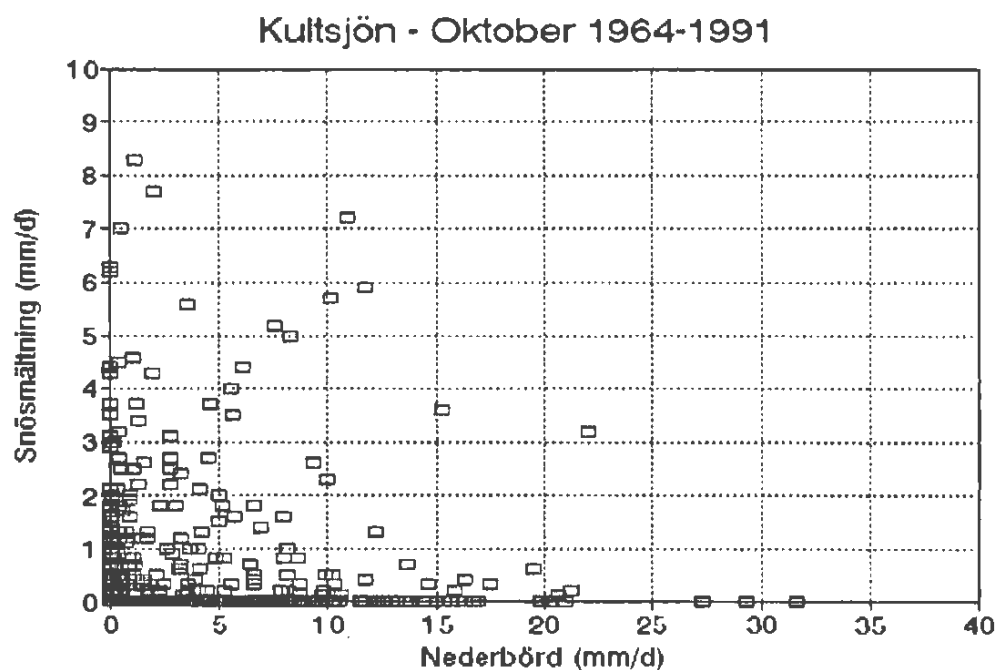
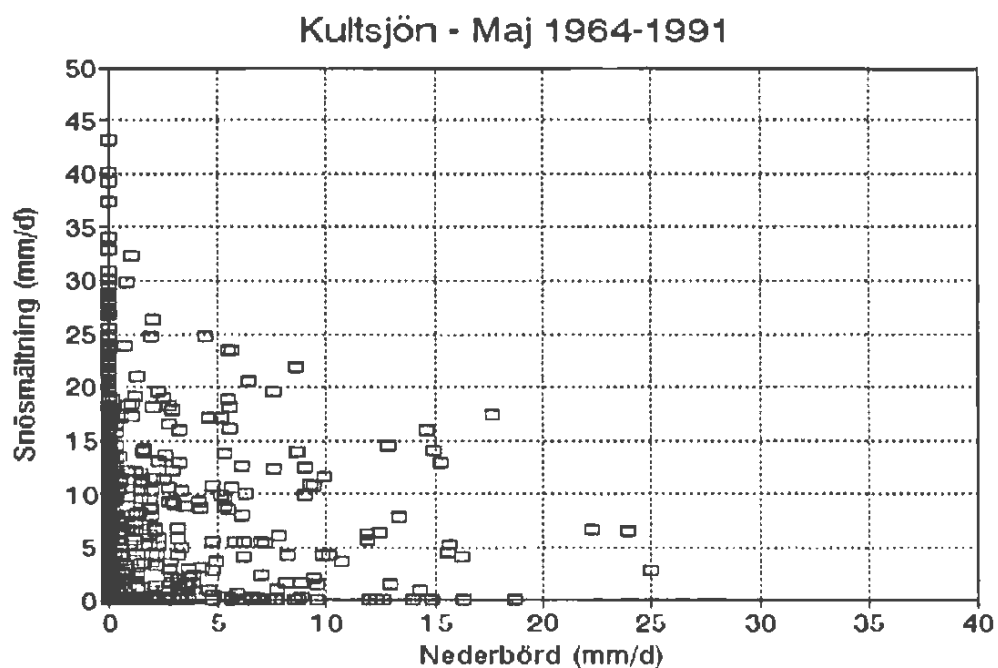
Endast HBV-modeller utan delområdesindelning användes. För flera områden, där modellen fanns tillgänglig men med delområdesindelning, konverterades den till att endast omfatta ett delområde. Denna konvertering gjordes genom en viktning av parametrarna i de olika delområdena. Databasen (tabell 4.1) täcker i stort sett perioden från 1960 fram till idag, en period som har bjudit på något fler höga flöden än normalt, snarare än färre (Lindström, 1993).

Tabell 4.1. Utvalda områden för analys av samtidighet mellan hög nederbörd och snösmältning. Endast hela kalenderår användes. Arean anges i km².

Område	Flodområde	Area	Period
Lannavaara	Torneälven	3882	69 - 86
Ytterholmen	Råneälven	1004	70 - 80
Litnok	Luleälven	670	63 - 80
Niavve	- " -	1700	74 - 89
Karats	- " -	1159	72 - 89
Sädvajaure	Skellefteälven	1444	69 - 91
Överuman	Umeälven	630	74 - 89
Ransaren	Ångermanälven	578	64 - 87
Kultsjön	- " -	1050	64 - 91
Malgomaj	- " -	1757	64 - 91
Borgasjön	- " -	508	72 - 83
Ströms Vattudal	- " -	3851	64 - 90
Torrön	Indalsälven	1369	67 - 91
Anjan	- " -	436	72 - 91
Sillre	- " -	230	66 - 91
Havern	Ljungan	3819	67 - 90
Torpshammar	- " -	4229	69 - 91
Hassela	Harmångersån	658	70 - 91
Brännås	Delångersån	589	70 - 91
Ljusnedal	Ljusnan	340	71 - 88
Tännadalen	- " -	233	81 - 88
Sveg	- " -	5860	63 - 90
Trängslet	- " -	4483	62 - 92
Vässinjärvi	Dalälven	340	71 - 91
Ersbo	- " -	1101	62 - 91
Fulunäs	- " -	882	62 - 90
Stadarforsen	- " -	4506	62 - 91
Blankaström	Emån	3705	33 - 90
Källstorp	Ljungbyån	344	77 - 91
Torsebro	Helgaån	3676	66 - 86
Simlängen	Fylleån	262	34 - 90
Höljes	Göta älv	5980	70 - 92
Moholm	- " -	1172	66 - 91
Kroksfors kvarn	Örekilsälven	114	79 - 91

4.2 Resultat

Figur 4.2 visar ett exempel på samvariationen mellan nederbörd och snösmältning för maj och oktober i Kultsjön. Dessa är de två månader som har högst genomsnittlig snösmältning på våren respektive hösten. Resultaten från korrelationsanalysen och klassindelningen (tabellerna 4.2 och 4.3 samt figur 4.3) visar att hög nederbörd och hög snösmältning tenderar till att inträffa vid olika tillfällen, särskilt på våren i norra Sverige. Risken för att det dimensionerande regnet skulle inträffa just under vårfloden är med andra ord mycket liten.



Figur 4.2. Samvariationen mellan nederbörd och beräknad snösmältning på ett dygn för Kultsjön (Ångermanälven).

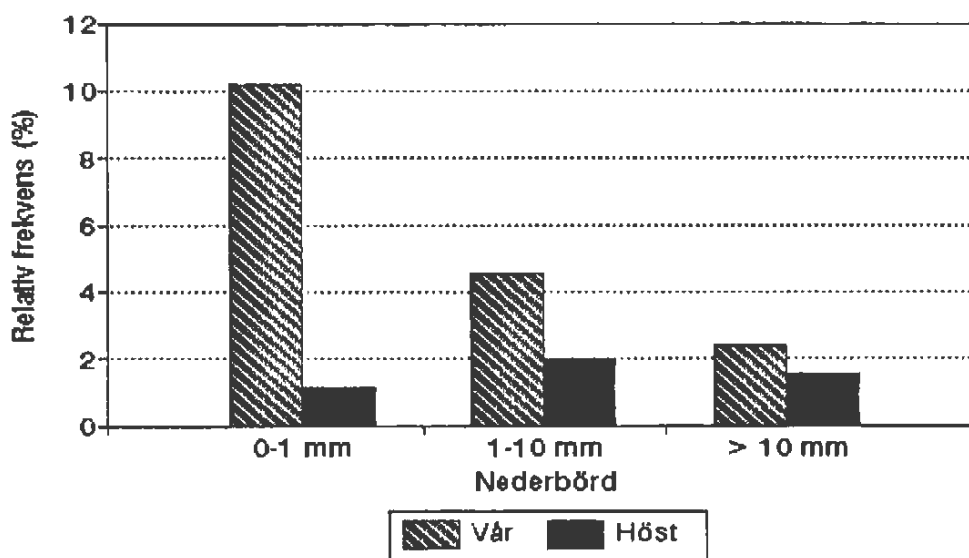
Tabell 4.2. Månadsvis korrelation (%) mellan nederbörd och snösmältning (dygnsvärden). Månaden med den högsta snösmältningen i genomsnitt under vår (januari - juli) och höst (augusti - december) är markerade med fet stil. Månader, då snösmältning saknas, markeras med noll.

Område	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Lannavaara	+3	-4	-6	-4	-8	+2	-3	+0	+2	-4	-7	-3
Ytterholmen	-5	-6	-7	-11	-11	+1	+0	+0	+12	-5	-5	-7
Litnok	-3	-3	-6	-10	-9	-9	-6	-6	+2	-10	-6	-4
Niavve	+7	-3	-4	-7	-14	-7	-11	+9	-1	-2	-8	+5
Karats	-2	-3	-7	-7	-8	+4	-5	+0	-2	-5	-7	+6
Sädvajaure	+4	+8	-2	-4	-6	-6	-10	-0	+0	+1	+4	+9
Överuman	+7	+9	+16	-1	-8	-5	-10	-3	+13	+28	+28	+23
Ransaren	+7	-5	+2	-6	-5	-4	-6	-2	-6	+5	+7	-2
Kultsjön	+3	-4	+1	-6	-7	-5	-6	+12	-4	+6	+6	-1
Malgomaj	-5	+2	+0	-7	-11	-3	-3	+0	-3	+5	-2	-5
Borgasjön	+5	-0	+17	+0	-3	-0	+7	+0	-8	+15	+10	+0
Ströms Vattudal	+3	+6	+18	-3	-15	-10	+0	+0	-2	+5	+5	+5
Torrön	+14	+5	+4	-5	-15	-4	-6	+0	+2	+15	+17	+12
Anjan	+19	+5	+9	-4	-22	-10	-9	+0	+6	+17	+16	+13
Sillre	-3	-2	-9	-12	-11	+0	+0	+0	+2	-1	+5	-5
Havern-Holmsjön	-5	-3	-3	-12	-14	-2	+0	+0	-4	-3	-4	-7
Torpshammar	-2	-1	-8	-12	-13	+0	+0	+0	-2	-6	+3	-7
Hassela	-4	-3	-12	-20	-16	-2	+0	+0	-2	-1	+6	-7
Brännås	-5	+0	-13	-26	-19	+0	+0	+0	-4	-6	+3	-6
Ljusnedal	-4	-1	-4	-7	-5	-5	+0	+1	-1	+4	-2	-5
Tänn dalen	+0	+0	+3	-8	-12	-1	+0	+2	-3	+7	-5	-3
Sveg	-5	-2	-4	-12	-13	-4	+0	+4	-2	-4	-4	-5
Trängslet	-5	-2	-2	-10	-13	-2	+0	+0	-2	-2	-1	+4
Vässinjärvi	-7	+3	-10	-13	-14	-2	+0	+0	-3	-1	-3	-3
Ersbo	-1	+3	-2	-12	-15	-3	+0	+0	-1	+4	+8	+2
Fulunäs	-3	+1	-2	-12	-15	-3	+0	+0	-1	+3	+5	-0
Stadarforsen	-1	+1	-2	-14	-14	-2	+0	+0	+2	+4	+9	-0
Blankaström	+4	+4	+2	-6	-4	+0	+0	+0	-1	+8	+11	+5
Källstorp	+2	+1	+1	-0	+0	+0	+0	+0	+0	+16	+6	+4
Torsebro	+9	+16	+13	+4	+0	+0	+0	+0	+0	+7	+13	+23
Simlängen	+16	+13	+17	+6	-2	+0	+0	+0	+0	+0	+11	+17
Höljes	-6	-2	-4	-10	-19	-4	-2	+0	-2	-1	+1	+2
Moholm	-3	+6	+5	+3	+10	+0	+0	+0	+0	+13	+8	+13
Krokfors kvarn	+4	+16	+1	-10	-2	+0	+0	+0	+0	+14	+11	+11

Tabell 4.3. *Relativ frekvens (%) av dagar med hög snösmältning för olika nederbörds-klasser i mm/dygn. Vår och höst avser månaden med den i genomsnitt högsta snösmältningen under vår (januari - juli) respektive höst (augusti - december).*

Område	Vår			Höst		
	Nederbörd mm			Nederbörd mm		
	0-1	1-10	>10	0-1	1-10	>10
Lannavaara	12.4	9.3	0.0	0.5	1.3	0.0
Ytterholmen	7.4	4.7	0.0	0.4	1.1	0.0
Litnok	22.8	16.9	14.8	4.5	2.8	3.5
Niavve	17.9	13.5	8.6	2.5	4.9	0.0
Karats	17.1	5.6	3.6	1.2	1.7	0.0
Sädvajaure	13.0	6.4	4.1	2.8	2.0	2.3
Överuman	14.6	12.4	6.9	0.9	3.3	4.9
Ransaren	12.8	9.2	7.8	1.3	2.7	6.3
Kultsjön	6.3	3.1	0.0	1.7	2.6	5.8
Malgomaj	10.6	4.3	0.0	0.4	0.7	0.0
Borgasjön	19.8	10.5	5.3	0.0	2.7	2.3
Ströms Vattudal	9.4	2.5	4.3	0.5	1.9	3.3
Torrön	12.9	3.4	0.0	0.7	1.7	2.2
Anjan	12.9	1.9	0.0	0.9	0.7	2.5
Sillre	7.1	2.7	0.0	0.6	1.2	0.0
Havern	7.2	1.1	3.2	0.8	1.0	0.0
Torpshammar	8.5	1.1	0.0	0.7	0.9	0.0
Hassela	9.2	2.5	0.0	1.0	0.0	0.0
Brännås	10.6	3.8	0.0	1.0	0.5	0.0
Ljusnedal	7.5	4.8	4.3	1.2	3.6	0.0
Tännadalen	17.5	3.2	5.3	2.3	4.3	3.8
Sveg	11.0	1.7	3.1	0.3	0.4	0.0
Trängslet	7.9	1.2	0.0	1.2	1.8	0.0
Vässinjärvi	11.7	2.9	0.0	1.3	0.5	0.0
Ersbo	13.8	3.0	1.4	1.5	1.6	3.3
Fulunäs	13.9	3.4	1.8	1.1	2.8	0.0
Stadarforsen	1.7	0.8	0.0	0.7	3.2	0.0
Blankaström	0.7	0.6	0.0	0.4	0.9	0.0
Källstorp	2.8	1.5	0.0	1.4	3.0	0.0
Torsebro	0.2	0.9	0.0	0.3	1.6	4.0
Simlängen	1.5	1.2	6.1	0.1	1.9	4.9
Höljes	13.9	3.2	0.0	1.3	0.7	0.0
Moholm	0.4	2.7	0.0	0.6	2.2	0.0
Krokfors kvarn	9.3	9.4	0.0	2.1	3.6	3.7

Frekvensen av hög snösmältning För olika nederbördsclasser



Figur 4.3. Relativ frekvens av dagar med hög snösmältning för olika nederbördsclasser i mm/dygn. Medelvärdena för alla analyserade områden visas. Vår och Höst avser månaden med den i genomsnitt högsta snösmältningen under vår (januari - juli) respektive höst (augusti - december).

4.3 Slutsatser

Hög nederbörd och hög snösmältning tenderar till att inträffa vid olika tillfällen. Att två sällsynta händelser skulle inträffa samtidigt är givetvis mycket ovanligt i sig, utom om de är extremt beroende, så att den ena händelsen är en förutsättning för den andra. Analysen här tyder inte på att extrem nederbörd och hög snösmältning är beroende av varandra på detta sätt. Det finns tvärtom en svag tendens till att risken för ett extremt regn skulle vara något lägre än normalt just under den mest intensiva snösmältningen på våren. Kombinationen av de två händelserna ger upphov till mycket högre flöden än vad enbart en av händelserna gör, och man får därmed en väsentlig säkerhetsmarginal.

Å andra sidan kan det tänkas att HBV-modellen underskattar snösmältningen vid extrema flöden, eftersom en konstant graddagsfaktor används. I Sverige har vi beräknat drygt 40 mm som mest på ett dygn (Brandt m fl, 1987), medan man i Norge har fått fram avsevärt mycket högre värden (Mörk, 1989).

5. BIDRAGEN AV REGN OCH SNÖSMÄLTNING TILL EXTREMA FLÖDEN

Vårfloden är normalt det högsta flödet under ett år, i varje fall i oreglerade vattendrag i norra Sverige. Regn är givetvis den utlösande faktorn vid flöden på sommaren, men under stora delar av året kan det vara svårare att uppskatta den relativa betydelsen av regn och snösmältning. En uppdelning i bidragen från regn och snösmältning är dock inte helt trivial. I Norge har flera studier av orsakerna till höga flöden gjorts med hjälp av HBV-modellen, av bl a av Killingtonveit m fl (1988), Mörk (1989) och Beldring m fl (1989). Den använda metodiken är dock inte beskriven i detalj.

5.1 Metodik och data

Ett flöde byggs oftast upp under av en längre tid av nederbörd eller snösmältning. Systemet har p g a magasinering i området ett långt minne. Regn och snösmältning rinner inte av omedelbart utan fördelas i tiden. När man talar om flödets orsaker räcker det därför inte att studera förhållandena under flödestoppen. Man måste ta hänsyn till det som har föregått toppen, denna gång genom en viktning bakåt i tiden. Hur denna viktning skall göras i ett icke-linjärt system är dock inte självklart.

För beräkning av flödets orsaker i ett icke-linjärt system behandlades regnet här som ett konservativt spårämne. Andelen regn, F , i varje magasin i modellen beräknades genom en extra vattenbalanskvation för regnet. Av särskild betydelse är behandlingen av markrutinen. Denna rutin har ett betydande minne, och tillståndet däri är en konsekvens av regn, snösmältning och avdunstning under de senaste månaderna. Man skulle därför även kunna räkna med detta minne och ange orsaken till hög markfuktighet. Här betraktades dock infiltrationen i markrutinen som en förlust. Med detta resonemang blir hög markfuktighet en förutsättning för höga flöden, utan att man går in på orsakerna till varför vi har hög eller låg markfuktighet.

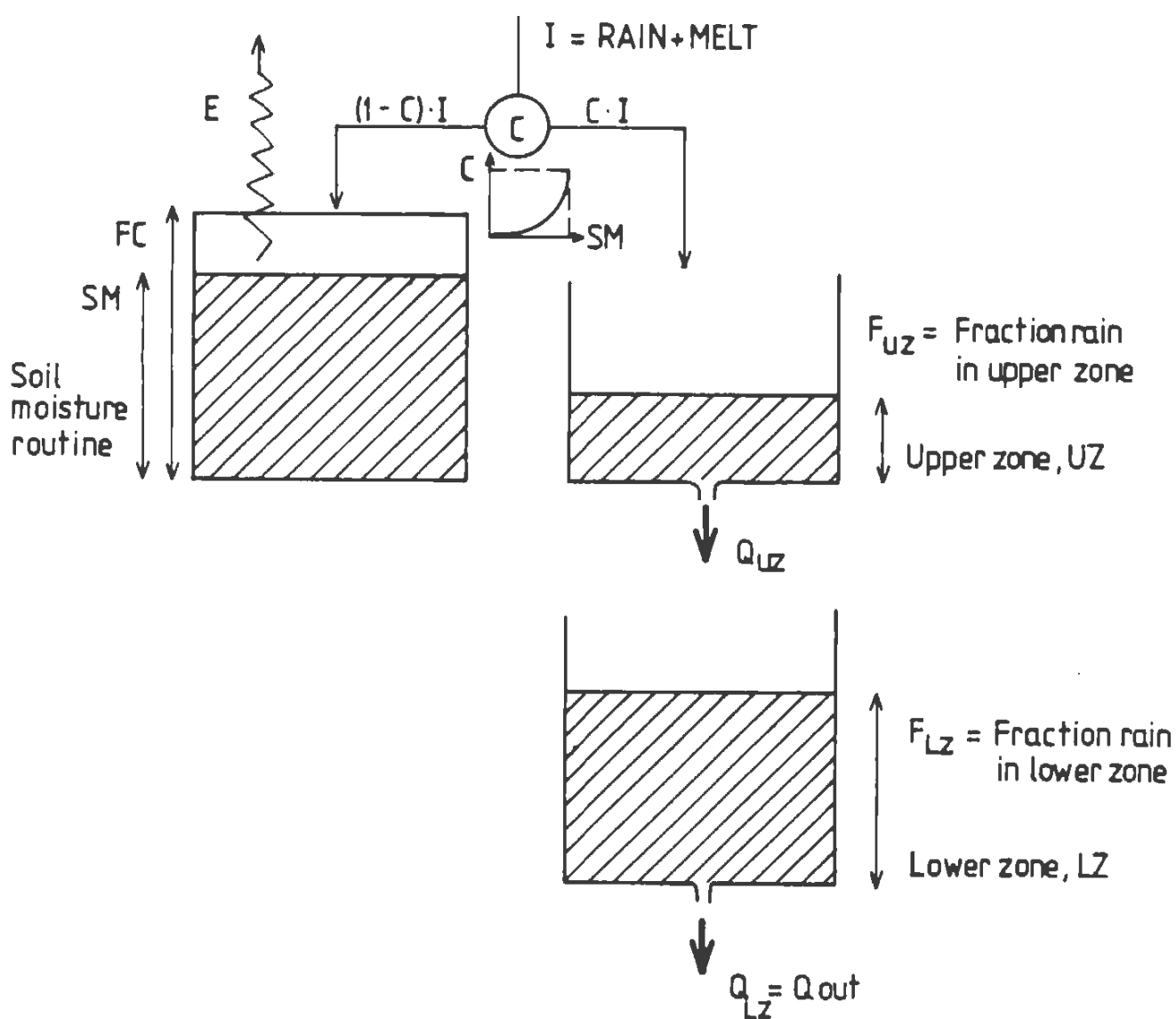
Den använda metoden innebär att man gör en dynamisk uppdelning av till hur stor del en observerad flödesrespons har utlösts av impulser av regn respektive snösmältning. Däremot kan man inte säga något om sammansättningen hos vattnet i flödet. Även om ett kraftigt regn är den utlösande faktorn till ett flöde, är andelen nytt regnvatten i bäckens vatten oftast låg (se t ex Rodhe, 1987).

HBV-modellens markrutin, responsbox och routingdel förenklades något, dels för att reducera antalet modellparametrar och dels för att förenkla beräkningen av flödesorsaker. De största skillnaderna mellan den modell, som användes här, och den normala HBV-modellen är att:

- Endast en markrutin användes för hela området, till skillnad från det normala fallet, där varje höjdzon och vegetationszon har en separat markrutin.
- Sjöarna togs bort, sjöprocenten användes enbart för beräkning av den extra avdunstning, som råder över sjöar i modellen.

- Andelen snötäckt mark beräknades för alla höjdzoner och vegetationszoner som ingångsvärde till beräkningen av avdunstningen från den gemensamma markrutinen.
- HBV-modellens responsbox, med en övre och en undre zon, ersattes med en icke-linjär box. Transformationsfunktionen (MAXBAS) ersattes med en linjär box.

I tillägg till detta användes de förenklingar i snörutinen, som beskrivs i kapitel 4 ovan. Den slutliga modellstrukturen visas i figur 5.1.



Figur 5.1. Principskiss för den förenklade modellen för beräkning av flödesorsaker.

Det antogs, att det under ett dygn åtgår lika stora andelar av regnet och snösmältningen till att fylla på markvattenhalten, d v s att avrinningskoefficienten, C , är densamma för regn och snösmältning. Denna beräknades på vanligt sätt:

$$C = (SM/FC)^B \quad (1)$$

Den icke-linjära responsbox, som användes, är en modifiering av den som testades av Lindström mfl (1990). Recessionshastigheten ökar här linjärt med magasineringen enligt:

$$Q_{UZ} = K(UZ) \cdot UZ \quad (2)$$

$$K(UZ) = K_{UZ} \cdot (1 + \alpha UZ) \quad (3)$$

där α är en modellparameter. Några områden har ett så utjämnat flödesförlopp, att MAXBAS, en koncentrationstid, har använts i HBV-modellen. Denna transformationsfunktion är linjär. För förenkling av beräkningarna approximerades den av en linjär tank, med samma medelfördröjning av flödet som MAXBAS. Detta innebär, att en parameter, K_{LZ} , tillkommer för långsamma områden:

$$Q_{LZ} = K_{LZ} \cdot LZ \quad (4)$$

$$K_{LZ} = 2/(MAXBAS-1) \quad (5)$$

I båda boxarna användes en indelning i steg under dygnet för att lösa upp transienta förlopp. Den extra vattenbalansekvationen för regnet i den övre respektive undre zonen kan skrivas:

$$\frac{d(F_{UZ} UZ)}{dt} = C_R \cdot RAIN - F_{UZ} Q_{UZ} \quad (6)$$

$$\frac{d(F_{LZ} LZ)}{dt} = F_{UZ} Q_{UZ} - F_{LZ} Q_{LZ} \quad (7)$$

Regnets bidrag till flödet sattes slutligen till F_{LZ} . Andelen regn bestämdes kontinuerligt för varje dygn under beräkningsperioden. Därigenom kunde även andelen regn under själva flödestoppen bestämmas.

HBV-modellen användes för samma områden som i kapitel 4 (tabell 4.1). Endast modeller utan indelning i delområden användes. Alla beräkningar avser oreglerade flöden. Modellparametrarna K_{UZ} och α bestämdes genom optimering av R^2 över de första 6 åren för varje område. Inga andra parametervärden justerades.

5.2 Resultat

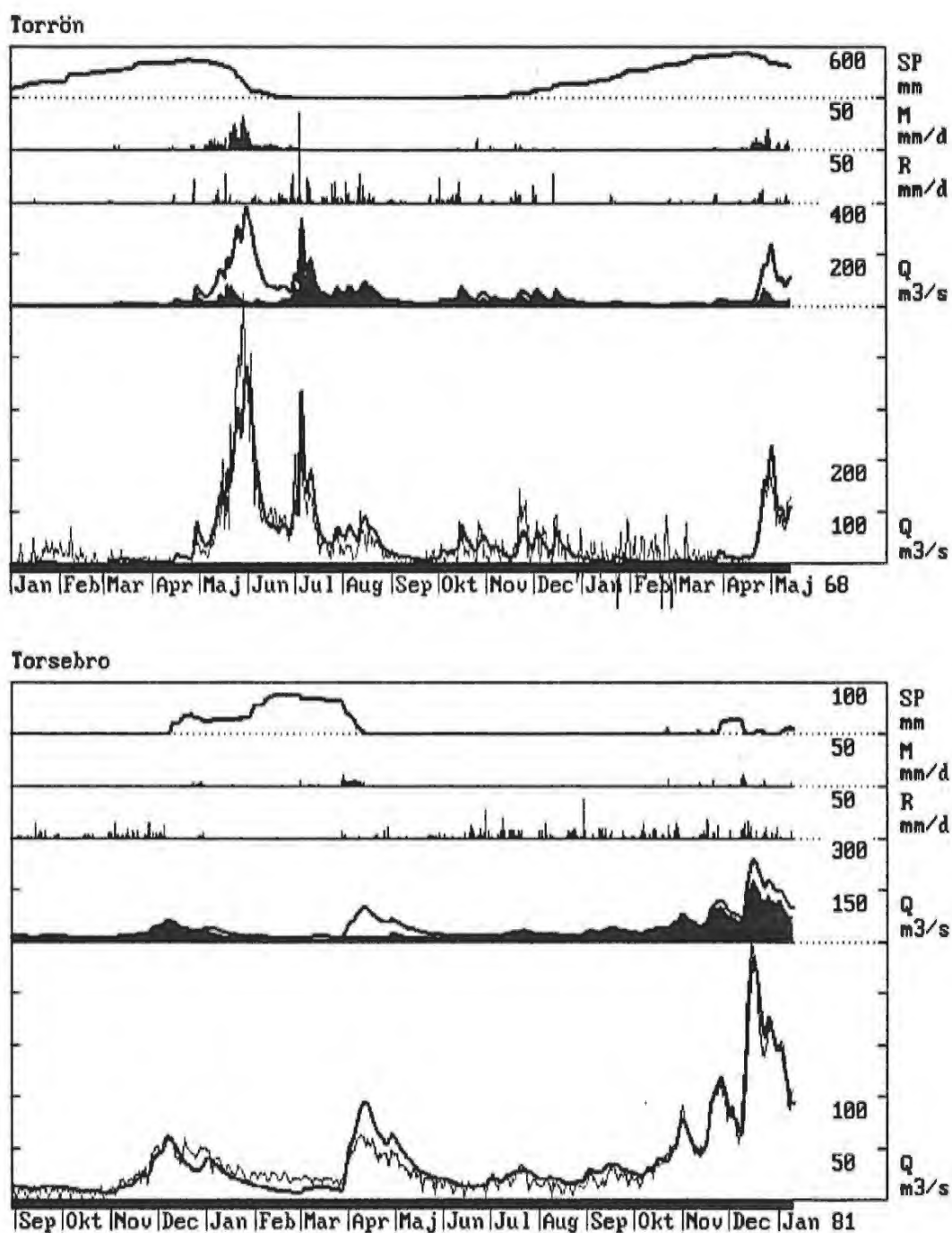
Den använda förenklingen av HBV-modellen gav goda resultat med tanke på alla de förenklingar, som gjorts. Förenklingar gentemot originalmodellen gjordes i såväl snörutin, markrutin och responsbox som transformationsfunktion. Mätt med R^2 var den använda förenklingen likvärdig med den fullständiga modellen (tabell 5.1). Förvånansvärt nog gav även en helt linjär övre responsbox ($\alpha = 0$) relativt höga R^2 -värden.

Tabell 5.1. Resultat från kalibrering av den använda modellen samt test mot den längre, till största delen oberoende, fullständiga perioden. R^2 avser medelvärden för alla 34 områdena.

Tidsperiod	R^2 med den normala HBV-modellen	R^2 med denna modell, linjär responsbox ($\alpha = 0$)	R^2 med bästa icke-linjära responsbox ($\alpha = 0.05$)
6 års kalibrering	kalibrerades ej om	0.76	0.79
Hela perioden	0.80	-	0.80

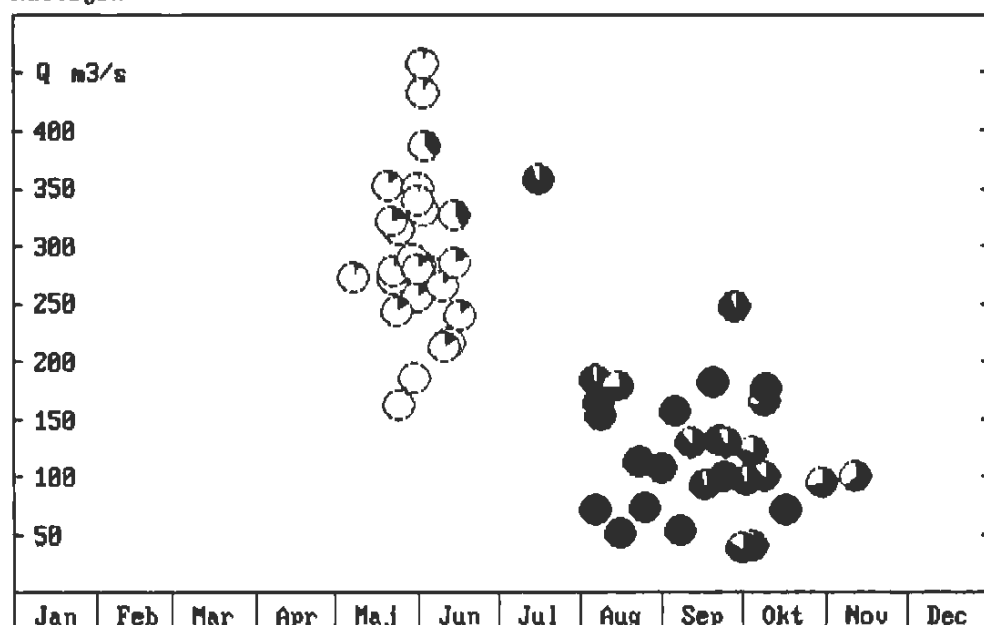
Skillnaden i R^2 -värde var liten mellan att använda samma α -värde i alla områden och att låta värdet variera från område till område. Risken för överanpassning samt arbetsinsatsen ökar, då ytterligare en parameter släpps fri. Därför valdes samma värde på α i alla områdena. För varje värde på α kalibrerades K_{UZ} om. Det högsta R^2 -värdet i genomsnitt erhöles då α sattes till 0.05. I den fortsatta analysen användes därför värdet $\alpha = 0.05$ i alla områden.

Några exempel på uppdelning i flödesorsaker visas i figur 5.2. Figuren för Torrön visar ett fall, där vårfloden följdes av ett mycket kraftigt regn. Under den mest intensiva snösmältningen en dryg månad tidigare var nederbörden däremot mycket liten. Decemberflödet 1980 i Helgeån vid Torsebro är det högsta uppmätta där sedan mätningarna påbörjades 1908. Det orsakade stora problem. Analysen visar att flödet till största delen var ett regnflöde, men med ett litet snösmältningsbidrag överlagrat. I figur 5.3 visas orsakerna till de högsta flödena före och efter 1 augusti för Kultsjön och Simlängen. Figur 5.4 visar hur det högsta flödet för varje år orsakades i 2 områden med långa serier: Stadarforsen i Västerdalälven och Blankaström i Emån. Andelen regn i det största uppmätta flödet för varje område visas i figur 5.5. I praktiskt taget alla områden var det allra högsta flödet ett vårflöde. Ett undantag från detta är t ex septemberflödet 1985 i Vässinjärvi. Tabell 5.2 sammanfattar resultaten för alla områdena. Figur 5.6 visar orsaken till de högsta flödena under perioden i alla områden i Dalälven och norrut. I figuren har flödena delats in i 3 grupper: snösmältningsflöden (regnandel $< 1/3$), kombinationsflöden ($1/3 \leq \text{regnandel} \leq 2/3$) och regnflöden (regnandel $> 2/3$).

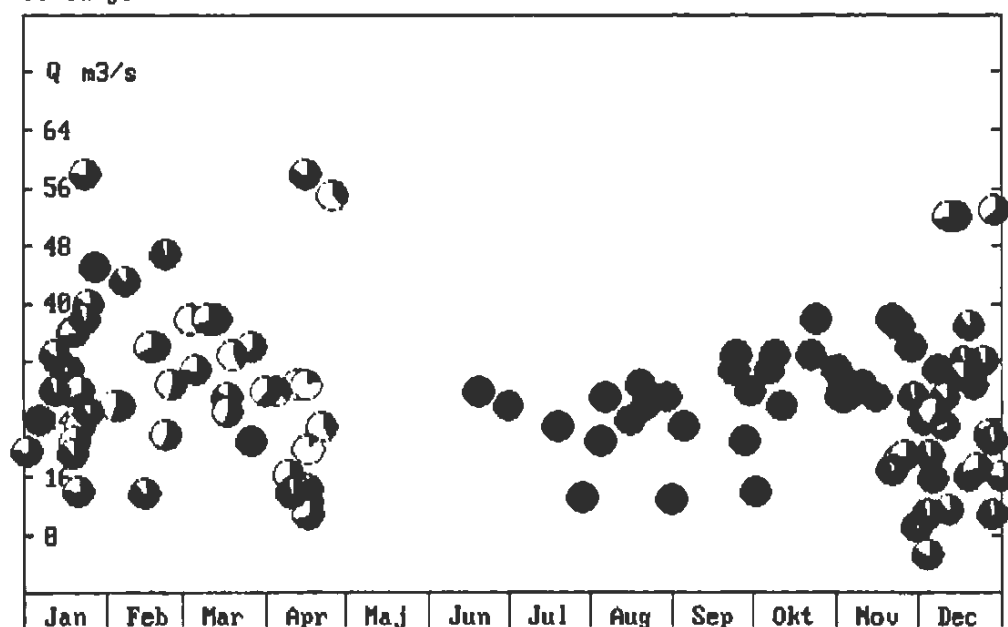


Figur 5.2. Uppdelning av flödet i bidrag från regn (svart del) och snösmältning (vit del) för Torrön (Indalsälven) och Torsebro (Helgeån). SP = snötäcke, M = snösmältning, R = regn, Q = vattenföring. Nederst i figurerna visas den beräknade (tjock kurva) och uppmätta (tunn kurva) vattenföringen.

Kultsjön



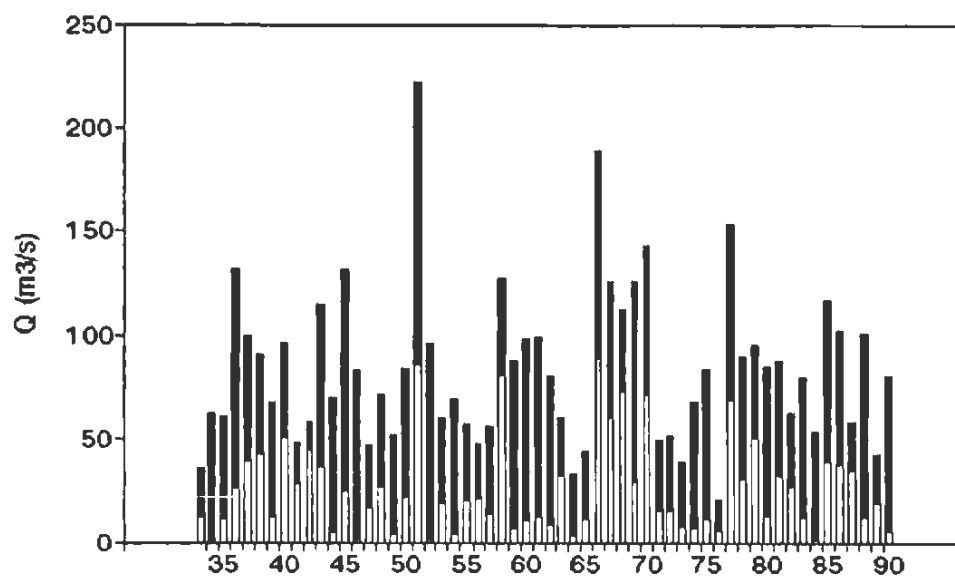
Simlångan



Figur 5.3. Orsaken till flödestoppen för varje år, både före och efter 1 augusti i 2 utvalda områden med långa serier: Kultsjön (Ångermanälven) och Simlångan (Fylleån i Halland). Flödets storlek och tid på året visas, samt andelen snösmältning (vit del av cirkeln), och andelen regn (svart del av cirkeln).

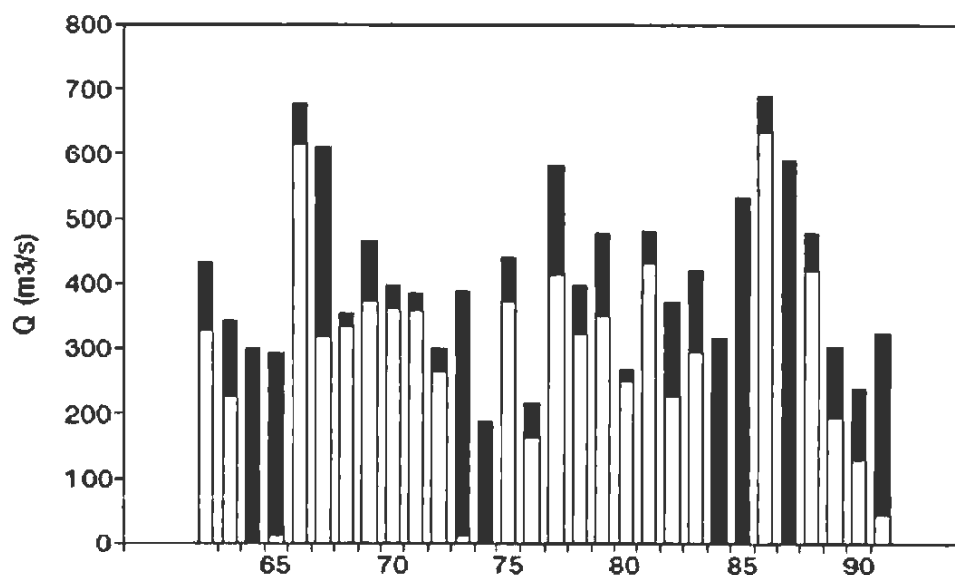
Regn och snösmältning i flödestoppen

Blankaström, 1933-1990

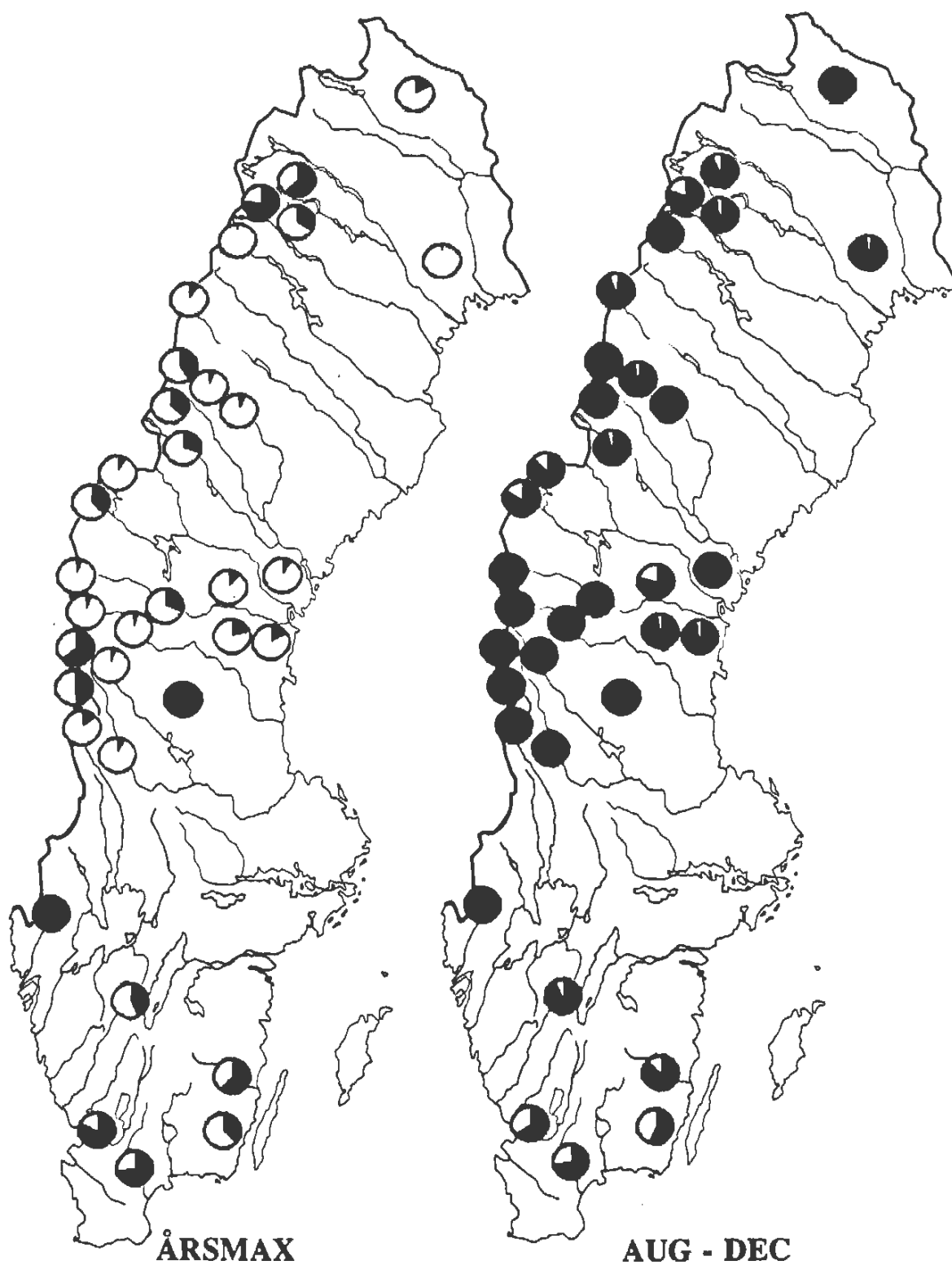


Regn och snösmältning i flödestoppen

Stadarforsen, 1962-1991



Figur 5.4. Orsaken till flödestoppen för varje år i 2 utvalda områden med långa serier: Blankaström (Emån) och Stadarforsen (Dalälven). Andelen snösmältning (vit del av stapeln), och andelen regn (svart del av stapeln) visas.



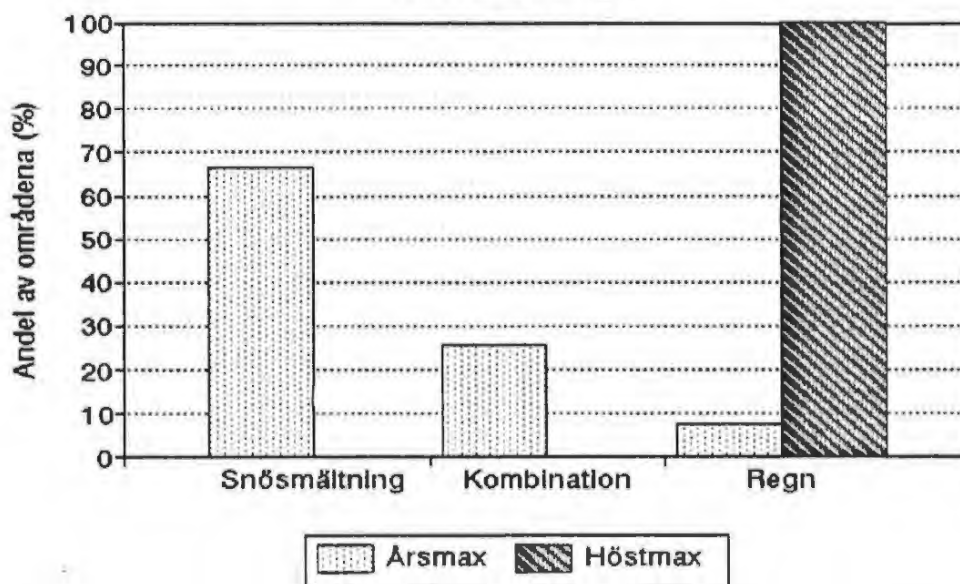
Figur 5.5. Orsaken till största flödestoppen för samtliga studerade områden. Andelen snösmältning (vit del av cirkeln), och andelen regn (svart del av cirkeln) visas, dels för årsmax, och dels efter 1 augusti.

Tabell 5.2. Andel regn som orsak till flödestoppen. Andelen anges dels för högsta flödet under dret, våren (före 1 augusti) och hösten (från 1 augusti), och dels medelvärdet av andelen för alla årsmax, vårmx och höstmax.

Område	Maxflödet			Medel		
	År	Vår	Höst	År	Vår	Höst
Lannavaara	18	18	100	12	12	90
Ytterholmen	2	2	98	7	7	89
Litnok	63	63	94	36	34	79
Niavve	76	76	81	42	36	86
Karats	36	36	97	34	24	81
Sädvajaure	2	2	100	17	17	83
Överuman	10	10	94	36	16	94
Ransaren	42	42	99	14	14	90
Kultsjön	7	7	98	15	15	92
Malgomaj	8	8	100	29	26	93
Borgasjön	37	37	100	19	19	97
Ströms Vattudal	31	31	96	27	21	90
Torrön	8	8	87	30	24	91
Anjan	39	39	84	28	25	94
Sillre	9	9	99	17	17	90
Havern	31	31	100	25	21	94
Torpshammar	11	11	80	34	31	72
Hassela	17	17	97	24	21	91
Brännås	21	21	97	24	21	94
Ljusnedal	6	6	100	15	15	91
Tännaldalen	6	6	100	14	14	95
Sveg	5	5	100	31	21	98
Trängslet	5	5	100	29	23	96
Vässinjärvi	100	6	100	24	15	92
Ersbo	49	49	100	36	26	96
Fulunäs	64	64	100	41	30	99
Stadarforsen	8	8	100	42	29	94
Blankaström	61	61	89	71	66	91
Källstorp	38	38	57	54	53	83
Torsebro	73	36	73	67	63	89
Simlängen	82	82	65	82	73	93
Höljes	15	15	100	24	24	94
Moholm	44	44	93	64	56	88
Krokfors kvarn	99	99	99	80	57	94
Medel	33	29	93	34	28	91

Orsaken till högsta flödet

Norra Sverige



Figur 5.6. Orsaken till största flödet under hela beräkningsperioden för alla områden norr om och i Dalälven. Flödena har delats in i 3 grupper: snösmältningsflöden (regnandel < 1/3), kombinationsflöden ($1/3 \leq \text{regnandel} < 2/3$) och regnflöden (regnandel $\geq 2/3$).

5.3 Slutsatser

En metod för kvantifiering av andelen regn och snösmältning som utlösande orsak till flöden har utvecklats. Resultaten visar att de högsta flödena i oreglerade vattendrag i Norrland normalt byggs upp av i första hand snösmältning. En mindre del av flödena kan kallas kombinationsflöden, och en ännu mindre andel domineras av regn. Den förhållandevis ringa betydelsen av regn i samband med vårfloden stämmer överens med resultaten i föregående avsnitt, d v s att extremt regn och hög snösmältning på våren sällan inträffar samtidigt. Höstflödena, som vanligtvis är lägre, domineras dock av regn. För södra Sverige är det studerade materialet mycket litet. I de där studerade områdena uppstår de högsta flödena oftast genom kombinationer av regn och snösmältning, med en liten övervikt för regn. De högsta flödena uppträder vanligen under vintern.

Extremflöden kan orsakas av ren snösmältning, rent regn eller genom kombinationer av dessa två. I Norge tycks regn vara en viktigare faktor än i Sverige (se t ex Mörk, 1989 eller Beldring m fl, 1989). Andelen regn är inte större i de högsta flödena i en observationsserie än i vanliga maxima för året. Ett flöde byggs emellertid upp under en viss tid, som beror på områdets tröghet, från t ex några dagar till några veckor. Det är ovanligt att det under en så lång period på våren inte kommer något regn alls. Därför får man nästan alltid ett visst regnbidrag även under vårflöden, som domineras av snösmältning.

6. ÅTERKOMSTTIDEN FÖR DE DIMENSIONERANDE FLÖDENA

6.1 Begreppet återkomsttid

En central, men inte helt besvarad fråga, är vilken risknivå, som de nya dimensionerande flödena innebär. Man vill naturligtvis undvika både oförsvarligt höga risker och onödigt dyra investeringar. Att beräkna återkomsttiden för så höga flöden är dessvärre i det närmaste omöjligt. I USA ansåg t ex U.S. Department of Commerce (1986) att "It is not within the state of the art to calculate the probability of PMF-scale floods within definable confidence or error bounds". I flera länder diskuteras emellertid rimligheten i de dimensionerande flöden, som erhålls med PMF-beräkningar, se t ex Lave et al. (1990). Återkomsttiden för de svenska flödena har av bl a Bergström m fl (1989) angetts till bortom 10 000 år, men utan närmare angivelse. Harlin (1989) fann emellertid att de dimensionerande vattenstånden i Siljan troligen hade kortare återkomsttid.

Om nu flödena trots allt skulle ha en återkomsttid bortom 10 000 år, hur långt bortom är det i så fall? Är återkomsttiden 15 000, 20 000 eller rent av 100 000 år, och vad innebär det i så fall? Hur mycket större är till exempel ett flöde med 20 000 års återkomsttid än ett med 10 000 års återkomsttid? Man kan ta fram en enkel tumregel ur Gumbel-fördelningen, som är mycket vanlig i sammanhanget. Den kan skrivas:

$$1 - \frac{1}{T} = \exp \left[-\exp \left(-\frac{Q_T - u}{\alpha} \right) \right] \quad (8)$$

där u och α är modellens två parametrar, och Q_T är flödet med återkomsttiden T år. Detta uttryck kan för långa återkomsttider väl approximeras av sambandet

$$T = \exp \left(\frac{Q_T - u}{\alpha} \right) \quad (9)$$

Om vi t ex dubblar ett visst flöde Q får vi ett nytt flöde $2Q$ med återkomsttiden:

$$T_{2Q} = \exp \left(\frac{2Q - u}{\alpha} \right) = \exp(Q/\alpha + Q/\alpha - u/\alpha + u/\alpha - u/\alpha) \quad (10)$$

$$= \left[\exp \left(\frac{Q - u}{\alpha} \right) \right]^2 \exp(u/\alpha) = \exp(u/\alpha) (T_Q)^2 \quad (11)$$

Faktorn $\exp(u/\alpha)$ är alltid större än 1, oftast mycket större, eftersom parametrarna u och α alltid är positiva. Resultatet blir alltså att

$$T_{2Q} > (T_Q)^2 \quad (12)$$

Sambandet ovan härleddes av Gumbel (1958), och användandet av denna "kokboks-metod" föreslogs så sent som av Mimikou (1984). Relationen ovan kan generaliseras till en valfri faktor A , vilket ger:

$$T_{AQ} > (T_Q)^A \quad (13)$$

Med hjälp av denna relation kan vi nu återgå till frågan om hur mycket större ett 20 000-årsflöde är än ett med 10 000 års återkomsttid:

$$20\,000 > 10\,000^A \quad (14)$$

$$A < 1.08 \quad (15)$$

I ord blir alltså effekten en ökning av flödet med mindre än 8 %. Flödet ökar ungefär logaritmiskt med återkomsttiden enligt denna grova modell.

6.2 Metodik och data

Ett antal olika metoder användes för uppskattning av återkomsttiden för de dimensionerande flödena. Det är inte troligt att det dimensionerande flödet har exakt samma återkomsttid i alla områdena. En spridning i resultatet, d v s en fördelning, fås. Denna kan beskrivas med hjälp av medianvärdet eller det geometriska medelvärdet. Att beräkna det vanliga, aritmetiska medelvärdet är i det här sammanhanget meningslöst, eftersom enstaka uppskattningar med lång återkomsttid helt slår igenom. Ytterligare en möjlighet är att medelvärdet av sannolikhetema beräknas. Det sistnämnda måttet är dock mer svårtolkat.

Metod 1 - Kokboksmetoden

Ett enkelt och frestande sätt att analysera de uppmätta kvoterna i tabell 2.1 är att använda en stationsårsmetod. Om man byter ut tid mot rum, skulle man alltså få tillgång till mer än 2000 år, och det högsta uppmätta flödet skulle ha en återkomsttid i storleksordningen 2000 år. För att detta skall vara tillåtet måste observationerna dock vara oberoende. Så är inte fallet. Man använder ju samma år om igen. Text innehöll 27 stationer i norra Sverige ungefär lika mycket oberoende information som 4 helt okorrelerade stationer (Lindström, 1993).

I stället för en ren stationsårsmetod tillämpades kokboksmetoden ovan direkt på resultaten i tabell 2.1 enligt

$$T_{DIMQ} = T_k \cdot HHQ \geq (T_{HHQ})^k \approx (N + 1)^k \quad (16)$$

där N = antalet observationsår, och k = kvoten mellan det dimensionerande och det högsta uppmätta flödet. Här används alltså Weibulls plottningsposition som uppskattning av återkomsttiden för det högsta uppmätta flödet, enligt Gumbels (1958) rekommendationer. Utmärkande för metoden är att man enbart koncentrerar sig på de allra högsta uppmätta flödena, och inte på ett värde för varje år som i traditionell frekvensanalys. Beräkningen underlättas av att man inte behöver tillgång till hela observationsserien.

Därigenom kan ett större material användas. Metoden tillämpades på varje enskild kvot i tabell 2.1 för vår och höst.

Förutom återkomsttiden för de dimensionerande flödena så är den samlade risken för att någon damm i landet skall rasa inom en viss tidsperiod av intresse. En sådan tidsperiod kan till exempel vara de närmsta 100 åren. Kokboksmetoden kan användas för en mycket grov uppskattning av de högsta flödena som man kan förväntas uppleva under en period av 100 år (Q_{100}), baserat på de flöden som vi har upplevt under en mätperiod av N år. Återkomsttiden för det högsta uppmätta flödet (Q_N) är ungefär N år, jämför ovan. Utan att extrapolera till extremt långa återkomsttider kan vi till exempel grovt beräkna 100-årsflöden ur kokboksrelationen:

$$100 \approx N^{[Q_{100}/Q_N]} \quad (17)$$

$$Q_{100} \approx \frac{\ln 100}{\ln N} \cdot Q_N \quad (18)$$

Med hjälp av detta uttryck kan ett förväntat högsta flöde på 100 år alltså grovt uppskattas för varje station, baserat på det högsta uppmätta under N år.

Metod 2 - Frekvensanalys

Åtskilliga studier har gjorts av lämpligheten hos olika statistiska fördelningar för extremvärdesanalys. Det har visat sig mycket svårt att bestämma vilken typ, som skulle vara den mest lämpliga. För svenska förhållanden har bl.a. Gottschalk (1983) och Lindström (1993) kommit fram till att tvåparameterfördelningar är lika användbara som fördelningar med tre parametrar. Däremot var det svårt att rangordna fördelningarna. Återkomsttiden för de dimensionerande flödena (tabell 2.1) för Q -stationer, där det finns långa serier att tillgå, beräknades därför enligt ett antal olika fördelningar och metoder för parameteranpassning. I den stationsvisa frekvensanalysen användes: Gumbel (moment, maximum likelihood och probability weighted moments, PWM), Lognormal (moment och maximum likelihood), Gamma (moment), "Exponential-peak over threshold" (moment) och "General Extreme Value" (PWM). De flesta metoderna beskrivs i normala läroböcker i statistisk hydrologi, utförligare referenser finns hos Lindström (1993).

I den ovan nämnda jämförelsen mellan olika metoder för frekvensanalys gav inte regionala metoder bättre resultat än de vanliga stationsvisa metoderna (Lindström, 1993). För fullständighetens skull testades dock två regionala metoder: Gumbel-fördelning med regional variationskoefficient (Nash and Shaw, 1966) och "Regional General Extreme Value/PWM" (Greis and Wood, 1981, och Hosking m fl, 1985). Sverige delades in i de regioner, som föreslogs av Gottschalk (1985).

Metod 3 - Flödets återkomsttid ur nederbördens återkomsttid

I princip skulle återkomsttiden kunna bestämmas utifrån antingen observerade flöden eller observerad nederbörd (NRC, 1988). Fördelen med att utgå från nederbörden anses

vara att den är lättare att regionalisera än vad flödena är. Metoden används i stor utsträckning vid dimensionering inom urban hydrologi. Enligt NRC har nederbördens återkomsttid utnyttjats mycket lite för bestämning av flöden med återkomsttider, som överstiger 100 år, och nästan inte alls i områden, där flöden även kan orsakas av snösmältning.

Det är mycket frestande att resonera utifrån sannolikheten för den dimensionerande nederbördsmängden på 24 timmar. Denna uppskattades av Vedin och Eriksson (1988) till någonstans i storleksordningen 10 000 år. Detta regn kombineras sedan i en dimensioneringsberäkning bland annat med ett 30-årigt snötäcke. Avsmältningen beräknas med hjälp av minst 10 klimatår, och det värsta året väljs ut. Om alla dessa faktorer antas oberoende, vilket den tidigare analysen i och för sig pekar på att de knappast är, skulle man kunna beräkna en återkomsttid T :

$$T = 10\,000 \cdot 30 \cdot 10 = 3 \cdot 10^6 \quad (19)$$

Ett viktigt fel är emellertid, att faktorerna har olika stor betydelse för flödesutvecklingen. Den erhållna återkomsttiden avser en viss händelse. Men det kan finnas en annan händelse, som är mindre osannolik men orsakar ett högre flöde. Ett tioårsflöde orsakas till exempel normalt inte av en intensiv åskskur, som i genomsnitt uppträder var tionde sommar, utan troligen av snösmältning på våren.

Ett antal enkla beräkningar gjordes för att undersöka möjligheten av att tillämpa denna metod. Återkomsttiden för det största dygnsregnet under hela observationsperioden bestämdes med hjälp av Gumbelfördelningen och momentmetoden. Det högsta flöde som inträffade inom en vecka från detta regn extraherades, och återkomsttiden för detta flöde bestämdes på samma sätt. Detta gjordes för alla områden i tabell 4.1, dels för årsmax och dels för hösten (efter 1 augusti).

6.3 Resultat och diskussion

Metod 1 - Kokboksmetoden

Både vår- och höstflödena befanns ha återkomsttider på i genomsnitt runt eller över 10 000 år (tabell 6.1). Det bör påpekas att metoden i sig innehåller ett moment, som bör underskatta återkomsttiden. Då endast de längsta observationsserierna med mer än 50 år användes, erhöles ännu längre uppskattningar av återkomsttiden.

Figur 6.1 visar att det inte är särskilt troligt att det dimensionerande vårflödet skall uppnås under de närmsta 50 eller 100 åren i något av de områden som analyserats. För hösten däremot tyder analysen på att något flöde i samma storleksordning som det dimensionerande för hösten kan inträffa. Detta beror dock på inverkan från den korta mätserien med hög uppmätt kvot i Vässinjärvi. Man skall också ha i minnet att vårflödet oftast är dimensionerande, så att enstaka höga höstflöden inte nödvändigtvis behöver vara så kritiska.

Tabell 6.1. Resultat från metod 1. Det geometriska medelvärdet av alla beräknade återkomsttider anges i tusentals år.

Antalet	Vår		Höst	
Observationsserier	Medelkvot	Återkomsttid (tusen år)	Medelkvot	Återkomsttid (tusen år)
Alla	0.43	9	0.40	28
Minst 50	0.46	17	0.43	45

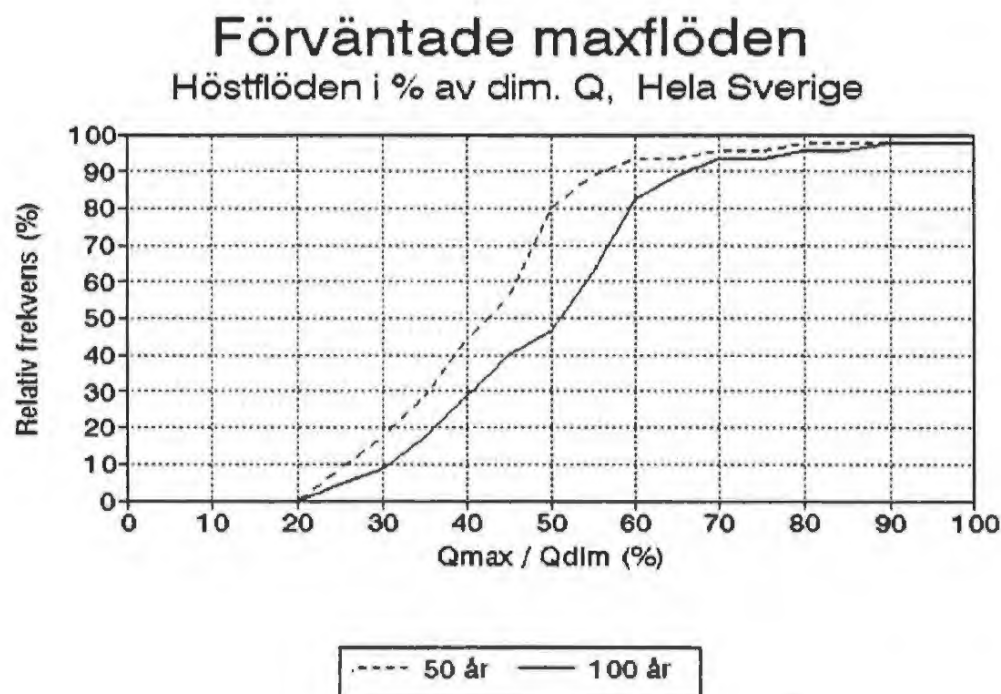
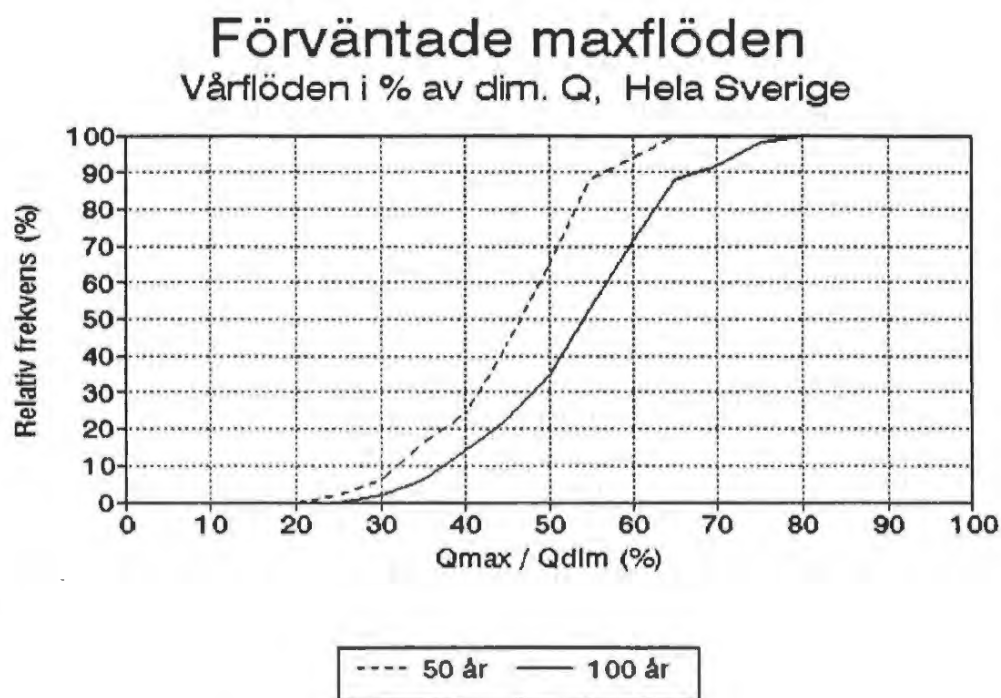
Metod 2 - Frekvensanalys

Resultaten från frekvensanalysen redovisas i tabell 6.2 och figur 6.2. I flera fall anges inget resultat, oftast beroende på numeriska problem vid beräkningen av de mycket små sannolikheter, som erhöles för vissa stationer. En av fördelningarna, GEV, kan med vissa parameteruppsättningar ha en övre gräns, över vilken sannolikheten är noll. Vid tillämpningen av GEV-fördelningen låg det dimensionerande flödet i flera områden över denna övre gräns. I dessa fall anges ingen återkomsttid i resultaten. Den regionala analysen, slutligen, gjordes enbart där det fanns minst två områden i en region.

En stor spridning i återkomsttid fås. Cirka 20 % av beräkningarna tyder på återkomsttider, som understiger 10 000 år. Det stora flertalet ligger dock långt bortom 10 000 år. Medianvärdet ligger på drygt 100 000 år. De geometriska medelvärdena är för våren ca 250 000 år och för hösten ca 500 000 år. Att beräkna det vanliga, aritmetiska medelvärdet är i det här sammanhanget meningslöst, eftersom enstaka uppskattningar med lång återkomsttid slår igenom. Det bör påpekas, att fördelningen av resultat är aningen snedvriden, eftersom vissa långa återkomsttider fallit bort på grund av de ovan nämnda numeriska problemen.

Metod 3 - Flödets återkomsttid ur nederbördens återkomsttid

Figur 6.3 illustrerar tydligt hur svårt det är att utgå från den dimensionerande nederbördens återkomsttid för att uppskatta flödets återkomsttid. Inte ens för höstflöden finns det något enkelt samband mellan återkomsttiderna för nederbörden och flödet. När det gäller årsmax visar figuren att de flöden som uppkommer av de högsta regnen nästan alltid överträffas av högre flöden varje vår. Det enda undantaget är Vässinjärvi. Iakttagelsen om att extrema regn sällan orsakar de mest extrema flödena, stämmer väl med resultaten i kapitel 5 som illustrerade snöns betydelse för uppkomsten av höga flöden i oreglerade vattendrag. Vilket flöde som uppstår av ett visst regn styrs förutom av nederbörds mängden också av den rådande hydrologiska situationen.



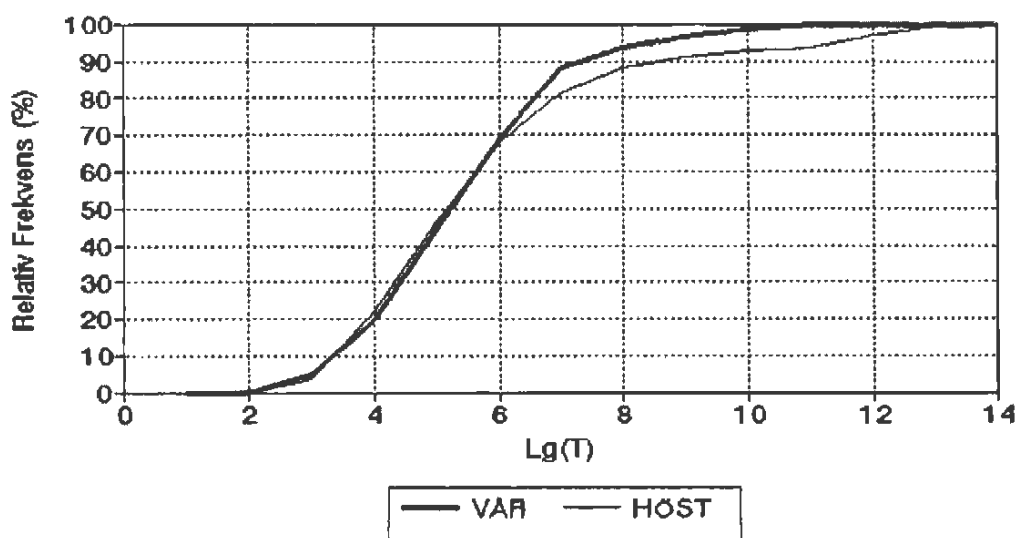
Figur 6.1. Fördelning av förväntade högsta flöden under 50 respektive 100 år i % av det dimensionerande flödet för våren och hösten. Uppskattning mha metod 1 - kokboksmetoden.

Tabell 6.2. Logaritmen för den beräknade återkomsttiden enligt frekvensanalysen för våren (överst) och hösten (nederst).

Våren Område	Region	GUM MOM	GUM ML	GUM PWM	LN2 MOM	LN2 ML	GEV PWM	GAM MOM	EXP MOM	GUM REG	GEV REG
Lannavaara	-	6.2	5.6	5.8	5.6	5.7	-	-	6.3	-	-
Ytterholmen	C	9.2	7.1	8.9	-	-	-	-	-	6.4	-
Virihaure	A1	6.9	6.6	6.2	-	-	-	-	6.3	5.8	-
Niavve	A1	5.2	4.6	4.8	5.6	5.6	-	-	4.6	5.6	-
Karats	A1	5.4	4.6	5.0	5.1	5.2	-	-	5.6	6.3	-
Sikfors krv	-	6.6	6.2	6.2	-	-	-	-	6.0	-	-
Solberg	A1	7.0	5.5	6.5	-	-	-	-	-	6.5	-
Ankarvattnet	A2	5.8	5.7	5.5	-	-	5.0	-	5.2	5.4	5.3
Äcklingen	A2	7.2	6.7	7.2	-	-	-	-	-	7.7	-
Hassela	C	8.2	8.1	7.8	4.8	4.8	-	-	6.4	10.7	-
Ljusnedal	B2	7.2	6.2	6.8	-	-	-	-	-	5.5	5.5
Tännålen	B2	4.5	4.4	4.3	5.1	5.1	4.4	6.6	3.9	4.3	4.3
Ersbo	B2	3.4	3.7	3.4	3.6	3.6	2.7	4.4	3.0	4.0	4.0
Fulunäs	B2	4.3	4.1	4.2	4.2	4.2	5.6	6.0	4.1	4.8	4.7
Hammarby	-	5.0	5.7	5.2	3.8	3.8	3.5	5.6	4.6	-	-
Blankaström	C2	6.3	7.3	6.4	4.4	4.4	3.5	6.9	4.8	7.3	3.9
Källstorp	D1	4.7	5.2	4.7	3.0	3.0	3.4	4.9	3.8	-	-
Torsebro krv	C2	8.7	9.1	8.5	6.6	6.7	6.0	-	-	7.3	3.9
Simlängen	D2	5.0	6.0	5.2	4.3	4.3	3.0	5.8	3.9	5.1	3.1
Gårdsilt	D2	5.3	6.3	5.5	4.6	4.6	3.2	6.1	4.4	5.2	3.1
Moholm	-	6.6	7.0	6.6	3.8	3.8	4.6	-	5.4	-	-

Hösten Område	Region	GUM MOM	GUM ML	GUM PWM	LN2 MOM	LN2 ML	GEV PWM	GAM MOM	EXP MOM	GUM REG	GEV REG
Lannavaara	-	11.1	12.2	11.2	5.7	5.9	6.2	-	-	-	-
Ytterholmen	C	9.2	11.1	9.8	4.0	4.0	4.3	-	-	9.8	5.2
Virihaure	A1	8.8	8.6	8.3	-	-	-	-	-	5.5	4.3
Niavve	A1	6.6	7.2	6.6	4.8	4.9	4.2	-	5.7	8.1	5.8
Karats	A1	5.7	6.3	5.7	4.1	4.1	3.6	6.5	4.5	7.5	5.5
Sikfors krv	-	3.6	3.5	3.5	3.3	3.3	3.6	4.5	3.3	-	-
Solberg	A1	12.5	11.6	12.0	-	-	-	-	-	10.3	6.7
Ankarvattnet	A2	6.1	6.7	6.2	5.1	5.1	4.2	-	5.5	6.0	3.5
Äcklingen	A2	5.3	6.1	5.4	4.5	4.6	3.2	6.4	3.8	5.4	3.3
Hassela	C	12.8	13.5	12.7	4.3	4.4	-	-	-	11.9	5.7
Ljusnedal	B2	6.9	8.0	7.4	4.8	4.8	4.7	-	-	7.6	6.5
Tännålen	B2	7.6	8.2	7.7	4.7	4.7	5.2	-	6.4	7.9	6.7
Ersbo	B2	4.6	4.5	4.5	2.9	3.0	4.1	5.4	3.9	4.2	3.9
Fulunäs	B2	4.8	4.6	4.7	2.9	2.9	-	5.7	4.9	4.5	4.2
Hammarby	-	4.0	3.6	3.8	2.5	2.5	-	4.8	3.7	-	-
Blankaström	C2	5.8	5.8	5.5	3.5	3.6	6.3	6.6	5.2	6.6	-
Källstorp	D1	5.3	6.1	5.4	3.5	3.5	3.3	5.5	4.0	-	-
Torsebro krv	C2	5.5	5.3	5.3	4.5	4.5	-	-	5.2	4.7	5.3
Simlängen	D2	4.5	3.9	4.4	3.8	3.8	-	6.2	4.9	4.6	-
Gårdsilt	D2	5.4	4.6	5.3	4.8	4.8	-	-	5.4	5.2	-
Moholm	-	7.3	7.2	7.2	3.8	3.9	6.9	-	6.9	-	-

Fördelning av återkomsttider Metod 2



Figur 6.2. Fördelningen av återkomsttider, T , enligt frekvensanalysen (metod 2).

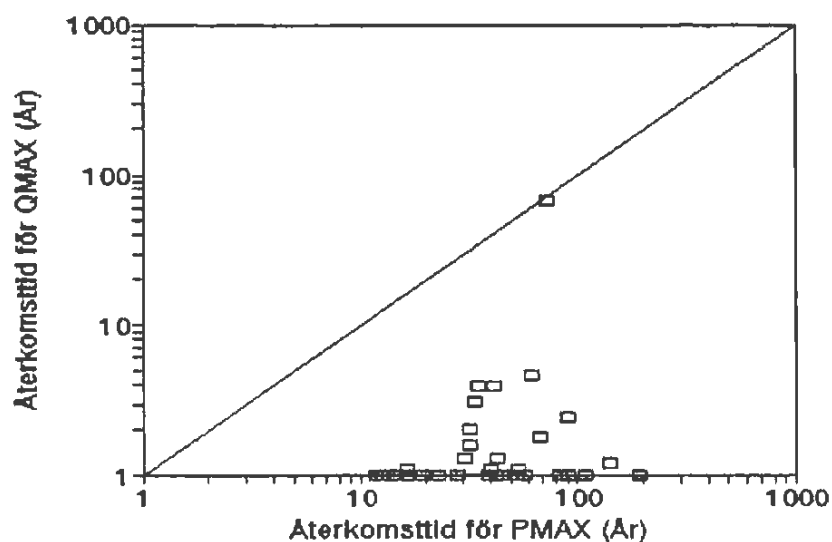
6.4 Slutsatser

Det är mycket svårt att beräkna återkomsttiden för de dimensionerande flödena med någon större precision. Vid användning av frekvensanalys är det största problemen att vi inte vet vilken fördelning som skall användas. Valet av metod för bestämning av fördelningens parametrar har mindre betydelse. Det är inte troligt att de dimensionerande flödena innebär exakt samma säkerhetsmarginal i alla områden. Därför kan vi inte heller kombinera alla områden och göra en säkrare uppskattning av återkomsttiden som ett medelvärde av alla bestämningar. Det är även svårt att bestämma de dimensionerande flödenas återkomsttid genom att utgå från återkomsttiden för det dimensionerande regnet på ett dygn. Detta beror på att regnets återkomsttid ej är känd och att de högsta flödena i landet ofta orsakas av snösmältning eller långvarigt regn.

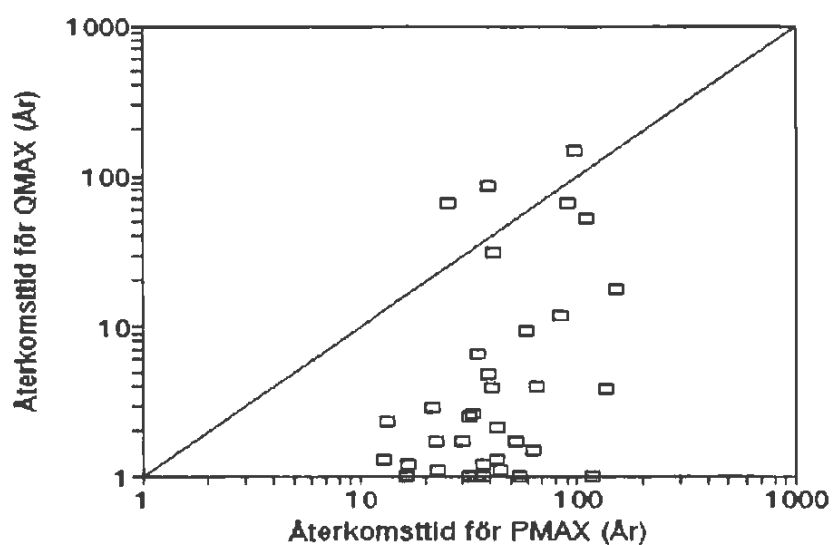
Det mesta talar dock för att återkomsttiden överstiger 10 000 år med god marginal i de flesta områdena. I hälften av områdena pekar resultaten på att återkomsttiden skulle ligga bortom 100 000 år. Risken för att ett flöde i samma storleksordning som det dimensionerande flödet skall uppträda någonstans i landet under en period om 100 år, bör vara mycket liten.

Säkerhetsmarginalen, eller återkomsttiden, tycks ligga på ungefär samma nivå för våren som för hösten. En ytterligare säkerhetsmarginal på hösten är att alla magasin antas ligga vid dämningssgräns. I verkligheten kan man ofta ha en viss buffert tillgänglig när en hög tillrinning inträffar.

Återkomsttid för P och Q QMAX som orsakas av PMAX - Hela året



Återkomsttid för P och Q QMAX som orsakas av PMAX - Hösten



Figur 6.3. Återkomsttiden för det högsta flödet (QMAX) inom en vecka från den högsta nederbörden under ett dygn, avsatt mot återkomsttiden för denna nederbördsmängd (PMAX). Förhållandena visas dels för årsmåx (överst) och dels för hösten, efter 1 augusti (nederst).

7. UPPDATERING AV MODELLBERÄKNADE ÅRLIGA SNÖTÄCKEN VID FREKVENSPANALYS AV 30-ÅRSSNÖTÄCKET

7.1 Bakgrund och syfte

Känslighetsanalyser av de olika ingående beräkningsförutsättningarna och beräkningsstegen vid tillämpningen av de av Flödeskommittén föreslagna riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar (Flödeskommittén, 1990) har visat, att de två viktigaste faktorerna för den dimensionerande vattenståndsutvecklingen är nederbördssekvensen och 30-årssnötäcket (jfr Harlin, Lindström, Sundby och Brandesten, 1992, samt Harlin, 1992).

Beräkningen av 30-årssnön baseras på årliga maxsnötäcken från en inledande modellsimulering över en lång dataperiod. Denna metodik medför således att 30-årssnön är beroende av den valda modellen och av hur denna har kalibrerats. Kalibrering av modellen är ett subjektivt moment och leder därmed till osäkerheter i resultatet.

Syftet med denna studie är att utreda effekten av modellkalibrering på frekvensanalys av 30-årssnön samt att studera om uppdatering av de årliga snötäcket mot observerad vårflod före frekvensanalysen kan minska kalibreringsberoendet i beräkningen.

7.2 Metodik och data

Två områden studerades, nämligen Torrön (1 370 km²) i Indalsälven och Trängslet (4 483 km²) i Österdalälven. HBV-modellen kalibrerades för dessa områden på tre olika sätt. Till att börja med kalibrerades modellen manuellt. Sedan gjordes automatisk kalibrering enligt POC-metoden (Harlin, 1991) och med Powells (1964) metod. Metoderna gav tre olika parameteruppsättningar, samtliga med god modellanpassning. Tabell 7.1 visar modellens prestanda för de tre olika kalibreringsmetoderna uttryckt med anpassningskriteriet R² (Nash och Sutcliffe, 1970) och med det procentuella volymsfelet VE. R² och VE beräknades enligt ekvationerna:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_m(i) - Q_o(i))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o(i) - \bar{Q}_o)^2} \quad (20)$$

$$VE = 100 \cdot \frac{|\sum_{i=1}^n Q_m(i) - Q_o(i)|}{\sum_{i=1}^n Q_o(i)} \quad (21)$$

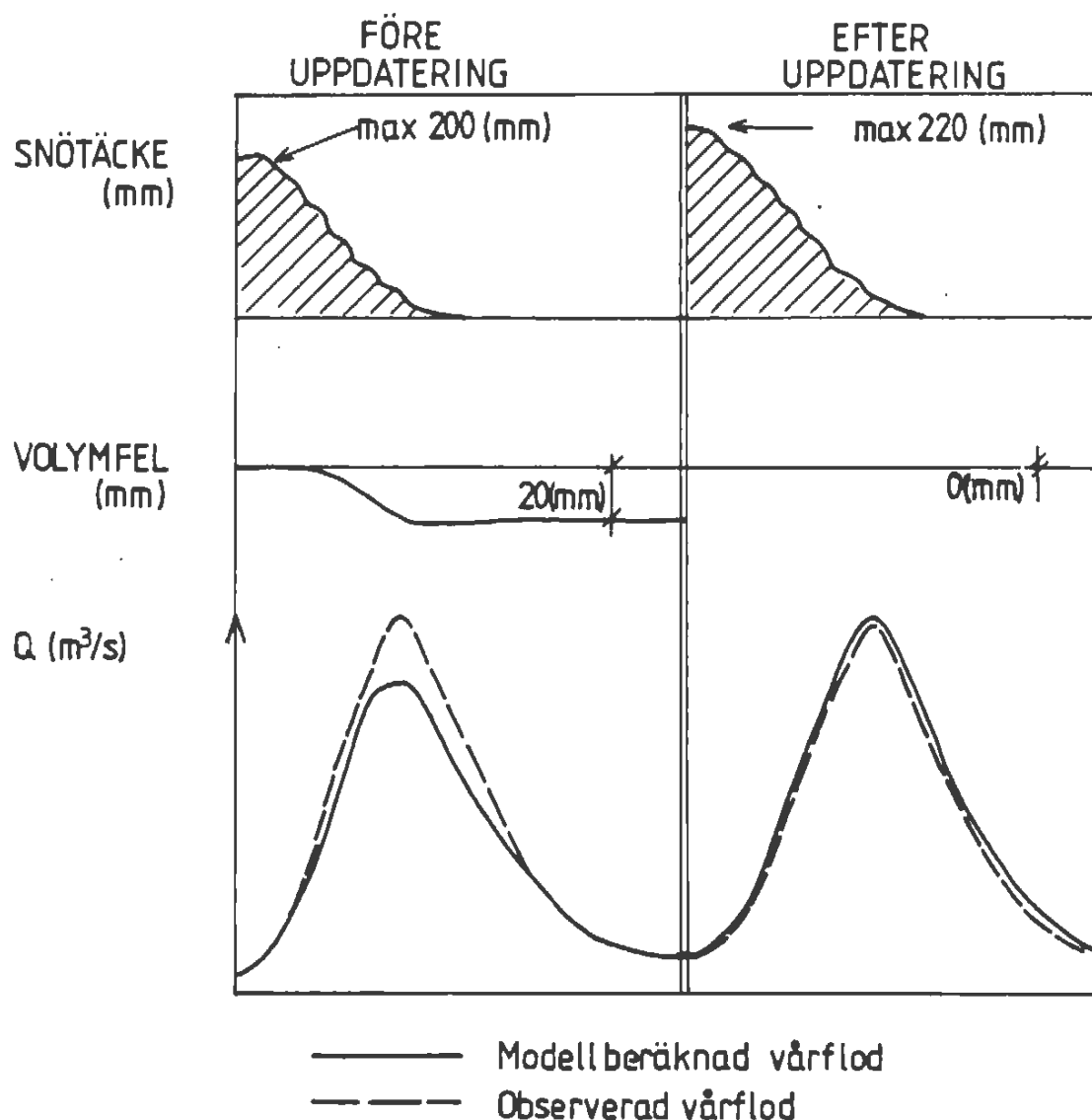
- n = totala antalet tidssteg,
 Q_o = observerad tillrinning,
 $\bar{Q}_o$ = medelvärde av observerad tillrinning,
 Q_m = modellberäknad tillrinning.

Tabell 7.1. Modellprestanda över 20 år (1966-86) för Torrön och 18 år (1961-79) för Trängslet för de tre använda kalibreringsmetoderna.

Kalibreringsmetod	TORRÖN			TRÄNGSLET		
	Kalibr. period	R ²	VE	Kalibr. period	R ²	VE
POC	76 - 86 ^{*)}	84.8	1.7	61 - 71	92.8	4.1
Powell	76 - 86	84.0	5.0	61 - 71	90.5	2.9
Manuell	-	78.8	2.7	-	92.0	0.8

- ^{*)} = Alla perioder börjar den 1/8 och slutar den 31/7.
 POC = Process-oriented calibration (Harlin, 1991).
 Powell = Conjugate gradient, direct search (Powell, 1964).

Frekvensanalys baserad på årliga maxsnövärden gjordes för de tre olika kalibreringarna. Därefter upprepades frekvensanalysen efter det att de årliga maxsnötäckena uppdaterats mot observerad vårflodsvolym. Vid uppdateringen justeras snötäcket så, att den modellerade vårflodsvolymen stämmer med den observerade, se figur 7.1. Eftersom det inte finns observationer av areella snödata att jämföra med är tanken att man genom att uppdatera snötäcket mot vårflodsvolymen kan erhålla ett mera korrekt snötäcke. Detta uppdaterade snötäcke bör därför bli mindre modell- och kalibreringsberoende. Vid frekvensanalysen användes genomgående Gumbels fördelningsfunktion anpassad enligt momentmetoden.



Figur 7.1. Principen för hur det årliga maxsnötäcket uppdaterades mot observerad vårflodsvolym före frekvensanalys.

7.3 Resultat

Resultatet av frekvensanalys till 30 års återkomsttid av årliga maxsnötäcken före och efter uppdatering mot vårflodsvolym för de tre valda kalibreringsmetoderna visas i tabell 7.2. För Torrön baserades frekvensanalysen på 20 år (1972 - 1991) och för Trängslet på 31 år (1962 - 1992).

Tabell 7.2. Frekvensanalys till 30-års återkomsttid av årliga maxsnötäcken (mm) utan och med uppdatering mot vårflodsvolym.

Kalibreringsmetod	TORRÖN		TRÄNGSLET	
	Utan uppdatering	Med uppdatering	Utan uppdatering	Med uppdatering
POC	797	820	307	294
Powell	776	800	312	303
Manuell	868	819	279	269

7.4 Diskussion och slutsatser

För Torrön erhålls ett homogenerare resultat efter uppdatering. För Trängslet däremot är spridningen mellan 30-årssnötäcken mellan olika kalibreringar av samma storleksordning före och efter uppdatering. Möjligen kan detta förklaras av att uppdatering har en större effekt i områden med mycket snö, stor spridning i snötäcke mellan olika år och stora fel i modellberäknad vårflod. I Torrön varierade snötäcket för de 20 studerade åren mellan 230 och 914 mm. Motsvarande spridning för Trängslet var 81 till 283 mm. Med utgångspunkt från resultaten för Torrön är det tydligt att uppdatering minskar kalibreringsberoendet.

För Trängslet kan däremot inte denna slutsats dras. Uttryckt i procent var den genomsnittliga effekten av uppdatering både för Torrön och Trängslet en justering av 30-årsvärdet med 4 %. En justering av 30-årssnön med 4 % innebär för dessa områden en justering av tillrinningsmaximum med knappt 2 % (se Lindström och Harlin, 1992). Om man vågar sig på att generalisera resultaten från Torrön och Trängslet till Lossen, Svegssjön och Arbråsjöarna i Ljusnan, kan en justering av 30-årssnön med 4 % uttryckas i en förändring av det dimensionerande vattenståndet. Man får då för Lossen en justering med ca 7 (cm), för Svegssjön ca 14 (cm) och för Arbråsjöarna ca 11 (cm) enligt Harlin, Lindström, Sundby, och Brandesten (1992).

För majoriteten av de olika kalibreringarna innebar en uppdatering en sänkning av 30-årsvärdet. Förklaringen är att kalibreringen betonar flödestopparna, i synnerhet för de största flödena. Däremot är modellerna kalibrerade så, att de över en lång period ger en korrekt volymsbeskrivning. Vid uppdatering av snötäcket år för år blev det inte någon generell sänkning av maxsnön. Uppdateringen slår åt båda hållen. Däremot justerades i regel de största snötäckena neråt, vilket förklarar att 30-årsvärdet sänks.

Resultaten antyder att det kan vara värt att uppdatera snötäcket i vissa fall, speciellt i områden med glest stationsnät och stora fel i den modellerade vårflodsvolymen. En mer omfattande studie kan ge en bättre grund för en generell rekommendation om ifall uppdatering skall göras eller inte.

8. DIMENSIONERANDE FLÖDEN OCH VATTENSTÅND VID NY AVDUNSTNINGSFUNKTION

8.1 Bakgrund

I den här studien utreds inverkan på dimensionerande flöden och vattenstånd då en ny förbättrad modellrutin för avdunstringsberäkning, i HBV modellen, används. Den nya modellrutinen tar hänsyn till temperatures inverkan på avdunstningen; se Lindström och Bergström (1992). Denna nya rutin har visat sig förbättra HBV-modellen avsevärt.

I den tidigare HBV-versionen användes månadsmedelvärden av potentiell evapotranspiration och nu i den nya modellrutinen sker en justering av den potentiella avdunstningen beroende på den dagliga lufttemperaturen enligt följande ekvation:

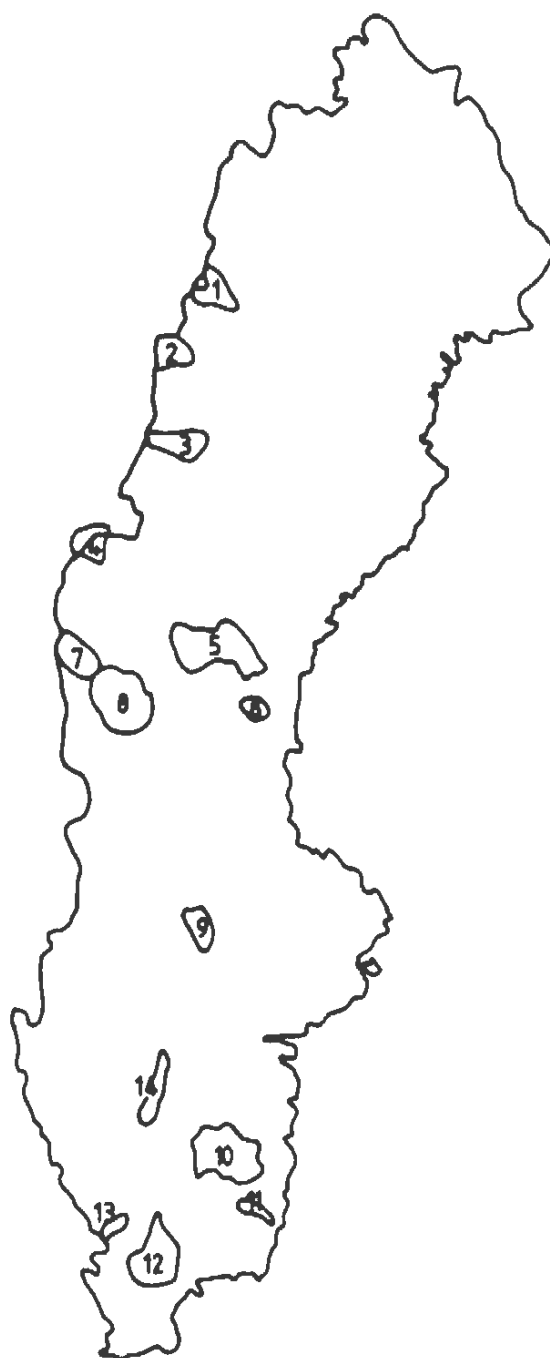
$$PE_A = (1 + C_T * (T - T_M)) * PE_M$$

där PE_A = aktuell potentiell evapotranspiration,
 C_T = modellparameter,
 T = daglig medel-lufttemperatur,
 T_M = månadsmedel av lufttemperatur,
 PE_M = månadsmedel av potentiell evapotranspiration.

Ekvationen är giltig i följande intervall $0 \leq PE_A \leq 2 * PE_M$. När lufttemperaturen är under normalvärden på sommaren sker mindre avdunstning med den nya modellrutinen.

8.2 Metodik och data

Simulering av dimensionerande flöden enligt Flödeskommitténs riktlinjer (Flödeskommittén, 1990) gjordes med HBV-modellen, med och utan den temperaturberoende avdunstningsfunktionen. Simuleringarna baserades på 10 års klimatdata och för modellparametern C_T användes standardvärdet 0.15 genomgående. Skillnaden i flödesmaximum mellan modellversionerna studerades i ett antal områden, vars geografiska läge visas i figur 8.1. För områdena Överuman, Torpshammar, Lossen och Sveg jämfördes även skillnaden i resulterande vattenståndsutveckling.



Figur 8.1. Områden, där dimensioneringsberäkningar har gjorts med respektive utan den nya avdunsningsrutinen: Sädvajaure (1, Skellefteälven), Överuman (2, Umeälven), Kultsjön (3, Ångermanälven), Torrön (4, Indalsälven), Torpshammar (5, Ljungan), Hassela (6, Harmångersån), Lossen (7, Ljusnan), Sveg (8, Ljusnan), Hammarby (9, Arbogaån), Blankaström (10, Emån), Källstorp (11, Ljungbyån), Torsebro (12, Helged), Simlången (13, Fylledn), Tidån (14, Göta älv).

8.3 Resultat och slutsatser

Skillnaderna i de högsta flödena och vattenstånden för vår (före 23 juli) resp. höst (efter 24 juli) redovisas tabellerna 8.1 och 8.2.

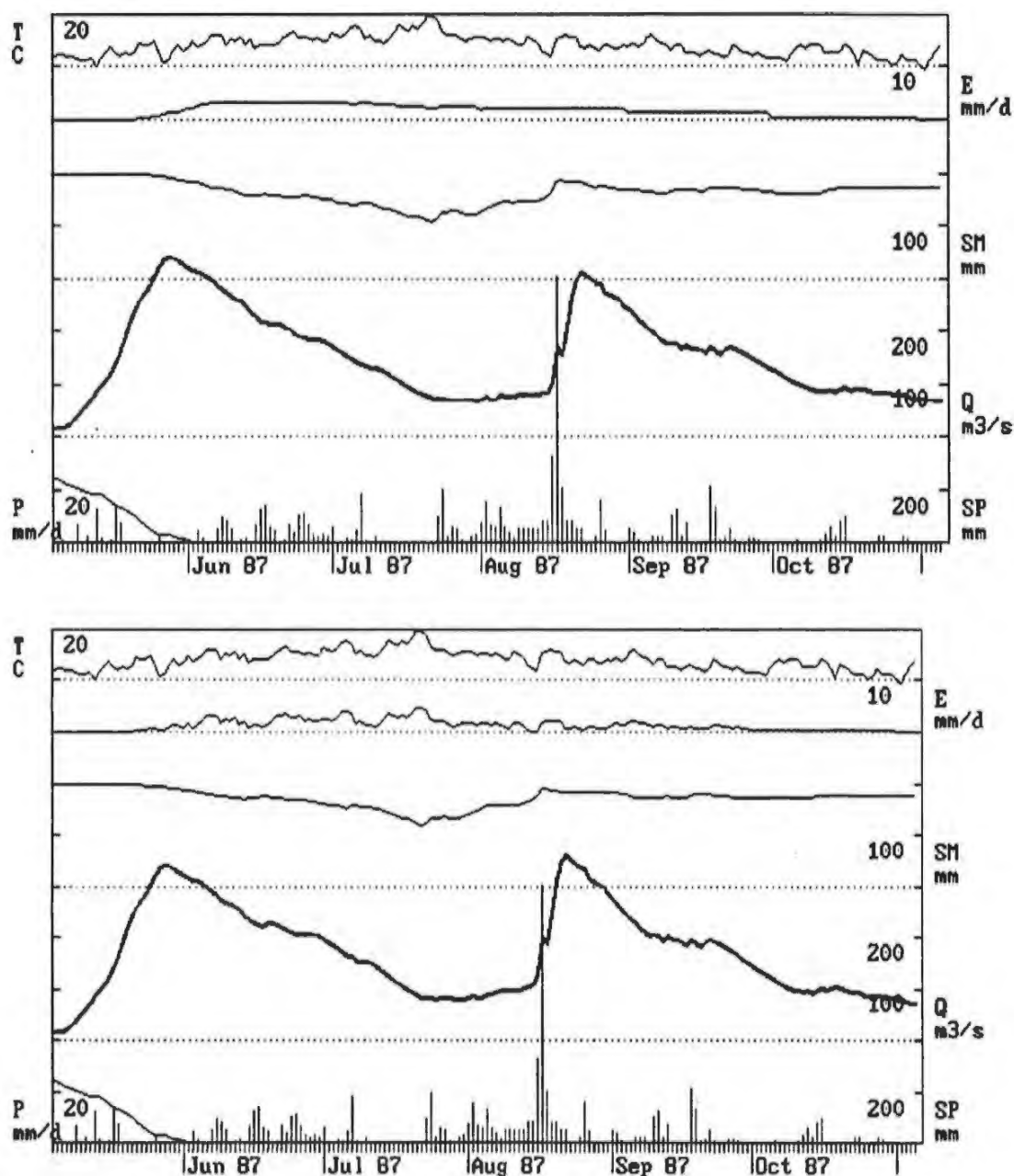
Tabell 8.1. Skillnader i högsta flöden då ny avdunsningsfunktion används, jämfört med den tidigare HBV-versionen. Q_{med} = flöde, då ny avdunsningsfunktion används, Q_{utan} = flöde, då den tidigare HBV-versionen används, tillr = tillrinning, Q = avrinning.

Område	Flöden vår			Flöden höst		
	Q_{med} (m ³ /s)	Q_{utan} (m ³ /s)	Diff (%)	Q_{med} (m ³ /s)	Q_{utan} (m ³ /s)	Diff (%)
Sädvajaure, tillr.	1570.0	1558.2	+ 0.8	1300.5	1307.2	- 0.5
Överuman, tillr.	921.3	924.8	- 0.4	831.4	827.4	+ 0.5
Kultsjön, tillr.	964.8	969.6	- 0.5	768.3	754.3	+ 2.0
Torrön, tillr.	1478.0	1484.0	- 0.4	1203.0	1201.0	+ 0.2
Torpshammar, tillr.	583.0	584.0	- 0.2	356.6	309.3	+ 15.0
Hassela, Q	369.6	372.9	- 0.9	300.3	273.0	+ 10.0
Lossen, tillr.	743.6	745.7	- 0.3	603.4	601.7	+ 0.3
Sveg, tillr.	2328.7	2339.1	- 0.4	2006.8	1925.7	+ 4.2
Hammarby, Q	194.7	195.2	- 0.3	118.3	110.9	+ 6.7
Blankaström, Q	534.1	534.8	- 0.1	407.9	334.3	+ 22.0
Källstorp, Q	74.8	74.9	- 0.1	68.6	57.0	+ 20.4
Torsebro, Q	736.7	738	- 0.2	639.3	572.8	+ 11.6
Simlängen, Q	112.4	112.4	0	118.9	109.2	+ 8.9
Tidan, Q	369.3	369.9	- 0.2	370.0	307.8	+ 20.2

Tabell 8.2. Skillnader i högsta vattenstånd, då ny avdunstningsfunktion används jämfört med den tidigare HBV-versionen. Vst_{med} = vattenstånd då ny avdunstningsfunktion används, Vst_{utan} = vattenstånd, då den tidigare HBV-versionen används.

Område	Vattenstånd vår			Vattenstånd höst		
	Vst_{med} (möh)	Vst_{utan} (möh)	Diff (cm)	Vst_{med} (möh)	Vst_{utan} (möh)	Diff (cm)
Överuman	525.31	525.31	0	525.16	525.16	0
Torpshammar	203.36	203.29	+ 7	201.98	201.90	+ 8
Lossen	566.58	566.56	+ 2	566.60	566.60	0
Sveg	370.81	370.82	- 1	369.80	369.61	+19

På våren är skillnaderna i dimensionerande flöden små, 0.2 - 0.9 %, medan höstflöden i södra samt östra Sverige blir 10 - 22 % högre med nya avdunstningsfunktionen. Det dimensionerande flödet sänks en aning på våren i och med att det värsta läget inträffar vid hög temperatur och därmed ökad avdunstning med den nya rutinen. Höstflödena höjs något på grund av att de regniga somrarna som slår igenom i dimensioneringsberäkningen ofta är kallare än normalt. På sommaren simuleras vattenföringen och därmed också markvattenhalten riktigare med den nya avdunstningsfunktionen, se figur 8.2, markvattenhalten är då högre på hösten jämfört med den tidigare HBV-versionen vilket genererar ett högre flöde. Ökningen i vattenstånd verkar också vara störst i östra Sverige, som i genomsnitt är torrare.



Figur 8.2. Jämförelse mellan den tidigare HBV-versionen (övre figuren) och den nya modellrutinen (nedre figuren) med utvecklad avdunstningsfunktion. Exemplet visar högsta tillrinningen för hösten 1987 i Torpshammar, Gimån. Nederbörd (P), snö (SP), lufttemperatur (T), aktuell evapotranspiration (E), tillrinning (Q), markvattenhalt (SM).

9. DE HÖGA FLÖDENA SOMMAREN 1993

I slutskedet av projektet inträffade höga flöden i flera av de reglerade Norrlandsälvarna. Under sommaren 1993 fick vissa stationer i Norrland mer nederbörd än vad som tidigare observerats sedan omkring 1860 då mätningarna startade. En ytterligare faktor var den stora snömängden i särskilt de västra fjällen. Vattenkraftmagasinen fylldes av snösmältningen och det myckna regnandet (se kapitel 3). Under början och mitten av augusti föll stora nederbördsmängder över de norra älvarna. Höga flöden uppstod i flera älvar, på många håll upplevdes de högsta flödena sedan regleringarna inleddes.

Detta avsnitt syftar till att belysa sommarens flöde i relation till tidigare händelser, samt att studera orsakerna till de höga flödena.

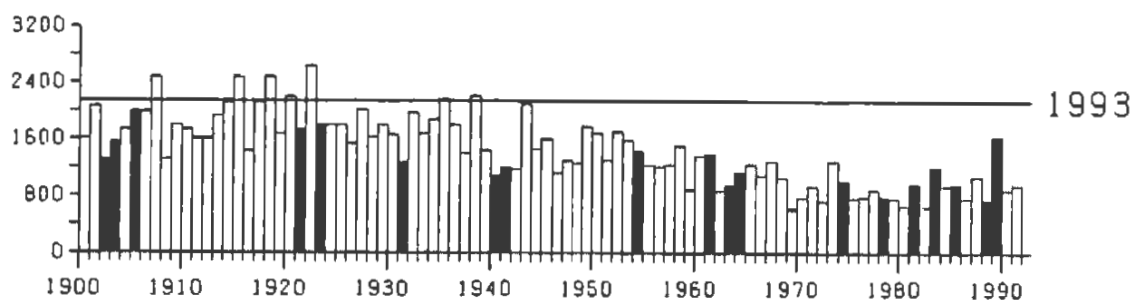
9.1 Sommarens flöden i relation till tidigare flöden

Tidsserier på den största vattenföringen för varje år nära mynningen i några av de berörda älvarna visas i figur 9.1. Sommarens flöden var de högsta på mycket länge i alla dessa älvar, utom i Vindelälven, där sommarflödet kulminerade strax över MHQ. Problemen uppstod i de reglerade älvarna, framförallt Luleälven, Umeälven och Ångermanälven. För Skellefteälven är observationsserien inte komplett, och i Indalsälven var årets flöde bara obetydligt över det tidigare högsta flödet under reglerade förhållanden.

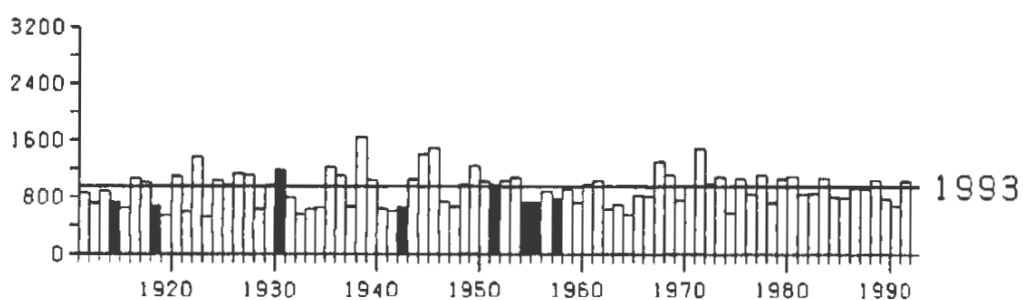
Årets flöde i Luleälven överträffade med god marginal sommarflödet 1989, som när det inträffade orsakade stora problem. Man får gå tillbaka ända till 1938 för att finna ett flöde som nådde upp till årets. Om man emellertid endast betraktar den del av mätningarna som avser oreglerade förhållanden (1900 - 1921), så ser man i figuren att flera flöden i samma storleksordning inträffade under denna period. I själva verket skulle årets flöde uppnås eller överträffas i genomsnitt en gång vart femte år, om Luleälven inte hade varit reglerad (tabell 9.1). Årets flöde skulle med andra ord ha en återkomsttid på 5 år för oreglerade förhållanden. Motsvarande värden för några andra punkter redovisas i tabell 9.1.

Vad som gjorde årets flöden exceptionella var inte nivån utan den tidpunkt då de inträffade. Första augusti är den tidpunkt från vilken Flödeskommittén anger att man bör räkna med fyllda magasin vid en dimensioneringsberäkning. Om man endast studerar flöden från och med 1 augusti framstår årets flöden som extrema (figur 9.2). Detta avspeglas i de återkomsttider som detta flöde skulle ha haft under oreglerade förhållanden (tabell 9.1). Även de oreglerade sommarflödena var i år mycket höga för årstiden, exempelvis inträffar ett sommar- eller höstflöde i årets storleksordning endast en gång på ungefär 40 år i Vindelälven. I Umeälven har det rekonstruerade naturliga flödet beräknats av Vattenregleringsföretagen till 2156 m³/s, dvs knappt 10 % lägre än det nu upplevda.

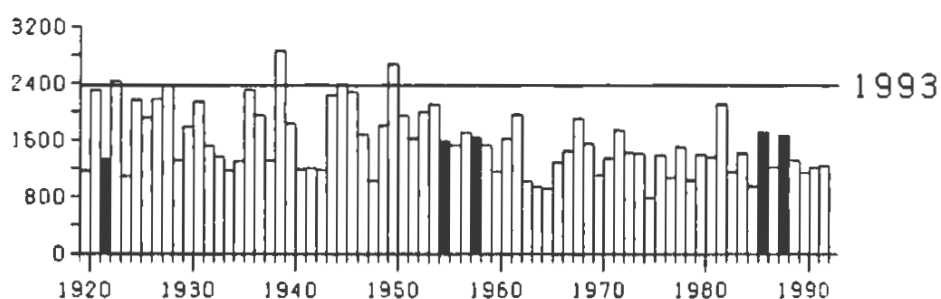
LULEÄLVEN, Boden



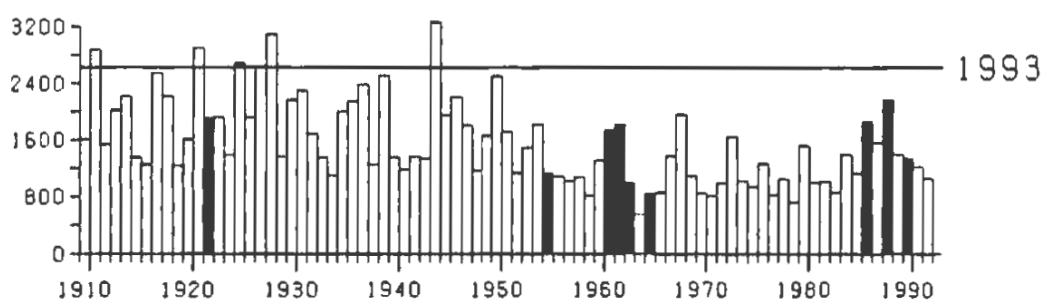
VINDELÄLVEN, Vindeln



UMEÄLVEN, Umeå

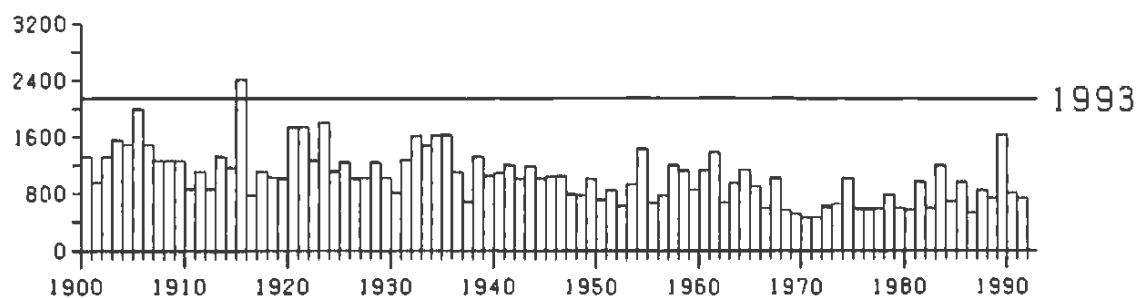


ÅNGERMANÄLVEN, Sollefteå

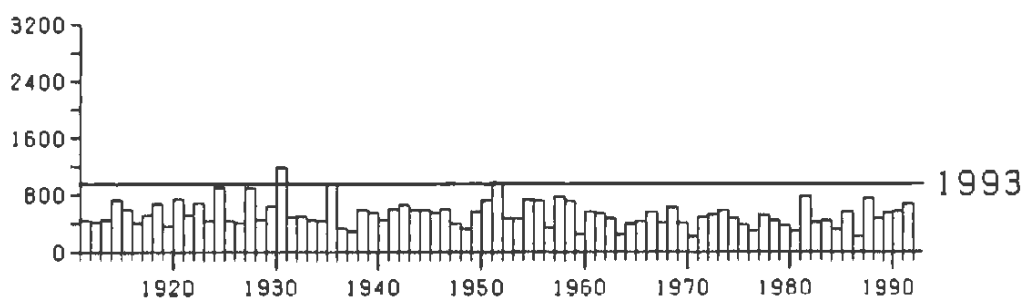


Figur 9.1. De högsta flödena i några studerade älvar. Maxvärdet för varje år anges i m³/s. En ofylld stapel markerar att flödet kulminerade före 1 augusti, och en fylld stapel markerar att det kulminerade efter samma datum. Årets flöde är markerat med en linje. Luleälv: reglerad från 1922, Vindelälv: oreglerad, Umeälv: reglerad från 1958, Ångermanälv: reglerad från 1939.

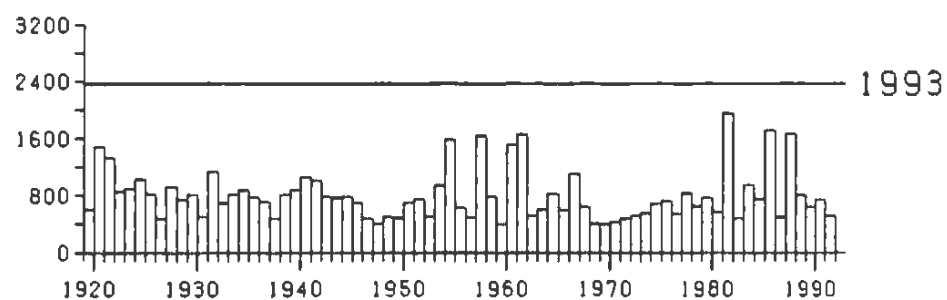
LULEÄLVEN, Boden



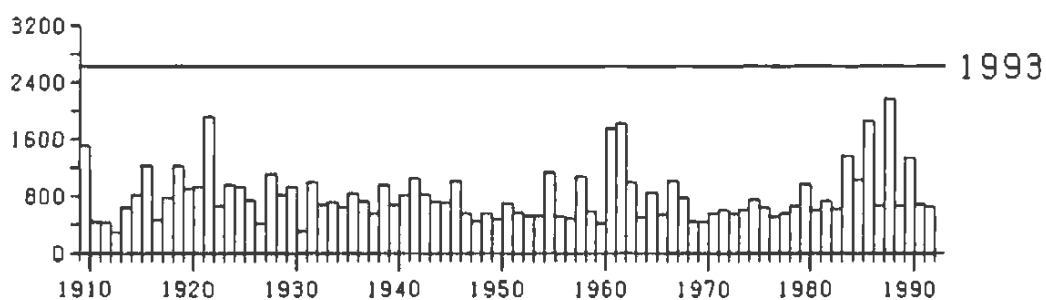
VINDELÄLVEN, Vindeln



UMEÄLVEN, Umeå



ÅNGERMANÄLVEN, Sollefteå



Figur 9.2. De högsta flödena i några studerade älvar efter 1 augusti varje år i m³/s. Årets flöde är markerat med en linje. Luleälv: reglerad från 1922, Vindelälv: oreglerad, Umeälv: reglerad från 1958, Ångermanälv: reglerad från 1939.

Tabell 9.1. Sammanställning av årets flöde i relation till tidigare förhållanden. Återkomsttiderna beräknades med hjälp av Gumbel-fördelningen och momentmetoden. Observationsperioden motsvarar för de reglerade älvarna den oreglerade tiden. De uppmätta flödena är preliminära. QR betecknar ett reglerat flöde, Q betecknar ett oreglerat flöde.

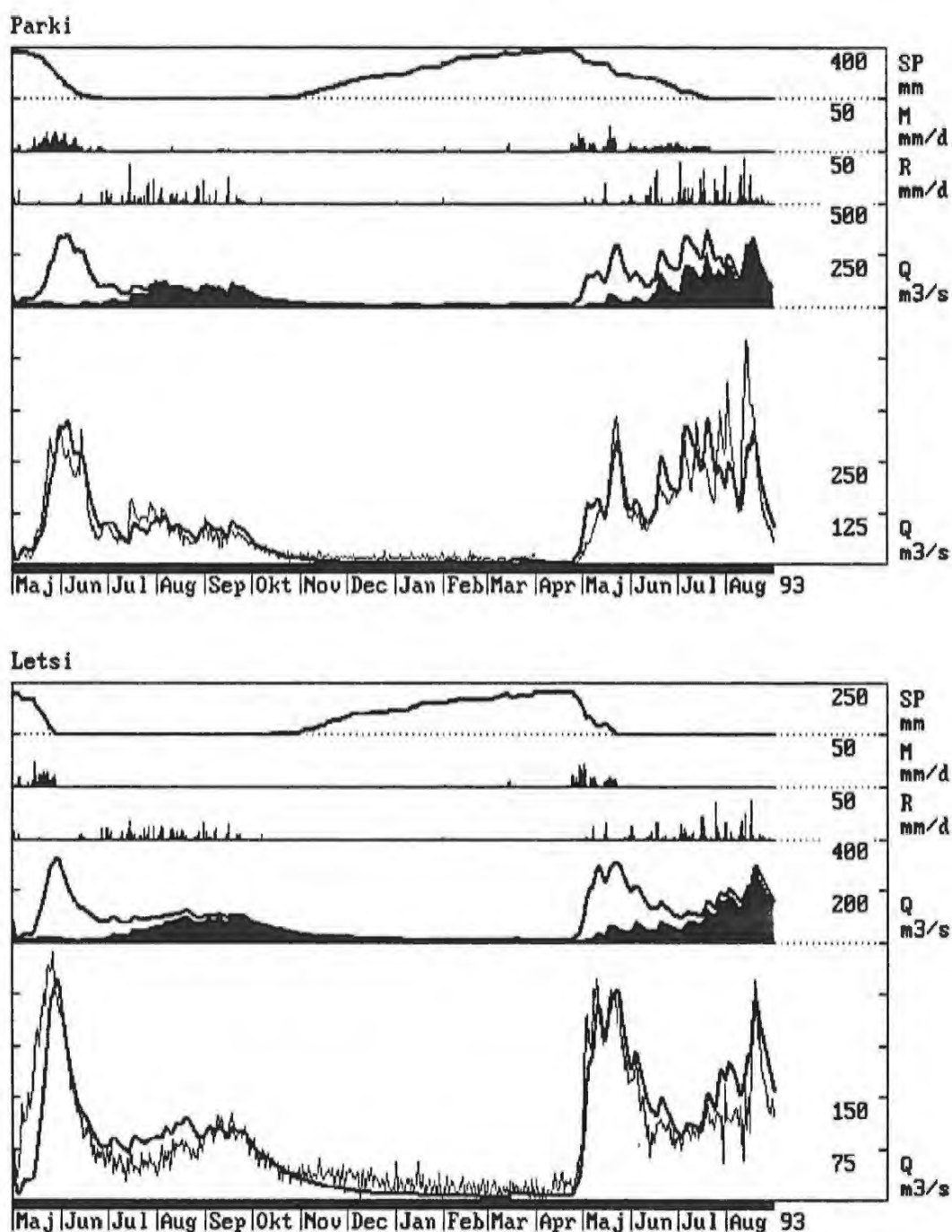
Älv	Station	Observationsperiod	Högsta flöde 1993 (m ³ /s)	Återkomsttid (år), Årsmax	Återkomsttid, (år) efter 1/8
Luleälven	Boden, QR	1900-21	2146	5	30
Luleälven	Parki, lok. tillr., Q	1972-93	544	17	80
Luleälven	Letsi lok. tillr., Q	1972-93	320	1.3	20
Vindelälven	Vindeln, Q	1911-91	960	3	40
Umeälven	Umeå, QR	1919-57	2376	9	>100
Ångermanälven	Sollefteå, QR	1909-38	2628	8	>100

Årets flöden var alltså exceptionellt höga för årstiden, men däremot inte i förhållande till vårflödena. Detta är anledningen till att problemen främst uppstod i de reglerade vattendragen. Under oreglerade förhållanden inträffar nästan alltid de högsta flödena på våren. De inträffar i Norrland med regelbundenhet och med en måttlig variation mellan åren. Regleringen jämnar ut dessa vårflöden, men har mycket mindre inverkan på höstflödena. Höga höstflöden uppträder mera sällan än vårflödena, och med en större variation mellan åren. Överraskningsmomentet när ett höstflöde inträffar blir därför större. Utan regleringarna skulle vi dock ha fått uppleva flöden i samma storleksordning som årets flöden betydligt oftare än vad som nu har varit fallet.

9.2 Flödenas orsak

Den i kapitel 5 utvecklade metodiken kunde utnyttjas för att belysa vilka faktorer som skapade sommarens flöde. Metoden tillämpades för den lokala tillrinningen till Parki respektive Letsi i Lilla Luleälven. Samma metodik som i kapitel 5 använde, dvs modellen kalibrerades för de 6 första åren, utan delområdesindelning. Tidsperioden 1972 - 1993 användes därefter i båda områdena.

I Parki var snömängden i år cirka 26 % högre än normalt, medan Letsi hade obetydligt mer snö än normalt (7 %). Snön smälte bort ovanligt sent i Parki, men ovanligt tidigt i Letsi. I båda områdena blev vårflödestoppen lägre än normalt, trots den rikliga tillgången på snö. Den sena snösmältningen, åtminstone i Parki, tillsammans med rikligt regn, upprätthöll en hög markfuktighet. Därigenom fanns förutsättningarna för uppkomsten av höga flöden. Den direkt utlösande faktorn får dock regnet anses vara, med regnbidrag på 95 % i flödestoppen i augusti i båda områdena (figur 9.3). Årets flöde var ovanligt högt, men andelen regn var ganska typisk för hösten i de två områdena.



Figur 9.3. Uppdelning av flödet i bidrag från regn (svart del) och snösmältning (vit del) för de lokala tillrinningarna till Parki och Letsi i Luleälv. SP = snötäcke, M = snösmältning, R = regn, Q = vattenföring. Nederst i figurerna visas den beräknade (tjock kurva) och uppmätta (tunn kurva) tillrinningen.

9.3 Slutsatser

Årets flöden var i oreglerade vattendrag exceptionellt höga för årstiden, men däremot inte i förhållande till vårflöden. Exempelvis skulle i Luleälven sommarens nivå uppnås i genomsnitt vart femte år om älven hade varit oreglerad.

En sen snösmältning och framförallt en regnrik sommar skapade förutsättningar för uppkomsten av höga flöden. Själva tillrinningstoppen till Parki och Letsi i Luleälven uppkom dock nästan enbart p.g.a regn. I och med att regnet var den direkt utlösande faktorn var flödets storlek svår att förutse, då nederbörds mängder är mycket svåra att prognosera. En uppdelning i flödesbidrag gjordes endast för 2 delområden i Luleälven. Betydelsen av snösmältning torde dock vara ännu lägre i de övriga av de berörda älvarna, samt längre ner i Luleälven.

10. PUBLIKATIONER FRÅN PROJEKTET

Förutom denna rapport har följande publikationer tillkommit helt eller delvis inom projektet:

Bergström, S., Harlin, J. and Lindström, G. (1992) Spillway design floods in Sweden. I: New guidelines. Hydrological Sciences Journal, Vol. 37, 505 - 519.

Harlin, J., Lindström, G. and Bergström, S. (1992) New guidelines for spillway design floods in Sweden. Proceedings of the International Symposium held at Yokohama, Japan, July 11 - 23, 1993, IAHS Publication No. 213, 237 - 244.

Häggström, M. och Lindström, G. (1993) Översvämningarna i Norrland sommaren 1993. Vannet i Norden, Nr. 4, 1993

Lindström, G., Harlin, J. and Bergström, S. (1992) New guidelines for evaluation of extreme floods in Sweden. Contribution to the ICOLD symposium on extreme floods, Granada, Spain, 16 September, 1992.

Lindström, G. and Harlin J. (1992) Spillway design floods in Sweden: II. Applications and sensitivity analysis. Hydrological Sciences Journal, Vol. 37, 521 - 539.

Norstedt, U., Brandesten, C-O, Bergström, S., Harlin, J. and Lindström, G. (1992) Re-evaluation of hydrological dam safety in Sweden. International Water Power and Dam Construction, June 1992.

11. REFERENSER

Andersen, J., Hjukse, T., Roald, L. och Saelthun, N. (1983) Hydrologisk modell for flombergninger. NVE Hydrologisk Avdeling, Rapport Nr. 2-83

Beldring, S., Förland E., och Saelthun, N.R. (1989) Store flommer, en sammenlikning mellom nedbørepisoder og flommer i en del norske vassdrag. DNMI Rapport KLIMA 24/89, NVE Oppdragsrapport 12 - 89.

Bergström, S. (1976) Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian basins. SMHI Report RHO 7, 134 p., Norrköping.

Bergström, S., Lindström, G., and Sanner, H. (1989) Proposed Swedish spillway design floods in relation to observations and frequency analysis. Nordic Hydrology, Vol. 20, 277 - 292.

Bergström, S. (1992) The HBV model - its structure and applications. SMHI RH No. 4, April 1992, Norrköping

Brandt, M., Bergström, S., Gardelin, M., och Lindström, G. (1987) Modellberäkning av extrem effektiv nederbörd. SMHI Rapport Hydrologi 14.

Flödeskommittén (1990) Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. Slutrapport från Flödeskommittén. Statens Vattenfallsverk, Svenska Kraftverksföreningen, SMHI.

Gottschalk, L. (1983) Beräkning av dimensionerande vattenföringar. Vatten, No. 1, 15 - 26.

Gottschalk, L. (1985) Hydrological regionalization of Sweden. Hydrological Sciences Journal, Vol. 30, 65 - 83.

Greis, N.P., and Wood, E.F. (1981) Regional flood frequency estimation and network design. Water Resources Research, Vol. 17, 1167 - 1177.

Hosking, J.R.M., Wallis, J.R., and Wood, E.F. (1985) An appraisal of the regional flood frequency procedure in the UK Flood Studies Report. Hydrological Sciences Journal, Vol. 30, 85 - 109.

Gumbel, E.J. (1958) Statistics of extremes. Columbia University Press.

Harlin, J. (1989) Proposed Swedish spillway design guidelines compared with historical flood marks at Lake Siljan. Nordic Hydrology, Vol. 20, 293 - 304.

Harlin, J. (1991) Development of a process-oriented calibration scheme for the HBV hydrological model. Nordic Hydrology, Vol. 22, 15 - 36.

Harlin, J., Lindström, G., Sundby, M. och Brandesten C.-O. (1992) Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionering av hel älv. SMHI Hydrologi, nr 38.

Harlin, J. (1992) Hydrological modelling of extreme floods in Sweden. SMHI, Reports Hydrology (RH) No. 3, Norrköping.

Killingtveit, Å, Mörk, G, och Winther, J.G. (1988) Studier av flomskapende forhold i kystfelt. Nordisk Hydrologisk Konferens, Rovaniemi, Finland, 1 - 3 Augusti 1988, NHP-Rapport nr 22 Del 1, 100 - 108.

Lave, L.B., Resendiz-Carillo, D., and McMichael, F.C. (1990) Safety goals for high-hazard dams: Are dams too safe? Water Resources Research, Vol. 26, No. 7, pp. 1383 - 1391.

Lindström, G., Rodhe, A., and de Man, B. (1990) Transit times for water in till basins estimated by a distributed model and oxygen-18. Proc. XVI Nordic Hydrological Conference in Kalmar, 29 July - 1 August, 1990, 94 -103.

Lindström, G. och Bergström, S. (1992). Improving the HBV and PULSE - models by use of temperature anomalies. Vannet i Norden Nr 1 - 1992.

Lindström, G., and Harlin, J. (1992) Spillway design floods in Sweden. II: Applications and sensitivity analysis. Hydrological Sciences Journal, Vol. 37, 521 - 539.

Lindström, G. (1993) Floods in Sweden - Trends and occurrence. SMHI RH No. 6, May 1993, Norrköping.

Mimikou, M. (1984) Envelope curves for extreme flood events in north-western Greece. *Journal of Hydrology*, 67, 55 - 66.

Mörk, G. (1989) Effektiv nedbör och snösmeltebidrag i noen store flomepisoder. Norsk Hydroteknisk Laboratorium, Rapport No. STF60 A89058, Trondheim, Norge.

Nash, J.E. and Shaw, B.L. (1965) Flood frequency as a function of catchment characteristics. *Proc. Sympos. on River Flood Hydrology (1965)*, Inst. Civ. Engrs., London, U.K., 115 - 136.

Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. (1970) River flow forecasting through conceptual models. Part I - A discussion of principles. *Journal of hydrology*, No. 10, 282 - 290.

NRC (1988) Estimating probabilities of extreme floods - Methods and recommended research. National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., USA.

Powell, M.J.D. (1964) An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives. *The Computer Journal*, Vol. 7, 155 - 162.

Rodhe, A. (1987) The origin of streamwater traced by oxygen-18. Uppsala University, Dept. of Physical Geography, Division of Hydrology, Report Series A, No. 41, Ph.D. thesis.

SMHI (1975) Vattenföringen i Sverige. SMHI, Norrköping.

U.S. Department of Commerce (1986) Feasibility of assessing a probability to the probable maximum flood. Report by the Hydrology Subcommittee of the Interagency Advisory Committee on Water Data, Springfield, USA.

Vedin, H. och Eriksson, B. (1988) Extrem arealnederbörd i Sverige 1881 - 1988. SMHI Rapport Meteorologi Nr. 76, Norrköping, Sweden. Även bilaga A i *Flödeskommittén* (1990).

SMHI HYDROLOGI

Nr	Titel
1	Bengt Carlsson Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena. Norrköping 1985.
2	Martin Häggström och Magnus Persson Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser. Norrköping 1986.
3	Sten Bergström, Ulf Ehlin, SMHI, och Per-Eric Ohlsson, VASO Riktlinjer och praxis vid dimensionering av utskov och dammar i USA. Rapport från en studieresa i oktober 1985. Norrköping 1986.
4	Barbro Johansson, Erland Bergstrand och Torbjörn Jutman Skåneprojektet - Hydrologisk och oceanografisk information för vatten- planering - Ett pilotprojekt. Norrköping 1986.
5	Martin Häggström Översiktlig sammanställning av den geografiska fördelningen av skador främst på dammar i samband med septemberflödet 1985. Norrköping 1986.
6	Barbro Johansson Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett försöksprojekt. Norrköping 1986.
7	Maja Brandt Areella snöstudier. Norrköping 1986.
8	Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt och Göran Lindström PULS-modellen: Struktur och tillämpningar. Norrköping 1987.
9	Lennart Funkquist Numerisk beräkning av vågor i kraftverksdammar. Norrköping 1987.
10	Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Aranibar and Robert Llobet Application of the HBV model to Bolivian basins. Norrköping 1987.

- | Nr | Titel |
|----|---|
| 11 | Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar and Roberto Llobet
Monthly streamflow simulation in Bolivian basins with a stochastic model.
Norrköping 1987. |
| 12 | Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor Milanov
De svenska huvudvattendragens namn och mynningspunkter.
Norrköping 1987. |
| 13 | Göran Lindström
Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn.
Norrköping 1987. |
| 14 | Maja Brandt, Sten Bergström, Marie Gardelin och Göran Lindström
Modellberäkning av extrem effektiv nederbörd.
Norrköping 1987. |
| 15 | Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist
Sjökarte- och sjöuppgifter. Register 1987.
Norrköping 1987. |
| 16 | Martin Häggström och Magnus Persson
Utvärdering av 1986 års vårflödesprognoser.
Norrköping 1987. |
| 17 | Bertil Eriksson, Barbro Johansson, Katarina Losjö och Haldo Vedin
Skogsskador - klimat.
Norrköping 1987. |
| 18 | Maja Brandt
Bestämning av optimalt klimatstationsnät för hydrologiska prognoser.
Norrköping 1987. |
| 19 | Martin Häggström och Magnus Persson
Utvärdering av 1987 års vårflödesprognoser.
Norrköping 1988. |
| 20 | Todor Milanov
Frys förluster av vatten.
Norrköping 1988. |

Nr	Titel
21	Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval and Maria Elvira Vega Application of the HBV model to the upper Río Cauca basin. Norrköping 1988.
22	Mats Moberg och Maja Brandt Snökartläggning med satellitdata i Kultsjöns avrinningsområde. Norrköping 1988.
23	Martin Gotthardsson och Sten Lindell Hydrologiskt stationsnät. Svenskt Vattenarkiv Norrköping 1989.
24	Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval y Maria Elvira Vega Aplicacion del modelo HBV a la cuenca superior del Río Cauca. Norrköping 1989.
25	Gun Zachrisson Svåra islossningar i Tomeälven. Förslag till skadeförebyggande åtgärder. Norrköping 1989.
26	Martin Häggström Anpassning av HBV-modellen till Tomeälven. Norrköping 1989.
27	Martin Häggström and Göran Lindström Application of the HBV model to six Centralamerican rivers. Norrköping 1990.
28	Sten Bergström Parametervärden för HBV-modellen i Sverige. Erfarenheter från modellkalibreringar under perioden 1975 - 1989. Norrköping 1990.
29	Urban Svensson och Ingemar Holmström Spridningsstudier i Glan. Norrköping 1990.
30	Torbjörn Jutman Analys av avrinningens trender i Sverige. Norrköping 1991.

- | Nr | Titel |
|----|---|
| 31 | Mercedes Rodriguez, Barbro Johansson, Göran Lindström, Eduardo Planos y Alfredo Remont
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca del Río Cauto en Cuba.
Norrköping 1991. |
| 32 | Erik Arnér
Simulering av vårflöden med HBV-modellen.
Norrköping 1991. |
| 33 | Maja Brandt
Snömätning med georadar och snötaxeringar i övre Luleälven.
Norrköping 1991. |
| 34 | Bent Göransson, Maja Brandt och Hans Bertil Wittgren
Markläckage och vattendragstransport av kväve och fosfor i Roxen/Glan-systemet, Östergötland.
Norrköping 1991. |
| 35 | Ulf Ehlin och Per-Eric Ohlsson, VASO
Utbyggd hydrologisk prognos- och varningstjänst.
Rapport från studieresa i USA 1991-04-22--30.
Norrköping 1991. |
| 36 | Martin Gotthardsson, Pia Rystam och Sven-Erik Westman
Hydrologiska stationsnät/Hydrological network.
Svenskt Vattenarkiv.
Norrköping 1992. |
| 37 | Maja Brandt
Skogens inverkan på vattenbalansen.
Norrköping 1992. |
| 38 | Joakim Harlin, Göran Lindström, Mikael Sundby (SMHI) och Claes-Olof Brandesten (Vattenfall Hydropower AB).
Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionering av hel älv.
Norrköping 1992. |
| 39 | Sten Lindell
Realtidsbestämning av arealnederbörd.
Norrköping 1993. |
| 40 | Svenskt Vattenarkiv
Vattenföring i Sverige. Del 1. Vattendrag till Bottenviken.
Under utgivning. |

Ne	Titel	H 5
41	Svenskt Vattenarkiv Vattenföring i Sverige. Del 2. Vattendrag till Bottenhavet. Under utgivning.	
42	Svenskt Vattenarkiv Vattenföring i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön. Norrköping 1993.	
43	Svenskt Vattenarkiv Vattenföring i Sverige. Del 4. Vattendrag till Västerhavet. Under utgivning.	
44	Martin Häggström och Jörgen Sahlberg Analys av snösmältningsförlopp. Norrköping 1993.	
45	Magnus Persson Utnyttjande av temperaturens persistens vid beräkning av volymspro- gnoser med HBV-modellen. Norrköping 1993.	
46	Göran Lindström, Joakim Harlin och Judith Olofsson Uppföljning av Flödeskommitténs riktlinjer. Norrköping 1993.	



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping. Tel 011-15 80 00. Telex 64400 smhi s.